

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

Институт энергетики и электротехники

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение  
(направленность (профиль))

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Реконструкция электрической части подстанции «Портовая»  
110/6 кВ с заменой силовых трансформаторов»

Студент(ка)

А.М. Коновалов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Д.А. Нагаев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

Тольятти 2016

## **Аннотация**

В бакалаврской работе представлена реконструкция электрической части подстанции «Портовая», находящейся в Центральном районе города Тольятти.

Рассмотрена установка нового оборудования на стороне 110 кВ и стороне 6 кВ, согласно современным методикам выбора. Представлен выбор и расчет уставок релейной защиты силового трансформатора. Проведен расчет молниезащиты и заземления подстанции.

Работа содержит 63 страницы, 33 таблицы и 19 рисунков. Графическая часть представлена на 6 листах формата А1.

## Содержание

|  |    |
|--|----|
| Введение.....  | 6  |
| 1 Характеристика объекта реконструкции .....                                   | 9  |
| 2 Расчет электрических нагрузок ПС «Портовая» 110/6 кВ.....                    | 15 |
| 3 Выбор силовых трансформаторов для установки на ПС «Портовая» 110 кВ<br>..... | 19 |
| 4 Расчёт токов короткого замыкания .....                                       | 26 |
| 5 Выбор электрической схемы подстанции .....                                   | 31 |
| 6 Выбор оборудования.....  | 32 |
| 7 Релейная защита силового трансформатора.....                                 | 44 |
| 8 Выбор оперативного тока.....   | 53 |
| 9 Собственные нужды подстанции 110 кВ «Портовая» .....                         | 54 |
| 10 Расчет заземления на ПС «Портовая» 110/6 кВ.....                            | 55 |
| 11 Молниезащита подстанции «Портовая» 110/6 кВ .....                           | 58 |
| Заключение .....   | 60 |
| Список использованных источников .....   | 61 |
| Приложение А .....   | 65 |
| Приложение Б .....   | 68 |

## Введение

Электроэнергетическая отрасль считается одной из базовых отраслей современной промышленности. Электрическая энергия – часть современного мира, без которой не возможны такие вещи как работа электродвигателя, горение электрических ламп, запуск всего производства в целом. В быту мы так же повсеместно используем электрическую энергию, будь то телевизор, микроволновая печь или плита. Не без помощи электричества наука в своем развитии шагнула далеко вперед

Основные отличительные свойства электрической энергии:

- передача на большие расстояния при помощи ЛЭП;

Для производства, передачи и распределения электрической энергии создаются крупные СЭС. В СЭС входят электрические станции для производства электроэнергии, линии электропередачи - для передачи электрической энергии на большие расстояния и трансформаторные подстанции - для преобразования и распределения электрической энергии. Трансформаторная подстанция - это электрическая установка, предназначенная для преобразования напряжения (понижения либо повышения). На подстанции устанавливают распределительные устройства (РУ) для распределения энергии. В состав ПС входят следующие основные части:

- силовой трансформатор (СТ);
- распределительные устройства (РУ);
- вспомогательные электроприемники;
- устройства для автоматического управления и защиты.

Трансформаторные подстанции могут быть двух типов: повышающая и понижающая. Повышающие подстанции обычно сооружают вблизи электростанций или непосредственно на них, для преобразования, вырабатываемого генераторами напряжения в более высокое, необходимое для передачи электрической энергии по линиям электропередачи (ЛЭП). Второй тип подстанций - это понижающие. Они строятся вблизи

потребителей электрической энергии и необходимы для понижения напряжения до уровня необходимого непосредственно потребителям. Подстанции могут иметь несколько уровней напряжения, в зависимости от типов установленных на силовых трансформаторах.

Для электроприемников II и III категорий надежности ПУЭ допускает значительные перерывы электроснабжения, определяемые включением резервного питания в ручном режиме и временем устранения неисправности, то относительно электроприемников I категории указано, что "перерыв их электроснабжения при нарушении электроснабжения от одного из источников питания может быть допущен лишь на время автоматического восстановления питания".

Бесперебойное и надежное электроснабжение потребителей зависит от надежности работы оборудования, установленного на подстанции поэтому необходимо постоянно проводить плановые осмотры оборудования, установленного на подстанциях, проводить его ремонт и замену.

Замена оборудования на подстанции, в связи с его моральным и физическим износом, повышает надежность электроснабжения потребителей, записанных от данной подстанции, а также позволяет увеличить мощность подстанции и произвести подключение новых потребителей. Таким образом своевременная реконструкция подстанций позволит увеличить темпы развития питаемого района.

Проблема техперевооружения и реконструкции ПС в связи с моральным износом является в современных условиях решающей для обеспечения живучести и надежности электроэнергетики.

Поэтому целью бакалаврской работы является разработка проекта реконструкции электрической части ПС «Портовая» 110/6 кВ.

Для достижения поставленной цели в работе необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ существующей схемы подстанции;
- провести анализ установленного оборудования на подстанции;

- проанализировать нагрузки подстанции в часы зимнего и летнего максимума;

- провести выбор высоковольтного оборудования и проводников на реконструируемой подстанции;

- провести выбор и расчет релейной защиты аппаратов подстанции.

В процессе выполнения бакалаврской работы необходимо придерживаться современных норм и правил в части производства проектов реконструкции подстанций. Соблюдать требования, установленные руководящими документами, а также использовать современные методики проектирования объектов электроэнергетики и использовать в проекте реконструкции только современные виды электрооборудования.

Актуальность темы реконструкции подстанции заключается в том, что оборудование ПС «Портовая» морально и физически устарело. Эксплуатация неисправного, ветхого и устаревшего оборудования повышает с каждым днем вероятность возникновения аварийных ситуаций на подстанции, и как следствие - нарушение электроснабжения потребителей. Кроме того, устаревшее оборудование требует серьезных затрат на поддержание его в нормальном, рабочем состоянии.

При установке нового оборудования необходимо в процессе разработки проекта реконструкции необходимо принимать во внимание дальнейшее развитие инфраструктуры питаемого района, например, постройки новых жилых комплексов. При выборе вариантов замены оборудования на ПС рекомендуется ориентироваться на лучшие образцы оборудования, выпускаемого отечественными заводами. Использование оборудования производства иностранных фирм должно относиться к «приоритетным» объектам в случаях отсутствия аналогов в номенклатуре отечественных заводов.

## 1 Характеристика объекта реконструкции

ПС Портовая введена в эксплуатацию в 1969 году, расположена в Самарской области, г. Тольятти, вблизи порт поселка, улица Санаторная 39. К ПС подключена ВЛ – 110 кВ «Западная». Подстанция обладает следующими размерами 40м х 50м. Включает территорию ОРУ, ЗРУ и территорию от забора до ограждения ОРУ. Имеет два силовых трансформатора ТМ-10000/110 и ТДТН-16000/110. На стороне 6 кВ имеется два резервных фидера.



Рисунок 1 – ПС 110/6 «Портовая», вид со спутника

Основные потребители подстанции:

- ЗАО «Квант». Компания обеспечивает надежное, бесперебойное и стабильное электроснабжение населения, городских коммунально-бытовых потребителей, объектов социальной и инженерной инфраструктуры Центрального и Комсомольского районов города Тольятти с ноября 2010 года;

- ОАО «Тоаз». Крупнейший завод химической промышленности;

- ЗАО «ТЗА». Современное динамично-развивающееся предприятие, основными направлениями деятельности которого является производство высококачественных компонентов для автомобилей Lada, обеспечение

потребности завода-изготовителя, рынка автозапчастей России и ближнего зарубежья.

## **1.1 Анализ оборудования установленного на стороне 110 кВ ПС «Портовая»**

### **1.1.1 Разъединитель**

На ПС «Портовая» на стороне 110 кВ установлены разъединители типа РЛНД-110 кВ с двумя заземляющими ножами (рисунок 2).

Разъединители необходимы для :

- разъединения и переключения участков цепи, находящихся под нагрузкой;
- создания необходимого видимого разрыва электрической цепи, требуемого условиями эксплуатации электроустановок.



Рисунок 2 – Вид разъединителя РЛНД-110 кВ на ПС «Портовая»

### **1.1.2 ОПН**

Для защиты оборудования ПС «Портовая» от возможных атмосферных и коммутационных перенапряжений в сети установлены ограничители перенапряжения (ОПН) (рисунок 3).





Рисунок 3 - ОПН – 110 кВ

### **1.1.3 Короткозамыкатель**

Короткозамыкатель (КЗ-110 кВ), это электрический аппарат, предназначенный для создания искусственного короткого замыкания, в случае внутреннего повреждения силового трансформатора. При КЗ, действием линейных защит на питающих подстанциях ВЛ обесточивается, поврежденный трансформатор отсоединяется от сети отключением отделителя, а линия включается в работу действием АПВ. В сетях 110-220 кВ короткозамыкатели имеют один полюс, в сетях 35 кВ - два. Подвижный нож включается действием взведенных включающих пружин короткозамыкателя.

### **1.1.4 Отделитель**

Так же на ПС «Портовая» 110/6 кВ установлены отделители (рисунок 4). Отделитель представляет собой разъединитель, который быстро отключает обесточенную цепь после подачи команды на его привод. Если в обычном разъединителе скорость отключения мала, то в отделителе процесс отключения длится 0,5—1 с.



Рисунок 4 - ОД – 110 кВ

### **1.1.5 Силовые трансформаторы**

На ПС установлены два силовых трансформатора марки ТДТН-16000/110-У1 (рисунок 5) и марки ТМ-10000/110 (рисунок 6). Технические и паспортные данные силовых трансформаторов представлены в таблице 1 и таблице 2. Так как силовые трансформаторы различаются по типу, то для того что бы два силовых трансформатора работали совместно необходимо выполнение следующих условий:

- группы соединения обмоток трансформаторов одинаковы;
- коэффициенты трансформации равны или различаются не более чем на  $\pm 0,5 \%$ ;
- напряжения КЗ отличаются не более чем на  $\pm 10 \%$ ;
- произведена фазировка трансформаторов;
- отношение мощностей трансформаторов не должно отклоняться более чем 1:3.

Первый трансформатор марки ТДТН-16000/110 - трансформатор трёх обмоточный в высоком напряжением 110 кВ. На трансформаторе установлено устройство РПН. Система охлаждения – дутьём.- двухобмоточный трансформатор, с естественной циркуляцией масла, без устройства регулирования напряжения под нагрузкой.

Второй силовой трансформатор марки ТМ-10000/110



Рисунок 5 - ТДТН-16000/110

Таблица 1 - Основные параметры трансформатора ТДТН-16000/110-У1

| Тип                    | S, кВА | U, кВ |      |     | Схема и группа<br>соединения обмоток | Потери,<br>кВт  |                 | Напряжение<br>короткого<br>замыкания, % |       |       | I <sub>хх</sub> , % | Габаритные размеры,<br>мм (ДхШхВ) | Масса, т, не<br>более |        |
|------------------------|--------|-------|------|-----|--------------------------------------|-----------------|-----------------|---|-------|-------|---------------------|-----------------------------------|-----------------------|--------|
|                        |        | ВН    | СН   | НН  |                                      | $\Delta P_{xx}$ | $\Delta P_{k3}$ | ВН-СН                                   | ВН-НН | СН-НН |                     |                                   | масла                 | полная |
| ТДТН-<br>16000/<br>110 | 16000  | 115   | 38,5 | 6,6 | УН/УН/<br>D- 0-11                    | 15,8            | 90              | 10,5                                    | 17,5  | 6,5   | 0,33                | 6340 х<br>4230 х<br>5390          | 14,3                  | 51,1   |



Рисунок 6 - ТМ-10000/110

Таблица 2 – основные параметры ТМ-10000/110

| $S_{ном}$ ,<br>кВА | $U_{ном}$ ,<br>кВ | $U_{к.з.}$ ,% | $I_{х.х.}$ ,<br>% | Потери<br>к.з.,<br>кВт | Потери<br>х.х.,<br>кВт | Материал<br>обмоток | Схема<br>соединений |
|--------------------|-------------------|---------------|-------------------|------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|
| 10000              | 110<br>кВ/38,5    | 10.5          | 0.9               | $p = 60$               | $p = 14$               | медь                | Y/D - 11            |

## 2 Расчет электрических нагрузок ПС «Портовая» 110/6 кВ

На первом этапе разработка проекта реконструкции электрической части ПС необходимо провести расчет электрических нагрузок с целью определения загрузки существующих СТ. В приложении А1 представлены данные замерочных дней, по месяцам за 2015 год. Данные об активной и реактивной мощностях представленных в приложении А1 позволят рассчитать полную мощность подстанции «Портовая» 110/6 кВ для каждой секции шин и составить график нагрузок (ГН).

Для определения полной мощности воспользуемся следующим выражением:

$$S = \sqrt{Q^2 + P^2},$$

где  $Q$  – реактивная мощность;

$P$  – активная мощность.

Исходя из формулы полной мощности, необходимо данные представленные в приложении А1, столбец 2 возвести в квадрат сложить с возведенным в квадрат столбцом 4 и из полученной суммы извлечь квадратный корень. В итоге получится полная мощность для секции шин 1. Те же действия необходимо проделать со столбцами 3 и 5.

Результаты расчета полной мощности сведены в приложение А2.

Столбец 1 (приложение А2), месяцы, переведем в часы, а столбцы 2 и 3 сложим и разместим в порядке убывания, это необходимо для построения ступенчатого графика полной мощности. Полученные результаты представим в приложение А3.

Построим ступенчатый график используя данные приложения А3.

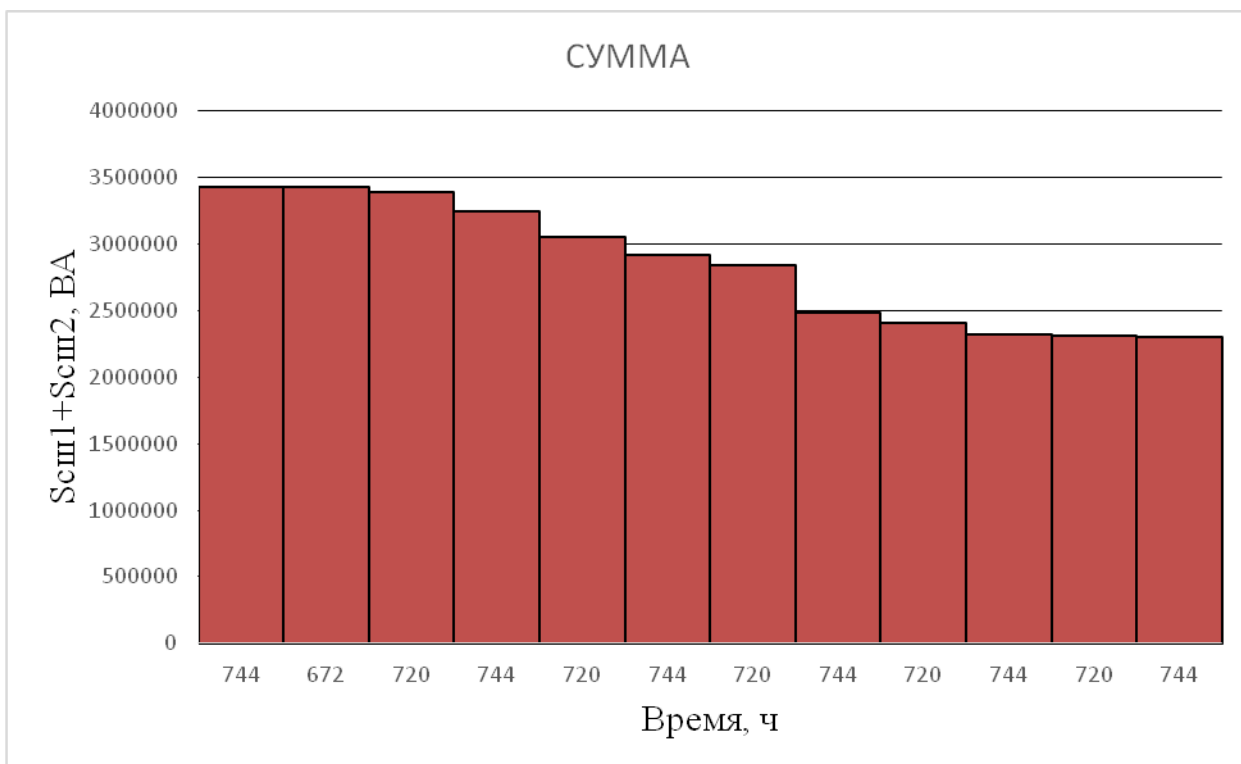


Рисунок 7 - График полной мощности

Некоторые ступени ГН на рисунке 7 имеют близкие значения, поэтому мы можем провести усреднение ГН и уменьшить число ступеней, полученный в результате усреднения ГН представлен на рисунке 8, а данные по которым проводилось построение графика представлены в приложении А4.

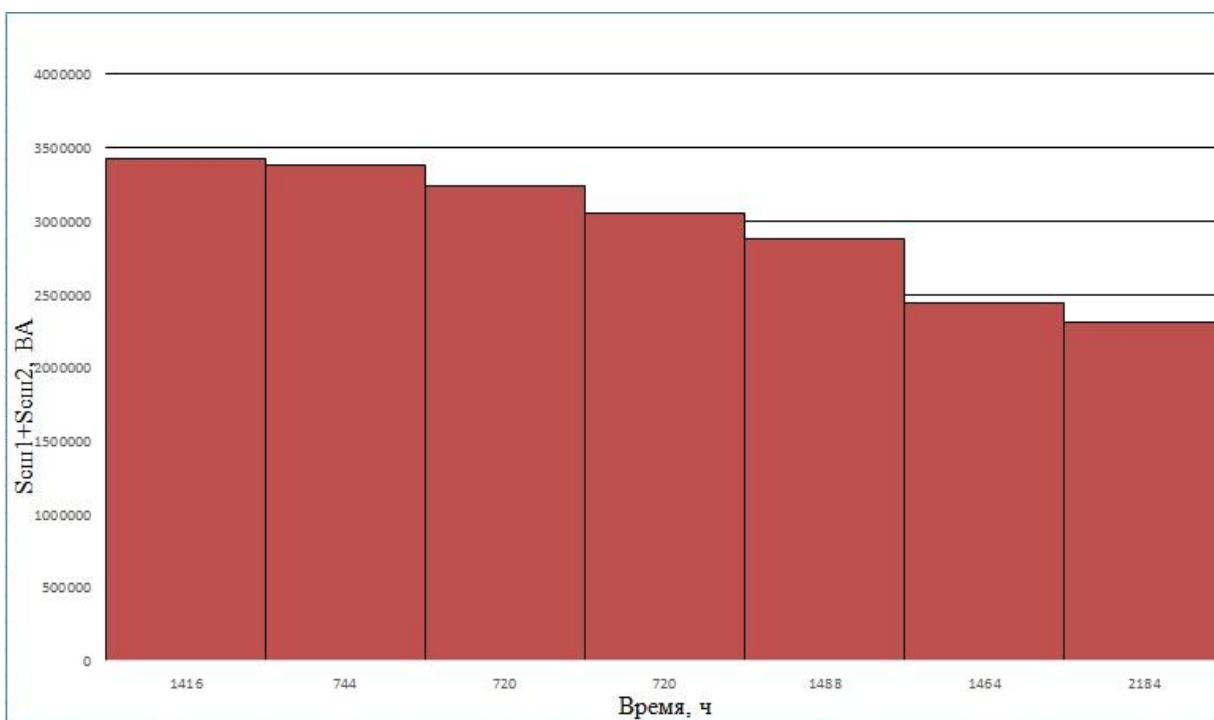


Рисунок 8 - График полной мощности с меньшим количеством ступеней

Для определения суммарного потребления электроэнергии для ПС «Портовая», воспользуемся формулой:

$$W = \sum_{i=1}^n P \cdot t.$$

Данные расчета суммарного электропотребления по подстанции представлены в приложении А5.

Для того чтобы найти суммарное потребления электроэнергии необходимо значения (приложение А5) столбца 1 умножить на значения столбца 2, соответственно поступить со столбцами 3 и 4. Полученные результаты сведем в таблицу, и переведем полученные результаты в МВт · ч. Данные по электропотреблению первого трансформатора представлены в приложении А6, а по трансформатору Т2 представлены в приложении А7

Суммарное потребление электроэнергии для трансформаторов Т2 и Т1:

$$W=22252,89, \text{ МВт} \cdot \text{ч}.$$

Продолжительность максимальной годовой нагрузки ПС для Т1:

$$T_M = \frac{W_{ПС}}{P_{\max ПС}} = \frac{22252,893}{1,85} = 6820,8 \text{ ч}.$$

Продолжительность максимальной годовой нагрузки ПС для Т2:

$$T_M = \frac{W_{ПС}}{P_{\max ПС}} = \frac{22252,893}{1,41} = 6832,28 \text{ ч}.$$

Коэффициент заполнения графика нагрузки Т1:

$$K_{3АП} = \frac{T_M}{8760} = \frac{6820,8}{8760} = 0,77.$$

Коэффициент заполнения графика нагрузки Т2:

$$K_{3АП} = \frac{T_M}{8760} = \frac{6832,89}{8760} = 0,77.$$



### **3 Выбор силовых трансформаторов для установки на ПС «Портовая» 110 кВ**

Основная задача, во время ремонта подстанции является, выбор рациональной мощности силовых трансформаторов. Силовые трансформаторы устанавливаемые на ПС необходимо выбирать принимая во внимание экономически целесообразный режим работы и обеспечение резервирования питания потребителей.

От подстанции «Портовая» получают электроэнергию потребители 1й категории, поэтому необходима установка двух трансформаторов. На данный момент на территории ОРУ установлены трансформаторы мощностью 16000 кВА и 10000 кВА.

Для корректного расчёта необходимо сравнивать силовые трансформаторы ниже и выше заявленной мощности установленных трансформаторов на ПС. В работе сравниваются четыре трансформатора с разной мощностью 6300 кВА, 10000 кВА, 16000 кВА, 25000 кВА. Установленные на ПС трансформаторы имеют очень низкий коэффициент загрузки. На одном из трансформаторов установлены разные вводы. В проекте реконструкции электрической части ПС было принято решение установка двух одинаковых двух обмоточных трансформаторов.

Более детальный порядок выбора, с описанием и формулами, рассмотрим на примере трансформатора мощностью 6300 кВА.

#### **3.1 Трансформатор мощностью 6300 кВА**

Рассмотрим трансформатор мощностью 6300 кВА, марки ТМН-6300/110-У1, УХЛ1 СТО 15352615-001-2007.

Технико-экономический расчет трансформатора ТМН-6300/110 обеспечивают предварительную экономическую экспертизу вариантов.

Таблица 3 – Технические характеристики трансформатора ТМН-6300/110

| S <sub>н</sub> , кВА | Потери хх,<br>кВ | Потери<br>к.з.,<br>кВ | U к.з, % | I хх, % | Стоимость<br>К,р |
|----------------------|------------------|-----------------------|----------|---------|------------------|
| 6300                 | 6,5              | 35                    | 10,5     | 0,5     | 9 500 000        |

Потери реактивной мощности трансформатора в режиме холостого хода:

$$Q_x = \frac{I_x(\%)}{100} \cdot S_{ном.Т} = \frac{0,5}{100} \cdot 6300 = 31,5 \text{ квар},$$

где  $I_{\phi}(\%)$  - ток холостого хода трансформатора, %.

Приведенные потери мощности трансформатора в режиме холостого хода:

$$P'_x = \Delta P_x + k_{ин} \cdot Q_x = 6,5 + 0,05 \cdot 31,5 = 8,075 \text{ кВт},$$

где  $\Delta P_{\phi}$  - потери мощности трансформатора в режиме холостого хода, кВт;

$k_{ин}$  - коэффициент изменения потерь, который зависит от удаленности потребителей от источников питания, кВт/квар.

Коэффициент загрузки трансформатора:

$$k_z = \frac{S_{\max}^{ПС}}{S_{ном.Т}} = \frac{1,98}{6,3} = 0,3.$$

Потери реактивной мощности трансформатора в режиме короткого замыкания:

$$Q_k = \frac{U_{кз}(\%)}{100} \cdot S_{ном.Т} = \frac{10,5}{100} \cdot 6300 = 661,5 \text{ квар},$$

где  $U_{\dot{\epsilon}\zeta}(\%)$  - напряжение короткого замыкания трансформатора, %.

Приведенные потери активной мощности короткого замыкания трансформатора:

$$P'_k = \Delta P_{\kappa\zeta} + k_{un} \cdot Q_k = 35 + 0,05 \cdot 661,5 = 68,075 \text{ кВт},$$

где  $\Delta P_{\dot{\epsilon}\zeta}$  - потери мощности короткого замыкания трансформатора, кВт.

Приведенные потери мощности трансформатора:

$$P'_T = P'_x + k_3^2 \cdot P'_k = 8,075 + 0,3^2 \cdot 68,075 = 14,201 \text{ кВт}.$$

Экономическая нагрузка трансформатора:

$$S_{\text{э.пс}} = S_{\text{ном.Т}} \cdot \sqrt{n \cdot (n-1) \cdot \frac{P'_x}{P'_k}} = 6300 \cdot \sqrt{2 \cdot 1 \cdot \frac{8,075}{68,075}} = 3058,64 \text{ кВА}.$$

Таблица 4 – результаты технико-экономического расчета для трансформатора марки ТМН-6300/110

| Qx, кВар | Рштрих х, кВт | Рштрих к, кВт | Рштрих т, кВт | Кз   |
|----------|---------------|---------------|---------------|------|
| 1        | 2             | 3             | 4             | 5    |
| 31,5     | 8,075         | 68,075        | 14,201        | 0,54 |

Для двухобмоточных трёхфазных трансформаторов потери электроэнергии -  $\Delta W_{nc}$  определяется из суммы потерь при коротком замыкании и при холостом ходе на всех ступенях графика нагрузки.

Определим потери короткого замыкания и холостого хода трансформатора на каждой ступени графика нагрузки, результаты расчета сведём в приложение Б1.

Для того что бы рассчитать потери холостого хода необходимо столбец 4 умножить на столбец 3 и умножить на столбец 2 таблицы 4. Потери короткого замыкания рассчитываются аналогично, столбец 3 умножаем на столбец 4 и умножаем на столбец 3 таблицы 4. Столбец 6, коэффициент загрузки обмоток, считается, столбец 2 делим на мощность трансформатора.

Суммарные потери для данного трансформатора составляют 202,95  $MВт \cdot ч$

Необходимо рассчитать экономическую нагрузку для выбранного трансформатора.

Воспользуемся формулой:

$$S_{\Sigma.ПС} = S_{ном.Т} \cdot \sqrt{n \cdot (n-1) \cdot \frac{P_X'}{P_K'}} = 25000 \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{24,87}{413,74}} = 8,668 \text{ МВА.}$$

Стоимость 1 МВт·ч электроэнергии:

$$C_э = 253,38 (\text{руб}/\text{МВт} \cdot \text{ч})$$

где  $C_э$  – единый тариф на услуги по передаче электрической энергии по сетям Самарской области на 2015 год.

Стоимость годовых потерь электроэнергии в трансформаторах:

$$И_э = \Delta W_{ПС} \cdot C_э = 770,514 \cdot 253,38 = 195232,8 \text{ руб.}$$

Годовые отчисления:

$$И_о = p_{\Sigma} \cdot K = 0,094 \cdot 15700000 = 1475800 \text{ руб,}$$

где  $p_{\text{сум}}$  - суммарный коэффициент отчислений, который состоит из отчислений на амортизацию, обслуживание и ремонт, для силового электрооборудования 35-150 кВ составляет 0,094 .

Для оставшихся трансформаторов расчет ведется подобным образом, поэтому все будет представлено в итоговых таблицах, для каждого из расчетов.

### 3.2 Трансформатор мощностью 10000 кВА

Рассмотрим трансформатор мощностью 10000 кВА, марки ТДН-10000/110-У1, УХЛ1 СТО 15352615-001-2007. Технические характеристики данного трансформатора приведены в таблице 5. Результаты расчета потерь КЗ и ХХ для каждой ступени ГН представлены в приложении Б2.

Таблица 5 – технические характеристики трансформатора

| $S_H$ , кВА | Потери хх, кВ | Потери к.з., кВ | $U_{\text{к.з.}}$ , % | $I_{\text{хх}}$ , % | Стоимость $K_p$ |
|-------------|---------------|-----------------|-----------------------|---------------------|-----------------|
| 10000       | 10            | 56              | 10,5                  | 0,26                | 10700000        |

Таблица 6 – результаты технико-экономического расчета для трансформатора марки ТДН-10000/110

| $Q_x$ , кВар | Рштрих х, кВ | Рштрих к, кВ | Рштрих т, кВ | Кз   |
|--------------|--------------|--------------|--------------|------|
| 1            | 2            | 3            | 4            | 5    |
| 26           | 11,3         | 108,5        | 24,05        | 0,34 |

Таблица 7 – Результаты расчета экономической нагрузки

|   |             |
|---|-------------|
| Экономическая нагрузка трансф. Для подстанции, $S_{\text{э}}$ , пс, МВА | 4,563934    |
| Стоимость одного МВт энергии за 2015 год. $C_{\text{э}}$ (руб/МВт)      | 253,38      |
| Стоимость годовых потерь электроэнергии в тр-ре, $I_{\text{э}}$ , руб   | 59942,2668  |
| Годовые отчисления, $I_o$ , руб.  | 1005800     |
| приведенные затраты, $Z_n$ , руб.                                       | 2135742,267 |

### 3.3 Трансформатор мощностью 16000 кВА

Рассмотрим трансформатор мощностью 16000 кВА, марки ТДН-16000/110-У1, УХЛ1 СТО 15352615-001-2007. Результаты расчета потерь КЗ и ХХ для каждой ступени ГН представлены в приложении Б3.

Таблица 8 – Технические характеристики трансформатора

| $S_H$ , кВА | Потери хх, кВ | Потери к.з., кВ | $U_{к.з.}$ , % | $I_{хх}$ , % | Стоимость $K_p$ |
|-------------|---------------|-----------------|----------------|--------------|-----------------|
| 16000       | 12            | 80              | 10,5           | 0,23         | 12400000        |

Таблица 9 – Результаты технико-экономического расчета для трансформатора марки ТДН-16000/110

| $Q_x$ , кВар | Рштрих х, кВ | Рштрих к, кВ | Рштрих т, кВ | Кз   |
|--------------|--------------|--------------|--------------|------|
| 1            | 2            | 3            | 4            | 5    |
| 36,8         | 13,84        | 164          | 21,37        | 0,21 |

Таблица 10 – Результаты расчета экономической нагрузки

|  |             |
|--|-------------|
| Экономическая нагрузка трансформатора для подстанции, $S_{э,пс}$ , МВА | 6,573264    |
| Стоимость одного МВт энергии за 2015 год. $C_{э,руб/МВт}$              | 253,38      |
| Стоимость годовых потерь электроэнергии в тр-ре, $I_{э,руб}$           | 74151,54625 |
| Годовые отчисления, $I_o$ , руб  | 1165600     |
| Приведенные затраты, $Z_n$ , руб                                       | 2479751,546 |

### 3.4 Трансформатор мощностью 25000 кВА

Рассмотрим трансформатор мощностью 25000 кВА, марки ТДН-25000/110-У1, УХЛ1 СТО 15352615-001-2007. Результаты расчета потерь КЗ и ХХ для каждой ступени ГН представлены в приложении Б4.

Таблица 11 – Технические характеристики трансформатора

| $S_H$ , кВА | Потери хх, кВ | Потери к.з., кВ | U к.з, % | I хх, % | Стоимость $K_p$ |
|-------------|---------------|-----------------|----------|---------|-----------------|
| 25000       | 19            | 120             | 10,5     | 0,23    | 15000000        |

Таблица 12 – Результаты технико-экономического расчета для трансформатора марки ТДН-25000/110

| $Q_x$ , кВар | $P' x$ , кВ | $P' x_k$ , кВ | $P' t$ , кВ | $K_3$ |
|--------------|-------------|---------------|-------------|-------|
| 1            | 2           | 3             | 4           | 5     |
| 57,5         | 21,87       | 251,25        | 26,6        | 0,13  |

Таблица 13 – Результаты расчета экономической нагрузки

|  |             |
|--|-------------|
| Экономическая нагрузка трансф. Для подстанции, $S_{э}$ , пс; МВТ | 10,4322     |
| Стоимость одного МВт энергии за 2015 год. $C_{э}$ , руб/МВт      | 253,38      |
| Стоимость годовых потерь электроэнергии в тр-ре, $I_{э}$ , руб.  | 100515,9831 |
| Годовые отчисления, $I_o$ , руб.                                 | 1410000     |
| Приведенные затраты, $З_n$ , руб.                                | 3010515,983 |

Из представленных к сравнению вариантов трансформаторов, наиболее выгодным к установке является вариант с двумя трансформаторами мощностью 6300 кВА, марки ТМН-6300/110-У1. Коэффициент загрузки данного трансформатора равен  $K_3=0,54$ , что значительно выше чем у других рассматриваемых трансформаторов. Стоимость одного такого трансформатора составляет  $K_p \approx 9500000$  руб, что является самым экономичным предложением. Результат расчета потерь на холостом ходу  $\Delta W_x = 141086,4$  кВт·ч и при коротком замыкании,  $\Delta W_{к.в} = 61867,80428$  кВт·ч показывают эффективность использования данного трансформатора.

#### 4 Расчёт токов короткого замыкания

В работе для выбора оборудования ПС необходимо определить трехфазный и однофазный токи короткого замыкания в точках К1 и К2.

На рисунках 9 и 10 изображены расчётная схема и схема замещения.

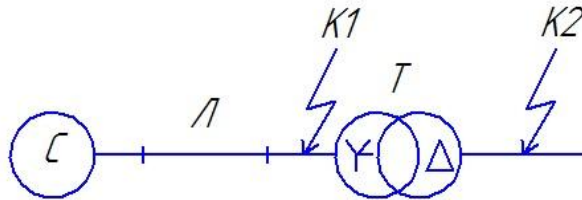


Рисунок 9 – Расчётная схема

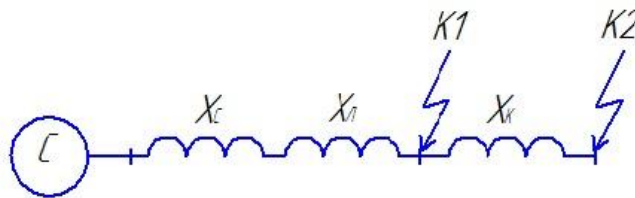


Рисунок 10 - Схема замещения

Расчёт токов короткого замыкания на стороне свыше 1 кВ будем производить в относительных единицах.

##### 4.1 Расчёт токов короткого замыкания в точке К1

Примем базисную мощность  $S_b=1000\text{MBA}$ .

Сопротивление системы:

$$x_{*cb} = \frac{S_b}{S_k} = \frac{1000}{2500} = 0,4 \text{ o.e.}$$

Сопротивление линии:

$$x_{*Lb} = x_{y\partial} \cdot l \cdot \frac{S_b}{U_{cp}^2} = 0,4 \cdot 15 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,45 \text{ o.e.}$$



Сопротивление трансформатора:

$$x_{*Tb} = \frac{U_k \%}{100} \cdot \frac{S_b}{S_{НОМ.T}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{1000}{6,3} = 16,6 \text{ о.е.}$$

При расчёте токов короткого замыкания в точке К1 сопротивление трансформатора учитываем только при однофазном коротком замыкании.

Произведём расчёт трёхфазного тока короткого замыкания:

Результирующее сопротивление до точки К1:

$$x_{*резб} = x_{*сб} + x_{*лб} = 0,4 + 0,45 = 0,85 \text{ о.е.}$$

Ток короткого замыкания:

$$I_{3,0}^{(3)} = \frac{E_{*б}''}{x_{*резб}} \cdot \frac{S_b}{\sqrt{3} \cdot U_b} = \frac{1}{0,85} \cdot \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5,88 \text{ кА.}$$

Ударный ток короткого замыкания:

$$i_{3,0,уд}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot k_{уд} \cdot I_{3,0}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 5,88 = 14,98 \text{ кА,}$$

где  $k_{уд}$  - ударный коэффициент.

Произведём расчёт однофазного тока короткого замыкания:

Для расчета несимметричных токов короткого замыкания необходимы сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательности. Так как рассматриваем однофазное короткое замыкание, то для определения шунтового сопротивления необходимо определить обратное и нулевое сопротивления.

На рисунке 11 изображена схема обратной последовательности системы и ВЛ.

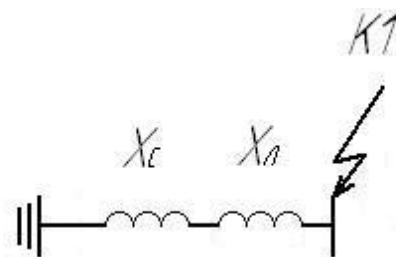


Рисунок 11 – Схема обратной последовательности

Сопротивление обратной последовательности равно сопротивлению прямой последовательности, которое, в свою очередь, равно результирующему сопротивлению из расчета трехфазного короткого замыкания:

$$x_{\Sigma 1} = x_{\Sigma 2} = x_{* \text{резб}} = 0,85 \text{ о.е.}$$

На рисунке 12 изображена схема нулевой последовательности системы и ВЛ.

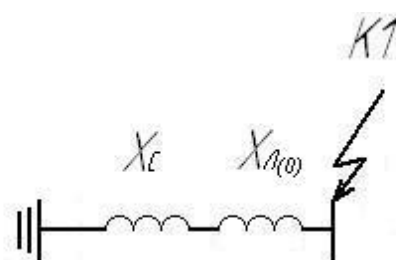


Рисунок 12 – Схема нулевой последовательности

Сопротивление нулевой последовательности определяем с некоторыми дополнениями, а именно: учитываем сопротивление трансформатора, сопротивление линии умножаем на коэффициент, учитывающий вид ВЛ.

$$x_{\Sigma 0} = x_{*c\delta} + x_{*л\delta} + x_{*T\delta} = 0,4 + 0,45 + 16,6 = 17,5 \text{ о.е.}$$

Шунтовое сопротивление:

$$\Delta x^{(1)} = x_{\Sigma 2} + x_{\Sigma 0} = 0,85 + 17,5 = 18,37 \text{ о.е.}$$

Ток короткого замыкания:

$$I_{1,0}^{(1)} = m \cdot \frac{E_{*\delta}''}{x_{\Sigma 1} + \Delta x^{(1)}} \cdot \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{\delta}} = 3 \cdot \frac{1}{0,85 + 18,37} \cdot \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,82 \text{ кА},$$

где  $m$  - коэффициент, значение которого зависит от вида короткого замыкания.

Ударный ток короткого замыкания:

$$i_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot k_{y\delta} \cdot I_{1,0}^{(1)} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 0,82 = 2,08 \text{ кА}.$$

## 4.2 Расчёт токов короткого замыкания в точке К2

Произведём расчёт трёхфазного тока короткого замыкания:

Результирующее сопротивление:

$$x_{*рез\delta} = x_{*c\delta} + x_{*л\delta} + x_{*T\delta} = 0,4 + 0,45 + 16,5 = 17,52 \text{ о.е.}$$

Ток короткого замыкания:

$$I_{3,0}^{(3)} = \frac{E_{*\delta}''}{x_{*рез\delta}} \cdot \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{\delta}} = \frac{1}{17,52} \cdot \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 5,2 \text{ кА}.$$

Ударный ток короткого замыкания:

$$i_{1,0\ y\partial}^{(1)} = \sqrt{2} \cdot k_{y\partial} \cdot I_{3,0}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,93 \cdot 5,2 = 14,25 \text{ кА},$$

где  $k_{\partial\bar{a}}$  - ударный коэффициент.

Произведём расчёт однофазного тока короткого замыкания:

Сопротивление обратной последовательности равно сопротивлению прямой последовательности, которое, в свою очередь, равно результирующему сопротивлению из расчета трехфазного короткого замыкания:

$$x_{\Sigma 1} = x_{\Sigma 2} = x_{* \text{ рез } \bar{b}} = 0,85 \text{ о.е.}$$

Сопротивление нулевой последовательности в данном примере равно бесконечности, так как обмотка трансформатора на низкой стороне соединена в треугольник. Поэтому можно сказать, что ток однофазного короткого замыкания на низкой стороне трансформатора равен нулю.

Все токи короткого замыкания сведём в таблицу 14.

Таблица 14 – Токи короткого замыкания

| Место короткого замыкания | $I_{3,0}^{(3)}, \text{ кА}$ | $i_{3,0\ y\partial}^{(3)}, \text{ кА}$ | $I_{1,0}^{(1)}, \text{ кА}$ | $i_{1,0\ y\partial}^{(1)}, \text{ кА}$ |
|---------------------------|-----------------------------|--|-----------------------------|--|
| K1                        | 5,88                        | 14,98                                  | 0,82                        | 2,08                                   |
| K2                        | 5,2                         | 14,25                                  | 0                           | 0                                      |

## 5 Выбор электрической схемы подстанции

Основные решения по схемам подстанций принимаются с учётом обеспечения надежности, перспектив развития, проведения ремонтных работ и безопасности эксплуатации.

Рассматриваемая в работе ПС «Портовая» 110/6 кВ является тупиковой.

На рисунке 10 изображена схема открытого распределительного устройства подстанции, которую планируется внедрить. Конструктивное отличие данной схемы ПС от схемы ПС на данный момент, заключается в замене короткозамыкателей на высокой стороне высоковольтными выключателями. Данное решение позволит продлить срок службы оборудования ОРУ и повысит надежность электроснабжения потребителей питаемых от ПС.

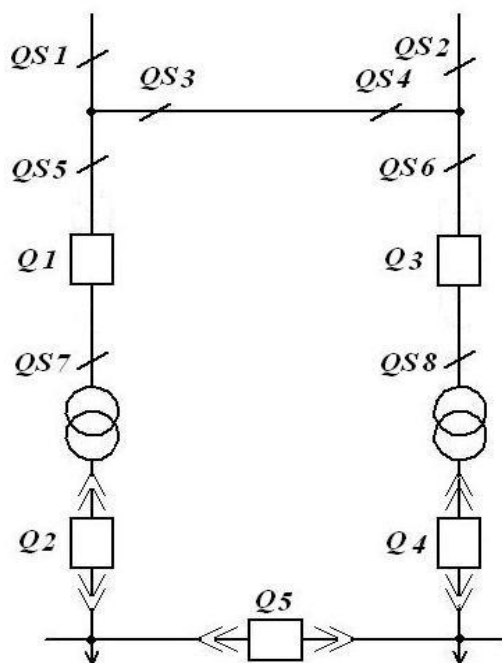


Рисунок 13– Выбранная схема РУ на стороне ВН подстанции

## **6 Выбор оборудования**

Прежде чем производить выбор проводников и оборудования подстанции необходимо по электрической схеме определить рабочий ток присоединения и ток короткого замыкания. Учитываются загрязненность среды, род установки, вес, стоимость аппарата, габариты.

### **6.1 Выбор выключателя**

Открытые распределительные устройства, в зависимости от схемы, комплектуются высоковольтными выключателями. Сейчас все чаще устанавливают элегазовые выключатели. Важнейшие преимущества элегазовых выключателей заключается в прекрасной изоляции, гашении дуги, физических и химических свойствах газа SF<sub>6</sub>.

На ПС «Портовая» устанавливаем элегазовый выключатель марки LW36A(B)BEL-126, как один самых рекомендуемых выключателей производителем.

#### **6.1.1 Выбор выключателя**

Определим полное время срабатывания выключателя:

$$\tau = t_{pz} + t_{cv} = 0,01 + 0,03 = 0,04(\text{с}),$$

где  $t_{pz}$  - время срабатывания релейной защиты, с;

$t_{cv}$  - собственное время отключения выключателя, с.

Выбор выключателя сведен в таблицу 15.

Так как все расчётные данные выключателя меньше или равны каталожных данных, то выключатель LW36A(B)BEL-126 компании АЭС-комплект подходит для установки.

Таблица 15 – Проверка выключателя LW36A(B)BEL-126

| Параметр  | Формула   | Расчётные данные  | Каталожные данные   |
|---|---|---|---|
| Номинальное напряжение, кВ  | -   | 110   | 126   |
| Номинальный ток, А  | $I_n = \frac{S_{т. ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}$   | $\frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 115} = 31,6$                      | 2000  |
| Симметричный ток отключения, кА   | $I_{n,0}^{(3)} = \frac{E_{* \bar{o}}''}{x_{* \text{рез} \bar{o}}} \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\bar{o}}}$             | $\frac{1}{0,85} \cdot \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5,88$ | 40  |
| Отключение аperiodической составляющей тока, кА                         | $i_{a\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{n,0}^{(3)} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_a}}$<br>$T_a = 0,05 \text{ с.}$                                   | $\sqrt{2} \cdot 6,44 \cdot e^{-\frac{0,04}{0,05}} = 4,09$     | $(\sqrt{2} \cdot \beta_{нор} / 100) \cdot I_{откл. ном} =$<br>$= (\frac{\sqrt{2} \cdot 47}{100}) \cdot 40 = 23,2$ |
| Действующее значение предельного сквозного тока короткого замыкания, кА | $I_{n,0}^{(3)} = \frac{E_{* \dot{a}}''}{x_{* \partial \dot{a} \zeta \dot{a}}} \cdot \frac{S_{\dot{a}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\dot{a}}}$ | $\frac{1}{0,78} \cdot \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 6,44$ | 80  |
| Амплитудное значение предельного сквозного тока короткого замыкания, кА | $i_{n,0 \partial \ddot{a}}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot k_{\partial \ddot{a}} \cdot I_{n,0}^{(3)}$  | $\sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 6,44 = 16,39$                       | 100   |
| Термическая стойкость, кА <sup>2</sup> ·с                               | $B_k = I_{n,0}^{(3)2} \cdot t_t$<br>$t_t = 0,04$  | $6,64^2 \cdot 0,04 = 1,76$                                    | $40^2 \cdot 0,04 = 64$  |

## 6.2 Выбор разъединителя

В таблице 16 приведен выбор разъединителей.

Таблица 16 – Проверка разъединителя РН СЭЦ-110/1250

| Параметр  | Формула  | Расчётные данные  | Каталожные данные          |
|---|--|---|----------------------------|
| Номинальное напряжение, кВ  | -  | 110   | 110                        |
| Номинальный ток, А  | $I_n = \frac{S_{т.ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}$   | $\frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 115} = 31,6$                      | 1250                       |
| Действующее значение предельного сквозного тока короткого замыкания, кА | $I_{n,0}^{(3)} = \frac{E_{* \delta}''}{x_{* рез \delta}} \cdot \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{\delta}}$ | $\frac{1}{0,78} \cdot \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 6,44$ | 50                         |
| Амплитудное значение предельного сквозного тока короткого замыкания, кА | $i_{n,0,y\delta}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot k_{y\delta} \cdot I_{n,0}^{(3)}$                                     | $\sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 6,44 = 16,39$                       | 80                         |
| Термическая стойкость, кА <sup>2</sup> ·с                               | $B_k = I_{n,0}^{(3)2} \cdot t_t$<br>$t_t = 0,04$   | $6,64^2 \cdot 0,04 = 1,76$                                    | $31,5^2 \cdot 0,04 = 39,7$ |

Так как все расчётные данные разъединителя меньше или равны каталожных данных, то разъединитель РН СЭЦ-110/1250 компании Электроцит подходит для установки.

### 6.3 Выбор трансформаторов тока

На стороне 110 кВ ПС «Портовая» трансформаторы тока устанавливаются для подключения цепей релейной защиты и автоматики. Выбор трансформатора тока представлен в таблице 17.



Таблица 17 – Проверка трансформатора тока ТВТ-110

| Параметр   | Формула   | Расчётные данные                         | Данные оборудования      |
|--|---|--|--------------------------|
| Номинальное напряжение, кВ                       | -   | 110                                      | 110                      |
| Номинальный ток, А                               | $I_n = \frac{S_{т.ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}$                                      | $\frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 115} = 31,6$ | 300                      |
| Электродинамическая стойкость, кА                | $i_{n,0\phi\ddot{a}}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot k_{\phi\ddot{a}} \cdot I_{n,0}^{(3)}$     | $\sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 5,88 = 14,92$  | 50                       |
| Термическая стойкость, кА <sup>2</sup> ·с        | $B_k = I_{n,0}^{(3)2} \cdot t_t$<br>$t_t = 0,05$                                      | $5,88^2 \cdot 0,04 = 1,38$               | $40^2 \cdot 0,04 = 1,38$ |
| Вторичная нагрузка, Ом                           | $Z_{2ном}$  | 1,2                                      | -                        |
| Полная мощность, потребляемая приборами, ВА      | $S_{приб}$  | 8,2                                      | -                        |
| Сопротивление подключенных приборов, Ом          | $R_{приб} = \frac{S_{приб}}{I_2^2}$   | $\frac{8,2}{5^2} = 0,32$                 | -                        |
| Сопротивление соединительных проводов, Ом        | $R_{np} \leq Z_{2ном} - R_{приб} - R_k$<br>$R_{\epsilon} = 0,1$                       | $R_{np} < 1,2 - 0,32 - 0,01 = 0,78$      | -                        |
| Сечение соединительных проводов, мм <sup>2</sup> | $s = \frac{\rho \cdot l_{np}}{R_{np}}$<br>$\rho = 0,0175$ ,<br>$l_{i\partial} = 90$ м | 2,01 ⇒ выбираем провода КВВГ 2,5         | -                        |

Так как все расчётные данные меньше или равны каталожных данных, то трансформатор тока ТВТ-110 компании ЭТК Оникс подходит для установки.

## 6.4 Выбор трансформаторов напряжения

Для выбора трансформаторов напряжения необходимо определить какие измерительные приборы будут установлены во вторичную обмотку трансформаторов напряжения.

Таблица 18 – Определение вторичной нагрузки трансформатора напряжения

| №     | Типы приборов                                      | Потребляемая мощность одной катушки, ВА | Число катушек | cosφ | sinφ | Число приборов | Общая потребляемая мощность |         |
|-------|--|---|---------------|------|------|----------------|-----------------------------|---------|
|       |  |   |               |      |      |                | P, Вт                       | Q, в ар |
| 1     | Вольтметр Е350М                                    | 1,5                                     | 1             | 1    | 0    | 1              | 1,5                         | -       |
| 2     | Ваттметр Д8002                                     | 5                                       | 2             | 1    | 0    | 1              | 10                          | -       |
| 3     | Счетчик активной энергии<br>МЕРКУРИЙ 236<br>ART-01 | 2,2                                     | 2             | 0,38 | 0,92 | 1              | 1                           | 2       |
| Итого |  |   |               |      |      |                | 12,5                        | 2       |

Таблица 19 - Проверка трансформатора напряжения НТМИ-6

| Параметр                   | Формула  | Расчётные данные              | Данные оборудования |
|----------------------------|--|-------------------------------|---------------------|
| Номинальное напряжение, кВ | -  | 6                             | 6                   |
| Вторичная нагрузка, ВА     | $S_{2\Sigma} = \sqrt{P_{приб}^2 + Q_{приб}^2}$ | $\sqrt{12,5^2 + 2^2} = 12,65$ | 630                 |

Так как все расчётные данные меньше или равны каталожных данных, то трансформатор напряжения НТМИ-6 компании ЭТК Оникс подходит для установки.

## 6.5 Выбор ОПН 110 кВ



Рисунок 14–ОПН 110 кВ

Выбираем по напряжению сети

$$U_{\text{ном}} \leq U_{\text{сети ном}}$$

$$110 \text{ кВ} \leq 110 \text{ кВ.}$$

## 6.6 Выбор портала

Для ПС 110 кВ «Портовая» выбираем стальные порталы. Они необходимы для подвески ошиновки в открытых распределительных устройствах. По технологическому назначению порталы делаться на шинный, ячейковый, перемычный, трансформаторный.

Таблица 20 – Подразделение порталов

| Наименование     | Маркировка | Назначение   |
|------------------|------------|--|
| Шинный           | Ш          | Подвеска проводов сборных шин                          |
| Ячейковый        | Я          | Подвеска проводов верхнего яруса<br>ячейковой ошиновки |
| Перемычный       | П          | Подвеска проводов ошиновки перемычек                   |
| Трансформаторный | Т          | Крепление проводов ошиновки<br>трансформаторов         |

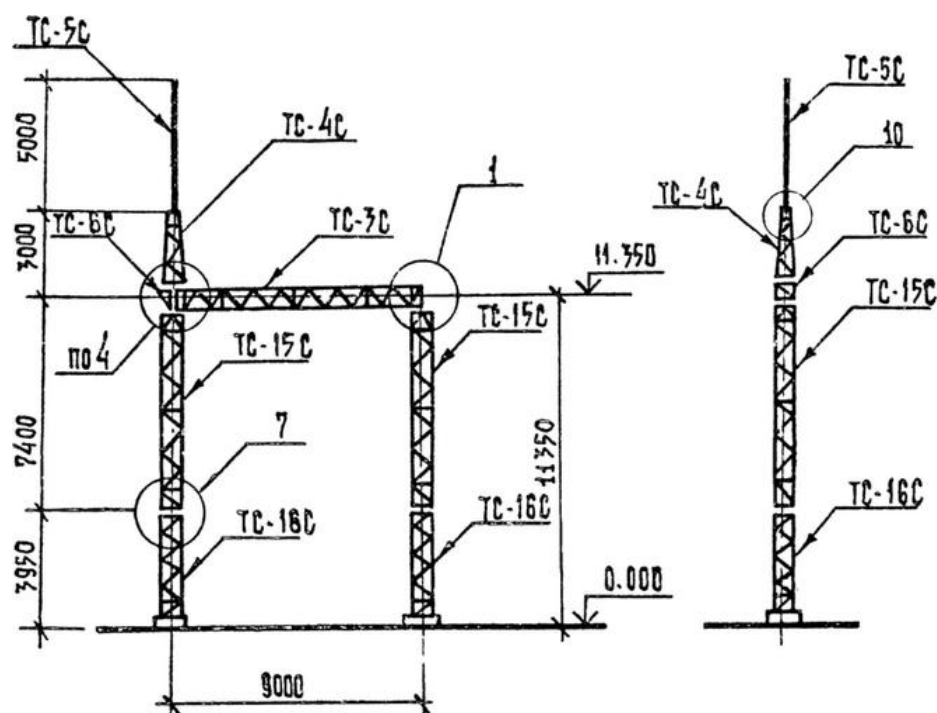


Рисунок 15- Портал ячеяковый ПСЛ-110 Я2

## 6.7 Выбор проходных изоляторов

Эти устройства предназначены для того, чтобы обеспечивать проход токопроводящих частей, через всевозможные преграды с изоляцией от земли. Кроме того, они используются для постройки РУ на подстанциях, выполнении вводов на трансформаторах, КРУ, КТП и пр.

Для того чтобы выбрать необходимый проходной изолятор, взамен устаревших необходимо рассчитать номинальный ток на низкой стороне:

$$I_{\text{ном.НН}} = \frac{S_{\text{ном.м}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НН}}} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 578,03 \text{ А.}$$

Выбираем проходной изолятор марки ИП-10/630-7.5 УХЛ2.

Таблица 22 - Технические характеристики ИП-10/630-7.5

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| Номинальный ток, А          | 630 |
| Номинальное напряжение, кВ  | 10  |
| Сопротивление на излом, кгс | 7,5 |

Данный тип изолятора был выбран вследствие того, что максимальный номинальный ток проходных изоляторов напряжением 6 кВ меньше, номинального тока на низкой стороне.

## 6.8 Выбор гибких шин

Шины это токопроводящий элемент. Чаще всего выполняются проводами типа АС. Выбор сечения необходимо проводить по следующей методике, учитывающей следующие параметры:

1) Экономическая плотность тока:

$$s = \frac{I_{\text{раб.ном}}}{j_{\text{эк}}} = \frac{31,6}{1,1} = 28,72 \text{ мм}^2$$

Получившееся значение округляем до стандартного значения, получаем АС-35.

2) Длительно допустимый ток:

$$I_{\text{ном}} \leq I_{\text{дл.доп}}, \\ 31,6 \text{ А} \leq 175 \text{ А}.$$

3) Проверка по условиям коронирования:

- Максимальное значение начальной критической напряженности:

$$E_0 = 30,3 \cdot m \left(1 + \frac{0,299}{\sqrt{r_0}}\right) = 30,3 \cdot 0,82 (1 + 0,12) = 27,94 \text{ кВ/см};$$

- Напряженность электрического поля около провода:

$$E = \frac{0,354 \cdot U}{r_0 \cdot \lg \frac{D_{cp.2}}{r_0}} = \frac{0,354 \cdot 110}{6,2 \cdot \lg \frac{300}{6,2}} = 3,72;$$

- условие отсутствия короны:

$$1,07E \leq 0,9E_0.$$

Выбранные гибкие шины марки АС - 35, удовлетворяют всем требованиям.

### 6.9 Выбор ячеек

На данный на подстанции «Портовая» установлены КРУ КВ-02-104 в количестве двух ячеек. По опыту эксплуатации данных ячеек компанией ОАО «МРСК Волги», обслуживающей данную подстанцию, КРУ КВ-02-104 отлично зарекомендовали себя в работе. Исходя из этого, выбираем к установке эти же ячейки.

Таблица 23 – Технические характеристики КВ-02-104

|     |  |                                   |
|-----|--|-----------------------------------|
| 1.  | Номинальное напряжение КРУ, кВ   | 6; 10                             |
| 2.  | Наибольшее рабочее напряжение КРУ, кВ  | 7,2; 12                           |
| 3.  | Номинальный ток главных цепей шкафов КРУ с вакуумным выключателем, А                           | 630; 1000;<br>1600; 2000;<br>3150 |
| 4.  | Номинальный ток сборных шин КРУ, А   | 1000; 1600;<br>2000; 3150         |
| 5.  | Номинальные токи отключения выключателей КРУ, кА   | 20; 31,5                          |
| 6.  | Ток термической стойкости КРУ для промежутка времени 1с, кА                                    | 34,5; 54,5                        |
| 7.  | Ток термической стойкости КРУ для промежутка времени 3с, кА                                    | 20; 31,5                          |
| 8.  | Номинальный ток электродинамической стойкости главных цепей шкафа КРУ, кА                      | 51; 81                            |
| 9.  | Номинальная мощность трансформаторов КРУ СН, кВА   | До 40                             |
| 10. | Величина тока холостого хода КРУ, отключаемая разъединяющими контактами выдвижных элементов, А | 0,4 (10кВ);<br>0,6 (6кВ)          |



Рисунок 16 –КВ-02-104

### 6.9.1 Выбор выключателя на стороне 6 кВ

Из предложенной заводом изготовителем номенклатуры, выбираем низковольтный выключатель ВЭ/TEL. Подобные выкатные элементы уже установлены в уже имеющихся на подстанции шкафах. Выбор выключателя представлен в таблице 38.

В таблице 24 представлены технические характеристики выключателя на стороне 6 кВ.

Таблица 24 – Данные для выбора выключателя

| Наименование параметра                     | Расчетное значение  |
|--|---|
| Номинальное напряжение, кВ                 | 6   |
| Номинальный ток с учетом 40% перегрузки, А | $I_{\text{макс}} = 1,4 \cdot \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot 2} = 1,4 \cdot \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 2} = 404,6$ |
| Термическая стойкость, кА·с <sup>2</sup>   | $B_{\kappa} = I_{\text{н.о}}^2 \cdot (t_{\text{откл}} + T_a) = 5,88^2 \cdot (0,2 + 0,12) = 11,06$   |
| $-I_{\text{но}}, \text{ кА}$               | 5,88  |
| $-i_{\text{а.т}}, \text{ кА}$              | 0,82  |

Таблица 25 – Технические характеристики

| Параметры КРУ                  | КВ-02-104         |
|--------------------------------|-------------------|
| Применяемый тип выключателя    | ВЭ/TEL 10-20/1000 |
| Номинальное напряжение, кВ     | 10                |
| Наибольшее напряжение, кВ      | 12                |
| Номинальный ток, А             | 1000              |
| Номинальный ток отключения, кА | 20                |

Выбранный выключатель, ВЭ/TEL 10-20/1000, полностью удовлетворяет параметрам выбора.

### 6.9.2 Выбор трансформатора тока на стороне 6 кВ

Из предложенной заводом изготовителем номенклатуры, выбираем трансформатор тока ТОЛ-10, подобные трансформаторы тока так же уже установлены в уже имеющихся на подстанции шкафах. Выбор трансформатора тока представлен в таблице 26.

Таблица 26 – Данные для выбора трансформатора тока

| Наименование параметра                     | Расчетное значение  |
|--|---|
| Номинальное напряжение, кВ                 | 6   |
| Номинальный ток с учетом 40% перегрузки, А | $I_{\text{макс}} = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 578,034$ |
| $-I_{\text{но}}, \text{ кА}$               | 5,88  |
| $-i_{\text{а.т.}}, \text{ кА}$             | 0,82  |



Таблица 27 - Технические характеристики ТОЛ - 10

| Наименование параметра                   | Значение  |
|--|---|
| Номинальное напряжение, кВ               | 10 или 11   |
| Наибольшее рабочее напряжение, кВ        | 12  |
| Номинальная частота переменного тока, Гц | 50-60   |
| Номинальный вторичный ток, А             | 1;5   |
| Номинальный первичный ток, А             | 10, 20, 30, 40, 50, 100, 150, 200, 300, 400, 600, 800, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000 |
| Число вторичных обмоток                  | 2 или 3   |

Таблица 28 – Определение вторичной нагрузки трансформатора тока

| №     | Типы приборов                                   | Потребляемая мощность, ВА |        |        |
|-------|---|---------------------------|--------|--------|
|       |   | Фаза А                    | Фаза В | Фаза С |
| 1     | Амперметр EQ 34                                 | 0,7                       | -      | -      |
| 2     | Ваттметр Д8003                                  | 5                         | 5      | 5      |
| 3     | Счетчик активной энергии<br>МЕРКУРИЙ 236 ART-01 | 2,2                       | 2,2    | 2,2    |
| Итого |   | 7,9                       | 7,2    | 7,2    |

Выбранный трансформатор тока ТОЛ-10 удовлетворяет условиям выбора.

Выбранные выключатель и трансформатор тока устанавливаются в водные и резервные ячейки. На отходящие же ставятся аналогичные, но учитывается потребляемая мощность.

## **7 Релейная защита силового трансформатора**

Для защиты СТ необходимо устанавливать быстродействующую чувствительную защиту на высокой и низкой стороне. В результате действия такой защиты оборудование отключается.

Защиты делят на два класса, основные и резервные. К основным относят дифференциальную и газовую защиту.

Основные:

- Дифференциальная защита работает без выдержки времени. Такая защита обладает абсолютной селективностью, то есть она реагирует на все виды двухфазных и трехфазных КЗ в зоне действия. Зона работы дифзащиты ограничена трансформаторами тока по сторонам высокого и низкого напряжения.

- Газовая защита трансформатора также относится к основным, то есть она работает без выдержки времени и защищает исключительно силовой трансформатор от внутрибаковых повреждений.

Резервные:

- Максимальная токовая защита. Она срабатывает при увеличении тока защищаемого элемента сверх установленного тока срабатывания (уставки).

- Токковая резервная защита также воздействует на отключение силового трансформатора. Назначение данного устройства, построенного на блоках ПР 4700 или РЗТ, заключается в резервировании основных защит при их отказе или в случае потери оперативного тока.

- Защита минимального напряжения (ЗМН) работает в случае обесточивания силового трансформатора и воздействует на до отключение выключателя низкой стороны перед действием АВР.

При выборе релейной защиты необходимо руководствоваться российскими производителями цифровых устройств РЗА. Технические характеристики российского оборудования нисколько не уступают

зарубежным аналогам, а по некоторым параметрам схожи между собой либо превосходят их.

В настоящее время на российском рынке РЗА одну из лидирующих позиций занимает ЗАО «Радиус Автоматики». В номенклатуре производимой продукции у ЗАО «Радиус Автоматики» присутствуют блоки защиты двух обмоточных силовых трансформаторов «Сириус-Т».

Таблица 29 – Технические характеристики «Сириус-Т»

| Наименование параметра  | Значение             |
|---|----------------------|
| Входные аналоговые сигналы:   |                      |
| число входов по току  | 6                    |
| номинальный ток фаз ( $I_a$ , $I_a$ , $I_c$ ), А  | 5 (1)'               |
| максимальный контролируемый диапазон токов, А   | 0,2-500 (0,04 - 100) |
| рабочий диапазон токов, А   | 1,0-200<br>(0,2-40)  |
| основная относительная погрешность измерения токов в фазах, % термическая стойкость токовых цепей, А, не менее: | $\pm 3$              |
| Длительно   | 15 (3)'              |
| кратковременно (2 с)  | 500(100)             |
| Частота переменного тока, Гц  | 50 $\pm 0,5$         |
| потребляемая мощность входных цепей для фазных токов в номинальном режиме, В-А, не более:                       | 0,01                 |
| Входные дискретные сигналы (220/110 В)  |                      |
| число входов  | 21                   |
| входной ток, мА, не более   | 20                   |
| напряжение надежного срабатывания, В (исполнение 220 В)   | 160-264              |

|   |        |
|---|--------|
| (исполнение 110 В)  | 80-132 |
| напряжение надежного несрабатывания, В (исполнение 220 В)   | 0-120  |
| (исполнение 110 В)  | 0-60   |
| длительность сигнала, мс, не менее  | 20     |
| Выходные дискретные сигналы управления (220 В)  |        |
| количество выходных реле  | 12     |
| коммутируемое напряжение переменного или постоянного тока,  |        |
| В, не более   | 300    |
| коммутируемый постоянный ток замыкания/размыкания при активноиндуктивной нагрузке с постоянной времени $L/R = 50$ мс, А, не более |        |
| реле «Откл.1(2)», «УРОВ», «Реле 3»  | 6/0,5  |
| остальные реле  | 6/0,15 |
| коммутируемый переменный ток замыкания/размыкания при активно   |        |
| индуктивной нагрузке с постоянной времени $L/R = 50$ мс. А, не более  | 6/6    |

### 7.1 Расчет уставок ДЗТ «Сириус-Т»

Согласно представленной, заводом изготовителем, методике расчёта уставок защиты [9], рассчитаем уставки защиты «Сириус-Т».

Произведем расчет по полному диапазону регулирования трансформатора ТМН – 6300 кВА.

Таблица 30 - Расчет по полному диапазону регулирования

| Наименование<br>величины  | Обозначение и<br>метод<br>определения              | Числовые значения для стороны                      |   |
|---|--|--|---|
|   |  | 115 кВ   | 6,6 кВ  |
| Первичный ток<br>на сторонах<br>защищаемого<br>трансформатора,<br>соответствующий<br>его номинальной<br>мощности, А | $I_{ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}$ | $I_{ном} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 115} = 32,2$ | $I_{ном} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 6,6} = 561,5$ |
| Коэффициент<br>трансформации<br>трансформатора<br>тока  | $K_I$  | 25   | 400   |
| Вторичный ток в<br>плечах защиты,<br>соответствующий<br>его номинальной<br>мощности, А                              | $I_{ном,в} = \frac{I_{ном}}{K_I}$                  | $I_{ном,в} = \frac{32,2}{25} = 1,3$                | $I_{ном,в} = \frac{561,5}{400} = 1,4$               |
| Принятые<br>значения  | $I_{ном ВН}, I_{ном НН}$                           | 1,1  | 1,5   |
| Размах РПН, %   | Размах РПН   | 16   |   |

За реально возможный диапазон регулирования принят диапазон от 96,5 кВ до 126 кВ. В таком случае середина диапазона регулирования равна:

$$96,5 + (126 - 96,5) / 2 = 111,25 \text{ кВ.}$$

Значение 111,25 кВ принимаем как  $U_{опт.}$

Таблица 31 - Расчет по используемому диапазону регулирования

| Наименование<br>величины  | Обозначение и<br>метод<br>определения              | Числовые значения для стороны                            |   |
|---|--|--|---|
|   |  | 115 кВ   | 6,6 кВ  |
| Первичный ток<br>на сторонах<br>защищаемого<br>трансформатора,<br>соответствующий<br>его номинальной<br>мощности, А | $I_{ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}$ | $I_{ном} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 111,25}$<br>=33,31 | $I_{ном} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 6,6}$<br>=561,5 |
| Коэффициент<br>трансформации<br>трансформатора<br>тока  | $K_I$  | 25   | 400   |
| Вторичный ток в<br>плечах защиты,<br>соответствующий<br>его номинальной<br>мощности, А                              | $I_{ном,в} = \frac{I_{ном}}{K_I}$                  | $I_{ном,в} = \frac{33,31}{25} = 1,3$                     | $I_{ном,в} = \frac{561,5}{400} = 1,4$                 |
| Принятые<br>значения  | $I_{ном} ВН, I_{ном}$<br>НН                        | 1,11   | 1,5   |
| Размах РПН, %   | Размах РПН   | 13   |   |

### 7.2.1 Дифференциальная отсечка ДЗТ-1

Дифференциальная токовая отсечка предназначена для быстрого отключения повреждений, сопровождающихся большим дифференциальным током. Она работает без каких-либо блокировок и не имеет торможения.

Выбору подлежит отношение дифференциального тока к номинальному относительное значение уставки срабатывания отсечки.

Согласно расчетам токов КЗ максимальное значение тока равно 5880 А, его относительное значение рассчитаем пользуясь отношением:

$$I_{\text{кз.вн.макс.}} = \frac{5880}{150} = 39,24 \text{ А.}$$

$$I_{\text{диф}}/I_{\text{ном}} \geq K_{\text{отс}} K_{\text{нб}} I_{\text{кз.вн.макс.}},$$

где  $K_{\text{отс}} = 1,2$ ,

$K_{\text{нб}} = 0,7$ .

$$I_{\text{диф}}/I_{\text{ном}} \geq 32,92,$$

Уставку принимаем равной 40, уставку берем из паспортных значений «Сириус-Т».

### 7.2.2 Дифференциальная защита ДЗТ-2

Данная ступень предназначена для защиты двухобмоточного трансформатора как от повреждений, сопровождающихся большими значениями токов, так и от межвитковых замыканий, при которых значение аварийного тока меньше номинального тока обмотки трансформатора. Характеристика срабатывания ступени пригодна для трансформаторов с односторонним и двухсторонним питанием.

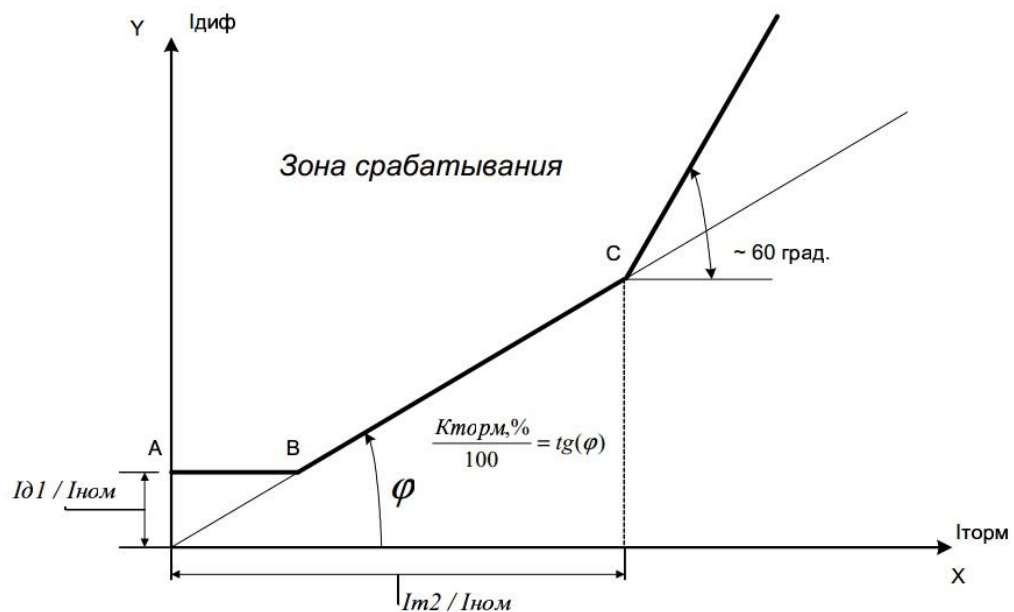


Рисунок 17 - Тормозная характеристика дифференциальной защиты

Тормозной ток формируется, как полусумма модулей токов двух сторон защищаемого трансформатора.

Необходимо определить:

1)  $I_{д1}/I_{ном}$  – базовая уставка ступени, определяет чувствительность рассматриваемой ступени защиты, выбирается в диапазоне от 0,3 до 0,5. Принимаем  $I_{д1}/I_{ном} = 0,5$ ;

2)  $K_{торм}$  – коэффициент торможения, обеспечивает не срабатывание ступени при сквозных токах. Рассчитываем:

$$I_{диф} = K_{отс} \cdot (K_{пер} \cdot K_{одн} \cdot \varepsilon + \Delta U_{рпн} + \Delta f) I_{скв} = \\ = 1,3(2,5 \cdot 1 \cdot 0,1 + 0,16 + 0,04) = 0,76 I_{скв}$$

$$K_{торм} \geq 100 \cdot K_{отс} (K_{пер} \cdot K_{одн} \cdot \varepsilon + \Delta U_{рпн} + \Delta f) / K_{снт},$$

где  $K_{отс} = 1,3$ ,

$K_{пер} = 2,5$ ,

$K_{одн} = 1$ ,

$\varepsilon = 0,1$



$$\Delta f=0,04,$$

$$K_{\text{торм}} \geq 98,7.$$

3)  $I_{T1}/I_{\text{ном}}$  – первая точка излома определяется по формуле автоматически по формуле:

$$\frac{I_{T1}}{I_{\text{ном}}} = \frac{\left(\frac{I_{\partial 1}}{I_{\text{ном}}}\right) \cdot 100}{K_{\text{торм}}} = \frac{(0,5) \cdot 100}{98,7} = 0,506$$

4)  $I_{T2}/I_{\text{ном}}$  – вторая точка излома тормозной характеристики, определяет размер второго участка тормозной характеристики. Принимаем равной  $I_{T2}/I_{\text{ном}}=1,7$

5)  $I_{\partial 2}/I_{\partial 1}$  – уставка блокировки от второй гармоники. Принимаем равной  $I_{\partial 2}/I_{\partial 1} = 0,15$ .

Рассчитаем ток срабатывания защиты на высокой и низкой стороне.

На высокой стороне:

$$I_{с.з} = \frac{K_{\text{отс}} \cdot I_{\text{ном}}}{K_{\epsilon}} = \frac{1,05 \cdot 1,05 \cdot 1,3}{0,95} = 1,5 \text{ А.}$$

На низкой стороне:

$$I_{с.з} = \frac{K_{\text{отс}} \cdot I_{\text{ном}}}{K_{\epsilon}} = \frac{1,05 \cdot 1,05 \cdot 1,5}{0,95} = 1,74 \text{ А.}$$

Проведен расчет уставок дифференциальной защиты силового трансформатора на ПС «Портовая» 110/6 кВ марки ТДН - 6300/110. На ПС принята к установке микропроцессорная РЗ марки «Сириус-Т» производства

ЗАО «РАДИУС Автоматика». Для трансформатора мощностью 6300 кВА дифференциальная защита является основной, наряду с газовой. Силовой трансформатор является одним из самых дорогих видов оборудования на ПС и поэтому его защите необходимо уделить большое внимание. Относительно газовой защиты трансформатора, стоит отметить, что данная защита устанавливается заводом изготовителем СТ и поэтому не рассматривается в работе.

## 8 Выбор оперативного тока

Существует два типа оперативного тока постоянный и переменный. Постоянный оперативный ток применяется на подстанциях 110—220 кВ со сборными шинами. Переменный оперативный ток применяется на подстанциях 35—220 кВ без выключателей на высоком напряжении.

Подстанция 110 кВ «Портовая» является тупиковой, к тому же привода выключателей LW36A(B)BEL-126, разъединителей РН-СЭЩ-110/1250 на стороне 110 кВ и привод выключателя ВЭ/TEL на стороне 6 кВ работают на постоянном токе.

Необходимо выбрать постоянный оперативный ток.

К установке принимаем шкаф оперативного ШОТ-01. Технические характеристики представлены в таблице 32.

Таблица 32- Технические характеристики ШОТ – 01

|   |                             |
|---|-----------------------------|
| Номинальное входное напряжение                | 220В 1 фаза или 380В 3 фазы |
| Диапазон входного напряжения                  | $\pm 20\%$                  |
| Частота                                       | 47 - 63 Гц                  |
| Номинальный выходной ток ШОТ                  | 10, 20, 30, 40А             |
| Номинальное выходное напряжение               | 220 В                       |
| Пульсации выходного напряжения                | $< 200 \text{ мВ}$          |
| Статическая стабильность выходного напряжения | $< \pm 0,1\%$               |
| Тип защитных устройств                        | Автоматические выключатели  |
| Степень защиты оболочки                       | IP 30                       |
| Рабочая температура                           | 0 ...+40°C                  |
| Высота над уровнем моря                       | до 1000 м.                  |
| Обслуживание                                  | Одностороннее               |
| Подвод кабелей                                | снизу                       |
| Габаритные размеры (ВхШхГ)                    | 2000х800х600 мм.            |

## 9 Собственные нужды подстанции 110 кВ «Портовая»

Расчет собственных нужд подстанции «Портовая» и выбор трансформаторов собственных нужд представлен в таблице 33.

Таблица 33 – Выбор трансформаторов собственных нужд с учетом используемой мощности

| № п/п                                    | Наименование потребителей                   | Общая потребляемая мощность $P_{с.н.}$ , кВт, при установленной мощности трансформаторов ПС |
|--|---|---|
|  |   | 2х6,3 МВА   |
| 1  | Электродвигатели охлаждения трансформаторов | 1,5   |
| 2  | Подогрев выключателей и их приводов         | 3   |
| 3  | Подогрев приводов разъединителей            | 8,4   |
| 4  | Отопление релейного шкафа                   | 1   |
| 5  | Отопление, освещение, вентиляция            |   |
|  | ЗРУ   | 7   |
|  | КРУ 10/6 кВ                                 | 6   |
|  | ОПУ   | 70  |
| 6  | Освещение ОРУ 110 кВ                        | 10  |
| 7  | Ремонтные и эксплуатационные нагрузки.      | 20  |
| Итого                                    |   | 126,9 кВт   |
| С учетом коэффициента загрузки $K_z=0,7$ |   |   |
| Всего                                    |   | 88,83 кВт   |

На основании данных таблицы для подстанции выбираем два трансформатора собственных нужд мощностью 2хТСН-50 кВА.

## 10 Расчет заземления на ПС «Портовая» 110/6 кВ

Длительность воздействия прикосновения:

$$\tau = t_{pz} + t_{ov} = 0,01 + 0,04 = 0,05 \text{ с},$$

где  $t_{pz}$  - время действия релейной защиты, с;

$t_{ov}$  - полное время отключения выключателя, с.

По длительности воздействия  $\tau = 0,05 \text{ с}$  определяем наибольшее допустимое напряжение прикосновения  $U_{пр.дон} = 500 \text{ В}$ .

Коэффициент сопротивления человека:

$$\beta = \frac{R_q}{R_q + 1,5 \cdot \rho_{gc}} = \frac{1000}{1000 + 1,5 \cdot 20} = 0,97$$

Коэффициент напряжения прикосновения:

$$k_n = \frac{M \cdot \beta}{\left( \frac{l_a \cdot L_a}{a \cdot \sqrt{S}} \right)^{0,45}} = \frac{0,5 \cdot 0,97}{\left( \frac{5 \cdot 877}{5 \cdot \sqrt{40 \cdot 50}} \right)^{0,45}} = 0,127,$$

где  $M$  - параметр, зависящий от степени однородности грунта;

$l_a$  - длина вертикального заземлителя, м;

$L_a$  - длина горизонтальных заземлителей, м;

$a$  - расстояние между вертикальными заземлителями, м;

$S$  - площадь заземляющего устройства, м<sup>2</sup>.

Напряжение на заземлителе:

$$U_3 = \frac{U_{np.\dot{don}}}{k_n} = \frac{500}{0,127} = 3937 \text{ В.}$$

Необходимое сопротивление заземляющего устройства:

$$R_{3.\dot{don}} = \frac{U_3}{I_3} = \frac{3937}{5880} = 0,66 \text{ Ом,}$$

где  $I_3$  - расчётный однофазный ток короткого замыкания в рассматриваемой установке, А.

Расчётная модель заземлителя представляет собой квадрат со стороной:

$$\sqrt{S} = \sqrt{40 \cdot 50} = 44,72 \text{ м.}$$

Число ячеек по стороне квадрата:

$$m = \frac{L_z}{2 \cdot \sqrt{S}} - 1 = \frac{877}{2 \cdot 44,7} - 1 = 8,8 \Rightarrow 9.$$

Длина полос в расчётной модели:

$$L'_z = 2 \cdot \sqrt{S} \cdot (m + 1) = 2 \cdot 44,7 \cdot 10 = 894 \text{ м.}$$

Длина сторон ячейки:

$$b = \frac{\sqrt{S}}{m} = \frac{44,7}{9} = 4,9 \text{ м.}$$

Число вертикальных заземлителей:

$$n_{\epsilon} = \frac{\sqrt{S} \cdot 4}{1 \cdot l_{\epsilon}} = \frac{44,7 \cdot 4}{1 \cdot 5} = 35,76 \Rightarrow 36.$$

Общая длина вертикальных заземлителей:

$$L_{\epsilon} = l_{\epsilon} \cdot n_{\epsilon} = 5 \cdot 36 = 180 \text{ м.}$$

Относительная глубина погружения вертикальных электродов:

$$\frac{l_{\epsilon} + t}{\sqrt{S}} = \frac{5 + 0,7}{44,7} = 0,127 > 0,1 \text{ м.}$$

Коэффициент, учитывающий глубину погружения вертикальных электродов:

$$A = (0,385 - 0,25 \cdot \frac{l_{\epsilon} + t}{\sqrt{S}}) = 0,385 - 0,25 \cdot \frac{5 + 0,7}{44,7} = 0,35,$$

где  $t$  - глубина погружения вертикальных заземлителей, м.

Общее сопротивление сложного заземлителя:

$$R_3 = A \cdot \frac{\rho_{\epsilon}}{\sqrt{S}} + \frac{\rho_{\epsilon}}{L_{\epsilon} + L_g} = 0,35 \cdot \frac{20}{44,7} + \frac{20}{877 + 180} = 0,175 \text{ Ом.}$$

Напряжение прикосновения:

$$U_{np} = k_n \cdot I_3 \cdot R_3 = 0,127 \cdot 5880 \cdot 0,175 = 130,68 \text{ В} < 500 \text{ В.}$$

Так как напряжение прикосновения меньше допустимого значения, то расчёт верен.

## 11 Молниезащита подстанции «Портовая» 110/6 кВ

Здание и сооружение подстанции необходимо защищать молниеотводами от поражений прямыми ударами молнии.

Молниеотводы бывают стержневые и тросовые. Стержневые - для защиты от прямых ударов молнии в здания, сооружения; тросовые – для защиты линий электропередач.

Расчет защиты от прямых ударов молнии заключается в определении зоны защиты, типов защиты и параметров.

На проектируемой подстанции установим двойной стержневой молниеотвод, так как расстояние между стержневыми молнеотводами не превышает предельного значения, т.е.  $L \leq 4 \cdot h$ .

Примем высоту молниеотвода равной  $h=30$  м с надежностью защиты 0,9. Тогда при расстоянии между молниеотводами  $L = 34$  м:

$$L_C = 2,5 \cdot h = 2,5 \cdot 30 = 75 \text{ м.}$$

В таком случае граница зоны не имеет провеса, так как  $L \leq L_C$ , тогда  $h_C = h_0$ .

Габариты зоны защиты определяются двумя параметрами:

-высота конуса:

$$h_0 = 0,85 \cdot h = 0,85 \cdot 30 = 25,5 \text{ м;}$$

-радиус конуса на уровне земли:

$$r_0 = 1,2 \cdot h = 1,2 \cdot 30 = 36 \text{ м.}$$



Максимальная полуширина зоны в горизонтальном сечении на высоте  $h_x = 7$  м:

$$r_x = \frac{r_0 \cdot h_0 - h_x}{h_0} = \frac{36 \cdot 25,5 - 7}{25,5} = 26,11 \text{ м.}$$

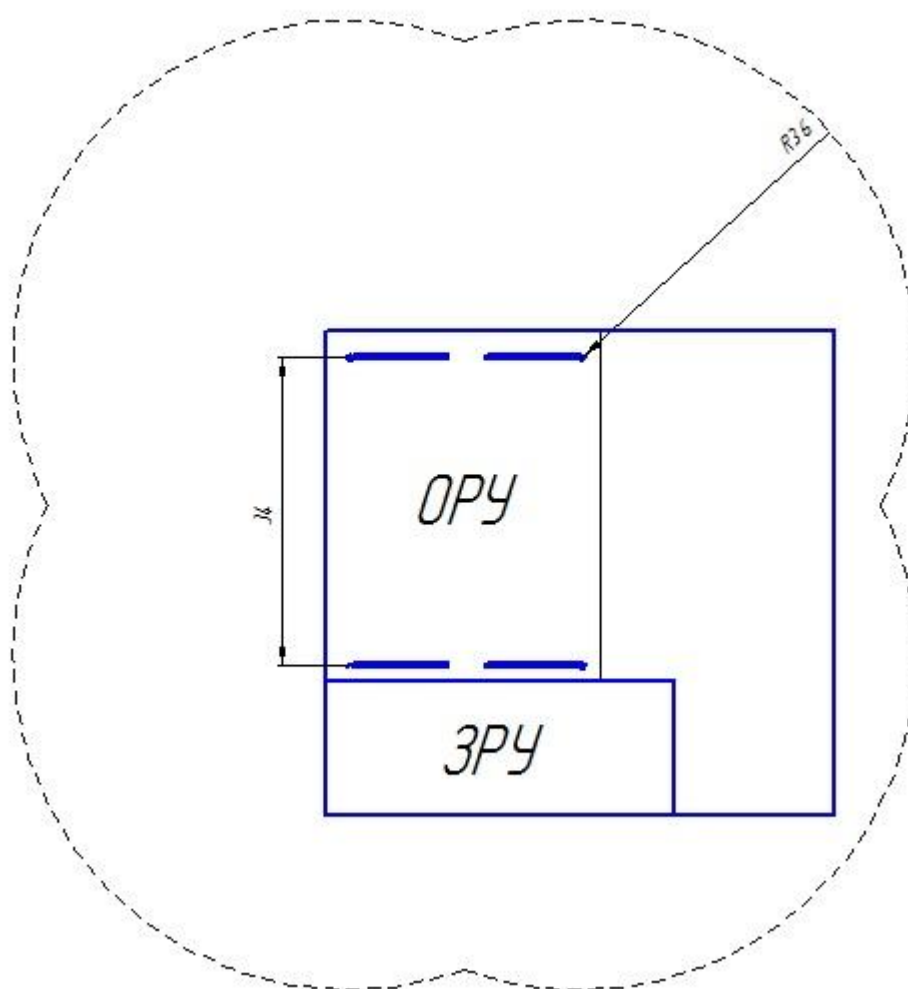


Рисунок 19 – Зона молниезащиты подстанции «Портовая»

## **Заключение**

В бакалаврской работе был произведен расчет реконструкции электрической части понизительной тупиковой подстанции 110 кВ «Портовая». Актуальность работы заключается в замене существующего устаревшего силового оборудования на более новое.

Новое оборудование позволит увеличить качество поставляемой электроэнергии до потребителя, а также увеличит ее экономию за счет снижения потерь. Все оборудование, удовлетворяет соответствующим нормам выбора.

Особое внимание стоит обратить на силовые трансформаторы, поскольку они являются самым дорогим выбираемым оборудованием. Согласно расчетам, к установке принимаем два силовых трансформатора ТДН - 6300/110. Для защиты силового трансформатора рассчитали дифференциальную защиту ЗАО «Радиус Автоматика» марки «Сириус-Т». На стороне 110 кВ принимаем к установке высоковольтный выключатель LW36A(B)BEL-126.

После реконструкции ПС «Портовая» 110/6 кВ обеспечит надежное и бесперебойное электроснабжение потребителей питаемого района. Проект выполнен с применением современных методик выбора оборудования.

### Список использованных источников

1. Правила устройства электроустановок. - 7-е изд. - М.: Изд-во НЦ ЭНАС.
2. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей М.: Изд-во НЦ ЭНАС.
3. ГОСТ 14209-97. Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов
4. Вахнина, В. В. Положение о выпускной квалификационной работе бакалавров : учеб.-метод. пособие для студентов направления 140200 "Электроэнергетика" / В. В. Вахнина, О. В. Самолина; ТГУ ; Электротехн. фак. ; каф. "Электроснабжение и электротехника". - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2009. - 15 с.
5. Вахнина, В. В. Требования к выпускной квалификационной работе бакалавров : учеб.-метод. пособие / В. В. Вахнина, Ю. В. Степкина, О. В. Самолина; ТГУ ; Ин-т энергетики и электроники ; каф. "Электроснабжение и электротехника". - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2012. - 31 с.
6. Степкина, Ю. В. Электрооборудование станций и подстанций предприятий : учеб. пособие / Ю. В. Степкина, В. В. Вахнина; ТГУ ; Электротехн. фак. ; каф. "Электроснабжение и электротехника". - Гриф УМО; ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2009. - 67 с.
7. Справочник по проектированию электрических сетей / Под ред. Д.Л. Файбисовича .– М. : НЦ ЭНАС, 2005 .– 314 с
8. Рекомендации по применению и выбору уставок функционального блока дифференциальной защиты трансформаторов терминала типа RET – 316 АВВ. Реле - Чебоксары 2002.
9. Елгин, А.А. Производство и передача электроэнергии. Ч. 1. Производство электроэнергии: учеб. пособие / А.А. Елгин, О.В. Самолина. – Тольятти: ТГУ, 2008.

10. Степкина, Ю.В. Проектирование электрической части понизительной подстанции: учеб.-метод. пособие по выполнению курсового и дипломного проектирования / Ю.В. Степкина, В.М. Салтыков. – Тольятти: ТГУ, 2007. – 124 с.
11. Балдин, М. Н. Основное оборудование электрических сетей. Справочник./ М. Н Балдин, И. Г Карапетян. - М: Изд-во НЦ ЭНАС.
12. Шакурский, В. К. Теоретические основы электротехники. Методы исследования электрических цепей : учеб.-метод. пособие / В. К. Шакурский, М. В. Шакурский. - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2007. - 58 с.
13. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи : учеб. для студ. вузов, обуч. по направлениям подготовки дипломир. спец. "Электротехника, электромеханика и электротехнологии", "Электроэнергетика", "Приборостроение" / Л. А. Бессонов. - Изд. 11-е, испр. и доп. ; гриф МО. - М. : Гардарики, 2007. - 701 с.
14. Киреева, Э. А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий : учеб. пособие для вузов / Э. А. Киреева. - Гриф УМО. - М. : Кнорус, 2011. - 368 с.
15. Шлыков, С. В. Потребители электрической энергии : учеб. пособие / С. В. Шлыков, В. А. Шаповалов, Н. А. Шаповалова. - ТГУ. - Тольятти: ТГУ, 2011. - 91 с.
16. Гужов, Н. П. Системы электроснабжения : учеб. пособие по напр. подгот. 140400 "Электроэнергетика и электротехника" / Н. П. Гужов, В. Я. Ольховский, Д. П. Павлюченко. - Ростов н/Д : Феникс, 2011. - 382 с.
17. Кудрин, Б. И. Системы электроснабжения : учеб. пособие для вузов / Б. И. Кудрин. - Гриф УМО. - М. : Академия, 2011. – 350 с.
18. Управление качеством электроэнергии / И.И. Карташев [и др.]; [под ред. Ю.В. Шарова]. - М. : Изд. дом МЭИ, 2006. - 319 с.
19. Лыкин, А. В. Электрические системы и сети : учеб. пособие / А. В. Лыкин. - Гриф УМО. - М. : Логос, 2008. - 253 с.

20. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования : РД 153-34.0-20.527-98 / [науч. ред. Б.Н. Неклепаев]. - М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. - 143 с.
21. Клевцов, А.В. Средства оптимизации потребления электроэнергии : справ.- информ. пособие / А.В. Клевцов. - М.: СОЛОН-Пресс, 2005. - 239 с.
22. Макаров, Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4-35 кВ и 110-1150 кВ: в 6 т.: учеб.-произв. изд. Т. 4 / Е.Ф. Макаров; под ред. И.Т. Горюнова [и др.]. - М. : Папирус Про, 2005. - 637 с.
23. Степкина, Ю. В. Высоковольтное оборудование станций и подстанций : учеб. пособие / Ю. В. Степкина, В. В. Вахнина. - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2006. - 49 с.
24. Кужеков, С. Л. Практическое пособие по электрическим сетям и электрооборудованию / С. Л. Кужеков, С. В. Гончаров. - Изд. 2-е, доп. и перераб. - Ростов н/Д : Феникс, 2008. - 492 с.
25. Быстрицкий, Г. Ф. Выбор и эксплуатация силовых трансформаторов : учеб. пособие для вузов / Г. Ф. Быстрицкий, Б. И. Кудрин. - М. : Academia, 2003. - 174 с
26. Ополева, Г. Н. Схемы и подстанции электроснабжения : справочник / Г. Н. Ополева. - М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2008. - 479 с.
27. Андреев, В. А. Релейная защита систем электроснабжения в примерах и задачах : учеб. пособие для вузов / В. А. Андреев. - Гриф УМО. - М. : Высш. шк., 2008. - 252 с.
28. Басс, Э.И. Релейная защита электроэнергетических систем : учеб. пособие для вузов / Э.И. Басс, В.Г. Дорогунцев; под ред. А.Ф. Дьякова. - 2-е изд., стер. ; Гриф УМО. - М. : Изд. дом МЭИ, 2006. - 295 с.
29. Овчаренко, Н. И. Автоматика энергосистем [Электронный ресурс] : учеб. для вузов / Н. И. Овчаренко ; под ред. А. Ф. Дьякова. - 3-е изд., испр. ; Гриф МО. - М. : Изд-во МЭИ, 2009. - 476 с.

30. Сенько, В. В. Электромеханические переходные процессы. Динамическая устойчивость : учеб. пособие / В. В. Сенько; ТГУ ; Электротехн. фак. ; каф. "Электроснабжение и электротехника". - 2-е изд. ; ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2011. - 43 с.
31. Mcdonald, J. D. Electric Power Substations Engineering / J. D. Mcdonald [и др.]. – Майями: CRC Press Taylor & Francis Group, 2012. – 593с
32. Hewitson, Leslie G. Practical System Protection (Practical Professional Books) / L. G. Hewitson. – Newnes, 2005. – 290 с.
33. Gers, J. M. Protection of Electricity Distribution Networks, 3<sup>rd</sup> Edition (Energy Engineering) / J. M. Gers, E. D. Holmes. - The Institution of Engineering and Technology, 2011. – 368 с.
34. Lakervi, E. Electricity Distribution Network Design, 2<sup>nd</sup> Edition (Energy Engineering) / E. Lakervi, E. J. Holmes. - The Institution of Engineering and Technology, 2005. – 338 с.
35. Bayliss, C. Transmission and Distribution Electrical Engineering / C. Bayliss, B. Hardly. – Newnes, 2012. – 1180 с.

## Приложение А

### Приложение А1 – Данные о потреблении подстанции по месяцам

| Месяц    | Р 1сш-6кВ,Вт | Р 2сш-6кВ,Вт | Q 1сш-6кВ,ВАр | Q 2сш-6кВ,ВАр |
|----------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| Январь   | 1853687,48   | 1321192,50   | 699299,40     | 591649,86     |
| Февраль  | 1770441,60   | 1406449,38   | 663776,52     | 623198,28     |
| Март     | 1748732,28   | 1181783,58   | 771314,64     | 610236,66     |
| Апрель   | 1427870,64   | 1088177,16   | 690627,36     | 618507,60     |
| Май      | 1095936,72   | 878344,26    | 623288,64     | 593971,68     |
| Июнь     | 1104604,68   | 880606,44    | 609479,16     | 547199,88     |
| Июль     | 1156885,92   | 980308,98    | 647781,84     | 612432,60     |
| Август   | 1175170,20   | 937862,64    | 599688,24     | 552946,14     |
| Сентябрь | 1113722,40   | 908436,66    | 548595,24     | 554630,52     |
| Октябрь  | 1471454,40   | 1175439,72   | 630905,64     | 595 224,12    |
| Ноябрь   | 1670023,08   | 1122972,18   | 695917,08     | 527711,10     |
| Декабрь  | 1795815,60   | 1333814,34   | 705864,48     | 577264,98     |

### Приложение А2 – Результаты расчетов полной мощности для сш1 и сш2

| Месяц    | S, на сш1,ВА  | S, на сш2,ВА  |
|----------|---------------|---------------|
| Январь   | 1 981 205,927 | 1 447 618,451 |
| Февраль  | 1 890 783,628 | 1 538 335,449 |
| Март     | 1 911 279,901 | 1 330 038,049 |
| Апрель   | 1 586 121,283 | 1 251 671,356 |
| Май      | 1 260 779,926 | 1 060 325,891 |
| Июнь     | 1 261 592,781 | 1 036 771,629 |
| Июль     | 1 325 898,316 | 1 155 889,002 |
| Август   | 1 319 337,328 | 1 088 731,264 |
| Сентябрь | 1 241 504,862 | 1 064 364,683 |
| Октябрь  | 1 601 005,927 | 1 317 554,662 |
| Ноябрь   | 1 809 220,183 | 1 240 784,237 |
| Декабрь  | 1 929 559,103 | 1 453 373,851 |

### Приложение А3 – Результаты для построения ступенчатого графика

| Время, ч | Scш1+Scш2, ВА |
|----------|---------------|
| 672      | 3 429 119,077 |
| 744      | 3 428 824,378 |
| 744      | 3 382 932,954 |
| 720      | 3 241 317,952 |
| 720      | 3 050 004,422 |
| 744      | 2 918 560,589 |

|     |               |
|-----|---------------|
| 744 | 2 837 792,636 |
| 720 | 2 481 787,318 |
| 744 | 2 408 068,592 |
| 720 | 2 321 105,818 |
| 720 | 2 305 869,545 |
| 744 | 2 298 364,413 |

Приложение А4 – Усредненные данные полной мощности

| Время, ч | Scш1+Scш2, ВА |
|----------|---------------|
| 1        | 2             |
| 1416     | 3 428 971,727 |
| 744      | 3 382 932,954 |
| 720      | 3 241 317,953 |
| 720      | 3 050 004,422 |
| 1488     | 2 878 176,613 |
| 1464     | 2 444 927,955 |
| 2184     | 2 308 446,591 |

Приложение А5 – Данные для расчета суммарного потребления электроэнергии

| Время, ч | Р 1сш-6кВ, Вт | Время, ч | Р 2сш-6кВ, Вт |
|----------|---------------|----------|---------------|
| 1        | 2             | 3        | 4             |
| 744      | 1 853 687,48  | 672      | 1 406 449,38  |
| 744      | 1 795 815,60  | 744      | 1 333 814,34  |
| 672      | 1 770 441,60  | 744      | 1 321 192,50  |
| 720      | 1 748 732,28  | 720      | 1 181 783,58  |
| 720      | 1 670 023,08  | 744      | 1 175 439,72  |
| 744      | 1 471 454,40  | 720      | 1 122 972,18  |
| 744      | 1 427 870,64  | 744      | 1 088 177,16  |
| 744      | 1 175 170,20  | 720      | 980 308,98    |
| 720      | 1 156 885,92  | 744      | 937 862,64    |
| 720      | 1 113 722,40  | 720      | 908 436,66    |
| 744      | 1 104 604,68  | 744      | 880 606,44    |
| 720      | 1 095 936,72  | 720      | 878 344,26    |

Приложение А6 - Потребление электроэнергии для трансформатора Т1

| Время, ч | W, эл потр, Т1-10, МВт · ч |
|----------|----------------------------|
| 744      | 1379,143485                |
| 744      | 1336,086806                |
| 672      | 1189,736755                |
| 720      | 1259,087242                |



|       |             |
|-------|-------------|
| 720   | 1202,416618 |
| 744   | 1094,762074 |
| 744   | 1062,335756 |
| 744   | 874,3266288 |
| 720   | 832,9578624 |
| 720   | 801,880128  |
| 744   | 821,8258819 |
| 720   | 789,0744384 |
| Сумма | 12643,63368 |

Приложение А7 - Потребление электроэнергии для трансформатора Т2

| Время | W, эл потр Т2-16 |
|-------|------------------|
| 672   | 945,1339834      |
| 744   | 992,357869       |
| 744   | 982,96722        |
| 720   | 850,8841776      |
| 744   | 874,5271517      |
| 720   | 808,5399696      |
| 744   | 809,603807       |
| 720   | 705,8224656      |
| 744   | 697,7698042      |
| 720   | 654,0743952      |
| 744   | 655,1711914      |
| 720   | 632,4078672      |
| Сумма | 9609,259902      |

Приложение Б3 – Результаты расчета потерь короткого замыкания и холостого хода на каждой ступени

| i | S <sub>Bi</sub> , ВА | n <sub>i</sub> | T, ч | $\Delta W_x$ , кВт·ч | K <sub>з, Bi</sub> | $\Delta W_{K, Bi}$ |
|---|----------------------|----------------|------|----------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 3428971,727          | 2              | 1416 | 39194,88             | 0,214310733        | 5332,918529        |
| 2 | 3382932,954          | 2              | 744  | 20593,92             | 0,338293295        | 6981,899117        |
| 3 | 3241317,95           | 2              | 720  | 19929,6              | 0,324131795        | 6202,826268        |
| 4 | 3050004,42           | 2              | 720  | 19929,6              | 0,305000442        | 5492,211917        |
| 5 | 2878176,613          | 2              | 1488 | 41187,84             | 0,287817661        | 10107,68417        |
| 6 | 2444927,955          | 2              | 1464 | 40523,52             | 0,244492795        | 7176,076529        |
| 7 | 2308446,591          | 2              | 2184 | 60453,12             | 0,230844659        | 9543,466392        |
|   |                      |                |      | 241812,48            |                    | 50837,08292        |

## Приложение Б

Приложение Б1 – Результаты расчета потерь короткого замыкания и холостого хода на каждой ступени

| i | S <sub>вi</sub> , ВА | n <sub>i</sub> | T, ч | Δ W <sub>х</sub> , кВт·ч | K <sub>з.вi</sub> | Δ W <sub>к.вi</sub> , |
|---|----------------------|----------------|------|--------------------------|-------------------|-----------------------|
| 1 | 2                    | 3              | 4    | 5                        | 6                 | 7                     |
| 1 | 3428971,727          | 2              | 1416 | 22868,4                  | 0,544281227       | 14278,00788           |
| 2 | 3382932,954          | 2              | 744  | 12015,6                  | 0,536973485       | 7301,90658            |
| 3 | 3241317,95           | 2              | 720  | 11628                    | 0,514494913       | 6487,125807           |
| 4 | 3050004,42           | 2              | 720  | 11628                    | 0,484127686       | 5743,94125            |
| 5 | 2878176,613          | 2              | 1488 | 24031,2                  | 0,456853431       | 10570,95846           |
| 6 | 2444927,955          | 2              | 1464 | 23643,6                  | 0,388083802       | 7504,983895           |
| 7 | 2308446,591          | 2              | 2184 | 35271,6                  | 0,366420094       | 9980,8804             |
|   |                      |                |      | 141086,4                 |                   | 61867,80428           |

Приложение Б2 – Результаты расчета потерь короткого замыкания и холостого хода на каждой ступени

| i | S <sub>вi</sub> , ВА | n <sub>i</sub> | T, ч | Δ W <sub>х</sub> , кВт·ч | K <sub>з.вi</sub> | Δ W <sub>к.вi</sub> , |
|---|----------------------|----------------|------|--------------------------|-------------------|-----------------------|
| 1 | 3428971,727          | 2              | 1416 | 32001,6                  | 0,342897173       | 9032,142991           |
| 2 | 3382932,954          | 2              | 744  | 16814,4                  | 0,338293295       | 4619,122281           |
| 3 | 3241317,95           | 2              | 720  | 16272                    | 0,324131795       | 4103,699086           |
| 4 | 3050004,42           | 2              | 720  | 16272                    | 0,305000442       | 3633,56703            |
| 5 | 2878176,613          | 2              | 1488 | 33628,8                  | 0,287817661       | 6687,095931           |
| 6 | 2444927,955          | 2              | 1464 | 33086,4                  | 0,244492795       | 4747,587216           |
| 7 | 2308446,591          | 2              | 2184 | 49358,4                  | 0,230844659       | 6313,817705           |
|   |                      |                |      | 197433,6                 |                   | 39137,03224           |

Приложение Б4 – Результаты расчета потерь короткого замыкания и холостого хода на каждой ступени

| i | S <sub>вi</sub> , ВА | n <sub>i</sub> | T, ч | Δ W <sub>х</sub> , кВт·ч | K <sub>з.вi</sub> | Δ W <sub>к.вi</sub> , |
|---|----------------------|----------------|------|--------------------------|-------------------|-----------------------|
| 1 | 3428971,727          | 2              | 1416 | 61950                    | 0,137158869       | 3346,471412           |
| 2 | 3382932,954          | 2              | 744  | 32550                    | 0,135317318       | 1711,416735           |
| 3 | 3241317,95           | 2              | 720  | 31500                    | 0,129652718       | 1520,448878           |
| 4 | 3050004,42           | 2              | 720  | 31500                    | 0,122000177       | 1346,261702           |
| 5 | 2878176,613          | 2              | 1488 | 65100                    | 0,115127065       | 2477,615266           |
| 6 | 2444927,955          | 2              | 1464 | 64050                    | 0,097797118       | 1759,013881           |
| 7 | 2308446,591          | 2              | 2184 | 95550                    | 0,092337864       | 2339,313103           |
|   |                      |                |      | 382200                   |                   | 14500,54098           |