Утвержден
АИПБ.656122.011-071 РЭ2-ЛУ

ТЕРМИНАЛ НАПРАВЛЕННОЙ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ЗАЩИТЫ С ФУНКЦИЕЙ КСЗ ЛИНИЙ 110-220 кВ ТИПА «ТОР 300 НВЧЗ 56Х»

Руководство по эксплуатации. Описание функций защит
АИПБ.656122.011-071 РЭ2 v21.1

Авторские права на данный документ принадлежат ООО «Релематика», 2020.
Данный документ не может быть полностью или частично воспроизведен, скопирован, распространен без разрешения прав разработчика.

Адрес предприятия-изготовителя:
428020, Чувашская Республика, г. Чебоксары, пр. И. Яковлева, д. 1, ООО «Релематика»
Тел.: (8352) 24-06-50, факс: (8352) 24-02-43
Сайт: www.relematika.ru
E-mail: service@relematika.ru, rza@relematika.ru

Содержание

1 Описание и работа 5
1.1 Назначение 5
1.2 Функции устройства 5
1.2.1 Направленная высокочастотная защита линии (НВЧЗ) 5
1.2.2 Дистанционная защита (ДЗ) 27
1.2.3 Токовая направленная защита нулевой последовательности (ТНЗНП) 45
1.2.4 Токовая отсечка (ТО) 59
1.2.5 Ступень максимальной токовой защиты (Ступень МТЗ) 60
1.2.6 Автоматическое ускорение (АУ) 62
1.2.7 Защита от неполнофазного режима (ЗНР) 62
1.2.8 Блокировка при неисправностях в цепях напряжения (БНН) 63
1.2.9 Блокировка при длительном отсутствии напряжения (БДОН) 69
1.2.10 Защита от обрыва проводника (ЗОП) 70
1.2.11 Устройство резервирования отказа выключателя (УРОВ) 71
1.2.12 Логика отключения слабого конца от ДЗ (ЛОСК ДЗ) 73
1.2.13 Логика отключения слабого конца от ТНЗНП (ЛОСК ТНЗНП) 75
1.2.14 Модуль определения места повреждения (ОМП) 77
1.2.15 Расчет аналоговых сигналов 87

2 Рекомендации по проверке 94
2.1 Общие указания 94
2.2 Меры по безопасности 94
2.3 Проверка функций защит 94

Приложение А (обязательное) Элементы функциональных логических схем 95

Приложение Б (справочное) Векторные диаграммы и схемы соединения обмоток «разомкнутого треугольника» 97

Список сокращений 101

Настоящее РЭ распространяется на терминалы направленной высокочастотной защиты с функцией КСЗ линий 110-220 кВ типа «ТОР 300 НВЧЗ 56Х» (далее – устройства и терминалы) и содержит необходимые сведения по их эксплуатации и обслуживанию.

Настоящее РЭ содержит описание принципа действия защит. Основные технические характеристики, состав, конструктивное исполнение и описание устройства и работы терминала приведены в АИПБ.656122.011 РЭ1.

До включения терминала в работу необходимо ознакомиться с настоящим РЭ и АИПБ.656122.011 РЭ1.

Надежность и долговечность устройства обеспечиваются не только качеством изделия, но и правильным соблюдением режимов и условий транспортирования, хранения, монтажа и эксплуатации. Поэтому выполнение всех требований, изложенных в настоящем документе, является обязательным.

В связи с систематически проводимыми работами по совершенствованию изделия в его конструкцию могут быть внесены незначительные изменения, улучшающие параметры и качество изделия, не отраженные в настоящем издании.

1 Описание и работа

1.1 Назначение

Устройства защиты и автоматики типа «ТОР 300 НВЧЗ 56Х» предназначены для выполнения функции защиты воздушных двухконцевых или многоконцевых линий электропередачи с использованием ВЧ каналов связи (рисунок 1).

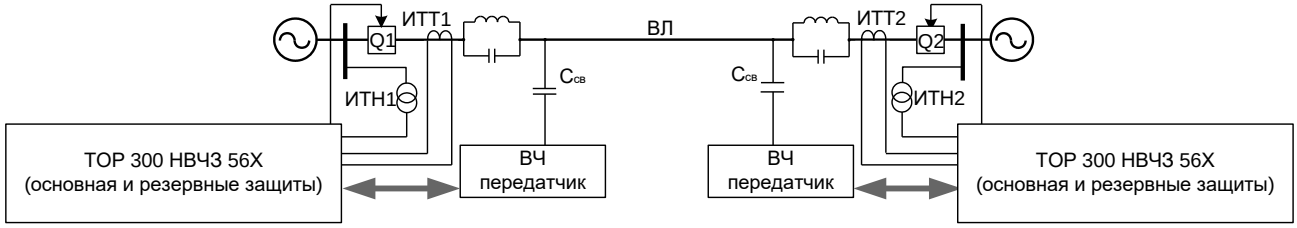


Рисунок 1 – Применение устройств защиты и автоматики серии «ТОР 300 НВЧЗ 56Х»

Устройство может содержать:

- направленную высокочастотную защиту линии (НВЧЗ);
- пять ступеней дистанционной защиты (ДЗ) от междуфазных и земляных замыканий с логикой ускорения;
- восемь ступеней токовой направленной защиты нулевой последовательности (ТНЗНП) с логикой ускорения;
- токовую отсечку (ТО);
- ненаправленную максимальную токовую защиту (МТЗ);
- логику автоматического ускорения защит (АУ);
- блокировку при неисправностях в цепях напряжения (БНН);
- блокировку при длительном отсутствии напряжения (БДОН);
- защиту от обрыва проводника (ЗОП);
- защиту от неполнофазного режима (ЗНР);
- устройство резервирования отказа выключателя (УРОВ);
- логику отключения слабого конца от ДЗ (ЛОСК ДЗ);
- логику отключения слабого конца от ТНЗНП (ЛОСК ТНЗНП);
- функцию определения места повреждения (ОМП).

Терминал также содержит функции осциллографирования и регистрации.

Защиты в составе устройства обеспечивают селективное отключение в зоне их действия при всех видах КЗ на защищаемом объекте и на резервируемых участках электрической сети.

1.2 Функции устройства

1.2.1 Направленная высокочастотная защита линии (НВЧЗ)

1.2.1.1 Принцип работы

В терминале «ТОР 300 НВЧЗ 56Х» реализован полукомплект направленной высокочастотной защиты линий с абсолютной селективностью, которая предназначена для защиты двухконцевых или многоконцевых линий электропередачи.

НВЧЗ состоит из нескольких полукомплектов, устанавливаемых по концам ВЛ и, при необходимости, на ответвительных подстанциях. Устройство полукомплекта защиты для одной стороны ВЛ состоит из терминала защиты (релейная часть) и соответствующей аппаратуры ВЧ связи (высокочастотная часть), обеспечивающей передачу ВЧ сигналов на другую сторону защищаемой линии (или другие стороны, если это обусловлено условиями обеспечения селективности) по фазным проводам или по проводящим тросам (рисунок 1).

В состав релейной части входит терминал «ТОР 300 НВЧЗ 56Х». Высокочастотная часть защиты состоит из приемопередатчика, ВЧ аппаратуры и канала (линии) связи и соответствующей высоковольтной части. Приемопередатчик обеспечивает автоматический контроль канала связи.

Терминал «ТОР 300 НВЧЗ 56Х» предназначен для совместной работы с ВЧ постами типов: ПВЗУ-Е, ПВЗУ-М, ПВЗ-90М, ПВЗ-90М1, ПВЗЛ, ПВЗЛ-1, АВЗК-80 и другими, выполняемыми на полупроводниковой и микропроцессорной элементной базе. Сведения, необходимые для изучения, регулирования и эксплуатации ВЧ аппаратуры, содержатся в соответствующей технической документации их предприятий-изготовителей.

Установка, монтаж и подключение ВЧ аппаратуры на шкаф должны производиться непосредственно на месте эксплуатации шкафа в соответствии с АИПБ.656122.011-071.01 РЭ3.

Принцип работы ВЧ защиты основан на косвенном сравнении направления мощности обратной последовательности по концам защищаемой линии посредством ВЧ сигналов, передаваемых по каналам связи. Передача блокирующих ВЧ сигналов осуществляется по защищаемой линии с одного конца на другой посредством токов высокой частоты по каналу, в качестве которого может быть использована защищаемая линия.

Мощность обратной последовательности при несимметричных повреждениях в защищаемой линии направлена к месту установки полукомплектов защиты (при симметричных КЗ мощность прямой последовательности направлена, напротив, от шин в линию), что обусловлено местом повреждения, а также отсутствием нагрузочной составляющей в напряжении и токе обратной последовательности. В случае работы на линиях с тяговой нагрузкой вышеупомянутое условие обеспечивается использованием ИО, работающих по приращению тока прямой и обратной последовательностей.

В начальный момент возникновения повреждения срабатывают блокирующие (пусковые) ИО, обеспечивая тем самым ускоренный пуск ВЧ приёмопередатчика, который посылает блокирующий сигнал на противоположный конец линии. После срабатывания отключающих ИО, имеющих более грубые уставки по сравнению с блокирующими ИО, блокирующий ВЧ сигнал снимается тем полукомплектом защиты, для которого мощность обратной последовательности направлена к шинам в случае несимметричных КЗ либо мощность прямой последовательности направлена в линию при симметричных КЗ. В случае повреждения на защищаемой линии блокирующие ВЧ сигналы отсутствуют, и каждому из полукомплектов разрешается действовать на отключение выключателя. При КЗ «за спиной» одного из полукомплектов не происходит останова ВЧ приёмопередатчика на данном конце линии, и тем самым блокируются оба полукомплекта.

Для согласования с ПДЭ-2802 или с устройствами других производителей, установленными на противоположном конце ЛЭП, необходимо руководствоваться АИПБ.656122.011-071 РРУ и рекомендациями по расчету уставок соответствующих предприятий-изготовителей.

Защита селективно срабатывает при всех видах замыканий в защищаемой линии и не срабатывает при внешних замыканиях, неполнофазных режимах, реверсе мощности, качаниях, асинхронном режиме, несинхронных включениях и при оперативных переключениях, а также правильно функционирует в режиме опробования линии.

1.2.1.2 Пуск ВЧ приёмопередатчика (Пуск ВЧ пер.)

1.2.1.2.1 Принцип работы

Блок пуска ВЧ приёмопередатчика предназначен для пуска ВЧ приёмопередатчика и посылки блокирующего сигнала в первый момент возникновения повреждения и при повреждении вне защищаемой ЛЭП.

Функциональный блок пуска ВЧ приёмопередатчика приведен на рисунке 2, его реализация приведена на рисунке 3.

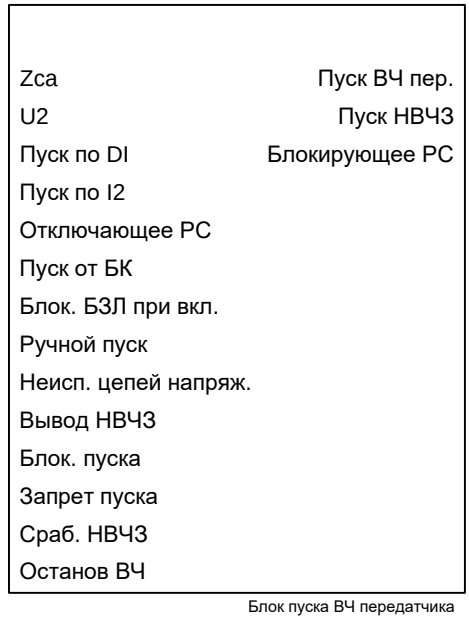


Рисунок 2 – Функциональный блок пуска ВЧ приёмопередатчика

Таблица 1 – Входы и выходы блока пуска ВЧ приёмопередатчика

Аналоговые входы	
Zca	Сопротивление междуфазного канала СА
U2	Компенсированное напряжение обратной последовательности
Аналоговые выходы	Отсутствуют
Логические входы	
Пуск по DI	Срабатывание ИО приращения тока прямой и обратной последовательности
Пуск по I2	Срабатывание ИО тока обратной последовательности
Отключающее РС	Срабатывание отключающего РС
Пуск от БК	Срабатывание блокировки при качаниях
Блок. БЗЛ при вкл.	Блокировка ВЧ защиты при включении выключателя
Ручной пуск	Ручной пуск ВЧ приёмопередатчика
Неисп. цепей напряж.	Сигнализация о неисправности в цепях напряжения
Вывод НВЧЗ	Вывод НВЧЗ
Блок. пуска	Блокировка пуска ВЧ приёмопередатчика
Запрет пуска	Запрет пуска ВЧ приёмопередатчика
Сраб. НВЧЗ	Срабатывание НВЧЗ
Останов ВЧ	Останов ВЧ приёмопередатчика
Логические выходы	
Пуск ВЧ пер.	Пуск ВЧ приёмопередатчика
Пуск НВЧЗ	Срабатывание пусковых ИО НВЧЗ
Блокирующее РС	Срабатывание пускового (блокирующего) РС

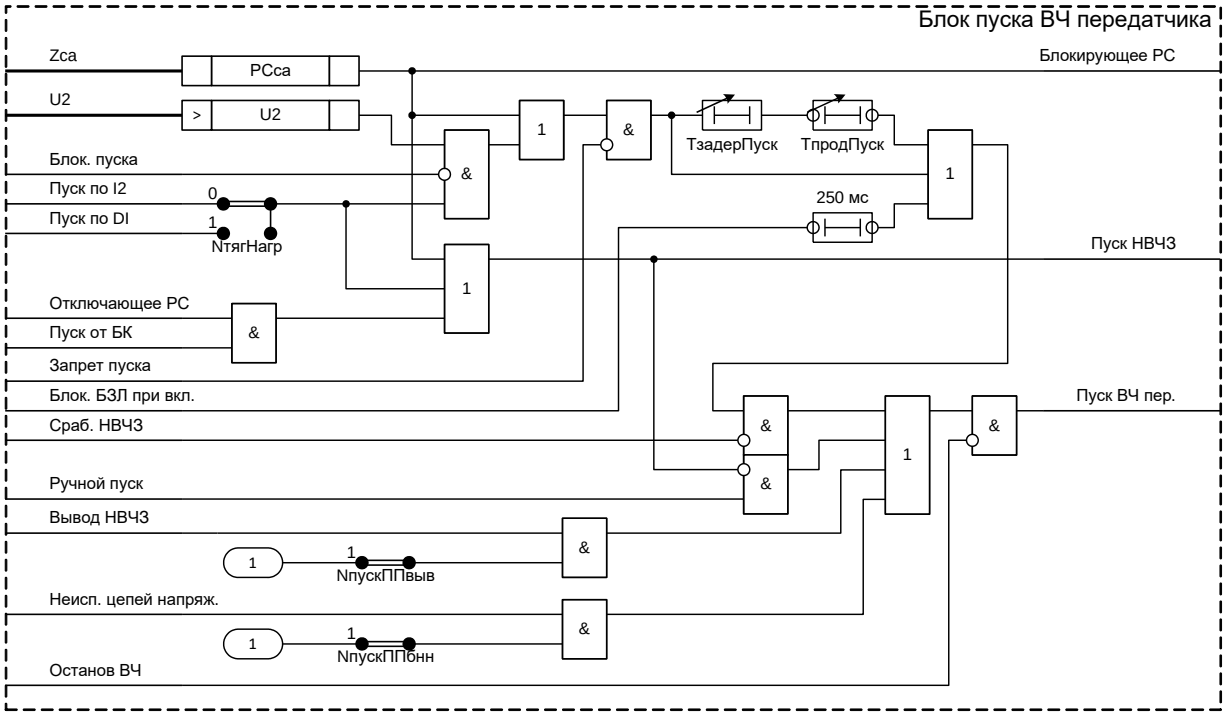


Рисунок 3 – Реализация программного модуля пуска ВЧ приёмопередатчика

В начальный момент возникновения повреждения срабатывают блокирующие ИО, обеспечивая тем самым ускоренный пуск ВЧ приёмопередатчика, который посылает блокирующий сигнал на противоположный конец линии.

Также пуск ВЧ приёмопередатчика может происходить при выполнении одного из следующих условий:

- наличие сигнала блокировки быстродействующих защит при включении;
- ручной пуск при отсутствии внутреннего сигнала «Пуск НВЧЗ»;
- вывод НВЧЗ из работы при введённом положении накладки «**NпускППвыв**»;
- выявление неисправности в цепях напряжения при введённом положении накладки «**NпускППбнн**».

Пуск ВЧ приёмопередатчика обеспечивается в случае выполнения следующих дополнительных условий:

- отсутствует сигнал срабатывания основного канала ВЧ защиты «Сраб. НВЧЗ»;
- отключающее РС находится в несработанном состоянии;
- не сработаны отключающие ИО по обратной последовательности, а в случае работы на тяговую нагрузку и по прямой последовательности (отсутствуют сигналы «Блок. пуска», «Запрет пуска»);
- отсутствует сигнал останова ВЧ приемопередатчика.

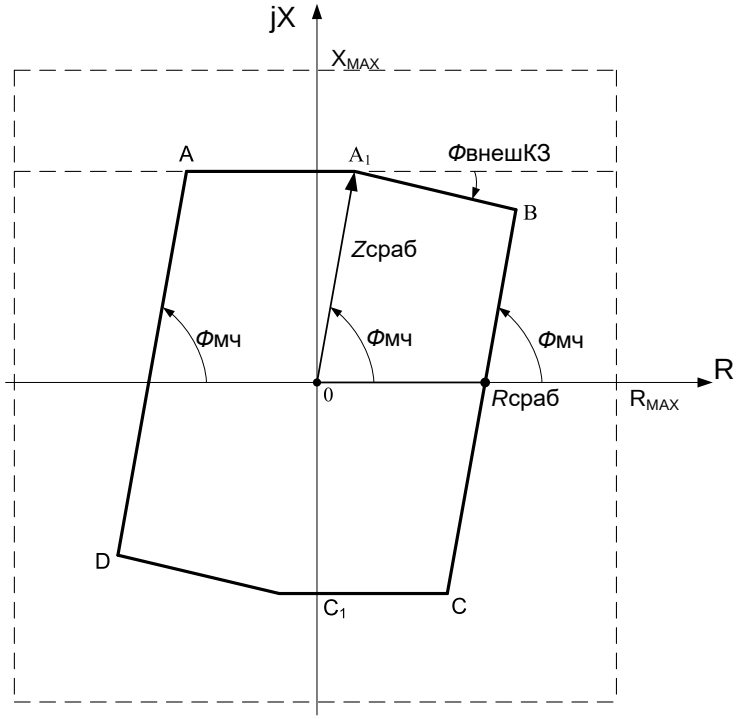
Ввод пуска ВЧ приёмопередатчика при выводе защиты осуществляется программной накладкой «**NпускППвыв**».

Ввод пуска ВЧ приёмопередатчика при неисправностях в цепях напряжения осуществляется программной накладкой «**NпускППбнн**».

С целью исключения излишней работы защиты из-за разновременности включения фаз выключателя при оперативных переключениях и в циклах АПВ по сигналу «Блок. БЗЛ при вкл.» происходит пуск ВЧ приёмопередатчика и продлевается на 250 мс.

При работе в сети с тяговой нагрузкой, характеризующейся наличием значительных по величине небалансов тока и компенсированного напряжения обратной последовательности, программная накладка «**NтягНагр**» переводится в соответствующее режиму положение «**NтягНагр**» = 1, выводя тем самым из работы ИО тока обратной последовательности. В работу вводятся ИО, контролирующие скорость изменения векторов тока прямой и обратной последовательностей и отстроенные от небалансов, порождаемых тяговой нагрузкой (сигнал «Пуск по DI»).

Реле сопротивления «**РСса**» (контур реле сопротивления задаётся на этапе проектирования защиты) осуществляет ускоренный пуск ВЧ приёмопередатчика при симметричных повреждениях на линии. В защите реализован традиционный алгоритм работы реле сопротивления – реле включено на междуфазное напряжение $\underline{U}_{CA}$ и соответствующую ему разность фазных токов. Характеристика срабатывания ненаправленного ИО сопротивления, показанная на рисунке 4, представляет собой многоугольник, который определяется координатами точек A, A1, B, C, C1, D. Она задается уставками «**Zсраб**», «**Rсраб**», «**Фмч**», «**ФвнешКЗ**».



Zсраб – сопротивление срабатывания

Rсраб – активное сопротивление уставки

Фмч – угол максимальной чувствительности

ФвнешКЗ – угол отстройки от внешних замыканий

Рисунок 4 – Характеристика срабатывания блокирующего РС

Диапазон изменения параметров ненаправленного ИО сопротивления, определяется максимально возможными координатами вершин характеристики срабатывания: A(R_A, X_A), B(R_B, X_B), C(R_C, X_C), D(R_D, X_D). Все координаты точек, задающие характеристику срабатывания, должны находиться в следующих диапазонах:

–R_{MAX}<(R_A, R_B, R_C, R_D)<R_{MAX};

–X_{MAX}<(X_A, X_B, X_C, X_D)<X_{MAX}.

Максимальное значение зависит от исполнения токовых цепей:

R_{MAX} = 500 Ом/фазу, X_{MAX} = 500 Ом/фазу – для $I_{ном}$ = 1 А;

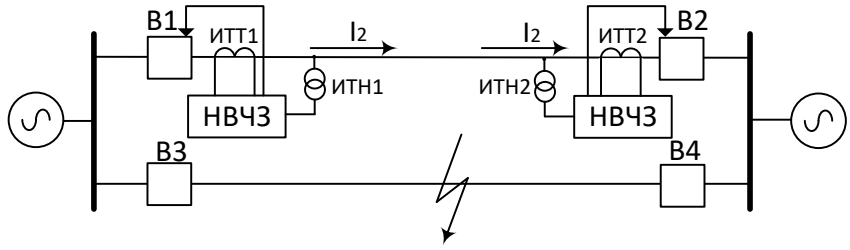
R_{MAX} = 100 Ом/фазу, X_{MAX} = 100 Ом/фазу – для $I_{ном}$ = 5 А.

Минимальные значения уставок «**Zсраб**» и «**Rсраб**» также зависят от исполнения токовых цепей:

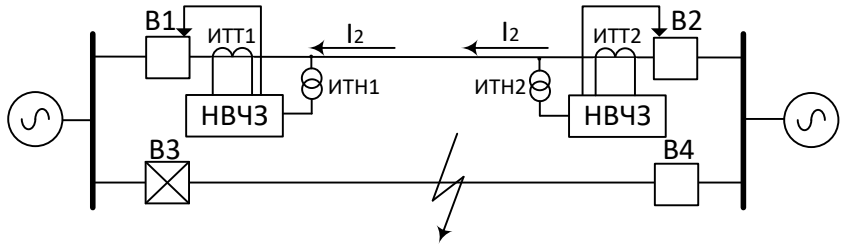
Zсраб = 0,5 Ом/фазу, Rсраб = 0,5 Ом/фазу – для $I_{ном}$ = 1 А;

Zсраб = 0,1 Ом/фазу, Rсраб = 0,1 Ом/фазу – для $I_{ном}$ = 5 А.

Если параллельные линии подключены к общим шинам на обоих концах, то защита может отключить неселективно из-за реверса тока. Это нежелательное отключение воздействует на неповрежденную линию при ликвидации повреждения на другой линии, что приводит к полной потере передачи электроэнергии между двумя системами, как показано на рисунке 5.



а) повреждение на параллельной линии



б) выключатель В3 отключен

Рисунок 5 – Логика работы защиты при реверсе мощности

При повреждении на параллельной линии оба полукомплекта защищаемой линии воспринимают его как внешнее повреждение; срабатывают блокирующие ИО и запускаются ВЧ приёмопередатчики. Затем срабатывает ИО РНМОП полукомплекта Б и останавливает свой ВЧ приёмопередатчик, однако отключения выключателя В2 не происходит из-за наличия блокирующего ВЧ сигнала от полукомплекта А.

При отключении выключателя В3 на защищаемой линии возникает режим реверса мощности обратной последовательности, при котором она изменяет свое направление. В установившемся режиме, после изменения направления мощности обратной последовательности, логика действия защиты аналогична описанной выше. Во время переходного процесса может возникнуть ситуация, при которой ИО РНМОП полукомплекта А быстрее отреагирует на изменение направления мощности, вследствие чего оба ВЧ приёмопередатчика окажутся остановленными до момента переориентации ИО РНМОП полукомплекта Б, что приведет к отключению выключателей В1 и В2. Для исключения излишнего действия защиты в указанном режиме блокирующий ВЧ сигнал полукомплекта А (рисунок 5) продлевается на время, определяемое уставкой «**ТпродПуск**» при условии, что длительность блокирующего сигнала превышает время, определяемое уставкой «**ТзадерПуск**». Выдержка времени на срабатывание «**ТзадерПуск**» фиксирует устойчивое определение обратного направления на КЗ.

Таблица 2 – Уставки модуля пуска ВЧ приёмопередатчика

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
Напряжение срабатывания ИО компенсированного напряжения обратной последовательности, % от $U_{ф.ном}$	U2	от 1 до 100 (шаг 1)	3
Сопротивление срабатывания, Ом	Zсраб	от 0,1 до 500 (шаг 0,01)	22
Активное сопротивление срабатывания, Ом	Rсраб	от 0,1 до 500 (шаг 0,01)	10
Угол максимальной чувствительности, градус	Фмч	от 30 до 90 (шаг 1)	70
Угол отстройки от внешних КЗ, градус	ФвнешКЗ	от 0 до 60 (шаг 1)	0
Работа ИО приращения тока при работе в сети с тяговой нагрузкой (0 – нет, 1 – да)	NтягНагр	–	0

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
Посыл блокирующего ВЧ сигнала при выводе защиты (0 – нет, 1 – да)	NпускППвыв	–	1
Посыл блокирующего ВЧ сигнала при неисправностях в цепях напряжения (0 – нет, 1 – да)	NпускППбнн	–	1
ВВС фиксации посыла блокирующего ВЧ сигнала, мс	ТзадерПуск	от 1 до 500 (шаг 1)	40
Продление посыла блокирующего ВЧ сигнала при определении режима реверса мощности, мс	ТпродПуск	от 20 до 2000 (шаг 1)	25

1.2.1.2.2 Средняя основная погрешность по напряжению срабатывания ИО напряжения не превышает ±3 % от уставки или ±5 % от номинальной величины.

1.2.1.2.3 Дополнительная погрешность по напряжению срабатывания ИО напряжения при изменении температуры окружающего воздуха в рабочем диапазоне температур не превышает ±5 % от среднего значения, измеренного при температуре (20±5) °С.

1.2.1.2.4 Дополнительная погрешность по напряжению срабатывания ИО напряжения при изменении частоты в диапазоне от 0,9 до 1,1 $f_{ном}$ не превышает ±5 % от среднего значения, измеренного при номинальной частоте.

1.2.1.2.5 Коэффициент возврата ИО напряжения не менее 0,9 для максимальных ИО.

1.2.1.2.6 Время срабатывания максимальных ИО напряжения не превышает 15 мс при подаче соответствующего трехкратного напряжения срабатывания 3 $U_{сраб}$.

1.2.1.2.7 Время возврата максимального ИО напряжения не превышает 30 мс при сбросе напряжения от 3 $U_{сраб}$ до нуля.

1.2.1.2.8 Ток точной работы $I_{тр}$ ИО сопротивления при работе на угле максимальной чувствительности не превышает 0,05 $I_{ном}$ во всем диапазоне уставок.

1.2.1.2.9 Минимальное междуфазное напряжение, при котором обеспечиваются точностные параметры ИО сопротивления, составляет 0,5 В.

1.2.1.2.10 Средняя основная погрешность ИО сопротивления по величине сопротивления срабатывания «**Zсраб**» при токе, равном $I_{ном}$ (или в зависимости от уставки меньшем токе, исходя из максимального напряжения на зажимах РС, равного 100 В), не превышает ±3 % от уставки.

1.2.1.2.11 Средняя основная абсолютная погрешность ИО сопротивления по углам наклона характеристики срабатывания «**Фмч**», «**ФвнешКЗ**» при токе КЗ, равном $I_{ном}$ (или в зависимости от уставки меньшем токе, исходя из максимального напряжения на зажимах РС, равного 100 В), не превышает ±5°.

1.2.1.2.12 Дополнительная абсолютная погрешность ИО сопротивления по углам наклона характеристики срабатывания «**Фмч**», «**ФвнешКЗ**» при изменения тока КЗ в диапазоне от 2 $I_{тр}$ до 30 $I_{ном}$ не превышает ±7º относительно значений, измеренных при $I_{ном}$.

1.2.1.2.13 Дополнительная погрешность ИО сопротивления по величине сопротивления срабатывания «**Zсраб**» при изменении температуры окружающего воздуха в рабочем диапазоне температур не превышает ±5 % от среднего значения, определенного при температуре (20±5) °С.

1.2.1.2.14 Дополнительная погрешность ИО сопротивления по величине сопротивления срабатывания «**Zсраб**» при изменении частоты в диапазоне от 0,9 до 1,1 $f_{ном}$ не превышает ±5 % от среднего значения, измеренного при номинальной частоте.

1.2.1.2.15 Коэффициент возврата ИО сопротивления не более 1,1.

1.2.1.2.16 Время срабатывания ИО сопротивления при работе на угле максимальной чувствительности, токах КЗ не менее 3 $I_{тр}$ и скачкообразном уменьшении напряжения на

входе ИО от величины, соответствующей сопротивлению на зажимах ИО не менее 1,2 $Z_{срab}$, до величины, соответствующей 0,6 $Z_{срab}$, не превышает 25 мс.

1.2.1.2.17 Время возврата ИО сопротивления при работе на угле максимальной чувствительности, токах КЗ не менее 3 $I_{тр}$ и скачкообразном увеличении напряжения на входе ИО от величины, соответствующей сопротивлению на зажимах ИО 0,1 $Z_{срab}$, до величины, соответствующей 1,2 $Z_{срab}$ (но не более 100 В), не превышает 50 мс.

1.2.1.3 Блокировка при качаниях (БК)

1.2.1.3.1 Принцип работы

Для предотвращения неселективного срабатывания отключающих реле сопротивления во время качаний или асинхронного хода в защите предусмотрена блокировка при качаниях.

Функциональный блок БК приведен на рисунке 6, его реализация приведена на рисунке 7.

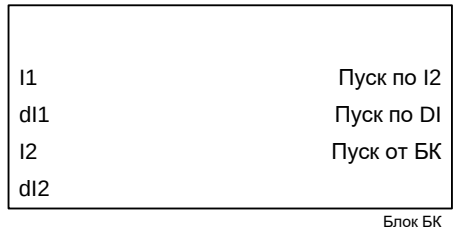


Рисунок 6 – Функциональный блок БК

Таблица 3 – Входы и выходы функционального блока БК

Аналоговые входы	
I1	Ток прямой последовательности
dI1	Аварийная составляющая тока прямой последовательности
I2	Ток обратной последовательности
dI2	Аварийная составляющая тока обратной последовательности
Аналоговые выходы	Отсутствуют
Логические входы	Отсутствуют
Логические выходы	
Пуск по I2	Срабатывание ИО тока обратной последовательности
Пуск по DI	Срабатывание ИО приращения тока прямой и обратной последовательности
Пуск от БК	Срабатывание блокировки при качаниях

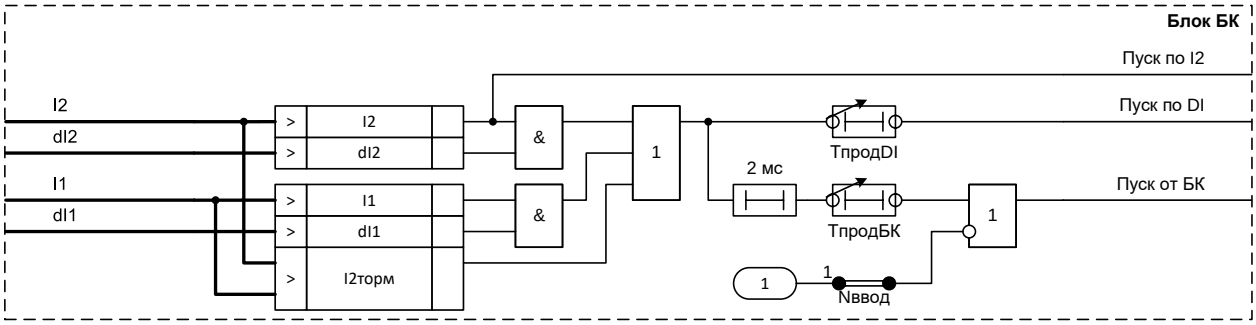


Рисунок 7 – Реализация программного модуля БК

Пусковыми органами БК являются ИО тока обратной последовательности с торможением от тока прямой последовательности «**I2торм**» и ИО, реагирующие на скорость изменения векторов тока прямой и обратной последовательности «**dI1**» и «**dI2**». При качаниях и асинхронном ходе величины приращения токов прямой и обратной последовательности малы, тогда как при возникновении КЗ их уровень достаточен для срабатывания. При этом дополнительно контролируются уровни токов прямой и обратной последовательности (ИО «**I1**» и «**I2**»).

Поскольку выходной сигнал ИО, реагирующих на приращение тока прямой и обратной последовательности, импульсный, в защите предусмотрена фиксация срабатывания ИО на время, определяемое уставкой «**ТпродDI**», и фиксация формирования сигнала срабатывания БК «Пуск от БК» на время, определяемое уставкой «**ТпродБК**».

В случае выявления повреждения, ИО БК на своём выходе формирует логический сигнал «Пуск от БК», разрешая тем самым работу ИО сопротивления.

Дополнительно органом БК выдаются сигналы «Пуск по DI» при срабатывании ИО, реагирующих на скорость изменения векторов тока прямой и обратной последовательности «**dI1**» и «**dI2**», и «Пуск по I2» при срабатывании ИО тока обратной последовательности «**I2**».

БК может быть введена в работу при помощи программной накладки «**Nввод**».

Вид тормозной характеристики срабатывания ИО тока обратной последовательности с торможением от модуля первой гармоники тока прямой последовательности «**I2торм**», состоящей из двух участков, приведен на рисунке 8. Первый участок выполнен горизонтальным, второй – наклонным. Ток срабатывания ИО на первом участке определяется уставкой «**I2торм**». Наклон регулируется с помощью коэффициента торможения «**Кторм**».

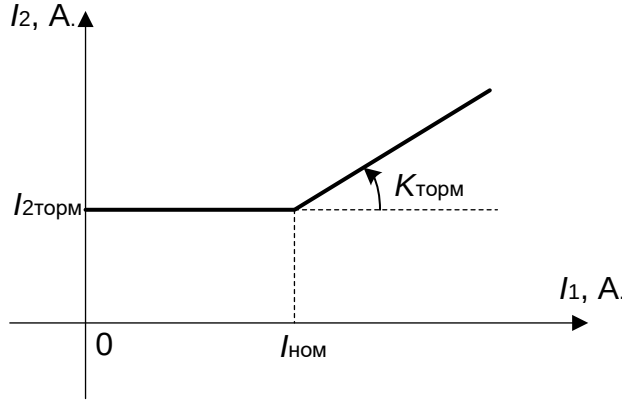


Рисунок 8 – Характеристика ИО тока обратной последовательности с торможением тока прямой последовательности

Таблица 4 – Уставки БК

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
Ток срабатывания ИО тока прямой последовательности, % от $I_{ном}$	I1	от 5 до 1000 (шаг 1)	60
Ток срабатывания ИО тока обратной последовательности, % от $I_{ном}$	I2	от 5 до 1000 (шаг 1)	5
Ток срабатывания ИО приращения тока прямой последовательности, % от $I_{ном}$	dI1	от 20 до 2000 (шаг 1)	300
Ток срабатывания ИО приращения тока обратной последовательности, % от $I_{ном}$	dI2	от 5 до 1000 (шаг 1)	5
Ток срабатывания ИО тока обратной последовательности с торможением от модуля первой гармоники тока прямой последовательности, % от $I_{ном}$	I2торм	от 5 до 50 (шаг 1)	20
Коэффициент торможения ИО тока обратной последовательности с торможением, %	Кторм	от 0 до 15 (шаг 0,1)	5
Работа блокировки при качаниях (0 – нет, 1 – да)	Nввод	–	1
Продление сигнала пуска блокировки при качаниях, мс	ТпродБК	от 200 до 1000 (шаг 1)	250

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
Продление сигнала пуска ИО приращения тока, мс	ТпродDI	от 10 до 250 (шаг 1)	250

1.2.1.3.2 Средняя основная погрешность по току срабатывания ИО тока не превышает ±3 % от уставки или ±5 % от номинальной величины, а реагирующих на приращения тока – ±10 % от уставки.

1.2.1.3.3 Дополнительная погрешность по току срабатывания ИО тока при изменении температуры окружающего воздуха в рабочем диапазоне температур не превышает ±5 % от среднего значения, измеренного при температуре (20±5) °С, а реагирующих на приращения тока – ±10 %.

1.2.1.3.4 Дополнительная погрешность по току срабатывания ИО тока при изменении частоты в диапазоне от 0,9 до 1,1 $f_{ном}$ не превышает ±5 % от среднего значения, измеренного при номинальной частоте, а реагирующих на приращения тока – ±10 %.

1.2.1.3.5 Коэффициент возврата ИО тока не менее 0,9 для максимальных ИО.

1.2.1.3.6 Время срабатывания максимальных ИО тока не превышает 15 мс при подаче трехкратного тока срабатывания 3 $I_{сраб}$ и не превышает 40 мс при подаче тока, превышающего ток срабатывания на 20 % (1,2 $I_{сраб}$).

1.2.1.3.7 Время возврата максимальных ИО тока не превышает 30 мс при сбросе тока от 10 $I_{сраб}$ до нуля.

1.2.1.3.8 Время срабатывания ИО приращения тока не превышает 15 мс, время возврата – 30 мс при скачкообразном изменении тока от нуля до 3 $I_{сраб}$ и от 3 $I_{сраб}$ до нуля.

1.2.1.4 Пуск на отключение (Пуск на откл.)

1.2.1.4.1 Принцип работы

Функциональный блок пуска на отключение защиты приведен на рисунке 9, его реализация приведена на рисунке 10.

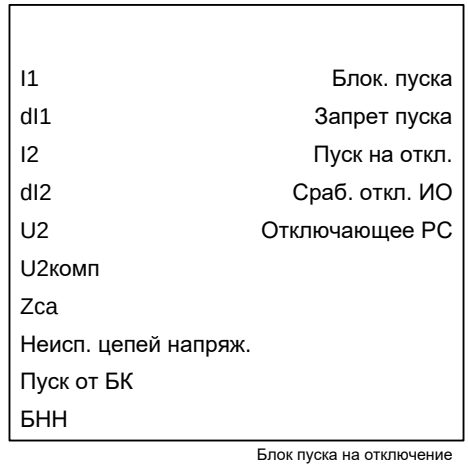


Рисунок 9 – Функциональный блок пуска на отключение

Таблица 5 – Входы и выходы функционального блока пуска на отключение

Аналоговые входы	
I1	Ток прямой последовательности
dI1	Приращение тока прямой последовательности
I2	Ток обратной последовательности
dI2	Приращение обратной прямой последовательности
U2	Напряжение обратной последовательности
U2комп	Компенсированное напряжение обратной последовательности
Zca	Сопротивление междуфазного контура СА
Аналоговые выходы	Отсутствуют

Логические входы	
Неисп. цепей напряж.	Сигнализация о неисправности в цепях напряжения
Пуск от БК	Срабатывание блокировки при качаниях
БНН	Срабатывание блокировки при неисправностях в цепях напряжения
Логические выходы	
Блок. пуска	Блокировка пуска ВЧ приёмопередатчика
Запрет пуска	Запрет пуска на отключение выключателя
Пуск на откл.	Пуск на отключение выключателя
Сраб. откл. ИО	Срабатывание токовых отключающих ИО
Отключающее РС	Срабатывание отключающего РС

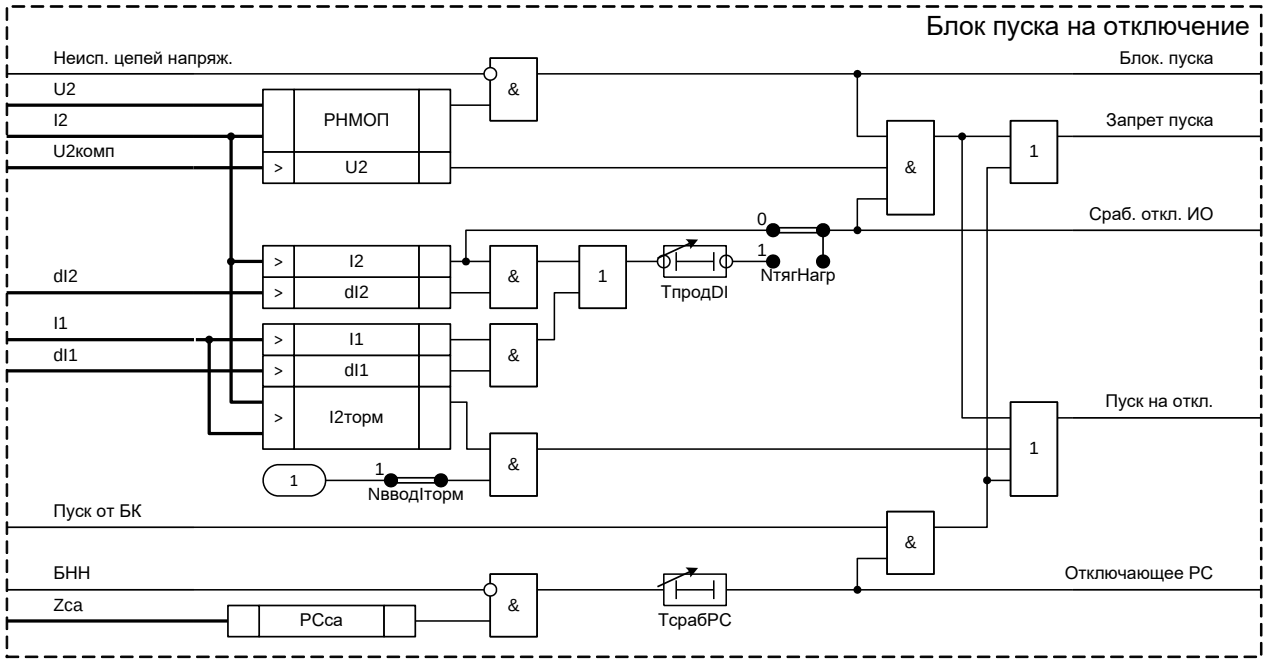


Рисунок 10 – Реализация программного модуля пуска на отключение

При КЗ на защищаемой ЛЭП после срабатывания блокирующих ИО, осуществляющих пуск ВЧ приёмопередатчика, срабатывают отключающие ИО «**I2**», «**U2**», «**РНМОП**», «**I2торм**» и «**РСса**», формирующие сигнал пуска на отключение защиты.

При работе в сети с тяговой нагрузкой, ИО «**I2**» выводится из работы накладкой «**NтягНагр**», описание которой приведено в 1.2.1.2.1.

В работу вводятся ИО «**dI1**» и «**dI2**», контролирующие скорость изменения векторов тока прямой и обратной последовательностей и отстроенные от небалансов, порождаемых тяговой нагрузкой. При этом дополнительно контролируются уровни токов прямой и обратной последовательности (ИО «**I1**» и «**I2**»). Поскольку выходной сигнал таких ИО импульсный, в защите предусмотрена фиксация срабатывания ИО на время «**ТпродDI**».

ИО тока обратной последовательности с торможением от первой гармоники тока прямой последовательности «**I2торм**» может быть введён в работу при помощи программной накладки «**NвводIторм**». Данный ИО вводится в работу при работе на длинных воздушных линиях электропередачи, питающихся от мощных подстанций.

Прямонаправленное РНМОП срабатывает при выполнении следующего условия

$$-I_2\cos(\varphi_{UI}-\text{ФмчРНМОП})>\text{IпрямРНМОП},$$

где I_2 – ток обратной последовательности;

φ_{UI} – угол между измеряемым током и расчетным напряжением нулевой последовательности ($\underline{U}_{2РНМ}=\underline{U}_2+\underline{I}_2\cdot\underline{Z}_{смещ,2}$), положительное значение отсчитывается от напряжения к току;

$\underline{Z}_{смещ,2}$ = RсмещРНМОП+jXсмещРНМОП – сопротивление смещения точки подключения ИТН в линию, используется для повышения чувствительности органа направленности при питании

энергообъектов, отходящих от мощных станций, когда напряжение нулевой последовательности при замыканиях на землю близко к нулю;

«**ФмчРНМОП**» – уставка по углу максимальной чувствительности;

«**IпрямРНМОП**» – уставка по току срабатывания прямонаправленного органа (аналог тока точной работы реле сопротивления).

Характеристика срабатывания РНМОП приведена на рисунке 11.

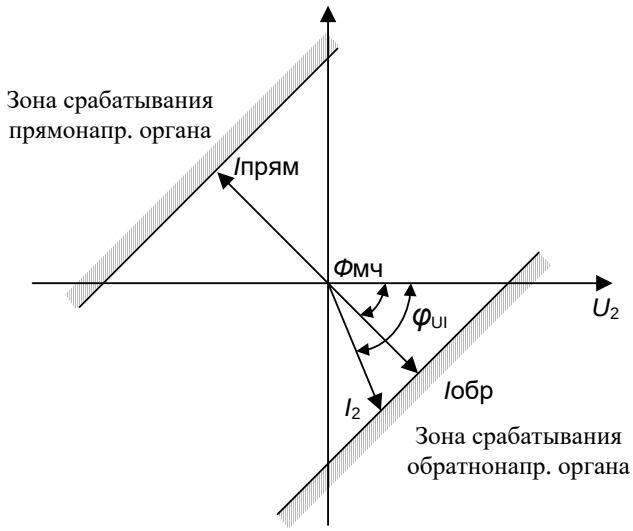


Рисунок 11 – Характеристика срабатывания РНМОП

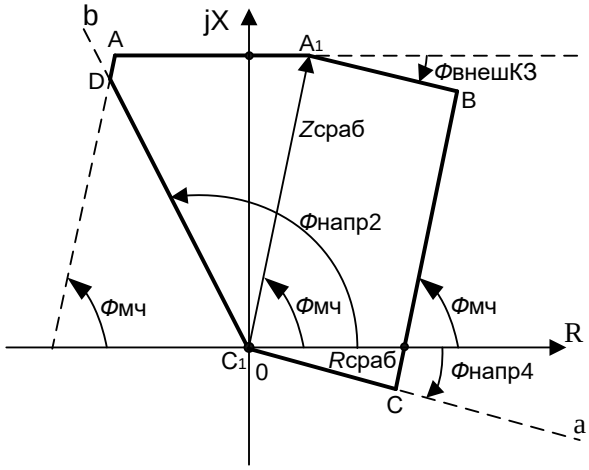
Реле сопротивления «**Откл РСса**» предназначено для подготовки цепей отключения при симметричных повреждениях на линии. Для разрешения действия отключающего РС на срабатывание защиты необходимо срабатывание БК и отсутствие неисправностей цепей напряжения. Выдержкой времени «**ТсрабРС**» задаётся задержка на формирование сигнала срабатывания отключающего РС.

В защите реализован алгоритм РС с шестиугольной характеристикой, реализующий следующее расчётное выражение

$$\underline{Z}_{CA} = \frac{(1-K_{\text{памяти}})(\underline{U}_{\text{C}} - \underline{U}_{\text{A}}) + K_{\text{памяти}}(\underline{U}_{\text{C,предш}} - \underline{U}_{\text{A,предш}})}{\underline{I}_{\text{C}} - \underline{I}_{\text{A}}},$$

где $K_{\text{памяти}}$ – коэффициент работы по памяти. При близких трехфазных КЗ, когда все напряжения близки к нулю, для определения направленности замеры сопротивления формируются с использованием величин предаварийного режима (индекс «предш» означает, что берется величина, записанная в память 40 мс назад).

Характеристика срабатывания имеет шестиугольную форму и не охватывает начало координат (рисунок 12).



Zсраб – сопротивление срабатывния

Rсраб – активное сопротивление срабатывния

Фмч – угол максимальной чувствительности

ФвнешКЗ – угол отстройки от внешних замыканий

Фнапр2 – угол характеристики направленности отрицательных переходных сопротивлений

Фнапр4 – угол характеристики направленности в четвертый квадрант

Рисунок 12 – Характеристика срабатывания отключающего РС

Вид тормозной характеристики срабатывания ИО тока обратной последовательности с торможением от модуля первой гармоники тока прямой последовательности «**I2торм**», состоящей из двух участков, приведен на рисунке 8. Первый участок выполнен горизонтальным, второй – наклонным. Ток срабатывания ИО на первом участке определяется уставкой «**I2торм**». Наклон регулируется с помощью коэффициента торможения «**Кторм**».

Таблица 6 – Уставки пуска на отключение

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
Ток срабатывания ИО тока прямой последовательности, % от $I_{ном}$	I1	от 5 до 2000 (шаг 1)	90
Ток срабатывания ИО тока обратной последовательности, % от $I_{ном}$	I2	от 5 до 2000 (шаг 1)	8
Ток срабатывания ИО приращения тока прямой последовательности, % от $I_{ном}$	dI1	от 40 до 2000 (шаг 1)	450
Ток срабатывания ИО приращения тока обратной последовательности, % от $I_{ном}$	dI2	от 5 до 2000 (шаг 1)	8
Ток срабатывания ИО тока обратной последовательности с торможением от модуля первой гармоники тока прямой последовательности, % от $I_{ном}$	I2торм	от 10 до 100 (шаг 1)	30
Коэффициент торможения ИО тока обратной последовательности с торможением, %	Кторм	от 0 до 15 (шаг 0,1)	5
Напряжение срабатывания ИО компенсированного напряжения обратной последовательности, % от $U_{ф.ном}$	U2	от 1 до 100 (шаг 1)	4
Сопротивление срабатывания, Ом	Zсраб	от 0,1 до 500 (шаг 0,01)	20
Активное сопротивление срабатывания, Ом	Rсраб	от 0,1 до 500 (шаг 0,01)	10
Угол максимальной чувствительности, градус	Фмч	от 30 до 90 (шаг 1)	70
Угол отстройки от внешних КЗ, градус	ФвнешКЗ	от 0 до 60 (шаг 1)	15
Угол характеристики направленности в четвертый квадрант, градус	Фнапр4	от 0 до 60 (шаг 1)	20
Угол характеристики направленности отрицательных переходных сопротивлений, градус	Фнапр2	от 90 до 150 (шаг 1)	115
Ток срабатывания прямонаправленного РНМОП, % от $I_{ном}$	IпрямРНМОП	от 5 до 150 (шаг 1)	47
Угол максимальной чувствительности РНМОП, градус	ФмчРНМОП	от 0 до 90 (шаг 1)	65
Активная составляющая сопротивления искусственного смещения точки подключения ИТН (РНМОП), Ом	RсмещРНМОП	от -50 до 50 (шаг 0,01)	0
Реактивная составляющая сопротивления искусственного смещения точки подключения ИТН (РНМОП), Ом	XсмещРНМОП	от -50 до 50 (шаг 0,01)	0

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
Работа ИО тока обратной последовательности с торможением от первой гармоники тока прямой последовательности (0 – нет, 1 – да)	NвводIторм	–	0
Продление сигнала срабатывания ИО приращения тока, мс	ТпродDI	от 10 до 250 (шаг 1)	250
ВВС отключающего ИО сопротивления, мс	ТсрабРС	от 2 до 20 (шаг 1)	10

1.2.1.4.2 Средняя основная погрешность по току (напряжению) срабатывания ИО тока (напряжения) не превышает ±3 % от уставки или ±5 % от номинальной величины, а реагирующих на приращения тока – ±10 % от уставки.

1.2.1.4.3 Дополнительная погрешность по току (напряжению) срабатывания ИО тока (напряжения) при изменении температуры окружающего воздуха в рабочем диапазоне температур не превышает ±5 % от среднего значения, измеренного при температуре (20±5) °С, а реагирующих на приращения тока – ±10 %.

1.2.1.4.4 Дополнительная погрешность по току (напряжению) срабатывания ИО тока (напряжения) при изменении частоты в диапазоне от 0,9 до 1,1 $f_{ном}$ не превышает ±5 % от среднего значения, измеренного при номинальной частоте, а реагирующих на приращения тока – ±10 %.

1.2.1.4.5 Коэффициент возврата ИО тока (напряжения) не менее 0,9 для максимальных ИО.

1.2.1.4.6 Время срабатывания максимальных ИО тока не превышает 15 мс при подаче трехкратного тока срабатывания 3 $I_{сраб}$ и не превышает 40 мс при подаче тока, превышающего ток срабатывания на 20 % (1,2 $I_{сраб}$).

1.2.1.4.7 Время срабатывания максимальных ИО напряжения не превышает 15 мс при подаче соответствующего трехкратного напряжения срабатывания 3 $U_{сраб}$.

1.2.1.4.8 Время возврата максимальных ИО тока (напряжения) не превышает 30 мс при сбросе тока от 10 $I_{сраб}$ до нуля (напряжения от 3 $U_{сраб}$ до нуля).

1.2.1.4.9 Время срабатывания ИО приращения тока не превышает 15 мс, время возврата – 30 мс при скачкообразном изменении тока от нуля до 3 $I_{сраб}$ и от 3 $I_{сраб}$ до нуля.

1.2.1.4.10 Ток точной работы $I_{тр}$ ИО сопротивления при работе на угле максимальной чувствительности не превышает 0,05 $I_{ном}$ во всем диапазоне уставок.

1.2.1.4.11 Минимальное междуфазное напряжение, при котором обеспечиваются точностные параметры ИО сопротивления, составляет 0,5 В.

1.2.1.4.12 Средняя основная погрешность ИО сопротивления по величине сопротивления срабатывания «**Zсраб**» при токе, равном $I_{ном}$ (или в зависимости от уставки меньшем токе, исходя из максимального напряжения на зажимах РС, равного 100 В), не превышает ±3 % от уставки.

1.2.1.4.13 Средняя основная абсолютная погрешность ИО сопротивления по углам наклона характеристики срабатывания «**Фмч**», «**ФвнешКЗ**», «**Фнапр2**», «**Фнапр4**» при токе КЗ, равном $I_{ном}$ (или в зависимости от уставки меньшем токе, исходя из максимального напряжения на зажимах РС, равного 100 В), не превышает ±5°.

1.2.1.4.14 Дополнительная абсолютная погрешность ИО сопротивления по углам наклона характеристики срабатывания «**Фмч**», «**ФвнешКЗ**», «**Фнапр2**», «**Фнапр4**» при изменения тока КЗ в диапазоне от 2 $I_{тр}$ до 30 $I_{ном}$ не превышает ±7° относительно значений, измеренных при $I_{ном}$.

1.2.1.4.15 Дополнительная погрешность ИО сопротивления по величине сопротивления срабатывания «**Zсраб**» при изменении температуры окружающего воздуха в

рабочем диапазоне температур не превышает ±5 % от среднего значения, определенного при температуре (20±5) °С.

1.2.1.4.16 Дополнительная погрешность ИО сопротивления по величине сопротивления срабатывания «**Zсраб**» при изменении частоты в диапазоне от 0,9 до 1,1 $f_{ном}$ не превышает ±5 % от среднего значения, измеренного при номинальной частоте.

1.2.1.4.17 Коэффициент возврата ИО сопротивления не более 1,1.

1.2.1.4.18 Время срабатывания ИО сопротивления при работе на угле максимальной чувствительности, токах КЗ не менее 3 $I_{тр}$ и скачкообразном уменьшении напряжения на входе ИО от величины, соответствующей сопротивлению на зажимах ИО не менее 1,2 $Z_{сраб}$, до величины, соответствующей 0,6 $Z_{сраб}$, не превышает 25 мс.

1.2.1.4.19 Время возврата ИО сопротивления при работе на угле максимальной чувствительности, токах КЗ не менее 3 $I_{тр}$ и скачкообразном увеличении напряжения на входе ИО от величины, соответствующей сопротивлению на зажимах ИО 0,1 $Z_{сраб}$, до величины, соответствующей 1,2 $Z_{сраб}$ (но не более 100 В), не превышает 50 мс.

1.2.1.4.20 Средняя основная погрешность РНМ не превышает ±10 % от уставки.

1.2.1.4.21 Средняя основная абсолютная погрешность РНМ по углу максимальной чувствительности не превышает ±5°.

1.2.1.4.22 Дополнительная погрешность РНМ по току и напряжению срабатывания при изменении температуры окружающего воздуха в рабочем диапазоне температур не превышает ±5 % от среднего значения, измеренного при температуре (20±5) °С.

1.2.1.4.23 Дополнительная погрешность РНМ по току и напряжению срабатывания при изменении частоты в диапазоне от 0,9 до 1,1 $f_{ном}$ не превышает ±10 % от среднего значения, измеренного при номинальной частоте.

1.2.1.4.24 Дополнительная погрешность по току срабатывания РНМ при изменении напряжения от 3 $U_{сраб}$ до 180 В и тока от 3 $I_{сраб}$ до 20 $I_{ном}$ не превышает ±10 %.

1.2.1.4.25 Коэффициент возврата РНМ по току и напряжению не менее 0,9.

1.2.1.4.26 Время срабатывания РНМ не превышает 35 мс при одновременной подаче синусоидального напряжения 3 $U_{сраб}$ и тока 3 $I_{сраб}$.

1.2.1.4.27 Время возврата РНМ не превышает 40 мс при одновременном сбросе напряжения от 3 $U_{сраб}$ до нуля и тока от 3 $I_{сраб}$ до нуля.

1.2.1.5 Определение КЗ в ЛЭП (КЗ в ЛЭП)

1.2.1.5.1 Принцип работы

Для предотвращения ложного срабатывания НВЧЗ при КЗ за трансформатором ответвления при наличии мощного ответвления на защищаемой линии в устройстве может быть предусмотрен блок определения КЗ в ЛЭП.

Функциональный блок определения КЗ в ЛЭП приведен на рисунке 13, его реализация приведена на рисунке 14.

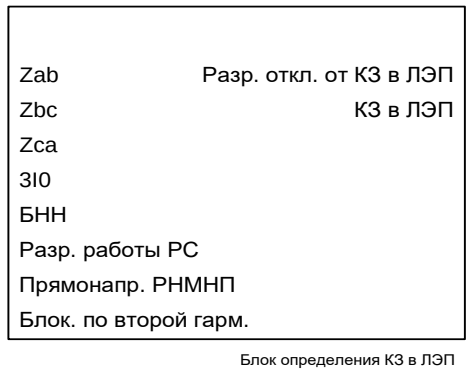


Рисунок 13 – Функциональный блок определения КЗ в ЛЭП

Таблица 7 – Входы и выходы функционального блока определения КЗ в ЛЭП

Аналоговые входы	
Zab, Zbc, Zca	Сопротивление междуфазных контуров АВ, ВС, СА
3I0	Утроенный ток нулевой последовательности
Аналоговые выходы	Отсутствуют
Логические входы	
БНН	Срабатывание блокировки при неисправностях в цепях напряжения
Разр. работы РС	Разрешение работы РС
Прямонапр. РНМНП	Срабатывание прямонаправленного РНМНП
Блок. по второй гарм.	Срабатывание блокировки по второй гармонике
Логические выходы	
Разр. откл. от КЗ в ЛЭП	Разрешение отключения выключателя от модуля определения КЗ в ЛЭП
КЗ в ЛЭП	Срабатывание ИО определения КЗ в ЛЭП

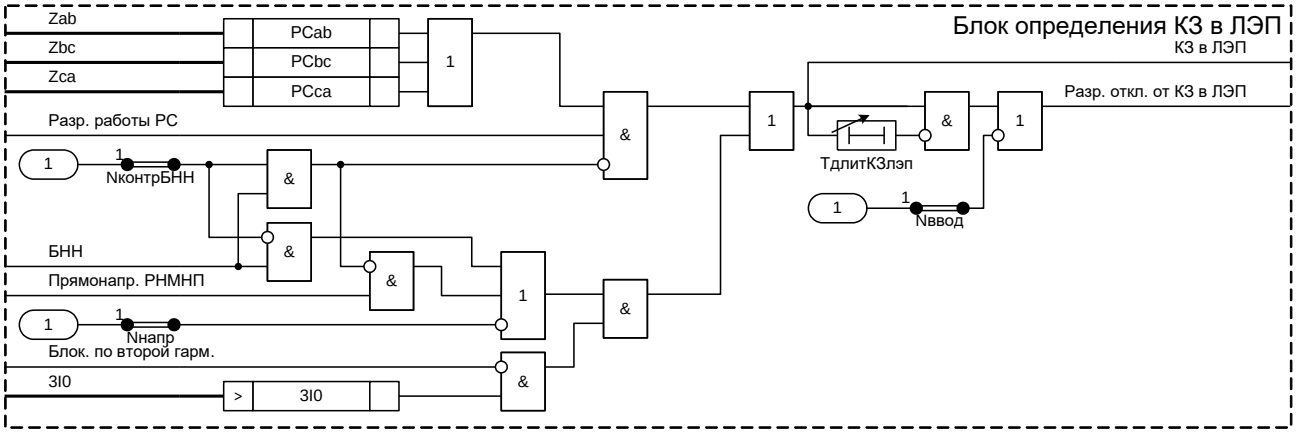


Рисунок 14 – Реализация программного модуля определения КЗ в ЛЭП

Основными ИО блока определения КЗ в ЛЭП являются ИО сопротивления «**PCab**», «**PCbc**» и «**PCca**», отстроенные от повреждений за трансформаторами ответвлений. ИО включены на междуфазные напряжения $\underline{U}_{AB}$, $\underline{U}_{BC}$, $\underline{U}_{CA}$ и соответствующие им разности фазных токов. Характеристики срабатывания имеют шестиугольную форму (рисунок 15).

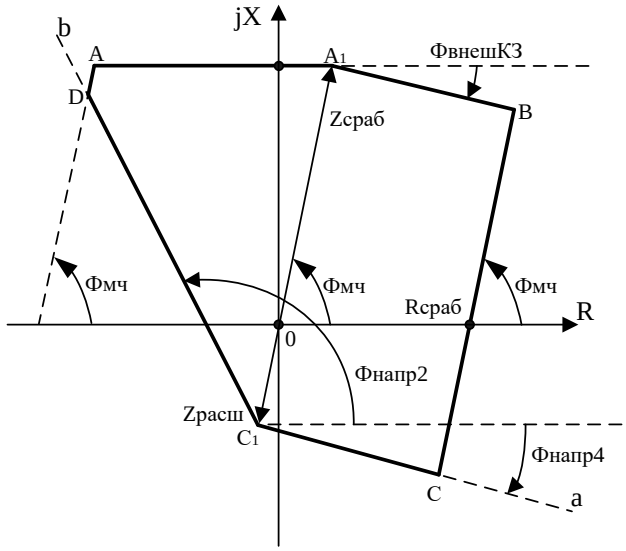
Замеры реле сопротивления формируется согласно выражениям

$$\underline{Z}_{AB} = \frac{\underline{U}_A - \underline{U}_B}{\underline{I}_A - \underline{I}_B},$$

$$\underline{Z}_{BC} = \frac{\underline{U}_B - \underline{U}_C}{\underline{I}_B - \underline{I}_C},$$

$$\underline{Z}_{CA} = \frac{\underline{U}_C - \underline{U}_A}{\underline{I}_C - \underline{I}_A}.$$

Характеристика срабатывания ненаправленного ИО сопротивления, показанная на рисунке 15, представляет собой многоугольник, который определяется уставками «**Zсраб**», «**Rсраб**», «**Zрасш**», «**Фмч**», «**ФвнешКЗ**», «**Фнапр2**», «**Фнапр4**».



Zсраб – сопротивление срабатывния

Rсраб – активное сопротивление срабатывния

Zрасш – расширение характеристики в третий квадрант

Фмч – угол максимальной чувствительности

ФвнешКЗ – угол отстройки от внешних замыканий

Фнапр2 – угол характеристики направленности отрицательных переходных сопротивлений

Фнапр4 – угол характеристики направленности в четвертый квадрант

Рисунок 15 – Характеристика срабатывания РС отстройки от КЗ за ответвлениями

Диапазон изменения параметров ненаправленного ИО сопротивления, определяется максимально возможными координатами вершин характеристики срабатывания: A(R_A, X_A), B(R_B, X_B), C(R_C, X_C), D(R_D, X_D). Все координаты точек, задающие характеристику срабатывания, должны находиться в следующих диапазонах:

–R_{MAX} < (R_A, R_B, R_C, R_D) < R_{MAX};

–X_{MAX} < (X_A, X_B, X_C, X_D) < X_{MAX}.

Максимальное значение зависит от исполнения токовых цепей:

R_{MAX} = 500 Ом/фазу, X_{MAX} = 500 Ом/фазу – для $I_{ном}$ = 1 А;

R_{MAX} = 100 Ом/фазу, X_{MAX} = 100 Ом/фазу – для $I_{ном}$ = 5 А.

Минимальные значения уставок «**Zсраб**», «**Rсраб**» и «**Zрасш**» также зависят от исполнения токовых цепей:

Zсраб = 0,5 Ом/фазу, Rсраб = 0,5 Ом/фазу, Zрасш = 0,5 Ом/фазу – для $I_{ном}$ = 1 А;

Zсраб = 0,1 Ом/фазу, Rсраб = 0,1 Ом/фазу, Zрасш = 0,1 Ом/фазу – для $I_{ном}$ = 5 А.

Угол характеристики направленности отрицательных переходных сопротивлений задается уставкой «**Фнапр2**». Угол характеристики направленности в четвертый квадрант задается уставкой «**Фнапр4**». Для обеспечения чувствительности защиты при направлении передаваемой мощности от линии к шинам рекомендуется задавать «**Фнапр2**» = 180 – «**Фнапр4**». Расширение характеристики срабатывания направленного полигонального РС в третий квадрант задаётся уставкой «**Zрасш**» (в омах).

Сигнал разрешения работы защит («Разр. откл. от КЗ в ЛЭП») формируется, если замер сопротивления попадает в характеристику срабатывания РС, что соответствует замыканию на защищаемой линии.

Работа реле сопротивления разрешается при пуске защит устройства (сигнал «Разр. работы РС»). Работа реле сопротивления может быть блокирована при срабатывании БНН (сигнал «БНН»).

Совместно с ИО сопротивления на линиях с ответвлениями используется ИО тока нулевой последовательности «**3I0**» с контролем направления мощности, позволяющим различить несимметричные замыкания на землю в зоне и «за спиной» защиты. ИО «**3I0**» блокируется при БНТ (по сигналу «Блок. по второй гарм.»), который возникает в результате включения трансформатора ответвления. Сигнал «Прямонапр. РНМНП» используется для устранения ложного срабатывания.

Сигнал разрешения работы защит («Разр. откл. от КЗ в ЛЭП») формируется при срабатывании ИО тока нулевой последовательности «**3I0**» и при наличии сигнала «Прямонапр. РНМНП», что соответствует замыканию на защищаемой линии. Контроль направленности может быть выведен при помощи программной накладки «**Nнапр**».

Для возможности формирования сигнала разрешения работы защит при неисправности цепей напряжения предусмотрена программная накладка «**NконтрБНН**»:

- «**NконтрБНН**» = 0 – контроль БНН выведен; срабатывание реле сопротивления не блокируется при срабатывании БНН; работа ИО тока нулевой последовательности осуществляется без контроля направления мощности. Данное положение программной накладки позволяет срабатывать основным защитам при КЗ в случае, когда измерительные цепи напряжения ИТН неисправны;

- «**NконтрБНН**» = 1 – контроль БНН введен; срабатывание реле сопротивления и реле направления мощности (сигнал «Прямонапр. РНМНП») блокируются при срабатывании БНН.

Длительность сигнала «Разр. откл. от КЗ в ЛЭП» определяется выдержкой времени «**ТдлитКЗлэп**».

Функция определения КЗ в линии может быть выведена при помощи программной накладки «**Nввод**». При положении накладки «**Nввод**» = «0 – нет» сигнал «Разр. откл. от КЗ в ЛЭП» формируется постоянно.

В случае установки на ответвлении автотрансформаторов однофазные КЗ на линии неотличимы от замыканий за автотрансформатором по току нулевой последовательности. В этом случае, а также при большой мощности трансформаторов, на ответвлении устанавливается отдельный комплект ДФЗ, пускающий свой ВЧ приёмопередатчик при КЗ за трансформатором ответвления.

Таблица 8 – Уставки модуля определения КЗ в ЛЭП

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
Утроенный ток нулевой последовательности первой гармоники, % от $I_{ном}$	3I0	от 5 до 3000 (шаг 1)	100
Сопротивление срабатывания, Ом	Zсраб	от 0,1 до 500 (шаг 0,01)	20
Активное сопротивление срабатывания, Ом	Rсраб	от 0,1 до 500 (шаг 0,01)	10
Расширение характеристики в третий квадрант, Ом	Zрасш	от 0 до 15 (шаг 0,01)	1
Угол максимальной чувствительности, градус	Фмч	от 30 до 90 (шаг 1)	70
Угол отстройки от внешних КЗ, градус	ФвнешКЗ	от 0 до 60 (шаг 1)	15
Угол характеристики направленности в четвертый квадрант, градус	Фнапр4	от 0 до 60 (шаг 1)	20
Угол характеристики направленности отрицательных переходных сопротивлений, градус	Фнапр2	от 90 до 150 (шаг 1)	115
Работа модуля определения КЗ в ЛЭП (0 – нет, 1 – да)	Nввод	–	0
Контроль направления мощности нулевой последовательности для блокировки при КЗ на ответвлении (0 – нет, 1 – да)	Nнапр	–	1
Контроль исправности измерительных цепей напряжения (0 – нет, 1 – да)	NконтрБНН	–	1
Длительность действия отключающих ИО при формировании сигнала «КЗ в ЛЭП», мс	ТдлитКЗлэп	от 10 до 10000 (шаг 1)	2000

1.2.1.5.2 Средняя основная погрешность по току срабатывания ИО тока не превышает ±3 % от уставки или ±5 % от номинальной величины.

1.2.1.5.3 Коэффициент возврата ИО тока не менее 0,9 для максимальных ИО.

1.2.1.5.4 Дополнительная погрешность по току срабатывания ИО тока при изменении температуры окружающего воздуха в рабочем диапазоне температур не превышает ±5 % от среднего значения, измеренного при температуре (20±5) °С.

1.2.1.5.5 Дополнительная погрешность по току срабатывания ИО тока при изменении частоты в диапазоне от 0,9 до 1,1 $f_{ном}$ не превышает ±5 % от среднего значения, измеренного при номинальной частоте.

1.2.1.5.6 Время срабатывания максимальных ИО тока не превышает 15 мс при подаче трехкратного тока срабатывания 3 $I_{сраб}$ и не превышает 40 мс при подаче тока, превышающего ток срабатывания на 20 % (1,2 $I_{сраб}$).

1.2.1.5.7 Время возврата максимальных ИО тока не превышает 30 мс при сбросе тока от 10 $I_{сраб}$ до нуля.

1.2.1.5.8 Все точностные параметры ИО сопротивления аналогичны приведенным в 1.2.1.2.8-1.2.1.2.17.

1.2.1.6 Ускорение при включении выключателя (Уск. при вкл.)

1.2.1.6.1 Принцип работы

Функциональный блок ускорения при включении выключателя приведен на рисунке 16, его реализация приведена на рисунке 17.

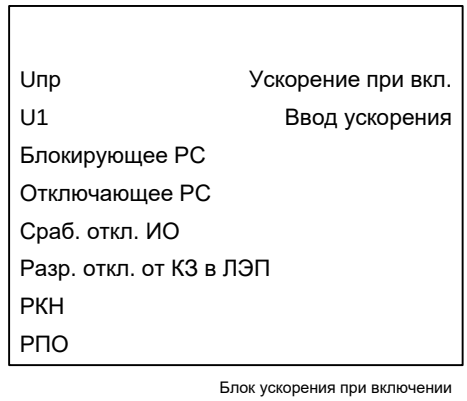


Рисунок 16 – Функциональный блок ускорения при включении выключателя

Таблица 9 – Входы и выходы блока ускорения при включении выключателя

Аналоговые входы	
Uпр	Напряжение присоединения
U1	Напряжение прямой последовательности
Аналоговые выходы	Отсутствуют
Логические входы	
Блокирующее РС	Срабатывание пускового (блокирующего) РС
Отключающее РС	Срабатывание отключающего РС
Сраб. откл. ИО	Срабатывание токовых отключающих ИО
Разр. откл. от КЗ в ЛЭП	Разрешение отключения выключателя от модуля определения КЗ в ЛЭП
РКН	Реле контроля напряжения
РПО	Сигнал отключенного положения выключателя
Логические выходы	
Ускорение при вкл.	Срабатывание ускорения при включении выключателя
Ввод ускорения	Ввод ускорения при включении выключателя

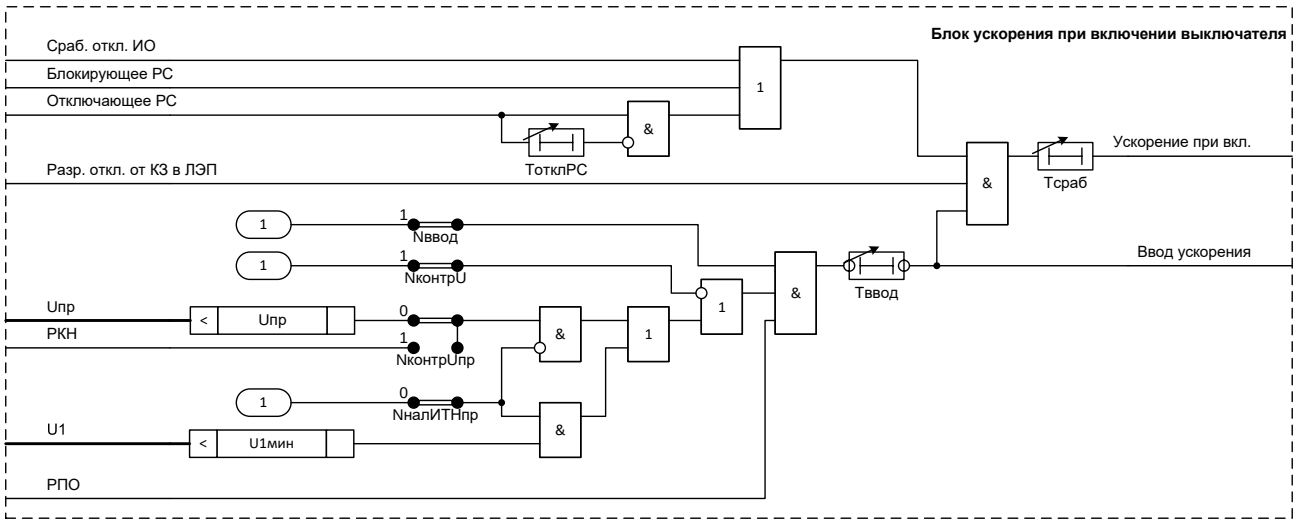


Рисунок 17 – Реализация программного модуля ускорения при включении выключателя

Ускорение при включении выключателя позволяет уменьшить время отключения КЗ при первом включении выключателя. Пуск ускорения осуществляется от сигнала «РПО».

Ускорение при включении выключателя на КЗ или неуспешное АПВ формируется по факту срабатывания токовых отключающих ИО, блокирующего РС или отключающего РС. При наличии на линии ответвлений дополнительно контролируется факт замыкания на линии (сигнал «Разр. откл. от КЗ в ЛЭП»).

Длительность действия отключающего РС на формирование сигнала ускорения определяется уставкой «**ТотклРС**».

Ускорение может выполняться с контролем отсутствия напряжения на присоединении. Контроль отсутствия напряжения на присоединении может быть введен при помощи программной накладки «**NконтрU**».

При помощи программной накладки «**NналИТНпр**» задается способ контроля напряжений для ввода ускорения при включении выключателя. При отсутствии ИТН на линии (положение «**NналИТНпр**» = 0) напряжение контролируется при помощи минимального реле напряжения прямой последовательности «**U1мин**».

С помощью программной накладки «**NконтрUпр**» задаётся способ контроля отсутствия напряжения при наличие ИТН на линии (положение «**NналИТНпр**» = 1): от шунта отбора напряжения (ШОН) при «**NконтрUпр**» = 0 или от внешнего реле контроля напряжения на линии при «**NконтрUпр**» = 1.

Ввод в работу логики ускорения осуществляется программной накладкой «**Nввод**».

Ускорение вводится автоматически на время, отсчитываемое от момента включения выключателя и определяемое уставкой «**Тввод**». Время срабатывания защиты при включении выключателя определяется уставкой «**Тсраб**».

Таблица 10 – Уставки ускорения при включении выключателя

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
Минимальное напряжение присоединения для ускорения НВЧЗ, % от $U_{ф.ном}$	Uпр	от 10 до 80 (шаг 1)	70
Напряжение срабатывания ИО минимального напряжения прямой последовательности, % от $U_{ф.ном}$	U1мин	от 1 до 100 (шаг 1)	70
Контроль напряжения присоединения (0 – ШОН, 1 – РКН)	NконтрUпр	–	1
Контроль напряжения при включении выключателя (0 – нет, 1 – да)	NконтрU	–	1

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
Работа ускорения защиты при включении выключателя (0 – нет, 1 – да)	Nввод	–	1
Наличие ИТН присоединения (0 – нет, 1 – да)	NналИТНпр	–	0
Длительность действия отключающего ИО сопротивления при формировании сигнала ускорения при включении выключателя, мс	ТотклРС	от 10 до 10000 (шаг 1)	200
Длительность ввода ускорения при включении выключателя, мс	Тввод	от 50 до 10000 (шаг 1)	1000
ВВС ускорения при включении выключателя, мс	Тсраб	от 20 до 10000 (шаг 1)	50

1.2.1.6.2 Средняя основная погрешность по напряжению срабатывания ИО напряжения не превышает ±3 % от уставки или ±5 % от номинальной величины.

1.2.1.6.3 Дополнительная погрешность по напряжению срабатывания ИО напряжения при изменении температуры окружающего воздуха в рабочем диапазоне температур не превышает ±5 % от среднего значения, измеренного при температуре (20±5) °С.

1.2.1.6.4 Дополнительная погрешность по напряжению срабатывания ИО напряжения при изменении частоты в диапазоне от 0,9 до 1,1 $f_{ном}$ не превышает ±5 % от среднего значения, измеренного при номинальной частоте.

1.2.1.6.5 Коэффициент возврата ИО напряжения не более 1,1 для минимальных ИО.

1.2.1.6.6 Время срабатывания минимальных ИО напряжения не превышает 30 мс при сбросе напряжения от 3 $U_{сраб}$ до нуля.

1.2.1.6.7 Время возврата минимальных ИО напряжения не превышает 15 мс при подаче соответствующего трехкратного напряжения срабатывания 3 $U_{сраб}$.

1.2.1.7 Модуль отключения (Отключение)

1.2.1.7.1 Принцип работы

Функциональный блок отключения приведен на рисунке 18, его реализация приведена на рисунке 19.

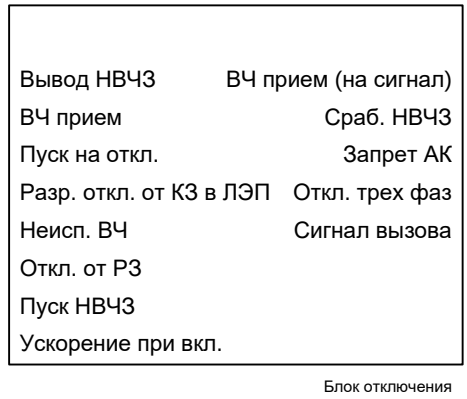


Рисунок 18 – Функциональный блок отключения

Таблица 11 – Входы и выходы функционального блока отключения

Аналоговые входы	Отсутствуют
Аналоговые выходы	Отсутствуют
Логические входы	
Вывод НВЧЗ	Вывод НВЧЗ
ВЧ прием	Прием ВЧ сигнала
Пуск на откл.	Пуск на отключение выключателя

Разр. откл. от КЗ в ЛЭП	Разрешение отключения выключателя от модуля определения КЗ в ЛЭП
Неисп. ВЧ	Сигнал неисправности ВЧ оборудования
Откл. от РЗ	Отключение от внешних устройств релейной защиты
Пуск НВЧЗ	Срабатывание пусковых ИО НВЧЗ
Ускорение при вкл.	Срабатывание ускорения при включении выключателя
Логические выходы	
ВЧ прием (на сигнал)	Прием ВЧ сигнала (на светодиоды)
Сраб. НВЧЗ	Срабатывание НВЧЗ
Запрет АК	Запрет автоконтроля ВЧ приемопередатчика
Откл. трех фаз	Отключение выключателя
Сигнал вызова	Сигнал вызова обслуживающего персонала

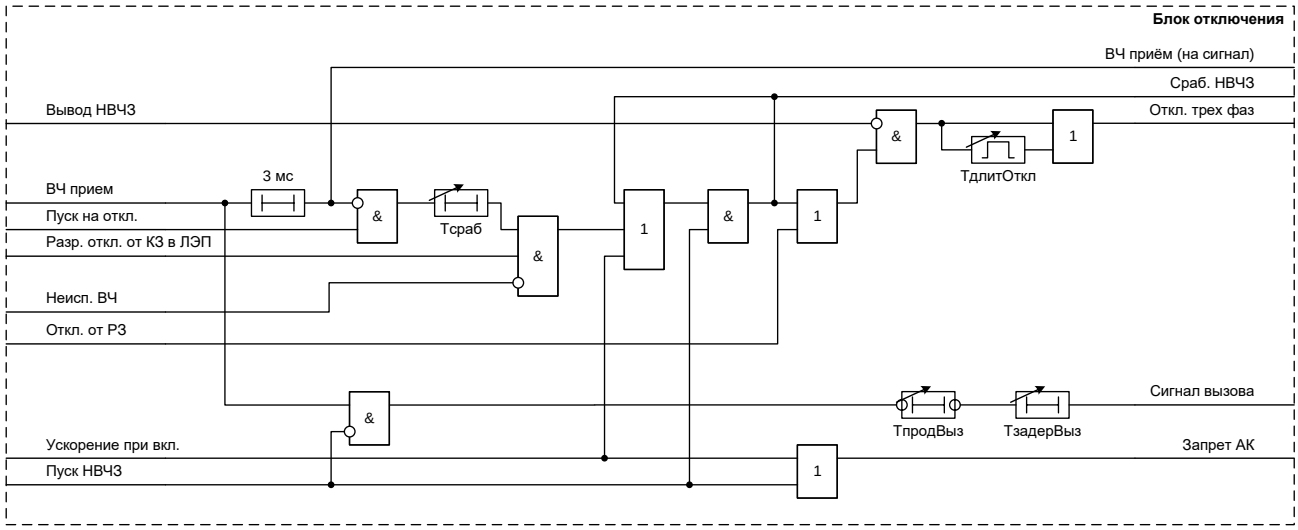


Рисунок 19 – Реализация программного модуля отключения

При отсутствии блокирующего ВЧ сигнала с противоположного конца линии и срабатывании отключающих ИО формируется сигнал «Сраб. НВЧЗ».

Для формирования сигнала о срабатывании защит должны выполняться следующие дополнительные условия:

- разрешение отключения при повреждении на защищаемой ЛЭП (сигнал «Разр. откл. от КЗ в ЛЭП»);
- срабатывание блокирующих ИО (сигнал «Пуск НВЧЗ»);
- отсутствие сигнала о неисправности ВЧ приёмопередатчика.

Выдержка времени на формирование сигнала срабатывания защит определяется уставкой «**Тсраб**».

Предусмотрено формирование сигнала срабатывания защит при ускоренном действии защит при включении выключателя (сигнал «Ускорение при вкл.») без контроля ВЧ сигнала в канале связи. Это связано с тем, что с целью исключения излишней работы защиты из-за разновременности включения фаз выключателя при включении происходит пуск ВЧ приёмопередатчика и блокировка работы НВЧЗ на всех концах защищаемой ЛЭП.

При длительном приёме ВЧ сигнала происходит формирование сигнала «Сигнал вызова». Длительность сигнала «ВЧ приём», при превышении которой формируется сигнал вызова обслуживающего персонала, определяется уставкой «**ТзадерВыз**». Продление сигнала ВЧ приема при формировании сигнала вызова обслуживающего персонала определяется уставкой «**ТпродВыз**».

В канале приёма ВЧ сигнала предусмотрена выдержка времени, необходимая для устранения влияния кратковременных помех ВЧ приёма. Значение выдержки времени – 3 мс.

Сигнал отключения «Откл. трех фаз» формируется при срабатывании НВЧЗ на отключение, получении внешнего сигнала отключения от устройств РЗ. Минимальная длительность сигнала отключения определяется уставкой «**ТдлитОткл**».

Таблица 12 – Уставки модуля отключения

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
ВВС защиты, мс	Тсраб	от 5 до 100 (шаг 1)	15
Продление сигнала ВЧ приема при формировании сигнала вызова персонала, мс	ТпродВыз	от 5 до 50 (шаг 1)	15
ВВС формирования сигнала вызова персонала, мс	ТзадерВыз	от 5000 до 15000 (шаг 1)	5000
Минимальная длительность сигнала на отключение трёх фаз, мс	ТдлитОткл	от 100 до 300 (шаг 1)	150

1.2.2 Дистанционная защита (ДЗ)

ДЗ селективно **срабатывает** при всех видах замыканий в защищаемом объекте и на резервируемых элементах; **не срабатывает** при внешних замыканиях, неполнофазных режимах, реверсе мощности, качаниях, асинхронном режиме, несинхронных включениях и при оперативных переключениях, а также правильно функционирует в режиме опробования.

1.2.2.1 Принцип работы

ДЗ используется для защиты энергообъектов от всех видов КЗ. Защита срабатывает при снижении замера сопротивления сети, т.е. по принципу действия является минимальной. Основными преимуществами ДЗ являются:

- надежная защита определенной части защищаемого объекта при всех видах КЗ вне зависимости от режимов питающей системы;
- ДЗ может применяться для обеспечения дальнего резервирования защит смежных присоединений.

Селективность защиты обеспечивается введением ступенчатых выдержек времени: все замыкания в пределах первой зоны (зоны охвата первой ступени) отключаются с минимальным временем; замыкания в пределах II-III зоны – с большим временем; замыкания в пределах следующих зон (старшие ступени) отключаются с наибольшим временем.

ИО защиты являются реле полного сопротивления. Каждая из ступеней ДЗ включает три ИО сопротивления для КЗ на землю (канал «фаза-земля») и три ИО сопротивления для междуфазных КЗ (канал «фаза-фаза»). Таким образом, реле сопротивления образуют полносхемную ДЗ.

Каждая ступень ДЗ имеет полностью независимые параметры настройки ИО «фаза-земля» и «фаза-фаза». Это является преимуществом в сетях сложной конфигурации и в тех сетях, где требуется согласовать вновь примененные функции ДЗ с уже существующими защитами (например, ТНЗНП). Направление действия каждой ступени задается уставками.

Функция ДЗ может стать дополнением для защит с абсолютной селективностью, например, дифференциально-фазной или направленной высокочастотной защиты линии. В этом случае ДЗ является основной защитой от повреждений между выключателями и ИТТ на противоположном конце. Эта функциональная возможность достигается при помощи расширенной зоны охвата (обычно вторая ступень) с выдержкой времени, которая охватывает, по меньшей мере, шины смежного объекта электроэнергетики, и, таким образом, позволяет реализовать функцию резервной защиты шин.

1.2.2.2 Общая логика работы ДЗ

Функциональный блок ДЗ приведен на рисунке 20.

Рисунок 20 – Функциональный блок ДЗ

ДЗ реализует следующие основные блоки:
- пять ступеней ДЗ, орган направленности;
- блокировку при качаниях по замеру тока;
- блокировку при качаниях по замеру сопротивления;
- модуль общего критерия повреждения по замеру тока;
- модуль общего критерия повреждения по замеру сопротивления;
- логику ускорения.

ДЗ может выводиться из работы сигналом «Вывод ДЗ».

1.2.2.3 Принцип формирования замера сопротивления ДЗ

Получение ортогональных составляющих измеренных величин (фазных токов и напряжений) осуществляется фильтром ортогональных составляющих (ФОС) на базе двухполупериодного фильтра Фурье. Далее эти величины используются для формирования замера ДЗ по каждому из контуров:

- для защиты от междуфазных замыканий

$$\underline{Z}_{\text{AB}} = \frac{(1-K_{\text{ПД}})(\underline{U}_{\text{A}} - \underline{U}_{\text{B}}) + K_{\text{ПД}}(\underline{U}_{\text{A,предш}} - \underline{U}_{\text{B,предш}})}{\underline{I}_{\text{A}} - \underline{I}_{\text{B}}},$$

$$\underline{Z}_{\text{BC}} = \frac{(1-K_{\text{ПД}})(\underline{U}_{\text{B}} - \underline{U}_{\text{C}}) + K_{\text{ПД}}(\underline{U}_{\text{B,предш}} - \underline{U}_{\text{C,предш}})}{\underline{I}_{\text{B}} - \underline{I}_{\text{C}}},$$

$$\underline{Z}_{\text{CA}} = \frac{(1-K_{\text{ПД}})(\underline{U}_{\text{C}} - \underline{U}_{\text{A}}) + K_{\text{ПД}}(\underline{U}_{\text{C,предш}} - \underline{U}_{\text{A,предш}})}{\underline{I}_{\text{C}} - \underline{I}_{\text{A}}};$$

- для защиты от замыканий на землю

$$\underline{Z}_{\text{AN}} = \frac{(1-K_{\text{ПД}})\underline{U}_{\text{A}} + K_{\text{ПД}}\underline{U}_{\text{A,предш}}}{\underline{I}_{\text{A}} + 3\underline{I}_{0}\underline{k}_{0}},$$

$$\underline{Z}_{\text{BN}} = \frac{(1-K_{\text{ПД}})\underline{U}_{\text{B}} + K_{\text{ПД}}\underline{U}_{\text{B,предш}}}{\underline{I}_{\text{B}} + 3\underline{I}_{0}\underline{k}_{0}},$$

$$\underline{Z}_{\text{CN}} = \frac{(1-K_{\text{ПД}})\underline{U}_{\text{C}} + K_{\text{ПД}}\underline{U}_{\text{C,предш}}}{\underline{I}_{\text{C}} + 3\underline{I}_0\underline{k}_0},$$

где $K_{\text{ПД}}$ – коэффициент работы по памяти (принят 20 %). При близких трехфазных КЗ, когда все напряжения близки к нулю, для определения направленности замеры сопротивления формируется с использованием величин предаварийного режима (индекс «предш» означает, что берется величина, записанная в память 40 мс назад). Для компенсации током нулевой последовательности при замыканиях на землю используется комплексный коэффициент компенсации $\underline{k}_0 = K0\text{re}+j\cdot K0\text{im}$ («**K0re**» и «**K0im**» изменяются в диапазоне от минус 3 до плюс 3 о.е. с шагом 0,001). Он позволяет получать эквивалентный (одинаковый при прочих равных) замер сопротивления при однофазном, двухфазном и трехфазном металлических КЗ, а также при двойном замыкании на землю в различных точках энергообъекта (на участках с $3I_0 \neq 0$). В общем случае для однородной линии коэффициент компенсации определяется по формуле $\underline{k}_0=(\underline{Z}_0 - \underline{Z}_1) / (3\underline{Z}_1)$, где $\underline{Z}_1$ и $\underline{Z}_0$ – суммарные сопротивления прямой и нулевой последовательностей защищаемого объекта.

Таблица 13 – Общие уставки ДЗ

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
Коэффициент памяти по напряжению, %	Кпамяти	от 0 до 100 (шаг 1)	20
Действительная часть коэффициента компенсации током нулевой последовательности, о.е.	K0re	от -3 до 3 (шаг 0,001)	0
Мнимая часть коэффициента компенсации током нулевой последовательности, о.е.	K0im	от -3 до 3 (шаг 0,001)	0

1.2.2.4 Принцип работы полигонального реле сопротивления ДЗ

1.2.2.4.1 Каждая из ступеней ДЗ устройства может содержать шесть ИО полного сопротивления (три канала «фаза-земля» и три канала «фаза-фаза»). Характеристика срабатывания ненаправленного ИО сопротивления приведена на рисунке 21 и представляет собой многоугольник, который определяется координатами точек A, A1, B, C, C1, D. Она задается уставками «**Zсраб**», «**Rсраб**», «**Фмч**», «**ФвнешКЗ**».

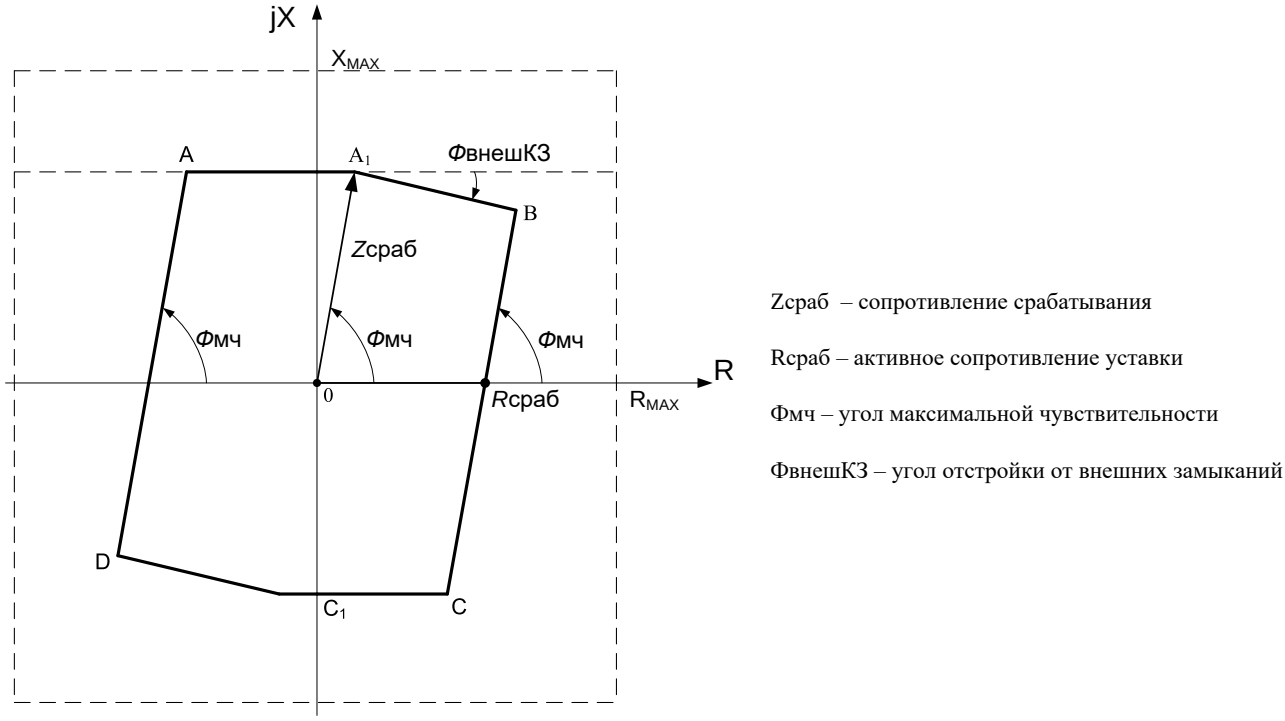


Рисунок 21 – Характеристика срабатывания ненаправленного РС

Характеристики срабатывания ненаправленного ИО сопротивления для каналов «фаза-фаза» и «фаза-земля» могут отличаться друг от друга и задаются независимо для каждой ступени.

Диапазон изменения параметров ненаправленного ИО сопротивления, определяется максимально возможными координатами вершин характеристики срабатывания: A(R_A, X_A), B(R_B, X_B), C(R_C, X_C), D(R_D, X_D). Все координаты точек, задающие характеристику срабатывания, должны находиться в следующих диапазонах:

–R_{MAX}<(R_A, R_B, R_C, R_D)<R_{MAX};

–X_{MAX}<(X_A, X_B, X_C, X_D)<X_{MAX}.

Максимальное значение зависит от исполнения токовых цепей:

R_{MAX} = 500 Ом/фазу, X_{MAX} = 500 Ом/фазу – для $I_{ном}$ = 1 А;

R_{MAX} = 100 Ом/фазу, X_{MAX} = 100 Ом/фазу – для $I_{ном}$ = 5 А.

Минимальные значения уставок «**Zсраб**» и «**Rсраб**» также зависят от исполнения токовых цепей:

Zсраб = 0,5 Ом/фазу, Rсраб = 0,5 Ом/фазу – для $I_{ном}$ = 1 А;

Zсраб = 0,1 Ом/фазу, Rсраб = 0,1 Ом/фазу – для $I_{ном}$ = 5 А.

1.2.2.4.2 Средняя основная погрешность ИО сопротивления по величине сопротивления срабатывания «**Zсраб**» при токе, равном $I_{ном}$ (или в зависимости от уставки меньшем токе, исходя из максимального напряжения на зажимах РС, равного 100 В), не превышает ±3 % от уставки.

1.2.2.4.3 Ток точной работы $I_{тр}$ ИО сопротивления при работе на угле максимальной чувствительности не превышает 0,05 $I_{ном}$ во всем диапазоне уставок.

1.2.2.4.4 Минимальное фазное (междуфазное) напряжение, при котором обеспечиваются точностные параметры ИО сопротивления, составляет 0,25 (0,5) В для канала «фаза-земля» («фаза-фаза»).

1.2.2.4.5 Средняя основная абсолютная погрешность ИО сопротивления по углам «**Фмч**», «**ФвнешКЗ**» наклона характеристики срабатывания при токе КЗ, равном $I_{ном}$ (или в зависимости от уставки меньшем токе, исходя из максимального напряжения на зажимах РС, равного 100 В), не превышает ±5°.

1.2.2.4.6 Дополнительная абсолютная погрешность ИО сопротивления по углам «**Фмч**», «**ФвнешКЗ**» при изменении тока КЗ в диапазоне от 2 $I_{тр}$ до 30 $I_{ном}$ не превышает ±7° относительно значений, измеренных при $I_{ном}$.

1.2.2.4.7 Дополнительная погрешность ИО сопротивления по величине сопротивления срабатывания «**Zсраб**» при изменении температуры окружающего воздуха в рабочем диапазоне температур не превышает ±5 % от среднего значения, определенного при температуре (20±5) °С.

1.2.2.4.8 Дополнительная погрешность ИО сопротивления по величине сопротивления срабатывания «**Zсраб**» при изменении частоты в диапазоне от 0,9 до 1,1 $f_{ном}$ не превышает ±5 % от среднего значения, измеренного при номинальной частоте.

1.2.2.4.9 Коэффициент возврата ИО сопротивления не более 1,1.

1.2.2.4.10 Время срабатывания ИО сопротивления при работе на угле максимальной чувствительности, токах КЗ не менее 3 $I_{тр}$ и скачкообразном уменьшении напряжения на входе ИО от величины, соответствующей сопротивлению на зажимах ИО не менее 1,2 $Z_{сраб}$, до величины, соответствующей 0,6 $Z_{сраб}$, не превышает 25 мс.

1.2.2.4.11 Время возврата ИО сопротивления при работе на угле максимальной чувствительности, токах КЗ не менее 3 $I_{тр}$ и скачкообразном увеличении напряжения на входе ИО от величины, соответствующей сопротивлению на зажимах ИО 0,1 $Z_{сраб}$, до величины, соответствующего 1,2 $Z_{сраб}$ (но не более 100 В для канала «фаза-фаза» и 57 В – для канала «фаза-земля»), не превышает 50 мс.

1.2.2.4.12 При работе ИО сопротивления «по памяти» (при трехфазных КЗ в месте установки защиты) обеспечивается длительность сигнала срабатывания на выходе РС не менее 40 мс в диапазоне токов от 2 $I_{тр}$ до 30 $I_{ном}$.

1.2.2.4.13 Работа ИО сопротивления блокируется при значениях тока, представленного знаменателем дроби сопротивления (1.2.2.3), меньших 0,02 $I_{ном}$.

1.2.2.5 Орган направленности ДЗ (Направленность ДЗ)

1.2.2.5.1 Принцип работы

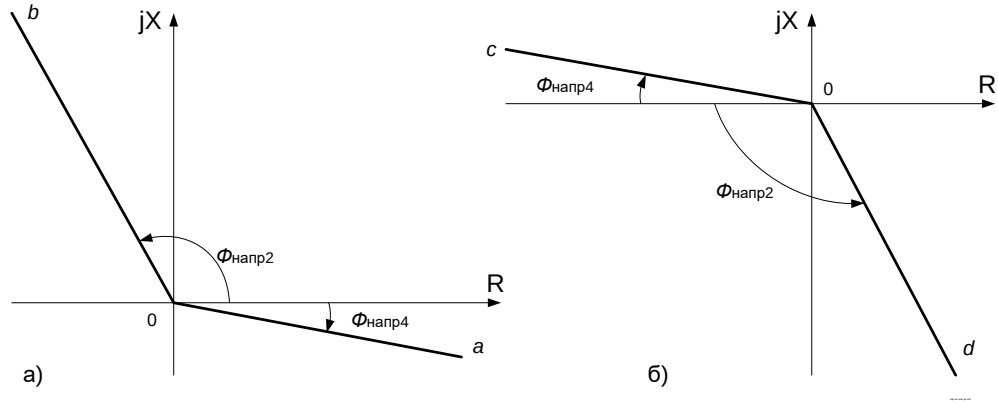
Каждая ступень ДЗ содержит ненаправленные дистанционные органы – ИО полного сопротивления. Для обеспечения направленности действия в ДЗ используются органы направленности по замеру сопротивления и РНМОП ТНЗНП.

ИО направленности по замеру сопротивления предназначены для определения направления в режимах симметричных КЗ, РНМОП – в режимах несимметричных КЗ.

Орган направленности по замеру сопротивления использует замеры сопротивления, рассчитанные по выражениям, приведенным в 0. Прямая направленность (замыкание «в зоне») задается с помощью лучей Oa и Ob, исходящих из центра координат, как показано на рисунке 22а).

Угол характеристики направленности отрицательных переходных сопротивлений задается уставкой «**Фнапр2**». Угол характеристики направленности в четвертый квадрант задается уставкой «**Фнапр4**».

Обратнонаправленный орган задается лучами Oc и Od, исходящими из начала координат, как показано на рисунке 22б), которые симметричны лучам Oa и Ob прямонаправленной характеристики относительно начала координат.



а) прямое направление; б) обратное направление

Рисунок 22 – Характеристики срабатывания ИО направленности ДЗ

Уставки ИО прямого и обратного направления по замеру сопротивления являются общими для всех каналов и ступеней ДЗ.

Таблица 14 – Уставки органа направленности ДЗ

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
Угол характеристики направленности в четвертый квадрант, градус	Фнапр4	от 0 до 60 (шаг 1)	20
Угол характеристики направленности отрицательных переходных сопротивлений, градус	Фнапр2	от 90 до 150 (шаг 1)	115

1.2.2.5.2 Минимальное фазное (междуфазное) напряжение, при котором обеспечиваются точностные параметры органа направленности по замеру сопротивления, составляет 0,25 (0,5) В для канала «фаза-земля» («фаза-фаза»).

1.2.2.5.3 Средняя основная абсолютная погрешность органа направленности по замеру сопротивления по углам «**Фнапр4**», «**Фнапр2**» наклона характеристики срабатывания

при токе КЗ, равном $I_{ном}$ (или в зависимости от уставки меньшем токе, исходя из максимального напряжения на зажимах РС, равного 100 В), не превышает ±5°.

1.2.2.5.4 Дополнительная абсолютная погрешность органа направленности по замеру сопротивления по углам «**Фнапр4**», «**Фнапр2**» при изменении тока КЗ в диапазоне от 2 $I_{тр}$ до 30 $I_{ном}$ не превышает ±7° относительно значений, измеренных при $I_{ном}$.

1.2.2.5.5 Коэффициент возврата ИО сопротивления не более 1,1.

1.2.2.5.6 Время срабатывания органа направленности по замеру сопротивления при токах КЗ не менее 3 $I_{тр}$, напряжении 3 U_{min} и скачкообразном изменении угла полного сопротивления на входе ИО от 1,2 до 0,6 Фнапр4 (аналогично, при изменении угла от 1,2 до 0,6 Фнапр2) не более 25 мс. Разность начального и конечного углов не менее 10º, а контур памяти реле сопротивления должен быть выведен из работы (задана минимальная уставка).

1.2.2.5.7 Время возврата органа направленности по замеру сопротивления при токах КЗ не менее 3 $I_{тр}$, напряжении 3 U_{min} и скачкообразном изменении угла полного сопротивления на входе ИО от 0,6 до 1,2 Фнапр4 (аналогично, при изменении угла от 0,6 до 1,2 Фнапр2) не более 50 мс. Разность начального и конечного углов не менее 10º, а контур памяти реле сопротивления должен быть выведен из работы.

1.2.2.5.8 При работе органа направленности «по памяти» (при трехфазных КЗ в месте установки защиты) обеспечивается длительность сигнала направленности не менее 40 мс в диапазоне токов от 2 $I_{тр}$ до 30 $I_{ном}$.

1.2.2.5.9 Обеспечивается отсутствие ложных срабатываний ИО сопротивления с контролем органа направленности при КЗ «за спиной» при токах до 30 $I_{ном}$.

1.2.2.6 Ступень ДЗ

1.2.2.6.1 Принцип работы

Функциональный блок ступени ДЗ приведен на рисунке 23, его реализация приведена на рисунках 24 и 25.

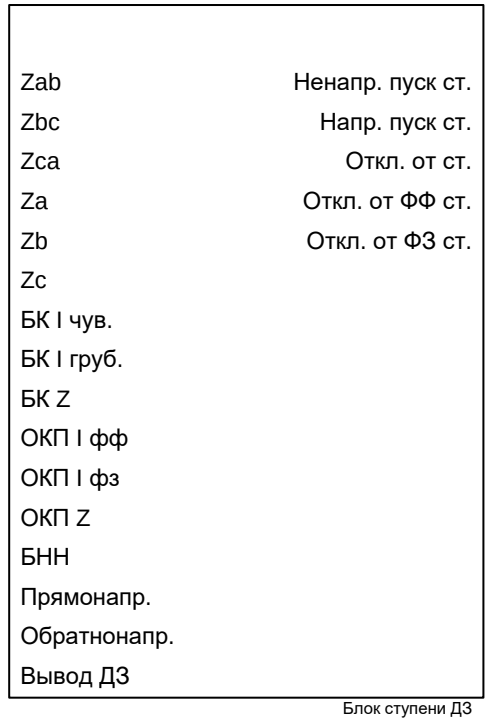


Рисунок 23 – Функциональный блок ступени ДЗ

Таблица 15 – Входы и выходы функционального блока ступени ДЗ

Аналоговые входы	
Zab, Zbc, Zca	Сопротивления каналов «фаза-фаза» AB, BC, CA
Za, Zb, Zc	Сопротивления каналов «фаза-земля» AN, BN, CN
Аналоговые выходы	Отсутствуют

Логические входы	
БК I чув.	Срабатывание чувствительного канала блокировки при качаниях по замеру тока
БК I груб.	Срабатывание грубого канала блокировки при качаниях по замеру тока
БК Z	Срабатывание блокировки при качаниях по замеру сопротивления
ОКП I фф	Срабатывание канала «фаза-фаза» ОКП по замеру тока
ОКП I фз	Срабатывание канала «фаза-земля» ОКП по замеру тока
ОКП Z	Срабатывание ОКП по сопротивлению
БНН	Срабатывание блокировки при неисправностях в цепях напряжения
Прямонапр.	Срабатывание прямонаправленного органа направленности ДЗ
Обратнонапр.	Срабатывание обратнонаправленного органа направленности ДЗ
Вывод ДЗ	Вывод ступени ДЗ из работы
Логические выходы	
Ненапр. пуск ст.	Ненаправленный пуск ступени ДЗ
Напр. пуск ст.	Направленный пуск ступени ДЗ
Откл. от ст.	Отключение от ступени ДЗ
Откл. от ФФ ст.	Отключение от ступени ДЗ по каналу «фаза-фаза»
Откл. от ФЗ ст.	Отключение от ступени ДЗ по каналу «фаза-земля»

Реализация логики формирования пусков канала АВ ступени приведена на рисунке 24 (для других каналов схема аналогична).

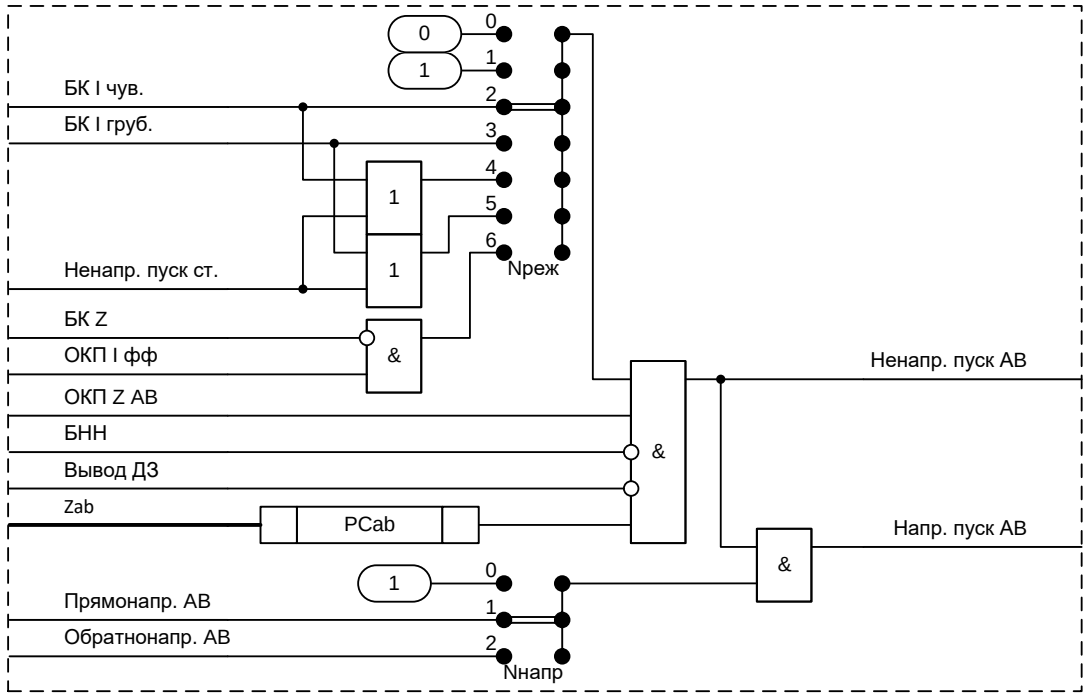


Рисунок 24 – Реализация логики формирования направленного пуска ступеней на примере канала АВ

Зона действия каждой ступени ДЗ определяется характеристиками ИО сопротивления (1.2.2.4). Каждая ступень может быть прямонаправленной, обратнонаправленной или ненаправленной. Условия пуска каждой ступени также могут быть различными и определяются программными накладками.

Программной накладкой «**Nреж**» определяется режим работы ступени ДЗ:

- «**Nреж**» = 0 – ступень выведена из работы;
- «**Nреж**» = 1 – ступень работает независимо от пусковых ИО;

- «**Nреж**» = 2 – ступень работает при срабатывании чувствительного канала БК I;
- «**Nреж**» = 3 – ступень работает при срабатывании грубого канала БК I;
- «**Nреж**» = 4 – ступень работает при срабатывании чувствительного канала БК I с фиксацией (подхватом) от ненаправленного пуска ступени;
- «**Nреж**» = 5 – ступень работает при срабатывании грубого канала БК I с фиксацией (подхватом) от ненаправленного пуска ступени;
- «**Nреж**» = 6 – ступень работает при срабатывании ОКП I и несрабатывании БК Z.

Программной накладкой «**Nнапр**» определяется режим направленности ступени ДЗ:

- «**Nнапр**» = 0 – ступень работает без контроля направленности;
- «**Nнапр**» = 1 – разрешается работа ступени, если орган направленности ДЗ выдает сигнал о КЗ в прямом направлении;
- «**Nнапр**» = 2 – разрешается работа ступени, если орган направленности ДЗ выдает сигнал о КЗ в обратном направлении.

Для надежного определения направления на КЗ в режиме, когда происходит смена направления мощности на противоположное, предусматривается задержка на 20 мс на формирование сигнала направленного пуска ступени.

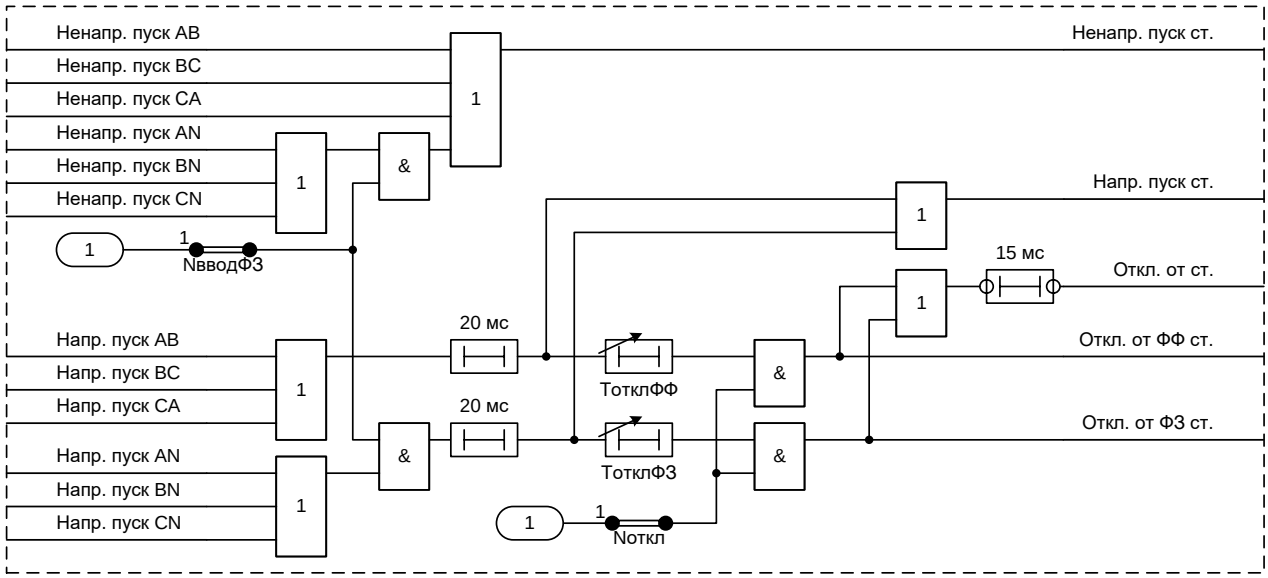


Рисунок 25 – Реализация программного модуля ступени ДЗ

Программная накладка «**NвводФЗ**» разрешает работу каналов «фаза-земля».

Сигналы направленных и ненаправленного пусков всех каналов объединяются по логике «ИЛИ» для формирования сигналов пуска ступени.

Для формирования сигнала на отключение сигналы направленного пуска ступени разделяются на каналы «фаза-фаза» и «фаза-земля», которые по логике «ИЛИ» формируют сигнал на отключение с выдержками времени «**ТоткклФФ**» и «**ТоткклФЗ**» соответственно. Программная накладка «**Nоткл**» разрешает действие ступени на отключение.

Таблица 16 – Уставки ступени ДЗ

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
Сопротивление срабатывания ступени ДЗ по каналу «фаза-земля», Ом	ZсрабФЗ	от 0,1 до 500 (шаг 0,01)	12
Активное сопротивление срабатывания ступени ДЗ по каналу «фаза-земля», Ом	RсрабФЗ	от 0,1 до 500 (шаг 0,01)	20
Угол максимальной чувствительности по каналу «фаза-земля», градус	ФмчФЗ	от 30 до 90 (шаг 1)	70
Угол отстройки от внешних замыканий по каналу «фаза-земля», градус	ФвнешКЗфз	от 0 до 60 (шаг 1)	15

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
Сопротивление срабатывания ступени ДЗ по каналу «фаза-фаза», Ом	ZсрабФФ	от 0,1 до 500 (шаг 0,01)	12
Активное сопротивление срабатывания ступени ДЗ по каналу «фаза-фаза», Ом	RсрабФФ	от 0,1 до 500 (шаг 0,01)	20
Угол максимальной чувствительности по каналу «фаза-фаза», градус	ФмчФФ	от 30 до 90 (шаг 1)	70
Угол отстройки от внешних замыканий по каналу «фаза-фаза», градус	ФвнешКЗфф	от 0 до 60 (шаг 1)	15
Режим работы ступени ДЗ (0 – вывод, 1 – непрерывный, 2 – БК I чув., 3 – БК I груб., 4 – БК I чув. с подхватом, 5 – БК I груб. с подхватом, 6 – БК Z & ОКП I)	Nреж	–	2
Режим направленности ступени ДЗ (0 – ненапр., 1 – прямонапр., 2 – обратнонапр.)	Nнапр	–	1
Работа каналов «фаза-земля» ступени ДЗ (0 – нет, 1 – да)	NвводФЗ	–	0
Отключение от ступени ДЗ (0 – нет, 1 – да)	Nоткл	–	0
ВВС отключения по каналам «фаза-фаза» ступени ДЗ, мс	ТотклФФ	от 0 до 32000 (шаг 1)	400
ВВС отключения по каналам «фаза-земля» ступени ДЗ, мс	ТотклФЗ	от 0 до 32000 (шаг 1)	400

1.2.2.6.2 Все точностные параметры ИО сопротивления аналогичны приведенным в 1.2.2.4.2-1.2.2.4.13.

1.2.2.7 Ускорение ДЗ

1.2.2.7.1 Принцип работы

В устройстве предусмотрены два режима ускорения ступеней ДЗ: автоматическое (АУ) и оперативное (ОУ). Выбор ускоряемых ступеней защиты осуществляется из соображений надежного охвата защищаемого энергообъекта.

Функциональный блок ускорения ДЗ приведен на рисунке 26.

Общий сигнал ускоренного отключения «Уск. откл. ДЗ» формируется при срабатывании АУ или ОУ ДЗ.

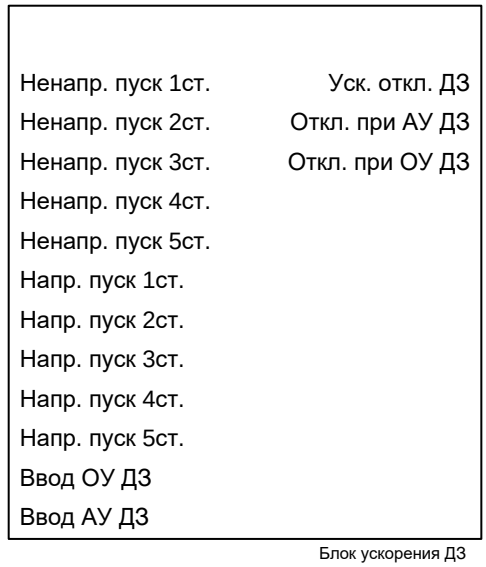


Рисунок 26 – Функциональный блок ускорения ДЗ

Таблица 17 – Входы и выходы функционального блока ускорения ДЗ

Аналоговые входы	Отсутствуют
Аналоговые выходы	Отсутствуют
Логические входы	
Ненапр. пуск ст.	Ненаправленный пуск ступеней ДЗ (1-5)
Напр. пуск ст.	Направленный пуск ступеней ДЗ (1-5)
Ввод ОУ ДЗ	Ввод оперативного ускорения ДЗ
Ввод АУ ДЗ	Ввод автоматического ускорения ДЗ
Логические выходы	
Уск. откл. ДЗ	Ускоренное отключение от логики ускорения ДЗ
Откл. при АУ ДЗ	Отключение при автоматическом ускорении ДЗ
Откл. при ОУ ДЗ	Отключение при оперативном ускорении ДЗ

1.2.2.7.2 Автоматическое ускорение ДЗ (АУ ДЗ)

Реализация программного модуля АУ ДЗ приведена на рисунке 27.

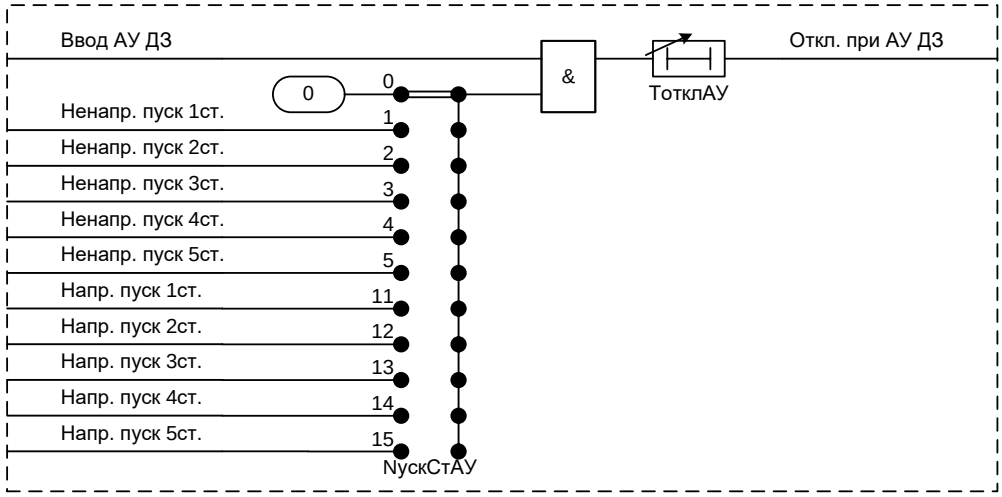


Рисунок 27 – Реализация программного модуля АУ ДЗ

АУ позволяет уменьшить время отключения КЗ при включении выключателя. Пуск АУ ДЗ осуществляется от сигнала «Ввод АУ ДЗ». Поскольку, при первом включении выключателя возможно пропадание переменного напряжения, например, при близком КЗ, АУ чаще всего осуществляется от ненаправленного пуска соответствующей ступени ДЗ.

Ускоряемая ступень при АУ выбирается программной накладкой «**НускСтАУ**».

Время срабатывания ускоряемой ступени при АУ определяется уставкой «**ТотклАУ**».

1.2.2.7.3 Оперативное ускорение ДЗ (ОУ ДЗ)

Реализация программного модуля ОУ ДЗ приведена на рисунке 28.

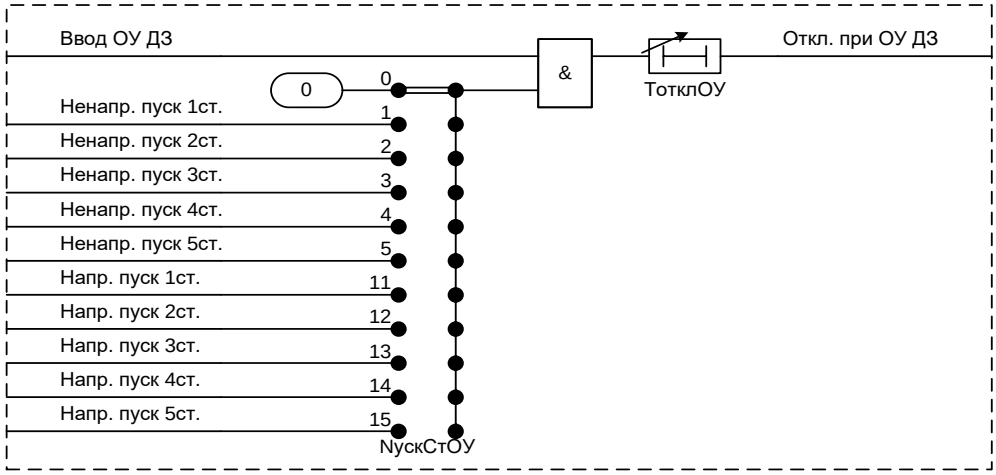


Рисунок 28 – Реализация программного модуля ОУ ДЗ

ОУ чаще всего используется при выводе основной защиты присоединения. Пуск ОУ осуществляется сигналом «Ввод ОУ ДЗ». Номер ускоряемой ступени ДЗ выбирается исходя из соображений надежного охвата всего защищаемого объекта. Для предотвращения ложной работы защиты при замыкании «за спиной» ОУ осуществляется с учетом модуля направленности. Выдержка времени на срабатывание ДЗ в режиме ОУ выбирается исходя из соображений отстройки по времени от основной защиты смежного с защищаемым объекта.

Ускоряемая ступень при ОУ выбирается программной накладкой «**NускСтОУ**».

Время срабатывания ускоряемой ступени при ОУ определяется уставкой «**ТотклОУ**».

Таблица 18 – Уставки ускорения ДЗ

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
Режим автоматического ускорения ДЗ (0 – вывод, 1, 2, 3, 4, 5 – ненапр.пуск 1, 2, 3, 4, 5 ст., 11, 12, 13, 14, 15 – напр.пуск 1, 2, 3, 4, 5 ст.)	NускСтАУ	–	0
Режим оперативного ускорения ДЗ (0 – вывод, 1, 2, 3, 4, 5 – ненапр.пуск 1, 2, 3, 4, 5 ст., 11, 12, 13, 14, 15 – напр.пуск 1, 2, 3, 4, 5 ст.)	NускСтОУ	–	0
ВВС логики автоматического ускорения ДЗ, мс	ТотклАУ	от 20 до 10000 (шаг 1)	100
ВВС логики оперативного ускорения ДЗ, мс	ТотклОУ	от 20 до 10000 (шаг 1)	100

1.2.2.8 Блокировка при качаниях по замеру тока (БК I)

1.2.2.8.1 Принцип работы

Для предотвращения неправильной работы ДЗ при возникновении качаний в энергосистеме в терминале предусмотрена блокировка ДЗ при качаниях.

Функциональный блок БК I приведен на рисунке 29, его реализация приведена на рисунке 30.

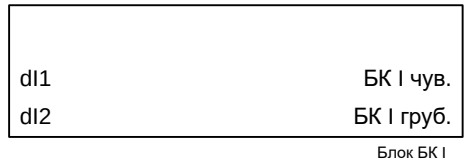


Рисунок 29 – Функциональный блок БК I

Таблица 19 – Входы и выходы функционального блока БК I

Аналоговые входы	
dI1	Приращение тока прямой последовательности
dI2	Приращение тока обратной последовательности
Аналоговые выходы	Отсутствуют
Логические входы	Отсутствуют
Логические выходы	
БК I чув.	Срабатывание чувствительного канала БК I
БК I груб.	Срабатывание грубого канала БК I

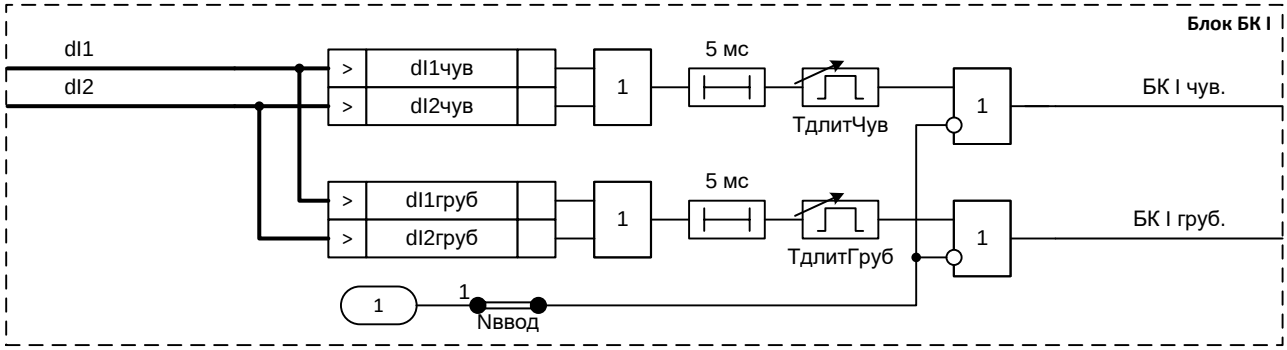


Рисунок 30 – Реализация программного модуля БК I

Метод основывается на измерении уровня приращений токов прямой I_1 и обратной I_2 последовательностей во времени. Приращения токовых величин определяются при помощи фильтра третьего порядка

$$\Delta \underline{I}_1(t) = 2 \cdot \left(\underline{I}_1(t) - 3\underline{I}_1(t - T/2) + 3\underline{I}_1(t - T) - \underline{I}_1(t - 3T/2) \right),$$
$$\Delta \underline{I}_2(t) = 2 \cdot \left(\underline{I}_2(t) - 3\underline{I}_2(t - T/2) + 3\underline{I}_2(t - T) - \underline{I}_2(t - 3T/2) \right),$$

где T – период промышленной частоты, с, t – текущее время, с.

При качаниях и асинхронном ходе величины ΔI малы, тогда как при возникновении КЗ уровень ΔI достаточен для срабатывания чувствительного или грубого канала.

Узлом БК I выдаются два сигнала: сигнал от чувствительного канала «БК I чув.», разрешающего ввод в работу медленнодействующих ступеней ДЗ на время, определяемое уставкой «**ТдлитЧув**», и сигнала от грубого канала «БК I груб.», разрешающего ввод в работу быстродействующих ступеней ДЗ на время, определяемое уставкой «**ТдлитГруб**». Каждая ступень ДЗ с помощью соответствующей программной накладки может быть запущена по тому или иному каналу от БК I.

В неаварийном режиме качаний ИО сопротивления могут сработать ложно. При этом ИО БК, отстроенные от режима качаний выбором уставок по изменению токов прямой и обратной последовательностей, не срабатывают и не пускают ДЗ. В случае возникновения КЗ срабатывают ИО БК, которые разрешают прохождение сигналов срабатывания от ИО ступеней на время, определяемое уставкой «**ТдлитЧув**», при срабатывании чувствительного канала или на время, определяемое уставкой «**ТдлитГруб**», при срабатывании грубого канала.

Логика БК I может быть введена при помощи программной накладки «**Nввод**».

Уровень срабатывания ИО по изменению тока обратной последовательности задается уставками «**dI2чув**» и «**dI2груб**» для чувствительного и грубого канала соответственно. Уровень срабатывания ИО по изменению тока прямой последовательности задается уставками «**dI1чув**» и «**dI1груб**» для чувствительного и грубого канала соответственно.

Таблица 20 – Уставки БК I

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
Приращение тока прямой последовательности чувствительного канала БК I, % от $I_{ном}$	dI1чув	от 8 до 300 (шаг 1)	12
Приращение тока прямой последовательности грубого канала БК I, % от $I_{ном}$	dI1груб	от 12 до 500 (шаг 1)	25
Приращение тока обратной последовательности чувствительного канала БК I, % от $I_{ном}$	dI2чув	от 4 до 150 (шаг 1)	15
Приращение тока обратной последовательности грубого канала БК I, % от $I_{ном}$	dI2груб	от 6 до 250 (шаг 1)	15

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
Работа БК I (0 – нет, 1 – да)	Nввод	–	1
Длительность разрешающего сигнала чувствительного канала БК I, мс	ТдлитЧув	от 200 до 12000 (шаг 1)	200
Длительность разрешающего сигнала грубого канала БК I, мс	ТдлитГруб	от 200 до 12000 (шаг 1)	400

1.2.2.8.2 Средняя основная погрешность ИО приращения тока не превышает ±10 % от уставки.

1.2.2.8.3 Дополнительная погрешность ИО приращения тока при изменении температуры окружающего воздуха в рабочем диапазоне температур не превышает ±10 % от среднего значения, измеренного при температуре (20±5) °С.

1.2.2.8.4 Дополнительная погрешность ИО приращения тока при изменении частоты в диапазоне от 0,9 до 1,1 $f_{ном}$ не превышает ±10 % от среднего значения, измеренного при номинальной частоте.

1.2.2.8.5 Время срабатывания ИО приращения тока не превышает 15 мс, время возврата – 30 мс при скачкообразном изменении тока от нуля до 3 $I_{сраб}$ и от 3 $I_{сраб}$ до нуля.

1.2.2.9 Блокировка при качаниях по замеру сопротивления (БК Z)

1.2.2.9.1 Принцип работы

Функциональный блок БК Z приведен на рисунке 31.

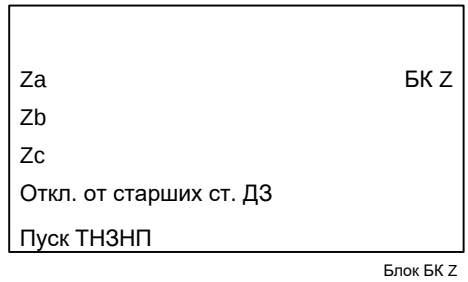


Рисунок 31 – Функциональный блок БК Z

Таблица 21 – Входы и выходы функционального блока БК Z

Аналоговые входы	
Za, Zb, Zc	Сопротивления каналов «фаза-земля» AN, BN, CN
Аналоговые выходы	Отсутствуют
Логические входы	
Откл. от старших ст. ДЗ	Отключение от старших ступеней ДЗ
Пуск ТНЗНП	Ненаправленный пуск ступеней ТНЗНП
Логические выходы	
БК Z	Срабатывание БК Z

БК Z отслеживает динамику изменения сопротивления на зажимах фазных реле сопротивления. При качаниях и асинхронном ходе величина комплексного сопротивления изменяется медленнее, нежели при КЗ. Если время между входом годографа во внешнюю и внутреннюю характеристики больше уставки, то выдается сигнал на запрет работы.

Основными элементами БК Z являются два РС с прямоугольной характеристикой срабатывания, симметричные относительно начала координат: внутренняя уставочная характеристика задается уставками «**Хвнутр**» и «**Rвнутр**»; внешняя характеристика определяется границами Хвнутр*KX и Rвнутр*KR, как показано на рисунке 32.

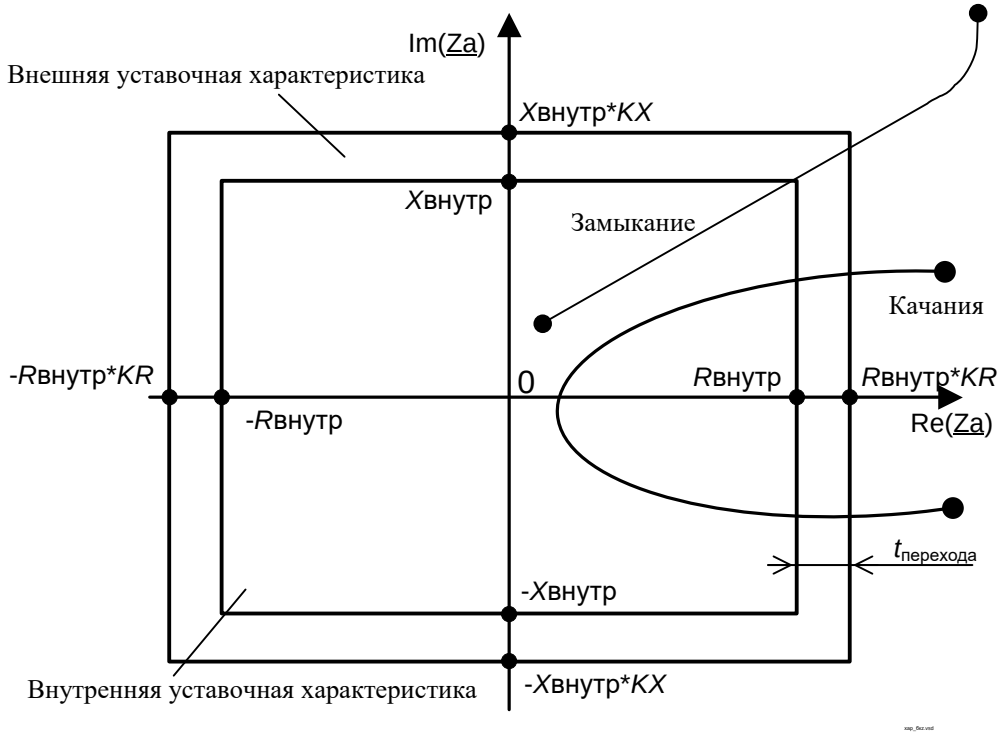


Рисунок 32 – Годографы замера комплексного сопротивления на плоскости РС фазы А при качаниях и при замыкании

Размер внешней характеристики определяется уставками внутренней и коэффициентами расширения по мнимой «**KX**» и по вещественной «**KR**» координатным осям.

РС БК Z включаются на все фазные замеры (0). Определение качаний для каждой фазы производится независимо. На рисунке 33 приведена логика определения качаний в фазе А (для других фаз логическая схема аналогична).

Если время перехода ($t_{перехода}$) от внешней характеристики к внутренней больше времени, определяемого уставкой «**Тцикл1**», то делается вывод о появлении качаний в фазе А.

Как правило, начальное развитие качаний происходит достаточно медленно, затем процесс ускоряется и $t_{перехода}$ уменьшается; соответственно, уставка «**Тцикл1**» уже недостаточна для фиксации качаний. Для этого в логике предусмотрена выдержка времени «**Тцикл2**», которая вводится в работу сигналом о появлении второго цикла качаний. Выдержка времени второго цикла качаний должна быть заведомо меньше выдержки времени первого цикла, что обеспечивает надежную фиксацию режима качаний.

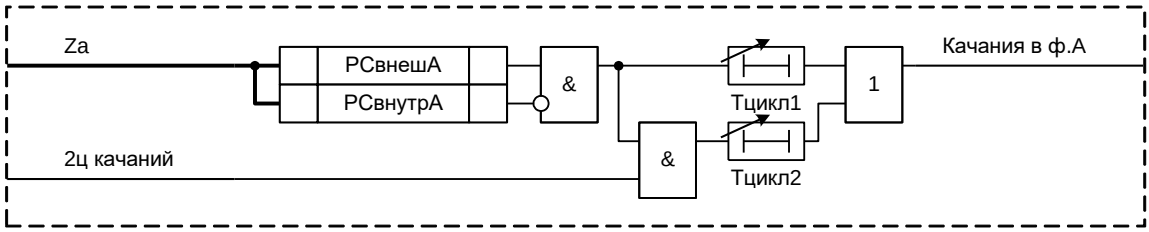


Рисунок 33 – Реализация логики обнаружения качаний в фазе А по замеру сопротивления

Факт качаний фиксируется при появлении качаний в одной либо двух фазах, что определяется программной накладкой «**Nреж**». После фиксации качаний выдается сигнал на блокирование соответствующих ступеней ДЗ на время, определяемое уставкой «**ТпродБлк**», если нет условий для разблокирования, как показано на рисунке 34.

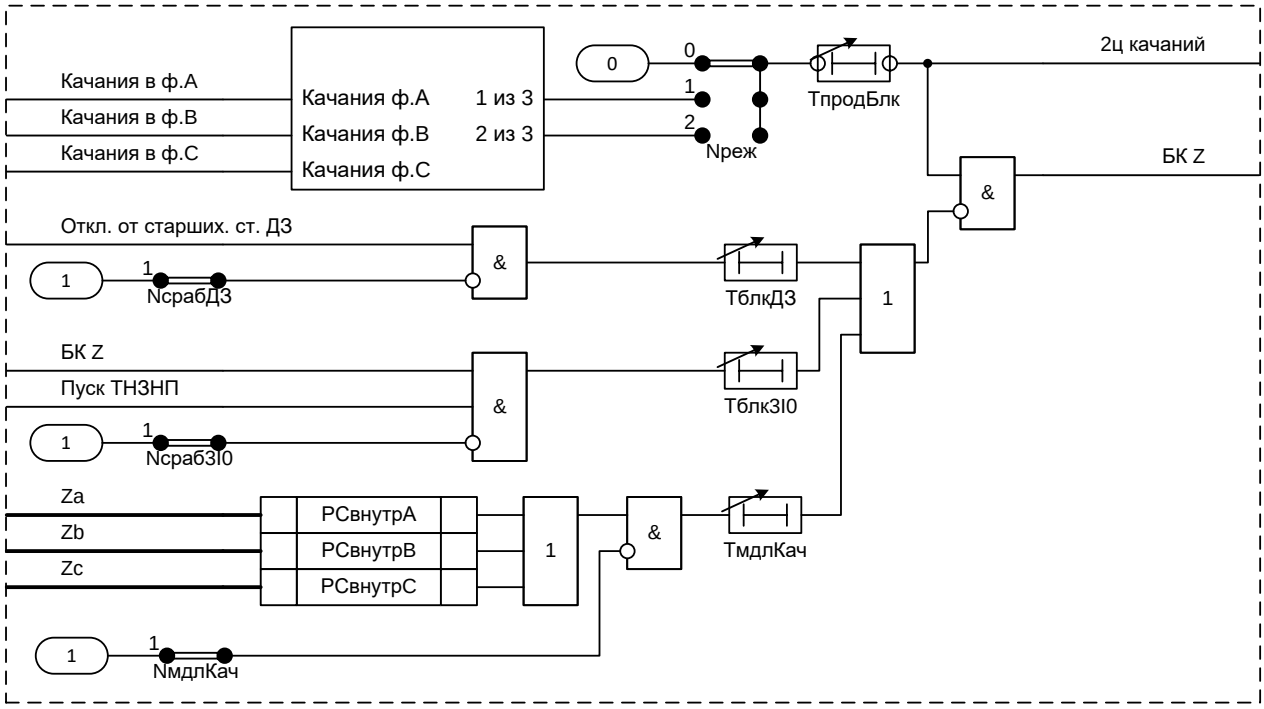


Рисунок 34 – Реализация логики формирования сигнала блокировки ДЗ от БК Z

Предусмотрена блокировка работы модуля БК Z в следующих случаях:

- при срабатывании старших ступеней ДЗ через выдержку времени «**ТблкДЗ**» (положение программной накладки «**NсрабДЗ**» = 0);
- если после появления сигнала «Качания» по сигналу пуска ТНЗНП фиксируется ток нулевой последовательности, который держится в течение времени, определяемого уставкой «**Тблк3I0**», то делается вывод о КЗ на землю в режиме качаний (положение программной накладки «**Nсраб3I0**» = 0);
- если обнаружены качания и хотя бы один из замеров сопротивления находится во внутренней характеристике в течение времени, определяемого уставкой «**ТмдлКач**», то делается вывод о наблюдении режима КЗ на фоне качаний (положение программной накладки «**NмдлКач**» = 0).

Таблица 22 – Уставки БК Z

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
Граница внутренней характеристики реле сопротивления по оси R, Ом	Rвнутр	от 0,1 до 500 (шаг 0,01)	30
Граница внутренней характеристики реле сопротивления по оси X, Ом	Xвнутр	от 0,1 до 500 (шаг 0,01)	40
Коэффициент расширения внешней характеристики по оси R по отношению к внутренней, % от Rвнутр	KR	от 120 до 200 (шаг 0,1)	120
Коэффициент расширения внешней характеристики по оси X по отношению к внутренней, % от Xвнутр	KX	от 120 до 200 (шаг 0,1)	120
Режим работы БК Z (0 – вывод, 1 – 1 из 3, 2 – 2 из 3)	Nреж	–	0
Работа БК Z при срабатывании ступеней ДЗ (0 – нет, 1 – да)	NсрабДЗ	–	0
Работа БК Z при наличии тока нулевой последовательности (0 – нет, 1 – да)	Nсраб3I0	–	0

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
Работа БК Z при медленных качаниях (0 – нет, 1 – да)	NмдлКач	–	0
ВВС на выявление первого цикла качаний, мс	Тцикл1	от 10 до 32000 (шаг 1)	45
ВВС на выявление последующих циклов качаний, мс	Тцикл2	от 20 до 32000 (шаг 1)	25
ВВВ блокирования защит от БК Z, мс	ТпродБлк	от 100 до 10000 (шаг 1)	500
ВВС на запрет БК Z при срабатывании ДЗ, мс	ТблкДЗ	от 10 до 30000 (шаг 1)	60
ВВС на сброс БК Z при пуске ТНЗНП, мс	Тблк3I0	от 10 до 5000 (шаг 1)	200
ВВС на сброс БК Z при медленных качаниях, мс	ТмдлКач	от 100 до 5000 (шаг 1)	200

1.2.2.9.2 Все точностные параметры ИО сопротивления аналогичны приведенным в 1.2.2.4.2-1.2.2.4.13.

1.2.2.10 Общий критерий повреждения по замеру сопротивления (ОКП Z)

1.2.2.10.1 Принцип работы

Основной задачей ОКП является выявление факта и вида повреждения на большей части сети, контролируемой защитой. В устройстве предусмотрена функция ОКП, основанная на контроле понижения полного сопротивления и имеющая расширенную характеристику срабатывания РС (рисунок 36).

Функциональный блок ОКП Z приведен на рисунке 35.

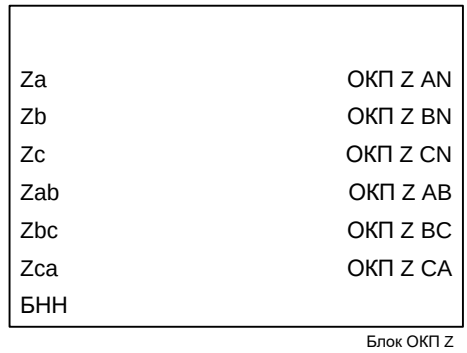


Рисунок 35 – Функциональный блок ОКП Z

Таблица 23 – Входы и выходы функционального блока ОКП Z

Аналоговые входы	
Za, Zb, Zc	Сопротивления каналов «фаза-земля» AN, BN, CN
Zab, Zbc, Zca	Сопротивления каналов «фаза-фаза» AB, BC, CA
Аналоговые выходы	Отсутствуют
Логические входы	
БНН	Срабатывание блокировки при неисправностях в цепях напряжения
Логические выходы	
ОКП Z AN, ОКП Z BN, ОКП Z CN	Срабатывание ОКП Z каналов «фаза-земля» AN, BN, CN
ОКП Z AB, ОКП Z BC, ОКП Z CA	Срабатывание ОКП Z каналов «фаза-фаза» AB, BC, CA

Функция ОКП Z содержит шесть РС. Каналы «фаза-фаза» и «фаза-земля» имеют независимые характеристики срабатывания, которые симметричны относительно оси мнимых, как показано на рисунке 36.

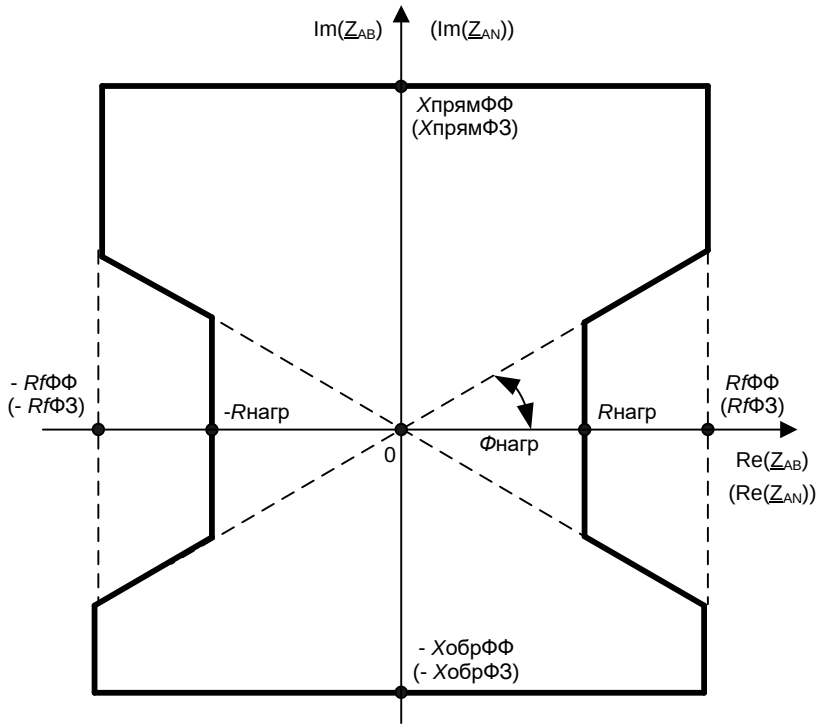


Рисунок 36 – Характеристика срабатывания РС канала «фаза-фаза» АВ ОКП Z
(в скобках указаны уставки для канала «фаза-земля» AN)

РС функции ОКП реагируют на замер сопротивления ДЗ (0). Функция ОКП может быть заблокирована внешним сигналом БНН.

Таблица 24 – Уставки ОКП Z

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
Уставка ОКП по оси X в прямом направлении по каналу «фаза-фаза», Ом	ХпрямФФ	от 1 до 500 (шаг 0,01)	30
Уставка ОКП по оси X в обратном направлении по каналу «фаза-фаза», Ом	ХобрФФ	от 1 до 500 (шаг 0,01)	30
Уставка ОКП по оси X в прямом направлении по каналу «фаза-земля», Ом	ХпрямФЗ	от 1 до 500 (шаг 0,01)	30
Уставка ОКП по оси X в обратном направлении по каналу «фаза-земля», Ом	ХобрФЗ	от 1 до 500 (шаг 0,01)	30
Максимальное переходное сопротивление при замыканиях по каналу «фаза-фаза», Ом	RfФФ	от 1 до 500 (шаг 0,01)	35
Максимальное переходное сопротивление при замыканиях по каналу «фаза-земля», Ом	RfФЗ	от 1 до 500 (шаг 0,01)	30
Минимальное сопротивление нагрузки по оси R, Ом	Rнагр	от 1 до 500 (шаг 0,01)	20
Угол отстройки от нагрузочного режима, градус	Фнагр	от 5 до 60 (шаг 1)	30

1.2.2.10.2 Все точностные параметры ИО сопротивления аналогичны приведенным в 1.2.2.4.2-1.2.2.4.13.

1.2.2.11 Общий критерий повреждения по замеру тока (ОКП I)

1.2.2.11.1 Принцип работы

Основной задачей ОКП является выявление факта и вида повреждения на большей части сети, контролируемой защитой. В устройстве предусмотрена функция ОКП, основанная на соотношении фазных токов и токов нулевой последовательности.

Функциональный блок ОКП I приведен на рисунке 37, его реализация приведена на рисунке 38.

Рисунок 37 – Функциональный блок ОКП I

Таблица 25 – Входы и выходы функционального блока ОКП I

Аналоговые входы	
Ia, Ib, Ic	Токи фаз A, B, C
3I0	Утроенный ток нулевой последовательности
Аналоговые выходы	Отсутствуют
Логические входы	Отсутствуют
Логические выходы	
ОКП I фф	Срабатывание канала «фаза-фаза» ОКП I
ОКП I фз	Срабатывание канала «фаза-земля» ОКП I

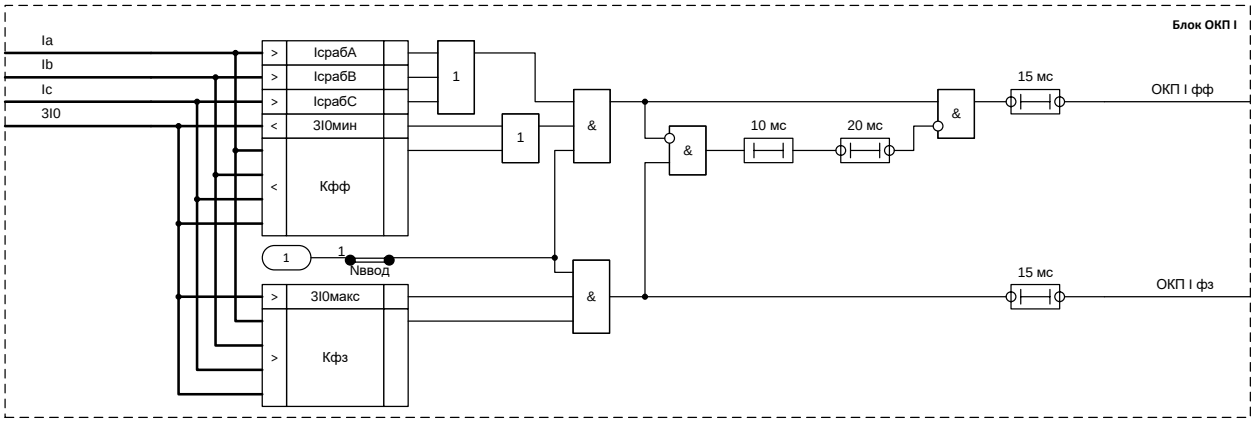


Рисунок 38 – Реализация программного модуля ОКП I

Срабатывание канала «фаза-земля» («ОКП I фз») происходит при условии превышения током нулевой последовательности минимального тока работы ДЗ («**3I0макс**») и при условии, что отношение тока нулевой последовательности к максимальному фазному току больше, чем коэффициент тока нулевой последовательности при КЗ на землю («**Кфз**»).

Срабатывание канала «фаза-фаза» («ОКП I фф») происходит при следующих условиях:

- ток нулевой последовательности меньше минимального установленного тока нулевой последовательности («**3I0мин**») или отношение тока нулевой последовательности к максимальному фазному току меньше коэффициента максимального тока нулевой последовательности при междуфазных замыканиях («**Кфф**»);
- модуль максимального фазного тока больше, чем уставка минимального тока замыкания («**IсрабФФ**»).

Если канал «фаза-земля» срабатывает раньше канала «фаза-фаза», то вводится задержка на пуск канала «фаза-фаза» на 20 мс. Это дает больший приоритет по пуску для каналов «фаза-земля» при замыканиях на землю.

ОКП I может быть введена при помощи программной накладки «**Nввод**».

Таблица 26 – Уставки ОКП I

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
Ток срабатывания при замыканиях по каналу «фаза-фаза», % от $I_{ном}$	IсрабФФ	от 10 до 400 (шаг 1)	200
Утроенный ток нулевой последовательности при замыканиях по каналу «фаза-фаза», % от $I_{ном}$	3I0мин	от 5 до 200 (шаг 1)	20
Утроенный ток нулевой последовательности при замыканиях по каналу «фаза-земля», % от $I_{ном}$	3I0макс	от 30 до 450 (шаг 1)	30
Коэффициент максимального тока нулевой последовательности при замыканиях по каналу «фаза-фаза», %	Кфф	от 10 до 100 (шаг 1)	40
Коэффициент минимального тока нулевой последовательности при замыканиях по каналу «фаза-земля», %	Кфз	от 10 до 100 (шаг 1)	20
Работа ОКП I (0 – нет, 1 – да)	Nввод	–	1

1.2.2.11.2 Средняя основная погрешность по току срабатывания ИО тока не превышает ±3 % от уставки или 5 % от номинальной величины.

1.2.2.11.3 Дополнительная погрешность по току срабатывания ИО тока при изменении температуры окружающего воздуха в рабочем диапазоне температур не превышает ±5 % от среднего значения, определенного при температуре (20±5) °С.

1.2.2.11.4 Дополнительная погрешность по току срабатывания ИО тока при изменении частоты в диапазоне от 0,9 до 1,1 $f_{ном}$ не превышает ±5 % от среднего значения, определенного при номинальной частоте.

1.2.2.11.5 Коэффициент возврата ИО тока не менее 0,9 для максимальных ИО и не более 1,1 для минимальных ИО.

1.2.2.11.6 Время срабатывания (возврата) максимальных (минимальных) ИО тока не превышает 15 мс при подаче трехкратного тока срабатывания 3 $I_{сраб}$ и не превышает 40 мс при подаче тока, превышающего ток срабатывания на 20 % (1,2 $I_{сраб}$).

1.2.2.11.7 Время возврата (срабатывания) максимальных (минимальных) ИО тока при сбросе тока от 10 $I_{сраб}$ до нуля составляет не более 30 мс.

1.2.3 Токовая направленная защита нулевой последовательности (ТНЗНП)

1.2.3.1 Принцип работы

ТНЗНП используется для защиты энергообъектов от замыканий на землю. Защита работает при превышении уставки тока нулевой последовательности и фиксации направления аварийной мощности от защищаемого объекта к шинам, то есть по принципу действия является максимальной направленной защитой. ТНЗНП применяется совместно с ДЗ и срабатывает при «земляных» КЗ. Селективность ТНЗНП смежных объектов обеспечивается введением ступенчатых выдержек времени.

ИО защиты являются реле тока и реле направления мощности нулевой последовательности. В устройстве реализованы восемь ступеней ТНЗНП. Уставки каждой зоны независимы друг от друга по направленности и по зоне охвата. Для линий, оснащенных защитами с абсолютной селективностью (например, дифференциально-фазной или ВЧ направленной защитами линии) от замыканий на землю, функция ТНЗНП является резервной. При этом ТНЗНП может выполнять функции основной защиты от замыканий на землю за трансформаторами и автотрансформаторами противоположного конца линии.

ТНЗНП селективно срабатывает при всех видах замыканий на землю в защищаемом объекте и резервирует действие защит смежных участков при внешних замыканиях. Если на защищаемом объекте возможен неполнофазный режим, то защита должна выводиться из действия или отстраиваться по времени или по величине тока нулевой последовательности. Защита правильно функционирует при реверсе мощности, качаниях, асинхронном режиме, несинхронных включениях, оперативных переключениях и в режиме опробования.

Функциональный блок ТНЗНП приведен на рисунке 39.

ТНЗНП реализует следующие основные блоки:

- восемь ступеней ТНЗНП, орган направленности;
- блокировку по второй гармонике;
- логику ускорения.

ТНЗНП может выводиться из работы сигналом «Вывод ТНЗНП». Дополнительно предусмотрена возможность оперативного ввода/вывода ступеней 6–8 ТНЗНП сигналом «Вывод 6-8ст.».

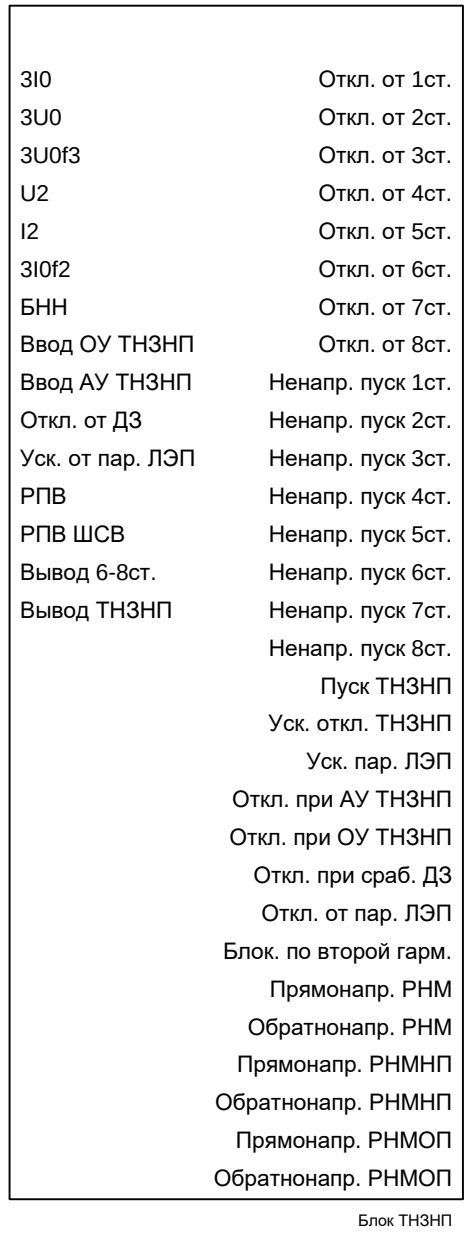


Рисунок 39 – Функциональный блок ТНЗНП

1.2.3.2 Ступень ТНЗНП

1.2.3.2.1 Принцип работы

Функциональный блок ступени ТНЗНП приведен на рисунке 40, его реализация приведена на рисунке 41.

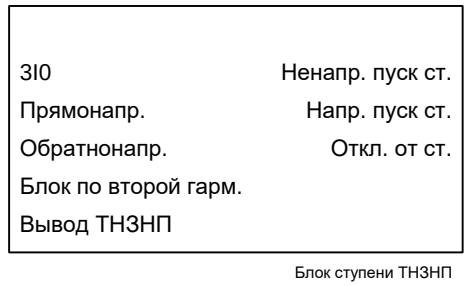


Рисунок 40 – Функциональный блок ступени ТНЗНП

Таблица 27 – Входы и выходы функционального блока ступени ТНЗНП

Аналоговые входы	
3I0	Утроенный ток нулевой последовательности
Аналоговые выходы	Отсутствуют
Логические входы	
Прямонапр.	Срабатывания прямонаправленного органа направления мощности
Обратнонапр.	Срабатывания обратнонаправленного органа направления мощности
Блок. по второй гарм.	Блокировка действия ступени ТНЗНП при броске намагничивающего тока
Вывод ТНЗНП	Вывод ТНЗНП
Логические выходы	
Ненапр. пуск ст.	Ненаправленный пуск ступени ТНЗНП
Напр. пуск ст.	Направленный пуск ступени ТНЗНП
Откл. от ст.	Отключение от ступени ТНЗНП

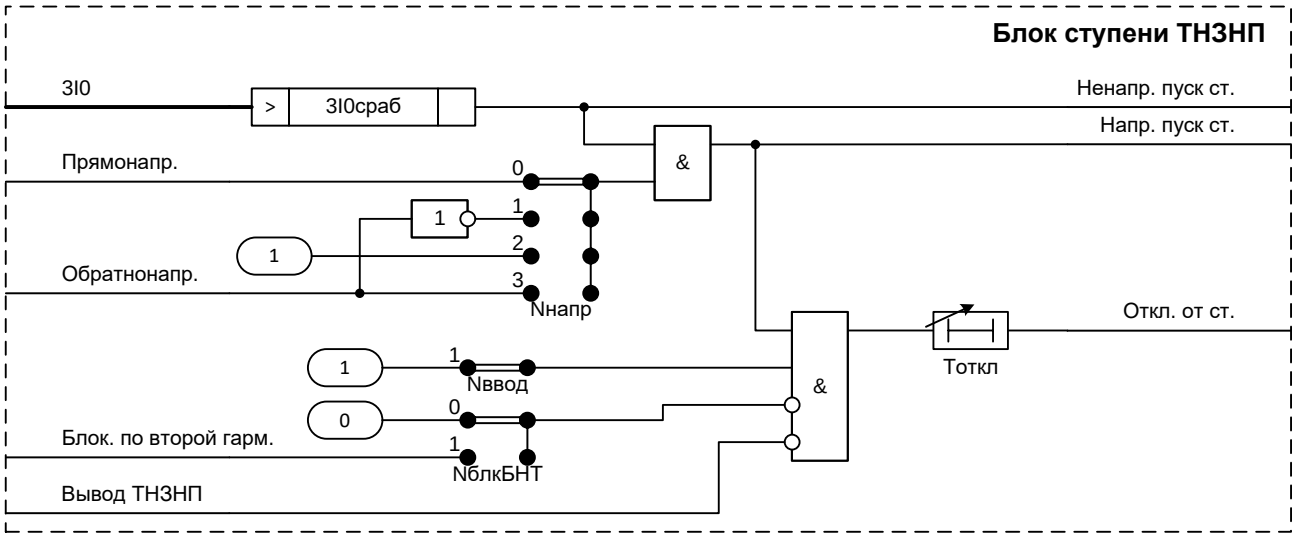


Рисунок 41 – Реализация программного модуля ступени ТНЗНП

Основным ИО ступени ТНЗНП является реле тока нулевой последовательности, которое срабатывает при превышении током уставки «**3I0сраб**».

Программной накладкой «**Nнапр**» задается логика направленного пуска ступени ТНЗНП:

- «**Nнапр**» = 0 – разрешается работа ступени, если орган направленности ТНЗНП выдает сигнал о КЗ в прямом направлении;

- «**Nнапр**» = 1 – разрешается работа ступени, если орган направленности ТНЗНП не выдает сигнал о КЗ в обратном направлении (т.е. при прямом направлении на КЗ или при недостаточной чувствительности);
- «**Nнапр**» = 2 – ступень работает без контроля направленности;
- «**Nнапр**» = 3 – разрешается работа ступени, если орган направленности ТНЗНП выдает сигнал о КЗ в обратном направлении.

Выдержка времени на срабатывание ступени ТНЗНП определяется уставкой «**Тоткл**».

Режим работы ступени ТНЗНП при БНТ смежного силового трансформатора задается при помощи программной накладки «**NблкБНТ**». Работа модуля броска тока намагничивания приведена в 1.2.3.3. Ступень ТНЗНП может быть выведена из работы сигналом «Вывод ТНЗНП».

Ступень ТНЗНП может быть введена в работу при помощи программной накладки «**Nввод**».

Таблица 28 – Уставки ступени ТНЗНП

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
Утроенный ток нулевой последовательности срабатывания ступени ТНЗНП, % от $I_{ном}$	3I0сраб	от 5 до 3000 (шаг 1)	270
Режим направленности ступени ТНЗНП (0 – прямонапр., 1 – не обратнонапр., 2 – ненапр., 3 – обратнонапр.)	Nнапр	–	0
Работа ступени ТНЗНП (0 – нет, 1 – да)	Nввод	–	0
Блокирование ступени ТНЗНП при БНТ (0 – нет, 1 – да)	NблкБНТ	–	0
ВВС ступени ТНЗНП, мс	Тоткл	от 20 до 30000 (шаг 1)	20

1.2.3.2.2 Все точностные параметры ИО тока аналогичны приведенным в 1.2.1.5.2-1.2.1.5.7.

1.2.3.3 Блокировка по второй гармонике (БВГ)

1.2.3.3.1 Принцип работы

Для предотвращения ложной работы ступени ТНЗНП в сетях с силовыми трансформаторами, вызванной процессом броска намагничивающего тока (БНТ), может быть предусмотрена функция БВГ.

Функциональный блок БВГ приведен на рисунке 42.

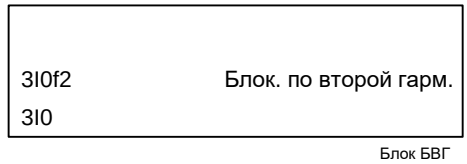


Рисунок 42 – Функциональный блок БВГ

Таблица 29 – Входы и выходы функционального блока БВГ

Аналоговые входы	
3I0f2	Утроенный ток нулевой последовательности второй гармоники
3I0	Утроенный ток нулевой последовательности
Аналоговые выходы	Отсутствуют
Логические входы	Отсутствуют
Логические выходы	
Блок. по второй гарм.	Срабатывание блокировки по второй гармонике

Логическая схема БВГ содержит три ИО, включенных на вычисляемый ток нулевой последовательности:

- «**3I0f1**» – ИО тока первой гармоники;
- «**3I0f2**» – ИО тока второй гармоники;
- «**Kf2f1**» – ИО отношения уровня тока второй гармоники к уровню тока первой гармоники.

ИО «**3I0f1**» разрешает работу ИО ТНЗНП при значительном уровне тока нулевой последовательности. Его уставка выбирается исходя из максимального возможного уровня тока нулевой последовательности, возникающего при БНТ.

Блокировка может осуществляться либо по уровню второй гармоники, либо по процентному содержанию второй гармоники. Если уставка «**Kf2f1**» = 0, то блокировка производится от ИО «**3I0f2**».

В том случае, если уставка «**Kf2f1**» отлична от нуля, то активируется модуль блокирования, реагирующий на отношение второй гармоники к первой гармонике в токе нулевой последовательности. Минимальный ток нулевой последовательности второй гармоники, при котором вводится в работу ИО «**Kf2f1**» составляет 15 % от $I_{ном}$. Уставка ИО «**3I0f2**», в этом случае, не влияет на работу устройства.

Таблица 30 – Уставки органа БВГ

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
Утроенный ток нулевой последовательности первой гармоники, % от $I_{ном}$	3I0f1	от 15 до 1000 (шаг 1)	100
Утроенный ток нулевой последовательности второй гармоники, % от $I_{ном}$	3I0f2	от 15 до 800 (шаг 1)	50
Отношение второй гармоники тока нулевой последовательности к первой гармонике тока нулевой последовательности, %	Kf2f1	от 0 до 18 (шаг 1)	15

При фиксации БНТ формируется сигнал «Блок. по второй гарм.» и блокируются выбранные ступени ТНЗНП, а также ИО «**3I0**» модуля определения КЗ в ЛЭП.

1.2.3.3.2 Средняя основная погрешность по току срабатывания ИО тока не превышает ±3 % от уставки или ±5 % от номинальной величины.

1.2.3.3.3 Средняя основная погрешность по уровню блокировки по второй гармонике тока не превышает ±10 %.

1.2.3.3.4 Коэффициент возврата ИО тока не менее 0,9 для максимальных ИО.

1.2.3.3.5 Дополнительная погрешность по току срабатывания ИО тока при изменении температуры окружающего воздуха в рабочем диапазоне температур не превышает ±5 % от среднего значения, измеренного при температуре (20±5) °С.

1.2.3.3.6 Дополнительная погрешность по току срабатывания ИО тока при изменении частоты в диапазоне от 0,9 до 1,1 $f_{ном}$ не превышает ±5 % от среднего значения, измеренного при номинальной частоте.

1.2.3.3.7 Время срабатывания максимальных ИО тока не превышает 15 мс при подаче трехкратного тока срабатывания 3 $I_{сраб}$ и не превышает 40 мс при подаче тока, превышающего ток срабатывания на 20 % (1,2 $I_{сраб}$).

1.2.3.3.8 Время возврата максимальных ИО тока не превышает 30 мс при сбросе тока от 10 $I_{сраб}$ до нуля.

1.2.3.4 Орган направленности ТНЗНП (Направленность ТНЗНП)

1.2.3.4.1 Принцип работы

Для обеспечения направленности ТНЗНП используются два реле направления мощности нулевой последовательности (РНМНП): разрешающее, которое срабатывает при направлении мощности нулевой последовательности от защищаемого объекта к шинам, и

блокирующее, которое срабатывает при обратном направлении мощности нулевой последовательности.

Функциональный блок направленности ТНЗНП приведен на рисунке 43, его реализация приведена на рисунке 44.

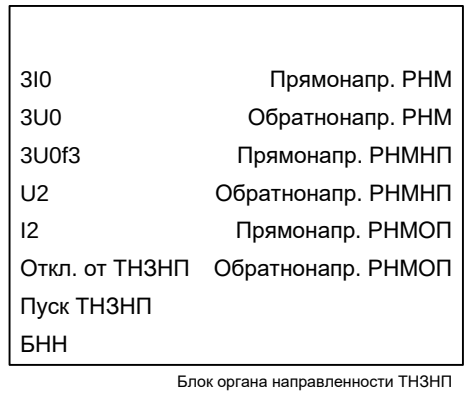


Рисунок 43 – Функциональный блок направленности ТНЗНП

Таблица 31 – Входы и выходы функционального блока направленности ТНЗНП

Аналоговые входы	
3I0	Утроенный ток нулевой последовательности
3U0	Утроенное напряжение нулевой последовательности
3U0f3	Утроенное напряжение нулевой последовательности третьей гармоники
U2	Напряжение обратной последовательности
I2	Ток обратной последовательности
Аналоговые выходы	Отсутствуют
Логические входы	
Откл.от ТНЗНП	Срабатывание ступеней ТНЗНП на отключение выключателя
Пуск ТНЗНП	Ненаправленный пуск ступеней ТНЗНП
БНН	Срабатывание блокировки при неисправностях в цепях напряжения
Логические выходы	
Прямонапр. РНМ	Срабатывания прямонаправленного органа направления мощности
Обратнонапр. РНМ	Срабатывания обратнонаправленного органа направления мощности
Прямонапр. РНМНП	Срабатывание прямонаправленного РНМНП
Обратнонапр. РНМНП	Срабатывание обратнонаправленного РНМНП
Прямонапр. РНМОП	Срабатывание прямонаправленного РНМОП
Обратнонапр. РНМОП	Срабатывание обратнонаправленного РНМОП

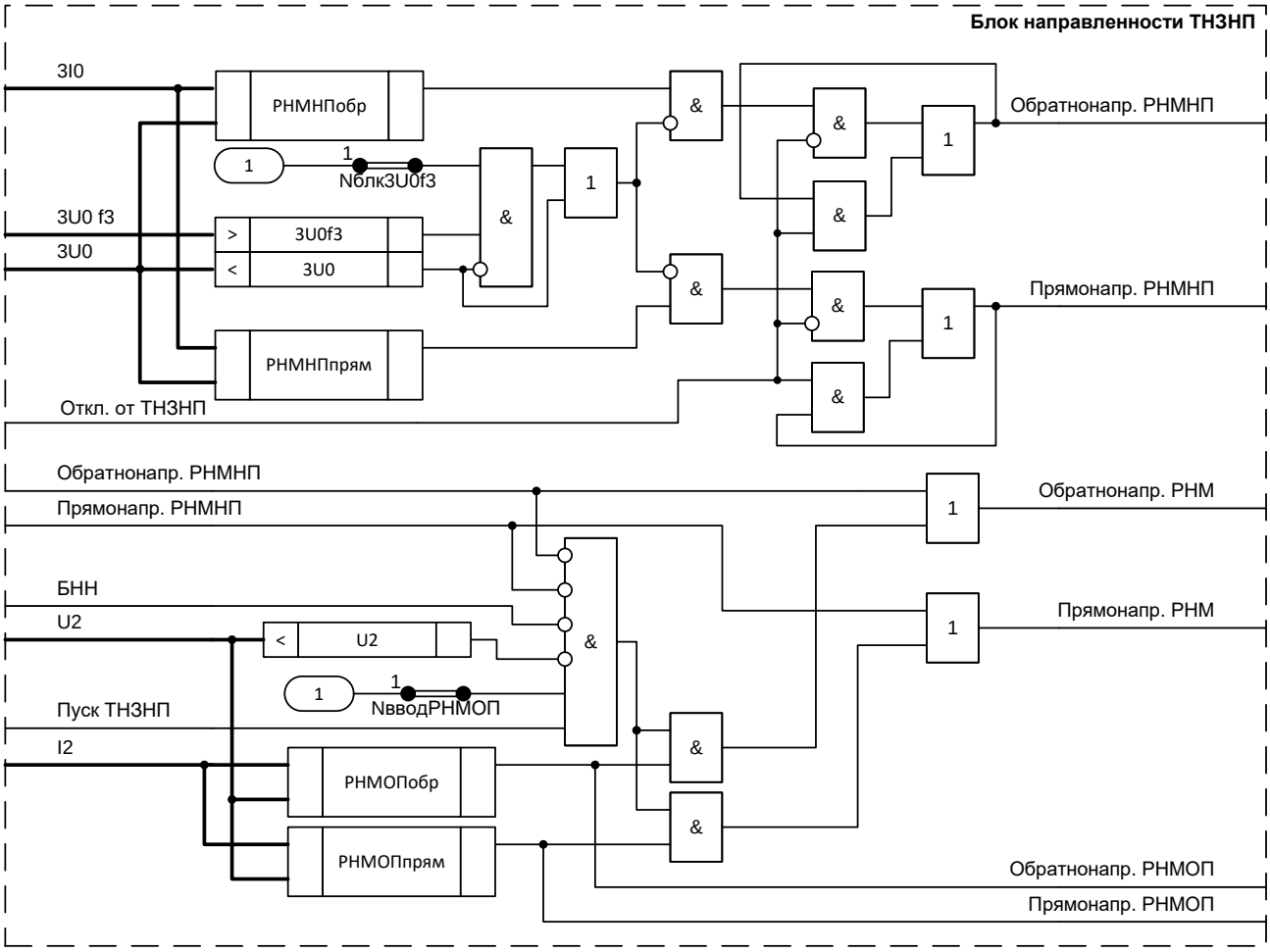


Рисунок 44 – Реализация программного модуля направленности ТНЗНП

Действие ИО направленности не зависит от величины напряжения нулевой последовательности в интервале от 0,5 до 100 % номинального значения. Когда напряжение меньше 0,5 %, реле минимального напряжения блокируется.

Прямонаправленное РНМНП срабатывает при выполнении следующего условия

$$-3I_0\cos(\varphi_{UI}-\text{ФмчРНМНП})>\text{IпрямРНМНП},$$

где I_0 – ток нулевой последовательности;

φ_{UI} – угол между током $3\underline{I}_0$ и расчетным напряжением нулевой последовательности ($3\underline{U}_{0РНМ}=3\underline{U}_0+3\underline{I}_0\cdot\underline{Z}_{смещ,0}$), положительное значение отсчитывается от напряжения к току;

$\underline{Z}_{смещ,0}$ = RсмещРНМНП + jXсмещРНМНП – сопротивление смещения точки подключения ИТН в линию, используется для повышения чувствительности органа направленности при питании энергообъектов, отходящих от мощных станций, когда напряжение нулевой последовательности при замыканиях на землю близко к нулю;

«**ФмчРНМНП**» – уставка по углу максимальной чувствительности;

«**IпрямРНМНП**» – уставка по току срабатывания прямонаправленного органа (аналог тока точной работы реле сопротивления).

Обратнонаправленное РНМНП срабатывает при выполнении следующего условия

$$3I_0\cos(\varphi_{UI}-\text{ФмчРНМНП})>\text{IобрРНМНП},$$

где «**IобрРНМНП**» – уставка по току срабатывания обратнонаправленного органа.

Характеристика срабатывания органа направленности ТНЗНП приведена на рисунке 45.

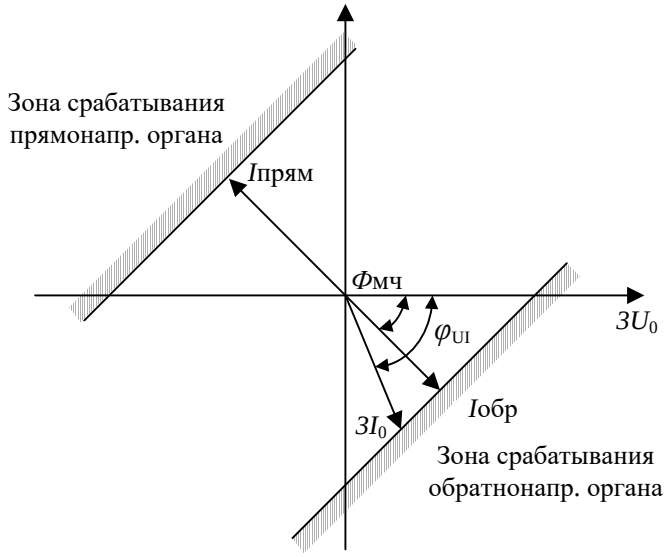


Рисунок 45 – Характеристика срабатывания ИО направленности ТНЗНП

Сопротивление смещения точки подключения ИТН в линию определяется уставками «**RсмещРНМНП**» и «**XсмещРНМНП**». Для смещения точки подключения ИТН с шин в присоединение аргумент сопротивления смещения необходимо **принять на 180º больше** угла максимальной чувствительности.

Кроме ИО РНМНП, орган направленности содержит ИО минимального напряжения нулевой последовательности «**3U0**», предназначенное для блокирования измерительных цепей при пониженном напряжении 3 U_0, а также ИО контроля искажения формы кривой напряжения нулевой последовательности «**3U0f3**».

ИО «**3U0**» реагирует на расчетное напряжение $3\underline{U}_{0РНМ}$.

Когда напряжение имеет низкий уровень, оно может иметь высокое содержание гармоник, особенно третьей гармоники, по отношению к составляющей частоты основной гармоники (например, при использовании емкостных ИТН), что может приводить к ложной работе органа направленности. Для предотвращения ложной работы ИО «**3U0f3**» контролирует уровень третьей гармоники напряжения нулевой последовательности по отношению к первой; контроль может быть введен программной накладкой «**Nблк3U0f3**».

Предусмотрен вывод направленности ступеней в том случае, если одна из ступеней начала действовать на отключение (сигнал «Откл. от ТНЗНП»), что обеспечивает устойчивое состояние срабатывания ТНЗНП при неполнофазном отключении, которое может возникнуть на выключателях с пофазным приводом. Устойчивое состояние срабатывания ТНЗНП в первую очередь необходимо для работы УРОВ.

При появлении сигнала о ненаправленном пуске ТНЗНП и отсутствии срабатывания обоих РНМНП (прямого и обратного) предусмотрена возможность ввода программной накладкой «**NвводРНМОП**» двух реле направления мощности обратной последовательности (РНМОП): прямонаправленного и обратнонаправленного, включенных по схеме «ИЛИ» с органами направления мощности нулевой последовательности, как показано на рисунке 44.

РНМОП выполнено аналогично РНМНП и отличается только подводимыми величинами. Работа РНМОП контролируется ИО минимального напряжения обратной последовательности «**U2**» и блоком БНН.

Для повышения чувствительности органа направленности по обратной последовательности при питании длинных ВЛ, отходящих от мощных станций, предусмотрена возможность искусственного смещения точки подключения ИТН в присоединение на величину $\underline{Z}_{смещ,2}$ = RсмещРНМОП+jXсмещРНМОП.

Сопротивление смещения точки подключения ИТН в линию определяется уставками «**RсмещРНМОП**» и «**XсмещРНМОП**». Для смещения точки подключения ИТН с шин в присоединение аргумент сопротивления смещения необходимо принять на 180º больше угла максимальной чувствительности.

Уровень срабатывания ИО минимального напряжения нулевой последовательности задается уставкой «**3U0**». Уровень срабатывания ИО минимального напряжения обратной последовательности задается уставкой «**U2**».

Уровень срабатывания ИО контроля искажения формы кривой вторичного напряжения нулевой последовательности задается уставкой «**3U0f3**».

Таблица 32 – Уставки органа направленности ТНЗНП

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
Ток срабатывания прямонаправленного РНМНП, % от $I_{ном}$	IпрямРНМНП	от 5 до 150 (шаг 1)	47
Ток срабатывания обратнонаправленного РНМНП, % от IпрямРНМНП	IобрРНМНП	от 0 до 100 (шаг 1)	100
Угол максимальной чувствительности РНМНП, градус	ФмчРНМНП	от 0 до 90 (шаг 1)	75
Смещение характеристики РНМНП по оси R, Ом	RсмещРНМНП	от -50 до 50 (шаг 0,01)	0
Смещение характеристики РНМНП по оси X, Ом	XсмещРНМНП	от -50 до 50 (шаг 0,01)	0
Минимальное утроенное напряжение нулевой последовательности для работы РНМНП, % от $3U0_{ном}$	3U0	от 0,5 до 100 (шаг 0,1)	6
Коэффициент искажения формы напряжения нулевой последовательности, % от 3U0	3U0f3	от 0,5 до 50 (шаг 0,1)	50
Ток срабатывания прямонаправленного РНМОП, % от $I_{ном}$	IпрямРНМОП	от 5 до 150 (шаг 1)	17
Ток срабатывания обратнонаправленного РНМОП, % от IпрямРНМОП	IобрРНМОП	от 0 до 100 (шаг 1)	100
Угол максимальной чувствительности РНМОП, градус	ФмчРНМОП	от 0 до 90 (шаг 1)	79
Смещение характеристики РНМОП по оси R, Ом	RсмещРНМОП	от -50 до 50 (шаг 0,01)	0
Смещение характеристики РНМОП по оси X, Ом	XсмещРНМОП	от -50 до 50 (шаг 0,01)	0
Минимальное напряжение обратной последовательности для работы РНМОП, % от $U_{ф.ном}$	U2	от 0,5 до 100 (шаг 0,1)	6
Работа ИО РНМОП (0 – нет, 1 – да)	NвводРНМОП	–	1
Блокирование РНМНП по уровню третьей гармоники в напряжении 3U0 (0 – нет, 1 – да)	Nблк3U0f3	–	0

1.2.3.4.2 Средняя основная погрешность по напряжению срабатывания ИО напряжения, кроме ИО напряжения третьей гармоники, не превышает ±3 % от уставки или ±5 % от номинальной величины.

1.2.3.4.3 Средняя основная погрешность ИО напряжения третьей гармоники не превышает ±5 % от значения уставки или ±0,1 % от $U_{ном}$.

1.2.3.4.4 Дополнительная погрешность по напряжению срабатывания ИО напряжения при изменении температуры окружающего воздуха в рабочем диапазоне температур не превышает ±5 % от среднего значения, измеренного при температуре (20±5) °С.

1.2.3.4.5 Дополнительная погрешность по напряжению срабатывания ИО напряжения при изменении частоты в диапазоне от 0,9 до 1,1 $f_{ном}$ не превышает ±5 % от среднего значения, измеренного при номинальной частоте.

1.2.3.4.6 Коэффициент возврата ИО напряжения не менее 0,9 для максимальных ИО и не более 1,1 для минимальных ИО.

1.2.3.4.7 Время срабатывания (возврата) максимальных (минимальных) ИО напряжения не превышает 15 мс при подаче соответствующего трехкратного напряжения срабатывания 3 $U_{сраб}$.

1.2.3.4.8 Время возврата (срабатывания) максимальных (минимальных) ИО напряжения не превышает 30 мс при сбросе напряжения от 3 $U_{сраб}$ до нуля.

1.2.3.4.9 Все точностные параметры РНМ аналогичны приведенным в 1.2.1.4.20-1.2.1.4.27.

1.2.3.5 Ускорение ТНЗНП

1.2.3.5.1 Принцип работы

В устройстве предусмотрена возможность ускорения ступеней ТНЗНП в следующих режимах:

- при включении выключателя (автоматическое ускорение);
- от внешнего сигнала «Ввод ОУ ТНЗНП» (оперативное ускорение);
- при срабатывании защиты;
- от защиты параллельной линии.

Функциональный блок ускорения ТНЗНП приведен на рисунке 46.

Рисунок 46 – Функциональный блок ускорения ТНЗНП

Таблица 33 – Входы и выходы функционального блока ускорения ТНЗНП

Аналоговые входы	Отсутствуют
Аналоговые выходы	Отсутствуют
Логические входы	
Ненапр. пуск ст.	Ненаправленный пуск ступеней ТНЗНП (1-8)
Напр. пуск ст.	Направленный пуск ступеней ТНЗНП (1-8)
Ввод АУ ТНЗНП	Ввод автоматического ускорения ТНЗНП
Ввод ОУ ТНЗНП	Ввод оперативного ускорения ТНЗНП
Уск. от пар. ЛЭП	Ускорение от защит параллельной линии
РПВ	Сигнал включенного положения выключателя
РПВ ШСВ	Сигнал включенного положения шиносоединительного выключателя
Откл. от ДЗ	Отключение выключателя от дистанционной защиты
Пуск ТНЗНП	Ненаправленный пуск ступеней ТНЗНП
Прямонапр. РНМНП	Срабатывания прямонаправленного органа направления мощности нулевой последовательности
Вывод ТНЗНП	Вывод ТНЗНП
Блок. по второй гарм.	Блокировка действия ступени ТНЗНП при броске намагничивающего тока
Логические выходы	
Откл. при АУ ТНЗНП	Отключение при АУ ТНЗНП
Откл. при ОУ ТНЗНП	Отключение при ОУ ТНЗНП
Откл. от пар. ЛЭП	Ускорение ТНЗНП при срабатывании защит параллельной ЛЭП
Откл. при сраб. ДЗ	Ускорение ТНЗНП при срабатывании ДЗ
Уск. откл. ТНЗНП	Ускоренное отключение от ТНЗНП

1.2.3.5.2 Автоматическое ускорение ТНЗНП (АУ ТНЗНП)

Предусмотрена возможность АУ первой-восьмой ступеней ТНЗНП. Реализация программного модуля АУ ТНЗНП приведена на рисунке 47.

Выдержка времени на срабатывание логики АУ ТНЗНП определяется уставкой «**Тоткл**».

При помощи программной накладки «**NускСт**» выбирается режим ускорения или запрещается АУ («**NускСт**» = 0). Чаще всего выбирается режим ненаправленного пуска АУ ступени ТНЗНП.

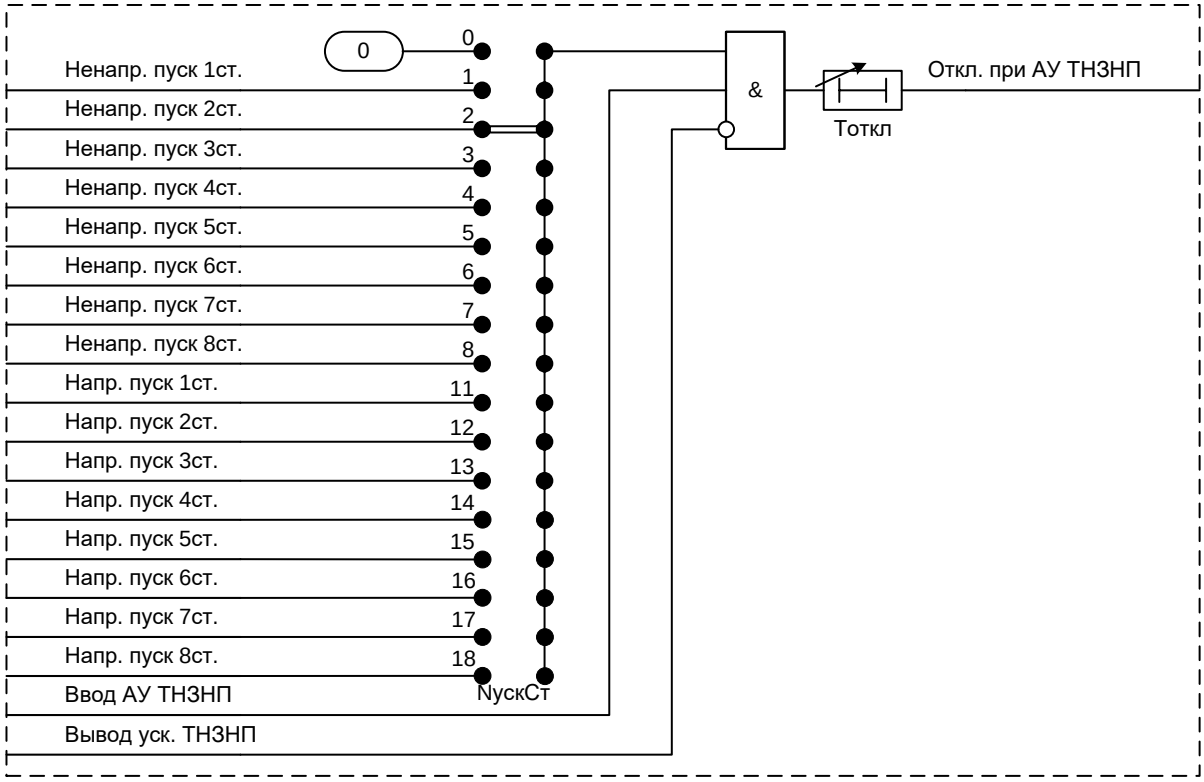


Рисунок 47 – Реализация программного модуля АУ ТНЗНП

1.2.3.5.3 Ускорение ТНЗНП при срабатывании ДЗ (Ускорение от ДЗ)

Для обеспечения сохранения отключающего сигнала при переходе многофазного КЗ, вызвавшего срабатывание ДЗ (сигнал «Откл. от ДЗ»), в КЗ на землю предусмотрена возможность ускорения второй-восьмой ступеней ТНЗНП с контролем направленности (рисунок 48).

Данное ускорение осуществляется с выдержкой времени «**Тоткл**» и вводится в работу на время, определяемое уставкой «**Тввод**». С помощью программной накладки «**NускСт**» выбирается ускоряемая ступень. Ускорение ТНЗНП при срабатывании ДЗ может быть введено в работу при помощи программной накладки «**Nввод**».

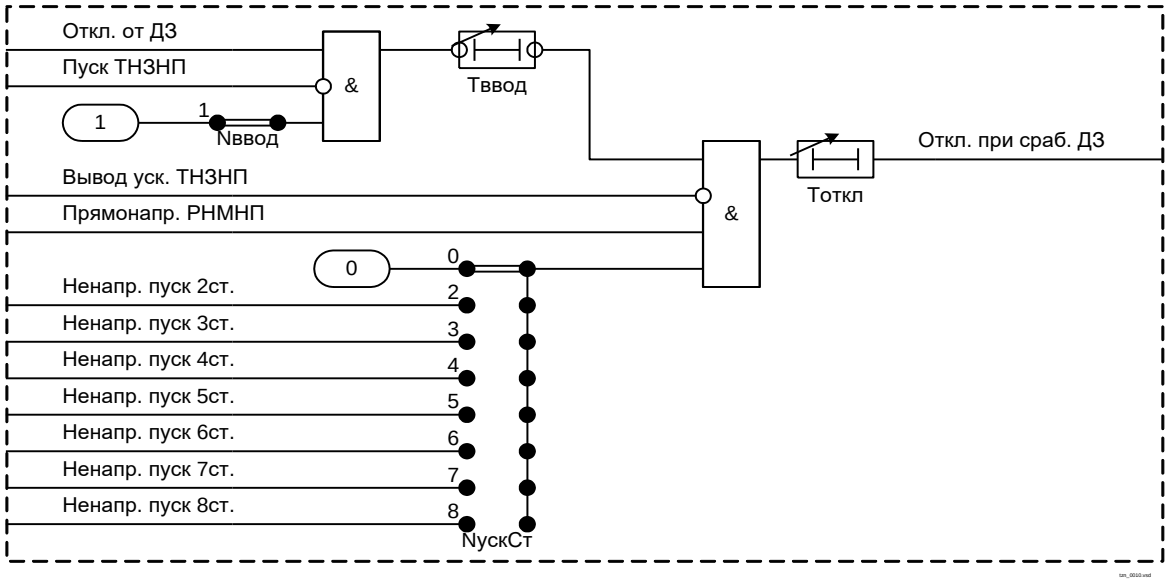


Рисунок 48 – Реализация программного модуля ускорения ТНЗНП при срабатывании ДЗ

1.2.3.5.4 Ускорение ТНЗНП от защит параллельной линии (Ускорение от ПЛ)

Схемой логики предусмотрена возможность ускорения второй-восьмой ступеней ТНЗНП от защит параллельной линии с контролем направленности, как показано на рисунке 49. В схеме ускорения используется суммарный сигнал о включенном положении своего выключателя (РПВ) и сигнал «Уск. от пар. ЛЭП». Сигнал «Уск. от пар. ЛЭП» формируется в устройстве защит

параллельной линии путем объединения по «И» логического сигнала «РПВ» и сигнала о срабатывании РНМНП обратной направленности, что необходимо для исключения неправильного действия ускоряемой защиты при повреждении на параллельной линии в зоне между выносным ИТТ и выключателем.

Терминал защиты также формирует сигнал ускорения защиты параллельной линии при включенном выключателем и срабатывании ИО РНМНП обратной направленности.

Если линии подключены к различным системам шин, то необходимо использовать также сигнал о включенном состоянии шиносоединительного выключателя (сигнал «РПВ ШСВ»). Для выбора режима работы ускорения от защит параллельной ЛЭП используется программная накладка «**Nреж**».

Время действия ускоряемой ступени определяется уставкой «**Тоткл**». Ускоряемая ступень или запрет ускорения от параллельной линии определяется программной накладкой «**NускСт**» («**NускСт**» = 0 – запрет ускорения).

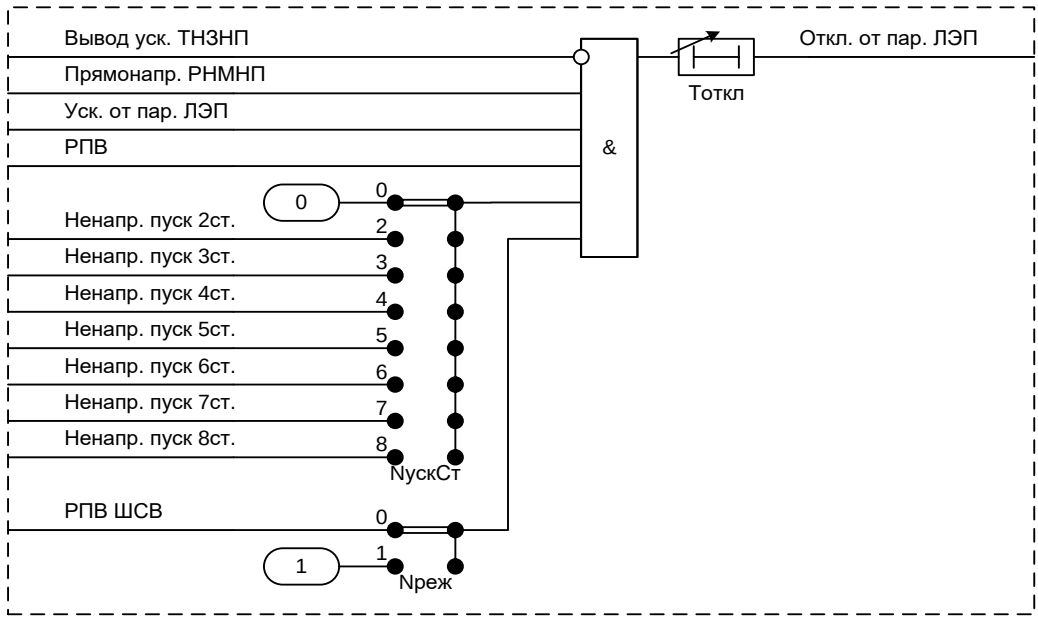


Рисунок 49 – Реализация программного модуля ускорения ТНЗНП от параллельной линии

1.2.3.5.5 Оперативное ускорение ТНЗНП (ОУ ТНЗНП)

Предусмотрена возможность ввода ОУ ступени ТНЗНП. ОУ чаще всего вводится при выводе основной защиты присоединения. Реализация программного модуля ОУ приведена на рисунке 50.

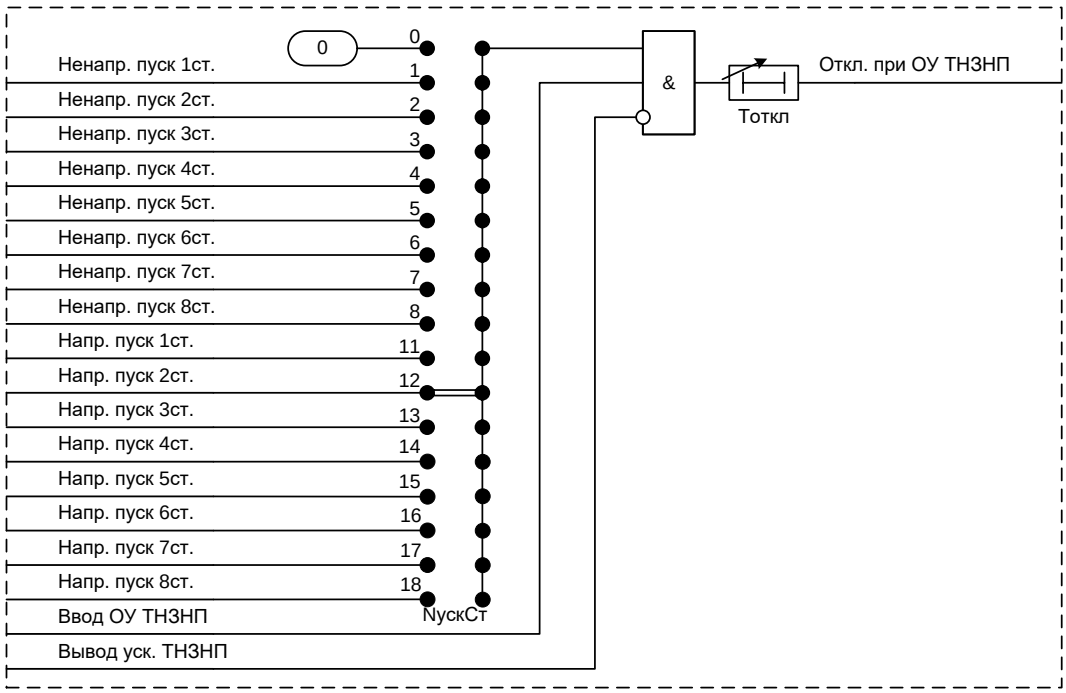


Рисунок 50 – Реализация программного модуля ОУ ТНЗНП

Ввод ОУ ТНЗНП осуществляется сигналом «Ввод ОУ ТНЗНП». Ускоряемая ступень выбирается программной накладкой «**NускСт**» и может быть как ненаправленной, так и направленной. Время срабатывания ТНЗНП в режиме ОУ определяется уставкой «**Тоткл**».

1.2.3.5.6 Все сигналы о срабатывании ТНЗНП при ускорении объединяются по логике «ИЛИ», и действуют на отключение, как показано на рисунке 51.

Функции ускорения ТНЗНП выводятся из работы при выводе ТНЗНП.

В логике ускорения ТНЗНП предусмотрено блокирование срабатывания при БНТ. Оно вводится программной накладкой «**NблкБНТ**».

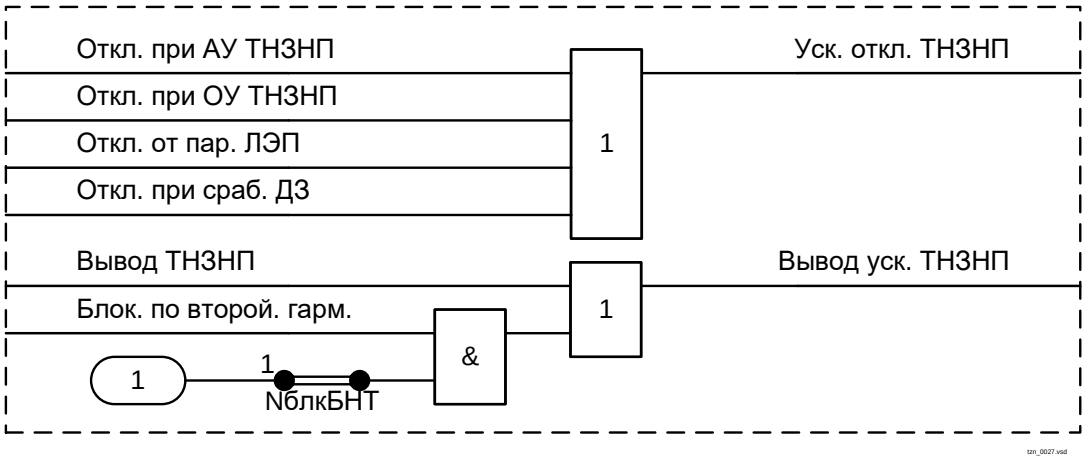


Рисунок 51 – Реализация логики формирования сигнала на отключение при ускорении ТНЗНП

Таблица 34 – Уставки ускорения ТНЗНП

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
Блокирование ускорения ТНЗНП при БНТ (0 – нет, 1 – да)	NблкБНТ	–	1
Автоматическое ускорение (АУ ТНЗНП)			
Режим автоматического ускорения ТНЗНП (0 – вывод, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 – ненапр. пуск 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ст.; 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 – напр. пуск 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ст.)	NускСт	–	2

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
ВВС логики автоматического ускорения, мс	Тоткл	от 50 до 5000 (шаг 1)	100
Оперативное ускорение (ОУ ТНЗНП)			
Режим оперативного ускорения ТНЗНП (0 – вывод, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 – ненапр. пуск 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ст.; 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 – напр. пуск 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ст.)	NускСт	–	12
ВВС логики оперативного ускорения, мс	Тоткл	от 50 до 5000 (шаг 1)	200
Ускорение при срабатывании ДЗ (Ускорение от ДЗ)			
Работа ускорения ТНЗНП при срабатывании ДЗ (0 – нет, 1 – да)	Nввод	–	0
Режим ускорения ТНЗНП при срабатывании ДЗ (0 – вывод, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 – ненапр. пуск 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ст.)	NускСт	–	0
ВВС логики ускорения при срабатывании ДЗ, мс	Тоткл	от 5 до 50 (шаг 1)	50
Время ввода ускорения при срабатывании ДЗ, мс	Тввод	от 50 до 500 (шаг 1)	500
Ускорение ТНЗНП от защит параллельной линии (Ускорение от ПЛ)			
Режим работы ускорения от защит параллельной ЛЭП (0 – ввод при РПВ ШСВ, 1 – пост. ввод)	Nреж	–	0
Номер ускоряемой ступени ТНЗНП от защит параллельной ЛЭП (0 – вывод, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 – ненапр. пуск 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ст.)	NускСт	–	0
ВВС логики ускорения от защит параллельной ЛЭП, мс	Тоткл	от 50 до 5000 (шаг 1)	500

1.2.4 Токовая отсечка (ТО)

1.2.4.1 Принцип работы

Устройство может включать ТО, содержащую три токовых ИО, включенных на фазные токи («**IсрабА**», «**IсрабВ**», «**IсрабС**»).

Функциональный блок ТО приведен на рисунке 52, его реализация приведена на рисунке 53.

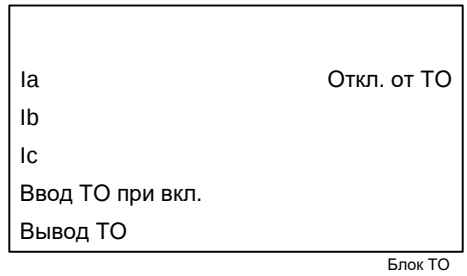


Рисунок 52 – Функциональный блок ТО

Таблица 35 – Входы и выходы функционального блока ТО

Аналоговые входы	
Ia, Ib, Ic	Токи фаз А, В, С
Аналоговые выходы	Отсутствуют
Логические входы	
Ввод ТО при вкл.	Ввод ТО при включении выключателя
Вывод ТО	Вывод ТО из работы
Логические выходы	
Откл. от ТО	Отключение от ТО

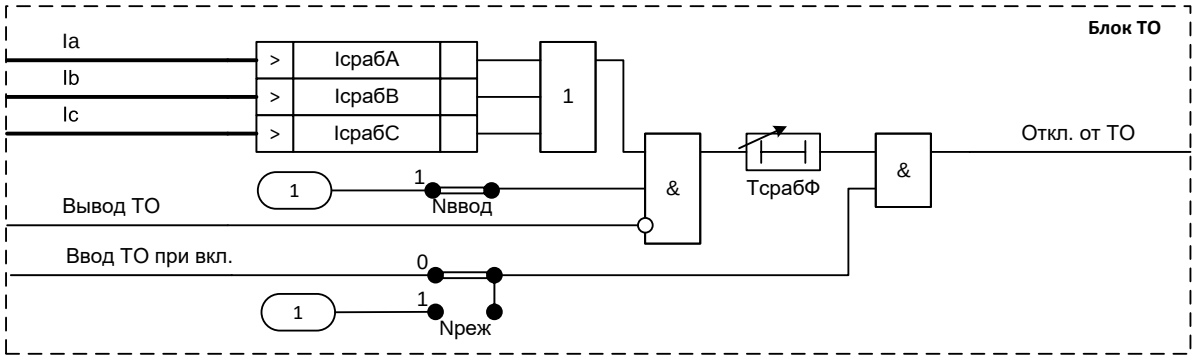


Рисунок 53 – Реализация программного модуля ТО

Программная накладка «**Nреж**» определяет режим работы ТО:

- «**Nреж**» = 0 – ТО вводится сигналом «Ввод ТО при вкл.»;
- «**Nреж**» = 1 – ТО введена постоянно.

ТО может быть выведена из работы сигналом «Вывод ТО».

Уровень срабатывания ИО, включенных на фазные токи, регулируется уставкой «**IсрабФ**».

ТО может быть введена в работу при помощи программной накладки «**Nввод**».

Выдержка времени на срабатывание фазной ТО определяется уставкой «**TсрабФ**».

Таблица 36 – Уставки ТО

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
Ток срабатывания ТО, % от $I_{ном}$	IсрабФ	от 15 до 3000 (шаг 1)	450
Режим работы ТО (0 – при вкл., 1 – непрерывный)	Nреж	–	0
Работа ТО (0 – нет, 1 – да)	Nввод	–	1
ВВС фазной ТО, мс	TсрабФ	от 1 до 10000 (шаг 1)	20

1.2.4.1.1 Все точностные параметры ИО тока аналогичны приведенным в 1.2.1.5.2-1.2.1.5.7.

1.2.5 Ступень максимальной токовой защиты (Ступень МТЗ)

1.2.5.1 Принцип работы

Устройство может содержать несколько ступеней МТЗ. Функциональный блок ступени МТЗ приведен на рисунке 54, его реализация приведена на рисунке 55.

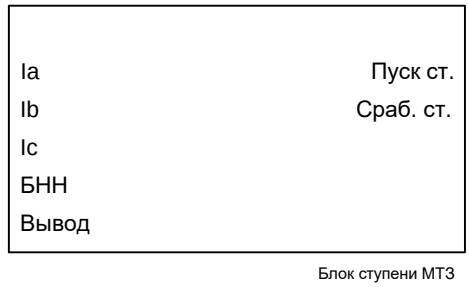


Рисунок 54 – Функциональный блок ступени МТЗ

Таблица 37 – Входы и выходы функционального блока ступени МТЗ

Аналоговые входы	
Ia, Ib, Ic	Токи фаз А, В, С
Аналоговые выходы	Отсутствуют
Логические входы	
БНН	Срабатывание блокировки при неисправностях в цепях напряжения
Вывод	Вывод ступени МТЗ
Логические выходы	
Пуск ст.	Пуск ступени МТЗ
Сраб. ст.	Срабатывание ступени МТЗ

Каждая ступень содержит ИО, включенные на фазные токи («**IсрабА**», «**IсрабВ**», «**IсрабС**»).
Режим работы ступени МТЗ определяется программной накладкой «**Nреж**»:
- «**Nреж**» = 0 – МТЗ выведена из работы;
- «**Nреж**» = 1 – МТЗ вводится в работу при неисправности в цепях напряжения;
- «**Nреж**» = 2 – МТЗ непрерывно введена в работу.

Время срабатывания ступени МТЗ определяется уставкой «**Тсраб**».
Уровень срабатывания ИО, включенных на фазные токи, регулируется уставкой «**IсрабФ**».

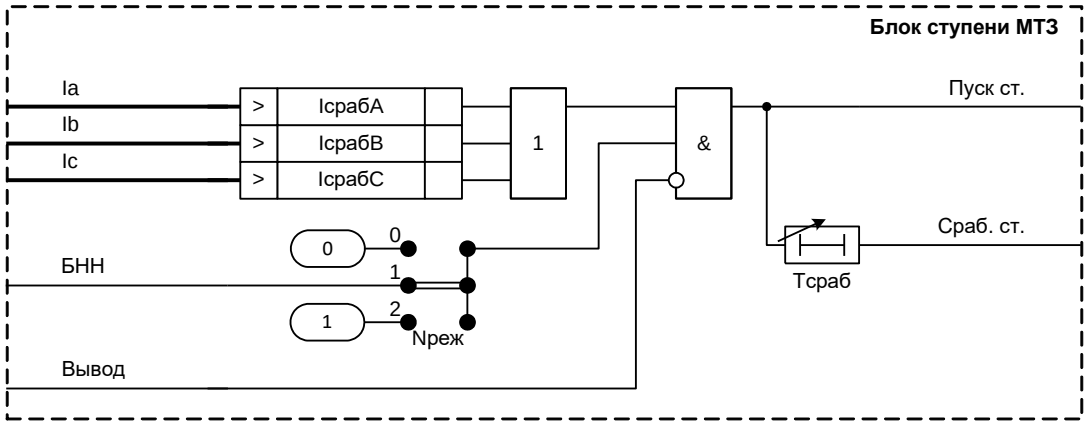


Рисунок 55 – Реализация программного модуля ступени МТЗ

Таблица 38 – Уставки ступени МТЗ

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
Ток срабатывания ступени МТЗ, % от $I_{ном}$	IсрабФ	от 15 до 3000 (шаг 1)	390
Режим работы ступени МТЗ (0 – вывод, 1 – неисп. ЦН, 2 – непрерывный)	Nреж	–	1
ВВС ступени МТЗ, мс	Тсраб	от 15 до 20000 (шаг 1)	400

1.2.5.1.1 Все точностные параметры ИО тока аналогичны приведенным в 1.2.1.5.2-1.2.1.5.7.

1.2.6 Автоматическое ускорение (АУ)

1.2.6.1 Принцип работы

Функциональный блок АУ приведен на рисунке 56, его реализация приведена на рисунке 57.

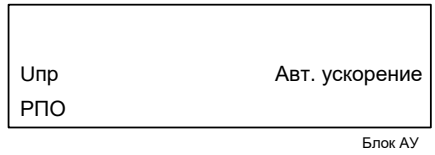


Рисунок 56 – Функциональный блок АУ

Таблица 39 – Входы и выходы функционального блока АУ

Аналоговые входы	
Uпр	Напряжение на присоединении
Аналоговые выходы	Отсутствуют
Логические входы	
РПО	Сигнал отключенного положения выключателя
Логические выходы	
Авт. ускорение	Пуск автоматического ускорения защит

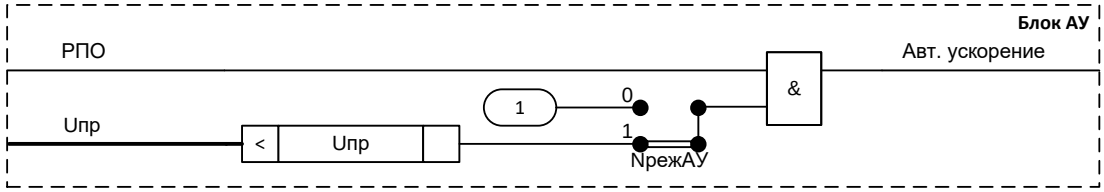


Рисунок 57 – Реализация программного модуля АУ

АУ позволяет уменьшить время отключения КЗ при первом включении выключателя. Пуск АУ осуществляется от сигнала «РПО».

Программной накладкой «**NрежАУ**» определяется режим работы блока АУ:

- «**NрежАУ**» = 0 – АУ работает без контроля отсутствия напряжения на присоединении;
- «**NрежАУ**» = 1 – АУ работает с контролем отсутствия напряжения на присоединении.

Таблица 40 – Уставки АУ

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
Минимальное напряжение присоединения для ввода АУ, % от $U_{ф.ном}$	Uпр	от 5 до 100 (шаг 1)	50
Режим работы АУ (0 – без контроля Uпр., 1 – контроль Uпр.)	NрежАУ	–	1

1.2.6.1.1 Все точностные параметры ИО напряжения аналогичны приведенным в 1.2.1.6.2-1.2.1.6.7.

1.2.7 Защита от неполнофазного режима (ЗНР)

1.2.7.1 Принцип работы

Устройство может включать ЗНР. Функциональный блок ЗНР приведен на рисунке 58, его реализация приведена на рисунке 59.

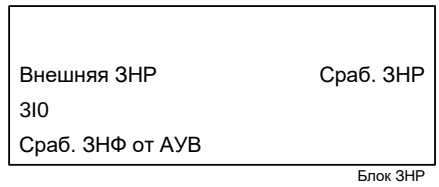


Рисунок 58 – Функциональный блок ЗНР

Таблица 41 – Входы и выходы функционального блока ЗНР

Аналоговые входы	Отсутствуют
3I0	Утроенный ток нулевой последовательности
Аналоговые выходы	Отсутствуют
Логические входы	
Внешняя ЗНР	Работа внешней ЗНР
Сраб. ЗНФ от АУВ	Срабатывание ЗНФ от АУВ
Логические выходы	
Сраб. ЗНР	Срабатывание защиты от неполнофазного режима

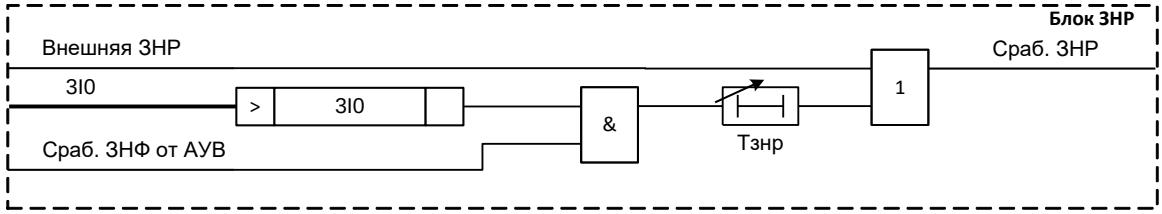


Рисунок 59 – Реализация программного модуля ЗНР

Защита построена с использованием сигнала «Сраб. ЗНФ от АУВ» (срабатывание защиты от неперключения фаз от автоматики управления выключателем), который появляется при неполнофазном включении выключателя.

ЗНР выполняются только для выключателей с пофазным управлением электромагнитами.

При фиксации сигнала «Сраб. ЗНФ от АУВ» и одновременном срабатывании ИО «**3I0сраб**» формируется сигнал срабатывания защиты от неполнофазного режима «Сраб. ЗНР», действующий на пуск УРОВ с выдержкой времени «**Тзнр**».

Предусмотрено срабатывание ЗНР от входного дискретного сигнала «Внешняя ЗНР».

Таблица 42 – Уставки ЗНР

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
Утроенный ток нулевой последовательности срабатывания ЗНР, % от $I_{ном}$	3I0сраб	от 5 до 3000 (шаг 1)	5
Выдержка времени на пуск УРОВ от ЗНР, мс	Тзнр	от 100 до 20000 (шаг 1)	300

1.2.7.1.1 Все точностные параметры ИО тока аналогичны приведенным в 1.2.1.5.2-1.2.1.5.7.

1.2.8 Блокировка при неисправностях в цепях напряжения (БНН)

1.2.8.1 Принцип работы

В устройстве может быть реализована БНН, реагирующая на все виды обрывов и замыканий, как в цепях «звезды», так и в цепях «разомкнутого треугольника», а также обрыв нейтрального провода. Функциональный блок БНН приведен на рисунке 60.

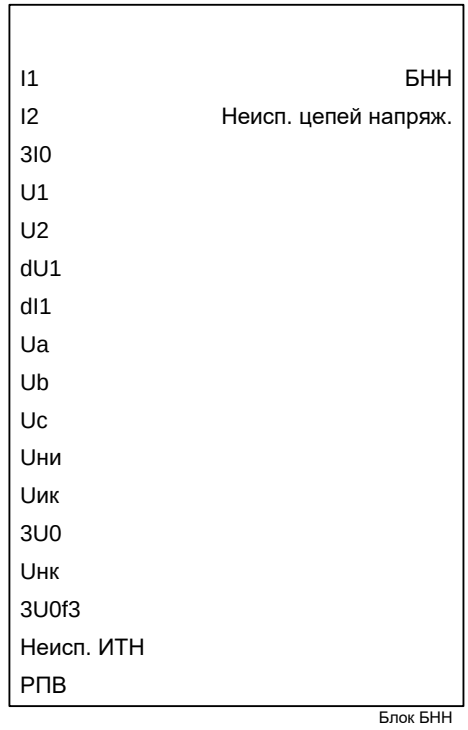


Рисунок 60 – Функциональный блок БНН

Таблица 43 – Входы и выходы функционального блока БНН

Аналоговые входы	
I1	Ток прямой последовательности
I2	Ток обратной последовательности
3I0	Утроенный ток нулевой последовательности
U1	Напряжение прямой последовательности
U2	Напряжение обратной последовательности
dU1	Приращение напряжения прямой последовательности
dI1	Приращение тока прямой последовательности
Ua, Ub, Uc	Напряжения фаз A, B, C
Uни	Напряжение Uни «разомкнутого треугольника»
Uик	Напряжение Uик «разомкнутого треугольника»
3U0	Расчетное утроенное напряжение нулевой последовательности
Uнк	Напряжение Uнк «разомкнутого треугольника»
3U0f3	Утроенное напряжение нулевой последовательности третьей гармоники
Аналоговые выходы	Отсутствуют
Логические входы	
Неисп. ИТН	Неисправность ИТН
РПВ	Сигнал включенного положения выключателя
Логические выходы	
БНН	Срабатывание блокировки при неисправностях в цепях напряжения
Неисп. цепей напряж.	Сигнализация о неисправности в цепях напряжения

При обнаружении неисправностей в цепях «разомкнутого треугольника» выдается блокирующий сигнал на дистанционную защиту, общий критерий повреждения и других модулей, использующих эти цепи напряжения.

1.2.8.2 Если на терминал заведены два напряжения с «разомкнутого треугольника» ИТН, то в работу может быть введен алгоритм обнаружения неисправности в цепях напряжения, основанный на сравнении соответствующих напряжений «звезды» и «разомкнутого

треугольника». Сравнение производится по алгоритму, указанному в приложении Б. Уставкой «**NособФ**», значения которой приведены в таблице 44, определяется особая фаза в соответствии со схемой соединения цепей «разомкнутого треугольника». На рисунке 61 приведена логика работы для особой фазы А. Два ИО («**Uзв-Uни**» и «**Uзв-Uик**») работают с одной уставкой – «**3U0-Uнк**». Значение уставки «**NособФ**» = 0 означает вывод данной ветви алгоритма из работы.

Таблица 44 – Особая фаза для ИО БНН

Значение уставки «**NособФ**»	Особая фаза	Напряжение $U_{ни}$	Напряжение $U_{ик}$
0	–	–	–
1	А	$\underline{U}_A$	$\underline{U}_B+\underline{U}_C$
2	В	$\underline{U}_B$	$\underline{U}_C+\underline{U}_A$
3	С	$\underline{U}_C$	$\underline{U}_A+\underline{U}_B$

Для правильной работы функции БНН важен не только выбор особой фазы, но и правильная полярность измеряемых напряжений. Необходимо отметить, что для случая, когда направления векторов «звезды» и «разомкнутого треугольника» ИТН не совпадают, соответствующие напряжения «разомкнутого треугольника» должны подаваться на клеммы терминала с обратной полярностью.

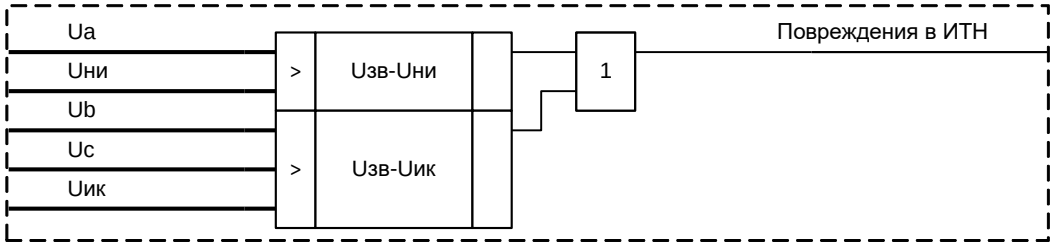


Рисунок 61 – Выявление повреждений в цепях напряжения для особой фазы А

Данный алгоритм выявляет все виды замыканий за исключением междуфазного замыкания в цепях «звезды» (для особой фазы А это междуфазное КЗ $К^{(2)}_{ВС}$), а также трехфазных обрывов, вызванных одновременным срабатыванием автоматов цепи «звезды» и цепи «разомкнутого треугольника».

1.2.8.3 Для выявления междуфазных замыканий в цепях «звезды» (рисунок 62) используются ИО тока «**I2**» и напряжения обратной последовательности «**U2**». При междуфазных замыканиях во вторичных цепях ИТН происходит повышение уровня напряжения обратной последовательности, тогда как ток обратной последовательности находится на низком (нормальном) уровне. Значение уставок ИО «**I2**» и «**U2**» фиксированы и составляют 12 % от $I_{ном}$ и 15 % от $U_{ном}$ соответственно.

Время срабатывания БНН при обнаружении междуфазных замыканий во вторичных цепях определяется фиксированной уставкой «**ТсрабФФ**», равной 10 мс.

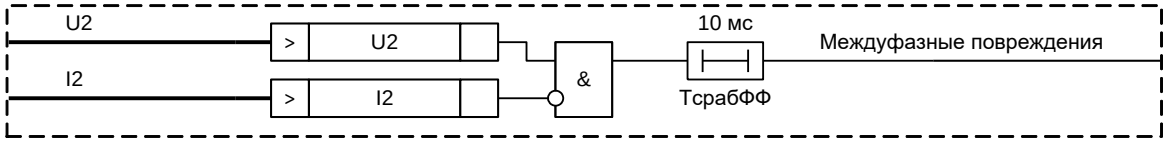


Рисунок 62 – Выявление междуфазных замыканий во вторичных цепях напряжения

1.2.8.4 Для выявления симметричных замыканий и симметричных обрывов в цепях «звезды» используется логическая схема, приведенная на рисунке 63. ИО «**U1**» показывает высокий уровень напряжения прямой последовательности, ИО «**dU1**» реагирует на приращение напряжения прямой последовательности, а ИО «**dI1**» – на приращение тока прямой последовательности. ИО «**I1мин**» осуществляет контроль протекания тока через выключатель. Значения уставок ИО «**U1**», «**dU1**», «**dI1**» и «**I1мин**» фиксированы и приведены в таблице 45.

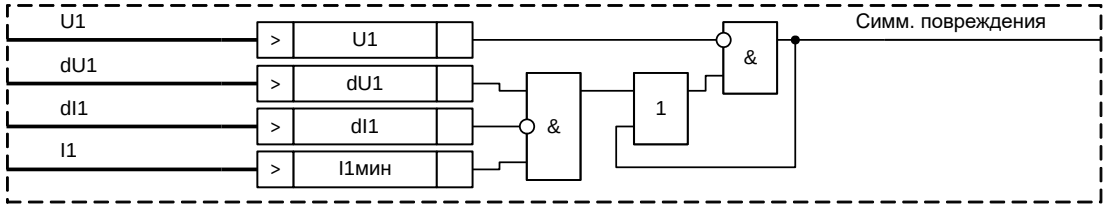


Рисунок 63 – Выявление симметричных повреждений

1.2.8.5 Дополнительно для выявления несимметричных обрывов и земляных замыканий в цепях «звезды», а также межвитковых замыканий в обмотках «разомкнутого треугольника» вводится ИО «**3U0-Uнк**», реагирующий на разность расчетного напряжения нулевой последовательности (по фазным напряжениям «звезды») и напряжения, снятого с выводов цепей «разомкнутого треугольника».

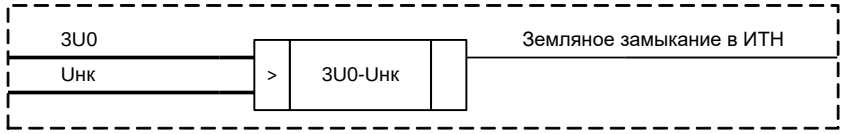


Рисунок 64 – Выявление несимметричных обрывов и земляных замыканий

1.2.8.6 На рисунке 65 приведена логическая схема для отслеживания обрывов в цепях «разомкнутого треугольника». Данная ветвь алгоритма необходима, когда на терминал с ИТН заводится только напряжение $U_{нк}$. Срабатывание определяется сигналом ИО «**3U0f3**», реагирующим на уровень напряжения третьей гармоники в цепях «разомкнутого треугольника». Здесь используется тот факт, что даже в нормальном режиме из-за нелинейности ИТН в цепях «разомкнутого треугольника» наблюдается значительный уровень третьей гармоники – около 0,5 В. При обрыве уровень третьей гармоники значительно снижается (теоретически до нуля). Для исключения ложного срабатывания при близком трехфазном замыкании и понижении напряжения фаз выполнен контроль уровня напряжения прямой последовательности (ИО «**U1**»).

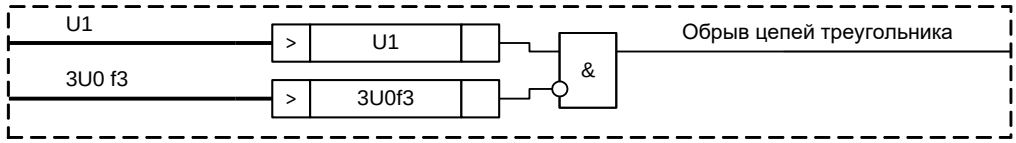


Рисунок 65 – Выявление обрывов в «разомкнутом треугольнике»

Режим работы логики фиксации обрывов определяется программной накладкой «**NобрывUнк**»:

- «**NобрывUнк**» = 0 – логика фиксации обрывов в цепях «разомкнутого треугольника» выводится из работы;
- «**NобрывUнк**» = 1 – логика фиксации обрывов формирует сигналы как неисправности, так и блокировки соответствующих функций терминала при повреждении цепей «разомкнутого треугольника»;
- «**NобрывUнк**» = 2 – логика фиксации обрывов действует только на сигнализацию.

Рекомендованное значение уставки ИО «**3U0f3**» составляет 0,2 % от $U_{ном}$. В этом случае напряжение гарантированного срабатывания сигнализации по третьей гармонике составляет 0,1 В, а гарантированного несрабатывания – 0,3 В. Для отключения контроля исправности цепей «разомкнутого треугольника» уставка задается равной нулю.

1.2.8.7 Для исключения ложной работы защиты при включении терминала без цепей напряжения предусмотрена схема, приведенная на рисунке 66.

Уставка ИО «**I1**» определяет максимальный нагрузочный ток. ИО «**I1мин**» осуществляет контроль протекания тока через выключатель. В том случае, если при включении терминала подводимое напряжение близко к нулю и ток прямой последовательности находится в пределах нагрузочного, происходит срабатывание БНН. Время, на которое схема вводится в работу, определяется фиксированной уставкой «**ТобрывВкл**», равной 200 мс. Логика определения

обрывов при включении введена постоянно (программная накладка зафиксирована в положении «**NобрывВкл**» = 1).

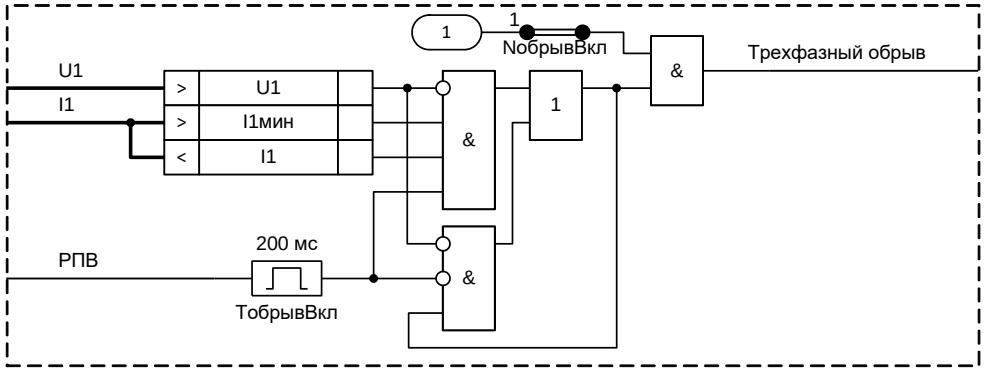


Рисунок 66 – Определение обрыва цепей напряжения при включении

1.2.8.8 Для предотвращения ложной работы БНН при близких замыканиях, когда вследствие электромагнитных наводок появляется значительная разница между расчетным напряжением нулевой последовательности и напряжением «разомкнутого треугольника», вводится ИО тока нулевой последовательности «**3I0**», который блокирует срабатывание БНН. Значение уставки ИО «**3I0**» фиксировано и составляет 400 % от $I_{ном}$.

Задержка на выдачу сигнала о неисправности цепей напряжения в цепи сигнализации определяется уставкой «**ТсрабСигн**».

БНН срабатывает при получении внешнего сигнала о неисправности ИТН от блок-контакта автомата ИТН, от защиты ИТН или иного быстродействующего устройства. Для отстройки от кратковременных несимметрий, возникающих при неодновременном замыкании силовых контактов автомата предусмотрено продление блокировки при получении сигнала о неисправности ИТН. Продление сигнала блокировки определяется фиксированной уставкой «**ТвнешНеисп**», равной 200 мс.

1.2.8.9 Режим работы БНН определяется программной накладкой «**NвводБНН**»:

- «**NвводБНН**» = 0 – БНН полностью выводится из работы, сигналы неисправности не выдаются, блокировка внутренних функций терминала не производится;
- «**NвводБНН**» = 1 – БНН находится в работе и формирует сигналы как неисправности, так и блокировки соответствующих функций терминала при обнаружении неисправности цепей ИТН;
- «**NвводБНН**» = 2 – БНН работает только на сигнализацию. При обнаружении неисправностей цепей ИТН формируется сигнал неисправности, но блокирование соответствующих функций терминала не производится.

Таблица 45 – Уставки БНН

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
Разность напряжений нулевой последовательности «звезды» и «разомкнутого треугольника», % от $U_{ф.ном}$	3U0-Uнк	от 6 до 120 (шаг 1)	6
Утроенный ток нулевой последовательности блокирования БНН, % от $I_{ном}$	3I0	–	400
Напряжение обратной последовательности, % от $U_{ф.ном}$	U2	–	15
Ток обратной последовательности, % от $I_{ном}$	I2	–	12
Напряжение прямой последовательности, % от $U_{ф.ном}$	U1	–	70
Приращения напряжения прямой последовательности, % от $U_{ф.ном}$	dU1	–	15

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
Приращение тока прямой последовательности, % от $I_{ном}$	dI1	–	10
Минимальный ток прямой последовательности, % от $I_{ном}$	I1мин	–	2
Ток прямой последовательности, % от $I_{ном}$	I1	от 60 до 120 (шаг 1)	60
Утроенное напряжение нулевой последовательности третьей гармоники, % от $3U0_{ном}$	3U0f3	от 0 до 3 (шаг 0,1)	0
Особая фаза цепей напряжения (0 –вывод функции сравнения, 1 – фаза А, 2 – фаза В, 3 – фаза С)	NособФ	–	0
Работа БНН (0 – нет, 1 – да, 2 – на сигнал)	NвводБНН	–	1
Обнаружение обрывов при включении (0 – нет, 1 – да)	NобрывВкл	–	1
Обнаружение обрывов в цепях «разомкнутого треугольника» (0 – нет, 1 – да, 2 – на сигнал)	NобрывUнк	–	0
Продление внешнего сигнала о неисправности ИТН, мс	ТвнешНеисп	–	200
ВВС БНН в цепи внешней сигнализации, мс	ТсрабСигн	от 1000 до 10000 (шаг 1)	5000
ВВС при обнаружении междуфазных замыканий во вторичных цепях, мс	ТсрабФФ	–	10
Время ввода логики фиксации обрывов при включении, мс	ТобрывВкл	–	200

1.2.8.10 Средняя основная погрешность по току (напряжению) срабатывания ИО тока (напряжения, кроме ИО напряжения третьей гармоники) не превышает ±3 % от уставки или ±5 % от номинальной величины, а реагирующих на приращения тока (напряжения) – ±10 % от уставки.

1.2.8.11 Средняя основная погрешность ИО напряжения третьей гармоники не превышает ±5 % от значения уставки или ±0,1 % от $U_{ном}$.

1.2.8.12 Дополнительная погрешность по току (напряжению) срабатывания ИО тока (напряжения) при изменении температуры окружающего воздуха в рабочем диапазоне температур не превышает ±5 % от среднего значения, измеренного при температуре (20±5) °С, а реагирующих на приращения тока (напряжения) – ±10 %.

1.2.8.13 Дополнительная погрешность по току (напряжению) срабатывания ИО тока (напряжения) при изменении частоты в диапазоне от 0,9 до 1,1 $f_{ном}$ не превышает ±5 % от среднего значения, измеренного при номинальной частоте, а реагирующих на приращения тока (напряжения) – ±10 %.

1.2.8.14 Коэффициент возврата ИО тока (напряжения) не менее 0,9 для максимальных ИО и не более 1,1 для минимальных ИО.

1.2.8.15 Время срабатывания (возврата) максимальных (минимальных) ИО тока не превышает 15 мс при подаче трехкратного тока срабатывания 3 $I_{сраб}$ и не превышает 40 мс при подаче тока, превышающего ток срабатывания на 20 % (1,2 $I_{сраб}$).

1.2.8.16 Время срабатывания (возврата) максимальных (минимальных) ИО напряжения не превышает 15 мс при подаче соответствующего трехкратного напряжения срабатывания 3 $U_{сраб}$.

1.2.8.17 Время возврата (срабатывания) максимальных (минимальных) ИО тока (напряжения) не превышает 30 мс при сбросе тока от 10 $I_{раб}$ до нуля (напряжения от 3 $U_{раб}$ до нуля).

1.2.8.18 Время срабатывания ИО приращения тока (напряжения) не превышает 15 мс, время возврата – 30 мс при скачкообразном изменении тока (напряжения) от нуля до 3 $I_{раб}$ (3 $U_{раб}$) и от 3 $I_{раб}$ (3 $U_{раб}$) до нуля.

1.2.9 Блокировка при длительном отсутствии напряжения (БДОН)

1.2.9.1 Принцип работы

В устройстве может быть предусмотрена функция блокировки при длительном отсутствии напряжения. Данная защита сигнализирует о неисправности измерительных цепей.

Функциональный блок БДОН приведен на рисунке 67, его реализация приведена на рисунке 68.

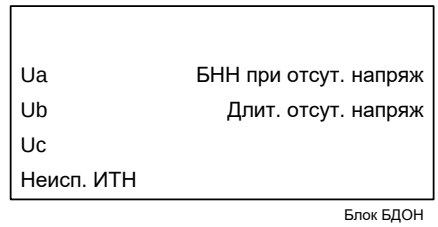


Рисунок 67 – Функциональный блок БДОН

Таблица 46 – Входы и выходы функционального блока БДОН

Аналоговые входы	
Ua, Ub, Uc	Напряжения фаз A, B, C
Аналоговые выходы	Отсутствуют
Логические входы	
Неисп. ИТН	Неисправность ИТН
Логические выходы	
БНН при отсут. напряж.	Срабатывание блокировки при длительном отсутствии напряжения
Длит. отсут. напряж.	Сигнализация о длительном отсутствии напряжения

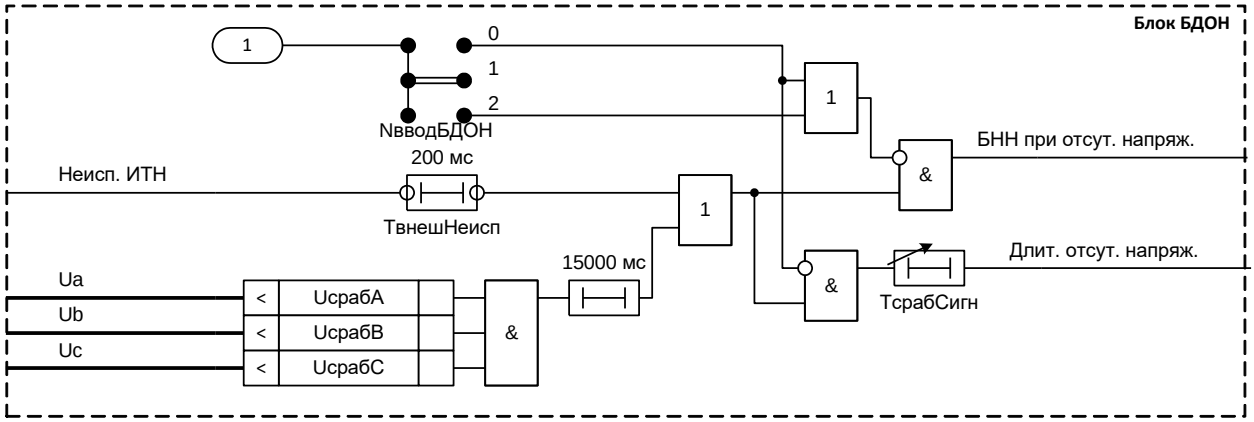


Рисунок 68 – Реализация программного модуля БДОН

Принцип работы БДОН основан на контроле величин фазных напряжений. При длительном (более 15 с) отсутствии фазных напряжений на входе устройства выдается блокирующий сигнал на ДЗ, общий критерий повреждения и других модулей, использующих эти цепи напряжения.

Уставка срабатывания ИО минимального фазного напряжения «**UсрабА**», «**UсрабВ**» и «**UсрабС**» равна 30 % от $U_{ф.ном}$.

Таймер «**ТсрабСигн**» определяет задержку на выдачу сигнала о неисправности цепей напряжения в цепи сигнализации.

Блокировка при длительном отсутствии напряжения срабатывает при получении внешнего сигнала о неисправности ИТН от блок-контакта автомата ИТН, от защиты ИТН или иного быстродействующего устройства. Выдержка времени на срабатывание «**ТвнешНеисп**» определяет продление сигнала внешней блокировки.

Режим работы функции БДОН задается программной накладкой «**NвводБДОН**»:

- «**NвводБДОН**» = 0 – БДОН полностью выводится из работы, сигналы неисправности не выдаются, блокировка внутренних функций терминала не производится;
- «**NвводБДОН**» = 1 – БДОН находится в работе и формирует сигналы как неисправности, так и блокировки соответствующих функций терминала при обнаружении неисправности цепей ИТН;
- «**NвводБДОН**» = 2 – БДОН работает только на сигнализацию. При обнаружении неисправностей цепей ИТН формируется сигнал неисправности, но блокирование соответствующих функций терминала не производится.

Таблица 47 – Уставки модуля БДОН

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
Работа БДОН (0 – нет, 1 – да, 2 – на сигнал)	NвводБДОН	–	1
Продление внешнего сигнала о неисправности ИТН, мс	ТвнешНеисп	–	200
ВВС БНН в цепи внешней сигнализации, мс	ТсрабСигн	от 1000 до 10000 (шаг 1)	5000

1.2.9.1.1 Все точностные параметры ИО напряжения аналогичны приведенным в 1.2.1.6.2-1.2.1.6.7.

1.2.10 Защита от обрыва проводника (ЗОП)

1.2.10.1 Принцип работы

В устройстве может быть предусмотрена функция ЗОП. Данная защита сигнализирует о неисправности измерительных цепей.

Функциональный блок ЗОП приведен на рисунке 69, его реализация приведена на рисунке 70.

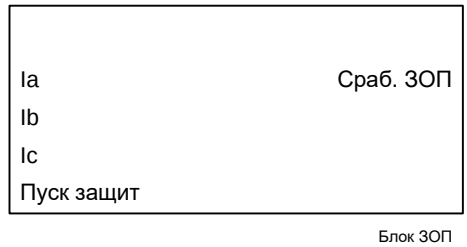


Рисунок 69 – Функциональный блок ЗОП

Таблица 48 – Входы и выходы функционального блока ЗОП

Аналоговые входы	
Ia, Ib, Ic	Токи фаз А, В, С
Аналоговые выходы	Отсутствуют
Логические входы	
Пуск защит	Пуск защит устройства
Логические выходы	
Сраб. ЗОП	Срабатывание защиты от обрыва токоведущего проводника

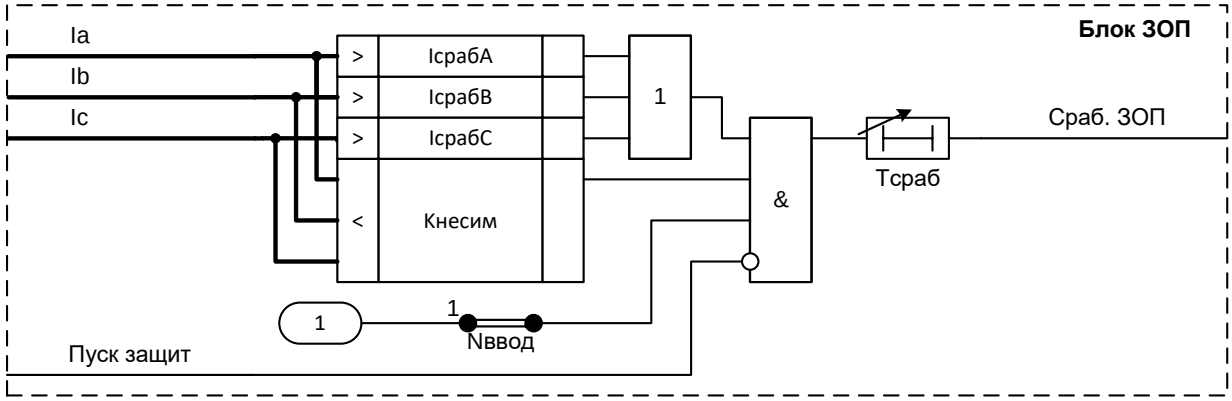


Рисунок 70 – Реализация программного модуля ЗОП

Принцип работы ЗОП основан на контроле соотношений величин фазных токов присоединения. Основной ИО «**Кнесим**» контролирует отношение минимального фазного тока к максимальному. В нормальном режиме он не срабатывает, так как величины токов фаз приблизительно равны. Работа ЗОП разрешена только в режимах, сопровождающихся достаточным уровнем максимального тока, обнаруживаемым ИО «**IсрабА**», «**IсрабВ**», «**IсрабС**».

Предусмотрен вывод ЗОП при наличии внешнего сигнала «Пуск защиты».

Задержка на срабатывание защиты от обрыва проводника определяется уставкой «**Тсраб**».

Функция ЗОП может быть введена в работу программной накладкой «**Nввод**».

Таблица 49 – Уставки ЗОП

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
Уставка по току для запуска функции ЗОП, % от $I_{ном}$	IсрабФ	от 10 до 100 (шаг 1)	20
Максимально допустимое расхождение минимального и максимального фазных токов, %	Кнесим	от 10 до 90 (шаг 1)	50
Работа ЗОП (0 – нет, 1 – да)	Nввод	–	0
ВВС ЗОП, мс	Тсраб	от 100 до 100000 (шаг 1)	5000

1.2.10.1.1 Все точностные параметры ИО тока аналогичны приведенным в 1.2.2.11.2-1.2.2.11.7.

1.2.11 Устройство резервирования отказа выключателя (УРОВ)

1.2.11.1 Принцип работы

Устройство может включать функцию УРОВ. УРОВ подключается к ИТТ в цепи выключателя и предназначено для определения отказа выключателя при действии на его отключение от защит. УРОВ, как правило, действует на отключение смежных выключателей соответствующей системы шин и защищаемого объекта.

Функциональный блок УРОВ приведен на рисунке 71, его реализация приведена на рисунке 72.

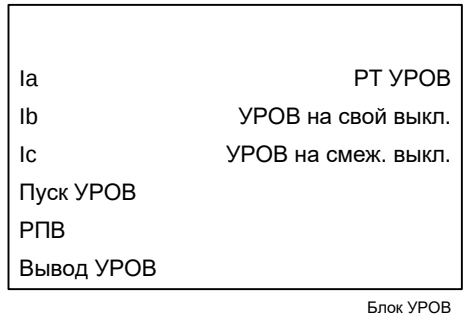


Рисунок 71 – Функциональный блок УРОВ

Таблица 50 – Входы и выходы функционального блока УРОВ

Аналоговые входы	
Ia, Ib, Ic	Токи фаз А, В, С
Аналоговые выходы	Отсутствуют
Логические входы	
Пуск УРОВ	Пуск УРОВ при срабатывании защит
РПВ	Сигнал включенного положения выключателя
Вывод УРОВ	Вывод УРОВ
Логические выходы	
РТ УРОВ	Срабатывание ИО тока УРОВ
УРОВ на свой выкл.	Действие УРОВ на отключение своего выключатель
УРОВ на смеж. выкл.	Действие УРОВ на отключение смежных выключателей

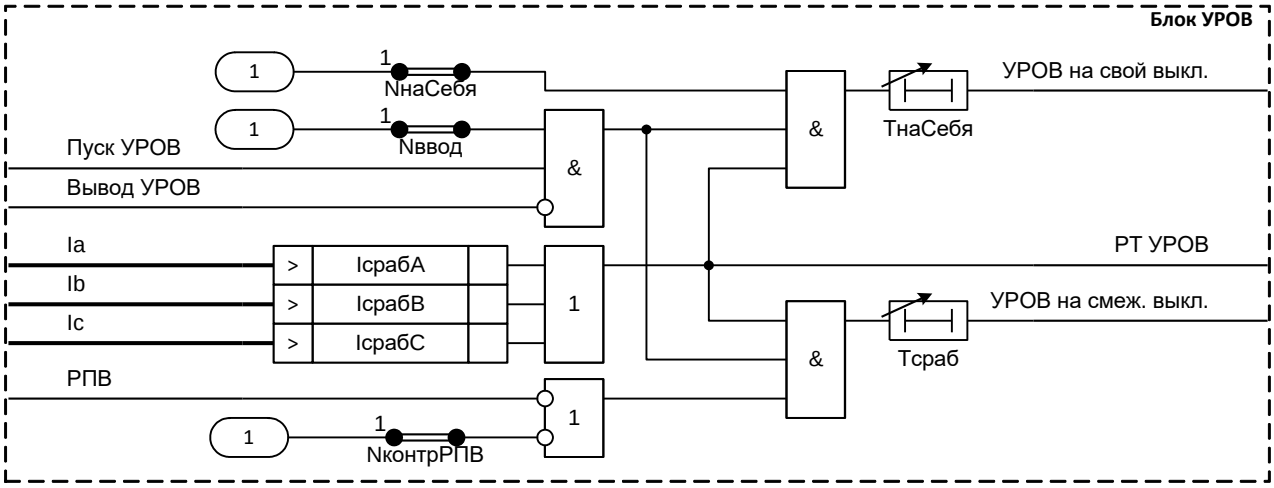


Рисунок 72 – Реализация программного модуля УРОВ

УРОВ содержит три ИО фазного тока, предназначенных для контроля протекания тока через выключатель. Уровень срабатывания ИО тока регулируется уставкой «**Iсраб**».

УРОВ срабатывает, если возникают условия отключения, отражаемые в сигнале «Пуск УРОВ».

УРОВ формирует сигнал на отключение смежных выключателей, если ток через выключатель протекает в течение времени, превышающего уставку «**Тсраб**».

Контроль РПВ при действии УРОВ на смежный выключатель может быть введен при помощи накладки «**NконтрРПВ**».

УРОВ формирует сигнал на повторное отключение своего выключателя, если ток через выключатель протекает в течение времени, превышающего уставку «**ТнаСебя**».

Действие УРОВ на свой выключатель может быть введено при помощи накладки «**NнаСебя**».

УРОВ может быть введено в работу программной накладкой «**Nввод**». УРОВ может быть выведено из работы внешним сигналом «Вывод УРОВ».

Таблица 51 – Уставки УРОВ

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
Фазный ток УРОВ, % от $I_{ном}$	Iсраб	от 4 до 100 (шаг 1)	10
Работа УРОВ (0 – нет, 1 – да)	Nввод	–	0
Контроль РПВ при действии УРОВ на смежный выключатель (0 – нет, 1 – да)	NконтрРПВ	–	0
Действие УРОВ на свой выключатель (0 – нет, 1 – да)	NнаСебя	–	0
Замедление отключения смежных выключателей, мс	Тсраб	от 10 до 30000 (шаг 1)	500
Замедление повторного отключения своего выключателя, мс	ТнаСебя	от 0 до 30000 (шаг 1)	500

1.2.11.2 Средняя основная погрешность по току срабатывания ИО тока УРОВ не превышает ±3 % от уставки.

1.2.11.3 Дополнительная погрешность по току срабатывания ИО тока УРОВ при изменении температуры окружающего воздуха в рабочем диапазоне температур не превышает ±5 % от среднего значения, определенного при температуре (20±5) ºС.

1.2.11.4 Дополнительная погрешность по току срабатывания ИО тока УРОВ при изменении частоты в диапазоне от 0,9 до 1,1 $f_{ном}$ не превышает ±5 % от среднего значения, определенного при номинальной частоте.

1.2.11.5 Коэффициент возврата ИО тока УРОВ не менее 0,9.

1.2.11.6 Время срабатывания ИО тока УРОВ не превышает 25 мс при подаче двукратного тока срабатывания 2 $I_{сраб}$.

1.2.11.7 Время возврата ИО тока УРОВ не превышает 20 мс при сбросе тока от 30 $I_{ном}$ до нуля.

1.2.11.8 ИО тока УРОВ правильно работает при искажении формы вторичного тока трансформатора тока, соответствующем токовой погрешности до 50 % включительно, в установившемся режиме при значении вторичного тока от 4 до 30 $I_{ном}$.

1.2.12 Логика отключения слабого конца от ДЗ (ЛОСК ДЗ)

При использовании в устройстве логики телеускорения ДЗ необходимо обеспечить обнаружение повреждения на противоположном конце линии. Ток повреждения может быть слишком мал из-за низкой мощности источника; в этом случае возможно несрабатывание направленных ступеней, что, в свою очередь, может привести к отказу логики телеускорения в целом. Для устранения этих недостатков используется ЛОСК ДЗ.

Функциональный блок ЛОСК ДЗ приведен на рисунке 73, его реализация приведена на рисунке 74.

Блок ЛОСК ДЗ может быть введен в работу накладкой «**Nввод**».

В некоторых случаях отключение линии с одной стороны может привести к увеличению тока со стороны конца со слабым питанием (каскадное отключение). Для этого в ЛОСК ДЗ предусмотрена логика отражения полученного разрешающего сигнала «Эхо сигнал ДЗ».

Логика формирования эхо-сигнала позволяет избежать зацикливания при использовании ЛОСК на обоих концах линии с помощью ограничения длительности эхо-сигнала до 200 мс.

Выдержка времени «**ТприемРазр**» задает задержку на прием разрешающего сигнала, что очень важно, когда защита находится на стороне слабой системы. В этом случае срабатывание защит может произойти с некоторым опозданием.

Если в системе невозможно реализовать каскадное отключение, то в ЛОСК ДЗ предусмотрено отключение по критерию минимального напряжения во время посылки эхо-

сигнала, логика которого приведена на рисунке 74. При трехфазном замыкании работа ЛОСК разрешена на первые 100 мс, после чего действие на отключение запрещено. Разрешение на отключение от ЛОСК ДЗ вводится накладкой «**Nоткл**».

Уровни срабатывания ИО, реагирующих на фазные и междуфазные напряжения, задаются уставками «**UминФЗ**» и «**UминФФ**» соответственно.

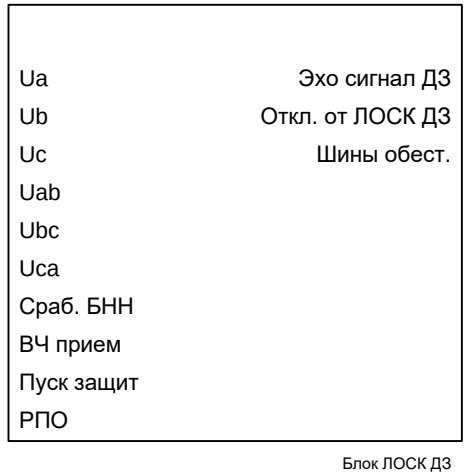


Рисунок 73 – Функциональный блок ЛОСК ДЗ

Таблица 52 – Входы и выходы функционального блока ЛОСК ДЗ

Аналоговые входы	
Ua, Ub, Uc	Напряжения фаз А, В, С
Uab, Ubc, Uca	Междуфазные напряжения АВ, ВС, СА
Аналоговые выходы	Отсутствуют
Логические входы	
Сраб. БНН	Срабатывание блокировки при неисправностях в цепях напряжения
ВЧ прием	Прием ВЧ сигнала
Пуск защит	Сигнал на пуск защит
РПОл	Сигнал отключенного положения линии
Логические выходы	
Эхо сигнал ДЗ	Посыл эхо сигнала телеускорения ДЗ
Откл. от ЛОСК ДЗ	Сигнал отключения от ЛОСК ДЗ
Шины обест.	Сигнал отсутствия напряжения на шинах

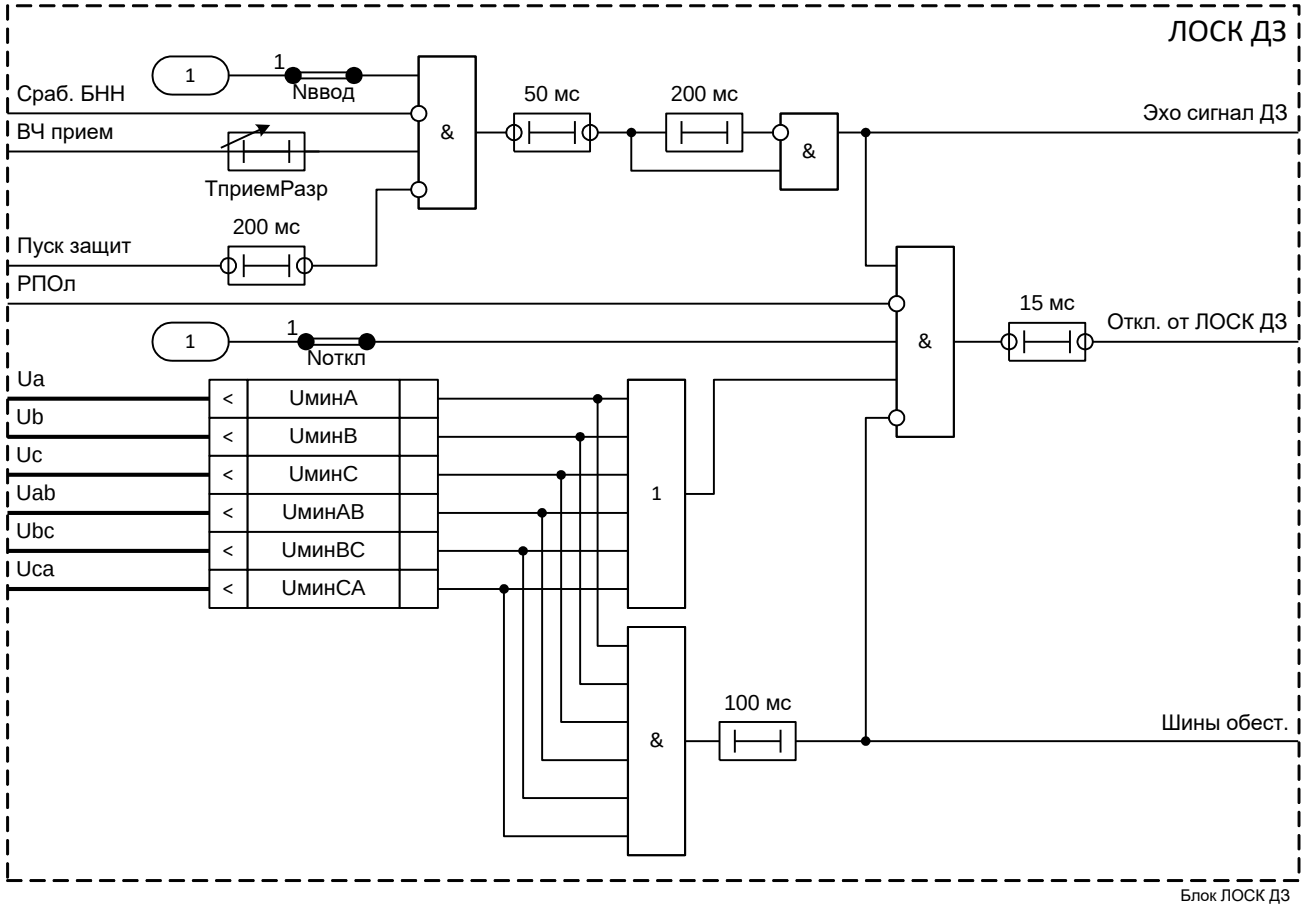


Рисунок 74 – Реализация программного модуля ЛОСК ДЗ

Таблица 53 – Уставки ЛОСК ДЗ

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
Минимальное фазное напряжение для ЛОСК, % от $U_{ф.ном}$	UминФЗ	от 10 до 100 (шаг 1)	10
Минимальное междуфазное напряжение для ЛОСК, % от $U_{ном}$	UминФФ	от 10 до 100 (шаг 1)	10
Отключение от ЛОСК (0 – нет, 1 – да)	Nоткл	–	0
Работа ЛОСК (0 – нет, 1 – да)	Nввод	–	0
Выдержка времени на прием разрешающего сигнала в ЛОСК, мс	ТприемРазр	от 5 до 100 (шаг 1)	10

1.2.12.1.1 Все точностные параметры ИО напряжения аналогичны приведенным в 1.2.1.6.2-1.2.1.6.7.

1.2.13 Логика отключения слабого конца от ТНЗНП (ЛОСК ТНЗНП)

При использовании в устройстве логики телеускорения ТНЗНП необходимо обеспечить надежное обнаружение повреждения на противоположном конце линии. Ток повреждения может оказаться ниже уставки срабатывания органа направленности ТНЗНП, что, в свою очередь, может привести к отказу логики телеотключения в целом. Для устранения этих недостатков используется ЛОСК.

Функциональный блок ЛОСК ТНЗНП приведен на рисунке 75, его реализация приведена на рисунке 76.

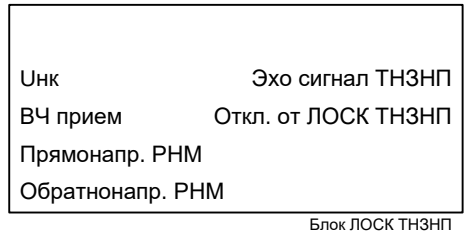


Рисунок 75 – Функциональный блок ЛОСК ТНЗНП

Таблица 54 – Входы и выходы функционального блока ЛОСК ТНЗНП

Аналоговые входы	
Uнк	Напряжение Uнк «разомкнутого треугольника»
Аналоговые выходы	Отсутствуют
Логические входы	
Прямонапр РНМ	Срабатывания прямонаправленного органа направления мощности
Обратнонапр РНМ	Срабатывания обратнонаправленного органа направления мощности
ВЧ прием	Прием ВЧ сигнала
Логические выходы	
Эхо сигнал ТНЗНП	Посыл эхо сигнала ТНЗНП
Откл. от ЛОСК ТНЗНП	Сигнал на отключение от ЛОСК ТНЗНП

Блок ЛОСК ТНЗНП может быть введен в работу накладкой «**Nввод**».

В некоторых случаях отключение линии с одной стороны может привести к увеличению тока со стороны конца со слабым питанием (каскадное отключение). Для этого в ЛОСК ТНЗНП предусмотрена логика отражения полученного разрешающего сигнала «Эхо сигнал ТНЗНП».

Предусмотрена выдержка времени «**ТприемРазр**» на запуск функции ЛОСК при приеме разрешающего сигнала.

Если в течение 200 мс не определено ни обратное, ни прямое направление на КЗ и принимается разрешающий сигнал с противоположного конца, то производится посылка (отражение) разрешающего сигнала (эхо-сигнал) на противоположный конец линии в течение времени не более 200 мс. Ограничение эхо-сигнала по длительности необходимо во избежание зацикливания.

Разрешение отключения от ЛОСК ТНЗНП вводится наклакой «**Nоткл**».

Для случая, когда в системе невозможно реализовать каскадное отключение в ЛОСК ТНЗНП предусмотрена возможность отключения по критерию максимального напряжения нулевой последовательности во время посылки эхо-сигнала. ИО «**3U0**» ЛОСК контролирует уровень напряжения нулевой последовательности без учета смещения в линию.

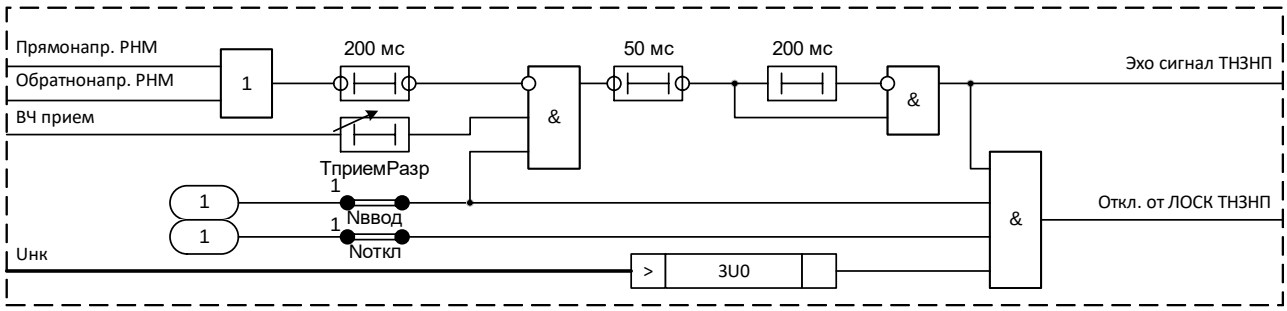


Рисунок 76 – Реализация блока ЛОСК ТНЗНП

Таблица 55 – Уставки ЛОСК ТНЗНП

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
Минимальное утроенное напряжение нулевой последовательности для работы ЛОСК, % от $3U0_{ном}$	3U0	от 0,5 до 100 (шаг 0,1)	10
Отключение от ЛОСК (0 – нет, 1 – да)	Nоткл	–	0
Работа ЛОСК (0 – нет, 1 – да)	Nввод	–	0
Выдержка времени на прием разрешающего сигнала в ЛОСК, мс	ТприемРазр	от 5 до 100 (шаг 1)	10

1.2.13.1 Средняя основная погрешность по напряжению срабатывания ИО напряжения не превышает ±3 % от уставки или ±5 % от номинальной величины.

1.2.13.2 Дополнительная погрешность по напряжению срабатывания ИО напряжения при изменении температуры окружающего воздуха в рабочем диапазоне температур не превышает ±5 % от среднего значения, измеренного при температуре (20±5) °С.

1.2.13.3 Дополнительная погрешность по напряжению срабатывания ИО напряжения при изменении частоты в диапазоне от 0,9 до 1,1 $f_{ном}$ не превышает ±5 % от среднего значения, измеренного при номинальной частоте.

1.2.13.4 Коэффициент возврата ИО напряжения не менее 0,9 для максимальных ИО.

1.2.13.5 Время срабатывания максимальных ИО напряжения не превышает 15 мс при подаче соответствующего трехкратного напряжения срабатывания 3 $U_{сраб}$.

1.2.13.6 Время возврата максимальных ИО напряжения не превышает 30 мс при сбросе напряжения от 3 $U_{сраб}$ до нуля.

1.2.14 Модуль определения места повреждения (ОМП)

1.2.14.1 Принцип работы

Блок ОМП выполняет следующие функции:

- фиксацию параметров аварийного и предаварийного режимов;
- расчет места повреждения односторонним методом;
- расчет места повреждения двухсторонним методом;
- определение вида повреждения и величины переходного сопротивления, длительности аварии;
- составление и хранение отчетов ОМП.

Функциональный блок ОМП приведен на рисунке 77.

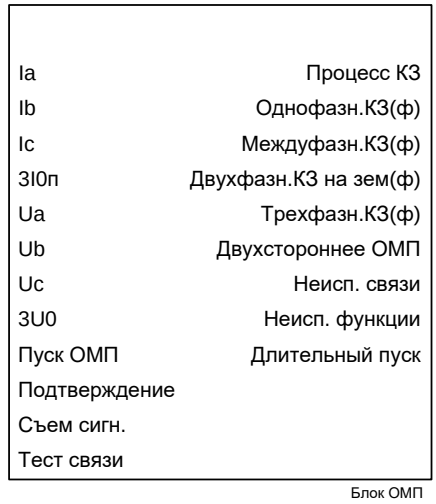


Рисунок 77 – Функциональный блок ОМП

Таблица 56 – Входы и выходы функционального блока ОМП

Аналоговые входы	
Ia, Ib, Ic	Токи фаз А, В, С
3I0п	Утроенный ток нулевой последовательности параллельной ЛЭП
Ua, Ub, Uc	Напряжения фаз А, В, С
3U0	Утроенное напряжение нулевой последовательности
Аналоговые выходы	Отсутствуют
Логические входы	
Пуск ОМП	Сигнал пуска блока ОМП
Подтверждение	Сигнал подтверждения пуска блока ОМП
Съем сигн.	Съем сигнализации вида КЗ
Тест связи	Команда проверки канала связи с удаленным терминалом
Логические выходы	
Процесс КЗ	Факт процесса КЗ
Однофазн.КЗ (ф)	Однофазное КЗ
Двухфазн.КЗ на зем.(ф)	Двухфазное КЗ на землю
Междуфазн.КЗ (ф)	Междуфазное КЗ
Трехфазн.КЗ (ф)	Трехфазное КЗ
Двухстороннее ОМП	Готовность отчета двухстороннего ОМП
Неисп. связи	Неисправность канала связи с удаленным терминалом
Неисп. функции	Неисправность функции ОМП
Длительный пуск	Длительный пуск ОМП

Выходные логические сигналы блока ОМП носят информационный характер и не предназначены для применения в функциях защиты и автоматики.

Блок ОМП обрабатывает токи и напряжения контролируемой линии, а также утроенный ток нулевой последовательности параллельной линии. Положительное направление всех подведенных токов должно соответствовать направлению «из шин в линию».

Возможно несколько вариантов пуска блока ОМП:

- «**NалгПуска**» = 1 – блок ОМП пускается по сигналу «Пуск ОМП». Измерение параметров аварийного режима происходит через время «**Тавар**» относительно момента появления сигнала «Пуск ОМП». Измерение параметров предаварийного режима происходит за 40 мс до появления сигнала «Пуск ОМП», то есть в предшествующем режиме работы ЛЭП. На рисунке 78 приведена временная диаграмма пуска;

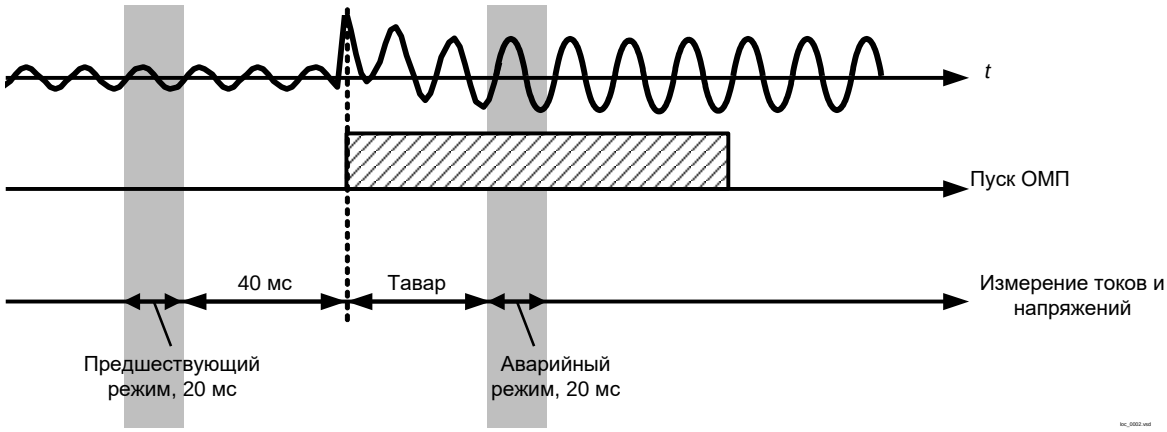


Рисунок 78 – Временная диаграмма пуска в режиме независимого пуска

- «**NалгПуска**» = 2 – блок ОМП пускается от внешнего сигнала. В качестве внешнего сигнала может быть подведен, например, пуск или срабатывание основных и резервных защит линии, сигнал отключения линии. Уставка «**ТформВнеш**» задает минимальное время формирования внешнего сигнала относительно начала аварийного процесса и совместно с

уставкой «**Тавар**» определяет момент измерения аварийных токов и напряжений. Если используется сигнал пуска защит, то рекомендуется выставить «**ТформВнеш**» = 0. Сигнал внешнего пуска заводится на вход «Подтверждение». На рисунке 79 приведена временная диаграмма пуска;

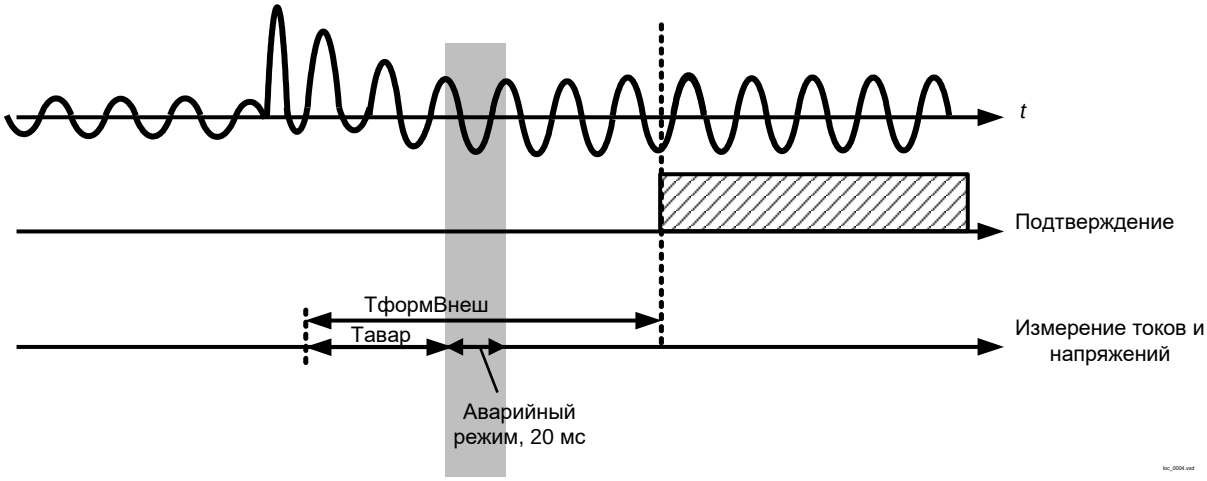


Рисунок 79 – Временная диаграмма пуска в режиме пуска от внешнего сигнала

- «**NалгПуска**» = 3 – в работу вводятся оба перечисленных выше алгоритма. Пуск произойдет от сигнала «Пуск ОМП» или «Подтверждение» в зависимости от того, что произойдет раньше;

- «**NалгПуска**» = 4 – задается селективный режим пуска, в котором измерение параметров режима происходит по алгоритму уставки «**NалгПуска**» = 1, но их дальнейшая обработка зависит от сигнала «Подтверждение». Если в течение времени «**Тподтв**» от момента появления сигнала «Пуск ОМП» получен сигнал «Подтверждение», то пуск считается подтвержденным, и формируется отчет ОМП. Если сигнал «Подтверждение» поступает после «**Тподтв**», или не поступает, тогда отчет ОМП не формируется. На рисунке 80 приведена временная диаграмма срабатывания, в которой подтверждающий сигнал поступил до истечения времени «**Тподтв**». В результате отчет ОМП был сформирован;

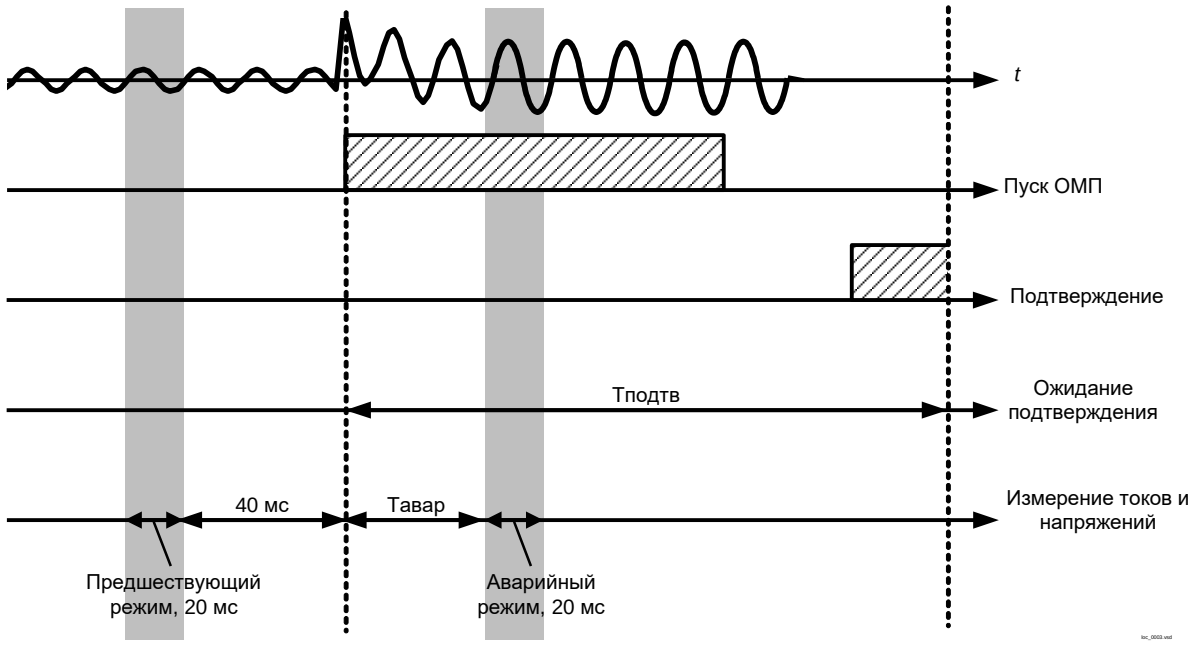


Рисунок 80 – Временная диаграмма пуска в режиме селективного пуска

- «**NалгПуска**» = 5 – блок ОМП полностью выводится из работы. Двухстороннее ОМП на обоих концах ЛЭП выведено.

В сложных аварийных процессах, например, при изменении вида повреждения и величины тока КЗ, момент измерения параметров аварийного режима может перемещаться в пределах

интервала времени протекания тока КЗ. Приоритет отдается тому измерению, при котором обеспечивается наиболее уверенный результат ОМП, попадающий в пределы наблюдаемой зоны. Для примера на рисунке 81 приведен аварийный режим, состоящий из двух интервалов. На первом интервале в месте повреждения присутствует переходное сопротивление. На втором интервале переходное сопротивление «выгорает» и ток КЗ увеличивается. Приоритет отдается второму интервалу, поскольку при низкоомном КЗ обеспечивается более точный результат ОМП.

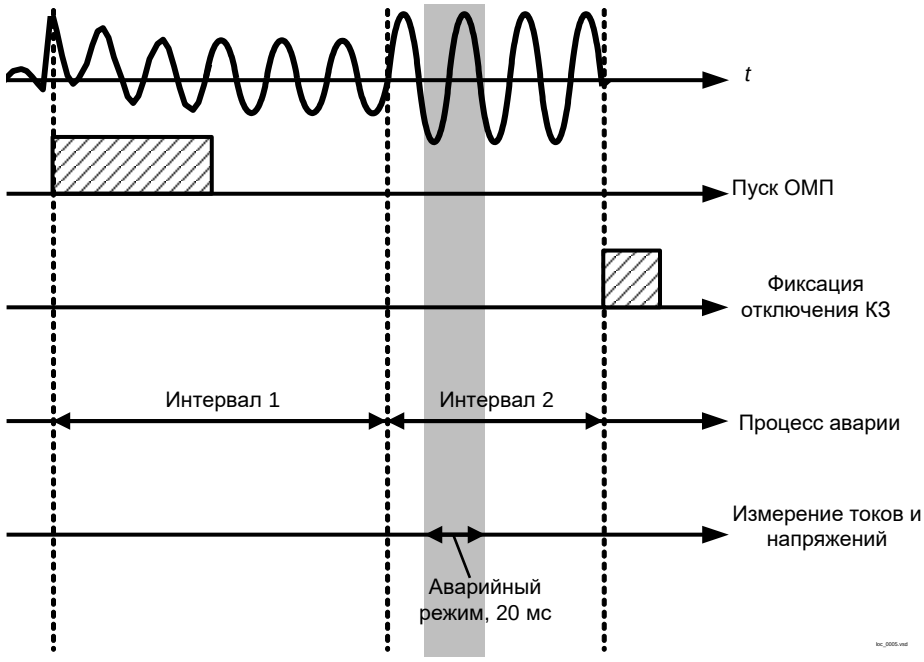


Рисунок 81 – Измерение аварийных величин в сложном аварийном процессе

Выходной сигнал «Процесс КЗ» находится в сработанном состоянии в процессе КЗ. Сигнал появляется в момент появления сигнала «Пуск ОМП» и сбрасывается, если внутренняя логика функции ОМП фиксирует отключение КЗ. Если отключение не наблюдается, то сигнал автоматически сбрасывается через 10 с после срабатывания блока ОМП.

Если блок ОМП фиксирует КЗ на контролируемой линии, то формируется соответствующий виду повреждения сигнал: «Однофазн.КЗ (ф)», «Междуфазн.КЗ (ф)», «Двухфазн.КЗ на зем.(ф)» или «Трехфазн.КЗ (ф)». Эти сигналы устанавливаются после расчета места повреждения. Вид КЗ автоматически обновляется при возникновении повторного КЗ на контролируемой ВЛ. Возможна задержка формирования этих сигналов относительно момента пуска на несколько секунд.

В случае успешного выполнения двухстороннего ОМП формируется сигнал «Двухстороннее ОМП».

Пуск блока ОМП не выполняется в том случае, если терминал переведен в режим теста или выведен.

Длительное существование условий пуска является нежелательным режимом работы устройства, так как препятствует фиксации последующих аварийных процессов. Для выявления такого режима предусмотрена выдержка времени на срабатывание «**ТсрабСДП**», формирующая сигнал «Длительный пуск ОМП».

Блок ОМП ограничивает формирование отчетов ОМП в условиях частых срабатываний. Десятки следующих друг за другом срабатываний воспринимаются как нарушение условий пуска, и блок ОМП приостанавливает запись отчетов ОМП. Формирование отчетов ОМП автоматически продолжается после пропадания признаков нарушений.

Для двухстороннего ОМП выполняется также блокировка приемов отчетов удаленного устройства ОМП при их многократном приеме. Данная блокировка выполняется аналогично блокировке от многократных пусков ОМП.

Сигналы индикации вида КЗ и двухстороннего ОМП сбрасываются по сигналу «Съем сигн.».

Уставки блока ОМП состоят из трех наборов:
- конфигурация функции ОМП (таблица 57);
- параметры наблюдаемой линии (таблица 59);
- настройки связи с удаленным терминалом (таблица 62).

Таблица 57 – Уставки конфигурации функции ОМП

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
Алгоритм регистрации и обработки информации (1 – сигн. ПО, 2 – внеш. сигн., 3 – ПО/внеш., 4 – ПОиВнеш., 5 – вывод)	NалгПуска	–	5
Использование тока 3I0 параллельной линии (0 – нет, 1 – да)	NтокПарал	–	0
Обозначение фаз для индикации (1 – А-В-С-N, 2 – А-В-С-0, 3 – Ж-З-К-0, 4 – Ж-К-З-0, 5 – А-В-С, 6 – Ж-З-К, 7 – Ж-К-З)	NобознФ	–	1
Отстройка для фиксации текущих величин, мс	Тавар	от 0 до 100 (шаг 5)	40
Время ожидания подтверждающего сигнала, мс	Тподтв	от 0 до 10000 (шаг 5)	5000
Время формирования внешнего сигнала, мс	ТформВнеш	от 0 до 100 (шаг 5)	10
Выдержка времени на формирование сигнала длительного пуска, мс	ТсрабСДП	от 0 до 30000 (шаг 10)	20000

Формат вывода вида КЗ устанавливается с помощью программной накладки «**NобознФ**». Предусмотрена возможность использования обозначения поврежденных фаз с помощью букв «А», «В» и «С» или «Ж», «З» и «К» в разных последовательностях.

В функции ОМП предусмотрен учет влияния параллельных линий на участок. От выбранной параллельной линии в блок ОМП заводится ток $3I_{0,п}$. Учет влияния остальных параллельных линии производится косвенно, изменением параметров основной линии на том же участке.

Программная накладка «**NтокПарал**» задает режим учета параллельной линии:
- «**NтокПарал**» = 0 – ток $3I_{0,п}$ не используется;
- «**NтокПарал**» = 1 – ток $3I_{0,п}$ используется.

Название наблюдаемой линии задается с помощью параметра «**Название**». Параметры линии задаются с учетом ее особенностей:
- неоднородность удельных параметров линии по длине (в том числе кабельные участки);
- ответвления с разными режимами заземления нейтрали трансформатора;
- индуктивные связи с параллельными линиями, в том числе с привлечением информации о токе нулевой последовательности параллельной линии.

Описание наблюдаемой линии состоит из списка последовательных однородных участков. Максимальное число участков – 32.

Различают участки четырех типов:
- 1 – участок линии (включая кабельный);
- 2 – ответвление;
- 3 – нагрузка (конечный участок линии);
- 4 – участок линии, индуктивно связанный с параллельной линией.

Описание участка подразумевает задание наименования участка (параметр «**Название**»), его типа (параметр «**Тип**») и соответствующих этому типу параметров.

В таблице 58 приведены 11 параметров, составляющих описание участка. Семь из них (1-7) задаются независимо от типа: его длина и удельные параметры, эти параметры характеризуют участок основной линии или линии, соединяющей основную линию с

ответвительной подстанцией. Остальные четыре (8-11) параметра задаются в зависимости от типа участка.

Для начального участка типа 1 параметры 8-11 описывают параметры системы слева (системы «за спиной» терминала). В последующих участках типа 1 параметры 8-11 следует принять равными 0,01.

Для участка типа 2 параметры 8-11 задают суммарное сопротивление ответвления, учитывая схему соединения обмоток силового трансформатора и сопротивление нагрузки ответвления.

Для участка типа 3 параметры 8-11 описывают сопротивление системы справа (удаленной системы). Участок типа 3 используется однократно – при задании конечного участка линии. Для задания промежуточных участков используются другие типы участков.

Для участка типа 4 параметры 8-11 задают параметры индуктивной связи. Параметры 8, 9 несут информацию о сопротивлении всей параллельной линии, т.е. учитывают сопротивление всех ее участков, а также сопротивления систем слева и справа. Параметры 10, 11 несут информацию о взаимной индукции между основной линией и параллельной. Допускается задавать параметры 8, 9 равными 0,01, если программная накладка «**NтокПарал**» = 1 (используется ток параллельной линии).

Для систем слева и справа и для отпаек может быть задана изолированная нейтраль. Тогда параметры 10, 11 для соответствующих участков принимаются равными 10^6 Ом.

Таблица 58 – Параметры участков линии

№ пара-метра	Тип 1 (простая линия)	Тип 2 (ответвление)	Тип 3 (нагрузка)	Тип 4 (индуктивная связь)
1	Длина участка «**Длина**»			
2	Удельное активное сопротивление ПП «**R10**»			
3	Удельное реактивное сопротивление ПП «**X10**»			
4	Удельное активное сопротивление НП «**R00**»			
5	Удельное реактивное сопротивление НП «**X00**»			
6	Удельная реактивная проводимость ПП «**B10**»			
7	Удельная реактивная проводимость НП «**B00**»			
8	Активное сопротивление ПП системы слева «**R1s**»	Активное сопротивление ПП ответвления «**R1отв**», Ом	Активное сопротивление ПП системы справа «**R1r**», Ом	Активное сопротивление НП параллельной линии «**R0п**», Ом
9	Реактивное сопротивление ПП системы слева «**X1s**», Ом	Реактивное сопротивление ПП ответвления «**X1отв**», Ом	Реактивное сопротивление ПП системы справа «**X1r**», Ом	Реактивное сопротивление НП параллельной линии «**X0п**», Ом
10	Активное сопротивление НП системы слева «**R0s**», Ом	Активное сопротивление НП ответвления «**R0отв**», Ом	Активное сопротивление НП системы справа «**R0r**», Ом	Удельное взаимное активное сопротивление НП «**R0вз**», Ом/км
11	Реактивное сопротивление НП системы слева «**X0s**», Ом	Реактивное сопротивление НП ответвления «**R0отв**», Ом	Реактивное сопротивление НП системы справа «**X0r**», Ом	Удельное взаимное реактивное сопротивление НП «**X0вз**», Ом/км
Примечание – В таблице приняты следующие обозначения: ПП – прямая последовательность, НП – нулевая последовательность.				

В таблице 59 приведены диапазоны и значения параметров линии по умолчанию.

Таблица 59 – Параметры линии блока ОМП

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
Название линии	Название	не более 10 символов	Типовая
Параметры участка линии			
Название участка	Название	не более 10 символов	Участок 1
Тип участка (1 – линия, 2 – ответвл., 3 – нагрузка, 4 – инд.связь)	Тип участка	–	1
Длина участка, км	Длина	от 0,01 до 999 (шаг 0,01)	5
Удельное активное сопротивление ПП, Ом/км	R10	от 0 до 1 (шаг 0,001)	0,198
Удельное реактивное сопротивление ПП, Ом/км	X10	от 0,01 до 0,6 (шаг 0,001)	0,479
Удельное активное сопротивление НП, Ом/км	R00	от 0 до 2 (шаг 0,001)	0,346
Удельное реактивное сопротивление НП, Ом/км	X00	от 0,01 до 3 (шаг 0,001)	1,256
Удельная реактивная проводимость ПП, мкСм/км	B10	от 0 до 100 (шаг 0,001)	0
Удельная реактивная проводимость НП, мкСм/км	B00	от 0 до 100 (шаг 0,001)	0
Параметры системы за спиной (участок типа 1)			
Активное сопротивление ПП системы слева, Ом	R1s	от 0,01 до 10^6 (шаг 0,001)	0,01
Реактивное сопротивление ПП системы слева (для первого участка линии), Ом	X1s	от 0,01 до 10^6 (шаг 0,001)	6,05
Активное сопротивление НП системы слева (для первого участка линии), Ом	R0s	от 0,01 до 10^6 (шаг 0,001)	0,01
Реактивное сопротивление НП системы слева (для первого участка линии), Ом	X0s	от 0,01 до 10^6 (шаг 0,001)	2,85
Параметры отпайки (участок типа 2)			
Активное сопротивление ПП ответвления (для каждого ответвления), Ом	R1отв	от 0,01 до 10^6 (шаг 0,001)	1000000
Реактивное сопротивление ПП ответвления (для каждого ответвления), Ом	X1отв	от 0,01 до 10^6 (шаг 0,001)	1000000
Активное сопротивление НП ответвления (для каждого ответвления), Ом	R0отв	от 0,01 до 10^6 (шаг 0,001)	1000000
Реактивное сопротивление НП ответвления (для каждого ответвления), Ом	X0отв	от 0,01 до 10^6 (шаг 0,001)	1000000
Параметры удаленной системы (участок типа 3)			
Активное сопротивление ПП системы справа, Ом	R1r	от 0,01 до 10^6 (шаг 0,001)	0,01
Реактивное сопротивление ПП системы справа, Ом	X1r	от 0,01 до 10^6 (шаг 0,001)	33,2
Активное сопротивление НП системы справа, Ом	R0r	от 0,01 до 10^6 (шаг 0,001)	0,01

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
Реактивное сопротивление НП системы справа, Ом	X0r	от 0,01 до 10^6 (шаг 0,001)	27,55
Параметры взаимоиндукции (участка типа 4)			
Активное сопротивление НП параллельной линии, Ом	R0п	от 0,01 до 10^6 (шаг 0,001)	40
Реактивное сопротивление НП параллельной линии, Ом	X0п	от 0,01 до 10^6 (шаг 0,001)	150
Удельное взаимное активное сопротивление НП, Ом/км	R0вз	от 0,01 до 10^6 (шаг 0,001)	0,15
Удельное взаимное реактивное сопротивление НП, Ом/км	X0вз	от 0,01 до 10^6 (шаг 0,001)	1
Примечание – В таблице приняты следующие обозначения: ПП – прямая последовательность, НП – нулевая последовательность.			

Конфигурация линии и параметры участков редактируются с помощью меню ИЧМ терминала по инструкции приведенной в АИПБ.656122.011 РЭ1, а также при помощи сервисного ПО.

В таблице 60 приведен пример описания линии ПС1-ПС3, приведенной на рисунке 82, которую предлагается разбить на три участка: ПС1-ПС2 (тип 1), ПС2 (тип 2) и ПС2-ПС3 (тип 3). В данном примере нейтрали трансформаторов на тупиковых ПС2 и ПС3 изолированы.

Таблица 60 – Параметры участков линии с отпайкой

Номер участка	1	2	3
Тип участка	1	2	3
Длина, км	4,00	9,30	7,00
Название участка	ПС1-ПС2	ПС2	ПС2-ПС3
R10, Ом/км	0,182	0,182	0,182
X10, Ом/км	0,431	0,332	0,446
R00, Ом/км	0,392	0,392	0,392
X00, Ом/км	1,257	1,364	1,257
B10, мкСм/км	2,806	2,806	2,806
B00 мкСм/км	1,423	1,423	1,423
R1s/R1отв/R1r, Ом	0,60	500	1000
X1s/X1отв/X1r, Ом	4,56	1000	2000
R0s/R0отв/R0r, Ом	0,26	1000000	1000000
X0s/X0отв/X0r, Ом	3,03	1000000	1000000

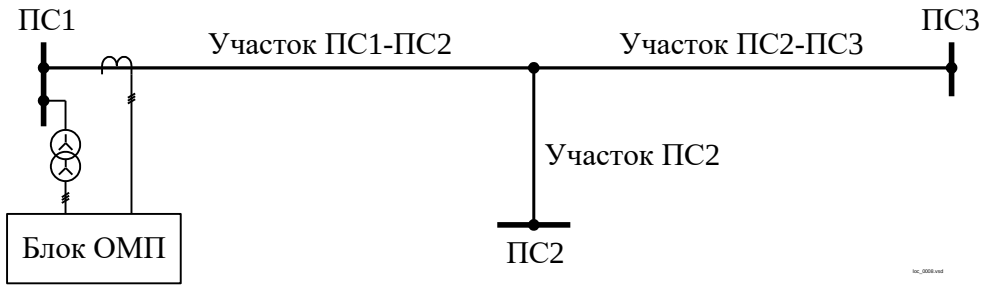


Рисунок 82 – Пример наблюдаемой линии с отпайкой

На рисунке 83 приведен пример электропередачи с двумя индуктивно связанными линиями. Начальный участок линии должен предусматривать одновременное задание системы слева, что соответствует типу 1, и параллельной линии, что соответствует типу 4. Чтобы выполнить это условие, начальный участок разбивают на два: первый имеет тип 1 и

минимальную длину (0,01 км), а второй – тип 4 и учитывает всю длину начального участка. Описание основной линии приведено в таблице 61.

Таблица 61 – Параметры участков линии с отпайкой и взаимоиндукцией

Номер участка	1	2	3	4	5	6	7
Тип участка	1	4	1	2	1	4	3
Длина, км	0,01	4,00	2,30	9,30	11,60	5,30	7,00
Название участка	ПС1	ПС1-ПС2-1	ПС1-ПС2-2	ПС2	ПС2-ПС3-1	ПС2-ПС3-2	ПС2-ПС3-3
R10, Ом/км	0,182	0,182	0,182	0,178	0,178	0,178	0,178
X10, Ом/км	0,431	0,431	0,431	0,412	0,412	0,412	0,412
R00, Ом/км	0,392	0,392	0,392	0,387	0,387	0,387	0,387
X00, Ом/км	1,257	1,257	1,257	1,356	1,356	1,356	1,356
B10, мкСм/км	2,806	2,806	2,806	2,806	2,806	2,806	2,806
B00 мкСм/км	1,423	1,423	1,423	1,423	1,423	1,423	1,423
R1s/R0п/-/R1отв/-/R0п/R0r, Ом	0,60	20,9	0,01	500	0,01	20,9	1230,3
X1s/X0п/-/X1отв/-/X0п/X0r, Ом	4,56	40,15	0,01	1000	0,01	40,15	2325,4
R0s/R0вз/-/R0отв/-/R0вз/R0r, Ом (Ом/км)	0,26	0,153	0,01	1000000	0,01	0,153	14,70
X0s/X0вз/-/X0отв/-/X0вз/X0r, Ом (Ом/км)	3,03	1,024	0,01	1000000	0,01	1,024	211,00

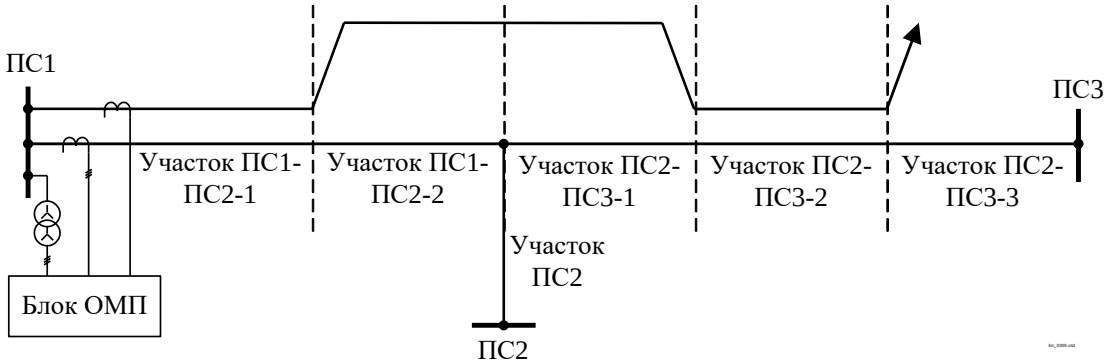


Рисунок 83 – Пример наблюдаемой линии с отпайкой и взаимоиндукцией

Блок ОМП рассчитывает и записывает в отчет ОМП следующие параметры:

- момент возникновения КЗ (год, месяц, день, час, минута, секунда, миллисекунда);
- имя поврежденной линии (задаваемое параметром «**Название**»);
- вид повреждения (в соответствии с выбранной системой обозначений фаз «**NобознФ**»);
- расстояние до места повреждения и переходное сопротивление на основной линии и ответвлениях;
- длительность существования аварийного режима;
- значения векторов фазных и симметричных составляющих напряжений, и токов аварийного и доаварийного режимов.

Для пользователя доступна функция пересчета отчета ОМП с помощью ИЧМ терминала. Пересчет выполняется на основе активной в данный момент группы уставок.

В результате формируется новый отчет с пометкой «Расчет: ручной (группа уставок N)». Оригинальный отчет при этом не удаляется.

Отчеты ОМП доступны для просмотра на ИЧМ и при помощи сервисного ПО. Инструкция по просмотру и пересчету отчетов ОМП через ИЧМ терминала приведена в АИПБ.656122.011 РЭ1. Отчеты ОМП присоединяются к осциллограммам соответствующего аварийного режима.

1.2.14.2 Настройка связи с удаленным терминалом

Внимание! Для двухстороннего ОМП требуется синхронизация времени терминалов, участвующих в процессе ОМП, с погрешностью не более 100 мс.

Если на двух концах ЛЭП установлены терминалы с функцией ОМП, то возможен расчет расстояния до места повреждения двухсторонним методом. Для этого между терминалами должна быть установлена связь по каналу Ethernet.

Связь настраивается индивидуально для каждого блока ОМП. Если терминал выполняет ОМП нескольких ЛЭП, то соответствующие блоки ОМП связываются с терминалами, установленными на противоположных концах этих ЛЭП. В каждом блоке ОМП задаются следующие уставки:

- «**IP-адрес 1**», «**IP-адрес 2**», «**IP-адрес 3**» и «**IP-адрес 4**» – IP-адрес терминала, установленного на противоположном конце ЛЭП. Например, адресу «192.168.0.7» соответствуют уставки: «**IP-адрес 1**» = 192, «**IP-адрес 2**» = 168, «**IP-адрес 3**» = 0, «**IP-адрес 4**» = 7. Двухсторонний расчет места повреждения выведен из работы, если все уставки адреса имеют нулевое значение. При этом сигнал «Неисп. связи» не формируется;
- «**NблокаУд**» – задает номер блока ОМП удаленного терминала, который подключен к данной ЛЭП на противоположном конце. Номер каждого блока ОМП указывается в меню ИЧМ (описание ИЧМ приведено в АИПБ.656122.011 РЭ1) и в АИПБ.656122.011-071.01 Э2;
- «**ТтестАвт**» – задает период автоматической проверки канала связи. Связь с удаленным терминалом проверяется автоматически и вручную по сигналу «Тест связи» или по команде ИЧМ терминала. Если последний сеанс связи прошел неуспешно, то формируется сигнал «Неисп. связи». Сигнал «Неисп. связи» будет сброшен при очередном успешном сеансе связи терминалов. Тест связи и дополнительная диагностическая информация в ИЧМ терминала описаны в АИПБ.656122.011 РЭ1. Рекомендованное значение уставки «**ТтестАвт**» составляет 3600 с.

На рисунке 84 приведен пример настройки связи между блоками ОМП двух терминалов. Блок ОМП 1 в терминале слева связан с блоком ОМП 2, в терминале справа – выставлены IP-адреса терминалов и номера выбранных блоков ОМП.

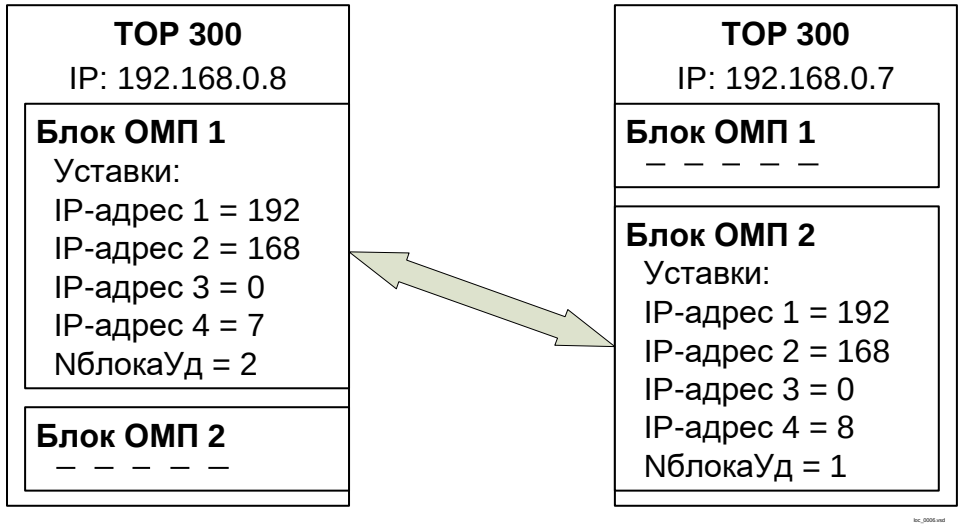


Рисунок 84 – Пример настройки связи между блоками ОМП

При отсутствии цифрового канала связи между устройствами каждое из них формирует отчеты одностороннего ОМП. Если устанавливается связь между терминалами, содержащими сопоставляемые отчеты одностороннего ОМП (например, при восстановлении нарушенной связи между устройствами ОМП), то выполняется автоматический расчет двухстороннего ОМП на основе имеющихся отчетов.

Таблица 62 – Настройки связи с удаленным терминалом ОМП

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
IP-адрес удаленного терминала	IP-адрес 1	от 0 до 255 (шаг 1)	0
	IP-адрес 2		0
	IP-адрес 3		0
	IP-адрес 4		0
Номер блока ОМП удаленного терминала	NблокаУд	от 1 до 10 (шаг 1)	1
Период автоматического тестирования канала связи, с	ТтестАвт	от 30 до 86400 (шаг 1)	3600

1.2.14.3 Погрешность определения расстояния до места повреждения

Погрешность определения расстояния до места повреждения при проверке в лабораторных условиях не превышает 4 % от длины ВЛ при металлических КЗ, известной симметричной нагрузке и соблюдении следующих условий: ток аварийного режима превышает номинальное значение; при симметричном трехфазном замыкании угол между током и напряжением от 40 до 90º; длина ВЛ от 20 до 800 км. При меньшей длине ВЛ погрешность не превышает 0,8 км. Погрешность ОМП на КВЛ нормируется только для воздушной части линии, кабельные вставки пропускаются. Терминал сохраняет точностные параметры при величине кабельной части до 20 % длины линии; при большем соотношении кабельной и воздушной частей КВЛ дополнительная погрешность ОМП не превышает 5 % от длины воздушной части линии.

Дополнительная погрешность устройств в режимах внутреннего замыкания в конце контролируемой ВЛ с токами до 40 $I_{ном}$ при полной погрешности до 10 % включительно, возникающей вследствие насыщения высоковольтных ИТТ, при передаче токов установившегося режима при работе на активную нагрузку не превышает 10 % длины этой ВЛ.

1.2.15 Расчет аналоговых сигналов

1.2.15.1 Фильтр симметричных составляющих (ФСС)

Функциональный блок ФСС приведен на рисунке 85.

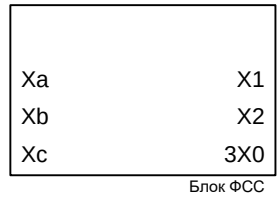


Рисунок 85 – Функциональный блок ФСС

Таблица 63 – Входы и выходы функционального блока ФСС

Аналоговые входы	
Xa, Xb, Xc	Величины фаз A, B, C
Аналоговые выходы	
X1	Величина прямой последовательности
X2	Величина обратной последовательности
3X0	Утроенное значение величины нулевой последовательности
Логические входы	Отсутствуют
Логические выходы	Отсутствуют

Блок предназначен для расчета симметричных составляющих фазных величин по формулам

$$\underline{X}_1 = \frac{1}{3}\left(\underline{X}_a + \underline{X}_b\, e^{-j2\pi/3} + \underline{X}_c\, e^{-j4\pi/3}\right),$$

$$\underline{X}_2 = \frac{1}{3}\left(\underline{X}_a + \underline{X}_b e^{-j4\pi/3} + \underline{X}_c e^{-j2\pi/3}\right),$$

$$3\underline{X}_0 = \underline{X}_a + \underline{X}_b + \underline{X}_c .$$

1.2.15.2 Расчет напряжений «разомкнутого треугольника» (Расчет Uнк)

Функциональный блок расчета напряжений «разомкнутого треугольника» приведен на рисунке 86.

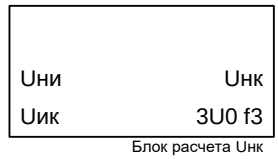


Рисунок 86 – Функциональный блок расчета напряжений «разомкнутого треугольника»

Таблица 64 – Входы и выходы функционального блока расчета напряжений «разомкнутого треугольника»

Аналоговые входы	
Uни	Напряжение Uни «разомкнутого треугольника»
Uик	Напряжение Uик «разомкнутого треугольника»
Аналоговые выходы	
Uнк	Напряжение Uнк «разомкнутого треугольника»
3U0 f3	Утроенное напряжение нулевой последовательности третьей гармоники
Логические входы	Отсутствуют
Логические выходы	Отсутствуют

Напряжение Uнк «разомкнутого треугольника» рассчитываются по формуле

$$\underline{U}_{НК} = \underline{U}_{НИ} + \underline{U}_{ИК} .$$

Утроенное напряжение третьей гармоники выделяется из напряжения НК «разомкнутого треугольника» с помощью фильтра Фурье, настроенного на частоту 150 Гц.

1.2.15.3 Расчет сопротивлений (Расчет Z)

Функциональный блок расчета сопротивлений приведен на рисунке 87.

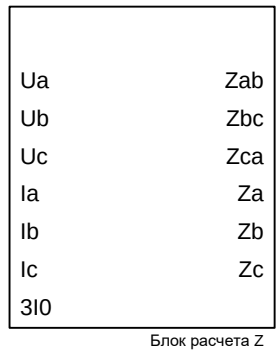


Рисунок 87 – Функциональный блок расчета сопротивлений

Таблица 65 – Входы и выходы функционального блока расчета сопротивлений

Аналоговые входы	
Ua, Ub, Uc	Напряжения фаз A, B, C
Ia, Ib, Ic	Токи фаз A, B, C
3I0	Утроенный ток нулевой последовательности
Аналоговые выходы	
Zab, Zbc, Zca	Сопротивления каналов «фаза-фаза» AB, BC, CA

Za, Zb, Zc	Сопротивления каналов «фаза-земля» AN, BN, CN
Логические входы	Отсутствуют
Логические выходы	Отсутствуют

Блок предназначен для расчета сопротивлений каналов «фаза-фаза» и «фаза-земля» по формулам

$$\underline{Z}_{\text{AB}} = \frac{(1-K_{\text{ПД}})(\underline{U}_{\text{A}} - \underline{U}_{\text{B}}) + K_{\text{ПД}}(\underline{U}_{\text{A,предш}} - \underline{U}_{\text{B,предш}})}{\underline{I}_{\text{A}} - \underline{I}_{\text{B}}},$$

$$\underline{Z}_{\text{BC}} = \frac{(1-K_{\text{ПД}})(\underline{U}_{\text{B}} - \underline{U}_{\text{C}}) + K_{\text{ПД}}(\underline{U}_{\text{B,предш}} - \underline{U}_{\text{C,предш}})}{\underline{I}_{\text{B}} - \underline{I}_{\text{C}}},$$

$$\underline{Z}_{\text{CA}} = \frac{(1-K_{\text{ПД}})(\underline{U}_{\text{C}} - \underline{U}_{\text{A}}) + K_{\text{ПД}}(\underline{U}_{\text{C,предш}} - \underline{U}_{\text{A,предш}})}{\underline{I}_{\text{C}} - \underline{I}_{\text{A}}},$$

$$\underline{Z}_{\text{A0}} = \frac{(1-K_{\text{ПД}})\underline{U}_{\text{A}} + K_{\text{ПД}}\underline{U}_{\text{A,предш}}}{\underline{I}_{\text{A}} + 3\underline{I}_{0}\underline{k}_{0}},$$

$$\underline{Z}_{\text{B0}} = \frac{(1-K_{\text{ПД}})\underline{U}_{\text{B}} + K_{\text{ПД}}\underline{U}_{\text{B,предш}}}{\underline{I}_{\text{B}} + 3\underline{I}_{0}\underline{k}_{0}},$$

$$\underline{Z}_{\text{C0}} = \frac{(1-K_{\text{ПД}})\underline{U}_{\text{C}} + K_{\text{ПД}}\underline{U}_{\text{C,предш}}}{\underline{I}_{\text{C}} + 3\underline{I}_{0}\underline{k}_{0}},$$

где $K_{\text{ПД}}$ – коэффициент работы по памяти (принят 20 %). При близких трехфазных КЗ, когда все напряжения близки к нулю, для определения направленности замеры сопротивления формируется с использованием величин предаварийного режима (индекс «предш» означает, что берется величина, записанная в память 40 мс назад).

1.2.15.4 Расчет аварийных составляющих для БНН (Расчет авар. сост. БНН)

Функциональный блок расчета аварийных составляющих для БНН приведен на рисунке 88.

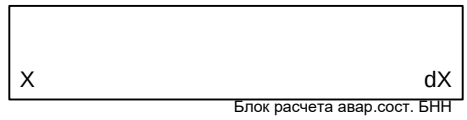


Рисунок 88 – Функциональный блок расчета аварийных составляющих для БНН

Таблица 66 – Входы и выходы функционального блока расчета аварийных составляющих для БНН

Аналоговые входы	
X	Входная величина
Аналоговые выходы	
dX	Аварийная составляющая входной величины
Логические входы	Отсутствуют
Логические выходы	Отсутствуют

В блоке расчета аварийных составляющих для БНН реализован нерекурсивный фильтр первого порядка.

1.2.15.5 Расчет аварийных составляющих токов (Расчет dI)

Функциональный блок расчета аварийных составляющих токов приведен на рисунке 89.

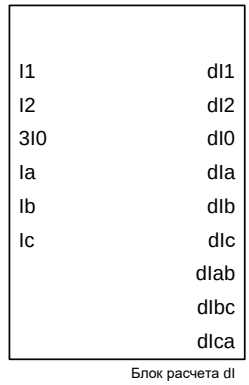


Рисунок 89 – Функциональный блок расчета аварийных составляющих токов

Таблица 67 – Входы и выходы функционального блока расчета аварийных составляющих токов

Аналоговые входы	
I1	Ток прямой последовательности
I2	Ток обратной последовательности
3I0	Утроенный ток нулевой последовательности
Ia, Ib, Ic	Токи фаз А, В, С
Аналоговые выходы	
dI1	Аварийная составляющая тока прямой последовательности
dI2	Аварийная составляющая тока обратной последовательности
dI0	Аварийная составляющая тока нулевой последовательности
dIa, dIb, dIc	Аварийные составляющие фазных токов А, В, С
dIab, dIbc, dIca	Аварийные составляющие междуфазных токов АВ, ВС, СА
Логические входы	Отсутствуют
Логические выходы	Отсутствуют

Для получения приращения вектора синусоидальной величины $\Delta\underline{F} = \underline{F}_{\text{авар}}$ в защите реализованы специальные фильтры, которые получили название фильтров аварийных составляющих (патент № 2058747 разработчиков устройства): $\Delta\underline{F}(k) = \underline{F}_{\text{авар}}(k) = \underline{F}(k) - \underline{F}'(k)$. Экстраполированная величина $\underline{F}'(k)$ предшествующего режима выделяется с помощью нерекурсивного фильтра

$$\underline{F}'(k) = \sum_{p=1}^{m} a_p \underline{F}(k-p).$$

В блоке расчета аварийных составляющих токов реализован нерекурсивный фильтр третьего порядка

$$\underline{F}_{\text{авар}}(k) = \underline{F}(k) - 3\underline{F}(k - T/2) + 3\underline{F}(k - T) - \underline{F}(k - 3T/2),$$

где $\underline{F}(k)$ − значение входного сигнала фильтра в k-й момент времени;

k − текущий момент времени;

T – число отсчетов $\underline{F}(k)$ на периоде промышленной частоты.

Симметричные составляющие токов для расчета их аварийных составляющих, рассчитываются по формулам, приведенным в 1.2.15.1. Междуфазные токи рассчитываются как разность фазных токов.

1.2.15.6 Расчет тока нулевой последовательности второй гармоники (Расчет 3I0 f2)

Функциональный блок расчета тока нулевой последовательности второй гармоники приведен на рисунке 90.

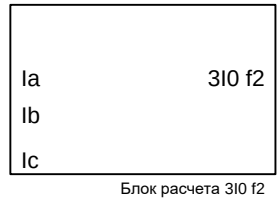


Рисунок 90 – Функциональный блок расчета тока нулевой последовательности второй гармоники

Таблица 68 – Входы и выходы функционального блока расчета тока нулевой последовательности второй гармоники

Аналоговые входы	
Ia, Ib, Ic	Токи фаз А, В, С
Аналоговые выходы	
3I0f2	Утроенный ток нулевой последовательности второй гармоники
Логические входы	Отсутствуют
Логические выходы	Отсутствуют

Блок осуществляет расчет тока нулевой последовательности второй гармоники с помощью фильтра Фурье, настроенного на частоту 100 Гц.

1.2.15.7 Расчет напряжения присоединения (Расчет Uпр)

Функциональный блок расчета напряжения присоединения приведен на рисунке 91.

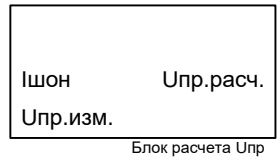


Рисунок 91 – Функциональный блок расчета напряжения присоединения

Таблица 69 – Входы и выходы функционального блока расчета напряжения присоединения

Аналоговые входы	
Iшон	Ток ШОН
Uпр.изм.	Напряжение с ИТН присоединения
Аналоговые выходы	
Uпр.расч.	Расчетное напряжение присоединения
Логические входы	Отсутствуют
Логические выходы	Отсутствуют

Блок осуществляет расчет напряжения присоединения в соответствии со способом подключения по измерительным цепям. Способ подключения задается уставкой «**NUпр**». Для приведения в соответствие модуля напряжения присоединения напряжению шин применяется статическая коррекция сигнала $I_{\text{ШОН}}$, измеряемого по каналу тока ШОН («**NUпр**» = 0 – ток ШОН), или напряжения присоединения $U_{\text{пр.изм.}}$, измеряемого с ИТН присоединения («**NUпр**» = 1 – напряжение), по формулам

$$\underline{U}_{\text{пр.расч.}} = \underline{I}_{\text{ШОН}} \cdot \text{KU} \cdot 1000,$$

$$\underline{U}_{\text{пр.расч.}} = \underline{U}_{\text{пр.изм.}} \cdot \text{KU},$$

где «**KU**» – коэффициент коррекции модуля напряжения присоединения.

Таблица 70 – Уставки модуля расчета напряжения присоединения

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
Измерение напряжения присоединения (0 – ток ШОН, 1 – напряжение)	NUпр	–	0
Коэффициент коррекции модуля напряжения присоединения, о.е.	KU	от 0,01 до 100 (шаг 0,0001)	0,385

1.2.15.8 Расчет компенсированного напряжения обратной последовательности (Расчет U2комп)

Функциональный блок расчета компенсированного напряжения обратной последовательности приведен на рисунке 92.

Рисунок 92 – Функциональный блок расчета компенсированного напряжения обратной последовательности

Таблица 71 – Входы и выходы функционального блока расчета компенсированного напряжения обратной последовательности

Аналоговые входы	
U2	Напряжение обратной последовательности
I2	Ток обратной последовательности
Аналоговые выходы	
U2комп	Компенсированное напряжение обратной последовательности
Логические входы	Отсутствуют
Логические выходы	Отсутствуют

Компенсированное напряжение обратной последовательности рассчитывается согласно выражению

$$\underline{U}_{2комп} = \underline{U}_2 - \underline{I}_2 \cdot \underline{Z}_{комп},$$

где I_2 – ток обратной последовательности;

U_2 – напряжение обратной последовательности;

$\underline{Z}_{комп}$ = Rкомп+jXкомп – сопротивление компенсации ИО напряжения обратной последовательности.

Сопротивление компенсации ИО напряжения обратной последовательности в устройстве задается уставками «**Rкомп**» и «**Xкомп**».

Таблица 72 – Уставки модуля расчета компенсированного напряжения обратной последовательности

Наименование уставки	Обозначение	Диапазон регулирования	Значение по умолчанию
Активное сопротивление компенсации ИО напряжения обратной последовательности, Ом	Rкомп	от 0 до 100 (шаг 0,01)	10
Реактивное сопротивление компенсации ИО напряжения обратной последовательности, Ом	Xкомп	от 0 до 100 (шаг 0,01)	10

1.2.15.9 Расчет суммы токов с учетом приведения (Расчет Iсум.)

Функциональный блок расчета суммы токов с учетом приведения приведен на рисунке 93.

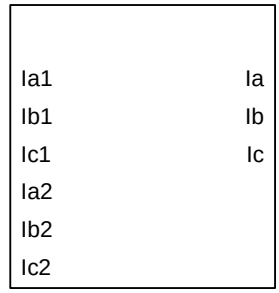


Рисунок 93 – Функциональный блок расчета Iсум.

Таблица 73 – Входы и выходы функционального блока расчета Iсум.

Аналоговые входы	
Ia1, Ib1, Ic1	Токи фаз A, B, C стороны 1
Ia2, Ib2, Ic2	Токи фаз A, B, C стороны 2
Аналоговые выходы	
Ia, Ib, Ic	Суммарные токи фаз A, B, C
Логические входы	Отсутствуют
Логические выходы	Отсутствуют

Блок рассчитывает сумму токов двух сторон с учетом приведения второй к первой по формуле

$$I_{\Sigma} = I_1 \cdot 1{,}0 + I_2 \cdot k_2,$$

$$k_2 = \frac{I_{\text{перв},2}}{I_{\text{втор},2}} \cdot \frac{I_{\text{втор},1}}{I_{\text{перв},1}},$$

где I_{Σ} – сумма токов, А;

I_1 – ток первой стороны, А;

I_2 – ток второй стороны, А;

k_2 – коэффициент выравнивания второго тока относительно первого, о.е;

$I_{\text{втор},1}$ – номинальный вторичный ток ИТТ первой стороны, А;

$I_{\text{втор},2}$ – номинальный вторичный ток ИТТ второй стороны, А;

$I_{\text{перв},1}$ – номинальный первичный ток ИТТ первой стороны, А;

$I_{\text{перв},2}$ – номинальный первичный ток ИТТ второй стороны, А.

2 Рекомендации по проверке

2.1 Общие указания

Общие указания по эксплуатационным ограничениям при подготовке терминала к использованию и работе с ним, порядку внешнего осмотра, установке, подключению и вводу в эксплуатацию, настройке и работе с интерфейсом пользователя, техническому обслуживанию, хранению и утилизации приведены в АИПБ.656122.011 РЭ1.

2.2 Меры по безопасности

2.2.1 При эксплуатации и техническом обслуживании устройства необходимо руководствоваться «Правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок», «Правилами устройств электроустановок» (ПУЭ), а также требованиями настоящего РЭ.

2.2.2 Монтаж, обслуживание и эксплуатацию устройства разрешается производить лицам, прошедшим специальную подготовку.

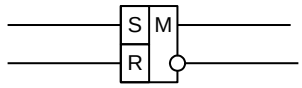
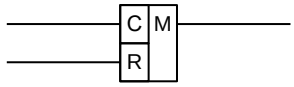
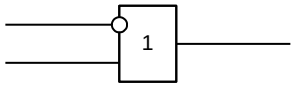
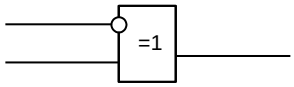
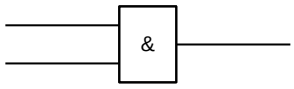
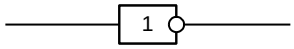
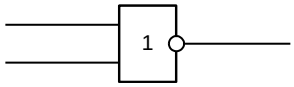
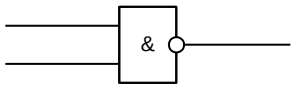
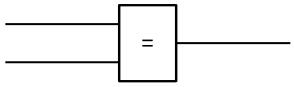
2.2.3 Выемку блоков из терминала и их установку, а также работы на разъемах терминала следует производить при обесточенном состоянии.

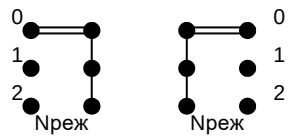
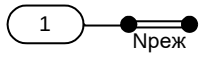
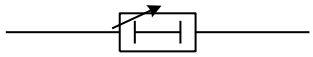
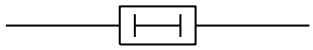
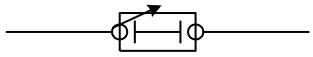
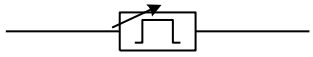
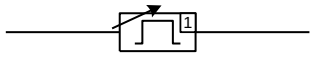
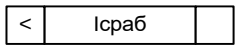
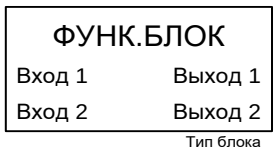
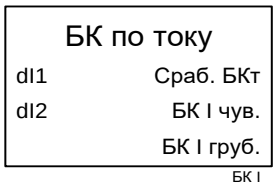
2.2.4 Перед включением и во время работы устройство должно быть надежно заземлено через заземляющий винт, расположенный на задней панели с контуром заземления (корпусом ячейки, шкафа) медным проводником сечением не менее 4 мм^2 наиболее коротким путем.

2.3 Проверка функций защит

Проверка функций защит терминала выполняется в соответствии с АИПБ.656467.966-07.54Х ИМиТО.

Приложение А
(обязательное)
Элементы функциональных логических схем

Обозначение	Полное название
 а)	«**Триггер**», в котором: S – вход установки; R – вход сброса; M – запоминание в энергонезависимую память. Элемент имеет один или два выхода (прямой и инверсный). Пример: а) RS-триггер с запоминанием и двумя выходами
 а)	«**Счетчик**», в котором: C – счетный вход; R – вход сброса; M – запоминание в энергонезависимую память. Выходной логический сигнал устанавливается при достижении уставки счетчика. Пример: а) счетчик с запоминанием
 а)  б)  в)  г)  д)  е)  ж)	«**Логический элемент**» имеет от 1 до 16 входов и один выход, каждый из которых может быть инвертирован. Обозначения логических операций: - логическое «И» (&); - логическое «ИЛИ» (1); - равно (=). Примеры: а) элемент логического «ИЛИ». Выходной сигнал равен логической единице, если хотя бы на одном входе присутствует логическая единица. И только когда на всех входах логические нули, тогда на выходе – логический нуль; б) элемент «исключающее ИЛИ». Выходной сигнал равен логической единице, когда на входе – нечетное количество единиц. И только когда на входе четное количество единиц, на выходе – логический нуль; в) элемент логического «И». Выходной сигнал равен логической единице, если на всех входах присутствует логическая единица. А если хотя бы на одном входе логический нуль, то на выходе – логический нуль; г) элемент логического «НЕ» или инвертор. Если входной сигнал имеет уровень логического нуля, то выходной сигнал – логическая единица, и наоборот; д) элемент логического «ИЛИ-НЕ». Представляет собой последовательное соединение элементов «ИЛИ» и «НЕ». Если хотя бы на одном входе логическая единица, то на выходе элемента – логический нуль. Если на всех входах логические нули, тогда на выходе – логическая единица; е) элемент логического «И-НЕ». Представляет собой последовательное соединение элементов «И» и «НЕ». Если на всех входах логические единицы, тогда на выходе – логический нуль. А если хотя бы на одном входе логический нуль, то на выходе элемента – логическая единица; ж) элемент равенства. Выходной сигнал равен логической единице, если входные сигналы равны

Обозначение	Полное название
 а) б)  в)	Программная накладка выбора режима работы. Применяются три варианта условного графического изображения элемента: 1) на рисунке а) положение накладки определяет путь прохождения сигнала; 2) на рисунке б) значение накладки логическая единица определяет ввод сигнала. При выводе накладки на схему подается логический нуль. Буквенное обозначение накладки – N. Примечание – Обозначения положений накладок: 0 – вывод (нет), 1 – ввод (да)
 а) 200 мс  б)  в)  г)  д)	«**Выдержка времени**» применяется для обозначения в схеме таймеров. Элемент может быть с фиксированным или задаваемым пользователем значением. Разновидности: элемент с задержкой на срабатывание, с задержкой на возврат и формирования импульса. Примеры: а) элемент времени[1)] с регулируемой выдержкой времени на срабатывание «**Тоткл**»; б) элемент времени с фиксированной выдержкой времени на срабатывание 200 мс; в) элемент времени на возврат с регулируемой выдержкой времени «**Тоткл**»; г) элемент формирования импульса с регулируемой длительностью «**Тоткл**»; д) элемент ограничения минимальной длительности сигнала. Выдержка «**Тоткл**» регулируется. Буквенное обозначение элемента времени – Т. Примечание – Над элементом «**Выдержка времени**» указывается значение выдержки времени, под элементом – позиционное обозначение
[1)] элемент времени, выдержка времени, таймер	
	«**Измерительный орган**» по типу может быть максимального (>), минимального (<) действия. Для ИО с однозначным или неопределенным типом действия (РНМ) тип действия может не задаваться. Пример: ИО минимального действия, где «**Iсраб**» – наименование ИО
 а)  б)	«**Функциональный блок**» используется для обозначения на схеме блоков (рисунок а), функциональность которых пояснена в сопроводительной эксплуатационной документации. Пример: на рисунке б) приведен функциональный блок БК по току

Приложение Б
(справочное)
Векторные диаграммы и схемы соединения обмоток «разомкнутого треугольника»

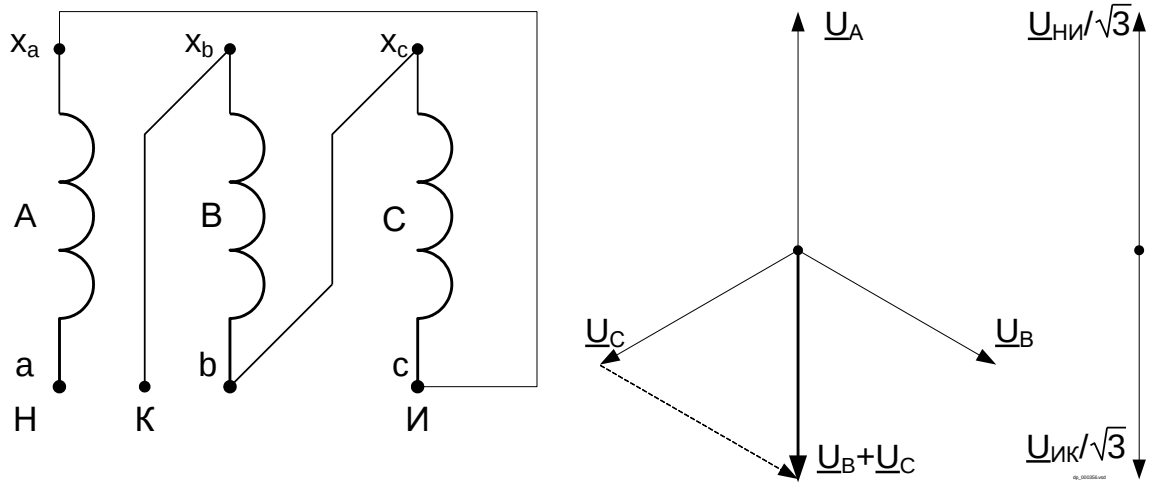


Рисунок Б.1 – Схема соединения с особой фазой А (типовая схема, направления векторов «звезды» и «разомкнутого треугольника» совпадают)

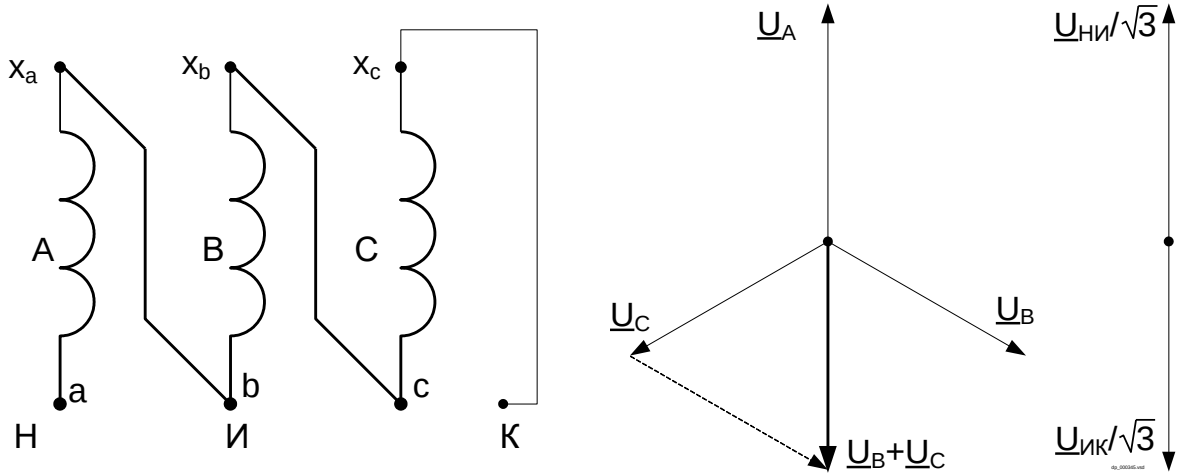


Рисунок Б.2 – Схема соединения с особой фазой А (типовая схема, направления векторов «звезды» и «разомкнутого треугольника» совпадают)

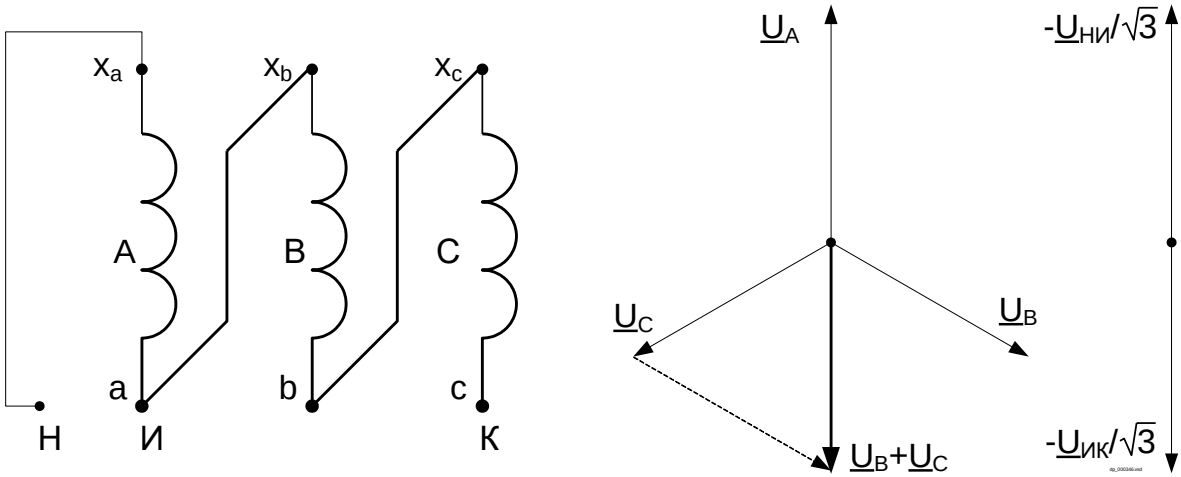


Рисунок Б.3 – Схема соединения с особой фазой А (типовая схема, направления векторов «звезды» и «разомкнутого треугольника» не совпадают)

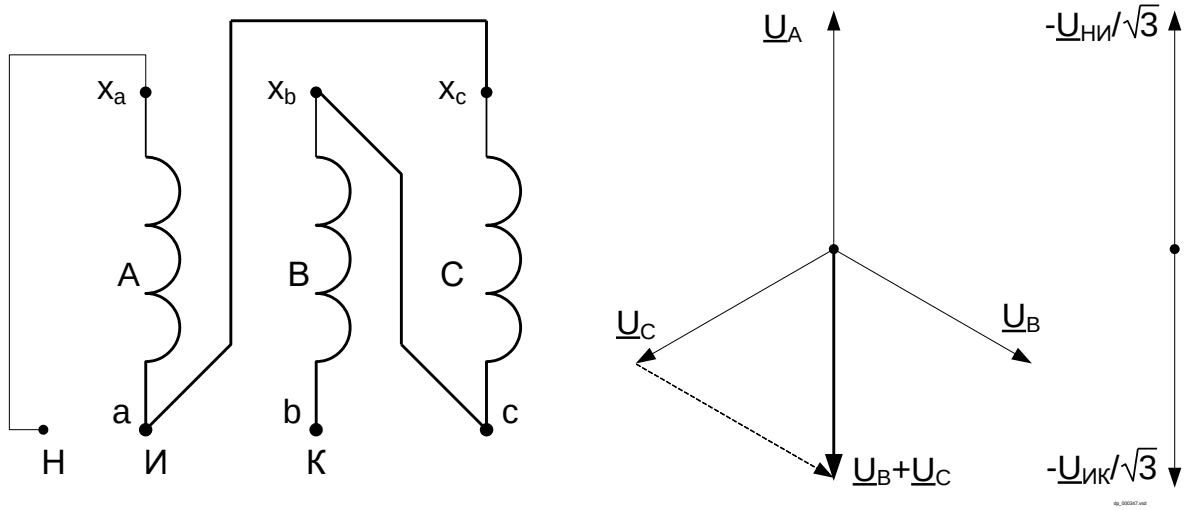


Рисунок Б.4 – Схема соединения с особой фазой А (типовая схема, направления векторов «звезды» и «разомкнутого треугольника» не совпадают)

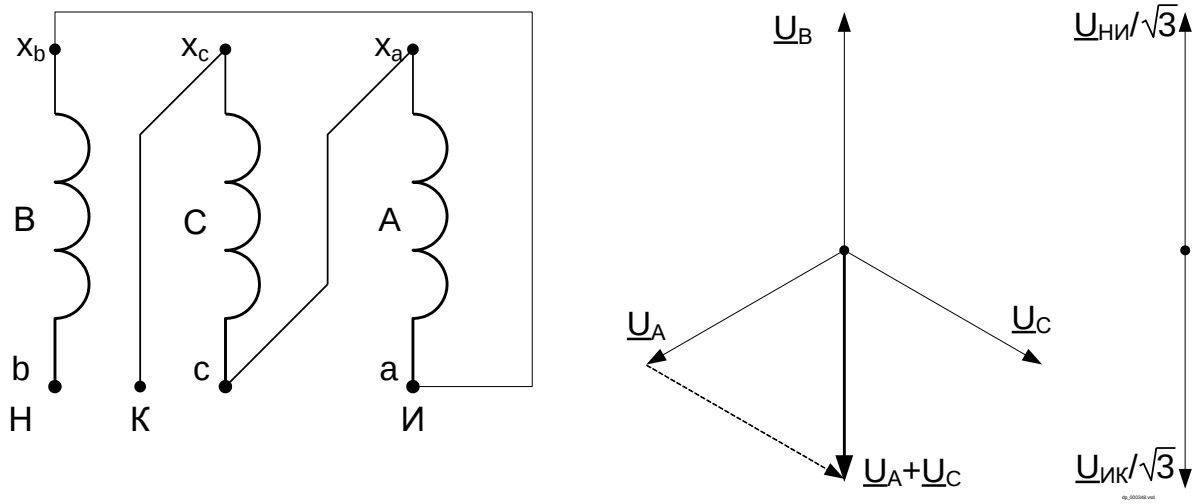


Рисунок Б.5 – Схема соединения с особой фазой В (нетиповая схема, направления векторов «звезды» и «разомкнутого треугольника» совпадают)

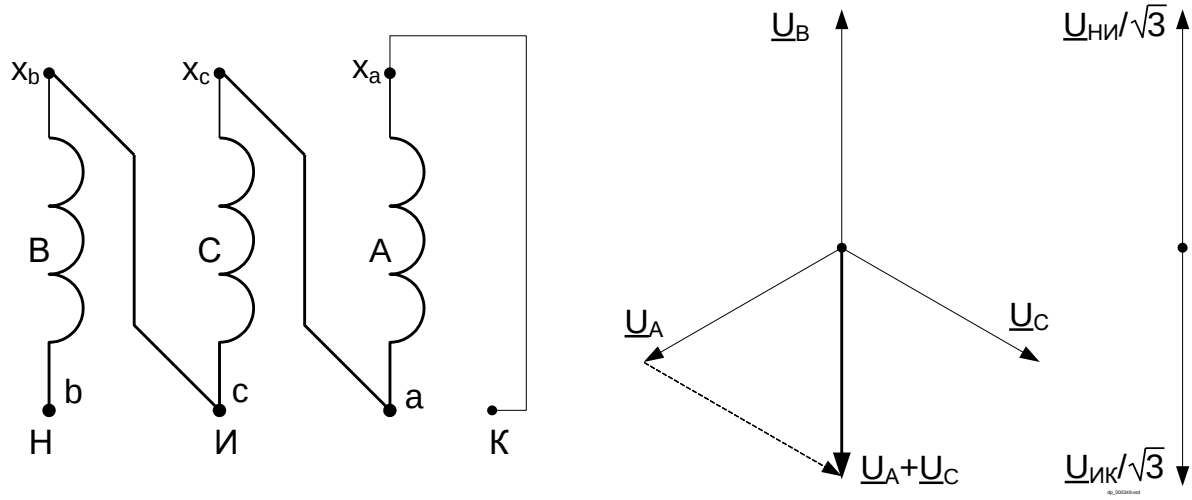


Рисунок Б.6 – Схема соединения с особой фазой В (нетиповая схема, направления векторов «звезды» и «разомкнутого треугольника» совпадают)

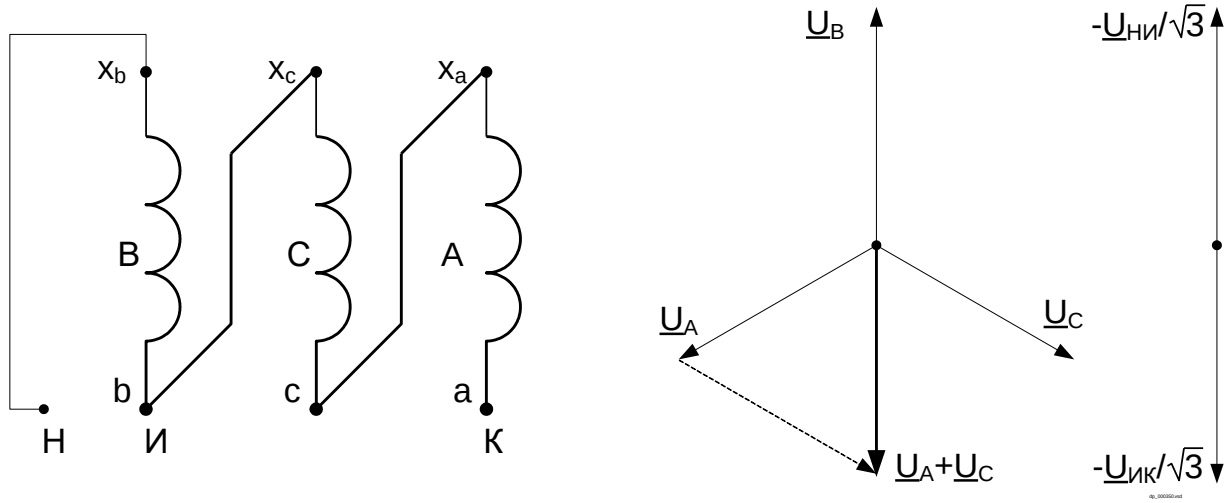


Рисунок Б.7 – Схема соединения с особой фазой В (нетиповая схема, направления векторов «звезды» и «разомкнутого треугольника» не совпадают)

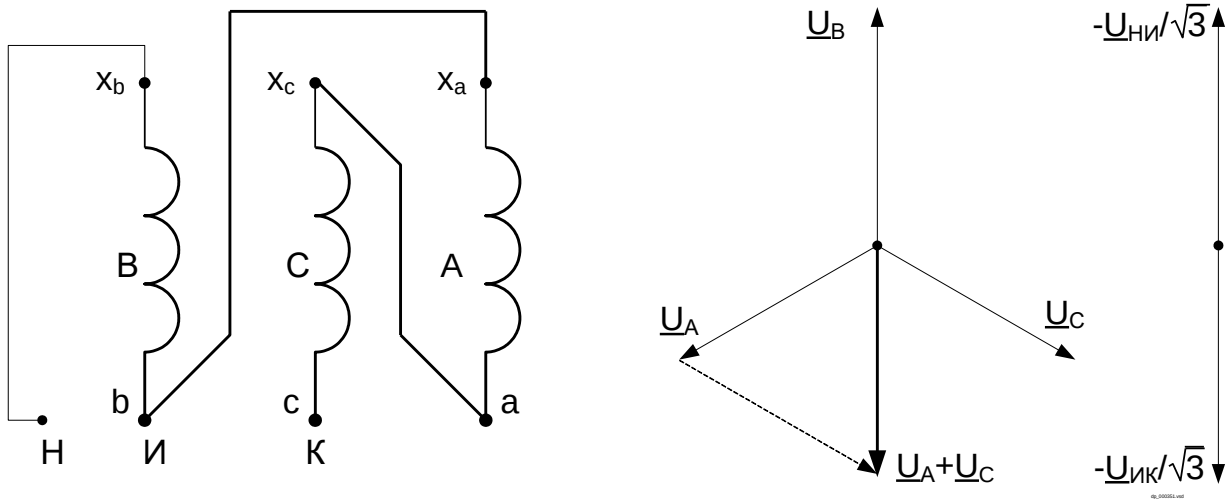


Рисунок Б.8 – Схема соединения с особой фазой В (нетиповая схема, направления векторов «звезды» и «разомкнутого треугольника» не совпадают)

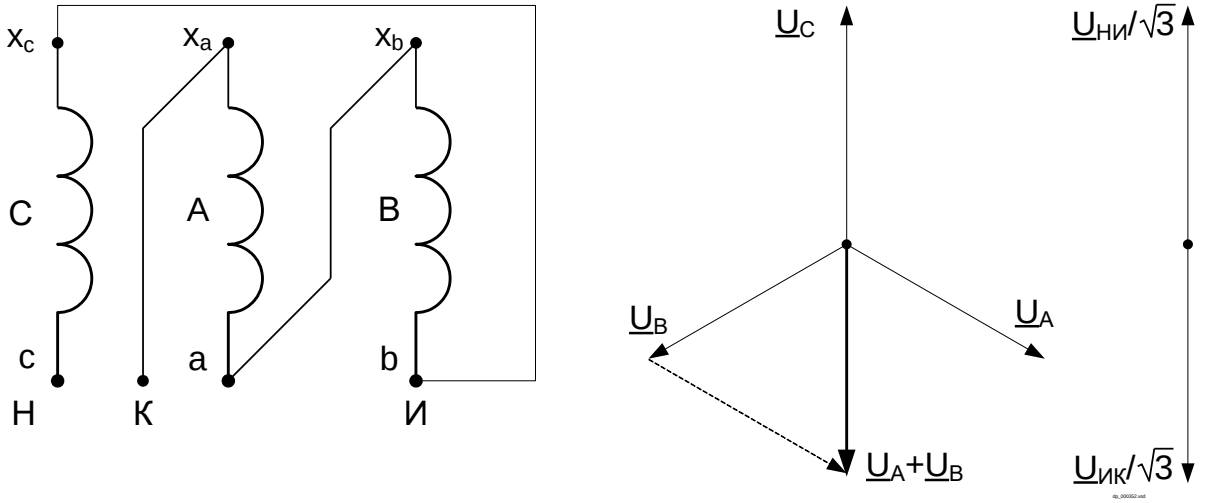


Рисунок Б.9 – Схема соединения с особой фазой С (нетиповая схема, направления векторов «звезды» и «разомкнутого треугольника» совпадают)

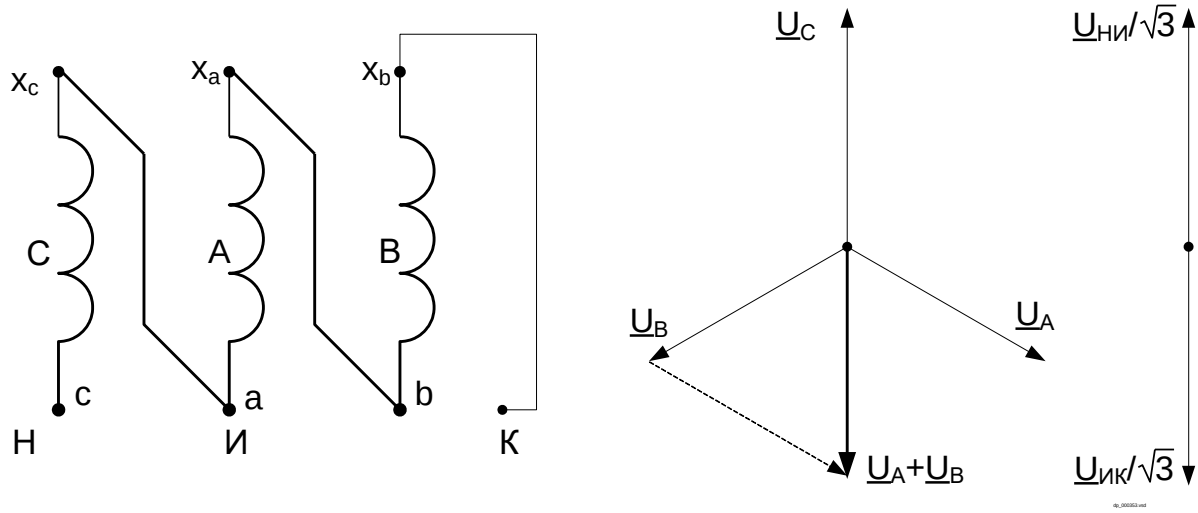


Рисунок Б.10 – Схема соединения с особой фазой С (нетиповая схема, направления векторов «звезды» и «разомкнутого треугольника» совпадают)

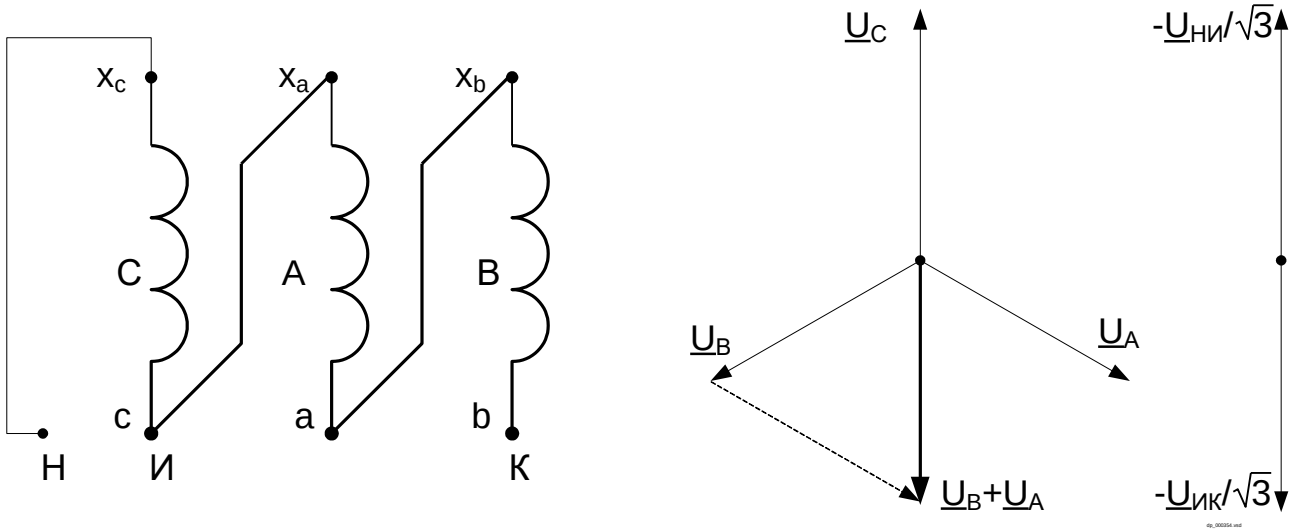


Рисунок Б.11 – Схема соединения с особой фазой С (нетиповая схема, направления векторов «звезды» и «разомкнутого треугольника» не совпадают)

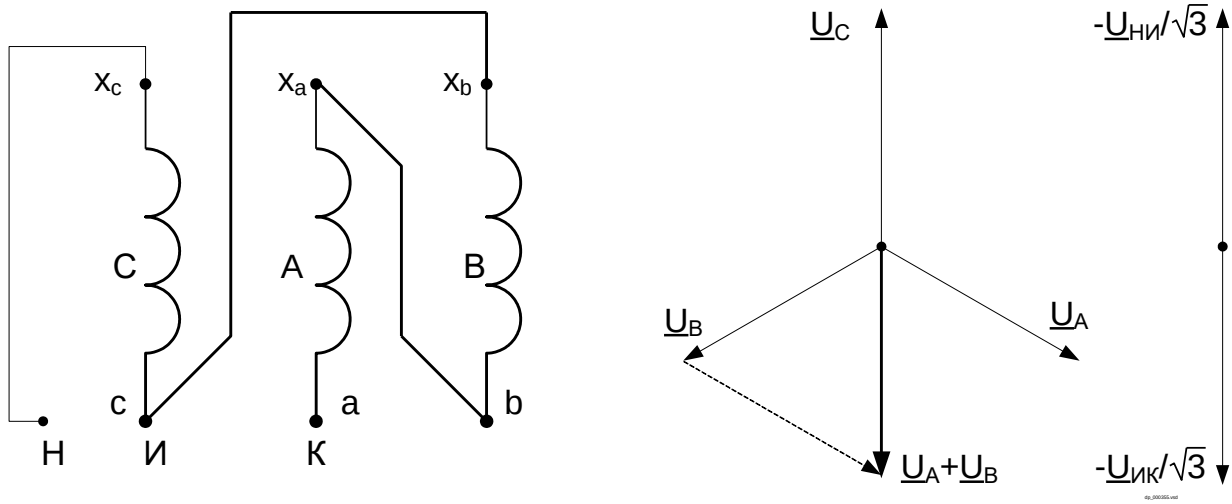


Рисунок Б.12 – Схема соединения с особой фазой С (нетиповая схема, направления векторов «звезды» и «разомкнутого треугольника» не совпадают)

Список сокращений

IP – Internet Protocol;
АК – автоматический контроль канала связи;
АПВ – автоматическое повторное включение;
АУ – автоматическое ускорение;
АУВ – автоматика управления выключателем;
БВГ – блокировка по второй гармонике;
БДОН – блокировка при длительном отсутствии напряжения;
БЗЛ – быстродействующая защита линии;
БК – блокировка при качаниях;
БНН – блокировка при неисправностях в цепях напряжения;
БНТ – бросок тока намагничивания;
ВВВ – выдержка времени на возврат;
ВВИ – выдержка времени импульсная;
ВВС – выдержка времени на срабатывание;
ВЛ – воздушная линия;
ВЧ – высокочастотный;
ДЗ – дистанционная защита;
ЗНФ – защита от непереключения фаз;
ЗНР – защита от неполнофазного режима;
ЗОП – защита от обрыва проводника;
ИК – испытательный комплекс;
ИМиТО – инструкция по монтажу и техническому обслуживанию;
ИО – измерительный орган;
ИТН – измерительный трансформатор напряжения;
ИТТ – измерительный трансформатор тока;
ИЧМ – интерфейс «человек-машина»;
КВЛ – кабельно-воздушная линия;
КЗ – короткое замыкание;
КСЗ – комплект ступенчатых защит;
ЛОСК – логика отключения слабого конца;
ЛЭП – линия электропередачи;
МТЗ – максимальная токовая защита;
НВЧЗ – направленная высокочастотная защита линии;
НП – нулевая последовательность;
ОКП – общий критерий повреждения;
ОМП – определение места повреждения;
ОУ – оперативное ускорение;
ПЛ – параллельная линия;
ПП – прямая последовательность;
ПС – подстанция;
ПУЭ – правила устройства электроустановок;
РЗ – релейная защита;
РНМ – реле направления мощности;
РНМНП – реле направления мощности нулевой последовательности;
РНМОП – реле направления мощности обратной последовательности;
РПВ – реле положения «Включено»;
РПО – реле положения «Отключено»;
РРУ – рекомендации по расчету уставок;
РС – реле сопротивления;
РТ – реле тока;
РЭ – руководство по эксплуатации;

ТНЗНП	– токовая направленная защита нулевой последовательности;
ТО	– токовая отсечка;
УРОВ	– устройство резервирования отказа выключателя;
ФОС	– фильтр ортогональных составляющих;
ФСС	– фильтр симметричных составляющих;
ШСВ	– шиносоединительный выключатель;
ШОН	– шкаф отбора напряжения.

Лист регистрации изменений

Изм.	Номера листов (страниц)				Всего листов (страниц) в документе	№ документа	Входящий № сопроводительного документа и дата	Подпись	Дата
	изме-ненных	заме-ненных	новых	аннулиро-ванных					
-			все		105	АИПБ.099-2020			06.2020
1		1-103		104, 105	103	АИПБ.316-2020			11.2020
2		1			-	АИПБ.138-2021			05.2021