

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Реконструкция РП 6 кВ предприятия жилищно-коммунальной сферы

Обучающийся

В.А. Стуков

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., О.В. Самолина

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2022

Аннотация

Цель работы – обеспечение надежного электроснабжения потребителей, получающих питание от высоковольтного распределительного пункта напряжением 6 кВ, жилого микрорайона «Боровики» в Дзержинском районе г.Перми.

В выпускной квалификационной работе выполнена реконструкция РП-6 кВ предприятия жилищно-коммунальной сферы, разработана схема РП-6 кВ, разработана схема электроснабжения микрорайона, выбрано оборудование, выбрана коммутационная аппаратура. Произведен выбор схемы и элементов релейной защиты с учетом надежности электроснабжения.

Рассчитаны токи короткого замыкания, релейная защита линий и трансформаторов подстанций 6/0,4 кВ.

Выпускная квалификационная работа на тему: «Реконструкция РП-6 кВ предприятия жилищно-коммунальной сферы» включает в себя пояснительную записку, состоящую из 72 страниц, 6 рисунков, 16 таблиц, и 6 листов графического материала.

Содержание

| | |
|--|----|
| Введение | 4 |
| 1 Анализ надежности системы электроснабжения объекта | 6 |
| 1.1 Характеристика объекта электроснабжения | 6 |
| 1.2 Характеристика оборудования распределительного пункта 6 кВ (РП-6 кВ) | 7 |
| 1.3 Разработка технических предложений и рекомендаций по реконструкции РП-6 кВ | 10 |
| 1.4 Обзор современных средств РЗА | 14 |
| 2 Реконструкция коммутационной аппаратуры и устройств релейной защиты распределительного устройства 6 кВ | 18 |
| 2.1 Расчет нагрузок микрорайона | 18 |
| 2.2 Выбор подстанций ТП-6/0,4 кВ | 27 |
| 2.3 Выбор оборудования распределительного пункта РП-6 кВ | 32 |
| 2.4 Расчет токов короткого замыкания | 39 |
| 3 Реконструкция РЗА РП-6 кВ | 49 |
| 3.1 Расчет защиты трансформатора 6/0,4кВ | 49 |
| 3.1.1 Расчет токовой отсечки трансформатора | 49 |
| 3.1.2 Расчет максимальной токовой защиты | 51 |
| 3.1.3 Защита от перегрузки ANSI 50/51 | 53 |
| 3.2 Расчет защиты кабельных линии 6 кВ: W2 и W3 | 54 |
| 3.3 Определение времени срабатывания защит | 58 |
| 4 Расчет контура заземления распределительного пункта | 63 |
| Заключение | 68 |
| Список используемых источников | 69 |

Введение

«Система электроснабжения города — это совокупность электрических станций, понижающих и преобразовательных подстанций, питающих и распределительных линий и электроприемников, обеспечивающих технологические процессы коммунально-бытовых, промышленных и транспортных потребителей электроэнергии, расположенных на территории города и частично в пригородной зоне» [14].

«На современном этапе развития системы электроснабжения городов Российской Федерации наименьшее внимание уделяется распределительным сетям среднего и низкого уровня напряжения, при этом одним из главных целевых критериев развития является сохранение гарантий надёжности и категорийности электроснабжения потребителей с учётом повышенных требований в крупных городах, которое обусловлено высотной и плотной застройкой, широко развитой транспортной инфраструктурой, наличием множества важных объектов, относящихся к общественной безопасности и иных категорированных потребителей» [12].

«Эти требования должны достигаться за счёт применения высоконадёжного малообслуживаемого оборудования и качественной кабельной продукции с высокотехнологичными методами сооружения городской сети, что позволит исключить излишнее количество резервных линий среднего напряжения, а основная задача построения резервируемых схем электроснабжения наиболее злободневна для потребителей, эксплуатирующих кабельные электрические сети 6–10 кВ в средних и крупных городах, где основными по надёжности электроснабжения являются потребители 1 и 2 категорий, что объясняется требованием о отдельной работе секций шин РП и ТП и питании их от независимых источников» [12].

Цель выпускной квалификационной работы: разработать проект реконструкции распределительного пункта 6 кВ, для обеспечения надёжного

электроснабжения существующих потребителей, получающих питание от высоковольтного распределительного пункта напряжением 6 кВ.

В соответствии с поставленной целью определены необходимые задачи выпускной квалификационной работы:

- расчет электрических нагрузок микрорайона Боровики города Пермь;
- расчет питающей сети района микрорайона города;
- выбор типа силовых трансформаторов;
- выбор количества силовых трансформаторов;
- выбор оборудования распределительного пункта 6 кВ;
- выбор оборудования релейной защиты;
- расчет уставок релейной защиты;
- расчет необходимого заземляющего устройства.

1 Анализ надежности системы электроснабжения объекта

1.1 Характеристика объекта электроснабжения

Объектом электроснабжения является микрорайон «Боровики», который включает в себя 21 жилой дом и 7 зданий коммунально-бытового назначения, находящийся в Дзержинском районе города Перми.

Исходные данные для расчета нагрузки жилых зданий, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика жилых зданий микрорайона

| № здания | Наименование здания | Кол. этажей | Кол. квартир | Кол. лифтов |
|----------|---------------------|-------------|--------------|-------------|
| 1 | Жилой дом | 5 | 60 | – |
| 2 | Жилой дом | 5 | 110 | – |
| 3 | Жилой дом | 5 | 105 | – |
| 4 | Жилой дом | 5 | 120 | – |
| 5 | Жилой дом | 5 | 150 | – |
| 6 | Жилой дом | 5 | 135 | – |
| 7 | Жилой дом | 9 | 80 | 6 |
| 8 | Жилой дом | 9 | 150 | 10 |
| 9 | Жилой дом | 9 | 125 | 8 |
| 10 | Жилой дом | 9 | 130 | 8 |
| 11 | Жилой дом | 12 | 80 | 4 |
| 12 | Жилой дом | 12 | 210 | 6 |
| 13 | Жилой дом | 12 | 110 | 4 |
| 14 | Жилой дом | 12 | 145 | 6 |
| 15 | Жилой дом | 12 | 155 | 6 |
| 16 | Жилой дом | 15 | 140 | 4 |
| 17 | Жилой дом | 15 | 155 | 4 |
| 18 | Жилой дом | 15 | 125 | 4 |
| 19 | Жилой дом | 17 | 120 | 4 |
| 20 | Жилой дом | 17 | 135 | 4 |
| 21 | Жилой дом | 17 | 160 | 4 |

«Электроприемники первой категории — электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, угрозу для безопасности государства, значительный материальный ущерб, расстройство сложного технологического процесса, нарушение

функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства, объектов связи и телевидения» [17].

17-этажные жилые здания классифицируются как потребители первой категории [32].

В проектируемом микрорайоне имеются также коммунально-бытовые здания.

Исходные данные для расчета нагрузки коммунально-бытовых зданий, приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Характеристика коммунально-бытовых зданий микрорайона

| № здания | Наименование здания | Количественный показатель |
|----------|---------------------------|---------------------------|
| 1 | Школа | 1000 чел. |
| 2 | Детский сад | 125 чел. |
| 3 | Детский сад | 175 чел. |
| 4 | Магазин продовольственный | 400 м ² |
| 5 | Магазин продовольственный | 500 м ² |
| 6 | Промтоварный магазин | 400м ² |
| 7 | Поликлиника | 1100 посещ. |

На основании данных характеристик объекта электроснабжения далее мы рассчитаем нагрузки микрорайона и произведем выбор необходимого оборудования.

1.2 Характеристика оборудования распределительного пункта 6 кВ (РП-6кВ)

«Распределительный пункт (РП) – это распределительное устройство (РУ) с аппаратурой для управления его работой, не входящее в состав подстанции (ПС)» [1].

«РП распределяет электрическую энергию, поступающую по воздушным или кабельным линиям от питающей подстанции между потребителями (ТП или другими РП)» [21].

«Распределительный пункт состоит из нескольких секций сборных шин, камер для оборудования, коридора управления и помещения для установки устройств защиты, автоматики и телемеханики» [21].

«Сборные шины размещают в верхней части РП горизонтально на расстоянии не менее 0,5 м от перекрытия. Расстояние между сборными шинами различных фаз должно быть не менее 100 мм при напряжении 6 кВ и 130 мм при 10 кВ. Шины крепят к опорным изоляторам, установленным на металлических конструкциях или бетонных стенах. Секции шин РП разделяют секционным выключателем с секционными разъединителями» [21].

«Камеры РП в зависимости от вида установленного в них оборудования делятся на камеры выключателей, измерительных трансформаторов напряжения, разъединителей. В камерах выключателей установлены линейные разъединители с заземляющими ножами, трансформаторы тока, выключатели, шинные разъединители с заземляющими ножами. В камере трансформатора напряжения находятся трансформатор напряжения, предохранители и шинный разъединитель с заземляющими ножами, а также установлены заземляющие разъединители шин» [21].

«Во избежание ошибочных операций с разъединителями в камерах выключателей имеется блокировка, допускающая отключение разъединителей только при отключенном выключателе. Обычно применяют механическую блокировку» [21].

«В камерах с заземляющими разъединителями имеется дополнительная механическая блокировка, не позволяющая включить заземляющие ножи при включенном шинном или линейном разъединителе и, наоборот, шинный или линейный разъединитель при включенных заземляющих ножах. В распределительном пункте имеются также измерительные приборы, реле защиты и автоматики, заземляющее устройство. Коридор управления представляет собой помещение, где установлены приводы выключателей и разъединителей. Устройства релейной защиты, устанавливаются на верхних дверцах камер». [21].

«РП – 6кВ выполняет следующие основные функции:

- оперативные переключения в распределительной сети (местная и дистанционная реконфигурация сети);
- автоматическое отключение поврежденного участка;
- автоматическое выделение поврежденного участка;
- автоматическое восстановление питания на неповрежденных участках сети;
- автоматический сбор информации о параметрах режимов работы электрической сети;
- коммерческий учет электроэнергии» [9].

«Для реализации коммерческого учета устанавливаются измерительные трансформаторы тока и напряжения» [9].

Технические характеристики реконструируемого распределительного пункта РП-6кВ:

- номинальное напряжение (линейное), 6кВ;
- номинальный ток главных цепей, 630А;
- номинальный ток отключения вакуумного выключателя (выключателя нагрузки), 31,5кА;
- ток электродинамической стойкости, 31,5А;
- номинальное напряжение питания вспомогательных цепей, 220 В;
- уровень и вид изоляции воздушная;
- наличие изоляции токоведущих частей с неизолированными шинами;
- условия обслуживания главных цепей одностороннее;
- условия обслуживания вспомогательных цепей одностороннее;
- влажность при температуре $t = 25^{\circ}\text{C}$ До 98 %.

Распределительный пункт питается по двум воздушным линиям ВЛ-6 кВ длиной 4 километра от районной подстанции ПС-35/6 кВ с двумя трансформаторами напряжения мощностью 16 МВ·А.

Конструктивно реконструируемый РП-6 кВ собран на ячейках К-61 и К59, оборудование, установленное в ячейках указано в таблице 3.

Таблица 3 – Оборудование установленное в ячейках

| № ячейки | Ячейка | Оборудование | Технические характеристики |
|----------|--------|---|--|
| 1 | К-61 | вводной вакуумный выключателями ВБ4-П-6-20/630 | $U_{\text{ном.}} = 6,0 \text{ кВ}; c I_{\text{ном.}} = 630 \text{ А};$ $i_{\text{ном. дин.}} = 81 \text{ кА}; I_{\text{т.с.}} = 31,5 \text{ кА}; t_{\text{т.с.}} = 3,0 \text{ с};$ $t_{\text{откл.}} = 0,12 \text{ с}; I_{\text{ном.откл.}} = 31,5 \text{ кА}$ |
| 2 | К-61 | секционный вакуумный выключатель ВБ4-П-6-20/630 | $U_{\text{ном.}} = 6,0 \text{ кВ}; c I_{\text{ном.}} = 630 \text{ А};$ $i_{\text{ном. дин.}} = 81 \text{ кА}; I_{\text{т.с.}} = 31,5 \text{ кА}; t_{\text{т.с.}} = 3,0 \text{ с};$ $t_{\text{откл.}} = 0,12 \text{ с}; I_{\text{ном.откл.}} = 31,5 \text{ кА}$ |
| 3 | К-61 | трансформаторы тока ТЛШ-6 | $U_{\text{ном.}} = 6,0 \text{ кВ}; k=600/5; i_{\text{ном. дин.}} = 81 \text{ кА};$ $I_{\text{т.с.}} = 31,5 \text{ кА}; t_{\text{т.с.}} = 3,0 \text{ с}$ |
| 4 | К-59 | трансформаторы напряжения НАМИТ-6 | $U_{\text{ном.}} = 10,0 \text{ кВ}; U_2 = 100 \text{ В};$ $S_{\text{ном.}} = 120 \text{ В} \cdot \text{А};$ |
| 5 | К-59 | трансформаторы напряжения НОЛ.08-6 | $U_{\text{ном.}} = 6,0 \text{ кВ}; U_2 = 100 \text{ В}; S_{\text{ном.}} = 75 \text{ В} \cdot \text{А};$ |
| 6 | К-59 | трансформаторы тока ТЛШ-6 | $U_{\text{ном.}} = 10,0 \text{ кВ}; k=600/5; i_{\text{ном. дин.}} = 81 \text{ кА};$ $I_{\text{т.с.}} = 31,5 \text{ кА}; t_{\text{т.с.}} = 3,0 \text{ с}.$ |

В соответствии с целью работы и поставленными задачами произведем реконструкцию данного РП-6 кВ с установленным в нем оборудованием, для обеспечения надежного электроснабжения существующих потребителей.

1.3 Разработка технических предложений и рекомендаций по реконструкции РП-6 кВ.

«Развитие распределительных электрических сетей должно быть направлено на повышение надежности, обеспечение качества и экономичности энергоснабжения потребителей путем постоянного совершенствования сетей на базе инновационных технологий с превращением их в интеллектуальные сети» [5].

«Для достижения цели в рамках реализации технической политики необходимо:

- разработать и применять современные типы силового электрооборудования;

- использовать новые методы и средства релейной защиты и автоматики, диагностики оборудования и учета электроэнергии на микропроцессорной основе;
- ввести в действие системы мониторинга технического состояния электрооборудования, управления режимами сети и оборудованием;
- использовать системы сбора, передачи и обработки информации, а также программные и технические средства адаптивного управления с возможностью воздействия в реальном времени на активные элементы сети и ЭПУ потребителей;
- обеспечить условия для защиты сетей от внешних воздействий и безопасность при эксплуатации;
- реализовать мероприятия по повышению надежности электроснабжения и качества электроэнергии, а также новые принципы построения и управления электрическими сетями с использованием системы мониторинга текущих режимных параметров и текущей оценки состояния сети в нормальных, предаварийных, аварийных и послеаварийных режимах» [5].

«Новые распределительные и соединительные пункты 6 кВ желательно исполнять малогабаритными блочного типа; в ячейках РП-6 кВ приоритетно должны применяться элегазовые силовые выключатели» [12].

«Неизмеримо возрастает значимость распределительных кабельных сетей, которые становятся практически единственным звеном передачи электрической энергии (ВЛ не отвечают в полной мере требованиям надежности, экономичности, экологической приемлемости)» [12].

«Распределительная сеть 6 кВ строится по двухлучевой встречной схеме, при которой питание каждой ТП осуществляется по двум взаиморезервируемым кабелям» [12].

«Для прокладки кабельных линий выше 1000В необходимо применять кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена» [12].

Целью реконструкции городского электрооборудования является гарантированное обеспечение потребителей города необходимым набором коммунальных услуг при надежной и эффективной работе электроэнергетической инфраструктуры города.

Для достижения указанной цели необходимо в части электроэнергетики решение следующих задач:

- обеспечение безаварийного и бесперебойного электроснабжения потребителей города;
- повышение надежности всей энергосистемы.
- предотвращение критического уровня износа объектов системы электроснабжения города;
- снижение потерь в электрических сетях при передаче электрической энергии;
- снижение издержек на эксплуатацию действующей электрической сети;
- повышение качества передачи электрической энергии;
- разработка и реализация программы реновации оборудования, выработавшего установленные сроки службы;
- увеличение доли телемеханизированных подстанций;
- увеличение доли кабельных линий электропередачи;
- внедрение автоматизированного комплекса управления энергосетью;
- обеспечение условий комфортного и безопасного проживания в городе в соответствии с современными требованиями;
- повышение эффективности и надежности работы установок наружного освещения, архитектурно-художественной подсветки и праздничного оформления города;
- экономия бюджетных средств города за счет снижения эксплуатационных расходов в результате применения современных технологий и материалов.

Для повышения надежности и работоспособности системы электроснабжения микрорайона возникла необходимость реконструкции распределительного пункта РП-6 кВ с заменой оборудования и устройств релейной защиты.

При реконструкции необходимо установить микропроцессорную защиту, а также установить автоматические дистанционно управляемые выключатели во вводных и линейных ячейках 6 кВ.

«Подсистема РЗиА необслуживаемого РП-6 кВ нового поколения должна быть надежной и поэтому выполняется в двух уровнях:

- первый уровень (основной) выполняется на микропроцессорных устройствах РЗиА (МП РЗиА), главным назначением которых является качественное выполнение функций релейной защиты.
- вторым, но не менее важным – исполнением функций нижнего уровня АСУ ТП» [30].

«Второй уровень (дополнительный) основан на применении электромеханических устройств РЗиА. Их главная задача – обеспечение надежности всей подсистемы РЗиА РП в различных экстремальных ситуациях (в режимах низких температур, при отказе МП-терминалов и т. д.)» [30].

«Сейчас этот уровень позволяет при выходе из строя всех МП-терминалов ПС обеспечить все присоединения полноценной защитой и ручное включение любого выключателя. Время срабатывания выбирается на 0,2 с больше времени срабатывания терминала» [30].

«Кроме этого, при отказе МП-терминала может потребоваться до нескольких суток на устранение аварии. При наличии МТЗ второго уровня отключать присоединение, где отказал МП-терминал, не требуется (п. 5.9.5 ПТЭ)» [30].

Все вышеперечисленное необходимо учесть при проведении реконструкции распределительного пункта РП-6 кВ.

1.4 Обзор современных средств РЗА

В качестве достоверного источника при рассмотрении данного вопроса следует использовать нормативные документы, применяемые при проектировании устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) линий 6 кВ. Одним из таких является ПУЭ.

«На каждом из элементов электроустановки должна быть предусмотрена основная защита, предназначенная для ее действия при повреждениях в пределах всего защищаемого элемента с временем, меньшим, чем у других установленных на этом элементе защит» [17].

«Для действия при отказах защит или выключателей смежных элементов следует предусматривать резервную защиту, предназначенную для обеспечения дальнего резервного действия» [17].

Микропроцессорные аппараты (МПА) РЗА являются основными при проектировании релейной защиты. МПА РЗА имеют дополнительные функции по сравнению с другими типами устройств релейной защиты.

Устройства МПА РЗА требуют конфигурации, ранжирования и параметризации по сравнению с защитой электромеханическими реле.

В МПА РЗА вводя программируемые компараторы. После доработки программируемые контроллеры используют как токовые МП терминалы РЗА. Цена устройства в 1,5—2 раза дешевле РЗА на электромеханической базе.

Проведя анализ существующих терминалов (таблица 4), делаем следующее заключение:

- терминалы не сильно отличаются друг от друга. Отличия только в алгоритме и принципах реализации;
- все терминалы имеют русскоязычные инструкции по эксплуатации и интерфейс;
- терминалы выполняют все функции, обозначенные в паспорте производителя, и являются при это надежной защитой.

В таблице 4 рассмотрим сравнительные характеристики терминалов.

Таблица 4 – Сравнительная характеристика терминалов

| Характеристика | БЭМП-РУ-ВВ | Сириус-2Л | БМРЗ-КЛ-10 | Sepam-1000+ |
|--|---------------|---------------|---------------|--------------|
| Максимальная токовая защита | + | + | + | + |
| Максимальная токовая отсечка | + | + | + | + |
| Фильтрация тока нулевой последовательности | + | – | – | + |
| Осциллограмма токов КЗ | + | + | + | + |
| Стабилизация при протекании сквозных токов короткого замыкания | + | + | + | + |
| Запись рабочих параметров | + | + | + | + |
| Самодиагностика | + | + | + | + |
| Запись повреждений, измерения величины повреждения | + | + | + | + |
| Программный комплекс настройки и мониторинга оборудования | + | + | + | + |
| Русскоязычный интерфейс и руководство по эксплуатации | + | + | + | + |
| Наличие интерфейса USB | + | + | + | + |
| Поддержка стандарта МЭК 61850 ¹ | + | + | + | + |
| Число аналоговых входов по току | 12 | 9 | 16 | 16 |
| Число дискретных входов | 40 | 21 | 46 | 40 |
| Число дискретных выходных сигналов | 24 | 12 | 32 | 30 |
| Срок службы, лет, не менее | 20 | 25 | 25 | 20 |
| Рабочее значение относительной влажности воздуха, % | 80 | 98 | 98 | 80 |
| Предельные рабочие значения температуры, °С | от +15 до +25 | от -40 до +50 | от -40 до +55 | от -5 до +50 |
| Масса, кг, не более | 18 | 7 | 10 | 7 |

Терминал Sepam-1000+ предназначен для защиты линий электропередач напряжением 6–35кВ [23].

Устройство обеспечивает трехступенчатую МТЗ. Третья ступень МТЗ может иметь независимую от тока, а также зависимую характеристику времени срабатывания. Предусмотрена возможность отключения линии при обрыве фазного провода. Для этого встроена защита, реагирующая на ток обратной последовательности I₂.

Защита от ОЗЗ выполняется с использованием высших гармоник.

Использование в терминале Sepam-1000+ модульной многопроцессорной архитектуры гарантирует надежность, быстродействие, высокую вычислительную мощность, а также высокую чувствительность

терминала. Облегчает их внедрение то, что последовательность срабатывания и схема соответствуют требованиям отечественной системы релейной защиты.

Sepam-1000+ совместим с другими микропроцессорными и электромеханическими защитами.

Структура комплекса защиты позволяет реализовать кратковременное резервирование, что достигается тем, что [13]:

- терминалы Sepam-1000+ абсолютно автономны. При повреждении на защищаемом элементе при срабатывании терминала на одном выводе подается команда на вывод из действия терминалов другого вывода или увеличивается до недопустимого значения время срабатывания;
- основная и резервная защиты выполнены по разным принципам реагирования;
- есть вероятность разделения устройств по цепям трансформаторов тока.

В терминалах Sepam-1000+ предусмотрено:

- токовый сравнительный принцип защиты;
- отстройка от пускового тока чувствительной ступени за счет блокировки тока второй гармоники;
- снятие этой блокировки при появлении второй гармоники при насыщении трансформаторов тока;
- настройка при внешнем коротком замыкании нарушения баланса токов с подавлением сквозного тока.
- наличие двух независимых каналов связи, позволяющих терминалу выполнять функции более низкого уровня в системах SCADA.

«Цифровой многофункциональный блок защиты Sepam 1000+ обеспечивает следующие преимущества:

- простота в эксплуатации позволяет;
- снижение затрат;
- интеграция всех необходимых функций в одном блоке, готовом к применению;

- возможность модернизации, что обеспечивает рентабельность капиталовложений в течение длительного времени;
- централизованное управление ячейкой MCset;
- Sepam 1000+ легко встраивается во все системы управления распределительными сетями благодаря интерфейсу связи Modbus;
- оператор получает все данные, необходимые для контроля и управления установкой через систему связи Modbus;
- лучшее знание состояния распределительных сетей благодаря функции записи осциллограмм аварийных режимов и измерения коэффициента небаланса, параметров работы двигателя и т. д.;
- улучшение бесперебойности работы: благодаря техническому обслуживанию с использованием функций диагностики коммутационного аппарата: время и количество операций и т. д.; и ясной и полной информации, получаемой как по месту, так и дистанционно, что позволяет сократить время устранения неисправности» [23].

Вывод по разделу.

Таким образом для повышения надежности и работоспособности системы электроснабжения микрорайона, необходимо произвести реконструкцию распределительного пункта РП-6кВ, а именно:

- произвести замену электрооборудование РП-6 кВ;
- модернизировать релейную защиту;
- настроить уставки релейной защиты в соответствии с требованиями селективности;
- изменить способ питания РП-6 кВ, вместо воздушной применить кабельные линии.

2 Реконструкция коммутационной аппаратуры и устройств релейной защиты распределительного устройства 6 кВ

2.1 Расчет нагрузок микрорайона

Жилые дома входят в основную группу потребителей электроэнергии городов, за счет использования освещения и бытовых электроприборов.

Электрическое освещение осуществляется с помощью осветительных приборов – электрических ламп накаливания, диодных или энергосберегающих ламп в виде одноламповых и многоламповых светильников.

Бытовые электроприборы – это различные устройства и приспособления, действующие на основе использования электроэнергии и обеспечивающие бытовые условия проживания в квартире.

Бытовые электроприборы:

- нагревательные,
- хозяйственные,
- культурно-бытовые,
- санитарно-гигиенические.

В течение дня и в зависимости от времени года электрическая нагрузка жилых домов меняется, это связано изменениями естественного освещения и температуры окружающего воздуха.

Расчетную нагрузку групповых сетей освещения общедомовых помещений жилых зданий (лестничных клеток, вестибюлей, технических этажей и подполий, подвалов, чердаков, колясочных), будем определять по светотехническому расчету с коэффициентом запаса, равным 1.

Расчет нагрузок микрорайона города произведем в соответствии с инструкцией по проектированию городских электрических сетей - РД 34.20.185–94 [7].

Расчетную электрическую нагрузку квартир на вводе в жилой дом находим по формуле:

$$P_{\text{кв}} = P_{\text{кв.уд}} \cdot n_{\text{кв}}, \quad (1)$$

где $P_{\text{кв.уд}}$ - удельная расчетная электрическая нагрузка электроприемников квартир, кВт/квартира;
 n - количество квартир.

Расчетную реактивную мощность квартир на вводе в жилой дом находим по формуле:

$$Q_{\text{кв}} = P_{\text{кв.уд}} \cdot \text{tg}\phi_{\text{кв}}, \quad (2)$$

где $\text{tg}\phi_{\text{кв}} = 0,2$ - расчетный коэффициент реактивной мощности жилых домов с электрическими плитами в квартирах.

Силовая нагрузка в жилых домах — это использование лифтов, вентиляции и т. п., из этого следуя находим суммарную расчетную нагрузку жилого дома по формуле:

$$P_{\text{р.ж.д.}} = P_{\text{кв.}} + k_{\text{у.}} \cdot P_{\text{с.}}, \quad (3)$$

$$Q_{\text{р.ж.д.}} = Q_{\text{кв.}} + k_{\text{у.}} \cdot Q_{\text{с.}}, \quad (4)$$

где $k_{\text{у.}} = 0,9$ - коэффициент участия в максимуме нагрузки силовых электроприемников.

Нагрузку силовых электроприемников, на вводе в жилой дом находим по формуле:

$$P_{\text{с}} = P_{\text{ступ}}, \quad (5)$$

$$Q_{\text{с}} = Q_{\text{ступ}}. \quad (6)$$

По установленной мощности с учетом коэффициента спроса, определяется мощность электродвигателей: насосов водоснабжения; вентиляторов и другого силового оборудования:

$$P_{\text{ступ}} = P_{\text{ступ}} \cdot n, \quad (7)$$

$$Q_{\text{ступ}} = P_{\text{ступ}} \cdot \text{tg}\phi_{\text{ступ}}, \quad (8)$$

где $P_{\text{ступ}}=0,05$ кВт/квартира - удельная расчетная нагрузка единицы количественного показателя;

$\text{tg}\phi_{\text{ступ}}$ - расчетный коэффициент реактивной мощности,

n - количество квартир.

По данным табл.2.1.1 [7], удельная мощность квартиры, при числе квартир 80, для двенадцатиэтажных домов с электрическими плитами, составляет $P_{\text{кв.уд}}=1,6$ кВт при $\cos \phi_{\text{кв}}=0,98$, тогда расчетная мощность на вводе в здание равна:

$$P_{\text{кв}} = 1,6 \cdot 80 = 128 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{кв}} = 128 \cdot 0,2 = 25,6 \text{ квар.}$$

Количество пассажирских лифтов на один подъезд определяем в соответствии с актуализированная редакция СНиП 31-01-2003 (приложение Г) [6].

Число лифтов в доме с 80 и квартирами 2 подъездами равно 2 пассажирских по 7,5 кВт и 2 грузовых по 9 кВт.

$$P_{\text{л}} = 0,7 \cdot 2 \cdot 16,5 = 23 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{л}} = 23 \cdot 1,17 = 27 \text{ квар.}$$

Из удельной расчетной нагрузки санитарно-технических устройств, равной 0,05 кВт/кв., находим расчетную нагрузку санитарно-технических устройств по формуле:

$$P_{\text{сту}} = 0,05 \cdot 80 = 4 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{сту}} = 4 \cdot 0,75 = 3 \text{ квар.}$$

Тогда силовая нагрузка дома:

$$P_c = 23 + 4 = 27 \text{ кВт},$$

$$Q_c = 27 + 3 = 30 \text{ квар.}$$

Итого, электрическая расчетная нагрузка жилого дома равна:

$$P_{\text{р.ж.д}} = 128 + 0,9 \cdot 27 = 152,3 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{р.ж.д}} = 27 + 0,9 \cdot 30 = 54 \text{ квар},$$

$$S_{\text{р.ж.д}} = \sqrt{152,3^2 + 54^2} = 161,6 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Расчет электрических нагрузок для всех жилых зданий микрорайона аналогичен, результаты приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Расчетные электрические нагрузки жилых зданий

| № здания | Наименование здания | Количество этажей | Количество квартир | Количество лифтов | K_c | $P_{ст.},$ кВт | $Q_{ст.},$ квар | $P_{кв.уд.},$ кВт/кв | $P_{кв.},$ кВт | $Q_{кв.},$ квар | $P_{ж.д.},$ кВт | $Q_{ж.д.},$ квар | $S_{ж.д.},$ кВ·А |
|----------|---------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------|-------------------|--------------------|-------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | Жилой дом | 5 | 60 | – | – | 3 | 2,25 | 1,3 | 90 | 18 | 92,7 | 19,17 | 94,6 |
| 2 | Жилой дом | 5 | 110 | – | – | 5,5 | 4 | 1,072 | 117,9 | 23,58 | 122,8 | 27,18 | 125,8 |
| 3 | Жилой дом | 5 | 105 | – | – | 5,25 | 4 | 1,076 | 112,98 | 22,59 | 117,7 | 27,19 | 120,8 |
| 4 | Жилой дом | 5 | 120 | – | – | 6 | 4,5 | 1,064 | 127,68 | 25,53 | 133,08 | 29,58 | 136,3 |
| 5 | Жилой дом | 5 | 150 | – | – | 7,5 | 5,6 | 1,04 | 156 | 35,3 | 162,75 | 40,3 | 167,67 |
| 6 | Жилой дом | 5 | 135 | – | – | 6,75 | 5 | 1,052 | 142 | 28,4 | 148 | 32,9 | 151,6 |
| 7 | Жилой дом | 9 | 80 | 6 | 0,65 | 36,17 | 40,6 | 1,19 | 95 | 19 | 127,5 | 55,54 | 139,1 |
| 8 | Жилой дом | 9 | 150 | 10 | 0,5 | 48,75 | 53,86 | 1,04 | 156 | 31,2 | 199,8 | 79,6 | 215,16 |
| 9 | Жилой дом | 9 | 125 | 8 | 0,575 | 44,1 | 49,08 | 1,06 | 132,5 | 26,5 | 172,19 | 70,67 | 186,12 |
| 10 | Жилой дом | 9 | 130 | 8 | 0,575 | 44,4 | 49,2 | 1,056 | 137,28 | 27,45 | 177,24 | 71,73 | 191,2 |
| 11 | Жилой дом | 12 | 80 | 4 | 0,8 | 30,4 | 33,8 | 1,6 | 128 | 25,6 | 155,36 | 56 | 165,15 |
| 12 | Жилой дом | 12 | 210 | 6 | 0,75 | 47,6 | 51,23 | 1,355 | 284,55 | 56,9 | 327,39 | 103 | 343,2 |
| 13 | Жилой дом | 12 | 110 | 4 | 0,8 | 31,9 | 35 | 1,486 | 163,46 | 32,69 | 192,17 | 64,19 | 202,6 |
| 14 | Жилой дом | 12 | 145 | 6 | 0,75 | 44,37 | 48,8 | 1,437 | 208,3 | 41,6 | 248,2 | 85,5 | 262,5 |
| 15 | Жилой дом | 12 | 155 | 6 | 0,75 | 44,87 | 49,23 | 1,423 | 220,5 | 44 | 260,8 | 88,3 | 275,4 |
| 16 | Жилой дом | 15 | 140 | 4 | 0,8 | 33,4 | 36 | 1,444 | 202,16 | 40,4 | 232,22 | 72,8 | 243,36 |
| 17 | Жилой дом | 15 | 155 | 4 | 0,8 | 34,15 | 36,6 | 1,423 | 220,5 | 44 | 251,2 | 76,94 | 262,75 |
| 18 | Жилой дом | 15 | 125 | 4 | 0,8 | 32,65 | 35,56 | 1,465 | 183,1 | 36,6 | 262,75 | 68,60 | 223,2 |
| 19 | Жилой дом | 17 | 120 | 4 | 0,8 | 32,4 | 35,38 | 1,472 | 176,6 | 35,3 | 205,76 | 67,14 | 216,4 |
| 20 | Жилой дом | 17 | 135 | 4 | 0,8 | 33,15 | 35,8 | 1,451 | 195,8 | 39,1 | 225,6 | 71,32 | 236,6 |
| 21 | Жилой дом | 17 | 160 | 4 | 0,8 | 34,4 | 33,15 | 1,416 | 226,56 | 45,3 | 257,52 | 75,1 | 268,2 |
| Итого | | | | | | | | | | | 4072,7 | 1215,6 | 4250,3 |

Находим расчетную электрическую нагрузку зданий коммунально-бытового назначения, на вводе в здания, формуле:

$$P_{р.об.зд} = P_{об.зд.уд} \cdot n \quad (9)$$

где $P_{об.зд.уд}$ - удельная расчетная электрическая нагрузка единицы количественного показателя (рабочее место, посадочное место, площадь торгового зала и т. д.), кВт;

n - количественный показатель - пропускная способность предприятия, объем производства и т.д.

Результаты расчетов приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Расчетные электрические нагрузки коммунально-бытовых зданий

| № здания | Наименование здания | n | $\text{tg}\varphi$ | $P_{об.зд.уд}$ кВт/ /место | $P_{об.зд}$ кВт | $Q_{об.зд}$ квар | K_y | $S_{об.зд.}$ кВ·А |
|----------|---------------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|---------------------|-------|----------------------|
| 1 | Школа | 1000 чел. | 0,33 | 0,25 | 250 | 82,5 | 0,4 | 263,2 |
| 2 | Детский сад | 125 чел. | 0,2 | 0,46 | 57,5 | 11,5 | 0,4 | 58,6 |
| 3 | Детский сад | 175 чел. | 0,2 | 0,46 | 80,5 | 16,1 | 0,4 | 82 |
| 4 | Магазин продовольственный | 400 м ² | 0,6 | 0,25 | 100 | 60 | 0,6 | 116,6 |
| 5 | Магазин продовольственный | 500 м ² | 0,6 | 0,25 | 125 | 75 | 0,6 | 145,7 |
| 6 | Промтоварный магазин | 400 м ² | 0,6 | 0,16 | 64 | 38,4 | 0,6 | 74,6 |
| 7 | Поликлиника | 1100 посещ. | 0,33 | 1,04 | 1144 | 377,5 | 0,8 | 1204,67 |

Также, при расчете энергопотребления микрорайона следует учесть наружное освещение, которое составляет весомую долю в расходе потребляемой микрорайоном электроэнергии.

Расчетную электрическую нагрузку освещения микрорайона определяем по формуле [4, 32]:

$$P_{\text{осв.}} = P_{\text{осв.нар.}} + P_{\text{осв.вн.}}, \quad (10)$$

где $P_{\text{осв.нар.}}$ - электрическая нагрузка наружного освещения улиц, кВт;

$P_{\text{осв.вн.}}$ - электрическая нагрузка наружного освещения внутри микрорайона, кВт.

Расчетную электрическую нагрузку наружного освещения микрорайона определяем по формуле:

$$P_{\text{осв.нар.}} = P_{\text{уд.осв.нар.}} \cdot \frac{1}{2} P, \quad (11)$$

где $P_{\text{осв.нар.}} = 40$ кВт/км - удельная расчетная электрическая нагрузка для освещения улиц [7];

P - периметр микрорайона, м.

$$P_{\text{осв.нар.}} = 40 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2000 = 40 \text{ кВт.}$$

Расчетную электрическую нагрузку наружного освещения микрорайона с учетом масштаба 20 м/см определяем по формуле:

$$P_{\text{осв.вн.}} = P_{\text{уд.осв.вн.}} \cdot F \cdot (1 - k_{\text{застр}}), \quad (12)$$

где $P_{\text{уд.осв.вн.}} = 1,2$ кВт/га - удельная расчетная электрическая нагрузка внутри кварталов микрорайона [7];

F - площадь микрорайона, га;

$k_{\text{застр}} = 0,2$ - коэффициент застройки, берем из действующих градостроительных норм [3].

$$S = A \cdot B = 0,5 \cdot 0,5 = 2,5 \text{ км}^2 = 250 \text{ га.} \quad (13)$$

Определяем расчетную электрическую нагрузку освещения всего микрорайона:

$$\begin{aligned} P_{\text{осв.}} &= 40 + 240 = 280 \text{ кВт}, \\ Q_{\text{осв.}} &= P_{\text{осв.}} \cdot \text{tg}\phi = 280 \cdot 0,329 = 92,12 \text{ квар}, \\ S_{\text{осв.}} &= \sqrt{280^2 + 92,12^2} = 294,7 \text{ кВ} \cdot \text{А}. \end{aligned} \quad (14)$$

Исходными данными для светотехнического расчета наружного освещения светильниками служат: минимальная или средняя освещенность, задаваемая нормами, тип источника света и светильника, а также высота их установки.

Расчет наружного освещения производим методом коэффициента использования.

Следует уделять более пристальное внимание новым разработкам в области традиционных источников света, в частности, таким, как диодные светильники, которые обладают большим сетевым потоком при соответственно небольшом потреблении электроэнергии.

Уличные диодные светильники серии "Эльбрус", компании DURAY г.Пермь, имеют отличные технические характеристики. Высокое качество оборудования соответствует требованиям сегодняшнего дня. Рекомендуется для создания наружной системы освещения для монтажа на высоте 11–14 метров. Область применения: автодороги класса А и Б, туннели, мосты, аэропорты, городская инфраструктура, ж/д платформы, парковая зона, площади [22].

Основные технические характеристики выбранных светильников приведены в таблице 7 [22].

Таблица 7 – Технические характеристики светильников

| Тип лампы | Мощность, Вт | Световой поток, лм | Цветовая температура, К. |
|--------------------------------------|--------------|--------------------|--------------------------|
| Светодиодный светильник Эльбрус 102W | 102 | 15300 | 4000 |

Определяем число светильников N , расположенных равномерно по периметру:

$$N = \frac{E_{\text{ср}} \cdot S \cdot K_3}{U_E \cdot \Phi_{\text{л}}}, \quad (15)$$

где $E_{\text{ср}}=10$ лк - освещенность для класса объекта по освещению В2 [2];

$S=250000$ м² - площадь освещаемой территории;

K_3 - коэффициент запаса, ($K_3=1,1$ для светодиодных светильников);

U_E - коэффициент использования светового потока ($U_E=0,9$);

$\Phi_{\text{л}}$ - световой поток светильника ($\Phi_{\text{л}}=15300$ лм).

$$N = \frac{10 \cdot 250000 \cdot 1,1}{0,9 \cdot 15300} = 200 \text{ шт.}$$

Далее определим расчетную электрическую нагрузку микрорайона, приведенную к шинам 0,4 кВ ТП:

$$S_{\text{мкр}} = \sum (k_y \cdot S_{\text{об.зд}}) + S_{\text{жил}} + S_{\text{осв.}}, \quad (16)$$

$$S_{\text{мкр.}} = 4250,27 + 0,6 \cdot (116,6 + 145,7 + 74,6) +$$

$$+ 0,4 \cdot (263,2 + 58,6 + 82) + 0,8 \cdot 1204,67 + 294,7 = 5872,37 \text{ кВ} \cdot \text{А.}$$

После определения расчетной нагрузки микрорайона приступаем к выбору подстанций и трансформаторов.

2.2 Выбор подстанций ТП-6/0,4кВ

В проектируемом микрорайоне определим мощность необходимых трансформаторов, для установки в ТП микрорайона, на основе величины поверхностной плотности нагрузки ($\delta_{p.тп.}$):

$$\delta_{p.тп.} = \frac{P_{mp}}{F_{mp}}, \quad (17)$$

где P_{mp} - расчетная активная мощность микрорайона, МВ · А;

F_{mp} - площадь территории, км².

$$\delta_s = \frac{5,872,37}{2,5} = 29,5 \frac{\text{МВ} \cdot \text{А}}{\text{км}^2}.$$

Рассчитаем ориентировочное выражение экономически целесообразной мощности отдельностоящих ТП-6/0,4кВ:

$$S_{ТП,э} = 1,45 \cdot \sqrt[3]{\delta_s^2}, \quad (18)$$

$$S_{ТП,э} = 1,45 \cdot \sqrt[3]{29,5^2} = 954 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Необходимое количество ТП микрорайона, определяется в зависимости от номинальной мощности трансформаторов, их количества в каждой ТП, и допустимых перегрузках трансформаторов, для обеспечения надежного электроснабжения микрорайона.

Рассмотрим вариант установки в ТП двух трансформаторов мощностью 1000 кВА каждый:

$$n_{mp} = \frac{5872,37}{1000 \cdot 1,4} = 4,2,$$

т. е. 4–5 ТП по 1000 кВ·А.

Мощность одного трансформатора определяем по формуле [15]:

$$S_{\text{тр.расч}} = \frac{S_m}{K_{з.прин} \cdot 2}, \quad (19)$$

где $K_{з.прин}$ - принимаемый коэффициент загрузки трансформатора,

$$K_{з.прин} = 0,7.$$

Ближайшую стандартную мощность трансформатора $S_{\text{ном}}$, находим после определения расчетной мощности одного трансформатора, затем выбираем тип трансформатора. Выбранные трансформаторы проверяем по действительному коэффициенту загрузки:

$$K_{з.действ} = \frac{S_m}{S_{\text{ном}} \cdot 2}. \quad (20)$$

Распределим нагрузку зданий по ТП и сведем результаты в таблицу 8.

Таблица 8 – Распределение зданий по подстанциям

| ТП | Жилые здания № | Общественно-коммунальные здания № |
|----|----------------|-----------------------------------|
| 1 | 2,3,4,7 | 7 |
| 2 | 5,8,11,12,13 | 2 |
| 3 | 1,6,15,17 | 3, 5 |
| 4 | 9,16,18 | 1, 4, 6 |
| 5 | 10,14,19,20,21 | – |

В качестве примера найдем мощность трансформаторов ТП1, питающих первую очередь строительства:

$$S_{\text{тп1}} = \sum (k_y \cdot S_{\text{об.зд}}) + S_{\text{освещен}} + S_{\text{ж.з.}}, \quad (21)$$

$$S_{mn1} = 0,8 \cdot 1204,67 + 294,7 + 522 = 1780,4 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Исходя из условий взаимного резервирования, целесообразно устанавливать двухтрансформаторные подстанции.

Тогда:

$$S_{тр.расч} = \frac{1780,4}{0,7 \cdot 2} = 1271 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Принимаем ближайшую стандартную мощность 1250 кВ·А.

$$K_{з.действ} = \frac{1780,4}{1250 \cdot 2} = 0,712.$$

В качестве силовых трансформаторов 6/0,4 кВ используем сухие трансформаторы серии ISOCAST-R ГОСТ 54827–2011. Сухие трансформаторы с литой изоляцией ISOCAST-R ГОСТ 54827–2011. В стандартном исполнении трансформаторы производятся для внутренней установки в неотапливаемых помещениях (наружная установка выполняется на заказ) ООО «БЭМП» Санкт – Петербург [28].

Принимаем к установке в ТП1 два трансформатора ISOCAST-R -1250/6. Аналогичный расчет производится и для других подстанций. Результаты выбора мощности трансформаторов приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Определение мощности трансформаторов

| ТП | $S_{ТП}$, кВ·А | $S_{ном.тр}$, кВ·А | $K_{з. действ.}$ |
|----|-----------------|---------------------|------------------|
| 1 | 1780,4 | 1250 | 0,712 |
| 2 | 1117,1 | 1000 | 0,55 |
| 3 | 904,38 | 630 | 0,71 |
| 4 | 872,6 | 630 | 0,7 |
| 5 | 1174,9 | 1000 | 0,58 |

«Подземные подстанции серии «БУНКЕР» представляет собой комплектное изделие полной заводской готовности. Они имеют блочную железобетонную оболочку с двойным армированием, повышающим её прочность, и специальной влагостойкой внешней обработкой модулей, выдерживающей активность грунтовых вод. Доступ в БКТП осуществляется через герметичные люки, также имеется возможность организации вертикального доступа в подземную БКТП из наружного бетонного модуля с металлической дверью. Монтаж электрооборудования происходит в заводских условиях. В качестве распределительных устройств среднего напряжения применяются малогабаритные ячейки российских и зарубежных производителей с вакуумными или элегазовыми выключателями» [16].

В проектируемом микрорайоне применяем магистральную «двухлучевая» схему электроснабжения ТП-6/0,4 кВ, рисунок 1, так как основными потребителями являются объекты I, и II категории надежности.

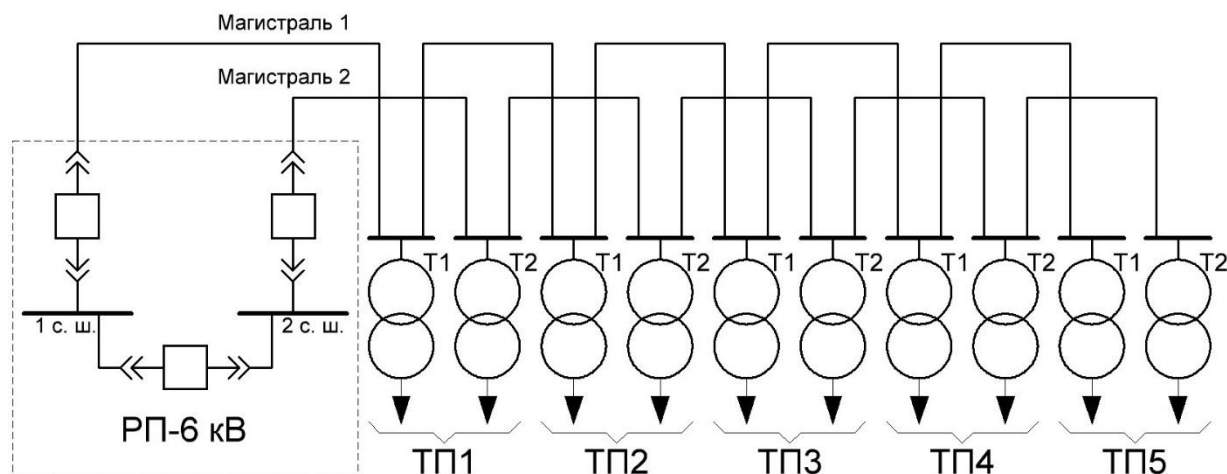


Рисунок 1 – Магистральная двухлучевая схема электроснабжения

Принимаем, что между трансформаторами ТП нагрузка распределяется равномерно, и учитываем, что потокораспределение определяется с учетом коэффициентов одновременности нагрузок трансформаторов [20]:

$$P_{лсн} = k_{0,тр} \cdot \sum P_{ТП}, \quad (22)$$

где $P_{ТП}$ - расчетная мощность ТП, кВт.

Питание от РП осуществляется:

- первая ветвь магистрали: РП1 - ТП1/Т1 - ТП2/Т1 - ТП3/Т1 - ТП4/Т1 - ТП5/Т1;
- вторая ветвь магистрали; РП2 – ТП1/Т2 – ТП2/Т2 - ТП3/Т2 – ТП4/Т2 – ТП5/Т2.

В качестве примера приведем расчет головного участка магистральной сети от I секции РП до ТП1. ТП1 в двухлучевой схеме получает питание от РП-6 кВ, расположенной в двух километрах от ТП1.

Выбрав данную схему электроснабжения, распределим силовые трансформаторы в ТП-6/0,4 кВ, по каждой магистрали.

В нормальных режимах по каждому из кабелей целесообразно питать 5-6 ТП-6/0,4 кВ.

В качестве примера приведем расчет головного участка магистральной сети от I секции РП до ТП1.

$$S_{РП1-ТП1} = 0,85 \cdot \left[\frac{S_{ТП1}}{2} + \frac{S_{ТП2}}{2} + \frac{S_{ТП3}}{2} + \frac{S_{ТП4}}{2} + \frac{S_{ТП5}}{2} \right], \quad (23)$$

$$S_{РП1-ТП1} = 0,85 \cdot \left[\frac{1780,4}{2} + \frac{1117,1}{2} + \frac{904,38}{2} + \frac{872,6}{2} + \frac{1174,9}{2} \right] =$$

$$= 2485,98 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Данные расчета для каждой магистрали приведем в таблицах 10 и 11.

Таблица 10– Магистраль 1 потокораспределение в сети 6 кВ

| Магистраль 1 – I секция РП – ТП | | | | | |
|---------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| КЛ | РП-ТП1 | ТП1-ТП2 | ТП2-ТП3 | ТП3-ТП4 | ТП4-ТП5 |
| S, кВ·А | 2485,98 | 1725,1 | 1254,5 | 870,18 | 499,3 |

Таблица 11 – Магистраль 2 потокораспределение в сети 6 кВ

| Магистраль 2 – II секция РП– ТП | | | | | |
|---------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| КЛ | РП-ТП1 | ТП1-ТП2 | ТП2-ТП3 | ТП3-ТП4 | ТП4-ТП5 |
| S, кВ·А | 2485,98 | 1986,6 | 1615,7 | 1231,4 | 756,6 |

После выбора количества и мощностей необходимых ТП приступим к выбору необходимого оборудования самого РП-6 кВ.

2.3 Выбор оборудования распределительного пункта РП-6 кВ

«Комплектное распределительное устройство - КРУ, состоящее из шкафов или блоков со встроенными в них аппаратами, устройствами измерения, защиты и автоматики и соединительных элементов (например, токопроводов), поставляемых в собранном или полностью подготовленном к сборке виде» [17].

Для проектируемого распределительного пункта (РП) выбираем комплектное распределительное устройство (КРУ) Schneider Electric серии McSet [10].

«Ячейка MCset для внутренней установки это КРУ в металлическом корпусе, разделенном на отсеки металлическими заземленными перегородками. Предназначено для распределения электроэнергии среднего напряжения на ВВ/СН подстанциях и на СН/НН подстанциях большой мощности» [10].

«MCset это:

- готовые решения, разработанные с учетом Ваших требований;
- ячейки с элегазовыми и вакуумными выключателями;
- минимальное техническое обслуживание;
- сервисное обслуживание по всему миру» [10].

Схема расположения элементов в ячейке КРУ серии MCset отображена на рисунке 2.

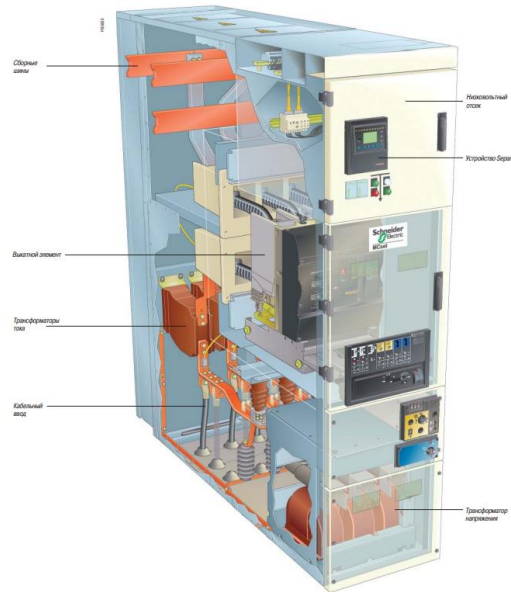


Рисунок 2 – Схема расположения элементов в ячейке КРУ серии MCset

«Ячейка MCset для внутренней установки это КРУ в металлическом корпусе, разделенном на отсеки металлическими заземленными перегородками. Предназначено для распределения электроэнергии среднего напряжения на ВВ/СН подстанциях и на СН/НН подстанциях большой мощности» [10].

«MCset это:

- готовые решения, разработанные с учетом Ваших требований;
- ячейки с элегазовыми и вакуумными выключателями;
- минимальное техническое обслуживание;
- сервисное обслуживание по всему миру» [10].

«Преимущества MCset:

- бесперебойная работа сетей;
- повышенный уровень безопасности персонала;
- оптимизация капиталовложений благодаря увеличению срока службы оборудования;

- возможность интегрирования распределительного щита высокого в систему диспетчеризации» [10].

Для установки в КРУ-6 кВ серии MCset выбираем элегазовые выключатели LF Schneider Electric [31].

«В состав элегазового выключателя LF входят:

- блок выключателя с приводом;
- дугогасительная камера: три главных полюса расположены в герметичном корпусе, удовлетворяющем требованиям, предъявляемым к «сосудам под давлением, запаянным на весь срок службы» (в соответствии со стандартом МЭК 60056, приложение EE). Этот газонепроницаемый корпус заполнен элегазом под низким давлением 0,15 МПа (1,5 бар);
- пружинный привод RI. Пружинный привод RI обеспечивает включение и отключение со скоростью, не зависящей от оператора;
- панель с ручным взводом пружинного механизма, кнопками управления и индикаторами состояния» [31].

Внешний вид элегазового выключателя LF изображен на рисунке 3.



Рисунок 3 – элегазовый выключатель LF

Производим выбор коммутационных аппаратов КРУ [15]:

- по номинальному напряжению;
- по номинальному току

Выбор аппаратов по номинальному напряжению должен соответствовать условию:

$$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{УСТ}}, \quad (24)$$

где $U_{\text{НОМ}}$ - номинальное напряжение выбранного аппарата, В;

$U_{\text{УСТ}}$ - среднее номинальное напряжение сети, В.

Выбор аппаратов по номинальному току должен соответствовать условию:

$$I_{\text{НОМ}} \geq I_p, \quad (25)$$

где I_p - расчетный ток нагрузки, А.

Для выбора оборудования ячеек КРУ определим расчетный ток фидера, - 6кВ по величине расчетной нагрузки [24]:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} * U_{\text{НОМ}}}, \quad (26)$$
$$I_p = \frac{5872,37/2}{\sqrt{3} \cdot 6,0} = 282,8 \text{ А.}$$

Рассчитаем нагрузку собственных нужд РП-6 кВ.

Нагрузка собственных нужд в РП-6 кВ:

- система электрического отопления;
- система вентиляции;
- система кондиционирования воздуха;
- система автоматизации и сигнализации;

- электрическое освещение;
- нагрузка при проведении ремонтных и наладочных работ.

РП-6 кВ оборудовано рабочим (220 В) и аварийным (36 В) освещением. В соответствии с паспортными данными условия эксплуатации КРУ серии MCset температуре окружающего воздуха от -5°C до + 40°C [10], следовательно требуется, электрический обогрев в зимний период и охлаждение помещения в летний период.

Управление системами отопления и кондиционирования должно осуществляться как в ручном, так и автоматическом режиме.

Определим нагрузки собственных нужд и сведем их в таблицу 12.

Таблица 12 – Нагрузка собственных нужд РП-6 кВ для одной секции шин

| Вид потребителя | Установленная мощность | | cosφ | tgφ | Нагрузка | |
|---------------------------|------------------------|------------|------|-----|-------------------------|--------------------------|
| | Ед. х кВт | всего, кВт | | | Р _{уст.} , кВт | Q _{уст.} , квар |
| Система отопления | 4х2 | 8 | 1 | 0 | 8 | - |
| Система вентиляции | 1х2 | 2 | 1 | 0 | 2 | - |
| Система кондиционирования | 1х3 | 3 | 1 | - | 3 | - |
| Система освещения | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | - |
| Итого | - | - | - | - | 14 | 0 |

Расчетная нагрузка при коэффициенте спроса, учитывающего коэффициенты разновременности и загрузки, $k_C = 0,8$ [32]:

$$S_{\text{расч}} = k_C \sqrt{P_{\text{уст}}^2 + Q_{\text{уст}}^2}, \quad (27)$$

$$S_{\text{РАСЧ}} = 0,8 \cdot \sqrt{14^2 + 0^2} = 11,2 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

По каталогу завода-изготовителя выбираем трансформатор марки ТСКС-16кВА, предназначенный для установки в ячейках КРУ [8].

По каталогу завода-изготовителя выбираем ячейки КРУ MCset [18].

Выбираем по I_p вводные ячейки серии MCset, LI-B, тип AD2:

- выключатель тип LF1, $U_{\text{НОМ}} = 6 \text{ кВ}$, $I_{\text{НОМ}} = 630 \text{ А}$;
- адаптеры RCAB Schneider Electric;
- трансформаторы тока тип ARJP2/N2J 600/5–5, 20 В·А, класс точности 0,5, $I_{\text{Т.С.}} = 50,0 \text{ кА}$, $t_{\text{Т.С.}} = 1,0 \text{ с}$.
- трансформаторы напряжения типа VRQ3n/S2 Schneider Electric $U_{\text{перв.обмот.}} = 6,0 \text{ кВ}$, $U_2 = 100 \text{ В}$, класс точности 0,5, $S_{\text{НОМ}} = 75 \text{ В·А}$.

Выбираем по I_p секционные ячейки серии MCset, BS-B, тип CL2-GL2 :

- выключатель тип LF1, $U_{\text{НОМ}} = 6 \text{ кВ}$, $I_{\text{НОМ}} = 630 \text{ А}$;
- трансформаторы тока тип ARJP2/N2J 600/5–5, 20 ВА, класс точности 0,5, $I_{\text{Т.С.}} = 50,0 \text{ кА}$, $t_{\text{Т.С.}} = 1,0 \text{ с}$;
- трансформаторы напряжения типа VRQ3n/S2 Schneider Electric $U_{\text{перв.обмот.}} = 6,0 \text{ кВ}$, $U_2 = 100 \text{ В}$, класс точности 0,5, $S_{\text{НОМ}} = 75 \text{ В·А}$.

Выбираем по I_p отходящие ячейки MCset, TF-B, тип AD2:

- выключатель тип LF1, $U_{\text{НОМ}} = 6 \text{ кВ}$, $I_{\text{НОМ}} = 630 \text{ А}$;
- трансформаторы тока тип ARJP2/N2J 300/5–5, 20В·А, класс точности 0,5, $I_{\text{Т.С.}} = 50,0 \text{ кА}$, $t_{\text{Т.С.}} = 1,0 \text{ с}$.
- трансформаторы напряжения типа VRQ3n/S2 Schneider Electric $U_{\text{перв.обмот.}} = 6,0 \text{ кВ}$, $U_2 = 100 \text{ В}$, класс точности 0,5, $S_{\text{НОМ}} = 75 \text{ В·А}$.

Выбираем отходящие ячейки MCset, TF-S, тип DI 2:

- выключатель тип DI, $U_{\text{НОМ}} = 6 \text{ кВ}$, $I_{\text{НОМ}} = 200 \text{ А}$;
- предохранители Fusarc CF, $U_{\text{НОМ}} = 6 \text{ кВ}$, $I_{\text{НОМ}} = 6,3 \text{ А}$;

Выбираем отходящие ячейки MCset,:

- трансформатор ТСКС-16, $U_{\text{НОМ.ВН}} = 6 \text{ кВ}$, $U_{\text{НОМ.НН}} = 0,4 \text{ кВ}$, $P_{\text{НОМ}} = 16 \text{ кВ·А}$.

Выбираем устройства защиты и измерений серии SEPAM 1000 + Schneider Electric, сборные медные не изолированные шины на ток 1250 А, габаритные размеры выбранных ячеек: 2300x700x1550мм.

Компоновку комплектующих по ячейкам представим в таблице 13.

Таблица 13 – Результаты выбора аппаратов КРУ-6 кВ и компоновка комплектующих по ячейкам

| Номер ячейки | Название ячейки | Номинальное напряжение ячейки, кВ | Номинальный ток ячейки, А. | Компоновка ячейки | | | | | | | | |
|--------------|--|-----------------------------------|----------------------------|-------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------------|-------------------------------|--------------------------|--|--|
| | | | | Выключатель | | | Трансформатор тока | | | Трансформатор напряжения | | |
| | | | | Тип | Номинальный ток, А. | Ток отключения, кА | Тип | Коэффициент трансформации | Ток термической стойкости, кА | Тип | U _{ном} первичной обмотки, кВ | U _{ном} вторичной обмотки, кВ |
| 5,8 | Вводная ячейка серии MCset, LI-B, тип AD2 | 6,0 | 630 | LF1 | 630 | 25 | ARJP2 /N2J | 600/5-5 | 50 | VRQ3n/S ₂ | 6,0 | 0,1 |
| 6, 7 | Секционная ячейка серии MCset, BS-B, тип CL2-GL2 | 6,0 | 630 | LF1 | 630 | 25 | ARJP2 /N2J | 600/5-5 | 50 | VRQ3n/S ₂ | 6,0 | 0,1 |
| 3, 4, 9, 10 | Отходящая ячейка MCset, TF-B, тип AD2 | 6,0 | 630 | LF1 | 630 | 25 | ARJP2 /N2J | 300/5-5 | 50 | VRQ3n/S ₂ | 6,0 | 0,1 |
| 2, 11 | Отходящая ячейка MCset1, TF-S, тип DI 2 (выключатель и предохранитель) | 6,0 | 200 | DI Fusarc CF | 200 6,3 | 50 50 | - | - | - | - | - | - |
| 1, 12 | Отходящая ячейка MCset, трансформатор собственных нужд ТСКК-16 | - | - | - | - | - | - | - | - | ТСКК-16 | 6,0 | 0,4 |

Выберем сечения питающих кабельных линий от ГРП-35/6 до РП-6 кВ по экономической плотности тока.

Экономически выгодное сечение определим по формуле [29]:

$$F_{\text{ЭК}} = \frac{I_{\text{НБ}}}{j_{\text{ЭК}}}, \quad (28)$$

где $I_{\text{НБ}}$ - наибольший расчетный ток линии в нормальном режиме, А;
 $j_{\text{ЭК}}$ - экономическая плотность тока, А/мм², определим по справочнику.

$$F_{\text{ЭК}} = \frac{282,8}{3,1} = 91,2 \text{ мм}^2.$$

Выбираем кабель Alsecure N2XH с ближайшим стандартным сечением - 95 мм², поэтому $F_{\text{ЭК}}=95 \text{ мм}^2$ [33].

2.4 Расчет токов короткого замыкания

Распределительное устройство РП-6кВ питается от городской подстанции ГРП -35/6 с трансформаторами 16 МВА.

Мощность системы 2500 МВА.

Подключение осуществляется кабельной линией 6 кВ длиной 1,5 км. От РП-6 кВ до ТП1 2 км. Сведения о применяемых кабелях в таблице 14.

Таблица 14 – Сведения о кабелях 6 кВ Alsecure N2XH

| Магистраль 1: РП-ТП1 | | | | | |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| КЛ | РП1-ТП1 | ТП1-ТП2 | ТП2-ТП3 | ТП3-ТП4 | ТП4-ТП5 |
| S, кВ·А | 2485,98 | 1725.1 | 1254.5 | 870.18 | 499.3 |
| F, мм ² | 95 | 70 | 50 | 35 | 25 |

Представим расчетную схему на рисунке 4.

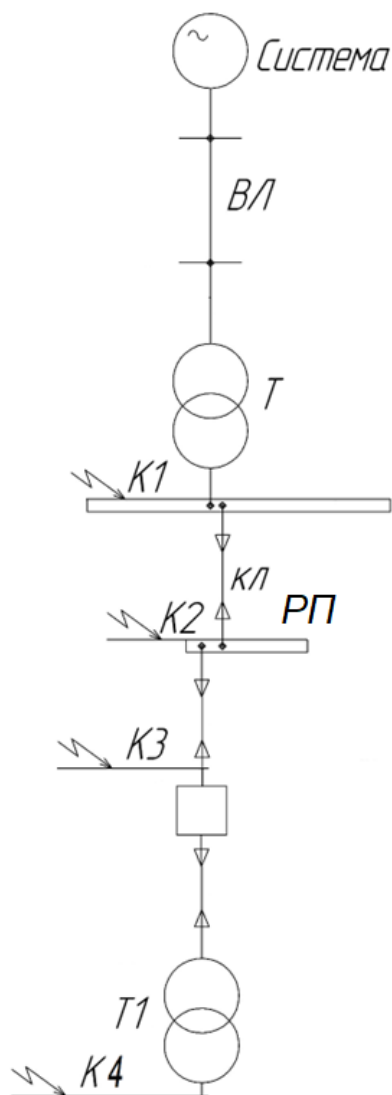


Рисунок 4 - Расчетная схема

По расчетной схеме составляется эквивалентная электрическая схема, в которой все магнитные связи заменяются электрическими. На рисунке 5 представлена схема замещения.

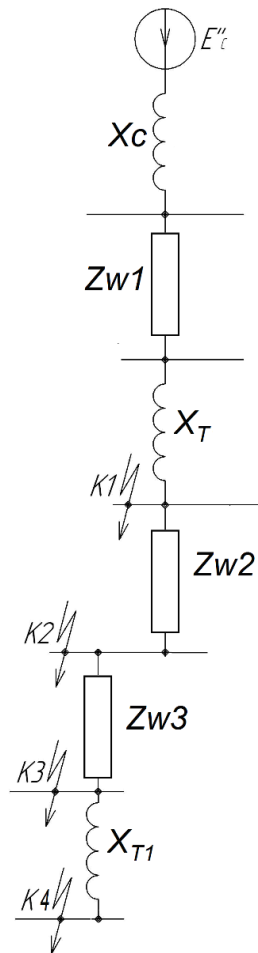


Рисунок 5 - Схема замещения

Напряжение: $U_{cp.} = 37$ кВ.

Найдем сопротивление системы при мощности системы 2500 МВА по формуле [25]:

$$X_{cmax} \cong \frac{U_{cp}^2}{S_c}, \quad (29)$$

$$X_{cmax} = \frac{37^2}{2500} = 0,54 \text{ Ом.}$$

Сопротивление воздушной линии (ВЛ) W_1 :

$$X_{W1} = X_{W01} \cdot l_{W1}, \quad (30)$$

$$R_{W1} = R_{W01} \cdot l_{W1}, \quad (31)$$

$$X_{W1} = 0,432 \cdot 4 = 1,7 \text{ Ом},$$

$$R_{W1} = 0,428 \cdot 4 = 1,7 \text{ Ом}.$$

Сопротивление трансформатора Т1 найдем по формуле [25]:

$$X_{Tmin} = \frac{U_{K \min\%} \cdot U^2_{\min_{BH}}}{100 \cdot S_{HT1}} = \frac{U_{K \min\%} \cdot [U_{CPBH} \cdot (1 - \Delta U_{*PPH})]^2}{100 \cdot S_{HT1}}, \quad (32)$$

$$X_{Tmax} = \frac{U_{K \max\%} \cdot U^2_{\max_{BH}}}{100 \cdot S_{HT1}} = \frac{U_{K \max\%} \cdot [U_{CPBH} \cdot (1 + \Delta U_{*PPH})]^2}{100 \cdot S_{HT1}}, \quad (33)$$

$$X_{T1min} = \frac{9,8 \cdot [37 \cdot (1 - 0,16)]^2}{100 \cdot 16} = 6,0 \text{ Ом},$$

$$X_{T1max} = \frac{11,71 \cdot [37 \cdot (1 + 0,16)]^2}{100 \cdot 16} = 12,00 \text{ Ом}.$$

Сопротивление кабельной линии (КЛ) W2 от РУ-6 кВ ГРП -35/6 до РП - 6 кВ:

Активное:

$$R_{W2} = \frac{R_{W02} \cdot l_{W2}}{n}, \quad (34)$$

$$R_{W2} = \frac{0,16 \cdot 1,5}{1} = 0,24 \text{ Ом}.$$

Реактивное:

$$X_{W2} = \frac{X_{W02} \cdot l_{W2}}{n} \quad (35)$$

$$X_{W2} = \frac{0,09 \cdot 1,5}{1} = 0,13 \text{ Ом}.$$

Сопrotивление КЛ W3 от РП-6 кВ до ТП1:

$$R_{W3} = \frac{0,16 \cdot 2}{1} = 0,32 \text{ Ом},$$

$$X_{W3} = \frac{0,09 \cdot 2}{1} = 0,18 \text{ Ом}.$$

Для трансформатора подстанции Т1:

$$X_{T1} = \frac{5,5 \cdot 6,3^2}{100 \cdot 1,25} = 1,74 \text{ Ом}$$

Ток КЗ в точке К1:

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{35000}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{1,7^2 + (0,54 + 1,7 + 6)^2}} = 2432 \text{ А}$$

Максимальный ток КЗ за трансформатором 35/6 найдем по формуле [25]:

$$I_{K \text{ max. ВН}}^{(3)} = \frac{U_{\text{maxВН}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{W1}^2 + (X_C + X_{W1} + X_{T1 \text{ min}})^2}}, \quad (36)$$

где $U_{\text{ном}}$ - номинальное напряжение сети, кВ;

X_C - сопротивление системы, Ом.

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{40500}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{1,7^2 + (0,54 + 1,7 + 12)^2}} = 1632,4 \text{ А}.$$

Приведенное значение $I_{к \cdot \text{ макс. вн}}^{(3)}$ к стороне НН определим по минимальному коэффициенту трансформации трансформатора:

$$I_{к.мах.НН}^{(3)} = \frac{U_{ср.вн} (1 - \Delta U_{*рпн})}{U_{НН}} I_{к.мах.ВН}^{(3)}, \quad (37)$$

где $U_{ср.вн}$ - среднее значение напряжения.

Приводим ток $I_{К3}$ к стороне 6 кВ:

$$I_{К1мах.ВН}^{(3)} = \frac{37000 \cdot (1 - 0,16)}{6300} \cdot 2432 = 11997 \text{ А.}$$

Минимальный ток КЗ:

$$I_{К1min.ВН}^{(3)} = \frac{U_{махВН}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{W1}^2 + (X_{Cmin} + X_{W1} + X_{T1мах})^2}} \quad (38)$$

где $U_{мах.ВН}$ определяется по РПН и берется не более 40,5 кВ [25];

X_{Cmin} - сопротивление системы в минимальном режиме ее работы.

$$I_{К1min.ВН}^{(3)} = \frac{40500}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{1,7^2 + (0,54 + 1,7 + 12)^2}} = 1632,4 \text{ А.}$$

Приводим ток $I_{К3}$ к стороне 6 кВ:

$$I_{К1min.ВН}^{(3)} = \frac{35}{6} \cdot 1632 = 9576,6 \text{ А.}$$

Сопротивление до точки К1:

$$X_{К1мах} = \frac{U_{СР}}{\sqrt{3} * I_{К1махВН}^{(3)}}, \quad (39)$$

$$X_{К1min} = \frac{U_{СР}}{\sqrt{3} * I_{К1minВН}^{(3)}}, \quad (40)$$

где I_{K3} – ток короткого замыкания, А;

U_{CP} - среднее значение напряжения, В.

$$X_{K1min} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 11997} = 0,3 \text{ Ом},$$

$$X_{K1max} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 9576.6} = 0,38 \text{ Ом}.$$

Максимальный ток КЗ в точке К2:

$$I_{K2max}^{(3)} = \frac{U_{CP}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{W2}^2 + (X_{K1min} + X_{W2})^2}}, \quad (41)$$

$$I_{K2max}^{(3)} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,24^2 + (0,3 + 0,12)^2}} = 7140,4 \text{ А}.$$

Минимальный ток КЗ в точке К2:

$$I_{K2min}^{(3)} = \frac{U_{maxBH}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{W2}^2 + (X_{W2} + X_{K1max})^2}}, \quad (42)$$

$$I_{K2min}^{(3)} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,24^2 + (0,38 + 0,12)^2}} = 6558,3 \text{ А}.$$

Сопротивление до точки К2:

$$X_{K2max} = \frac{U_{CP}}{\sqrt{3} * I_{K2max BH}^{(3)}}, \quad (43)$$

$$X_{K2min} = \frac{U_{CP}}{\sqrt{3} * I_{K2min BH}^{(3)}}, \quad (44)$$

$$X_{K2min} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 7140,4} = 0,51 \text{ Ом},$$

$$X_{K2max} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 6558,3} = 0,56 \text{ Ом.}$$

Максимальный ток КЗ в точке К3:

$$I_{K3max}^{(3)} = \frac{U_{CP}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{W3}^2 + (X_{K2min} + X_{W3})^2}}, \quad (45)$$

$$I_{K3max}^{(3)} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,32^2 + (0,51 + 0,18)^2}} = 4787,9 \text{ А.}$$

Минимальный ток КЗ в точке К3:

$$I_{K3min}^{(3)} = \frac{U_{maxBH}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{W3}^2 + (X_{W3} + X_{K2max})^2}}, \quad (46)$$

$$I_{K3min}^{(3)} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,32^2 + (0,56 + 0,18)^2}} = 4516,8 \text{ А.}$$

Максимальный ток КЗ в точке К4 (за трансформатором):

$$I_{K4maxHH}^{(3)} = \frac{U_{CP}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{W2}^2 + (X_{K1min} + X_{W2} + X_{T1})^2}}, \quad (47)$$

$$I_{K4maxHH}^{(3)} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(0,3 + 0,24)^2 + (0,33 + 0,12 + 0,18 + 1,74)^2}} = 1496,4 \text{ А.}$$

Находим ударный ток по формуле [11]:

$$i_y = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\infty}, \quad (48)$$

где K_y – ударный коэффициент.

Ударный ток:

$$i_y = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 7,14 = 18,17 \text{ кА.}$$

Тепловой импульс на стороне ВН [11]:

$$B_K = I_{\Pi}^2 \cdot t_{\text{отк}}, \quad (49)$$

где $t_{\text{отк}}$ – сумма времени отключения выключателя и срабатывания релейной защиты, $t_{\text{отк.}} = 0,75 \text{ с.}$

$$B_K = 7,14^2 \cdot 0,75 = 38,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

Данные о проверке выбранных аппаратов 6кВ занесем в таблицу 15 и 16.

Таблица 15 – Проверка выбранного выключателя LF1

| Выключатель типа LF1 | | | |
|--|-------------------------|------------------|----------|
| Паспортные данные | | Расчетные данные | |
| $U_{\text{ном}}$ | 6 кВ | $U_{\text{уст}}$ | 6 кВ |
| $I_{\text{ном}}$ | 630 А | $I_{\text{р}}$ | 565,6 А |
| $i_{\text{ном.дин}}$ | 64 кА | i_y | 18,17 кА |
| $I_{\text{тер}}^2 t_{\text{тер}} = 25^2 \cdot 3$ | 1875 кА ² ·с | B_K | 38,2 кА |

Таблица 16 – Проверка выбранного трансформатора тока тип ARJP2/N2J

| Трансформаторы тока тип ARJP2/N2J | | | |
|--|------------------------|------------------|----------|
| $U_{\text{ном}}$ | 6 кВ | $U_{\text{уст}}$ | 6 кВ |
| $I_{\text{ном}}$ | 600 А | $I_{\text{р}}$ | 282,8 А |
| $i_{\text{ном.дин}}$ | 50 кА | i_y | 18,17 кА |
| $I_{\text{тер}}^2 t_{\text{тер}} = 25^2 \cdot 3$ | 1875кА ² ·с | B_K | 38,2 кА |

В ходе проверки мы выяснили, что все выбранное оборудование соответствует расчетным данным.

Вывод по разделу.

Прогресс не стоит на месте, с каждым годом на рынке появляется новое более современное, цифровое и технологичное оборудование, таким образом для реконструкции РП-6 кВ мы используем электрооборудование, марки Schneider Electric, одного из ведущих производителей в мире, а именно:

- КРУ серии McSet,
- элегазовые выключатели серии LF,
- терминалы SEPAM.

Используем огнестойкие, безгалогеновые кабели Alsecure.

Все выбранные материалы и оборудование сертифицированы в РФ, а значит соответствуют необходимым требованиям безопасности действующим на территории РФ.

3 Реконструкция РЗА РП-6 кВ

3.1 Расчет защит силовых трансформаторов 6/0,4 кВ

«В соответствии с требованиями ПУЭ для силового трансформатора 6/0,4 кВ со стороны источника питания должны быть установлены необходимые защиты, обеспечивающие выявление повреждений в трансформаторе:

- токовая отсечка (ТО) – реализована с помощью первой ступени МТЗ терминала SEPAM код ANSI 50/51;
- максимально токовая защита (МТЗ) – реализована с помощью второй ступени МТЗ терминала SEPAM код ANSI 50/51;
- защита от перегрузки (ЗП) – реализована с помощью одной из ступеней МТЗ терминала SEPAM код ANSI 50/51;
- защита от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) – код ANSI 50N/51N;
- газовая защита с действием на сигнал для выявления повреждений внутри трансформатора» [19].

3.1.1 Расчет токовой отсечки трансформатора

Расчет токовой отсечки трансформатора производим в соответствии с раздел 3.2.54 пункт 2 ПУЭ [17].

Определяем первичный ток срабатывания отсечки по формуле [25]:

$$I_{с.з.1} = k_{отс} \cdot I_{К4maxНН}^{(3)} \quad (50)$$

$$I_{с.з.1} = 1,15 \cdot 1496,4 = 1720,9 \text{ А,}$$

где $k_{отс}$ - коэффициент отстройки, для SEPAM равен 1,1–1,15, согласно рекомендациям Schneider Electric [13].

Определяем номинальный ток трансформатора по формуле:

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}}, \quad (51)$$
$$I_{\text{НОМ}} = \frac{1250}{\sqrt{3} \cdot 6} = 120,3 \text{ А.}$$

Определяем бросок тока намагничивания трансформатора по формуле:

$$I_{\text{с.з.2}} = K_{\text{ОТС}} \cdot K_{\text{БР}} \cdot I_{\text{НОМ}}, \quad (52)$$

где $K_{\text{БР}} = 3-5$ коэффициент броска тока намагничивания, принимается $K_{\text{БР}} = 5$, согласно рекомендациям Schneider Electric [13].

$$I_{\text{с.з.2}} = 1,15 \cdot 5 \cdot 120,3 = 691,7 \text{ А.}$$

За расчетный ток принимаем наибольший ток срабатывания защиты $I_{\text{с.з.1}} = 1720,9 \text{ А} > I_{\text{с.з.2}} = 691,7 \text{ А}$ следовательно $I_{\text{с.з.}} = 1720,9 \text{ А}$.

Определяем вторичный ток срабатывания реле по формуле:

$$I_{\text{с.р.}} = \frac{I_{\text{с.з.}} \cdot K_{\text{с.х.}}}{n_{\text{Т}}}, \quad (53)$$

где $K_{\text{с.х.}} = 1$ - когда вторичные обмотки трансформаторов тока, выполнены по схеме «полная звезда»;

$n_{\text{Т}}=300/5$ - коэффициент трансформации трансформаторов тока.

$$I_{\text{с.р.}} = \frac{1720,9 \cdot 1}{300/5} = 28,68 \text{ А.}$$

Определим коэффициент чувствительности защиты при двухфазном КЗ [25]:

$$K_{\text{ч}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{I_{\text{К}2\text{min}}^{(3)}}{n_{\text{T}} \cdot I_{\text{с.р.}}}, \quad (54)$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{6558,3}{300/5 \cdot 28,68} = 3,3 \geq 2.$$

Как мы видим $K_{\text{ч}}$, соответствует требованиям ПУЭ (раздел 3.2.21 пункт 8) должен быть > 2 .

Выбираем время срабатывания отсечки $t_{\text{с.о.}} = 100$ мс, для обеспечения селективности действия защиты

3.1.2 Расчет максимальной токовой защиты

Расчет максимально токовой защиты производим в соответствии с разделом 3.2.60 ПУЭ [17].

«Максимальная токовая защита должна отстраиваться от максимального возможного рабочего тока, с учетом того, что возможен самозапуск электродвигателей 0,4 кВ» [19]:

Определяем максимальный рабочий ток по формуле:

$$I_{\text{max}} = \frac{K_{\text{з}} + S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}}, \quad (55)$$

$$I_{\text{max}} = \frac{1,1 + 1250}{\sqrt{3} \cdot 6} = 132,34 \text{ А.}$$

Определяем первичный ток срабатывания защиты по формуле:

$$I_{\text{с.з}} = \frac{k_{\text{н}} \cdot k_{\text{сзп}}}{k_{\text{в}}} \cdot I_{\text{max}}, \quad (56)$$

где $k_{\text{н}}$ - коэффициент надежности, для терминалов SEPAM принимается 1,1 [13];

k_b - коэффициент возврата, для терминалов SEPAM принимается 0,935 [13];

$k_{сзп}$ - коэффициент самозапуска электродвигателей обобщенной нагрузки, если двигателя не оборудованы устройством самозапуска, применяется $1,2 \div 1,3$;

I_{max} - максимальный рабочий ток, А.

$$I_{с.з} = \frac{1,1 \cdot 1,3}{0,935} \cdot 132,34 = 202,4 \text{ А.}$$

Определяем вторичный ток срабатывания реле по формуле:

$$I_{с.р.} = \frac{I_{с.з.} \cdot K_{с.х.}}{n_T}, \quad (57)$$

где $K_{с.х.} = 1$ - когда вторичные обмотки трансформаторов тока, выполнены по схеме «полная звезда»;

$n_T = 300/5$ - коэффициент трансформации трансформаторов тока.

$$I_{с.р.} = \frac{202,4 \cdot 1}{300/5} = 3,37 \text{ А.}$$

Определяем чувствительность МТЗ блока линия – трансформатор в основной зоне действия (КЗ за трансформатором):

$$K_{ч} = \frac{1}{2} \cdot \frac{I_{K4maxHH}^{(3)}}{I_{с.з.}}, \quad (57)$$

$$K_{ч} = \frac{0,5 \cdot 1496,4}{202,4} = 3,7 > 1,5.$$

Далее находим защиту от перегрузки.

3.1.3 Защита от перегрузки ANSI 50/51

Защиту от перегрузки ANSI 50/51 определяем по раздел 3.2.69 ПУЭ [17].

Определяем первичный ток срабатывания защиты по формуле:

$$I_{с.з} = \frac{k_{отс} \cdot I_{ном}}{k_B}, \quad (57)$$

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

k_B - коэффициент возврата, для терминалов SEPAM принимается 0,935 [13].

$$I_{с.з} = \frac{1,1 \cdot 120,3}{0,935} = 141,5 \text{ А.}$$

Определяем вторичный ток срабатывания реле по формуле:

$$I_{с.р.} = \frac{I_{с.з.} \cdot K_{с.х.}}{n_T}, \quad (58)$$

где $K_{с.х.} = 1$ - когда вторичные обмотки трансформаторов тока, выполнены по схеме «полная звезда»,

$n_T=300/5$ - коэффициент трансформации трансформаторов тока.

$$I_{с.р.} = \frac{141,5 \cdot 1}{300/5} = 2,36 \text{ А}$$

Время срабатывания защиты от симметричных перегрузок (для устранения ложных срабатываний) должно превышать время работы основных защит трансформатора. Выбираем выдержку времени защиты трансформаторов от симметричных перегрузок 9 с.

3.2 Расчет защиты кабельных линий 6 кВ: W2 и W3

Ток срабатывания мгновенной отсечки выбирается из условия отстройки от максимального тока КЗ в конце защищаемой линии:

$$I_{с.з.W2} = k_H \cdot I_{K2max}^{(3)}, \quad (59)$$

$$I_{с.з.W3} = k_H \cdot I_{K3max}^{(3)}, \quad (60)$$

где k_H - коэффициент надежности, для терминалов SEPAM принимается 1,1 [13].

$$I_{с.з.W2} = 1,1 \cdot 7140 = 7854 \text{ А},$$

$$I_{с.з.W3} = 1,1 \cdot 4787,9 = 5266,7 \text{ А}.$$

Определим чувствительности защиты при двухфазных коротких замыканиях по формуле:

$$K_{чW2} = \frac{I_{K1min}^{(3)}}{I_{с.з.W2}}, \quad (61)$$

$$K_{чW3} = \frac{I_{K2min}^{(3)}}{I_{с.з.W3}}, \quad (62)$$

$$K_{чW2} = \frac{9576,6}{7854} = 1,22 < 2,$$

$$K_{чW3} = \frac{6558,3}{5266,7} = 1,25 < 2.$$

Расчет тока срабатывания по условию обеспечения достаточной чувствительности при 2-фазном К.З. в конце защищаемой линии:

$$I_{MT3.W2}^I = \frac{I_{K1min}^{(3)}}{K_{ч,доп}}, \quad (63)$$

$$I_{\text{МТЗ.}W3}^I = \frac{I_{K2min}^{(3)}}{K_{\text{ч.доп}}}, \quad (64)$$

где $K_{\text{ч. доп}}=1,5$ -допустимый коэффициент чувствительности.

$$I_{\text{МТЗ.}W2}^I = \frac{0,87 \cdot 9576,6}{1,5} = 5554,4 \text{ А,}$$

$$I_{\text{МТЗ.}W3}^I = \frac{0,87 \cdot 6558,3}{1,5} = 3803,8 \text{ А.}$$

Определим напряжение срабатывания токовой комбинированной отсечки:

$$U_{\text{с.о.}W2} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{МТЗ.}}^I \cdot Z_{W2}}{K_3}, \quad (65)$$

$$U_{\text{с.о.}W3} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{МТЗ.}}^I \cdot Z_{W3}}{K_3}, \quad (66)$$

где K_3 -коэффициент запаса=1,2.

$$U_{\text{с.о.}W2} = \frac{\sqrt{3} \cdot 5554,4 \cdot \sqrt{0,24^2 + 0,13^2}}{1,2} = 2,19 \text{ кВ,}$$

$$U_{\text{с.о.}W3} = \frac{\sqrt{3} \cdot 3803,8 \cdot \sqrt{0,3 + 0,18^2}}{1,2} = 1,92 \text{ кВ.}$$

Напряжение срабатывания отсечки должно находиться в пределах $U_{\text{СОК}}=(0,15\dots 0,65) \cdot U_{\text{Н}}$, для W2 $2,19/6=0,37$, для W3 $1,92/6=0,32$.

Для определения чувствительности сначала определим остаточное напряжение при К.З. в точке К2 и К3:

$$U_{\text{ост}} = \sqrt{3} \cdot I_{\text{К.З.}maxK2} \cdot Z_{W2}, \quad (67)$$

$$U_{\text{ост}} = \sqrt{3} \cdot 0,562 \cdot 0,49 = 0,47 \text{ кВ.}$$

Определим коэффициент чувствительности реле напряжения:

$$K_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{min}}}{U_{\text{ост}}} > 1,5, \quad (68)$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{1,17}{0,47} = 2,45 > 1,5.$$

Определим ток срабатывания третьей ступени защиты W2:

$$I_{\text{сз}W2}^{\text{III}} \geq \frac{1,1 \cdot 1,3}{0,935} \cdot 143,7 = 219,7 \text{ А.}$$

Определение чувствительности МТЗ W2 в основной зоне действия (K2):

$$k_{\text{ч1}}^{\text{III}} = \frac{0,87 \cdot 6566}{219,7} = 25,9 > 1,5.$$

Защита от ОЗЗ

Для расчёта ОЗЗ используем метод, основанный на определении удельного емкостного тока замыкания на землю. Значения удельного емкостного тока замыкания на землю, выбираем из справочных данных, либо из каталожных данных Завод-изготовителя кабеля:

$$I_{\text{с.л.}} = I_{\text{с0}} l m \quad (69)$$

где: $I_{\text{с0}}$ - собственный емкостный ток единицы длины линии, А/км;

l – длина линии, км;

m – число проводов (кабелей) в фазе линии.

Расчет для линии фидера №5 (6) РУ-6кВ ПС-35/6 кВ:

$$I_{C.л.} = 1,7 \cdot 1,5 = 2,55 \text{ A.}$$

Релейная защита всех фидеров РУ-6кВ ПС-35/6кВ выполнена на микропроцессорных терминалах SEPAM S40 Schneider Electric.

Определим ток срабатывания защит, с учетом собственного емкостного тока, по формуле:

$$I_{C,з} = K_{отс} K_{бр} (I_{C.л.}) \quad (70)$$

где $K_{отс}$ - коэффициент надежности (принимается равным 1,2);

$K_{бр}$ - коэффициент броска;

$I_{C.л.}$ - емкостный ток защищаемого фидера.

Для SEPAM S40 принимаем $K_{бр} = 1-1,5$.

Расчет для фидера №5 (6) РУ-6 кВ ПС-35/6 кВ:

$$I_{C,з} = 1,2 \cdot 1 \cdot 2,55 = 3,06 \text{ A.}$$

Проверяем чувствительность защиты

Коэффициент чувствительности $K_{ч}$ согласно пункту 3.2.21 ПУЭ равен:
для кабельных линий - 1,25, для воздушных линий - 1,5.

Определим коэффициент чувствительности:

$$K_{ч} = \frac{I_{033\Sigma} - I_C}{I_{C,з.}} \quad (71)$$

где $I_{033\Sigma}$ - суммарный емкостный ток.

Наименьшее реальное значение суммарного емкостного тока, является суммарным емкостным током секции:

$$I_{033\Sigma} = 8,1 \text{ A.}$$

Определим время срабатывания защит от ОЗЗ: для кабельных линий 6кВ время срабатывания защит принимаем равным 0,1 с.

$$K_{\text{ч}} = \frac{8,1 - 2,55}{3,06} = 1,8 \geq 1,25.$$

Для фидера №5(6) чувствительности защиты достаточна, защиту выполняем с действием на отключение.

3.3 Определение времени срабатывания защит

«При согласовании с автоматическим выключателем стороны 0,4 кВ ступень селективности для терминала Sepam принимается $\Delta t = 0,3$ с » [13].
Время срабатывания реле SEPAM определяем при КЗ в точке К4 по выражению [13]:

$$t_{\text{с.з.т}} = t_{\text{с.з.оф}} + \Delta t \quad (72)$$

Определим время срабатывания выключателя на стороне 0,4 кВ.

Кратность тока при двухфазном КЗ составит:

$$K = 0,87 \cdot 1494,3 \cdot 6/0,4/2000 = 9,78$$

Рассмотрим времятоковые характеристики автоматического выключателя 0,4 кВ на рисунке 6.

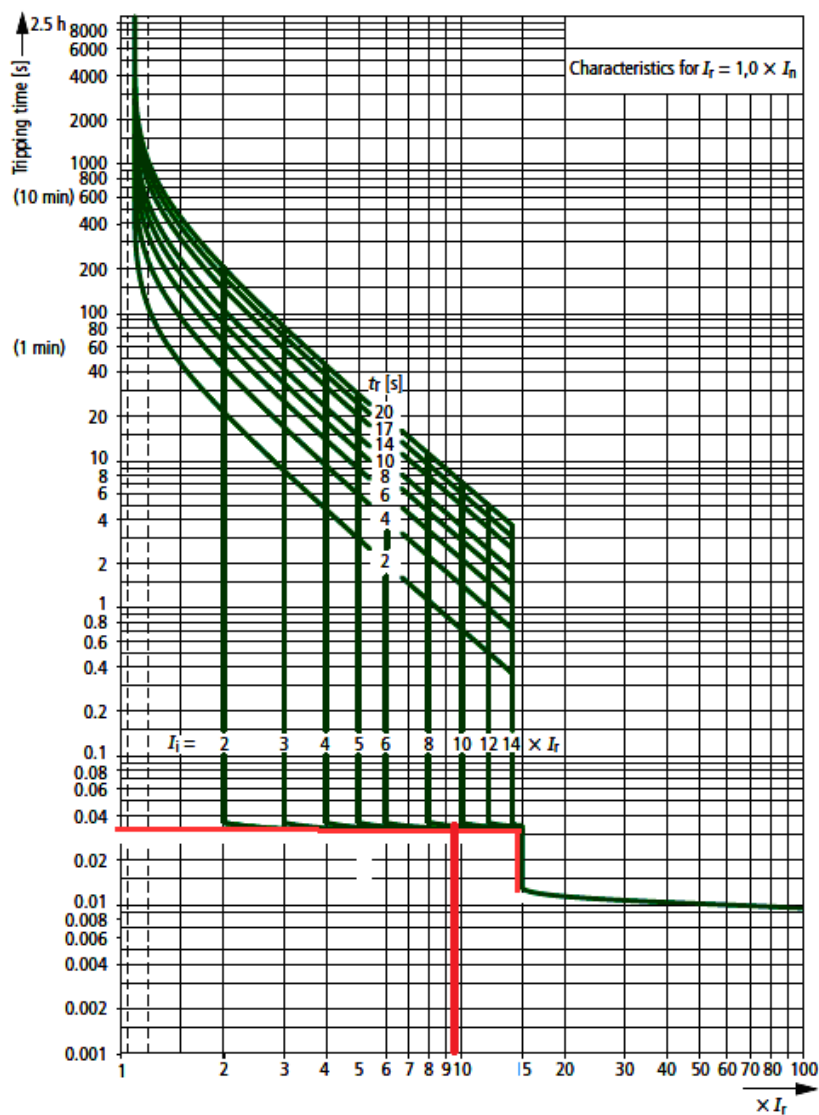


Рисунок 6 – Времятоковая характеристика автоматического выключателя

Автоматический выключатель 0,4 кВ отключится за 0,035 с.

МТЗ силового трансформатора с учетом селективности должна сработать на ступень позже, для SEPAM $\Delta t = 0,3$ с.

Находим время срабатывания МТЗ силового трансформатора:

$$t_{с.з.Т} = 0,035 + 0,3 = 0,335 \text{ с.}$$

Определим кратность тока срабатывания реле Sepam:

$$I_{\text{расч.}} = I_K^{(2)} = 0,87 \cdot 1494,3 = 1300 \text{ A,}$$

$$K = \frac{1300}{184,17} = 7,05.$$

Определим коэффициент TMS для характеристики SEPAM по формуле [13]:

$$TMS = \frac{t_{\text{с.з.}}(I_*) \cdot (I_*^\alpha - 1)}{k} \quad (73)$$

$$TMS = \frac{0,415 \cdot (7,05^{0,02} - 1)}{0,14} = 0,12$$

Округляем $TMS = 0,2$.

$$t = \frac{k}{I_*^\alpha - 1}, \quad (74)$$

$$t = \frac{0,2 \cdot 0,14}{7,05^{0,02} - 1} = 0,57.$$

Окончательно принимаем время срабатывания МТЗ трансформатора:

$$t_{\text{с.з.Т}} = 0,57 \text{ с.}$$

Тогда время срабатывания МТЗ линии W3:

$$t_{\text{с.з.Т}} = 0,335 + 0,3 = 0,635 \text{ с.}$$

Время срабатывания МТЗ линии W2 при КЗ в точке К4:

$$t_{\text{с.з.Т}} = 0,635 + 0,3 = 0,935 \text{ с.}$$

Определим кратность тока срабатывания реле Seram линии W2 при КЗ в точке К4:

$$K = \frac{1300}{219,7} = 5,9.$$

Тогда:

$$TMS = \frac{0,415 \cdot (5,9^{0,02} - 1)}{0,14} = 0,107.$$

Округляем $TMS = 0,2$, тогда время срабатывания реле:

$$t = \frac{0,2 \cdot 0,14}{5,9^{0,02} - 1} = 0,77 \text{ с.}$$

Окончательно принимаем время срабатывания МТЗ линии W2:

$$t_{с.з.т} = 0,935 \text{ с}$$

Определим кратность тока и время срабатывания реле Seram линии W2 при КЗ в точке К2:

$$I_{\text{расч.}} = I_{\text{К}}^{(2)} = 0,87 \cdot 6566 = 5712,42 \text{ А,}$$

$$K = \frac{5712,42}{219,7} = 26,$$

$$t = \frac{0,2 \cdot 0,14}{26^{0,02} - 1} = 0,4 \text{ с.}$$

Нами определено время срабатывания защит всех ступеней необходимых для соблюдения селективности в энергосистеме микрорайона, для обеспечения защиты оборудования системы.

Вывод по разделу.

Таким образом выбранное оборудование и терминалы серии SEPAM «Schneider Electric» полностью обеспечивают выполнение необходимых релейных защит, а именно:

- защита линий, питающих распределительный пункт РП-6 кВ;
- защита линий, питающих силовые трансформаторы подстанций микрорайона;
- защита силовых трансформаторов;
- защита электрооборудования распределительного пункта РП-6 кВ.

4 Расчет контура заземления распределительного пункта

Заземляющее устройство (ЗУ) РП-6кВ выполним согласно ПУЭ. В качестве контурного заземлителя используем электрически непрерывную арматуру фундаментов здания.

«Заземляющие устройства электроустановок должны соответствовать требованиям действующих нормативных документов и обеспечивать в течение всего срока службы электроустановки:

- выполнение условий электробезопасности;
- выполнение условий электромагнитной совместимости;
- заземление молниеотводов и ограничителей перенапряжения;
- рабочее заземление нейтрали электрических сетей» [26].

Система заземления TN-C-S (~380/220В, 3 фазы, нулевой рабочий (N) и нулевой защитный (PE) проводники), суть которой заключается в том, что в функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике в какой-то части системы заземления, начиная от источника питания, наиболее экономически выгодная система, не требующая применения дорогостоящих материалов.

Для заземления шкафов КРУ, панелей РЗА и щитов собственных нужд предусматриваем использование закладных швеллеров помещений.

В помещении КРУ–6кВ кабельные каналы располагаются вдоль 4 стен. Предусматриваем заземляющий контур выполнить по обеим сторонам кабельных каналов из стальной полосы 40х4 мм².

В качестве основного заземляющего устройства, общего для всех электроустановок, системы защитного заземления, уравнивания потенциалов и системы молниезащиты используем контур повторного заземления, проложенный по периметру здания.

В качестве естественного заземлителя используем монолитный железобетонный фундамент, который соединяется с общим контуром заземления.

Для электроустановок до и выше 1000 В рассматриваем два значения нормативных сопротивлений заземляющих устройств [17]:

$$\begin{aligned} &\text{для стороны до } 1000\text{В} - R_{3y} = 4 \text{ Ом}, \\ &\text{для стороны выше } 1000\text{В} - R_{3y} \leq 125/I_3. \end{aligned}$$

За расчётное принимаем меньшее значение.

Определим сопротивление ЗУ по формуле:

$$R_{3y} \leq \frac{125}{I_3}, \quad (75)$$

где $I_3 = 8 \text{ А}$ - емкостной ток замыкания на землю сети выше 1000 В,

$$R_{3y} \leq \frac{125}{8} = 15,6 \text{ Ом}.$$

Таким образом, определяющим для расчёта является требование:

$$R_{3y} = 4 \text{ Ом}.$$

Определим удельное расчетное сопротивление земли с учетом коэффициента сезонности для г.Пермь (I зона) [27]:

- для горизонтально проложенного электрода

$$\rho_{\Gamma} = \rho \cdot K_c, \quad (76)$$

- для вертикального проложенного электрода

$$\rho_{\text{В}} = \rho \cdot K_c, \quad (77)$$

где $K_c = 1,25 - 3$ – коэффициент сезонности [27];

$\rho = 115 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ – удельное сопротивление грунта (I зона).

$$\rho_{\Gamma} = 115 \cdot 3,0 = 345 \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

$$\rho_{\text{В}} = 115 \cdot 1,25 = 143,75 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Общий контур заземления выполняем в виде выносного контура.

В качестве вертикальных электродов используем круглые стальные стержни $d=18 \text{ мм}$ и $l=5 \text{ м}$.

Верх электрода заглубляем ниже уровня земли на $0,7 \text{ м}$.

Находим сопротивление вертикального электрода длиной $l=5 \text{ м}$ по формуле:

$$R_{\text{В}} = 0,228 \cdot \rho_{\text{р}}, \quad (78)$$

$$R_{\text{В}} = 0,228 \cdot 143,75 = 32,7 \text{ Ом}.$$

Определим количество вертикальных заземлителей по формуле:

$$n = \frac{R_{\text{В}}}{R_{\text{з\у}} \cdot K_{\text{и.в.}}}, \quad (79)$$

$$n = \frac{32,7}{4 \cdot 0,56} = 14,6.$$

Предварительно принимаем $n = 15$ вертикальных заземлителей.

Горизонтальный заземлитель выполняем из полосовой стали $40 \times 6 \text{ мм}$.

Общая длина полосы $l = 170 \text{ м}$.

Определим сопротивление горизонтальной полосы по формуле:

$$R'_{\Gamma} = \frac{R_{\Gamma}}{K_{\text{и.г.}}}, \quad (80)$$

где R_{Γ} - сопротивление горизонтальной полосы, Ом,

$$R_{\Gamma} = \frac{2 \cdot \rho_p}{l}, \quad (81)$$

где $K_{и.г.}$ - коэффициент использования горизонтальных электродов
($K_{и.г.} = 0,3 - 0,4$).

$$R_{\Gamma} = \frac{2 \cdot 345}{170} = 4,0 \text{ Ом},$$

$$R'_{\Gamma} = \frac{5,4}{0,27} = 20 \text{ Ом}.$$

Определим сопротивление вертикальных электродов с учетом расчета горизонтальной полосы:

$$R_{в.г} = \frac{R'_{\Gamma} \cdot R_{3y}}{R'_{\Gamma} - R_{3y}}, \quad (82)$$

$$R_{в.г} = \frac{15 \cdot 4}{15 - 4} = 5,4 \text{ Ом}.$$

Определим необходимое число вертикальных электродов

$$n_{yT} = \frac{R_B}{R_{в.г} \cdot K_{и.в.}} \quad (83)$$

$$n_{yT} = \frac{32,7}{5,4 \cdot 0,56} = 10,8.$$

Окончательно применяем в контуре заземления 11 вертикальных заземлителей.

Тогда, сопротивление вертикальных электродов R'_B , Ом составит:

$$R'_B = \frac{R_B}{n_B \cdot K_{и.в.}}, \quad (84)$$

$$R'_B = \frac{32,7}{11 \cdot 0,56} = 5,3.$$

Определим сопротивление заземляющего устройства R_{3y} , Ом по формуле:

$$R_{3,y} = \frac{R'_B \cdot R_\Gamma}{R'_B + R_\Gamma}, \quad (85)$$

$$R_{3,y} = \frac{5,3 \cdot 4}{5,3 + 4} = 2,28 \text{ Ом.}$$

Заземляющее устройство удовлетворяет требованиям Правил устройства электроустановок (ПУЭ издание 7), где указано, что R_{3y} должно быть не более 4 Ом.

Вывод по разделу.

Таким образом из расчетов видно, что выбранная система заземления распределительного пункта, используемые материалы и требования к монтажу заземляющего устройства распределительного пункта РП-6 кВ, удовлетворяют требования ПУЭ, а следовательно, обеспечивают:

- защиту обслуживающего персонала от поражения электрическим током;
- защиту электрооборудования распределительного пункта.

Заключение

Основной целью развития и модернизации систем электроснабжения городов является гарантированное обеспечение потребителей города необходимым набором коммунальных услуг при надежной и эффективной работе электроэнергетической инфраструктуры города, все это можно достичь если при проектировании новых энергетических объектов, реконструкции действующих объектов, применять новые современные типы силового электрооборудования, использовать новые методы и средства релейной защиты и автоматики, вести систематический мониторинг состояния электрооборудования, использовать современные системы сбора передачи и обработки информации, повышать безопасность при эксплуатации оборудования.

В выпускной квалификационной работе разработан проект реконструкции распределительного пункта РП-6 кВ, основная цель которого обеспечения надежного электроснабжения потребителей, получающих питание от высоковольтного распределительного пункта напряжением 6 кВ.

В соответствии с поставленной целью решены следующие задачи:

- рассчитаны электрические нагрузки микрорайона;
- выбран тип и количество силовых трансформаторов;
- произведен расчет питающей сети района микрорайона города;
- выбрано оборудования распределительного пункта 6 кВ;
- разработаны мероприятия по реконструкции релейной защиты распределительного пункта 6 кВ.
- рассчитано заземление распределительного пункта.

Работа выполнена в соответствии с действующей в РФ нормативно-технической документацией.

Список используемых источников

1. ГОСТ 24291-90. Межгосударственный стандарт. Электрическая часть электростанции и электрической сети. Термины и определения : утв. Постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам № 3403 от 27.12.1990 // Консультант плюс: справочно-правовая система.

2. ГОСТ Р 55706-2013. Национальный стандарт РФ. Освещение наружное утилитарное. Классификация и нормы : утв. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии №1360-ст от 08.11.2013 // Консультант плюс: справочно-правовая система.

3. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Свод правил : СП 42.13330.2016, утв. приказом Министерства строительства и ЖКХ РФ №1034/пр от 30.12.2010 // Консультант плюс: справочно-правовая система.

4. Естественное и искусственное освещение. Свод правил : СП 52.13330.2016, утв. Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства №777/пр от 07.11.2016 // Консультант плюс: справочно-правовая система.

5. Жулев А., Боков Г. Распределительные электрические сети // Новости электротехники №4(76) 2012. [Электронный ресурс]. Информационно-справочное издание. URL: <http://news.elteh.ru/arh/2012/76/03> (дата обращения: 20.09.2022).

6. Здания жилые многоквартирные. Свод правил : СП 54.13330.2016, утв. приказом Министерства строительства и ЖКХ РФ №883/пр от 13.12.2016 // Консультант плюс: справочно-правовая система.

7. Инструкция по проектированию городских электрических сетей : РД 34.20.185–94, утв. Министерством топлива и энергетики РФ 07.07.1994 // Консультант плюс: справочно-правовая система.

8. Каталог электрооборудования АскольдЭнерго. [Электронный ресурс] : официальный интернет сайт. URL:[https:// ascoldenergo.ru/katalog/tsks.html](https://ascoldenergo.ru/katalog/tsks.html) (дата обращения: 28.09.2022).

9. Комплектное распределительное устройство серии РП-6(10)кВ [Электронный ресурс] : руководство по эксплуатации КО 2013.03.01.110 РЭ 2013. URL: [https:// chelzeo.ru/files/downloads/catalog/re_rp.pdf](https://chelzeo.ru/files/downloads/catalog/re_rp.pdf) (дата обращения: 20.09.2022).

10. КРУ серии MCset. [Электронный ресурс] : официальный интернет сайт. URL:[https:// www.se.com/ru/ru/product-range/984-кпу-серии-mcset](https://www.se.com/ru/ru/product-range/984-кпу-серии-mcset) (дата обращения: 25.09.2022).

11. Крючков И.П., Неклепаев Б.Н., Старшинов В.А. и др. Расчет коротких замыканий и выбор электрооборудования : учебное пособие для студентов высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2005–416 с.

12. Маслов А. Н., Свистунов А. С.: Проблемы и особенности построения распределительных сетей крупных городов и мегаполисов: доклад. ВЭЛК, 2011. URL: https://www.ruscable.ru/article/Problemy_i_osobennosti_postroeniya/ (дата обращения: 08.09.2022).

13. Методика выбора уставок защит Sepam присоединений РП (РТП) 6–10 кВ // Техническая коллекция Schneider Electric Выпуск № 10 [Электронный ресурс]. URL:http://ite-eng.ru/files/catalogue/Methodika_vibora_ustavok_zaschit_sepam.pdf (дата обращения: 15.09.2022).

14. Мясоедов Ю.В., Мясоедова Л.А., Подгурская И.Г.: Электроснабжение городов, часть 1: учеб. пособие. Благовещенск: Издательство АмГУ, 2014. 4 с.

15. Под общей редакцией профессоров МЭИ. Электротехнический справочник: В3 т. Т.3. 2 кн. Кн. 2. / Производство и распределение электрической энергии. М. : Энергоатомиздат, 1988. 616 с.

16. Подземная подстанция серии «Бункер». [Электронный ресурс] : официальный интернет сайт. URL:<http://epatrade.ru/catalog/podstantsii-6-35->

kv/transformatornye-podstantsii-ktpb/podzemnaya-podstantsiya-serii-bunker (дата обращения: 25.09.2022).

17. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) 7-е изд. : утв. приказом Минэнерго №204 от 08.07.2002 // Консультант плюс: справочно-правовая система.

18. Распределение энергии / MCset1-2-3. [Электронный ресурс] : официальный интернет сайт. URL:https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=MCset_2009.pdf&p_Doc_Ref=MCset_2009&_ga=2.150248182.1552187985.1666429325-1508041042.1666429325 (дата обращения: 25.09.2022).

19. Расчет уставок релейной защиты трансформатора 10/0,4кВ. [Электронный ресурс]. URL:[https:// raschet.info/raschet-ustavok-releynoy-zashchity-transformatora-10-0-4-kv/](https://raschet.info/raschet-ustavok-releynoy-zashchity-transformatora-10-0-4-kv/) (дата обращения: 25.09.2022).

20. Рокотян С.С., Шапиро И.М. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / 3-е изд. М.: Энергоатомиздат, 1985 г. 352с.

21. РП-6(10)кВ [Электронный ресурс] : инструкция по эксплуатации 2008. URL: [https:// nashaucheba.ru/v16416/инструкция_по_эксплуатации_тп_и_рп_6-100.4_кв](https://nashaucheba.ru/v16416/инструкция_по_эксплуатации_тп_и_рп_6-100.4_кв) (дата обращения: 19.09.2022).

22. Светодиодный светильник Эльбрус [Электронный ресурс] : официальный интернет сайт. URL:<http://https://duray.ru/catalog/elbrus-proozhektor/elbrus-64-21690-1164736> (дата обращения: 18.09.2022).

23. Серия Сепам // Устройства защиты контроля и управления [Электронныйресурс] [URL:http://777russia.ru/book/uploads/РАЗНОЕ/Электродвигатели %20и%20генераторы/ Статьи/ Сепам.pdf](http://777russia.ru/book/uploads/РАЗНОЕ/Электродвигатели%20и%20генераторы/Статьи/Сепам.pdf) (дата обращения: 18.09.2022).

24. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение: учебное пособие. М.: РадиоСофт, 2013. 328 с.

25. Соловьев А.Л. Релейная защита городских электрических сетей 6 и 10 кВ [Электронный ресурс]: учебное пособие. СПб.: Политехника, 2016. - 176

с. URL:<https://http://www.iprbookshop.ru/59516.html>. (дата обращения: 25.09.2022).

26. Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.130.15.105-2011 Методические указания по контролю состояния заземляющих устройств электроустановок. Стандарт организации. Дата введения: 14.10.2011. ОАО «ФСК ЕЭС». 2011.

27. Строительная климатология. Свод правил: СП 131.13330.2020, утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства №859/пр от 24.12.2020 // Консультант плюс: справочно-правовая система.

28. Сухие трансформаторы с литой изоляцией [Электронный ресурс] : официальный интернет сайт. URL:<http://bemp.ru/transformatory-isocast-r> (дата обращения: 18.09.2022).

29. Щербаков Е.Ф. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях: Учебное пособие. М.: Форум, 2012. 496 с.

30. Щедриков Б. Модернизация подстанций 110/35/10кВ РЗиА как низший уровень АСУ ТП // Новости электротехники №2(50) 2008. [Электронный ресурс]. Информационно-справочное издание. URL: <http://news.elteh.ru/arh/2008/50/09> (дата обращения: 20.09.2022).

31. Элегазовый выключатель LF [Электронный ресурс] : официальный интернет сайт. URL: <https://www.se.com/ru/ru/product-range/951-lf/#overview> (дата обращения: 25.09.2022).

32. Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа : СП 31-110-2003, утв. приказом Минстроя №602/пр от 29.08.2016 // Консультант плюс: справочно-правовая система.

33. Alsecure огнестойкие, безгалогеновые кабели [Электронный ресурс]. URL:<https://prokabel.pro/public/Pojarobezopasnyye%20kabeli%20ALSECURE.pdf> (дата обращения: 25.09.2022).