

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа _____ 152 _____ с., _____ 14 _____ рис., _____ 28 _____ табл.,
_____ 10 _____ источников, _____ 3 _____ прил.

Ключевые слова: релейная защита линий 500 кВ, микропроцессорные защиты производства ООО НПП «ЭКРА», однофазное автоматическое повторное включение

Объектом исследования является (ются) релейная защита района линии 500 кВ ПС «Сибирская» - Нижневартовская ГРЭС Тюменской энергосистемы

Цель работы – спроектировать релейную защиту и АПВ линии 500 кВ ПС «Сибирская - Нижневартовская ГРЭС» Тюменской энергосистемы

В процессе исследования были использованы расчетно-аналитические и графические методы, методы логики, математической статистики и др. Реализация названных методов и алгоритмов осуществляется через пакет прикладных программ АРМ СРЗА

В результате исследования Спроектированные релейная защита и автоматика линии базируются на отечественной микроэлектронной аппаратуре. Чувствительность измерительных органов основных и ряда ступеней резервных дистанционных и токовых нулевой последовательности защит достигнута благодаря использованию возможностей типовой аппаратуры

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: Чувствительность и селективность избирателей однофазного АПВ достигается путем отстройки уставки избирателя поврежденной фазы от погрешности замеров, либо изменением коэффициента степени компенсации токов нулевой последовательности; требуемая чувствительность органа выявления повреждения получена в связи с техническими ограничениями на минимальное значение параметра реагирования

Экономическая эффективность/значимость работы Экономическая эффективность спроектированных защит и ОАПВ весьма высоки.

В будущем планируется Полученные в проекте результаты могут быть использованы как эскизные для рабочего проектирования, как предварительные в расчетных группах РЗА центрального, объединенного или регионального диспетчерского управления, в техническом ведении которых находятся сети 500 кВ.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	18
Обзор литературы	20
Объект и методы исследования.....	22
1. ФОРМИРОВАНИЕ РАЙОНА ЭНЕРГОСИСТЕМЫ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ЗАДАННЫХ ОБЪЕКТОВ	23
1.1 Схема электрических соединений и карта селективности	24
1.2 Совмещенная схема прямой, обратной и нулевой последовательностей для расчетов электрических величин при повреждениях	25
2. АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ И ПРИНЯТИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ.....	26
2.1 Конфигурация, параметры схем элементов, установившихся режимов выбранного района энергосистемы	26
2.2 Принципы, виды и основные характеристики производимой фирмами аппаратуры РЗА	28
2.3 Принятие варианта решений по составу и номенклатуре РЗА заданных автоматизируемых объектов	31
2.4 Выбор измерительных трансформаторов	36
3. ОБОСНОВАНИЕ ВАРИАНТА ВЫБРАННЫХ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОВТОРНОГО ВКЛЮЧЕНИЯ АВТОМАТИЗИРУЕМОЙ ЛИНИИ 500 КВ.....	38
3.1 Ступенчатая токовая защита нулевой последовательности ШЭ-2710 линии ПС Сибирская – НВГРЭС со стороны ПС Сибирская.....	38
3.1.2. Подготовка данных по уставкам предыдущих линий первой и второй периферии	43
3.1.3. Первая и вторая ступени ступенчатой токовой защиты нулевой последовательности (СТЗНП) линии второй периферии.....	43
3.1.4 Первая ступень	47
3.1.5 Вторая ступень	49
3.1.6 Третья ступень.....	52
3.1.7 Четвертая ступень	59
3.1.8 Реле мощности.....	60
3.2 Дистанционная защита ШЭ 2710 521	62
3.2.1 Первая ступень	64
3.2.3 Вторая ступень	65
3.2.4 Третья ступень.....	69
3.2.5. Блокировка при качаниях	71
3.2.6. Блокировка при неисправностях в цепях напряжения	72
3.2.7 Междофазная отсечка	72
3.3 Высокочастотная направленная и дифференциально-фазная защита.....	74
3.3.1 Выбор уставки токовых органов с пуском по вектору разности фазных токов I_L	75

3.3.2 Выбор уставки токовых органов с пуском по току обратной последовательности I2	76
3.3.3 Выбор уставки органа с пуском по напряжению обратной последовательности U2.....	81
3.3.4 Выбор уставки токового органа с пуском по приращению DI2	83
3.3.5 Выбор уставки токового органа с пуском по приращению DI1	84
3.3.6 Орган манипуляции. Коэффициент комбинированного фильтра токов.....	85
4. ОДНОФАЗНОЕ АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОВТОРНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ	92
4.1 Настройка избирателей фаз.....	93
4.2 Выбор уставок органа ОВП.....	101
4.3 Выбор уставок органов контроля погасания дуги подпитки (ОКПДУВ).....	103
4.3 Время действия АПВ	104
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	106
Список использованных источников	108
Приложение А. Схема электрических соединений и карта селективности. ФЮРА.3710000.001.Е1 ..	109
Приложение Б. Совмещенная схема прямой, обратной и нулевой последовательности ФЮРА.3710000.002.Е1	110
Приложение В. Схема подключения защит ФЮРА.3710000.003.СБ	111

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА РАЙОНА ЛИНИИ 500 КВ ПС «СИБИРСКАЯ - НИЖНЕВАРТОВСКАЯ ГРЭС» ТЮМЕНСКОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

ВВЕДЕНИЕ

Энергетическая система представляет собой сложную многозвенную техническую систему, предназначенную для производства, распределения и потребления электроэнергии. Процессы, происходящие в энергосистеме, отличаются быстротой, взаимосвязанностью, единством процессов производства, распределения и потребления электроэнергии. Управление ими без применения специальных технических средств, называемых средствами автоматического управления, в большинстве случаев оказывается невозможным.

На релейную защиту возлагаются следующие функции:

1. Автоматическое выявление поврежденного элемента с последующей локализацией. Защита подает команду на отключение выключателей этого элемента, восстанавливая нормальные условия работы для неповрежденной части энергосистемы.

2. Автоматическое выявление ненормального режима с принятием мер для его устранения. Нарушения нормального режима в первую очередь вызываются различного рода перегрузками, которые не требуют немедленного отключения. Поэтому защита действует на разгрузку оборудования или выдает сообщение дежурному персоналу.

В используемом экспертно-руководящем методе расчета уставок параметров реагирования РЗ критерием и показателем надежности работы РЗ является оценка чувствительности. В связи с этим, предложенный проект в дальнейшем может быть модернизирован путем замены рассчитанных защит на более совершенные или разработкой альтернативных методик выполнения надежной РЗ энергообъектов.

Спроектированные релейная защита и автоматика линии базируются на отечественной микроэлектронной аппаратуре, в частности комплексы релейной защиты линий ШЭ 2710 582, ШЭ 2710 521, ШЭ 2710 511. Чувствительность измерительных органов основных и ряда ступеней резервных дистанционных токовых нулевой последовательности защит достигнута благодаря использованию возможностей типовой аппаратуры, полученные значения уставок входят в диапазон изменения параметров рассматриваемого комплекса защит. Для разрешающего реле мощности произведен выбор уставки исходя из чувствительности. Блокирующее реле мощности выведено из работы, в результате чего защита будет работать при направлении мощности нулевой последовательности от шин в линию. Чувствительность и селективность избирателей однофазного АПВ достигается путем отстройки уставки избирателя поврежденной фазы от погрешности замеров, либо изменением коэффициента степени компенсации токов нулевой последовательности; требуемая чувствительность органа выявления повреждения получена в связи с техническими ограничениями на минимальное значение параметра реагирования.

Обзор литературы

Тема ВКР «Релейная защита района линии 500 кВ ПС «Сибирская - Нижневартовская ГРЭС» Тюменской энергосистемы» находит широкое распространение в литературе. В Советском Союзе на базе сетей 500 кВ была создана Единая энергетическая система страны (ЕЭС), сооружались мощные и протяженные передачи 500 – 750 кВ. Рост нагрузок, увеличение протяженности линий электропередач, ужесточение требований к устойчивости энергосистем осложняют условия работы релейной защиты и повышают требования к ее быстродействию, чувствительности и надежности. В связи с этим идет непрерывный процесс развития и совершенствования техники релейной защиты, направленный на создание все более современных защит, отвечающих требованиям энергетики.

Формирование района энергосистемы с точки зрения релейной защиты заданных объектов, расчет дистанционной защиты, токовой защиты нулевой последовательности были выполнены с помощью таких изданий как «Руководящие указания по релейной защите. Вып. 7. Дистанционная защита линий 35 – 330 кВ»[6], «Руководящие указания по релейной защите. Вып. 9. Дифференциально – фазная высокочастотная защита линий 110 – 330 кВ»[7], «Руководящие указания по релейной защите. Вып. 12. Токовая защита нулевой последовательности от замыканий на землю линий 110 – 500 кВ»[9], «Руководящие указания по релейной защите. Вып. 11. Расчеты токов короткого замыкания для релейной защиты и системной автоматики в сетях 110-750 кВ»[8], в которых даны указания и рассмотрены примеры формирования схем.

Выбор варианта релейной защиты и автоматического повторного включения рассмотрены в «Правилах устройства электроустановок», в которых предъявлены требования к релейной защите.

Вопрос расчета дифференциально – фазной защиты и однофазного автоматического повторного включения широко рассмотрен в таких изданиях, как «Методические указания по выбору параметров срабатывания дифференциально – фазной и высокочастотной микропроцессорных защит сетей 220 кВ и выше, устройств АПВ сетей 330 кВ и выше производства ООО НПП «ЭКРА», «Руководящие указания по релейной защите. Выпуск 6. Устройство резервирования при отказе выключателей 35 – 500 кВ»[5]

Принцип действия микропроцессорных защит подробно рассмотрены в книге «Цифровая релейная защита» Э.М. Шнеерсона. В книге уделено внимание принципам действия релейной защиты (токовой, токовой направленной, дистанционной и др.), которые в полном объеме и с определенными расширениями используются в цифровой релейной защите.

Объект и методы исследования

Цель работы - спроектировать релейную защиту и АПВ линии 500 кВПС «Сибирская - Нижневартовская ГРЭС» Тюменской энергосистемы

Для выполнения поставленной задачи был выбран район сети, включающий автоматизируемые объекты. Этот выбор был осуществлен так, чтобы была возможность достаточно полноценно спроектировать РЗА автоматизируемых объектов.

Для решения поставленных задач использованы расчетно-аналитические и графические методы, методы логики, математической статистики и др., в том числе разработанные на кафедре электроэнергетических систем ТПУ. Реализация названных методов и алгоритмов осуществляется через пакет прикладных программ АРМ СРЗА, имеющихся в математическом обеспечении кафедры электроэнергетических систем.

1. ФОРМИРОВАНИЕ РАЙОНА ЭНЕРГОСИСТЕМЫ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ЗАДАННЫХ ОБЪЕКТОВ

Автоматизируемые объекты: релейная защита линии 500 кВПС «Сибирская – Нижневартовская ГРЭС».

Район для проектирования РЗ должен содержать кроме заданных автоматизируемых элементов также два уровня периферий из предыдущих элементов в направлении действия комплектов РЗ по концам заданной линии и два уровня периферий: одного - из смежных элементов.

Выбранный таким путем район представляет собой в ряде случаев весьма обширную схему, однако волевое сокращение ее, хотя и упрощает, но облегчает в последующем задачу проектирования РЗ.

Для выбранного района расчетной схемы составляются (выбираются) две схемы замещения:

- Совмещенная схема замещения прямой, обратной и нулевой последовательности для расчетов вынужденных синусоидальных электрических величин при повреждениях (КЗ) в сверхпереходный периоды при необходимости в установившемся режиме КЗ.

Формирование схем замещения района производится из полных схем замещения энергосистемы, являющихся базами данных программного энергетического комплекса АРМ СРЗА путем выбора компонентов, относящихся к ранее выбранному району расчетной схемы. По результатам выбора выполняются твердые варианты схем замещения с обозначением числовых значений соответствующих параметров.

1.1 Схема электрических соединений и карта селективности

Схема электрических соединений и карта селективности представлена на рисунке А.1 (приложение А).

1.2 Совмещенная схема прямой, обратной и нулевой последовательностей для расчетов электрических величин при повреждениях

Совмещенная схема прямой, обратной и нулевой последовательностей для расчетов электрических величин при повреждениях представлена на рисунке Б.1 (приложение Б).

2. АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ И ПРИНЯТИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

2.1 Конфигурация, параметры схем элементов, установившихся режимов выбранного района энергосистемы

Структуру выбранного района 500 кВ можно описать следующими фрагментами:

- связь 500 кВПС Сибирская– НВГРЭС (автоматизируемая линия);
- связь 500 кВНВГРЭС - ПС Белозерная (первая периферия);
- связь 500 кВ ПС Белозерная - ПС Кустовая (вторая периферия);

Автоматизируемый объект: релейная защита линии 500 кВПС «Сибирская – НижневартовскаяГРЭС».Помимо заданного соединения, ПС Сибирская имеет линии 500 кВ на ПС Трачуковская, СГРЭС-2. СГРЭС-2 имеет линии500 кВ на ПС Пыть-Ях, Кустовая, Сибирская, Траучук, Холмогоры, Сомкино.

ПС Сибирская имеет в своём составе две группы однофазныхавтотрансформаторов 500/230/10,5кВ мощностью 3*167 МВА.

Автотрансформатор: АОДЦТН-167000/500/220, с параметрами, представленными в таблице 1.

Таблица 2.1. Параметры трансформатора

Тип	$S_{\text{ном}}$, МВА	$S_{\text{номНН}}$, МВА	$U_{\text{вн}}$, кВ	$U_{\text{сн}}$, кВ	$U_{\text{нн}}$, кВ
АОДЦТН - 167000/500/220	167	50	$500/\sqrt{3}$	$230/\sqrt{3}$	38

Уровни напряжений в автоматизированном районе:

- ОРУ 500 кВ ПС Сибирская – 499,36 кВ;
- ОРУ 220 кВ ПС Сибирская – 228,4 кВ;
- ОРУ 500 кВ НВГРЭС – 497,78 кВ.

Смежные и предыдущие линии защищаемого элемента:

- «Нижневартовская ГРЭС – Сибирская» - 3АС-300, L=23,36 км – защищаемая линия;
- «Нижневартовская ГРЭС – Белозерная» - 3АС-300, L=318,67 км.

Смежные линии защищаемого автотрансформатора со стороны СН:

- «Нижнертовская ГРЭС – Советско-Соснинская -1» - АС300, L=60,69 км,;
- «Нижнертовская ГРЭС – Советско-Соснинская -2» - АС240, L=167,7 км;
- «Нижнертовская ГРЭС – Сибирская-3» - АС-240, L=23,6 км;
- «Нижнертовская ГРЭС – Сибирская-4» - АС-240, L=23,6 км;
- «Нижнертовская ГРЭС – Сибирская-1» - АС-400, L=24,93 км;
- «Нижнертовская ГРЭС – Эмтор» - АС-400, L=23,25 км;
- «Нижнертовская ГРЭС – Мираж» - АС-400, L=25 км;
- «Нижнертовская ГРЭС – Космос» - АС-400, L=22,11 км.

Предыдущие линии:

- «Сибирская – Трачуковская»;
- «Сибирская – СГРЭС-2».

Смежные линии:

- «Трачуковская – СГРЭС-1»,
- «СГРЭС-2 –Сомкинская»,
- «СГРЭС-2 – Пыть-ях»,
- «СГРЭС-2 – Пересвет»,
- «СГРЭС-2– Холмогорская»,
- «СГРЭС-2– Кустовая»,
- «СГРЭС-2 – Пыть-ях».

2.2 Принципы, виды и основные характеристики производимой фирмами аппаратуры РЗА

Согласно ПУЭ линии напряжением 500 кВ и выше должны иметь:

- для обеспечения функций основной релейной защиты – систем комплексов защиты на концах линий с обменом информацией между комплексами по специальным каналам, с целью обеспечения обнаружения и отключения КЗ на всей длине линии от всех видов КЗ. Для линии 500 кВ и выше имеются некоторые особенности выбора устройств РЗА. Вследствие передачи по таким линиям мощностей близких к предельным, по условиям сохранения устойчивости, на этих линиях в качестве основных применяются быстродействующие типы защит.
- для обеспечения функций резервной РЗ линии – многоступенчатые токовые и дистанционные защиты.
- средства ОАПВ, запускаемые при срабатывании РЗ (после небольшой выдержки времени необходимой для деионизации среды места КЗ).

ПУЭ и руководящие указания по РЗ рекомендуют использовать для резервирования основных РЗ ступенчатые токовые или дистанционные принципы.

На данный момент в релейной защите используются устройства трёх видов: защита на электромеханических реле, микроэлектронная защита и микропроцессорная защита. Причём последняя стала внедряться в эксплуатацию сравнительно недавно, что обусловлено высокой ценой продукции и недостаточной квалификацией персонала релейной защиты в области микропроцессоров

Следует сопоставить основные положительные качества и недостатки этих видов релейной защиты:

- защита на электромеханических реле:

Данный вид защиты морально устарел, хотя и повсеместно используется. Перспективы развития данного вида аппаратуры отсутствуют, поэтому нет видимых причин для проектирования УРЗА на основе электромеханических реле;

- микроэлектронная защита:

Достаточно распространена и хорошо показывает себя в работе. Основное достоинство данной аппаратуры, что заметно отличает её от предыдущего вида, это удобство в обслуживании и регулировке уставок. К недостаткам можно отнести достаточно большие габариты и вес устройств, что нередко вызывает трудности при монтаже.

- микропроцессорная защита:

Данный вид аппаратуры наиболее перспективен. Основные достоинства: компактность, малые габариты и вес, удобство в обслуживании, считывании информации, регулировке уставок. К недостаткам можно отнести высокую цену продукции. Основная сложность в обслуживании и ремонте аппаратуры заключается в недостаточной квалификации персонала в области микроэлектроники.

Учитывая то, что в современной энергосистеме много электромеханических и микроэлектронных устройств, а наиболее прогрессивные микропроцессорные по распространены в недостаточной степени, в данном проекте будем применять микроэлектронные устройства.

В настоящее время для 500 кВ разработаны микроэлектронные комплексы ШЭ -2710 511, ШЭ 2710 521, ШЭ 2710 538, ШЭ 2710 582, ШЭ 2710 591.

- ШЭ 2710 521 - предназначен в качестве основной (с телеускорением) или резервной защиты линии напряжением 330–750 кВ. Содержит ДЗ, ТНЗНП, МТО, МТЗ и ОАПВ линии.
- ШЭ2710 582 - Предназначен в качестве основной быстродействующей защиты ВЛ напряжением 330–750 кВ. Применяется совместно со шкафами ШЭ2710 521, ШЭ2710 511. Защита и автоматика содержат релейную и высокочастотную части. Релейная часть представлена полукomплектом защиты, реализующим функции ДФЗ линии и содержащим полноценное устройство ОАПВ. В состав релейной части входят пусковые и измерительные органы, орган манипуляции, интегральный орган сравнения фаз токов, логическая часть, входные и выходные цепи, а также цепи сигнализации. ШЭ 2710 511 - Предназначен в качестве управления выключателем с пофазным приводом. Содержит АУВ, ТАПВ, индивидуального пофазного УРОВ.

2.3 Принятие варианта решений по составу и номенклатуре РЗА заданных автоматизируемых объектов

Принимаем к дальнейшему расчету на основании ПУЭ следующие типы защит для линии:

- Основная — направленная, дифференциально-фазная высокочастотная защита от всех видов КЗ, типа ШЭ2710 582;

Принцип действия ДФЗ основан на сравнении фаз токов по обоим концам защищаемой линии, получаемых от комбинированных фильтров токов $kI1+kI2$, рисунок 1. Фаза токов передается по защищаемой линии с одного ее конца на другой посредством сигналов высокой частоты по каналу, в качестве которого используется защищаемая линия.

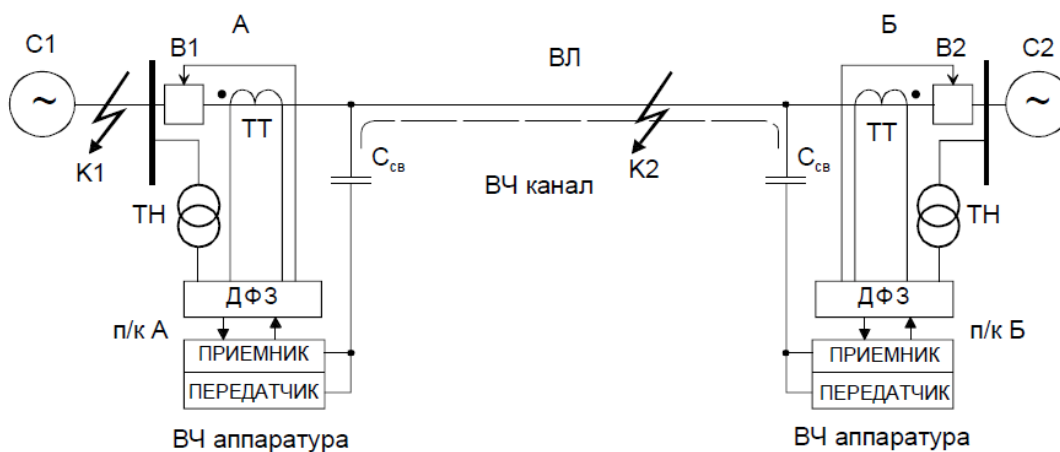


Рисунок 2.1. – Блок-схема взаимодействия полукомплектов ДФЗ

Пуск ДФЗ и подготовка цепей отключения осуществляются от пусковых органов, реагирующих на ток обратной последовательности и на аварийные составляющие тока обратной и прямой последовательности. При КЗ в зоне действия защиты происходит отключение выключателей линии или

производится пуск устройства ОАПВ, которое в зависимости от вида повреждения отключает одну или три фазы выключателей.

С целью исключения ложных отключений защищаемой линии при внешних повреждениях в энергосистеме, производится выравнивание токов, подводимых к двум полукompлектам защиты, путем компенсации емкостного тока ВЛ. Компенсация выполнена с учетом частотных свойств протяженных ВЛ сверхвысокого напряжения (СВН).

В устройстве используется отстройка от ВЧ помех, вызываемых короной на проводах линий СВН, что улучшает помехозащищенность ВЧ канала связи и повышает надежность работы ДФЗ на отключение повреждения.

- Резервная – трехступенчатая дистанционная защита от междуфазных КЗс устройствами блокировки при качаниях и неисправностях в цепяхнапряжения, типа ШЭ 2710 521.

Первая ступень ДЗ предназначена для защиты от всех видов коротких замыканий (КЗ), включая КЗ с «землей». Дистанционная защита снабжена традиционными блокировками при качаниях и неисправностях в цепях напряжений. Блокировка при качаниях предназначена для исключения срабатывания защиты в режимах качаний или асинхронного хода. Блокировка при неисправностях в цепях напряжения выполнена на сравнении каждого из фазных напряжений «звезды» с напряжением на соответствующей обмотке «разомкнутого треугольника», находящейся на том же стержне магнитпровода измерительного трансформатора напряжения.

Каждая из ступеней ДЗ содержит по три реле сопротивления, включенных на разности фазных токов ($I_A - I_B$, $I_B - I_C$, $I_C - I_A$) и соответствующие междуфазные напряжения (U_{AB} , U_{BC} , U_{CA}).

Характеристика срабатывания каждого из реле сопротивления (рисунок 2) представляет собой параллелограмм, верхняя сторона которого параллельна оси R и пересекает ось X в точке координатой $X_{уст}$, а правая сторона – имеет угол наклона φ_1 относительно оси X и пересекает ось R в точке с координатой $R_{уст}$ ($R_{уст}$ и $X_{уст}$ – уставки соответствующей ступени по активному и реактивному сопротивлениям: $R_{1СТ}$, $R_{1СТ}$, $R_{1СТ}$ и $X_{1СТ}$, $X_{1СТ}$, $X_{1СТ}$). Характеристики реле сопротивлений направленных ступеней ограничены с помощью двух отрезков, исходящих из начала координат и расположенных во второй и четвертом квадрантах, причем направленность определяется углами наклона этих отрезков: соответственно, φ_2 относительно оси R и φ_3 относительно оси X . Диапазон изменения параметров, определяющих форму характеристик реле сопротивлений направленных ступеней дистанционной защиты, представлены в таблице 2.

Таблица 2.2. Диапазон изменения параметров реле сопротивления

Ступени	$R_{уст}$, (Ом на одну фазу)	$X_{уст}$, (Ом на одну фазу)	φ_1 , град [*]	φ_2 , град ^{**}	φ_3 , град [*]
I, II	$0,2 \div 100$ ($I_{НОМ} = 5 \text{ А}$)	$0,2 \div 100$ ($I_{НОМ} = 5 \text{ А}$)	$0 \div 45$	$-89 \div 0$	$-89 \div 0$
III	$1 \div 500$ ($I_{НОМ} = 1 \text{ А}$)	$1 \div 500$ ($I_{НОМ} = 1 \text{ А}$)		$-89 \div 89$	

* - за положительное принимается направление отсчета от оси X по часовой стрелке;

** - за положительное принимается направление отсчета от оси R против часовой стрелки.

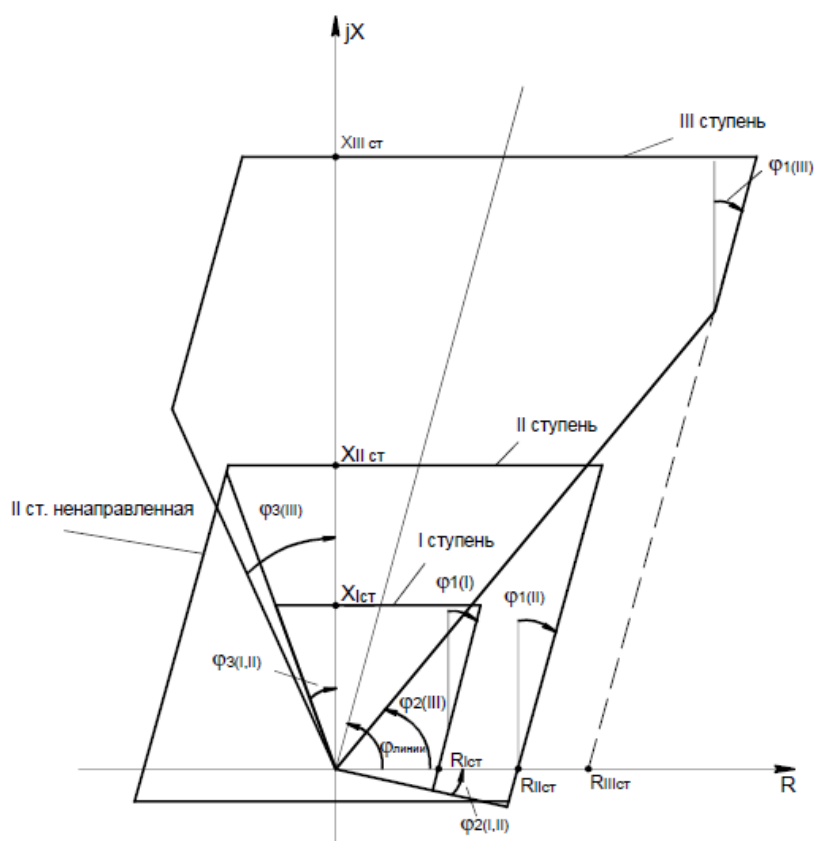


Рисунок 2.2. – Характеристика срабатывания реле сопротивления ступеней ДЗ

- Резервная – четырехступенчатая токовая защита нулевой последовательности от всех видов КЗ на землю, типа ШЭ 2710 521.

Резервные защиты линии в шкафу ШЭ2710 521 предусматривают взаимодействие с защитами, установленными на другом конце, путем выдачи и приема высокочастотных сигналов (ВЧС) с использованием соответствующей аппаратуры. Это позволяет ускорять отключение линии с двух сторон по факту срабатывания защиты на одном из ее концов.

- В комплект защит данной линии входит ОАПВ на микроэлектронной базе типа ШЭ 2710 521.

Исключение излишнего включения на КЗ выключателя второго конца линии при неуспешном ОАПВ осуществляется органами выявления успешности включения.

Определение поврежденной фазы линии в устройстве ОАПВ производится избирателями поврежденной фазы на дистанционном принципе.

Логическая схема резервной защиты предусматривает действие на отключение либо через схему ОАПВ, либо непосредственно через выходные реле шкафа.

2.4 Выбор измерительных трансформаторов

Выбор измерительных трансформаторов для РЗА определяется главным образом классом напряжения электроустановки, а также конструкцией ее оборудования, выключателей, максимальным рабочим током в случае трансформаторов тока.

Трансформаторы напряжения выбираются:

- по напряжению установки, т.е. $U_{уст} < U_{ном}$;
- по конструкции и схеме соединения обмоток, т. е. коэффициенту трансформации;
- по классу точности;
- по вторичной нагрузке.

Трансформаторы тока выбираются:

- по напряжению установки, т.е. $U_{уст} < U_{ном}$;
- максимальный рабочий ток должен быть меньше номинального первичного тока трансформатора;
- по классу точности;
- с учётом 10%-ой погрешности.

Примем для трансформаторов тока класс точности “Р”.

Максимальный рабочий ток линии равен:

$$i_{\text{раб. макс}} = (0,7 \div 0,8) \cdot i_{\text{дон}} = 0,75 \cdot 1000 = 750 \text{ A}$$

Выбираем трансформатор тока наружной установки ТФРМ 500-У1-1000/1

Таблица 2.3. Основные технические характеристики ТТ

ТФРМ 500 - У1 - 1000/1									
U _{ном} , кВ	n _{ТТ}	Номинальный ток, А		Номинальная вторичная нагрузка в классе точности, Ом				Номинальная предельная кратность	Тип выключателя для которого предназначен
		Первичный	Вторичный	0,5	1	3	10		
500	1000/1	1000	1				40	40	

Выбираем измерительный трансформатор напряжения: НКФ – 500-78У1

Таблица 2.4. Основные технические характеристики ТН

НКФ - 500 - 78									
U _{ном} , кВ	Номинальное напряжение обмоток, В			Номинальная мощность ВА, в классе точности				Предельная мощность, ВА	Схема соединения
	Первичный	Основной вторичный	Дополнительной вторичной	0,2	1	1	3		
500	500000	100/√3	100		400	600	1200	2000	1/1/1-0-0

3. ОБОСНОВАНИЕ ВАРИАНТА ВЫБРАННЫХ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОВТОРНОГО ВКЛЮЧЕНИЯ АВТОМАТИЗИРУЕМОЙ ЛИНИИ 500 КВ

3.1 Ступенчатая токовая защита нулевой последовательности ШЭ-2710 линии ПС Сибирская – НВГРЭС со стороны ПС Сибирская

Панель содержит токовую направленную четырехступенчатую защиту нулевой последовательности и токовую отсечку от многофазных КЗ.

В схеме четырехступенчатой токовой защиты нулевой последовательности – для линий 110-500 кВ, имеющих питание с двух и более сторон, все ступени, кроме последней, являются токовыми отсечками и предназначены в основном для действия при замыканиях на землю в пределах защищаемой линии и на шинах противоположной подстанции. Последняя ступень предназначена в основном для осуществления резервирования при замыканиях на землю на предыдущей линии. ТЗНП использует факт появления в токах и напряжениях составляющих нулевой последовательности и применяется для защиты от КЗ на землю. Токовая защита нулевой последовательности выполнена с использованием реле тока, включаемых в нулевой провод токовых цепей (фильтр тока нулевой последовательности).

Для обеспечения селективности действия защиты смежных ВЛ время действия защит выполняют в зависимости от расстояния до места КЗ: чем меньше ток срабатывания, то есть чем дальше КЗ, тем дольше время срабатывания.

Первая ступень

Уставка первой ступени выбирается из двух условий:

- отстройка от КЗ в конце линии
- отстройка от неполнофазного режима на защищаемой линии
- исходя из требуемой чувствительности

Согласно [9], ток срабатывания первой ступени защиты определяется по выражению:

$$I_{0\text{с.з.}} \geq k_{отс} \cdot 3I_0 ,$$

где $3I_0$ – максимальное значение периодической составляющей утроенного начального тока нулевой последовательности, проходящего в месте установки защиты при замыкании на землю на шинах противоположной подстанции; $k_{отс}$ - коэффициент отстройки,. Принимаем $k_{отс} = 1,3$.

Выбранная защита должна удовлетворять требованиям чувствительности при металлических замыканиях на землю в расчетном режиме.

Коэффициент чувствительности реле тока защиты определяется по выражению:

$$k_{\eta} = 3I_{0\text{min}} / I_{0\text{с.з.}}$$

где $3I_{0\text{min}}$ – минимальное значение периодической составляющей утроенного начального тока нулевой последовательности, проходящего в месте установки защиты при расчетном виде замыкания на землю в расчетном режиме;

$I_{0\text{с.з.}}$ – первичный ток срабатывания соответствующей ступени защиты.

Вторая ступень

Уставка ступени выбирается из условий:

- согласование с первой ступенью защиты предыдущей линии
- отстройка от КЗ на средней стороне предыдущего АТ
- отстройка от неполнофазного режима на предыдущей линии
- исходя из требуемой чувствительности

Выдержка времени второй ступени защиты должна быть согласована с выдержками времени ступеней защит предыдущих элементов, с которыми производится согласование.

Третья ступень

Уставка ступени выбирается из условий:

- согласование со второй ступенью защиты предыдущей линии
- согласование с первой ступенью СТЗНП на средней стороне предыдущего АТ
- отстройка от небаланса фильтра нулевой последовательности при 3ф КЗ на треугольнике АТ ПС с обеих сторон линии
- исходя из требуемой чувствительности

Выдержка времени третьей ступени защиты должна быть согласована с выдержками времени соответствующих ступеней защит предыдущих элементов

Четвертая ступень

Уставка ступени выбирается из условий:

-отстройка от небаланса в рабочем режиме

-исходя из требуемой чувствительности

Ток срабатывания защиты, выбираемый по рассматриваемому условию, определяется по выражению:

$$I_{0\text{ с.з.}} = k_{отс} \cdot k_{пер} \cdot I_{0нб,у} ,$$

где $I_{0нб,у}$ – ток небаланса в нулевом проводе трансформаторов тока в установившемся режиме при рассматриваемых внешних КЗ между тремя фазами;

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность реле, ошибки расчета и необходимый запас, принимается равным 1.25;

$k_{пер}$ – коэффициент, учитывающий увеличение тока небаланса в переходном режиме, принимается равным:

2 – при выдержке времени рассматриваемой ступени до 0.1 сек.;

1.5-при выдержке времени до 0.3 с;

1-при выдержке времени выше 0.5-0.6 с.

Ток небаланса может быть приближенно определен по выражению:

$$I_{0нб,у} = k_{нб} \cdot I_{расч} ,$$

где $I_{расч}$ – максимальное значение фазного тока, проходящего в месте установки рассматриваемой защиты при внешнем КЗ между тремя фазами;

$k_{нб}$ – коэффициент небаланса.

Коэффициент небаланса принимается в зависимости от кратности :

а) при небольших кратностях, до $(2-3)I_{ном}$, $k_{нб} = 0,05$;

б) при больших кратностях, но не превосходящих $(0,7-0,8)I_{k10}$ (I_{k10} – предельная кратность первичного тока трансформаторов тока при 10%-ной погрешности), $k_{нб} = (0,05-0,1)$;

в) при кратностях, больших $(0,7-0,8)I_{k10}$ проводится специальный расчет.

3.1.2. Подготовка данных по уставкам предыдущих линий первой и второй периферии

При выборе тока срабатывания второй ступени учитывается отстройка от тока в защите при КЗ в конце зоны первой ступени защиты линии первой периферии, а так же отстраивается от тока небаланса трансформаторами подстанций. Ток срабатывания третьей ступени отстраивается от тока небаланса за трансформаторами подстанций. В связи с этим должны быть предварительно определены уставки токовых защит нулевой последовательности смежных линий, как первой, так и второй периферии.

3.1.3. Первая и вторая ступени ступенчатой токовой защиты нулевой последовательности (СТЗНП) линии второй периферии

Имеем одну линию второй периферии: ПС Белозерная - ПС Кустовая

Первая ступень

Дата формирования документа для Word: 05.05.2016 12:42:00
 ЭЛ ВЛ-500 КУСТОВАЯ-БЕЛОЗЕРНАЯ ПС БЕЛОЗЕРНАЯ 500
 Защита 1752 Тип ТЗНП Ступень 1
 Ветвь 462-893 КТТ
 Узел КТН

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	УСТ	8999	1.30	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 893		3I0=6922 -81 3U0=174.86 -177
	УСТ	8904	1.30	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 893		3I0=6849 100 3U0=173.01 4

- 1) Отстройка от КЗ в конце линии.

Выбираем большую уставку: $I_{462-893}^I = 9000 \text{ A}$

- 2) Выдержка времени первой ступени: $t_{462-893}^I = 0.05 \text{ c}$

Вторая ступень

1) Исходя из чувствительности:

Дата формирования документа для Word: 05.05.2016 12:51:31

ЭЛ ВЛ-500 КУСТОВАЯ-БЕЛОЗЕРНАЯ ПС БЕЛОЗЕРНАЯ 500

Защита 1752 Тип ТЭНП Ступень 2

Ветвь 462-893 КТГ

Узел КТН

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ	УСТ	3200	1.94	ВИД-КЗ АО 893-468,0.000	ЭЛ 394	3I0=6215 -80 3U0=193.96 -178
	УСТ	3200	1.90	ВИД-КЗ АВО 893-468,0.000	ЭЛ 394	3I0=6074 -139 3U0=189.56 123

Защита имеет необходимую чувствительность при уставке $I_{462-893}^{II} = 3200\text{A}$

2) Выдержка времени второй ступени: $t_{462-895}^{II} = 0.55\text{c}$

Первая и вторая ступени СТЗНП линии первой периферии

Имеем одну линию первой периферии: НВГРЭС – ПС Белозерная

Первая ступень

Дата формирования документа для Word: 05.05.2016 13:01:34
 ЭЛ ВЛ-500 НВГРЭС-БЕЛОЗЕРНАЯ ПС ПТ БЕЛОЗР-НВГРЭС
 Защита 1763 Тип ТЗНП Ступень 1
 Ветвь 1582-462 КТТ
 Узел КТН

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	УСТ	8262	1.30	ВИД-КЗ АО УЗЕЛ-КЗ 462	ЭЛ 394 ОТКЛ 893-462	ЭІО=6355 -81 ЗUO=154.68 -177
	УСТ	7993	1.30	ВИД-КЗ ВСО УЗЕЛ-КЗ 462	ЭЛ 394 ОТКЛ 893-462	ЭІО=6148 101 ЗUO=149.65 4

Выбираем большую уставку: $I_{462-893}^I = 8262 \text{ A}$

1) Выдержка времени первой ступени: $t_{462-895}^I = 0.05 \text{ c}$

Отстройка от тока КЗ на среднем напряжении предыдущего АТ (на ПС
Белозерная)

Дата формирования документа для Word: 05.05.2016 13:12:42
 ЭЛ ВЛ-500 НВГРЭС-БЕЛОЗЕРНАЯ ПС ПТ БЕЛОЗР-НВГРЭС
 Защита 1763 Тип ТЗНП Ступень 1
 Ветвь 1582-462 КТТ
 Узел КТН

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	УСТ	3185	1.30	ВИД-КЗ АО УЗЕЛ-КЗ 353	ЭЛ 394 ОТКЛ 462-893	ЭІО=2451 -84 ЗUO=63.20 -180
	УСТ	3478	1.30	ВИД-КЗ ВСО УЗЕЛ-КЗ 353	ЭЛ 394 ОТКЛ 462-893	ЭІО=2675 96 ЗUO=68.99 0

Согласование с первой ступенью предыдущей линии ПС Белозерная – ПС Кустовая

Дата формирования документа для Word: 05.05.2016 13:21:12
ЭЛ ВЛ-500 НВГРЭС-БЕЛОЗЕРНАЯ ПС ПТ БЕЛОЗР-НВГРЭС
Защита 1753 Тип ТЗНП Ступень 2
Ветвь 1582-462 КТТ
Узел КТН

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезки	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ с 1 СТУПЕНЬЮ 9000 T=0.05 защита 1752 ТЗНП (462-893) ЭЛ: ВЛ-500 КУС ТОВАЯ-БЕЛОЗЕР НАЯ ПС: БЕЛОЗЕРНАЯ 500	УСТ	5893	1.30	ВМД-КЗ А0 ВЕРР 175/462 462-893, 0.439 (Lотн_лвык=0.439)		Э10=4533 -78 ЭУ0=115.11 -175 Э10(Б)=9000 -84 ЭУ0(Б)=221.39 180

1) Наиболее отстроенная уставка второй ступени $I_{1582-462}^{II} = 5893\text{А}$

2) Выдержка времени второй ступени: $t_{1582-462}^I = 0.55\text{с}$

Проверка чувствительности

Согласно [7], расчетным условием является каскадное отключение замыкания на землю на линии НВГРЭС- ПС Белозерная, вблизи шин ПС Белозерная, при минимальном режиме системы.

Дата формирования документа для Word: 17.05.2016 12:49:08
ЭЛ ВЛ-500 НВГРЭС-БЕЛОЗЕРНАЯ ПС ПТ БЕЛОЗР-НВГРЭС
Защита 1753 Тип ТЗНП Ступень 2
Ветвь 1582-462 КТТ
Узел КТН

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезки	Эл величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ	УСТ	5893	1.26	ВМД-КЗ А0 462-1582 ФЗК=К	ЭЛ 534 ЭЛ 535 ЭЛ 536	Э10=7414 -83 ЭУ0=178.53 -179
	УСТ	5893	1.13	ВМД-КЗ АВ0 462-1582 ФЗК=К	ЭЛ 534 ЭЛ 535 ЭЛ 536	Э10=6682 -140 ЭУ0=160.92 124

Чувствительность удовлетворительна. $I_{1582-462}^{II} = 5893\text{А}$

3.1.4 Первая ступень

В соответствии с ПУЭ и руководящими указаниями путем проверки чувствительности должны быть проверены выбранные релейные защиты линии: основная дифференциальная направленная высокочастотная защиты и ступенчатая резервная токовая защита нулевой последовательности и дистанционная защиты. Для этого необходимо рассчитать уставки защиты линии. Уставки и чувствительность определяются через электрические величины при требуемых видах КЗ в заданных местах и коммутационных режимных состояниях, обуславливающих максимальные токи в условиях селективности и минимальные токи в условиях проверки чувствительности. Уставка 1 ст. резервной СТЗНП должна быть отстроена от максимальных токов, проходящих в защите в начале смежного участка, от броска тока намагничивания трансформатора и от тока, проходящего в защите обусловленного заземленной нейтралью при КЗ у шин подстанции, где установлена защита.

Отстройка от КЗ на землю в конце линии (расчет выполнен в соответствии с [9, стр. 24]. Режим системы максимален, отключена смежная линия)

Дата формирования документа для Word: 17.05.2016 13:23:23
 ЭЛ БЛ-500 НВГРЭС-СИБИРСКАЯ ПС СИБИРСКАЯ 500
 Защита 1772 Тип ТЗНП Ступень 1
 Ветвь 300-1580 КТТ
 Узел КТН

Расч. условие	Имя	Знач	К	Пояснение	Подрежим	Эл. величины
ОТСТРОЙКА	УСТ	7979	1.30	БМД-КЗ АО УЗЕМ-КЗ 1270	ЭЛ 367	Э10=5138 -81 ЭУ0=180.46 -179
	УСТ	7753	1.30	БМД-КЗ ВСО УЗЕМ-КЗ 1270	ЭЛ 367	Э10=5963 101 ЭУ0=175.34 4

Выбираем большую уставку: $I_{300-1580}^I = 7979 \text{ A}$

Отстройка от неполнофазного режима в конце линии

Определим ток качания:

```
ВЕЛИЧИНА *I1 *U1
ВЕТВЬ 300-1580
УЗЕЛ 1270 1580
ФОРМУЛА *U1л=U1*SQRT(3)
ПОДРЕЖИМ 1
ИЗМЕНИТЬ 99 0-1270 F=0
ИЗМЕНИТЬ 99 0-300 F=180.00
```

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

```
ПОДРЕЖИМ 1
ИЗМЕНИТЬ 99 0-1270 F=0
ИЗМЕНИТЬ 99 0-300 F=180.00
```

Замеры

```
300-1580 I1 8273.371 / 93.113 -449.284 +j 8261.163
U1 52.268 /-176.350 -52.162 -j 3.327
U1л 90.531/-176.350 (-90.347-j5.763)
1270 U1 7.779 / -53.088 4.672 -j 6.219
U1л 13.473/-53.088 (8.092-j10.772)
1580 U1 28.602 /-170.856 -28.239 -j 4.546
U1л 49.541/-170.856 (-48.911-j7.873)
```

Отстройка от НПФ

Дата формирования документа для Word: 17.05.2016 14:28:53
 ЭЛ ВЛ-500 НВГРЭС-СИБИРСКАЯ ПС СИБИРСКАЯ 500
 Защита 1772 Тип ТЭНП Ступень 1
 Ветвь 300-1580 КТТ
 Узел КТН

Расч условие	Имя	Знач	К	Пояснение	Подрежим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	УСТ	8895	1.30	НАПР-Г 300 500/0 1580 541.41/-0.223 300-1580,0.000 ОБРЯВ А УЗП1=Р1 УЗП2=Р2	ЭЛ 469	Э10=5842 -84 ЭУ0=181.43 179
	УСТ	9741	1.30	НАПР-Г 300 500/0 1580 541.41/-0.223 300-1580,0.000 ОБРЯВ АВ УЗП1=Р1 УЗП2=Р2	ЭЛ 469	Э10=7493 -145 ЭУ0=198.68 117

Выбираем большую уставку: $I_{300-1580/\dot{I}\dot{O}}^I = 9741\text{A}$

Проверка чувствительности при КЗ в начале линии

Согласно [8], для всех токовых органов k_q определяется при минимальном режиме системы со стороны, где установлена защита, и максимальном на остальных концах линии.

Дата формирования документа для Word: 17.05.2016 14:39:57
 ЭЛ ВЛ-500 НВГРЭС-СИБИРСКАЯ ПС СИБИРСКАЯ 500
 Защита 1772 Тип ТЗНП Ступень 1
 Ветвь 300-1580 КТТ
 Узел КТН

Расч условие	Имя	Знач	K	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ	УСТ	9741	1.02	ВМД-КЗ А0 300-1580,0.000	ЭЛ 536 ЭЛ 535 ЭЛ 534	Э10=9957 -86 ЭУ0=276.33 177
	УСТ	9741	1.04	ВМД-КЗ АВ0 300-1580,0.000	ЭЛ 536 ЭЛ 535 ЭЛ 534	Э10=10152 -145 ЭУ0=281.74 118

Чувствительность достаточная.

Таким образом, $I_{300-1580}^I = I_{300-1580/НПФ}^I = 9741A$

Выдержка времени первой ступени

Выдержка времени первой ступени равна времени действия выходных реле:

$$t_{300-1580}^I = 0.05c$$

3.1.5 Вторая ступень

Отстройка от короткого замыкания на средней стороне автотрансформатора на НВГРЭС

Дата формирования документа для Word: 17.05.2016 15:03:26
 ЭЛ ВЛ-500 НВГРЭС-СИБИРСКАЯ ПС СИБИРСКАЯ 500
 Защита 1772 Тип ТЗНП Ступень 2
 Ветвь 300-1580 КТТ
 Узел КТН

Расч условие	Имя	Знач	K	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	УСТ	760	1.30	ВМД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 1154		Э10=585 -87 ЭУ0=53.38 -178
	УСТ	852	1.30	ВМД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 1154		Э10=656 93 ЭУ0=59.83 2

$$I_{300-1580/AT}^II = 852A$$

Согласование с первой ступенью линии 500 кВ НВГРЭС – Белозерная

Дата формирования документа для Word: 17.05.2016 15:24:38

ЭЛ ВЛ-500 НВГРЭС-СИБИРСКАЯ

ПС СИБИРСКАЯ 500

Защита 1772

Тип ТЭЩ

Ступень 2

Ветвь 300-1580

КТТ

Узел

КТН

Расч условие	Имя	Знач	К	Пояснение	Подрежим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ с 1 СТУПЕНЬЮ 8262 T=0.05 защита 1763 ТЭЩ (1270-1582) ЭЛ:ВЛ-500 НВГ РЭС-БЕЛОЗЕРНА Я ПС:НВГРЭС 500 КВ	УСТ	5423	1.30	ВИД-КС 20 ВЕР 176/1270 462-1582,0.680 (Lотн_лнн=0.507)	ЭЛ 462	Э10=4171-83 ЭУ0=119.22-180 Э10(Б)=8262-85 ЭУ0(Б)=159.99-178

$$I_{300-1580}^{\text{II}} = 5423 \text{ A}$$

Отстройка от неполнофазного режима на предыдущей линии

Определим ток качания

ВЕЛИЧИНА *I1 *U1
ВЕТВЬ 462-1582
УЗЕЛ 1270 1582
ФОРМУЛА *U1л=U1*SQRT(3)
ПОДРЕЖИМ 1
ИЗМЕНИТЬ 99 0-462 F=180.00
ИЗМЕНИТЬ 99 0-1270 F=0

Р Е З У Л Ь Т А Т Ы Р А С Ч Е Т А

ПОДРЕЖИМ 1
ИЗМЕНИТЬ 99 0-462 F=180.00
ИЗМЕНИТЬ 99 0-1270 F=0

Замеры

462-1582	I1	6681.435 /	93.204	-373.461 +j	6670.990
U1	6.230 /	52.568	3.787 +j	4.947	
U1л	10.791/52.568		(6.559+j8.569)		
1270	U1	101.392 /	0.075	101.392 +j	0.132
U1л	175.616/0.075		(175.616+j0.229)		
1582	U1	74.593 /	1.116	74.579 +j	1.452
	U1л	129.199/1.116		(129.174+j2.516)	

Отстройка от НПФ

Дата формирования документа для Word: 17.05.2016 15:46:51
 ЭЛ ВЛ-500 НВГРЭС-СИБИРСКАЯ ПС СИБИРСКАЯ 500
 Защита 1772 Тип ТЭНП Ступень 2
 Ветвь 300-1580 КТТ
 Узел КТН

Расч. условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезок	Эл. величины
ОТСТРОЙКА	УСТ	3569	1.30	НАМР-Г 1270 500/0 1582 546.373/-0.239 1270-1582,0.000 ОБРПВ А УЗП1=Р1 УЗП2=Р2	ЭЛ 469	310=2746 -80 3U0=68.88 -178
	УСТ	4010	1.30	НАМР-Г 1270 500/0 1582 546.373/-0.239 1270-1582,0.000 ОБРПВ АВ УЗП1=Р1 УЗП2=Р2	ЭЛ 469	310=3085 -142 3U0=77.39 120

Наиболее отстроенная уставка $I_{300-1580}^{II} = 5423\text{A}$

Проверка чувствительности при КЗ в конце линии

Дата формирования документа для Word: 17.05.2016 16:00:13
 ЭЛ ВЛ-500 НВГРЭС-СИБИРСКАЯ ПС СИБИРСКАЯ 500
 Защита 1772 Тип ТЭНП Ступень 2
 Ветвь 300-1580 КТТ
 Узел КТН

Расч. условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезок	Эл. величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ	УСТ	5423	1.18	БИД-КС АО 1580-1270,0.500	ЭЛ 534 ЭЛ 535 ЭЛ 536	310=6378 -82 3U0=183.52 -179
	УСТ	5423	1.22	БИД-КС АВ 1580-1270,0.500	ЭЛ 534 ЭЛ 535 ЭЛ 536	310=6537 -141 3U0=190.97 122

Чувствительность достаточна

Выдержка времени второй ступени

Выдержка времени второй ступени равна времени действия выходных

реле:

$$t_{300-1580}^I = 0.55\text{c}$$

3.1.6 Третья ступень

Согласование со второй ступенью линии первой периферии

Дата формирования документа для Word: 17.05.2016 16:11:43
 ЭЛ ВЛ-500 НВГРЭС-СИБИРСКАЯ ПС СИБИРСКАЯ 500
 Защита 1772 Тип ТЗНП Ступень 3
 Ветвь 300-1580 КТТ
 Узел КТН

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ с 2 СТУПЕНЬЮ 5893 T=0.55 защита 1753 ТЗНП (1270-1582) ЭЛ:ВЛ-500 НВГ РЭС-БЕЛОЗЕРНА Я ПС:НВГРЭС 500 КБ	УСТ	2602	1.10	ВИД-КЗ А0 БЕЕР 175/1270 452-1582,0.190 (Lотн_лвы=0.853)	ЭЛ 170	310=2355 -79 3U0=74.23 -177 310(Б)=5893 -81 3U0(Б)=93.10 -173

$$I_{300-1580/соглЛ177}^{III} = 2602 A$$

Согласование с первой ступенью СТЗНП на стороне СН предыдущего АТ

Определим уставку первой ступени защиты смежных со стороны АТ
 линии(НВГРЭС-СОС.Соснинская 1 и 2; НВГРЭС-Сибирская 1, 3 и 4; НВГРЭС-
 Эмтор; НВГРЭС-Мираж; НВГРЭС-Космос):

- 1 ступень НВГРЭС-СОС.Соснинская 1:

Дата формирования документа для Word: 23.05.2016 1:02:47
 ЭЛ ВЛ-220 НВГРЭС-СОС.СОСНИНСКАЯ 2Ц ПС НВГРЭС 220 ПСШ
 Защита 1931 Тип ТЗНП Ступень 1
 Ветвь 1154-1162 КТТ
 Узел КТН СЕТЬ:ТРДУ_2010-06-16_ДЕЙСТВУЮЩАЯ ЭВА

Расчусловие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Элвеличины
ОТСТРОЙКА	УСТ	4270	1.30	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 282		310=3102 -77 3U0=16.09 -177
	УСТ	3225	1.30	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 282		310=265497 3U0=11.03 10

- 1 степень НВГРЭС - СОС.Соснинская 2:

Дата формирования документа для Word: 23.05.2016 1:03:31

ЭЛ ВЛ-220 НВГРЭС-СОС.СОСНИНСКАЯ 1Ц ПС НВГРЭС 220 ПСШ

Защита 1921 Тип ТЗНП Ступень 1

Ветвь 1154-1161 КТТ

Узел КТН СЕТЬ:ТРДУ_2010-06-16_ДЕЙСТВУЮЩАЯ ЭВА

Расчусловие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Элвеличины
ОТСТРОЙКА	УСТ	4225	1.30	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 282		3I0=3141 -68 3U0=16.11 -157
	УСТ	3259	1.30	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 282		3I0=268697 3U0=11.03 9

- 1 степень НВГРЭС-Сибирская 4:

Дата формирования документа для Word: 23.05.2016 1:31:24

ЭЛ ВЛ-220 НВГРЭС-СИБИРСКАЯ-4 ПС НВГРЭС 220 ПСШ

Защита 1841 Тип ТЗНП Ступень 1

Ветвь 1154-1160 КТТ

Узел КТН СЕТЬ:ТРДУ_2010-06-16_ДЕЙСТВУЮЩАЯ ЭВА

Расчусловие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Элвеличины
ОТСТРОЙКА	УСТ	2351	1.30	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 294		3I0=1978 -75 3U0=2819 -162
	УСТ	2687	1.30	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 294		3I0=205199 3U0=29.5410

- 1 степень НВГРЭС-Сибирская 3:

Дата формирования документа для Word: 23.05.2016 1:32:00

ЭЛ ВЛ-220 НВГРЭС-СИБИРСКАЯ-3 ПС НВГРЭС 220 ПСШ

Защита 1831 Тип ТЗНП Ступень 1

Ветвь 1154-1159 КТТ

Узел КТН СЕТЬ:ТРДУ_2010-06-16_ДЕЙСТВУЮЩАЯ ЭВА

Расчусловие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Элвеличины
ОТСТРОЙКА	УСТ	2548	1.30	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 295		3I0=1911 -78 3U0=25.2 -159

Расчусловие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Элвеличины
	УСТ	2600	1.30	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 295		3I0=2100 101 3U0=29.77 8

- 1 ступень НВГРЭС-Сибирская 1:

Дата формирования документа для Word: 23.05.2016 1:33:23
 ЭЛ ВЛ-220 НВГРЭС-СИБИРСКАЯ-1 ПС НВГРЭС 220 ІСШ
 Защита 1821 Тип ТЗНП Ступень 1
 Ветвь 1595-1158 КТТ
 Узел КТН СЕТЬ:ТРДУ_2010-06-16_ДЕЙСТВУЮЩАЯ ЭВА

Расчусловие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Элвеличины
ОТСТРОЙКА	УСТ	2482	1.30	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 295		3I0=1910 -82 3U0=28.2 -162
	УСТ	2615	1.30	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 295		3I0=2101 97 3U0=28.86 8

- 1 ступень НВГРЭС-Эмтор:

Дата формирования документа для Word: 23.05.2016 1:34:53
 ЭЛ ВЛ-220 НВГРЭС-ЭМТОР ПС НВГРЭС 220 ІСШ
 Защита 1911 Тип ТЗНП Ступень 1
 Ветвь 1595-1157 КТТ
 Узел КТН СЕТЬ:ТРДУ_2010-06-16_ДЕЙСТВУЮЩАЯ ЭВА

Расчусловие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Элвеличины
ОТСТРОЙКА	УСТ	5205	1.30	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 1255		3I0=3773 -82 3U0=20.55 -170
	УСТ	4632	1.30	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 1255		3I0=3332 99 3U0=18.74 11

- 1 ступень НВГРЭС-Мираж:

Дата формирования документа для Word: 23.05.2016 1:36:25
 ЭЛ ВЛ-220 НВГРЭС-МИРАЖ ПС НВГРЭС 220 ІСШ
 Защита 1902 Тип ТЗНП Ступень 1
 Ветвь 1595-1156 КТТ
 Узел КТН СЕТЬ:ТРДУ_2010-06-16_ДЕЙСТВУЮЩАЯ ЭВА

Расчусловие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Элвеличины
ОТСТРОЙКА	УСТ	4245	1.30	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 1015		3І0=4035 -81 3U0=16.63 -169
	УСТ	3657	1.30	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 1015		3І0=3582 99 3U0=14.77 11

- 1 ступень НВГРЭС-Космос:

Дата формирования документа для Word: 23.05.2016 1:37:25
 ЭЛ ВЛ-220 НВГРЭС-КОСМОС ПС НВГРЭС 220 ІСШ
 Защита 1892 Тип ТЗНП Ступень 1
 Ветвь 1595-1155 КТТ
 Узел КТН СЕТЬ:ТРДУ_2010-06-16_ДЕЙСТВУЮЩАЯ ЭВА

Расчусловие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Элвеличины
ОТСТРОЙКА	УСТ	6987	1.30	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 645		3І0=4869 -81 3U0=16.88 -169
	УСТ	5550	1.30	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 645		3І0=4269 100 3U0=14.80 11

$$I_{1892\text{от}CHAT}^I = 6987 A$$

Определим уставку первой ступени СТЗНП АТ по согласованию с первой ступенью линии НВГРЭС-Космос

Дата формирования документа для Word: 17.05.2016 16:40:07

ЭЛ НВГРЭС 1АТГ-3*167

ПС СР.Т 1АТГ НВГРЭС

Защита 4693

Тип ТЗНП

Степень 1

Ветвь 1271-1272

КТТ

Узел

КТН

Расчусловие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Элвеличины
СОГЛАСОВАНИЕ (1271-1154) с 1 СТУПЕНЬЮ 6987 Т=0.05 защита 1931 ТЗНП (1154-1162) ЭЛ:ВЛ-220 НВГ РЭС-СОС.СОСНИ НСКАЯ 2Ц ПС:НВГРЭС 220 IICШ	УСТ	1415	1.30	ВИД-КЗ А0 ВЕР 193/1154 282-1153,0.575 (Lоtн_лин=0.561)		3I0=1088 -77 3U0=51.66 -168 3I0 (B)=6985 -79 3U0 (B)=21.37 -168

$$I_{469 \text{ СНАТ}}^I = 1415 A$$

Согласование уставки третьей ступени защиты автоматизируемой линии с первой ступенью защиты АТ со стороны СН

Дата формирования документа для Word: 19.05.2016 14:31:55

ЭЛ ВЛ-500 НВГРЭС-СИБИРСКАЯ

ПС СИБИРСКАЯ 500

Защита 1772

Тип ТЗНП

Степень 3

Ветвь 300-1580

КТТ

Узел

КТН

Расчусловие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Элвеличины
СОГЛАСОВАНИЕ с 1 СТУПЕНЬЮ 1415 Т=0.05 защита 4693 ТЗНП (1271-1154) ЭЛ:НВГРЭС 1АТ Г-3*167 ПС:СР.Т 1АТГ НВГРЭС	УСТ	165	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_Х 1595 Защ Б работает Iкз>Iсз - расчет уст-ки по Кт=0.106		3I0=585 -87 3U0=53.38 -178 3I0 (B)=5520 -89 3U0 (B)=251.10 -179
	УСТ	165	1.10	ВИД-КЗ А0 УЗ-КЗ_Х 1595 Z1д=0.0+j10.3 Z0д=0.0+j10.3		3I0=150 -90 3U0=13.69 179 3I0 (B)=1415 -92 3U0 (B)=64.38 178

$$I_{300-1580 \text{ СНАТ}}^{III} = 165 A$$

Отстройка от небаланса фильтров нулевой последовательности при трехфазных КЗ за треугольниками АТ с обеих сторон линии (так как ток небаланса имеет случайную фазу)

Определим ток трехфазного КЗ на АТ 59 НН

```
===== АРМ СРЗА г.Новосибирск ПК БРИЗ =====
ЗАДАНИЕ- СЕТЬ-ТРДУ_2010-06-16_ДЕЙСТВУЮЩАЯ ЭВА ДАТА-19.05.2016. ВРЕМЯ-14:46:36. #1
**** П О В Р Е Ж Д Е Н И Я ****
1272 3-трехфазное КЗ (АВС)
      РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА
-----
Суммарные величины в узле КЗ:
Uпа=38.1/-0 Z1=0.009+j0.728 Z2=0.009+j0.728 Z0=0.000-j-0.000
I1сум 30182 91 I2сум 0 0 3I0сум 0 0
IAсум 30182 91 IBсум30182 -29 ICсум 30182 -149
IABсум52277 121 IBCсум 52277 1 ICАсум 52277 -119
-----
      300-1580 IA 153 -90 IB 153 150 IC 153 30
              I1 153 -90 I2 0 0 3I0 0 0
              UA 267.56 0 UB 267.56 -120 UC 267.56 120
U1 267.56 0 U2 0.00 0 3U0 0.00 0
```

IA = 153 А

Дата формирования документа для Word: 19.05.2016 15:03:26
ЭЛ ВЛ-500 НВГРЭС-СИБИРСКАЯ ПС СИБИРСКАЯ 500
Защита 1772 Тип ТЗНП Ступень 3
Ветвь 300-1580 КТТ
Узел КТН

Расчусловие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Элвеличины
ОТСТРОЙКА от ТНБ	УСТ КНБ	10 0.05	1.25	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ 1272		IA=153 -90

$$I_{300-1580\text{небаланс}АТ469}^{III} = 10A$$

Определим ток трехфазного КЗ на стороне НН АТ 93

```
===== АРМ СРЗА г.Новосибирск ПК БРИЗ =====
ЗАДАНИЕ- СЕТЬ-ТРДУ_2010-06-16_ДЕЙСТВУЮЩАЯ ЭВА ДАТА-19.05.2016. ВРЕМЯ-15:29:20. #1
**** П О В Р Е Ж Д Е Н И Я ****
296 3-трехфазное КЗ (АВС)
**** К О М М У Т А Ц И И ****
297-300 Элемент 92 Отключение и заземление элемента
      РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА
-----
Суммарные величины в узле КЗ:
Uпа=10.9/-0 Z1=0.001+j0.062 Z2=0.001+j0.062 Z0=0.000-j-0.000
I1сум 101861 91 I2сум 0 0 3I0сум 0 0
IAсум 101861 91 IBсум101861 -29 ICсум 101861 -149
IABсум176428 121 IBCсум 176428 1 ICАсум 176428 -119
-----
      300-1580 IA 250 -82 IB 250 158 IC 250 38
              I1 250 -82 I2 0 0 3I0 0 0
              UA 269.37 0 UB 269.37 -120 UC 269.37 120
U1 269.37 0 U2 0.00 0 3U0 0.00 0
```

IA = 250А

Отстройка

Дата формирования документа для Word: 19.05.2016 15:35:26

ЭЛ ВЛ-500 НВГРЭС-СИБИРСКАЯ

ПС СИБИРСКАЯ 500

Защита 1772

Тип ТЗНП

Степень 3

Ветвь 300-1580

КТТ

Узел

КТН

Расчусловие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Элвеличины
ОТСТРОЙКА от ТНБ	УСТ КНБ	5 0.05	1.25	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ 296		IA=87 -61

$$I_{300-1580}^{III} \text{небаланс.AT93} = 5A$$

$$\text{Наиболее отстроенная уставка } I_{300-1580/\text{соглЛ177}}^{III} = 2602A$$

Проверка чувствительности при КЗ в конце линии

Дата формирования документа для Word: 19.05.2016 15:42:23

ЭЛ ВЛ-500 НВГРЭС-СИБИРСКАЯ

ПС СИБИРСКАЯ 500

Защита 1772

Тип ТЗНП

Степень 3

Ветвь 300-1580

КТТ

Узел

КТН

Расчусловие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Элвеличины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ	УСТ	2602	1.96	ВИД-КЗ А0 1580-1270, 1.000	ЭЛ 536 ЭЛ 535 ЭЛ 534	3I0=5093 -79 3U0=150.81 -177
	УСТ	2602	2.08	ВИД-КЗ АВ0 1580-1270, 1.000	ЭЛ 536 ЭЛ 535 ЭЛ 534	3I0=5425 -138 3U0=160.65 124

Защита имеет необходимую чувствительность при уставке $I_{300-1580}^{III} = 2602A$

Выдержка времени третьей ступени

$$t_{300-1580}^{III} = \max(t_{1582-462}^{II}, t_{258}^{I}) + \Delta t = 0.55 + 0.5 = 1.05c$$

3.1.7 Четвертая ступень

Отстойка от небаланса фильтров нулевой последовательности в рабочем режиме

Дата формирования документа для Word: 19.05.2016 15:57:36
 ЭЛ ВЛ-500 НВГРЭС-СИБИРСКАЯ ПС СИБИРСКАЯ 500
 Защита 1772 Тип ТЗНП Ступень 4
 Ветвь 300-1580 КТТ
 Узел КТН

Расчусловие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Элвеличины
ОТСТРОЙКА от ТНБ	УСТ КНБ	250 0.05	1.30	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ 1272		IA=153 -90

$$I_{300-1580}^{IV} = 250\text{А}$$

Проверка чувствительности при КЗ в конце зоны резервирования

Дата формирования документа для Word: 19.05.2016 16:08:47
 ЭЛ ВЛ-500 НВГРЭС-СИБИРСКАЯ ПС СИБИРСКАЯ 500
 Защита 1772 Тип ТЗНП Ступень 4
 Ветвь 300-1580 КТТ
 Узел КТН

Расчусловие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Элвеличины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ	УСТ	250	8.89	ВИД-КЗ А0 1582-462,1.000		3I0=2223 -78 3U0=72.92 -176
	УСТ	250	9.10	ВИД-КЗ АВ0 1582-462,1.000		3I0=2276 -137 3U0=74.64 125

Чувствительность достаточная

Окончательно принимаем $I_{300-1580}^{IV} = 250\text{А}$

Выдержка времени

Выдержка времени четвертой ступени: $t_{300-1580}^{IV} = t_{1582-462}^{IV} + \Delta t = 1.55\text{с}$

Далее в таблице 5 приведены итоговые данные по СТЗНП.

Таблица 3.1.

Параметр срабатывания	I ступень	II ступень	III ступень	IV ступень
Уставка, А	9741	5423	2602	250
Чувствительность	1,04	1,2	1,96	8,89
Время срабатывания	0,05	0,55	1,05	1,55

3.1.8 Реле мощности

Для обеспечения требований селективности для ВЛ 500 кВ «ПС Сибирская – НВГРЭС» целесообразна фиксация направления мощности при КЗ не только в зоне действия, но и в противоположной области – зоне не действия.

1) Разрешающее реле мощности.

Для реле мощности необходимо задать угол максимальной чувствительности $\phi_{мч0}$, равный 260 градусов, ток срабатывания $I_{ср}$ из интервала (0.04-0.5) А ступенями по 0.006 А, напряжение срабатывания $U_{ср}$ из интервала (1-5) В ступенями по 0.2 В. Первоначально можно положить $I_{ср}=0.5$ А и $U_{ср}=4.5$ В.[4]

Так как в сетях с напряжением 500 кВ и выше заметное влияние оказывают токи поперечной емкостной проводимости линий, необходимо задать проводимость компенсации емкостного тока K_Y :

$$Y_{K3001} = Y_{K3002} = \frac{1}{2} \cdot Y_{300-1580} \cdot \frac{n_U}{n_I} = \frac{1}{2} \cdot 530 \cdot \frac{500000/100}{1000/1} = 1325 \text{ мкСм}$$

Выберем уставку устройства емкостной компенсации K_Y из диапазона (0-6000) мкСм ступенями по 600 мкСм из условия наибольшей близости значений. Таким образом, $Y_{KY} = 1800 \text{ мкСм}$

Тогда уточненная величина:

$$Y_{K3001} = Y_{K3002} = Y_{KY} \cdot \frac{n_I}{n_U} = \frac{1}{2} \cdot 1800 \cdot \frac{1000/1}{500000/100} = 180 \text{ мкСм}$$

Рассчитаем коэффициенты чувствительности по каналам тока и напряжения разрешающего реле мощности без использования сопротивления компенсации:

Дата формирования документа для Word: 20.05.2016 13:10:43
 ЭЛ ВЛ-500 НВГРЭС-СИБИРСКАЯ ПС СИБИРСКАЯ 500
 Защита 1772 Тип ТЗНП Ступень 4
 Ветвь 300-1580 КТТ
 Узел КТН

Расчусловие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Элвеличины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ РМ=ШЭ КТТ=1000/1 КТН=5000/1.73	УСР	4.5	17.95	ВИД-КЗ А0		3I0=8721 -83
	ІСР	0.50	17.42	1270-1580 УЗК=К		3U0=233.68 180
	ФМЧ	260				
	ZK	0.0				
	УСР	4.5	15.57	ВИД-КЗ АВ0		3I0=7563 -140
	ІСР	0.50	15.11	1270-1580 УЗК=К		3U0=202.65 122
	ФМЧ	260				
	ZK	0.0				

Чувствительность достаточна

2) Блокирующее реле мощности.

Задаем величины: $\varphi_{мч0} = 75$ градусов, $I_{cp}=0.5$ А (максимально возможная уставка) и $U_{cp}=4,5$ В.

Проверяем уставку по напряжению при каскадном отключении в конце линии за спиной:

Дата формирования документа для Word: 20.05.2016 13:28:02
 ЭЛ ВЛ-500 НВГРЭС-СИБИРСКАЯ ПС СИБИРСКАЯ 500
 Защита 1772 Тип ТЗНП Ступень 4
 Ветвь 300-1580 КТТ
 Узел КТН

Расчусловие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Элвеличины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ РМ=ШЭ КТТ=1000/1 КТН=5000/1.73	УСР	5.0	0.34	ВИД-КЗ А0		3I0=124 74
	ІСР	0.50	0.24	300-515 УЗК=К		3U0=5.06 162
	ФМЧ	75				
	ZK	0.0				
	УСР	5.0	0.27	ВИД-КЗ АВ0		3I0=100 17
	ІСР	0.50	0.20	300-515 УЗК=К		3U0=4.07 105
	ФМЧ	75				
	ZK	0.0				

Чувствительность по току и напряжению недостаточна. Принимаем решение вывести из работы блокирующее реле мощности.

3.2 Дистанционная защита ШЭ 2710 521

Трехступенчатая дистанционная защита типа ШЭ – 2710 521 предназначена для применения ее в качестве резервной от всех видов междуфазных КЗ с устройством блокировки при качаниях и неисправностях в цепях переменного напряжения. В защите также предусмотрена возможность передачи разрешающих и отключающих сигналов с помощью ВЧ аппаратуры для ускорения действий защиты при повреждении на противоположном конце линии.

Дистанционная защита ШЭ 2710 521 - предназначена в качестве основной (с телеускорением) или резервной защиты линии напряжением 330–750 кВ.

Как правило, регулировка дистанционной защиты выполняется следующим образом.

1-я зона защиты без выдержки времени защищает только часть линии (примерно 85%) считая от места установки защиты;

2-я зона защиты с выдержкой времени действует при КЗ на части линии (примерно 15%), примыкающей к шинам противоположной подстанции, действует 2-я зона дистанционной защиты с выдержкой времени;

3-я зона защиты является резервной и резервирует защиты собственной линии и защиты присоединений, отходящих от шин противоположной подстанции.

В действительности на линии установлены комплекты дистанционной защиты на базе панелей ПДЭ 2001. Однако еще с 1991 г. данные панели должны были быть заменены более модернизированными – ШЭ 2710 521

Первая ступень дистанционной защиты (ДЗ) линий первой периферии

Для дальнейшего расчета потребуется уставка первой ступени линии первой периферии НВГРЭС – ПС Белозерная

Дата формирования документа для Word: 05.05.2016 14:03:13
 ЭЛ БЛ-500 НВГРЭС-БЕЛОЗЕРНАЯ ПС ПТ БЕЛОЗР-НВГРЭС
 Защита 1763 Тип ШЗ2607 Ступень 1
 Ветвь 1582-462 КТТ 1000/1
 Узел КТН 5000

Расч условие	Имя	Знач	К	Пояснение	Подрежим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	XУ	8.98	0.85	ВМЦ-КЗ АБС УЗЕЛ-КЗ 462		ЗСА=10.62 84
	РУ	4.80				
	РУМВН	5.00				
	ФМЧ	75				
	Ф2	-15				
	Ф3	115				
	Ф4	0				

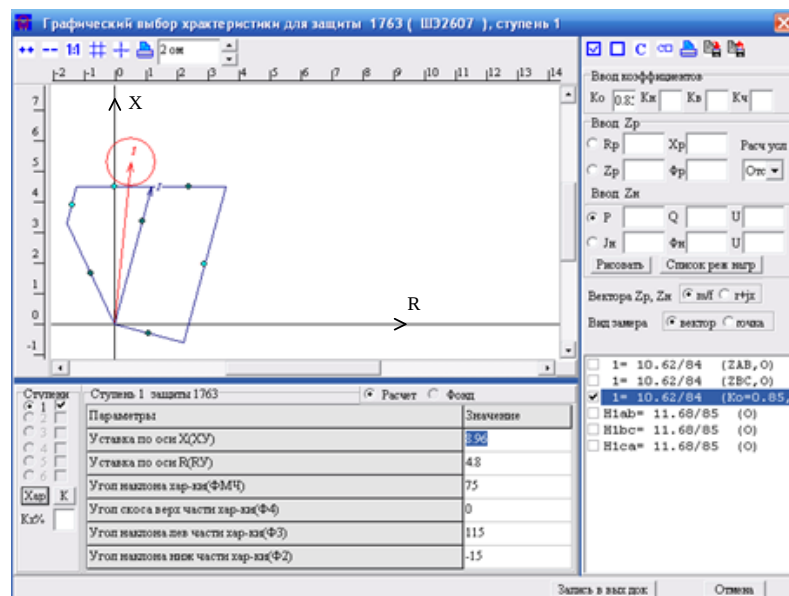


Рисунок 3.1 Характеристика 1-й ступени ДЗ линии «ПС Белозерная - Нижневартонская ГРЭС»

- 1) Принимаем уставку первой ступени $Z_{1582-462}^I = 10.62 \cdot e^{j84^\circ} \text{ Ом}$
- 2) Выдержка времени первой ступени: $t_{1582-462}^I = 0.05 \text{ с}$

3.2.1 Первая ступень

Первая ступень ДЗ отстраивается от трехфазного КЗ в конце защищаемой линии.

Дата формирования документа для Word: 20.05.2016 13:42:36
 ЭЛ ВЛ-500 НВГРЭС-СИБИРСКАЯ ПС СИБИРСКАЯ 500
 Защита 1772 Тип Ш92507 Ступень 1
 Ветвь 300-1580 КТТ 1000/1
 Узел КТН 5000

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезок	Эл величина
ОТСТРОЙКА	XУ	2.44	0.85	ВМК-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ 1580		ЗСА=2.90 84
	XУМИН	5.00				
	RY	1.31				
	RYМИН	5.00				
	#MЧ	75				
	#2	-15				
	#3	115				
	#4	0				

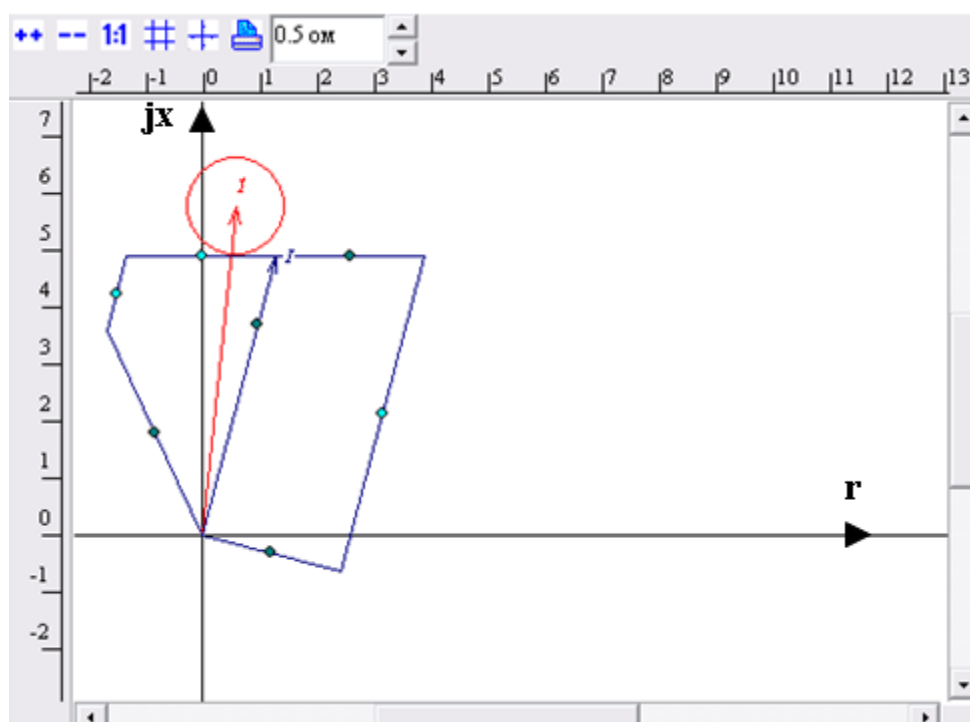


Рисунок 3.2. Характеристика 1-й ступени ДЗ линии «ПС Сибирская-Нижневартовская ГРЭС»

- 1) Принимаем уставку первой ступени $Z_{300-1580}^I = 2,9 \cdot e^{j \cdot 84^\circ} \text{ Ом}$
- 2) Выдержка времени первой ступени: $t_{1582-462}^I = 0.05 \text{ с}$

3.2.3 Вторая ступень

Вторая ступень ДЗ в первую очередь должна быть согласована по времени и по сопротивлению срабатывания с первыми ступенями ДЗ, установленных на предыдущих участках сети и направленных в ту же сторону. Также ее необходимо отстроить от КЗ на СН или НН автотрансформатора на противоположной стороне линии. Затем проверяется чувствительность и отстроенность от нагрузки.

1) Согласование с первой ступенью предыдущей линии НВГРЭС – ПС

Белозерная

Расчет проводился для такого реального режима, который соответствует минимальному сопротивлению в месте установки защиты.

Дата формирования документа для Word: 20.05.2016 15:20:49
 ЭЛ ВЛ-500 НВГРЭС-СИБИРСКАЯ ПС СИБИРСКАЯ 500
 Защита 1772 Тип ШЗ2607 Ступень 2
 Ветвь 300-1580 КТГ 1000/1
 Узел КТН 5000

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ	XU	14.2	0.85	ВИД-КЗ АВС	ЭЛ 367	ZCA=16.87 83
ШЗ2710	RY	7.62		БЕЕР 176/1270		ZCA(B)=8.12 84
с 1 СТУПЕНЬЮ	ФМЧ	75		462-1582,0.614		
XU=8.96	Ф2	-15		(Lотн_лин=0.555)		
RY=4.80	Ф3	115				
T=0.05						
ФМЧ 75						
Ф2 -15						
Ф3 115						
Ф4 0						
защита 1763						
ШЗ2710						
(1270-1582)						
ЭЛ:ВЛ-500 НВГ						
РЭС-БЕЛОЗЕРНА						
Я						
ПС:НВГРЭС 500						
КВ						

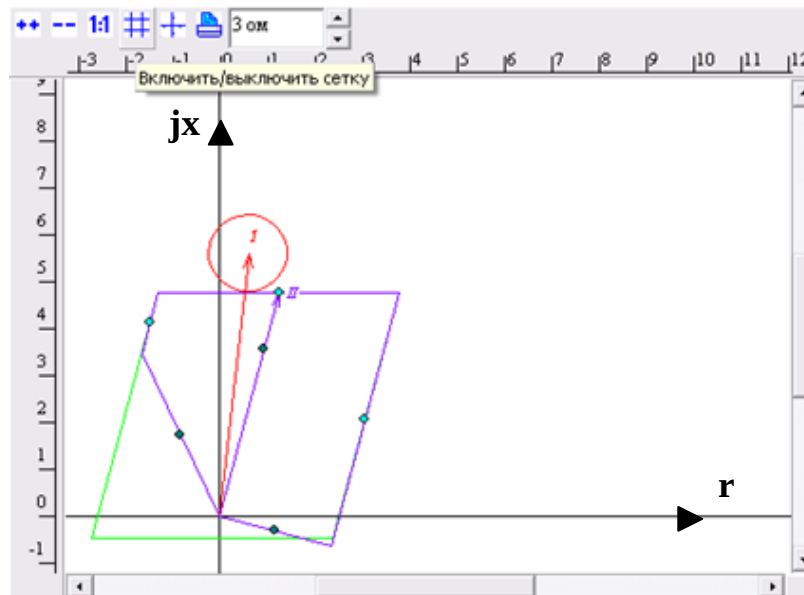


Рисунок 3.3. Характеристика 2-й ступени ДЗ линии «ПС Сибирская-Нижневартовская ГРЭС»

Тогда уставка будет равна $Z_{300-1580}^{II} = 16.87 \cdot e^{j83^\circ} \text{ Ом}$

Задание Редактирование ??	
ВЕТВЬ	0 1270-1580
СОГЛ	САЩ=1771 КН=0.85
ШЭ	СТУП=2 ТИП=ШЭ2710 ФМЧ=75 /*45...89*/ КТН=5000 КТТ=1000 JBT=1 КОМПЛЕКТ=1
*	Ф2= Ф3=
З-Б	
ВЕТ_Б	300-466
*ВКЛ_РС_Б	ZФ
*Д_КОМП_Б	KR= KX=
*	KMR= KMX=
Д_ШЭ	САЩ=1782 СТУП=1 ТИП=ШЭ2710 Эл=1 ПС=1 ТТ%=10
	Ф2=-15 /*-89...+89*/ Ф3=115 /*91...179*/
	1СТУП=МФ ХУ=23.2 RY=12.4 T=0.5 ФМЧ=75 /*45...89*/
	Ф4=0 /*ДЛЯ 1СТУП Ф-Ф 0...-45*/
*	ВЕТ ВЛ=
*	1СТУП=ЗЕМЛЯ ХУ0= RY0= ФМЧ0= T=
НСМ	1
ВИД-КЗ	АВС
*ВИД-КЗ	А0
ВЕЕР	178/300
*УЗ-КЗ_Х	
*КАСКАД	/*ветвь*/ УЗК=К
*УЗ-КЗ_Р	К
ПОДРЕЖИМ	1

Рисунок 3.3. Задание на расчет для согласования второй ступени ПС Сибирская с первой ступенью предыдущей линии НВГРЭС – ПС Белозерная

2) Отстройка от КЗ на стороне СН автотрансформатора на НВГРЭС

Дата формирования документа для Word: 20.05.2016 15:25:25
 ЭЛ ВЛ-500 НВГРЭС-СИБИРСКАЯ ПС СИБИРСКАЯ 500
 Защита 1772 Тип ШЭ2607 Ступень 1
 Ветвь 300-1580 КТТ 1000/1
 Узел КТН 5000

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ОТСТРОЙКА ШЭ2710	XУ RУ ФМЧ Ф2 Ф3 Ф4	70.0 37.5 75 -15 115 0	0.85	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ 1154	ЭЛ 367	ZCA=82.45 87

Тогда уставка будет равна $Z_{300-1580/CH AT}^{II} = 82.45 \cdot e^{j87^\circ} \text{ Ом}$

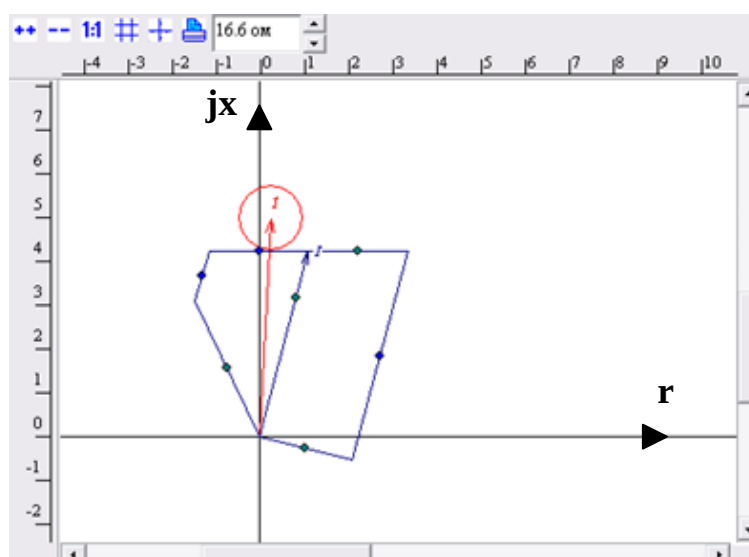


Рисунок 3.4. Характеристика 2-й ступени ДЗ линии «ПС Сибирская-Нижневартовская ГРЭС»

В качестве сопротивления срабатывания для второй ступени принимается наименьшее из сопротивлений, полученных по приведенным расчетным условиям [5]

Наиболее отстроенная уставка $Z_{300-1580}^{II} = 16.87 \cdot e^{j83^\circ} \text{ Ом}$

3) Проверка чувствительности при КЗ в конце автоматизируемой линии

Дата формирования документа для Word: 20.05.2016 15:32:19

ЭЛ ВЛ-500 НВГРЭС-СИБИРСКАЯ ПС СИБИРСКАЯ 500

Защита 1772 Тип ШЗ2607 Ступень 2

Ветвь 300-1580 КТТ 1000/1

Узел КТН 5000

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ ШЗ2710	XU	14.2	2.08	ВИД-КЗ ABC	ЭЛ 536	ZAB=6.88 84
	FY	7.62	6.86	УЗЕЛ-КЗ 1270	ЭЛ 535	Ip=6750 -86
	ФМЧ	75	KЧзр=		ЭЛ 534	
	Ф2	-15	1.52			
	Ф3	115				
	XBT	2.84				
	RBT	1.52				
	JTP	0.10	67.50			

Вторая ступень ДЗ линии имеет достаточную чувствительность.

Выдержка времени:

$$t_{300-1580}^{II} = t_{\text{дифзащАТ}} + \Delta t = 0.5c$$

3.2.4 Третья ступень

Уставка третьей ступени ДЗ рассчитывается исходя из условия чувствительности по параметру срабатывания в конце зоны резервирования (линии первой периферии НВГРЭС – ПС Белозерная).

Дата формирования документа для Word: 20.05.2016 15:43:23
 ЭЛ ВЛ-500 НВГРЭС-СИБИРСКАЯ ПС СИБИРСКАЯ 500
 Защита 1772 Тип ШЗ2607 Ступень 3
 Ветвь 300-1580 КТТ 1000/1
 Узел КТН 5000

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезки	Эл величины
НАГРУЗКА ШЗ2710	XU RY ФМЧ Ф2 Ф3	337.5 180.9 75 -15 115	1.26		KN=1.20 KB=1.05 КСАМ=1.50 JH=675 УМИН=500 ФН=20	ZH=285.11 20

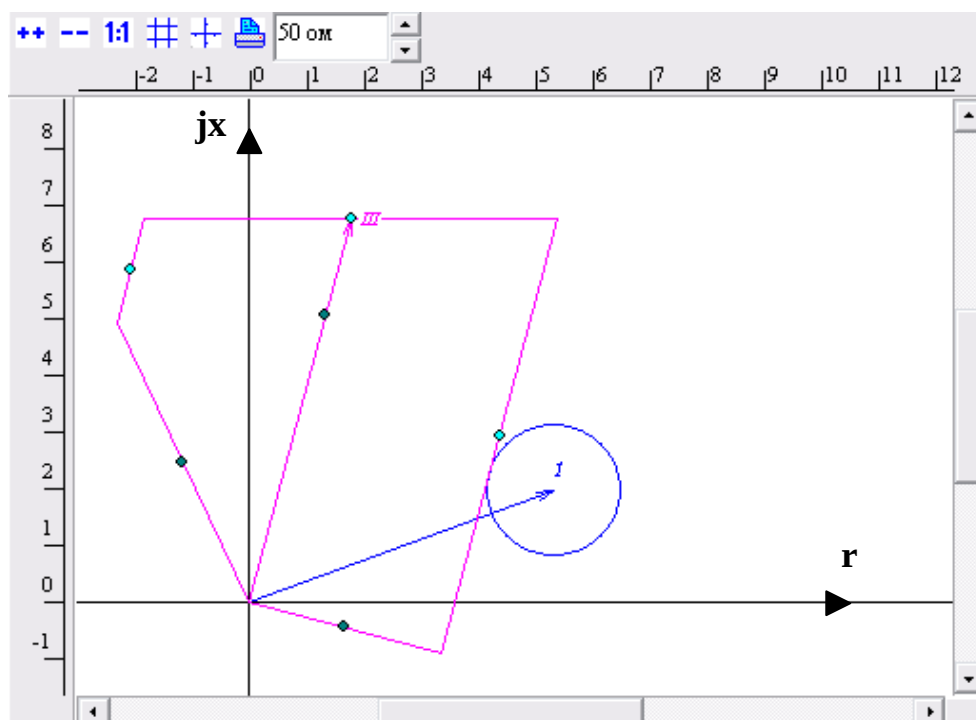


Рисунок 3.5. Характеристика 3-й ступени ДЗ линии «ПС Сибирская-Нижневартонская ГРЭС»

Тогда уставка будет равна $Z_{300-1580}^{III} = 285.11 \cdot e^{j \cdot 20^\circ} \text{ Ом}$

Дата формирования документа для Word: 20.05.2016 15:49:59
 ЭЛ ВЛ-500 НВГРЭС-СИБИРСКАЯ ПС СИБИРСКАЯ 500
 Защита 1772 Тип ШЗ2607 Ступень 3
 Ветвь 300-1580 КТТ 1000/1
 Узел КТН 5000

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ ШЗ2710	XУ РУ ФМЧ Ф2 Ф3 ХВТ РВТ JTP	337.5 180.9 75 -15 115 67.5 36.2 0.10	13.96 49.01 КЧзр= 1.52 40.88	ВИД-КЗ ABC УЗЕЛ-КЗ 462	ЭЛ 367	ZBC=24.33 83 Ip=4088 155

Требование по чувствительности выполнено.

Выдержка времени III ступени выбирается по встречно-ступенчатому принципу путем отстройки от III ступени предыдущей защиты.

$$t_{300-1580}^{III} = t_{300-1580}^{III} + \Delta t = 1с$$

В табл. 6 представлены данные расчета ДЗ линии « ПС Сибирская – Нижневартовская ГРЭС»

Таблица 3.2. Данные по ДЗ линии

Параметр срабатывания	I ступень	II ступень	III ступень
Уставка по оси X	5	14,2	337,5
Уставка по оси R	1,31	7,62	180,9
Угол наклона характеристики	75	75	75
Угол наклона левой части характеристики	115	115	115
Угол наклона нижней части характеристики	-15	-15	-15
Время срабатывания	0,05	0,55	1,0

3.2.5. Блокировка при качаниях

Принцип работы устройства блокировки при качаниях (УБК), используемой в защите ШЭ2710 521, основан на фиксации скорости изменения тока обратной последовательности, осуществляемой двумя пусковыми органами (ПОБ) разной чувствительности. Для повышения чувствительности к симметричным КЗ ПОБ имеет дополнительный канал, реагирующий на приращение тока прямой последовательности. Уставки срабатывания блокировки при качаниях по изменению вектора обратной последовательности находятся в диапазоне $(0,04-1,5) I_{ном}$ для чувствительного реле и $(0,06-2,5) I_{ном}$ для грубого. Уставки срабатывания блокировки при качаниях по изменению вектора прямой последовательности находятся в диапазоне $(0,08-3) I_{ном}$ для чувствительного реле и $(0,12-5) I_{ном}$ для грубого.

Чувствительный ПОБ по принципу действия отстроен от небаланса на выходе фильтра тока обратной последовательности при номинальном токе, при наличии высших гармоник он значительно заглубляется. Чувствительный ПОБ отстроен от качаний с периодом не менее 0,2 сек. при токах, превышающих номинальный, при указанных выше значениях уставок соответственно в 4, 8 и в 10 раз. Учитывая высокую чувствительность ПОБ, для снижения числа ложных пусков рекомендуется выбирать уставку 0,4 (0,08) А.

Чувствительность проверяется по выражению:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{2\text{мин}}}{I_{2\text{уст}} k_I},$$

где $I_{2\text{мин}}$ - минимальный ток обратной последовательности в месте подключения защиты при КЗ в расчетной точке в расчетном режиме;

$I_{2\text{уст}}$ - принятая уставка пускового органа.

Минимально допустимое значение коэффициента чувствительности при КЗ в конце защищаемой и в конце предыдущей линии равно соответственно 1,5 и 1,2.

3.2.6. Блокировка при неисправностях в цепях напряжения

Для выявления неисправностей в цепях переменного напряжения используется устройство блокировки при неисправностях в цепях переменного напряжения (БНН), алгоритм функционирования которого учитывает все возможные варианты схем соединения вторичных обмоток ТН в «разомкнутый треугольник» и реализуется программно по выражению: $|U_{БНН}| > U_{уст.БНН}$, где $|U_{БНН}|$ - модуль вектора $U_{БНН}$, $U_{уст.БНН}$ - уставка по напряжению срабатывания БНН.

При исчезновении любого из напряжений «звезды» или «разомкнутого треугольника» появляется напряжение $U_{БНН}$ и происходит срабатывание БНН. Для контроля одновременного исчезновения фазных напряжений используются три реле минимального напряжения в фазах А, В и С, включенные по схеме «И».

При возникновении неисправности в цепях напряжения на выходе схемы логики БНН появляется сигнал, блокирующий действие всех ступеней ДЗ.

3.2.7 Междуфазная отсечка

Шкаф ШЭ 2710 251 содержит токовую отсечку от многофазных КЗ. Назначение ТО традиционно для отечественных защит линий высокого напряжения – это дополнительная защита на случай нечеткой работы дистанционной защиты при замыканиях в начале защищаемой линии.

ЭЛ ВЛ-500 НВГРЭС-СИБИРСКАЯ ПС НВГРЭС 500КВ
 Защита 1772 Тип МФТЗ Ступень 1
 Ветвь 300-1580 КТТ
 Узел КТН СЕТЬ:ТРДУ_2010-06-16_ДЕЙСТВУЮЩАЯ ЭВА

Расчусловие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Элвеличины
ОТСТРОЙКА	УСТ	8382	1.20	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ 1270		IA=6985 -87

Уставка защиты - $I_{C.3} = 8382 A$

Проверим чувствительность защиты, как отношение минимального тока КЗ (в месте установки защиты) к току срабатывания защиты.

ЭЛ ВЛ-500 НВГРЭС-СИБИРСКАЯ ПС НВГРЭС 500КВ
 Защита 1772 Тип МФТЗ Ступень 1
 Ветвь 300-1580 КТТ
 Узел КТН СЕТЬ:ТРДУ_2010-06-16_ДЕЙСТВУЮЩАЯ ЭВА

Расчусловие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Элвеличины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ	УСТ	8382	0.97	ВИД-КЗ ВС		IB=7051 4
	КСХ	1.73		УЗЕЛ-КЗ 300		Ip=14105 4
	РТ	АВС				

Коэффициент чувствительности должен быть около 1,2 при КЗ в месте установки отсечки в наиболее благоприятном по условию чувствительности режиме. Данное условие не выполняется, значит, защиты не будет надежно защищать часть линии, но так как МФТО является дополнительной к резервной дистанционной защите линии, то маленьким значением коэффициента чувствительности можно пренебречь.

3.3 Высокочастотная направленная и дифференциально-фазная защита

Защита ШЭ 2710 581 используется как фильтровая направленная защита с ВЧ блокировкой при полнофазном режиме работы ВЛ. Действие защиты при КЗ на ВЛ в цикле ОАПВ обеспечивается переключением ее на время цикла в режим сравнения фаз токов по концам защищаемой ВЛ. При этом манипуляция ВЧ передатчиком осуществляется непосредственно в схеме релейной части защиты. Среднее время действия защиты на отключение по бесконтактному выходу составляет 0,02 с.

Защитами с ВЧ блокировкой называются те из них, которые основаны на косвенном сравнении электрических величин по защищаемой ВЛ посредством ВЧ сигналов, передаваемых по каналам связи.

Могут сравниваться, например, направления мощностей обратной последовательности, тогда это будет направленная фильтровая защита с ВЧ блокировкой, или фазы токов, тогда это будет дифференциально-фазная защита (ДФЗ).

В защите со сравнением направлений мощностей комплекты, включающие органы направления мощности (PM2) двустороннего действия с выходами в сторону отключения PM2от и блокировки PM2бл, устанавливаются с обеих сторон защищаемой ВЛ. Защита срабатывает, если мощности обратной последовательности на обоих концах ВЛ направлены от линии к шинам. При КЗ вне защищаемой ВЛ на конце, ближайшем к месту КЗ, защита срабатывает в сторону блокировки, пускается ВЧ сигнал, который блокирует защиту удаленного конца, где органы направления мощности могут работать в сторону отключения.

Направленная и дифференциально-фазная высокочастотная защита может использоваться в качестве основной защиты от всех видов повреждения линии 110-500 кВ с двусторонним питанием в случаях, когда для сохранения устойчивости системы необходимо отключение повреждений на

всем протяжении защищаемой линии без замедления и применение других типов быстродействующих защит линий (продольной дифференциальной, дистанционной с в.ч. блокировкой и др.) невозможно или нецелесообразно.

Выбор уставок высокочастотной микропроцессорной защиты ШЭ 2710 581 выполняем согласно [8]

Исходные данные для расчета защиты:

$$\underline{Z}_L = 14.5 \cdot e^{j \cdot 84^\circ} \text{ Ом} - \text{сопротивление защищаемой линии};$$

$U_{\text{раб}} = (1,05 \div 1,1) \cdot U_H = 525 \div 550 \text{ кВ}$ - максимальное напряжение в рабочем режиме и в режиме качаний;

Максимльный рабочий ток линии: $i_{\text{раб}} = 1500 \text{ А}$

Параметры срабатывания реле мощности обратной последовательности по току и напряжению.

Уставка устройства компенсации емкостного тока (УКЕТ) линии. Была определена ранее: $Y_{K3001} = Y_{K3002} = 180 \text{ мкСм}$

3.3.1 Выбор уставки токовых органов с пуском по вектору разности фазных токов I_L .

Выберем уставки токового органа с пуском по вектору разности фазных токов I_L , действующего на блокировку.

Уставки выбираются одинаковыми для обоих (или в случае многоконцевой линии трех и более) комплектов, т.к. в формулы для расчета входит один и тот же наибольший из максимальных рабочих токов $I_{\text{махраб}}$ по концам линии. $I_{\text{лбл уст}}$ отстраивается от максимального рабочего тока $I_{\text{махраб}}$.

$$I_{\text{лбл уст}} = \sqrt{3} \cdot k_{\text{отс}} \cdot I_{\text{махраб}} = \sqrt{3} \cdot 1,3 \cdot 750 \text{ А} = 1688,75 \text{ А}$$

$$I_{\text{лбл уст}}^{\text{н}} = \frac{I_{\text{лбл уст}}}{n_{\text{ТТ}}} = \frac{1688,75 \text{ А}}{1000/1} = 1,7 \text{ А}$$

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

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

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

Уставка $I_{\text{л от уст}}$ от уст выбирается исходя из отстройки от $I_{\text{л бл уст}}$.

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

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

$$I_{\text{л от уст}} = k_{\text{отс}} \cdot I_{\text{л бл уст}} = 1,3 \cdot 1,7 \text{ A} = 2,2 \text{ A}$$

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

Этот орган используется только для двухконцевой линии. В случае трехконцевой линии используется только орган U2 из-за сложности учета компенсации емкостных токов

Для обоих полукомплектов уставки выбираются предварительно (до определения коэффициента чувствительности). После определения коэффициента чувствительности, уставки могут быть скорректированы

Отстроим уставку токового органа с пуском по току обратной последовательности $I_{2 \text{ бл уст}}$ от тока небаланса, определяемого погрешностями ТТ, частотными небалансами фильтров обратной последовательности и погрешностями их настройки, а также небалансами нагрузочного режима сети.

$$I_{2 \text{ бл уст}} = k_{\text{отс}} \cdot I_{2 \text{ нб расч}} / k_{\text{возв}} = 1,3 \cdot 0,03 / 0,95 = 0,04 \text{ A}$$

где $I_{2 \text{ нб расч}}$ - расчетный ток небаланса обратной последовательности;

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

$k_{\text{возв}}$ - коэффициент возврата принимается равным $k_{\text{возв}} = 0,95$.

$$\begin{aligned} I_{2 \text{ нб расч}} &= (I_{\text{л бл уст}} / \sqrt{3}) \cdot \sqrt{[(\varepsilon_1 / 3)^2 + (k_f \cdot D_f) + (D_\phi)^2 + (k_{2 \text{ несим}})^2]} = \\ &= (I_{\text{л бл уст}} / \sqrt{3}) \cdot 0,024 = 0,03 \text{ A} \end{aligned}$$

где $I_{\text{л бл уст}}$ - уставка блокирующего токового органа с пуском по I_L ;

ε_1 - полная погрешность ТТ принимается равной $\varepsilon_1=0,03$, согласно ГОСТ 7746-2001 Трансформаторы тока. Общие технические условия.

k_f - коэффициент частотной зависимости ФТОП по данным разработчика принимается равным $k_f=0,23$;

D_f - относительная погрешность отклонения частоты принимается равным $D_f=0,03$;

D_ϕ - относительная погрешность настройки фильтра с учётом погрешности принимается равным $D_\phi=0,005$;

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

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

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

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

$$I_{2 \text{от уст}} = k_{\text{отс}} \cdot I_{2 \text{блуст}} = 1,3 \cdot 0,04 = 0,0834$$

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

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

Определение коэффициента чувствительности токового отключающего органа I_2 .

Коэффициент чувствительности рассчитывается для каждого полуконспекта

$$k_\chi = I_{2 \text{кз min}} / I_{2 \text{от уст}}$$

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

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

Если $k_\chi > 2$, то необходимо заглубить уставку до $k_\chi = 2$ для полуконспекта с наименьшим коэффициентом чувствительности.

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

Для 2-го полукомплекта:

===== АРМ СРЗА г.Новосибирск ПК БРИЗ =====

ЗАДАНИЕ- СЕТЬ-ТРДУ_2010-06-16_ДЕЙСТВУЮЩАЯ ЭВА ДАТА-20.05.2016. ВРЕМЯ-16:21:23.

ВЕТВЬ 300-1580
 НСМ 1
 ВИД-КЗ А0
 УЗЕЛ-КЗ 1270
 НСМ 2
 ВИД-КЗ АВ0
 УЗЕЛ-КЗ 1270
 НСМ 3
 ВИД-КЗ АВ
 УЗЕЛ-КЗ 1270
 НСМ 4
 ВИД-КЗ АВС
 УЗЕЛ-КЗ 1270
 ПОДРЕЖИМ 1
 ЭЛЕМЕНТ 536
 ЭЛЕМЕНТ 535
 ЭЛЕМЕНТ 534

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Подрежим 1
 ЭЛЕМЕНТ 536 (БЛОК №6)
 ЭЛЕМЕНТ 535 (БЛОК №5)
 ЭЛЕМЕНТ 534 (БЛОК №4)
 НСМ 1
 ВИД-КЗ А0

УЗЕЛ-КЗ 1270
 У_{па}=495.9/-0 Z1=0.792+j16.407 Z2=0.792+j16.407 Z0=1.508+j13.500

Замеры

(I _а , I _в , I _с)	(I _{ав} , I _{вс} , I _{са})	(I1, I2, 3I0)		
7240 -84	8326 -84	2829 -85		
300-1580	1089 92	190 -177	2719 -85	
	1109 82	8320 95	5093 -79	
	(U _а , U _в , U _с)	(U _{ав} , U _{вс} , U _{са})	(U1, U2, 3U0)	
72.03 -6	303.57 53	204.53 -1		
	272.91 -114	497.34 -90	82.65 -179	
	271.85 114	313.78 126	150.81 -177	

НСМ 2
 ВИД-КЗ АВ0

УЗЕЛ-КЗ 1270
 У_{па}=495.9/-0 Z1=0.792+j16.407 Z2=0.792+j16.407 Z0=1.508+j13.500

Замеры

(I _а , I _в , I _с)	(I _{ав} , I _{вс} , I _{са})	(I1, I2, 3I0)		
7775 -81	13500 -56	5400 -85		
300-1580	7250 151	7976 159	2396 -27	
	1218 28	8257 91	5425 -138	
	(U _а , U _в , U _с)	(U _{ав} , U _{вс} , U _{са})	(U1, U2, 3U0)	
62.45 -20	92.86 28	126.42 -1		
	68.93 -110	301.95 -70	72.81 -121	
	252.59 120	302.92 128	160.65 124	

НСМ 3
 ВИД-КЗ АВ

УЗЕЛ-КЗ 1270
 У_{па}=495.9/-0 Z1=0.792+j16.407 Z2=0.792+j16.407 Z0=1.508+j13.500

Замеры

(I _а , I _в , I _с)	(I _{ав} , I _{вс} , I _{са})	(I1, I2, 3I0)		
6750 -56	13500 -56	3952 -86		
300-1580	6751 125	6755 126	3842 -26	
	110 33	6750 123	0 0	
	(U _а , U _в , U _с)	(U _{ав} , U _{вс} , U _{са})	(U1, U2, 3U0)	
152.25 -42	92.86 28	170.36 -0		
	149.51 -78	431.77 -66	116.78 -120	
	287.14 120	434.63 126	0.00 0	

			НСМ	4		
			ВИД-КЗ	АВС		
УЗЕЛ-КЗ	1270					
Упа=495.9/-0		Z1=0.792+j16.407	Z2=0.792+j16.407	Z0=1.508+j13.500		
Замеры						
(Ia, Ib, Ic)		(Iav, Ivc, Ica)		(I1, I2, 3I0)		
7794 -86		13500 -56		7794 -86		
300-1580		7794 154		13500 -176	0	0
		7794 34		13500 64	0	0
		(Ua, Ub, Uc)		(Uav, Uvc, Uca)	(U1, U2, 3U0)	
53.61 -2		92.86 28		53.61 -2		
		53.61 -122		92.86 -92	0.00	0
		53.61 118		92.86 148	0.00	0

$$k_{\pm} = I_{2\epsilon\zeta\min} / I_{2i\delta\phi\phi\delta} = 2,4 / 0,083 = 30 > 2$$

===== АРМ СРЗА г.Новосибирск ПК БРИЗ =====

ЗАДАНИЕ- СЕТЬ-ТРДУ_2010-06-16_ДЕЙСТВУЮЩАЯ ЭВА ДАТА-20.05.2016. ВРЕМЯ-16:30:23.

ВЕТВЬ 1270-1580

НСМ 1

ВИД-КЗ А0

УЗЕЛ-КЗ 300

НСМ 2

ВИД-КЗ АВ0

УЗЕЛ-КЗ 300

НСМ 3

ВИД-КЗ АВ

УЗЕЛ-КЗ 300

НСМ 4

ВИД-КЗ АВС

УЗЕЛ-КЗ 300

ПОДРЕЖИМ 1

ЭЛЕМЕНТ 367

Р Е З У Л Ь Т А Т Ы Р А С Ч Е Т А

Подрежим 1

ЭЛЕМЕНТ 367 (2Г)

			НСМ	1		
			ВИД-КЗ	А0		
УЗЕЛ-КЗ	300					
Упа=495.5/0		Z1=1.018+j17.326	Z2=1.018+j17.326	Z0=2.274+j17.436		
Замеры						
(Ia, Ib, Ic)		(Iav, Ivc, Ica)		(I1, I2, 3I0)		
5326 -85		4953 -88		1542 -85		
1270-1580		433 -56		383 2	1763	-86
400 -111		4968 97		6066 -85		
		(Ua, Ub, Uc)		(Uav, Uvc, Uca)	(U1, U2, 3U0)	
52.34 -6		297.97 53		201.79 -1		
		275.31 -117		493.05 -90	82.93	-178
		278.71 117		310.63 125	200.65	-179

			НСМ	2		
			ВИД-КЗ	АВ0		
УЗЕЛ-КЗ	300					
Упа=495.5/0		Z1=1.018+j17.326	Z2=1.018+j17.326	Z0=2.274+j17.436		
Замеры						
(Ia, Ib, Ic)		(Iav, Ivc, Ica)		(I1, I2, 3I0)		
5347 -88		8811 -57		3310 -86		
1270-1580		5069 156		4856 151	1778	-28
479 -143		5083 96		6040 -144		
		(Ua, Ub, Uc)		(Uav, Uvc, Uca)	(U1, U2, 3U0)	
44.39 -25		60.61 27		118.62 -2		
		47.90 -107		303.97 -67	83.65	-121
		268.79 120		305.86 124	199.79	122

			НСМ	3		
			ВИД-КЗ	АВ		
УЗЕЛ-КЗ	300					
Упа=495.5/0		Z1=1.018+j17.326	Z2=1.018+j17.326	Z0=2.274+j17.436		

(Ia, Ib, Ic)		Замеры (Iav, Ivc, Ica)		(I1, I2, 3I0)			
4408	-56	8811	-57	2433	-87		
	1270-1580	4406	122	4414	119	2654	-27
221	-148	4422	127	0	0		
		(Ua, Ub, Uc)		(Uav, Uvc, Uca)		(U1, U2, 3U0)	
147.11	-48	60.61	27	159.80	-0		
		143.92	-72	426.44	-64	124.86	-120
		284.66	120	429.69	124	0.00	0

		НСМ ВИД-КЗ		4 ABC			
УЗЕЛ-КЗ 300							
Упа=495.5/0		Z1=1.018+j17.326		Z2=1.018+j17.326		Z0=2.274+j17.436	

(Ia, Ib, Ic)		Замеры (Iav, Ivc, Ica)		(I1, I2, 3I0)			
5087	-87	8811	-57	5087	-87		
	1270-1580	5087	153	8811	-177	0	0
		5087	33	8811	63	0	0
		(Ua, Ub, Uc)		(Uav, Uvc, Uca)		(U1, U2, 3U0)	
34.99	-3	60.61	27	34.99	-3		
		34.99	-123	60.61	-93	0.00	0
		34.99	117	60.61	147	0.00	0

Для 1-го полукомплекта:

$$k_q = I_{2\text{кз min}} / I_{2\text{от уст}} = 1.7 / 0.083 = 20.5 > 2$$

Примем $I_{2\text{от уст}} = 0.85 \text{ A}$, $k_q = 2$

$$I_{2\text{бл уст}} = 0.5 \cdot I_{2\text{от уст}} = 0.43 \text{ A}$$

3.3.3 Выбор уставки органа с пуском по напряжению обратной последовательности U_2 .

Для обоих полукомплектов уставки выбираются предварительно (до определения коэффициента чувствительности). После определения коэффициента чувствительности, уставки могут быть скорректированы.

Выбор уставки блокирующего органа с пуском по напряжению обратной последовательности U_2 .

Отстроим уставку $U_{2\text{бл уст}}$ от напряжения небаланса обратной последовательности, вызванного погрешностью ТН и частотными небалансами фильтра напряжения обратной последовательности и несимметрией нагрузочного режима с учетом коэффициента надежности.

$$U_{2\text{бл уст}} = k_{\text{отс}} \cdot U_{2\text{нб расч}} / k_{\text{возв}} = 2,32B$$

где $k_{\text{отс}}$ - коэффициент отстройки принимается равным $k_{\text{отс}}=1,5$;

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

$U_{2\text{нб расч}}$ - расчетное напряжение небаланса обратной последовательности.

$$U_{2\text{нб расч}} = (U_{\text{ном}} / \sqrt{3}) \cdot \sqrt{[(\varepsilon_1 / 3)^2 + (k_f \cdot D_f) + (D_\phi)^2 + (k_{2\text{несим}})^2]} = \\ = (U_{\text{ном}} / \sqrt{3}) \cdot 0,024 = 1,39B$$

где ε_1 - полная погрешность ТН принимается равной $\varepsilon_1=0,03$;

k_f - коэффициент частотной зависимости ФНОП по данным разработчика принимается равным $k_f=0,23$;

D_f - относительная погрешность отклонения частоты принимается равным $D_f=0,03$;

D_ϕ - относительная погрешность настройки фильтра с учётом погрешности принимается равным $D_\phi=0,005$;

$k_{2\text{несим}}$ - коэффициент несимметрии напряжения обратной последовательности принимается равным $k_{2\text{несим}}=0,02$.

Выбор уставки отключающего органа с пуском по напряжению обратной последовательности U_2 :

Отстроим уставку $U_{2\text{от уст}}$ от уставки блокирующего органа по напряжению обратной последовательности - $U_{2\text{бл}}$.

$$U_{2от\ уст} = k_{отс} \cdot U_{2бл\ уст} = 3.48\ В$$

где $k_{отс}$ - коэффициент отстройки принимается равным $k_{отс}=1,5$;

$U_{2бл\ уст}$ - уставка блокирующего органа по напряжению с пуском по U_2 .

Определим коэффициент чувствительности для каждого полукомплекта.

$$k_{\chi} = U_{2кз\ min} / U_{2от\ уст}$$

где $U_{2кз\ min}$ - минимальное напряжение КЗ обратной последовательности;

$U_{2от\ уст}$ - уставка отключающего органа по напряжению с пуском по U_2 .

К пусковому органу подводится напряжение обратной последовательности компенсированное $I_2 \cdot Z_k$. С учетом того, что U_2 и $I_2 \cdot jX_1$ находятся в противофазе:

$$U_{2\ кз\ min\ к} = \min \left[\left(U_2^{(1,1)} + I_2^{(1,1)} \cdot K_{комп} \cdot X_{2уд} \cdot L \right) \text{ или } \left(U_2^{(1)} + I_2^{(1)} \cdot K_{комп} \cdot X_{2уд} \cdot L \right) \right]$$

где U_2 - напряжение обратной последовательности при двухфазном КЗ на землю;

$U_2^{(1)}$ - напряжение обратной последовательности при однофазном КЗ;

$I^{(1,1)}_2$ - ток обратной последовательности при двухфазном КЗ на землю;

$I^{(1)}_2$ - ток обратной последовательности при однофазном КЗ;

$X_{2уд} = X_{1уд}$ - реактивное удельное сопротивление ВЛ обратной (прямой) последовательности;

$$K_{комп} = 0,5;$$

L - длина ВЛ.

Если $k_{\chi} > 2$, то на том конце линии, где k_{χ} меньше, необходимо загрузить его до $k_{\chi} = 2$. Таким образом, получается новая уставка $U_{2отуст}$ для двух полукомплектов. По ней необходимо уточнить $U_{2блуст}$:

$$k_{\chi} = U_{2кз\ min} / U_{2от\ уст}$$

$$U_{2кз\ min} = 19.96\ В \text{ или } U_{2кз\ min} = 19.6\ В$$

$$k_{\chi} = U_{2кз\ min} / U_{2от\ уст} = 19,6\ В / 3,48 = 5,6 > 2$$

$$\text{Примем } U_{2от\ уст} = 9.8\ В, k_{\chi} = 2$$

$$U_{2бл\ уст} = U_{2от\ уст} / k_{отс} = 6,53\ В$$

3.3.4 Выбор уставки токового органа с пуском по приращению DI2

Выбор уставки токового органа с пуском по приращению DI2, действующего на блокировку.

Производится отстройка от тока небаланса обратной последовательности при максимальном токе качаний, от изменения тока при тяговой нагрузке и всех небалансов максимального рабочего режима, связанных с погрешностями ТТ и фильтра. Этот пусковой орган предназначен для быстрого запуска ВЧ при трехфазных КЗ.

$$DI_{2\text{блуст}} = k_{\text{отс}} \cdot DI_{2\text{блуст}} = 0.7 \cdot 0.43 = 0.3A$$

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

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

Уставка токового органа с пуском по приращению DI2, действующего на отключение.

Выберем уставка $DI2_{\text{отуст}}$ исходя из отстройки от уставки блокирующего токового органа с пуском по приращению DI2 - $DI2_{\text{бл}}$.

$$DI_{2\text{отуст}} = k_{\text{отс}} \cdot DI_{2\text{блуст}} = 2 \cdot 0.3 = 0.6A$$

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

$DI2_{\text{блуст}}$ - уставка блокирующего токового органа с пуском по DI2;

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

3.3.5 Выбор уставки токового органа с пуском по приращению DI1

Выбор уставки токового органа с пуском по приращению DI1, действующего на блокировку

. Произведем отстройку от тока небаланса прямой последовательности при максимальном токе качаний, от изменения тока при тяговой нагрузке и всех небалансов максимального рабочего режима, связанных с погрешностями ТТ и фильтра.

Этот ПО предназначен для быстрого запуска ВЧ при трехфазных КЗ.

Уставку DI1_{бл уст} рассчитываем по формуле:

$$DI_{1\text{бл уст}} = k_{отс} \cdot DI_{2\text{бл уст}} = 4 \cdot 0.3 = 1.2 A$$

где $k_{отс}$ - коэффициент отстройки принимается равным $k_{отс}=4$;

DI2_{бл уст} - уставка блокирующего токового органа с пуском по DI2;

Выбор уставки токового органа с пуском по приращению DI1, действующего на отключение.

Уставку DI1_{от уст} рассчитываем по формуле:

$$DI_{1\text{от уст}} = k_{отс} \cdot DI_{2\text{от уст}} = 4 \cdot 0.6 = 2,4 A$$

где $k_{отс}$ - коэффициент отстройки принимается равным $k_{отс}=4$;

DI2_{от уст} - уставка отключающего токового органа с пуском по DI2.

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

3.3.6 Орган манипуляции. Коэффициент комбинированного фильтра токов

Так как расчет токов КЗ в АРМ производился с учетом тока нагрузки, то для каждого полукомплекта рассчитаем коэффициент К:

$$K = 1.5 \cdot \max((I_1^{(1,1)} / I_2^{(1,1)}) \text{ или } (I_1^{(1)} / I_2^{(1)}))$$

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

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

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

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

Для 2-го полукомплекта:

```

===== АРМ СРЗА г.Новосибирск ПК БРИЗ =====
ЗАДАНИЕ- СЕТЬ-ТРДУ_2010-06-16_ДЕЙСТВУЮЩАЯ ЭВА ДАТА-23.05.2016. ВРЕМЯ-13:07:57.
ВЕТВЬ      300-1580
НСМ        1
ВИД-КЗ     АВ
УЗЕЛ-КЗ    1270
НСМ        2
ВИД-КЗ     А0
УЗЕЛ-КЗ    1270
ПОДРЕЖИМ   1
-----
                Р Е З У Л Ь Т А Т Ы      Р А С Ч Е Т А
                  НСМ          1
                  ВИД-КЗ     АВ
УЗЕЛ-КЗ    1270
Упа=497.8/-0   Z1=0.787+j15.950   Z2=0.787+j15.950   Z0=1.518+j13.476
Замеры
(Іа, Ів, Іс)   (Іав, Івс, Іса)       (І1, І2, 3І0)
7050   -56     14101   -56          4131   -86
          300-1580      7052   125      7056   126      4010   -26
                      121    33        7050   123        0     0
                      (Ua, Ub, Uc)   (Uав, Uвс, Uса)   (U1, U2, 3U0)
153.46   -42     96.99   28        172.14   -0
                      150.70   -79      433.72   -66      116.17   -120
                      288.30   120      436.61   126        0.00    0
                  НСМ          2
                  ВИД-КЗ     А0
УЗЕЛ-КЗ    1270
Упа=497.8/-0   Z1=0.787+j15.950   Z2=0.787+j15.950   Z0=1.518+j13.476
Замеры
(Іа, Ів, Іс)   (Іав, Івс, Іса)       (І1, І2, 3І0)
7491   -83     8634   -84          2937   -85
          300-1580      1146   92        209   -177      2816   -85
                      1168   82        8627   95        5230   -79
                      (Ua, Ub, Uc)   (Uав, Uвс, Uса)   (U1, U2, 3U0)
74.34    -5      307.37   52        206.76   -1
                      274.95  -114      499.35   -90      81.58   -179
                      273.81  115      317.52  126      153.78  -177

```

$$K = 1.5 \cdot 4131 / 4010 = 2.3 \text{ или } K = 1.5 \cdot 2937 / 2816 = 1.56$$

===== АРМ СРЗА г.Новосибирск ПК БРИЗ =====

ЗАДАНИЕ- СЕТЬ-ТРДУ_2010-06-16_ДЕЙСТВУЮЩАЯ ЭВА ДАТА-23.05.2016. ВРЕМЯ-13:18:52.
 ВЕТВЬ 1270-1580
 НСМ 1
 ВИД-КЗ АВ
 УЗЕЛ-КЗ 300
 НСМ 2
 ВИД-КЗ А0
 УЗЕЛ-КЗ 300
 ПОДРЕЖИМ 1

```

-----
                Р Е З У Л Ь Т А Т Ы      Р А С Ч Е Т А
                  НСМ      1
                  ВИД-КЗ   АВ
УЗЕЛ-КЗ      300
Упа=499.4/-0  Z1=0.849+j15.521  Z2=0.849+j15.521  Z0=2.059+j14.965
                Замеры
(Іа, Ів, Іс)   (Іав, Івс, Іса)           (І1, І2, 3І0)
6049   -57     12098   -57           3420   -87
                1270-1580      6050   122           6054   120           3565   -27
145   -147     6052   125           0       0
                (Ua, Ub, Uc)       (Uав, Uвс, Uса)           (U1, U2, 3U0)
152.02   -44     83.22   26           167.68   -1
                147.14   -76           430.55   -66           119.72   -119
                287.39   120           435.61   125           0.00     0

                  НСМ      2
                  ВИД-КЗ   А0
УЗЕЛ-КЗ      300
Упа=499.4/-0  Z1=0.849+j15.521  Z2=0.849+j15.521  Z0=2.059+j14.965
                Замеры
(Іа, Ів, Іс)   (Іав, Івс, Іса)           (І1, І2, 3І0)
7489   -85     6984   -87           2256   -86
                1270-1580      541   -65           252     3           2401   -86
                504   -93           6989   95           8497   -85
                (Ua, Ub, Uc)       (Uав, Uвс, Uса)           (U1, U2, 3U0)
76.31   -7     305.27   52           206.84   -1
                273.82   -115           497.77   -90           80.63   -178
                273.41   115           320.31   126           152.01   -176
  
```

Для 1-го полукомплекта:

$$K = 1.5 \cdot 3420 / 3565 = 1.43 \text{ или } K = 1.5 \cdot 2256 / 2401 = 1.4$$

Принимаем $K = 6$

Определим коэффициент чувствительности манипуляции при несимметричных КЗ.

$$K = \min((I_2^{(1,1)} - (I_1^{(1,1)} / K)) \text{ или } ((I_2^{(1)} - (I_{\max \text{ раб}} / K)) / I_{2\text{блуст}})$$

где K - коэффициент комбинированного фильтра токов;

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

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

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

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

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

Для 2-го полукомплекта:

```

===== АРМ СРЗА г.Новосибирск ПК БРИЗ =====
ЗАДАНИЕ- СЕТЬ-ТРДУ_2010-06-16_ДЕЙСТВУЮЩАЯ ЭВА ДАТА-23.05.2016. ВРЕМЯ-13:25:25.
ВЕТВЬ      300-1580
НСМ        1
ВИД-КЗ     АВ
УЗЕЛ-КЗ    1270
НСМ        2
ВИД-КЗ     А0
УЗЕЛ-КЗ    1270
ПОДРЕЖИМ   1
ЭЛЕМЕНТ    536
ЭЛЕМЕНТ    535
ЭЛЕМЕНТ    534

```

```

-----
Р Е З У Л Ь Т А Т Ы      Р А С Ч Е Т А
Подрежим 1
ЭЛЕМЕНТ 536                (БЛОК №6                )
ЭЛЕМЕНТ 535                (БЛОК №5                )
ЭЛЕМЕНТ 534                (БЛОК №4                )
                        НСМ      1
                        ВИД-КЗ   АВ
УЗЕЛ-КЗ 1270
Упа=495.9/-0  z1=0.792+j16.407  z2=0.792+j16.407  z0=1.508+j13.500
Замеры
(Іа, Ів, Іс)      (Іав, Івс, Іса)      (І1, І2, 3І0)
6750   -56      13500   -56      3952   -86
      300-1580      6751   125      6755   126      3842   -26
                        110    33      6750   123      0      0
                        (Ua, Ub, Uc)      (Uав, Uвс, Uса)      (U1, U2, 3U0)
152.25  -42      92.86   28      170.36   -0
                        149.51  -78      431.77  -66      116.78  -120
                        287.14  120      434.63  126      0.00    0

```

```

                        НСМ      2
                        ВИД-КЗ   А0
УЗЕЛ-КЗ 1270
Упа=495.9/-0  z1=0.792+j16.407  z2=0.792+j16.407  z0=1.508+j13.500
Замеры
(Іа, Ів, Іс)      (Іав, Івс, Іса)      (І1, І2, 3І0)
7240   -84      8326   -84      2829   -85
      300-1580      1089   92      190   -177      2719   -85
                        1109   82      8320   95      5093   -79
                        (Ua, Ub, Uc)      (Uав, Uвс, Uса)      (U1, U2, 3U0)
72.03   -6      303.57   53      204.53   -1
                        272.91 -114      497.34  -90      82.65  -179
                        271.85  114      313.78  126      150.81 -177

```

$$K = (3842 - 3952 / 6 = 3.2 > 1.3 \text{ или } K = (2719 - 750 / 6) / 0.43 = 6 > 1.3$$

$$K_{\gamma} = 3,2$$

Примем $K = 3,2$

Для 1-го поукомплекта:

```

===== АРМ СРЗА г.Новосибирск ПК БРИЗ =====
ЗАДАНИЕ- СЕТЬ-ТРДУ_2010-06-16_ДЕЙСТВУЮЩАЯ ЭВА ДАТА-23.05.2016. ВРЕМЯ-13:23:08.
ВЕТВЬ      1270-1580
НСМ        1
ВИД-КЗ     АВ
УЗЕЛ-КЗ    300
НСМ        2
ВИД-КЗ     А0
УЗЕЛ-КЗ    300
ПОДРЕЖИМ   1
ЭЛЕМЕНТ    367

```

```

-----
Р Е З У Л Ь Т А Т Ы      Р А С Ч Е Т А
Подрежим 1
ЭЛЕМЕНТ 367                (2Г                )

```

		НСМ		1	
		ВИД-КЗ		АВ	
УЗЕЛ-КЗ 300					
U _{па} =495.5/0		Z ₁ =1.018+j17.326	Z ₂ =1.018+j17.326	Z ₀ =2.274+j17.436	
Замеры					
(I _а , I _в , I _с)		(I _{ав} , I _{вс} , I _{са})		(I ₁ , I ₂ , 3I ₀)	
4408	-56	8811	-57	2433	-87
	1270-1580	4406	122	4414	119
221	-148	4422	127	0	0
		(U _а , U _в , U _с)		(U _{ав} , U _{вс} , U _{са})	
147.11	-48	60.61	27	159.80	-0
		143.92	-72	426.44	-64
		284.66	120	429.69	124
				124.86	-120
				0.00	0

		НСМ		2	
		ВИД-КЗ		А0	
УЗЕЛ-КЗ 300					
U _{па} =495.5/0		Z ₁ =1.018+j17.326	Z ₂ =1.018+j17.326	Z ₀ =2.274+j17.436	
Замеры					
(I _а , I _в , I _с)		(I _{ав} , I _{вс} , I _{са})		(I ₁ , I ₂ , 3I ₀)	
5326	-85	4953	-88	1542	-85
	1270-1580	433	-56	383	2
400	-111	4968	97	6066	-85
		(U _а , U _в , U _с)		(U _{ав} , U _{вс} , U _{са})	
52.34	-6	297.97	53	201.79	-1
		275.31	-117	493.05	-90
		278.71	117	310.63	125
				82.93	-178
				200.65	-179

$$K = (2654 - 2433 / 6) = 2,2 > 1.3$$

$$K = ((1763 - 750 / 6) / 0.43) = 3,8 > 1.3$$

Примем $K = 2,2$

Определение коэффициента чувствительности манипуляции при симметричных КЗ

Для 2-го полукомплекта

```
===== АРМ СРЗА г.Новосибирск ПК БРИЗ =====
ЗАДАНИЕ- СЕТЬ-ТРДУ_2010-06-16_ДЕЙСТВУЮЩАЯ ЭВА ДАТА-23.05.2016. ВРЕМЯ-13:37:03.
ВЕТВЬ      300-1580
НСМ        1
ВИД-КЗ     АВС
УЗЕЛ-КЗ    1270
ПОДРЕЖИМ   1
ЭЛЕМЕНТ    536
ЭЛЕМЕНТ    535
ЭЛЕМЕНТ    534
```

```
-----
Р Е З У Л Ь Т А Т Ы   Р А С Ч Е Т А

Подрежим 1
ЭЛЕМЕНТ 536 (БЛОК №6 )
ЭЛЕМЕНТ 535 (БЛОК №5 )
ЭЛЕМЕНТ 534 (БЛОК №4 )
              НСМ      1
              ВИД-КЗ   АВС

УЗЕЛ-КЗ 1270
Упа=495.9/-0 Z1=0.792+j16.407 Z2=0.792+j16.407 Z0=1.508+j13.500

Замеры
(Іа, Ів, Іс) (Іав, Івс, Іса) (І1, І2, ІІ0)
7794 -86 13500 -56 7794 -86
300-1580 7794 154 13500 -176 0 0
7794 34 13500 64 0 0
(Іа, Ів, Іс) (Іав, Івс, Іса) (І1, І2, ІІ0)
53.61 -2 92.86 28 53.61 -2
53.61 -122 92.86 -92 0.00 0
53.61 118 92.86 148 0.00 0
```

$$K_{\div i \text{ ай нєи}} = \frac{\min(I_1^{(3)})}{K \cdot I_{2\text{ає оїо}}} = \frac{7,8}{6 \cdot 0,43} = 3$$

Для 1-го полукомплекта

```
===== АРМ СРЗА г.Новосибирск ПК БРИЗ =====
ЗАДАНИЕ- СЕТЬ-ТРДУ_2010-06-16_ДЕЙСТВУЮЩАЯ ЭВА ДАТА-23.05.2016. ВРЕМЯ-13:39:15.
ВЕТВЬ      1270-1580
НСМ        1
ВИД-КЗ     АВС
УЗЕЛ-КЗ    300
ПОДРЕЖИМ   1
ЭЛЕМЕНТ    367
```

```
-----
Р Е З У Л Ь Т А Т Ы   Р А С Ч Е Т А

Подрежим 1
ЭЛЕМЕНТ 367 (2Г )
              НСМ      1
              ВИД-КЗ   АВС

УЗЕЛ-КЗ 300
Упа=495.5/0 Z1=1.018+j17.326 Z2=1.018+j17.326 Z0=2.274+j17.436

Замеры
(Іа, Ів, Іс) (Іав, Івс, Іса) (І1, І2, ІІ0)
5087 -87 8811 -57 5087 -87
1270-1580 5087 153 8811 -177 0 0
5087 33 8811 63 0 0
(Іа, Ів, Іс) (Іав, Івс, Іса) (І1, І2, ІІ0)
34.99 -3 60.61 27 34.99 -3
34.99 -123 60.61 -93 0.00 0
34.99 117 60.61 147 0.00 0
```

$$K_{ч.мансим} = \frac{\min(I_1^{(3)})}{K \cdot I_{2бл.уст}} = \frac{5087}{6 \cdot 0,43} = 1,97$$

Чувствительность удовлетворительна.

3.3.7 Орган сравнения фаз. Выбор уставки по углу блокировки

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

Так как длина линии меньше 60 км принимаем $\Phi_{бл} = 50^\circ$

Уставки срабатывания шкафа дифференциально – фазной защиты типа ШЭ 2710 582 представлены в таблице 7.

Таблица 3.3. Уставки срабатывания шкафа ШЭ 2710 582

Уставки ПО	I _{ср} ПО I2 бл, А	0,85
	I _{ср} ПО I2 от, А	0,43
	I _{ср} ПО DI2 бл, А	0,3
	I _{ср} ПО DI2 от, А	0,6
	I _{ср} ПО DI1 бл, А	1,2
	I _{ср} ПО DI1 от, А	2,4
	I _{ср} ПО Iлбл, А	1,7
	I _{ср} ПО Iл от, А	2,2
	U _{ср} ПО U2 бл, В	6
	U _{ср} ПО U2 от, В	9,8
Уставки ОМ, ОСФ	К фильтра	6
	Угол блокировки	50
Уставки времени	t _{ср} , с	0,01

4.ОДНОФАЗНОЕ АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОВТОРНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ

На линии 500 кВ используется ОАПВ на микроэлектронной базе. ШЭ 2710 582. Данный тип АПВ имеет однофазное и трехфазное АПВ, контролирует наличие или отсутствие напряжения на линии и на системах шин, выполняет ускорение резервных защит, вводит на самостоятельное действие избиратели при разных АПВ и опробовании линий.

Регулируемые измерительные органы включают:

- избиратели поврежденной фазы (ИПФ);
- орган выявления вида повреждения (ОВП);
- реле тока обратной последовательности (РТОП);
- орган контроля погасания дуги подпитки (ОКПДУВ).

В логической части ОАПВ необходимо выбрать уставки элементов времени. Назначение и обозначение уставок приведены в таблице 4.

Таблица 4.1. Назначение и обозначение уставок

Регулируемый орган	Обозначение уставки	Назначение уставки
Пусковой орган	$I_{\text{ср_РТОП}}$	Ток срабатывания ПО по току обратной последовательности для кратковременного ввода на самостоятельное действие избирателя отключенной фазы
ОВП	$U_{\text{ср_РННП}}$	Напряжение срабатывания ПО по напряжению нулевой последовательности
	$I_{\text{ср_РТНП}}$	Ток срабатывания ПО по току нулевой последовательности с торможением
	$K_{\text{т_РТНП}}$	Коэффициент торможения ПО
	$I_{\text{ср_БТ}}$	Ток отсечки ПО по току
Орган КПД	$I_{\text{ср_РТНП_ОКПДУВ}}$	Ток срабатывания дополнительного ПО по току нулевой последовательности
	$U_{\text{ср_РН2_ОКПДУВ}}$	Напряжение срабатывания чувствительного ПО по фазному напряжению
Уставки времен	$t_{\text{ВВОД_ИПФ}}$	Ввод ИПФ на заданное время
	$t_{\text{сброс_ФП}}$	Сброс фиксации пуска
	$t_{\text{ср_ОАПВ_РП}}$	Расчетная пауза
	$t_{\text{ср_ОАПВ_АКР}}$	Расчетная пауза с АКР
	$t_{\text{резер_ИО_1ф_КЗ}}$	Резервирование отказа ИПФ при однофазном КЗ
	$t_{\text{резер_ИО_2ф_КЗ}}$	Резервирование отказа ИПФ при двухфазном КЗ
	$t_{\text{ОТФ_от_ОКПДУВ}}$	Задержка на отключение трех фаз от контроля погасания дуги и успешности включения
	«Готов. выключ.»	Время готовности выключателей В1, В2

4.1 Настройка избирателей фаз

Избирательные органы состоят из двухэлементного реле сопротивления, которое имеет характеристику срабатывания в комплексной плоскости в виде двух окружностей разного диаметра и разного наклона. Двухэлементное реле сопротивления включается на вторичные фазные напряжения U_a, U_b, U_c и токи I_a, I_b, I_c , компенсированные током нулевой последовательности.

$$\begin{cases} |X| < X_{уст\ ИФФ} \\ \left| R - \frac{X}{tg\varphi_1} \right| < R_{уст\ ИФФ} \\ X > X_{уст\ ИФФ1} \\ \frac{X}{tg\varphi_2} - R < 0 \end{cases} \quad \begin{cases} |X| < X_{уст\ ИПФК} \\ \left| R - \frac{X}{tg\varphi_1} \right| < R_{уст\ ИПФК} \\ \left(X + \frac{X_{уст\ ИПФК}}{8} \right) \cdot \frac{1}{tg\varphi_2} - R < 0 \\ \left(\frac{X_{уст\ ИПФК}}{8} \right) - R \cdot tg\varphi_3 + X > 0 \end{cases}$$

Алгоритм избирателя поврежденной фазы вычисляет замер комплексного сопротивления Z по формуле:

$$Z = \frac{\overline{U_\Phi}}{\overline{I_\Phi} + k_{\Sigma M} \cdot (\overline{k_1} \cdot 3\overline{I_0} + \overline{k_2} \cdot 3\overline{I_{0//}})}, \text{ где}$$

$$\overline{k_1} = \frac{Z_{0\gamma\delta} - Z_{1\gamma\delta}}{3 \cdot Z_{1\gamma\delta}};$$

$$\overline{k_2} = \frac{M_{0\gamma\delta}}{3 \cdot Z_{1\gamma\delta}}.$$

где Φ - фаза А, В, и С.

$Z_{0\Sigma M} = 5,356 + j16,238$ - комплексное сопротивление для составляющих нулевой последовательности защищаемой линии;

$Z_{1\Sigma M} = 0,722 + j6,839$ - комплексное сопротивление для составляющих прямой последовательности защищаемой линии;

$M_{0УМ} = 0$ - удельное комплексное сопротивление взаимоиндукции с параллельной линией для составляющей нулевой последовательности;

$k_{УМ} = 1$ - коэффициент степени компенсации токов нулевой последовательности.

Коэффициент уменьшения компенсации «нижней» характеристики - регулируемый. В начале расчета он принимается равным $k_{УМ} = 1$.

Расчет уставок «верхней» и «нижней» характеристик с полным коэффициентом компенсации.

Для настройки избирательных органов рассчитываем токи и напряжения каждой из фаз при КЗ в начале, середине и в конце линии с помощью программы АРМ СРЗА.

Были выполнены замеры в программе АРМ СРЗА.

$$R_{\text{раб. мин}} = 0,9 \cdot U_{\text{ном}} / (\sqrt{3} \cdot I_{\text{мах. раб}}) \cdot \cos(\Phi_n) = 348,77 \text{ Ом}$$

$$X_{\text{раб. мин}} = 0,9 \cdot U_{\text{ном}} / (\sqrt{3} \cdot I_{\text{мах. раб}}) \cdot \sin(\Phi_n) = 126,94 \text{ Ом}$$

где $U_{\text{ном}}$ - номинальное напряжение ВЛ;

$I_{\text{мах. раб}}$ - максимальный рабочий ток нагрузки;

Φ_n - угол нагрузки

Для комплекта 1772 (на ПС Сибирская)

В ПК АРМ рассчитаем токи и напряжения фаз (3I0, I_A, I_B, I_C, U_A, U_B, U_C) при однофазном на землю в начале, середине и конце защищаемой линии.

===== АРМ СРЗА г.Новосибирск ПК БРИЗ =====
ЗАДАНИЕ- СЕТЬ-ТРДУ_2010-06-16_ДЕЙСТВУЮЩАЯ ЭВА ДАТА-23.05.2016. ВРЕМЯ-14:39:05.
ВЕЛИЧИНА I A I B I C 3 I 0 U A U B U C

ВЕТВЬ 300-1580

НСМ 1

ВИД-КЗ A0

УЗЕЛ-КЗ 300 1270

ПРОМ-УЗЛ 300-1580 L=0.5 УЗП=ПРОМ N=0 NN=0 NK=1

```

-----
                Р Е З У Л Ь Т А Т Ы      Р А С Ч Е Т А
                  НСМ                      1
                  ВИД-КЗ                  A0

УЗЕЛ-КЗ 300
Упа=499.4/-0   z1=0.849+j15.521   z2=0.849+j15.521   z0=2.059+j14.965
Замеры
300-1580  IA    7493   95          IB    524   113          IC    494   90
              3I0   8483   95
              UA    0.00   0          UB   280.11 -120          UC   293.72 119

ВИД-КЗ A0
УЗЕЛ-КЗ 1270
Упа=497.8/-0   z1=0.787+j15.950   z2=0.787+j15.950   z0=1.518+j13.476
Замеры
300-1580  IA    7491  -83          IB   1146   92          IC   1168   82

```

```

3I0      5230  -79
UA      74.34  -5      UB      274.95  -114      UC      273.81  115
ВИД-КЗ   А0
ПРОМ-УЗЛ 300-1580  L=0.5  УЗП=ПРОМ N=0  NN=0  NK=1
Uпа=499.0/-0  Z1=0.866+j15.806  Z2=0.866+j15.806  Z0=2.107+j15.080
Замеры
300-1580  IA      10286  -85      IB      624  106      IC      615  86
(300-ПРОМ) 3I0      9065  -85
UA      20.18  -7      UB      279.15  -119      UC      289.48  118
===== АРМ СРЗА г.Новосибирск ПК БРИЗ =====

```

Рассчитаем комплексное сопротивление избирателя при КЗ во всех случаях:

Результаты сведем в таблицу 4.2

Таблица 4.2. Список необходимых замеров

ТочкаКЗ	Za, Ом Фаза, град	3a, Ом	Zb, Ом Фаза, град	3b, Ом	Zc, Ом Фаза, град	3c, Ом
Начало линии	0,1 -5	0.02	43.56 165.96	8.7	45.83 46.68	9.04
Середина линии	35,6 87.25	7	46.77 -6.6	9.35	51.6 -133.47	10.32
Конец линии	84,14 84.63	16.8	102.89 -4.74	20.58	107.14 -139.57	21.25

Пример расчета для Z_a при КЗ в конце линии:

$$\bar{k}_1 = \frac{Z_{0y\partial} - Z_{1y\partial}}{3 \cdot Z_{1y\partial}} = 0,48 - j \cdot 0,18 = 0,5 \cdot e^{-j \cdot 20,31^\circ}$$

$$\bar{k}_1 = \frac{M_{0y\partial}}{3 \cdot Z_{1y\partial}} = \frac{0}{3 \cdot (0,72 + j \cdot 6,83)} = 0$$

$$Z = \frac{\bar{U}_\phi}{\bar{I}_\phi + k_{ym} \times (\bar{k}_1 \times 3\bar{I}_0 + \bar{k}_2 \times 3\bar{I}_{0//})} = \frac{74,34 \cdot e^{-j \cdot 5^\circ}}{7,5 \cdot e^{-j \cdot 83^\circ} + 1 \cdot (0,5 \cdot e^{-j \cdot 20,31^\circ} \cdot 5,2 \cdot e^{j \cdot 101^\circ})} = 6,72 \cdot e^{j \cdot 84,63^\circ} \text{ Ом}$$

$$3_A = 35,6 \cdot e^{j \cdot 87,25^\circ} \cdot 0,2 = 7 \text{ Ом}$$

Определим угол максимальной чувствительности

Угол максимальной чувствительности Ф_{мч} при вводе в защиту параметров линии рассчитывается алгоритмом защиты.

$$\Phi_{мч} = \arctg(X_{1y\partial} / R_{1y\partial}) = \arctg(6,84 / 0,72) = 84^\circ$$

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

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

Выберем уставку $X_{\text{устИПФ}}$ – координаты верхней точки пересечения характеристики с осью X .

Координата верхней точки пересечения характеристики с осью X определяется исходя из надежного охвата всей длины линии.

Длина линии составляет $\approx 24 \text{ км}$, что $< 150 \text{ км}$, значит

$$X_{\text{устИПФ}} = 2 \cdot X_{1\text{уд}} \cdot l = 2 \cdot 0,285 \cdot 24 = 13,68 \text{ Ом}$$

Определим коэффициент чувствительности в направлении угла линии:

$$K_{\text{ч}} = \frac{X_{\text{устИПФ}}}{X_{\text{max ПЕРЕХ}}} = \frac{13,68}{16,12} = 0,849$$

Так как $K_{\text{ч}} = 0,849 < 1,3$, то необходимо увеличить значение $X_{\text{устИПФ}}$ до

$$X_{\text{устИПФ}} = k_{\text{н}} \cdot X_{\text{max ПЕРЕХ}} = 1,3 \cdot 16,121 = 20,957 \text{ Ом}$$

$k_{\text{н}} = 1,3$ – коэффициент надежности;

$X_{\text{max ПЕРЕХ}} = 16,121$ – максимальное значение X из всех замеров по определению чувствительности (то есть, то что выше оси X).

Выбор уставки $X_{\text{устИПФ1}}$ – координаты нижней точки пересечения характеристику

с осью X : $X_{\text{устИПФ1}} = 0,1 \cdot X_{\text{устИПФ}} = 2,096 \text{ Ом}$

$R_{\text{устИПФ}}$ – координаты точки пересечения правой боковой стороны (или ее продолжения) характеристики с осью R .

Уставка определяется из уравнения прямой

$$R_{\text{устИПФ}} = k_{\text{н1}} \cdot R_i - k_{\text{н2}} \cdot X_i / \text{tg} \Phi_{\text{мч}} = 0,8 \cdot 31,44 - 1,2 \cdot 33,34 / \text{tg} 84 = 20,95 \text{ Ом}$$

где R_i , X_i – координаты самой левой точки из находящихся справа по отношению к линии максимальной чувствительности в I или IV квадранте;

$k_{н1}$ — коэффициент надежности – для учета погрешностей замера принимается равным $k_{н1}=0,8$;

$k_{н2}$ — коэффициент надежности – для учета погрешностей замера –принимается равным $k_{н2}=1,2$.

Уставку $R_{уст\ ИПФК}$ первоначально можно принять

$$R_{уст\ ИПФК} = R_{уст\ ИПФ}.$$

Построим рассчитанные характеристики срабатывания избирателей ОАПВ в комплексной плоскости вторичных сопротивлений.

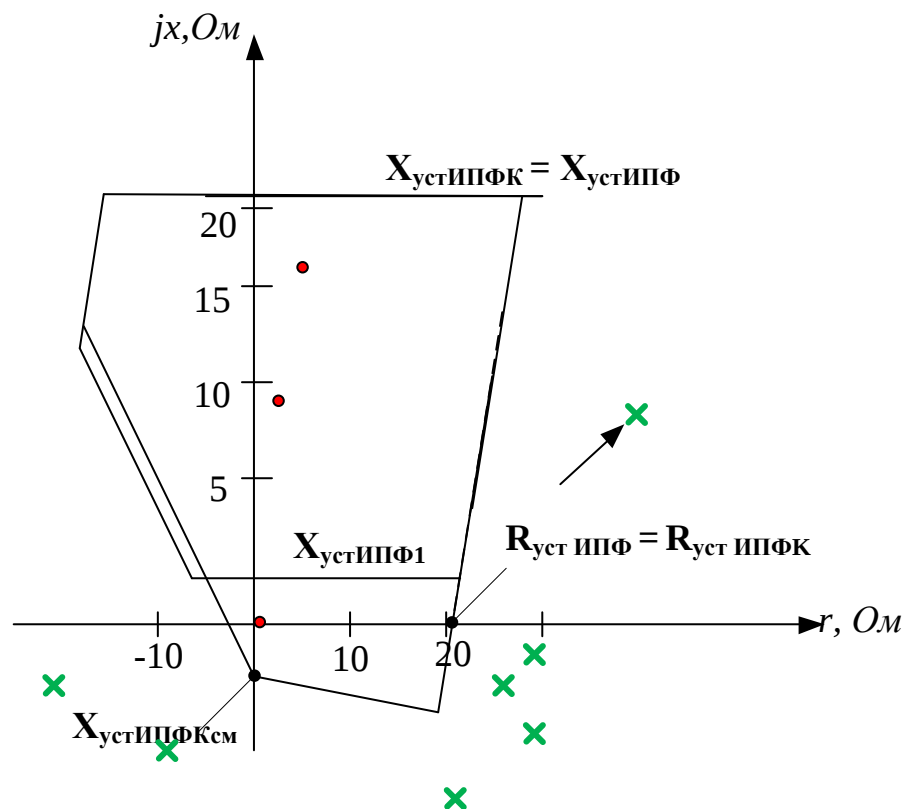


Рисунок 4.1. Характеристики срабатывания ИО сопротивления избирателей

Для комплекта 1771 (на НВГРЭС)

Для определения U_ϕ и I_ϕ при различных КЗ (начало, середина и конец линии) проведем необходимые расчеты в АРМ СРЗА (расчет ТКЗ):

```

ЗАДАНИЕ- СЕТЬ-ТРДУ_2010-06-16_ДЕЙСТВУЮЩАЯ ЭВА ДАТА-23.05.2016. ВРЕМЯ-14:47:56.
ВЕЛИЧИНАТАIВIС 3I0 UAUBUC
ВЕТВЬ 1270-1580
НСМ 1
ВИД-КЗ A0
УЗЕЛ-КЗ 300 1270
ПРОМ-УЗЛ 300-1580 L=0.5 УЗП=ПРОМ N=0 NN=0 NK=1
-----
Р Е З У Л Ь Т А Т Ы Р А С Ч Е Т А
НСМ 1
ВИД-КЗ A0
УЗЕЛ-КЗ 300
Упа=499.4/-0 Z1=0.849+j15.521 Z2=0.849+j15.521 Z0=2.059+j14.965
Замеры
1270-1580 IA 7489 -85 IB 541 -65 IC 504 -93
3I0 8497 -85
UA 76.31 -7 UB 273.82 -115 UC 273.41 115
ВИД-КЗ A0
УЗЕЛ-КЗ 1270
Упа=497.8/-0 Z1=0.787+j15.950 Z2=0.787+j15.950 Z0=1.518+j13.476
Замеры
1270-1580 IA 7495 97 IB 1155 -86 IC 1180 -99
3I0 5217 101
UA 0.00 0 UB 275.04 -118 UC 285.11 117
ВИД-КЗ A0
ПРОМ-УЗЛ 300-1580 L=0.5 УЗП=ПРОМ N=0 NN=0 NK=1
Упа=499.0/-0 Z1=0.866+j15.806 Z2=0.866+j15.806 Z0=2.107+j15.080
Замеры
1270-1580 IA 8160 -86 IB 639 -73 IC 626 -96
3I0 9400 -86
UA 66.18 -8 UB 274.05 -115 UC 274.81 115

```

Рассчитаем комплексное сопротивление избирателя при КЗ во всех случаях:

Результаты сведем в таблицу 4.3

Таблица 4.3. Список необходимых замеров

ТочкаКЗ	Za, Ом Фаза, град	За, Ом	Zb, Ом Фаза, град	Зb, Ом	Zc, Ом Фаза, град	Зс, Ом
Начало линии	0 0	0	143.89 -20.66	28.78	148.23 -20.66	29.65
Середина линии	14.07 81.87	2.8	186.84 -20.9	37.37	187.69 -147.68	37.54
Конец линии	16.29 98.23	3.26	194.59 -20.1	38.92	194.53 -147.68	38.9

Пример расчета для Z_A при КЗ в середине линии:

$$\bar{k}_1 = \frac{Z_{0y\partial} - Z_{1y\partial}}{3 \cdot Z_{1y\partial}} = 0,48 - j \cdot 0,18 = 0,5 \cdot e^{-j \cdot 20,31^\circ}$$

$$\bar{k}_1 = \frac{M_{0y\partial}}{3 \cdot Z_{1y\partial}} = \frac{0}{3 \cdot (0,72 + j \cdot 6,83)} = 0$$

$$Z = \frac{\bar{U}_\phi}{\bar{I}_\phi + k_{ym} \times (\bar{k}_1 \times 3\bar{I}_0 + \bar{k}_2 \times 3\bar{I}_{0//})} = \frac{66,18 \cdot e^{-j \cdot 8^\circ}}{8,16 \cdot e^{-j \cdot 86^\circ} + 1 \cdot (0,5 \cdot e^{-j \cdot 20,31^\circ} \cdot 9,4 \cdot e^{j \cdot 86^\circ})} =$$

$$= 14,07 \cdot e^{j \cdot 98,23^\circ} \text{ Ом}$$

$$Z_A = 14,07 \cdot 0,2 = 2,8 \text{ Ом}$$

Длина линии составляет $\approx 24 \text{ км}$, что $< 150 \text{ км}$, значит

Выбор уставки $R_{уст \text{ ИПФ}}$ - координаты точки пересечения правой боковой стороны (или ее продолжения) характеристики с осью R:

Необходимо убрать все замеры, которые выше прямой $X_{уст \text{ ИПФ}}$ или прямой $X = 0,8 \cdot X_{уст \text{ ИПФ}} = 16,766 \text{ Ом}$

Провести прямую через начало координат по углом $\Phi_{мч} = 84^\circ$

Тогда
$$R_{уст \text{ ИПФ}} = \frac{(k_{H1} \cdot R_i - k_{H2} \cdot X_i)}{\text{tg}(\Phi_{мч})} = \frac{(0,8 \cdot (182,747) - 1,2 \cdot (-66,844))}{9,473} = 23,901 \text{ Ом}$$

$k_{H1} = 0,8$ - коэффициент надежности;

$k_{H2} = 1,2$ - коэффициент надежности;

R_i, X_i - координаты самой левой точки их находящихся справа по отношению к линии максимальной чувствительности в I или IV квадранте.

$$(R_6 + jX_6 = 182,747 - j66,844);$$

Примем, что $R_{уст \text{ ИПФК}} = R_{уст \text{ ИПФ}} = 23,901$, $X_{уст \text{ ИПФК}} = X_{уст \text{ ИПФ}} = 20,957 \text{ Ом}$

Построим данные прямые и получим характеристику реле сопротивления:

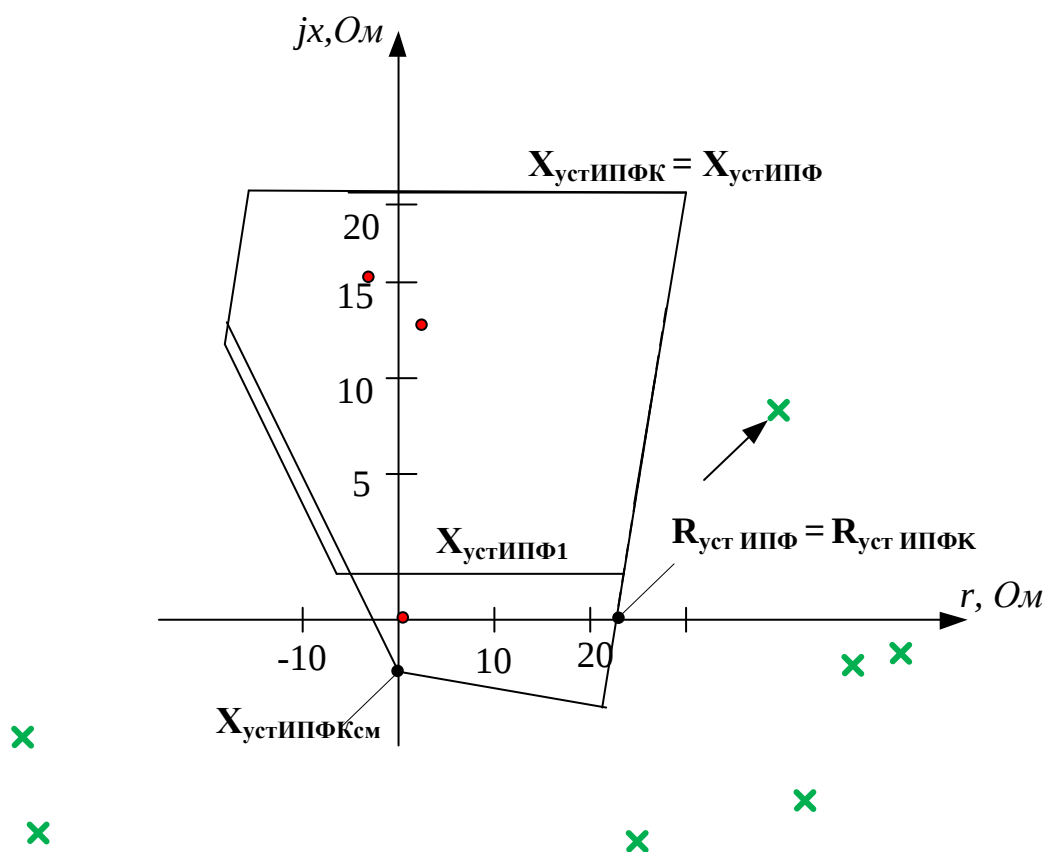


Рисунок 4.2. Характеристики срабатывания ИО сопротивления избирателей для комплекта 1771 (со стороны НВГРЭС)

4.2 Выбор уставок органа ОВП

Выражение для расчета тока срабатывания $I_{\text{ср_РТНП}}$:

$$I_{\text{ср_РТНП}} = \max(I_{\text{ср_0}}; K_T (I_{\text{ф.МАКС}}^{(2)} - I_{\text{НТ}}))$$

где $I_{\text{ср_0}}$ - начальный ток срабатывания реле РТНП;

$I_{\text{НТ}}$ – ток начала торможения;

K_T - коэффициент торможения;

$I_{\text{ф.МАКС}}^{(2)}$ - максимальный фазный ток при двухфазном КЗ.

Использование торможения от среднего значения из трех фазных величин позволяет иметь сильное торможение при двухфазных КЗ, когда средний фазный ток равен максимальному, и в то же время слабое торможение при однофазных КЗ, когда средний ток определяется током одной из неповрежденных фаз.

Для выбора характеристики срабатывания органа воспользуемся зависимостью тока небаланса ЛНБ в нулевом проводе от величины тока для типовых трансформаторов тока при двухфазных КЗ сверхвысокого напряжения. Воспользуемся зависимостью $I_{\text{НБ}} = f(I)$ для выбора характеристики реле РТНП (рисунок 4.3)

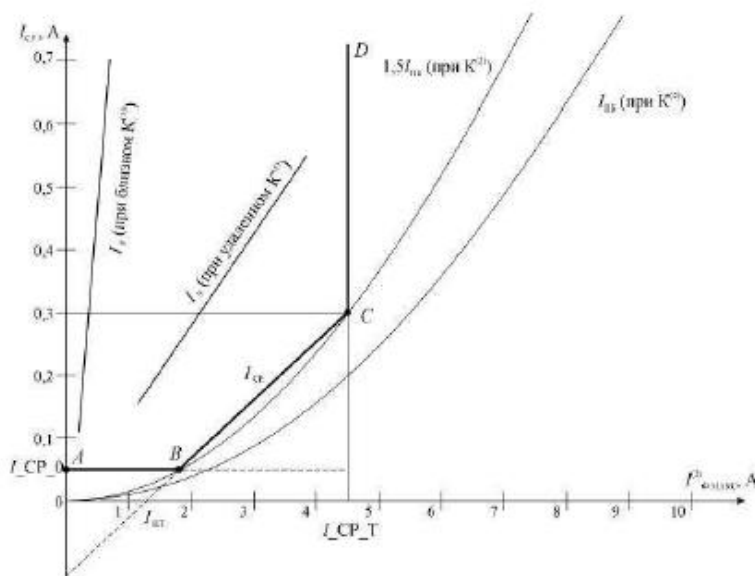


Рисунок 4.3. Характеристика срабатывания по току ОВП

Учитывая опыт предшествующих разработок, примем начальный ток срабатывания $I_{\text{ср}_0} = 0,05 \text{ А}$.

С некоторым запасом (учитывая, что максимальный вторичный ток средней фазы $I_{\text{Ф СРЕД}}$ (например, фазы В при $K^{(1)}$ на фазе А) при КЗ на ВЛ во всех реальных режимах работы сети 220-750 кВ не превышает 4 А) ток срабатывания блокирующего тормозного реле примем равным 4,5 А.

Уставка $I_{\text{ср}_\text{РТНП}} = 0,05 \text{ А}$

Примем уставку коэффициента торможения реле $K_{\text{т}_\text{РТНП}} = 0,1$.

Уставка блокирующего токового реле по току торможения равна:

$I_{\text{ср}_\text{БТ}} = 5,0 \text{ А}$

Напряжение $U_{\text{ср}_\text{РНП}}$ отстроим от измеренного напряжения небаланса ($U_{0\text{НБ}}$) в цепях напряжения $3U_0$

$$u_{0\text{НБ}} = \frac{f_{\text{ТН}} \cdot K_{\text{ПЕР}} \cdot U_{\text{СРНФ}}}{n_{U\Delta}} = \frac{0,01 \cdot 1 \cdot 525000 / \sqrt{3}}{500000 / 100 / \sqrt{3}} = 3,5$$

$$U_{\text{ср}_\text{РНП}} = K_{\text{ОТС}} \cdot U_{0\text{НБ}} = 1,25 \cdot 3,5 = 4,38 \text{ В}$$

Проверим чувствительность:

```
===== АРМ СРЗА г.Новосибирск ПК БРИЗ =====
ЗАДАНИЕ- СЕТЬ-ТРДУ_2010-06-16_ДЕЙСТВУЮЩАЯ ЭВА ДАТА-23.05.2016. ВРЕМЯ-15:45:04.
ВЕТВЬ      300-1580
НСМ        1
ВИД-КЗ     А0
УЗЕЛ-КЗ    1270
ПОДРЕЖИМ   1
ЭЛЕМЕНТ     536
ЭЛЕМЕНТ     535
ЭЛЕМЕНТ     534
```

```
-----
Р Е З У Л Ь Т А Т Ы      Р А С Ч Е Т А
Подрежим      1
ЭЛЕМЕНТ      536          (БЛОК №6          )
ЭЛЕМЕНТ      535          (БЛОК №5          )
ЭЛЕМЕНТ      534          (БЛОК №4          )
              НСМ        1
              ВИД-КЗ     А0
УЗЕЛ-КЗ      1270
Упа=495.9/-0  z1=0.792+j16.407  z2=0.792+j16.407  z0=1.508+j13.500
              Замеры
              (Ia, Ib, Ic)      (Iaв, Ibс, Ica)      (I1, I2, 3I0)
7240   -84      8326   -84      2829   -85
              300-1580      1089   92      190   -177      2719   -85
              1109   82      8320   95      5093   -79
              (Ua, Ub, Uc)      (Uав, Ubс, Uca)      (U1, U2, 3U0)
72.03   -6      303.57   53      204.53   -1
              272.91   -114      497.34   -90      82.65   -179
              271.85   114      313.78   126      150.81   -177
```

$$K_{\text{х БХ}} I = 3I_0 / 0,05 = 5 / 0,05 > 2 \quad K_{\text{ч РНП}} = 3U_0 / U_{\text{ср}_\text{РНП}} = 30 / 4,38 = 6,8$$

Выбор уставок реле тока обратной последовательности

Ток срабатывания РТОП ($I_{\text{ср_РТОП}}$) выберем по условию обеспечения чувствительности ($K_{\text{Ч}} = 1,5$).

```
===== АРМ СРЗА г.Новосибирск ПК БРИЗ =====
ЗАДАНИЕ- СЕТЬ-ТРДУ_2010-06-16_ДЕЙСТВУЮЩАЯ ЭВА ДАТА-23.05.2016. ВРЕМЯ-15:47:54.
ВЕТВЬ      300-1580
НСМ        1
ВИД-КЗ     АВ
УЗЕЛ-КЗ    1270
ПОДРЕЖИМ   1
ЭЛЕМЕНТ    536
ЭЛЕМЕНТ    535
ЭЛЕМЕНТ    534
```

```
-----
Р Е З У Л Ь Т А Т Ы   Р А С Ч Е Т А
Подрежим 1
ЭЛЕМЕНТ 536          (БЛОК №6          )
ЭЛЕМЕНТ 535          (БЛОК №5          )
ЭЛЕМЕНТ 534          (БЛОК №4          )
                     НСМ      1
                     ВИД-КЗ   АВ
УЗЕЛ-КЗ 1270
Упа=495.9/-0   Z1=0.792+j16.407   Z2=0.792+j16.407   Z0=1.508+j13.500
                     Замеры
(Іа, Ів, Іс)      (Іав, Івс, Іса)      (І1, І2, І10)
6750   -56      13500   -56      3952   -86
          300-1580      6751   125      6755   126      3842   -26
                     110   33      6750   123      0   0
                     (Ua, Ub, Uc)      (Uав, Uвс, Uса)      (U1, U2, 3U0)
152.25   -42      92.86   28      170.36   -0      116.78   -120
                     149.51   -78      431.77   -66      0.00   0
                     287.14   120      434.63   126

```

$$I_{\text{ср_РТОП}} = I_2 / 1.5 = 3.84 / 1.5 = 2.56$$

4.3 Выбор уставок органов контроля погасания дуги подпитки (ОКПДУВ)

Выберем напряжение срабатывания реле фазного напряжения и РТНП исходя из требуемой чувствительности $K_{\text{ч}} = 1,5$.

$$U_{\text{ср_РН2}} = (U_{\text{Н}} * (1 - \mu)) / (3 + 1,5\mu)$$

$$\mu = B_0 / B_1 = 0,06 \text{ См} / 0,15 \text{ См} = 0,4$$

$$U_{\text{ср_РН2}} = (U_{\text{Н}} * (1 - \mu)) / (3 + 1,5\mu) = 83,33 \text{ кВ}$$

$$\text{Во вторичных величинах } U_{\text{ср_РН2}} = 16,67 \text{ В}$$

Выберем напряжение срабатывания блокирующего реле РТНП исходя из требуемой чувствительности $K_{\text{ч}} = 2$.

$$I_{\text{ср_РТНП_ОКПДУВ}} = U_{\text{ср_РН2}} / (2 * (Z_0 - Z_1) / 3) = 16.67 \text{ В} / 1.37 \text{ Ом} = 12,26 \text{ А}$$

4.3 Время действия АПВ

Линия с двухсторонним питанием.

Ток дуги подпитки $I_{\text{д}}$ приближенно рассчитывается нижеприведенным выражением.

Для ВЛ 500 кВ:

$$I_{\text{д}} = 0,13 \cdot l = 0,13 \cdot 23,5 = 3,1 \text{ А}$$

Окончательные выражения для расчетных пауз ОАПВ для ВЛ 330, 500 и 750 кВ различной длины:

$$t_{\text{ср ОАПВ РП}} = 0,4 + 0,048 \cdot 10^{-4} \cdot 23^2 = 0,403 \text{ с}$$

Выдержка времени на ОТФ выбирается по условию отстройки (Δt) от расчетной паузы $t_{\text{ср. ОАПВ РП}}$.

$$t_{\text{ОТФ}} = t_{\text{ср ОАПВ РП}} + \Delta t = 0,403 + 0,3 = 0,703 \text{ с}$$

Выдержка времени на сброс фиксации пуска ($t_{\text{сброс_ФП}}$ или время возврата схемы ОАПВ на элементе $DT2$) выбирается по условию отстройки (запас Δt) от цикла ОАПВ с расчетной паузой и ОТФ.

$$t_{\text{сброс_ФП}} = t_{\text{ОТФ}} + \Delta t = 0,703 + 0,5 = 1,203 \text{ с}$$

Выдержка времени на ввод ИПФ на самостоятельное действие выбирается исходя из времени развития качаний до такой степени, когда становится возможным срабатывание ИПФ.

$$t_{\text{ИПФ}} = 0,25 \text{ с}$$

Величины выдержек времени – резервирование отказа ИПФ при однофазном КЗ и резервирование отказа ИПФ при двухфазном КЗ.

$$t_{\text{резер ИО1фКЗ}} = t_{\text{ОВ}}^I + 60 \text{ мс} = 60 + 60 = 120 \text{ мс}$$

$$t_{\text{резер ИО2фКЗ}} = t_{\text{ОВ}}^I + t_{\text{ОВ}}^{\text{II}} + 110 \text{ мс} = 60 + 60 + 110 = 230 \text{ мс}$$

Полученные данные занесем в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 Уставки и параметры срабатывания ОАПВ ШЭ 2710 582

Избиратели фаз	Хустипф, Ом	13,68
	Хуст ипф1, Ом	2,096
	Рустипф, Ом	20,95
	Хустипфк, Ом	13,68
	Рустипфк, Ом	20,95
	Кум	1
	ІсрРТОП, А	2,56
Орган ОВП	UсрРННП, В	4,38
	ІсрРТНП, А	0,05
	КтРТНП	6,8
	ІсрБТ, А	5
Орган КПД	ІсрРТНП_ОКПД, А	12,3
	UсрРН2_ОКПД, В	16,67
Уставка времени	Ввод ИПФ на t, с	0,25
	Сброс ФП, с	1,203
	РП, с	0,4
	РП с АКР, с	0,403
	Резер ИО 1ф КЗ, с	0,12
	Резер ИО 2ф КЗ, с	0,23
	ОТФ от ОКПДУВ, с	0,703
	tготвыкл, с	20

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании приведенных результатов следуют обобщающие выводы:

- микроэлектронная аппаратура РЗА не позволяет в полном объеме решить проблему требуемой правильной настройки. В связи с этим необходимы изучение и исследования по применению микропроцессорных РЗА, поиски новых более эффективных критериев, алгоритмов и разработки на их основе новых, как правило, микропроцессорных устройств и систем РЗА;
- полученные результаты при использовании микроэлектронной аппаратуры имеет некоторую перспективу в нашей стране, пока микропроцессорных комплектов РЗА внедрено мало и они заметно дороже микроэлектронных. Результаты можно непосредственно использовать как эскизный вариант для рабочего проектирования, либо в практике расчетных групп эксплуатационных организаций энергосистем, в сфере обслуживания которых находятся средства РЗА всех поколений.

Принятое решение осуществить релейную защиту и АПВ линии 500 кВ на базе комплекса защит линии ШЭ 2710 производства НПП «ЭКРА». Достигнутая чувствительность ступеней ТЗНП удовлетворительна. Уставки разрешающего реле мощности были выбраны исходя из чувствительности. Блокирующее реле мощности из работы выведено, так как не проходит по чувствительности, при предельных возможных значениях уставок. Чувствительность и селективность избирателей поврежденной фазы ОАПВ достигалась путем отстройки установки избирателя поврежденной фазы от погрешности замеров, либо изменением коэффициента степени компенсации токов нулевой последовательности; требуемая чувствительность органа

выявления повреждения получена в связи техническими ограничениями на минимальное значение параметра реагирования.

Список использованных источников

1. Неклепаев Б. Н., Крючков И. П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.: ил.
2. Правила устройств электроустановок - 6-е изд. - М.: Энергоатомиздат, 1985. – 640 с
3. Шестакова В.В., Шмойлов А.В., Юдин С.М. Проектирование устройств релейной защиты и автоматики в ЭЭС
4. Федосеев А. М., Федосеев М. А. Релейная защита электроэнергетических систем, - 2-е изд., перераб. и доп. - М: Энергоатомиздат, 1992. - 528 с.: ил.
5. Руководящие указания по релейной защите. Выпуск 6. Устройство резервирования при отказе выключателей 35 – 500 кВ - – М.:Энергия, 1966-151 с
6. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 7. Дистанционная защита линий 35 – 330 кВ – М.:Энергия, 1966-172 с
7. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 9. Дифференциально – фазная высокочастотная защита линий 110 – 330 кВ – М.:Энергия, 1972-172 с
8. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 11. Расчеты токов короткого замыкания для релейной защиты и системной автоматики в сетях 110-750 кВ – М.:Энергия, 1979-135 с
9. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 12. Токовая защита нулевой последовательности от замыканий на землю линий 110 – 500 кВ – М.:Энергия, 1980-112 с
10. Методические указания по выбору параметров срабатывания дифференциально – фазной и высокочастотной микропроцессорных защит сетей 220 кВ и выше, устройств АПВ сетей 330 кВ и выше производства ООО НПП «ЭКРА». Стандарт ОАО «СО ЕЭС» - Москва, 2011 – 85с

Приложение А. Схема электрических соединений и карта селективности.
ФЮРА.3710000.181.Э4

Приложение Б. Совмещенная схема прямой, обратной и нулевой последовательности ФЮРА.3710000.182.Э4

