

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
**«Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I»
(ФГБОУ ВО ПГУПС)**

Ожерельевский ж.д. колледж - филиал ПГУПС

СОГЛАСОВАНО

Методист

Л.А. Елина
« ____ » _____ 20 ____ г.

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по УР

Н.Н. Иванова
« ____ » _____ 20 ____ г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

**по ПМ.01. Техническое обслуживание оборудования электрических
подстанций и сетей**

**МДК.01.01 Устройство и техническое обслуживание электрических
подстанций**

специальность 13.02.07 Электроснабжение (по отраслям)

СОДЕРЖАНИЕ

1. Пояснительная записка	4
2. Задание на курсовой проект	8
3. Содержание курсового проекта	10
4. Методические указания по разработке однолинейной схемы проектируемой подстанции	12
5. Методические указания для выполнения расчетной части курсового проекта	16
6. Методические указания для выполнения специальной части курсового проекта	92
7. Вопросы для подготовки к защите курсового проекта	94
8. Методические указания по оформлению курсового проекта	96
Приложения	97
Перечень рекомендуемой литературы	104

1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Методические рекомендации по выполнению курсового проекта по междисциплинарному курсу МДК.01.01.Устройство и техническое обслуживание электрических подстанций составлены в соответствии с требованиями ФГОС СПО к минимуму содержания и уровню подготовки выпускников СПО по специальности 13.02.07 Электроснабжение (по отраслям) и на основе рабочей программы профессионального модуля ПМ.01. Техническое обслуживание оборудования электрических подстанций и сетей. Методические рекомендации составлены для выполнения курсового проекта по теме «Выбор оборудования трансформаторной подстанции».

В результате выполнения курсового проекта в рамках изучения междисциплинарного курса обучающийся должен иметь практический опыт:

- составления электрических схем устройств электрических подстанций и сетей;
- модернизации схем электрических устройств подстанций;
- применения инструкций и нормативных правил при составлении отчетов и разработке технологических документов.

В результате освоения междисциплинарного курса обучающийся должен **уметь**:

- разрабатывать электрические схемы устройств электрических подстанций и сетей;
- вносить изменения в принципиальные схемы при замене приборов аппаратуры распределительных устройств;
- обеспечивать выполнение работ по обслуживанию трансформаторов и преобразователей электрической энергии;
- обеспечивать проведение работ по обслуживанию оборудования распределительных устройств электроустановок;
- использовать нормативную техническую документацию и инструкции;

- выполнять расчеты рабочих и аварийных режимов действующих электроустановок и выбирать оборудование;
- оформлять отчеты о проделанной работе;

В результате освоения междисциплинарного курса обучающийся должен **знать:**

- устройство оборудования электроустановок;
- условные графические обозначения элементов электрических схем;
- логику построения схем, типовые схемные решения, принципиальные схемы эксплуатируемых электроустановок;
- виды работ и технологию обслуживания трансформаторов и преобразователей;
- виды и технологии работ по обслуживанию оборудования распределительных устройств;
- основные положения правил технической эксплуатации электроустановок;
- виды технологической и отчетной документации, порядок ее заполнения;

В процессе выполнения курсового проекта обучающиеся осваивают общие компетенции:

ОК 1. Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес;

ОК 2. Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество;

ОК 3. Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность;

ОК 4. Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития;

ОК 5. Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности;

ОК 6. Работать в коллективе и в команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями;

ОК 7. Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), результат выполнения заданий;

ОК 8. Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации;

ОК 9. Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности.

Программой междисциплинарного курса МДК.01.01. Устройство и техническое обслуживание электрических подстанций в рамках обучения по программе профессионального модуля ПМ.01. Техническое обслуживание электрических подстанций и сетей предусматривается освоение профессиональных компетенций:

ПК 1.1. Читать и составлять электрические схемы электрических подстанций и сетей.

ПК 1.2. Выполнять основные виды работ по обслуживанию трансформаторов и преобразователей электрической энергии.

ПК1.3. Выполнять основные виды работ по обслуживанию оборудования распределительных устройств электроустановок, систем релейных защит и автоматических систем.

ПК 1.5. Разрабатывать и оформлять технологическую и отчетную документацию.

Рабочая программа междисциплинарного курса предусматривает 30 часов на выполнение курсового проекта.

В методических рекомендациях рассмотрены вопросы проектирования электрической части трансформаторных подстанций различного типа.

Проектирование электрической части трансформаторных подстанций – это сложный процесс выработки и принятия решений по схемам электрических подстанций, составу электрооборудования, выполнению расчетов.

Настоящие рекомендации предназначены для оказания помощи обучающимся в квалифицированной проработке темы курсового проекта. В рекомендациях изложены состав курсового проекта, методика расчетов, приведены справочные материалы, которые могут быть использованы при проектировании. Справочные материалы содержат технические характеристики современного электрооборудования подстанций, однолинейные схемы распределительных устройств.

Выполняя курсовой проект, обучающийся самостоятельно решает технические задачи, пользуясь технической и справочной литературой, применяет приобретенные в процессе обучения теоретические знания.

Материал Методических рекомендаций позволяет выполнить курсовой проект на тему «Выбор и проверка оборудования трансформаторной подстанции».

2. ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

В настоящих методических рекомендациях рассмотрены вопросы определения мощности трансформаторной подстанции, расчета рабочих токов и токов короткого замыкания, выбора и проверки основного оборудования распределительных устройств, текущего ремонта оборудования.

Для выполнения курсового проекта на тему «Выбор оборудования трансформаторной подстанции» рекомендуются следующие исходные данные, на основании которых рассматриваются вопросы расчетов:

1. Схема внешнего электроснабжения подстанций. Схема внешнего электроснабжения приведена в приложении 3.
2. Параметры источников питания, которыми являются районные подстанции. К таким параметрам относятся мощности короткого замыкания на шинах вторичного напряжения районных подстанций S_{K1} и S_{K2} .
3. Тип и длины линий электропередачи, которые определяют расстояние между всеми подстанциями в схеме внешнего электроснабжения.
4. Напряжения на шинах районных подстанций и на шинах проектируемой подстанции.
5. Количество главных понижающих трансформаторов на проектируемой подстанции, количество их обмоток и уровни напряжения каждой из них, напряжения короткого замыкания.
6. Характеристики потребителей электроэнергии, которые запитаны от шин вторичного напряжения проектируемой подстанции. К характеристикам потребителей относятся их установленные мощности $P_{уст}$, коэффициенты спроса K_C и мощности K_M (или $\cos\varphi$), напряжения в линиях электропередачи к этим потребителям, категории потребителей.

Образец бланка задания приведен в приложении 2.

Темы специального задания курсового проекта выдаются руководителем. Специальное задание направлено на разработку материала к текущему ремонту оборудования.

3. СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект состоит из расчетно – пояснительной записки и графической части. Графическая часть проекта содержит один чертеж формата А1 - однолинейную схему проектируемой трансформаторной подстанции.

Содержание расчетно-пояснительной записки курсового проекта включает в себя следующее:

Введение

1 Расчет мощности трансформаторной подстанции

1.1 Расчет полной мощности подстанции

1.2 Выбор силовых трансформаторов

2 Расчет рабочих токов

3 Расчет токов короткого замыкания

3.1 Расчет относительных сопротивлений цепи короткого замыкания

3.2 Расчет токов и мощностей короткого замыкания

3.3 Расчет тепловых импульсов

4 Выбор и проверка оборудования

4.1 Выбор и проверка токоведущих частей

4.2 Выбор и проверка изоляторов

4.3 Выбор и проверка выключателей переменного тока

4.4 Выбор и проверка разъединителей

4.5 Выбор и проверка измерительных трансформаторов тока

4.6 Выбор и проверка измерительных трансформаторов напряжения

4.7 Выбор предохранителей

4.8 Выбор ограничителей перенапряжения

5 Текущий ремонт оборудования

5.1 Организационно - технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ

5.2 Содержание текущего ремонта оборудования

Заключение

Библиографический список

Во введении необходимо отразить роль электрической энергии в жизни человека, цель и краткую характеристику курсового проекта, описание распределительных устройств проектируемой подстанции, обеспечение надежного электроснабжения потребителей электроэнергии.

Основные разделы курсового проекта должны содержать расчеты мощности подстанции, рабочих токов и токов короткого замыкания. На основании этих расчетов производится выбор оборудования и его проверка на термическую и электродинамическую стойкости к токам короткого замыкания.

Специальное задание курсового проекта направлено на разработку организационных и технических мероприятий для безопасного выполнения одного из видов технического обслуживания - текущего ремонта оборудования, содержание текущего ремонта и состав исполнителей. Оборудование, которое необходимо вывести в ремонт, задается руководителем проекта.

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ ОДНОЛИНЕЙНОЙ СХЕМЫ ПРОЕКТИРУЕМОЙ ПОДСТАНЦИИ

Проектирование однолинейной схемы электрических соединений трансформаторной подстанции производится в два этапа:

1. Составление структурной схемы.
2. Разработка однолинейной схемы электрических соединений распределительных устройств подстанции.

При составлении структурной схемы по схеме внешнего электроснабжения определяется тип подстанции. В курсовом проекте рассматриваются транзитные и тупиковые подстанции. Для выполнения структурной схемы необходимо также учитывать напряжения распределительных устройств, количество главных понижающих трансформаторов и трансформаторов собственных нужд, количество линий районных потребителей, получающих питание от шин подстанции. Трансформаторная подстанция предназначена для преобразования электрической энергии высокого напряжения в энергию более низкого напряжения и ее распределения по потребителям. Трансформаторная подстанция получает питание от электросистемы по двум воздушным линиям электропередачи. С помощью двух главных понижающих трансформаторов преобразуют напряжение в 10 или 35 кВ на подстанциях с одним вторичным напряжением, в напряжение 35 и 10 кВ на подстанциях с двумя вторичными напряжениями. На подстанциях с одним уровнем вторичного напряжения устанавливаются двухобмоточные трансформаторы, на подстанциях с двумя уровнями вторичного напряжения – трехобмоточные трансформаторы. От шин вторичного напряжения получают питание районные потребители. Количество питающих линий определяется категорией потребителей. Для потребителей первой категории предусматривается электроснабжение от двух независимых взаимно резервируемых источников питания. К их

числу относятся две секции сборных шин одного распределительного устройства подстанции. Секции шин имеют связь через выключатель, который автоматически отключается при нарушении нормальной работы одной из секций шин. Одна питающая линия потребителя находится в работе, другая – в резерве и может быть автоматически включена в работу при аварийном режиме на рабочей питающей линии данного потребителя. Электроснабжение потребителей второй категории опускается выполнять по одной линии от проектируемой подстанции. При этом подразумевается, что эти потребители имеют резервную линию от другой районной подстанции. Потребители третьей категории питаются по одной линии от одной из секций шин подстанции. Для питания потребителей собственных нужд подстанции предусматривается установка двух трансформаторов собственных нужд (ТСН) к разным секциям шин вторичного напряжения. На трансформаторной подстанции ТП-110/10 кВ ТСН подключают к шинам 10 кВ, на подстанциях ТП-110/35 и ТП-220/35 кВ – к шинам 35 кВ, на подстанциях ТП-220/35/10 и ТП-110/35/10 кВ – к шинам 10 кВ.

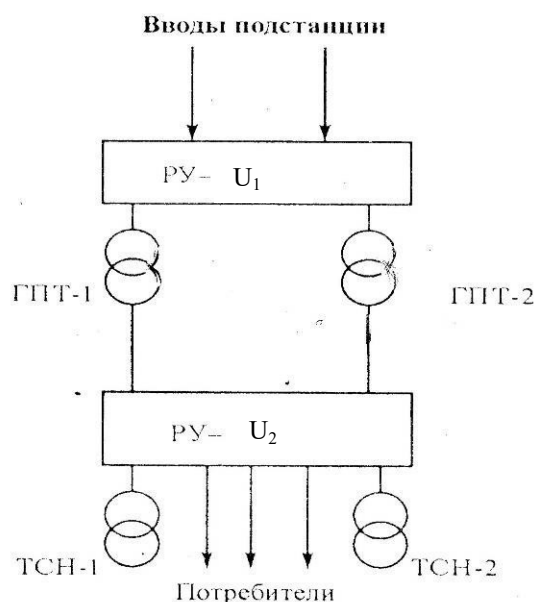


Рисунок 1 - Структурная схема трансформаторной подстанции с двумя уровнями вторичного напряжения

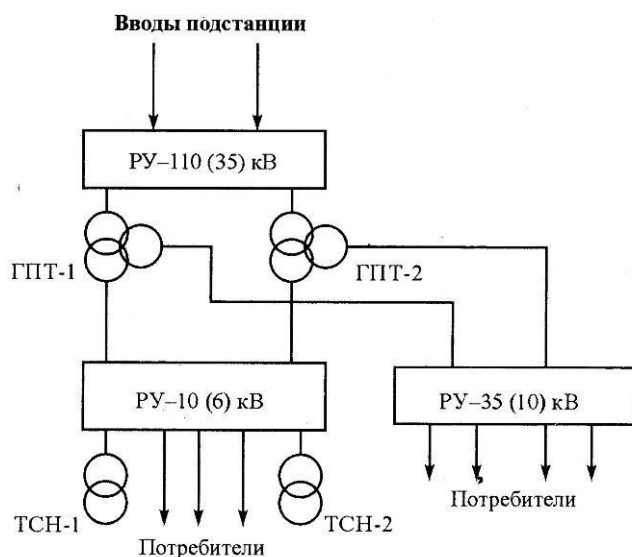


Рисунок 2 – Структурная схема трансформаторной подстанции с двумя уровнями вторичного напряжения

На основании структурной схемы производится разработка однолинейной схемы. От однолинейной схемы подстанции зависит надежность электроснабжения потребителей, ремонтоспособность, удобство технического обслуживания и безопасность персонала, рациональность размещения электрооборудования, гибкость и автоматичность коммутации при восстановлении функционирования после аварий. Простота и наглядность однолинейной схемы во многом определяют безошибочность работы оперативного и оперативно-ремонтного персонала. Таким образом, однолинейная схема должна быть простой и наглядной, обеспечивать надежность в эксплуатации, допускать безопасное обслуживание и бесперебойное электроснабжение потребителей электроэнергии.

В каждом распределительном устройстве, которые связаны между собой через главный понижающий трансформатор, указывается все силовое оборудование и все соединения в той последовательности, которая обеспечивает его необходимую и надежную работу подстанции. Типовые однолинейные схемы распределительных устройств приведены в приложениях 4,5,6.

На транзитной подстанции имеются два ввода, соединенных между собой рабочей и ремонтной перемычками. На вводах, то есть на первичной стороне главных понижающих трансформаторов установлены выключатели переменного тока. Однолинейная схема распределительного устройства первичного напряжения тупиковой подстанции аналогична схеме распределительного устройства транзитной подстанции. Отличительной особенностью является отсутствие рабочей перемычки, есть только ремонтная без выключателя переменного тока. Распределительные устройства вторичного напряжения секционируются выключателями на две секции и выполняются комплектными камерами с выкатными выключателями.

5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНОЙ ЧАСТИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

5. 1. Расчет мощности трансформаторной подстанции

При проектировании трансформаторной подстанции, на которой установлены *двухобмоточные* трансформаторы, расчет мощности производится по формулам (1-5).

5.1.1. Расчет полной мощности подстанции с двухобмоточными трансформаторами

5.1.1.1. Расчет максимальной активной мощности районных потребителей

$$P_{\text{макс}} = K_c \cdot P_{\text{уст}}, \quad (1)$$

где $P_{\text{уст}}$ – установленная мощность районного потребителя, кВт;

K_c – коэффициент спроса.

$$P_{\text{макс1}} = K_{c1} \cdot P_{\text{уст1}}$$

$$P_{\text{макс2}} = K_{c2} \cdot P_{\text{уст2}}$$

$$P_{\text{макс3}} = K_{c3} \cdot P_{\text{уст3}}$$

$$P_{\text{макс4}} = K_{c4} \cdot P_{\text{уст4}}$$

$$P_{\text{макс5}} = K_{c5} \cdot P_{\text{уст5}}$$

$$P_{\text{макс6}} = K_{c6} \cdot P_{\text{уст6}}$$

$$\Sigma P_{\text{макс}} = P_{\text{макс1}} + P_{\text{макс2}} + P_{\text{макс3}} + P_{\text{макс4}} + P_{\text{макс5}} + P_{\text{макс6}}$$

5.1.1.2. Расчет максимальной реактивной мощности районных потребителей

$$Q_{\text{макс}} = \text{tg} \varphi \cdot P_{\text{макс}}, \quad (2)$$

где $P_{\text{уст}}$ – максимальная мощность районного потребителя, кВт;

$\text{tg} \varphi$ – тангенс угла, определяется по заданному коэффициенту мощности:

$$\text{tg} \varphi = \frac{\sqrt{\cos^2 \varphi - 1}}{\cos \varphi}.$$

$$Q_{\text{макс1}} = \text{tg} \varphi_1 \cdot P_{\text{макс1}}$$

$$Q_{\text{макс2}} = \text{tg} \varphi_2 \cdot P_{\text{макс2}}$$

$$Q_{\text{макс3}} = \text{tg} \varphi_3 \cdot P_{\text{макс3}}$$

$$Q_{\text{макс4}} = \text{tg} \varphi_4 \cdot P_{\text{макс4}}$$

$$Q_{\text{макс5}} = \text{tg} \varphi_5 \cdot P_{\text{макс5}}$$

$$Q_{\text{макс6}} = \text{tg}\varphi_6 \cdot P_{\text{макс6}}$$

$$\Sigma Q_{\text{макс}} = Q_{\text{макс1}} + Q_{\text{макс2}} + Q_{\text{макс3}} + Q_{\text{макс4}} + Q_{\text{макс5}} + Q_{\text{макс6}}$$

5.1.1.3. Расчет полной мощности районных потребителей:

$$S_{pn} = K_{pm} \cdot \left(1 + \frac{P_{\text{пост}} + P_{\text{пер}}}{100} \right) \sqrt{\Sigma P_{\text{макс}}^2 + \Sigma Q_{\text{макс}}^2}, \quad (3)$$

где $P_{\text{пост}}$ – постоянные потери в стали трансформатора, $P_{\text{пост}} = 1 - 2 \%$,

(в расчет $P_{\text{пост}} = 2\%$);

$P_{\text{пер}}$ – переменные потери в меди трансформатора, $P_{\text{пер}} = 6 - 10\%$,

(в расчет $P_{\text{пер}} = 8\%$);

$\Sigma P_{\text{макс}}$ – максимальная суммарная активная мощность районных потребителей, кВт;

$\Sigma Q_{\text{макс}}$ – максимальная суммарная реактивная мощность районных потребителей, квар;

K_{pm} – коэффициент разновременного наступления максимумов нагрузок, $K_{pm} = 0,95$.

5.1.1.4. Расчет мощности собственных нужд подстанции

Мощность собственных нужд подстанции составляет $0,5 - 0,8 \%$ от мощности районных потребителей:

$$S_{cn} = \frac{0,5 \dots 0,8}{100} \cdot S_{pn}, \quad (4)$$

где S_{pn} – мощность районных потребителей, кВА.

5.1.1.5. Расчет полной мощности трансформаторной подстанции

$$S_{n/cm} = S_{pn} + S_{cn}, \quad (5)$$

где S_{cn} – мощность собственных нужд подстанции, кВА.

5.1.2. Выбор силовых трансформаторов

5.1.2.1. Выбор главного понижающего трансформатора

Условие выбора:

$$S_{н.тр} \leq \frac{S_{n/cm}}{K_{ав} \cdot (n-1)}, \quad (6)$$

где $K_{ав}$ – коэффициент перегрузки трансформатора в аварийном режиме,

$$K_{ав} = 1,4;$$

n – число трансформаторов, $n = 2$.

К установке принимается главный понижающий трансформатор марки
(указывается марка трансформатора).

Основные характеристики главного понижающего трансформатора необходимо представить в виде таблицы, образец которой приведен ниже.

Таблица 1- Характеристики главного понижающего трансформатора

Марка трансформатора	Номинальная мощность трансформатора $S_{н.тр.}$, кВА	Номинальное напряжение первичной обмотки $U_{н1}$, кВ	Номинальное напряжение вторичной обмотки $U_{н2}$, кВ	Напряжение короткого замыкания u_k , %	Схема и группа соединения обмоток

$$S_{н.тр} = \quad \text{кВА} > S_{расч.п/ст} = \quad \text{кВА}.$$

Электрические характеристики главных понижающих трансформаторов приведены в таблицах 3 и 4.

5.1.2.2. Выбор трансформатора собственных нужд

Условие выбора:

$$S_{н.тсн} \leq S_{сн} , \quad (7)$$

где $S_{н.тсн}$ - номинальная мощность трансформатора собственных нужд, кВА;

$S_{сн}$ – расчетная мощность собственных нужд подстанции, кВА.

К установке принимается трансформатор собственных нужд марки....
(указывается марка трансформатора).

Основные характеристики трансформатора собственных нужд необходимо представить в виде таблицы, образец которой приведен ниже.

Таблица 2 – Характеристики трансформатора собственных нужд

Марка трансформатора	Номинальная мощность трансформатора $S_{н.тр.}$, кВА	Номинальное напряжение первичной обмотки $U_{н1}$, кВ	Номинальное напряжение вторичной обмотки $U_{н2}$, кВ	Напряжение короткого замыкания u_k , %	Схема и группа соединения обмоток

Электрические характеристики трансформаторов собственных нужд приведены в таблицах 5 и 6.

Таблица 3- Электрические характеристики силовых маслонаполненных трансформаторов с первичным напряжением 35 кВ

Марка трансформатора	Номинальная мощность трансформатора $S_{н.тр.}$, кВА	Номинальное напряжение первичной обмотки $U_{н1}$, кВ	Номинальное напряжение вторичной обмотки $U_{н2}$, кВ	Напряжение короткого замыкания u_k , %	Схема и группа соединения обмоток
ТМ-1000/35	1000	35	10,5	6,5	Y/Δ-11
ТМН-1000/35	1000	35	10,5	6,5	Y/Δ-11
ТМ-1600/35	1600	35	10,5	6,5	Y/Δ-11
ТМН-1600/35	1600	35	10,5	6,5	Y/Δ-11
ТМ-2500/35	2500	35	10,5	6,5	Y/Δ-11
ТМН-2500/35	2500	35	10,5	6,5	Y/Δ-11
ТМ-4000/35	4000	35	10,5	7,5	Y/Δ-11
ТМН-4000/35	4000	35	10,5	7,5	Y/Δ-11
ТМ-6300/35	6300	35	10,5	7,5	Y/Δ-11
ТМН-6300/35	6300	35	10,5	7,5	Y/Δ-11
ТД-10000/35	10000	35	10,5	7,5	Y/Δ-11
ТМ-16000/35	16000	35	10,5	8,0	Y/Δ-11

Таблица 4- Электрические характеристики силовых маслонаполненных трансформаторов с первичным напряжением 110 кВ

Марка трансформатора	Номинальная мощность трансформатора $S_{н.тр.}$, кВА	Номинальное напряжение первичной обмотки $U_{н1}$, кВ	Номинальное напряжение вторичной обмотки $U_{н2}$, кВ	Напряжение короткого замыкания u_k , %	Схема и группа соединения обмоток
ТМН-6300/110	6300	115	11	10,5	Y [*] /Δ-11
ТМН-6300/110	6300	115	38,5	10,5	Y [*] /Δ-11
ТДН-10000	10000	115	11	10,5	Y [*] /Δ-11
ТМН-10000	10000	115	11	10,5	Y [*] /Δ-11
ТМН-10000	10000	115	38,5	10,5	Y [*] /Δ-11
ТДН-16000	16000	115	11	10,5	Y [*] /Δ-11
ТДН-16000	16000	115	38,5	10,5	Y [*] /Δ-11
ТДН-25000	25000	115	38,5	10,5	Y [*] /Δ-11
ТДН-31500	31500	115	11	10,5	Y [*] /Δ-11
ТДН-40000	40000	115	38,5	10,5	Y [*] /Δ-11
ТДН-63000	63000	115	38,5	10,5	Y [*] /Δ-11

Таблица 5 - Электрические характеристики силовых маслонаполненных трансформаторов с первичным напряжением 35, 10 кВ

Марка трансформатора	Номинальная мощность трансформатора $S_{н.тр}$, кВА	Номинальное напряжение первичной обмотки $U_{н1}$, кВ	Номинальное напряжение вторичной обмотки $U_{н2}$, кВ	Напряжение короткого замыкания u_k , %	Схема и группа соединения обмоток
ТМГ-63/10	63	10	0,4	4	Y/Y [*] -0
ТМГ-63/35	63	35	0,4	4,5	Y/Y [*] -0
ТМГ-100/10	100	10	0,4	4	Y/Y [*] -0
ТМГ-100/35	100	35	0,4	4,5	Y/Y [*] -0
ТМГ-160/10	160	10	0,4	4	Y/Y [*] -0
ТМГ-160/35	160	35	0,4	4,5	Y/Y [*] -0
ТМГ-250/10	250	10	0,4	4	Y/Y [*] -0
ТМГ-250/35	250	35	0,4	4,5	Y/Y [*] -0
ТМГ-400/10	400	10	0,4	4	Y/Y [*] -0
ТМГ-400/35	400	35	0,4	4,5	Y/Y [*] -0

Таблица 6 - Электрические характеристики силовых сухих трансформаторов с первичным напряжением 10 кВ

Марка трансформатора	Номинальная мощность трансформатора $S_{н.тр}$, кВА	Номинальное напряжение первичной обмотки $U_{н1}$, кВ	Номинальное напряжение вторичной обмотки $U_{н2}$, кВ	Напряжение короткого замыкания u_k , %	Схема и группа соединения обмоток
ТС-63/10	63	10	0,4	4	Y/Y [*] -0
ТС3-63/10	63	10	0,4	4	Y/Y [*] -0
ТС-100/10	100	10	0,4	4	Y/Y [*] -0
ТС3-100/10	100	10	0,4	4	Y/Y [*] -0
ТС-160/10	160	10	0,4	4	Y/Y [*] -0
ТС3-160/10	160	10	0,4	4	Y/Y [*] -0
ТС-250/10	250	10	0,4	4	Y/Y [*] -0
ТС3-250/10	250	10	0,4	4	Y/Y [*] -0
ТС-400/10	400	10	0,4	4	Y/Y [*] -0
ТС3-400/10	400	10	0,4	4	Y/Y [*] -0

При проектировании трансформаторной подстанции, на которой установлены **трехобмоточные** трансформаторы, расчет мощности производится по формулам (8-12).

5.1.2. Расчет полной мощности подстанции с трехобмоточными трансформаторами

5.1.2.1. Расчет максимальной активной мощности районных потребителей

$$P_{\text{макс}} = K_c \cdot P_{\text{уст}}, \quad (8)$$

где $P_{\text{уст}}$ – установленная мощность районного потребителя, кВт;

K_c – коэффициент спроса.

$$P_{\text{макс}2} = K_{c2} \cdot P_{\text{уст}2}$$

$$P_{\text{макс}3} = K_{c3} \cdot P_{\text{уст}3}$$

$$P_{\text{макс}4} = K_{c4} \cdot P_{\text{уст}4}$$

$$P_{\text{макс}5} = K_{c5} \cdot P_{\text{уст}5}$$

$$P_{\text{макс}6} = K_{c6} \cdot P_{\text{уст}6}$$

$$\Sigma P_{\text{макс}35} = P_{\text{макс}1} + P_{\text{макс}2} + P_{\text{макс}3}$$

$$\Sigma P_{\text{макс}10} = P_{\text{макс}4} + P_{\text{макс}5} + P_{\text{макс}6}.$$

5.1.2.2 Расчет максимальной реактивной мощности районных потребителей

$$Q_{\text{макс}} = \text{tg}\varphi \cdot P_{\text{макс}}, \quad (9)$$

где $P_{\text{уст}}$ – максимальная мощность районного потребителя, кВт;

$\text{tg}\varphi$ – тангенс угла, определяется по заданному коэффициенту

$$\text{мощности } \text{tg}\varphi = \frac{\sqrt{\cos^2 \varphi - 1}}{\cos \varphi}.$$

$$Q_{\text{макс}} = \text{tg}\varphi_1 \cdot P_{\text{макс}1}$$

$$Q_{\text{макс}2} = \text{tg}\varphi_2 \cdot P_{\text{макс}2}$$

$$Q_{\text{макс}3} = \text{tg}\varphi_3 \cdot P_{\text{макс}3}$$

$$Q_{\text{макс}4} = \text{tg}\varphi_4 \cdot P_{\text{макс}4}$$

$$Q_{\text{макс}5} = \text{tg}\varphi_5 \cdot P_{\text{макс}5}$$

$$Q_{\text{макс}6} = \text{tg}\varphi_6 \cdot P_{\text{макс}6}$$

$$\Sigma Q_{\text{макс}35} = Q_{\text{макс}1} + Q_{\text{макс}2} + Q_{\text{макс}3}$$

$$\Sigma Q_{\text{макс}10} = Q_{\text{макс}4} + Q_{\text{макс}5} + Q_{\text{макс}6}.$$

5.1.2.3 Расчет полной мощности районных потребителей

$$S_{pn} = K_{pm} \cdot \left(1 + \frac{P_{пост} + P_{пер}}{100} \right) \sqrt{\sum P_{макс35}^2 + \sum Q_{макс35}^2}, \quad (10)$$

$$S_{pn} = K_{pm} \cdot \left(1 + \frac{P_{пост} + P_{пер}}{100} \right) \sqrt{\sum P_{макс10}^2 + \sum Q_{макс10}^2},$$

где $P_{пост}$ – постоянные потери в стали трансформатора, $P_{пост} = 1 - 2 \%$,

(в расчет $P_{пост} = 2\%$);

$P_{пер}$ – переменные потери в меди трансформатора, $P_{пер} = 6 - 10\%$,

(в расчет $P_{пер} = 8\%$);

$\sum P_{макс35}, \sum P_{макс10}$ – максимальная суммарная активная мощность

районных потребителей на 35 и 10 кВ соответственно кВт;

$\sum Q_{макс35}, \sum Q_{макс10}$ – максимальная суммарная реактивная мощность

районных потребителей на 35 и 10 кВ соответственно, квар;

K_{pm} – коэффициент разновременного наступления максимумов

нагрузок, $K_{pm} = 0,95$.

5.1.2.4 Расчет мощности собственных нужд подстанции

Мощность собственных нужд подстанции составляет $0,5 - 0,8 \%$ от мощности районных потребителей:

$$S_{сн} = \frac{0,5...0,8}{100} \cdot (S_{pn35} + S_{pn10}), \quad (11)$$

где S_{pn} – мощность районных потребителей, кВА.

5.1.2.5 Расчет полной мощности трансформаторной подстанции

$$S_{n/см} = S_{pn35} + S_{pn10} + S_{сн}, \quad (12)$$

где $S_{сн}$ – мощность собственных нужд подстанции, кВА.

Выбор главного понижающего трансформатора производится по формуле (6).

Характеристики трансформатора необходимо свести в таблицу, образец которой приведен ниже.

Таблица 7 - Характеристики главного понижающего трехобмоточного трансформатора

Марка трансформатора	Номинальная мощность трансформатора $S_{н.тр.}$, кВА	Номинальное напряжение первичной обмотки $U_{н1}$, кВ	Номинальное напряжение вторичной обмотки $U_{н2}$, кВ	Номинальное напряжение вторичной обмотки $U_{н3}$, кВ	Напряжение короткого замыкания, %			Схема и группа соединения обмоток
					u_{k1-2}	u_{k1-3}	u_{k2-3}	

Электрические характеристики главного понижающего трехобмоточного трансформатора приведены в таблице 8.

Трансформатор собственных нужд на подстанции с двумя уровнями вторичного напряжения подключается к шинам распределительного устройства напряжением 10 кВ. Выбор ТСН производится по формуле (7). Характеристики ТСН представлены в таблице 6.

Характеристики трансформатора необходимо свести в таблицу, образцом которой является таблица 2.

Таблица 8 – Характеристики главных понижающих трехобмоточных трансформаторов

Марка трансформатора	Номинальная мощность трансформатора $S_{н.тр.}$, кВА	Номинальное напряжение первичной обмотки $U_{н1}$, кВ	Номинальное напряжение вторичной обмотки $U_{н2}$, кВ	Номинальное напряжение вторичной обмотки $U_{н3}$, кВ	Напряжение короткого замыкания, %			Схема и группа соединения обмоток
					u_{k1-2}	u_{k1-3}	u_{k2-3}	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ТМТ-6300/110	6300	110	38,5	11	10,5	17	6	Y*-Y*-Δ-0-11
ТМТН-6300/110	6300	115	38,5	11	10,5	17	6	Y*-Y*-Δ-0-11
ТМТН-10000/110	10000	115	38,5	11	17	10,5	6	Y*-Y*-Δ-0-11
ТДТН-10000/110	10000	110	38,5	10,5	17	10,5	6	Y*-Y*-Δ-0-11
ТДТН-10000/110	10000	115	38,5	11	17	10,5	6	Y*-Y*-Δ-0-11
ТДТН-16000/110	16000	115	38,5	11	17	10,5	6	Y*-Y*-Δ-0-11
ТДТНЭ-20000/110	20000	115	38,5	11	17	10,5	6	Y*-Y*-Δ-0-11
ТДТН-25000/110	25000	115	38,5	11	10,5	17	6	Y*-Y*-Δ-0-11
ТДТН-31500/110	31500	115	38,5	11	10,5	17	6	Y*-Y*-Δ-0-11

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ТДТН-40000/110	40000	115	38,5	11	17	10,5	6	Y*-Y*-Δ-0-11
ТДТН-10000/220	10000	230	38,5	11	12,5	20	6,5	Y*-Y*-Δ-0-11
ТДТН-25000/220	25000	230	38,5	11	12,5	20	6,5	Y*-Y*-Δ-0-11

5.2. Расчет рабочих токов

Токоведущие части и электрическое оборудование подстанции выбираются по условия их длительной работы при номинальной нагрузке. Для этих целей необходимо рассчитать максимальные рабочие токи основных присоединений проектируемой подстанции. Значения рабочих токов необходимы для определения допустимых токов токоведущих частей и электрического оборудования.

При расчете рабочих максимальных токов учитывается запас на перспективу развития подстанции, который принимается равным 30 % расчетной мощности, возможные аварийные перегрузки до 40 %.

Расчет рабочих токов основных присоединений *транзитной* трансформаторной подстанции с *двухобмоточным* трансформатором производится в соответствии с рисунком 3 и по формулам (13 – 20).

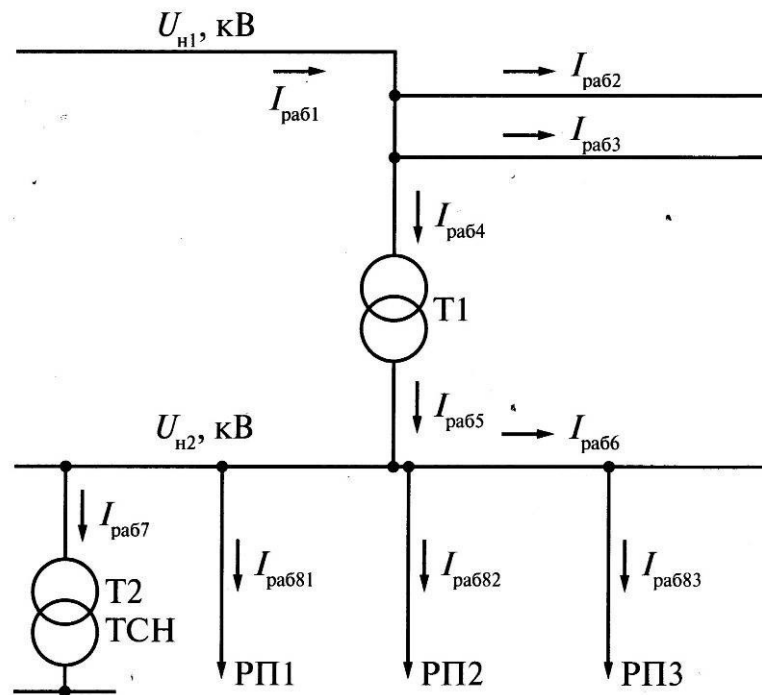


Рисунок 3 – Расчетная схема для определения рабочих токов

5. 2.1. Расчет полной мощности трансформаторной подстанции

$$S_{mn} = (n_{тр} \cdot S_{н.тр} + \sum S_{транз}) \cdot K_p, \quad (13)$$

где $S_{н.тр}$ – номинальная мощность главного понижающего трансформатора, кВА;

$\sum S_{транз}$ – сумма мощностей подстанций, питающихся через шины рассматриваемой подстанции, кВА (количество подстанций, питающихся транзитом от проектируемой, определяется по схеме внешнего электроснабжения. Число этих подстанций необходимо умножить на номинальную мощность главного понижающего трансформатора. Таким образом определяется сумма мощностей $\sum S_{транз}$);

$n_{тр}$ – число главных понижающих трансформаторов, установленных на подстанции (как правило, на подстанции устанавливают два трансформатора, т.е. в расчет принять $n_{тр}=2$);

K_p – коэффициент одновременности максимальных нагрузок, $K_p=0,75$.

5.2.2. Расчет рабочих токов на вводах транзитной подстанции

$$I_{\text{раб1}} = \frac{K_{np} \cdot S_{mn}}{\sqrt{3} \cdot U_{н1}}, \quad (14)$$

где S_{mn} – полная мощность подстанции, кВА;

$U_{н1}$ – номинальное напряжение первичной обмотки главного понижающего трансформатора, кВ;

K_{np} – коэффициент перспективного развития подстанции, $K_{np}=1,3$.

5.2.3. Расчет рабочего тока транзитной и ремонтной перемычек

$$I_{\text{раб2}}=I_{\text{раб3}} = \frac{K_{np} \cdot K_{pn} \cdot S_{mn}}{\sqrt{3} \cdot U_{н1}}, \quad (15)$$

где K_{pn} – коэффициент распределения нагрузки, $K_{pn}=0,7$.

5.2.4. Расчет рабочего тока первичной обмотки главного понижающего трансформатора

$$I_{\text{раб4}} = \frac{K_{ав} \cdot S_{н.мп}}{\sqrt{3} \cdot U_{н1}}, \quad (16)$$

где $K_{ав}$ – коэффициент аварийной перегрузки трансформатора, $K_{ав}=1,4$.

5.2.5. Расчет рабочего тока на вводе в распределительное устройство вторичного напряжения

$$I_{\text{раб5}} = \frac{K_{ав} \cdot S_{н.мп}}{\sqrt{3} \cdot U_{н2}}, \quad (17)$$

где $U_{н2}$ – номинальное напряжение вторичной обмотки главного понижающего трансформатора, кВ.

5.2.6. Расчет рабочего тока на сборных шинах распределительного устройства вторичного напряжения

$$I_{\text{раб6}} = \frac{K_{pn} \cdot \sum S_{н.мп}}{\sqrt{3} \cdot U_{н2}}, \quad (18)$$

где $\sum S_{н.мп}$ – суммарная мощность главных понижающих

трансформаторов проектируемой подстанции, кВА

$$(\sum S_{н.тр} = 2 \cdot S_{н.тр});$$

$K_{рн}$ - коэффициент распределения нагрузки на шинах, равный:

$K_{рн} = 0,5$ при пяти и более присоединениях к шинам;

$K_{рн} = 0,7$ менее пяти присоединений к шинам.

5.2.7. Расчет рабочего тока на вводе в трансформатор собственных нужд

$$I_{раб7} = \frac{K_{ав} \cdot S_{н.тсн}}{\sqrt{3} \cdot U_{н1.тсн}}, \quad (19)$$

где $S_{н.тсн}$ – номинальная мощность трансформатора собственных нужд, кВА;

$U_{н1.тсн}$ – номинальное напряжение первичной обмотки трансформатора собственных нужд, кВ.

5.2.8. Расчет рабочих токов питающих линий районных потребителей

$$I_{раб8} = \frac{K_{нр} \cdot P_{max}}{\sqrt{3} \cdot U_{н2} \cdot \cos \varphi}, \quad (20)$$

где P_{max} – максимальная активная мощность районного потребителя, кВт;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности потребителя.

Расчет рабочих токов основных присоединений **тупиковой** трансформаторной подстанции с **двухобмоточным** трансформатором производится в соответствии с рисунком 4 и по формулам (21 – 28).

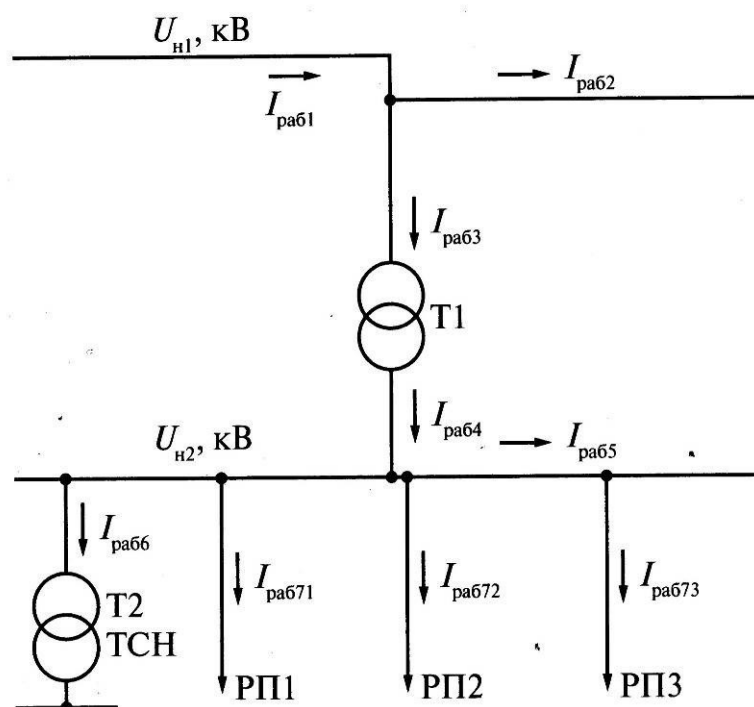


Рисунок 4 - Расчетная схема для определения рабочих токов

5.2.9. Расчет рабочих токов на вводах тупиковой подстанции

$$I_{ра61} = \frac{K_{ав} \cdot \Sigma S_{н.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{н1}}, \quad (21)$$

где $\Sigma S_{н.тр}$ – суммарная мощность главных понижающих трансформаторов проектируемой подстанции, кВА

$$(\Sigma S_{н.тр} = 2 \cdot S_{н.тр});$$

$S_{н.тр}$ – номинальная мощность главного понижающего трансформатора, кВА;

$U_{н1}$ – номинальное напряжение первичной обмотки главного понижающего трансформатора, кВ;

$K_{ав}$ – коэффициент аварийной перегрузки трансформатора, $K_{ав} = 1,4$.

5.2.10. Расчет полной мощности подстанции

$$S_{mn} = n_{тр} \cdot S_{н.тр}, \quad (22)$$

где $n_{тр}$ – число главных понижающих трансформаторов, $n_{тр} = 2$.

5.2.11. Расчет рабочего тока ремонтной перемычки

$$I_{\text{раб2}} = I_{\text{рем}} = \frac{K_{\text{пр}} \cdot K_{\text{рн}} \cdot S_{\text{мн}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н1}}}, \quad (23)$$

где $K_{\text{рн}}$ – коэффициент распределения нагрузки, $K_{\text{рн}} = 0,7$.

5.2.12. Расчет рабочего тока первичной обмотки главного понижающего трансформатора

$$I_{\text{раб3}} = \frac{K_{\text{ав}} \cdot S_{\text{н.мп}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н1}}}, \quad (24)$$

где $K_{\text{ав}}$ – коэффициент аварийной перегрузки трансформатора, $K_{\text{ав}} = 1,4$.

5.2.13. Расчет рабочего тока на вводе в распределительное устройство вторичного напряжения

$$I_{\text{раб4}} = \frac{K_{\text{ав}} \cdot S_{\text{н.мп}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н2}}}, \quad (25)$$

где $U_{\text{н2}}$ – номинальное напряжение вторичной обмотки главного понижающего трансформатора, кВ.

5.2.14. Расчет рабочего тока на сборных шинах распределительного устройства вторичного напряжения

$$I_{\text{раб5}} = \frac{K_{\text{рн}} \cdot \sum S_{\text{н.мп}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н2}}}, \quad (26)$$

где $\sum S_{\text{н.мп}}$ – суммарная мощность главных понижающих трансформаторов проектируемой подстанции, кВА

$$(\sum S_{\text{н.мп}} = 2 \cdot S_{\text{н.мп}});$$

$K_{\text{рн}}$ – коэффициент распределения нагрузки на шинах, равный:

$K_{\text{рн}} = 0,5$ при пяти и более присоединениях к шинам;

$K_{\text{рн}} = 0,7$ менее пяти присоединений к шинам.

5.2.15. Расчет рабочего тока на вводе в трансформатор собственных нужд

$$I_{\text{раб6}} = \frac{K_{\text{ав}} \cdot S_{\text{н.тсн}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н1.тсн}}}, \quad (27)$$

где $S_{\text{н.тсн}}$ – номинальная мощность трансформатора собственных нужд, кВА;

$U_{\text{н1.тсн}}$ – номинальное напряжение первичной обмотки трансформатора

собственных нужд, кВ.

5.2.16. Расчет рабочих токов питающих линий районных потребителей

$$I_{\text{раб7}} = \frac{K_{\text{пр}} \cdot P_{\text{max}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н2}} \cdot \cos \varphi}, \quad (28)$$

где P_{max} – максимальная активная мощность районного потребителя, кВт;
 $\cos \varphi$ – коэффициент мощности потребителя.

Расчет рабочих токов основных присоединений **транзитной** трансформаторной подстанции с **трехобмоточным** трансформатором производится в соответствии с рисунком 5 и по формулам (29 – 36).

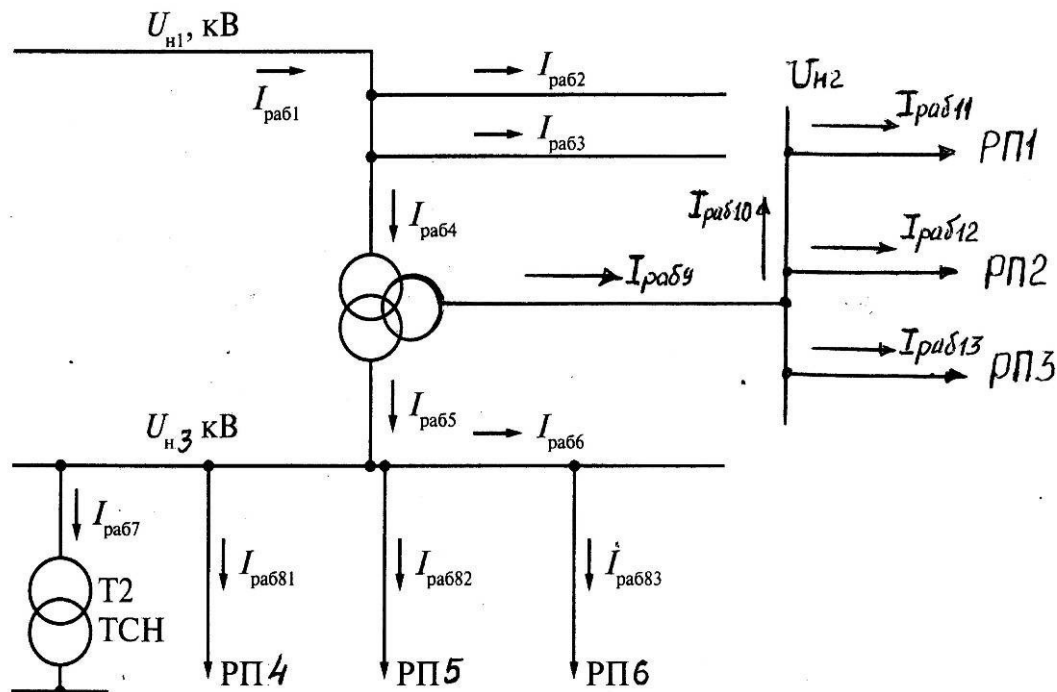


Рисунок 5 - Расчетная схема для определения рабочих токов

5.2.17. Расчет полной мощности трансформаторной подстанции

$$S_{\text{mn}} = (n_{\text{тр}} \cdot S_{\text{н.тр}} + \sum S_{\text{транз}}) \cdot K_{\text{р}}, \quad (29)$$

где $S_{\text{н.тр}}$ – номинальная мощность главного понижающего трансформатора, кВА;

$\sum S_{\text{транз}}$ – сумма мощностей подстанций, питающихся через шины рассматриваемой подстанции, кВА (количество подстанций, питающихся транзитом от проектируемой, определяется по схеме внешнего

электроснабжения. Число этих подстанций необходимо умножить на номинальную мощность главного понижающего трансформатора. Таким образом определяется сумма мощностей $\sum S_{транз}$;

$n_{тр}$ – число главных понижающих трансформаторов, установленных на подстанции (как правило, на подстанции устанавливают два трансформатора, т.е. в расчет принять $n_{тр}=2$);

K_p – коэффициент одновременности максимальных нагрузок, $K_p=0,75$.

5.2.18. Расчет рабочих токов на вводах транзитной подстанции

$$I_{раб1} = \frac{K_{np} \cdot S_{mn}}{\sqrt{3} \cdot U_{н1}}, \quad (30)$$

где S_{mn} – полная мощность подстанции, кВА;

$U_{н1}$ – номинальное напряжение первичной обмотки главного понижающего трансформатора, кВ;

K_{np} – коэффициент перспективного развития подстанции, $K_{np}=1,3$.

5.2.19. Расчет рабочего тока транзитной и ремонтной перемычек

$$I_{раб2}=I_{раб3} = \frac{K_{np} \cdot K_{pn} \cdot S_{mn}}{\sqrt{3} \cdot U_{н1}}, \quad (31)$$

где K_{pn} – коэффициент распределения нагрузки, $K_{pn}=0,7$.

5.2.20. Расчет рабочего тока первичной обмотки главного понижающего трансформатора

$$I_{раб4} = \frac{K_{ав} \cdot S_{н.мп}}{\sqrt{3} \cdot U_{н1}}, \quad (32)$$

где $K_{ав}$ – коэффициент аварийной перегрузки трансформатора, $K_{ав}=1,4$.

5.2.21. Расчет рабочего тока на вводе в распределительное устройство вторичного напряжения

$$I_{раб5} = \frac{S_{ПП35}}{\sqrt{3} \cdot U_{н2}},$$

$$I_{раб9} = \frac{S_{ПП10} + S_{сн}}{\sqrt{3} \cdot U_{н3}}, \quad (33)$$

где $U_{н2}$, $U_{н3}$ – номинальные напряжения вторичных обмоток главного

понижающего трансформатора, $U_{н2} = 35$ кВ, $U_{н3} = 10$ кВ;

$S_{рп35}$, $S_{рп10}$ – полная мощность районных потребителей РУ-35 кВ и РУ-10 кВ соответственно (указанные мощности определены формулой (10));

$S_{сн}$ – расчетная мощность собственных нужд подстанции, кВА (определена формулой (11)).

5.2.22. Расчет рабочего тока на сборных шинах распределительного устройства вторичного напряжения

$$\begin{aligned} I_{раб10} &= \frac{K_{рн} \cdot \Sigma S_{н.мп}}{\sqrt{3} \cdot U_{н2}}, \\ I_{раб6} &= \frac{K_{рн} \cdot \Sigma S_{н.мп}}{\sqrt{3} \cdot U_{н3}}, \end{aligned} \quad (34)$$

где $\Sigma S_{н.мп}$ – суммарная мощность главных понижающих трансформаторов проектируемой подстанции, кВА

$$(\Sigma S_{н.мп} = 2 \cdot S_{н.мп});$$

$K_{рн}$ – коэффициент распределения нагрузки на шинах, равный:

$K_{рн} = 0,5$ при пяти и более присоединениях к шинам;

$K_{рн} = 0,7$ менее пяти присоединений к шинам.

5.2.23. Расчет рабочего тока на вводе в трансформатор собственных нужд

$$I_{раб7} = \frac{K_{ав} \cdot S_{н.тсн}}{\sqrt{3} \cdot U_{н1.тсн}}, \quad (35)$$

где $S_{н.тсн}$ – номинальная мощность трансформатора собственных нужд, кВА;

$U_{н1.тсн}$ – номинальное напряжение первичной обмотки трансформатора собственных нужд, кВ.

5.2.24. Расчет рабочих токов питающих линий районных потребителей

$$\begin{aligned} I_{раб11-13} &= \frac{K_{нр} \cdot P_{\max}}{\sqrt{3} \cdot U_{н2} \cdot \cos \varphi}, \\ I_{раб81-83} &= \frac{K_{нр} \cdot P_{\max}}{\sqrt{3} \cdot U_{н3} \cdot \cos \varphi}, \end{aligned} \quad (36)$$

где $P_{\max}$ – максимальная активная мощность районного потребителя, кВт

(мощности определены формулой (8));

$\cos\varphi$ – коэффициент мощности потребителя.

Расчет рабочих токов основных присоединений **тупиковой** трансформаторной подстанции с **трехобмоточным** трансформатором производится в соответствии с рисунком 6 и по формулам (37 – 44).

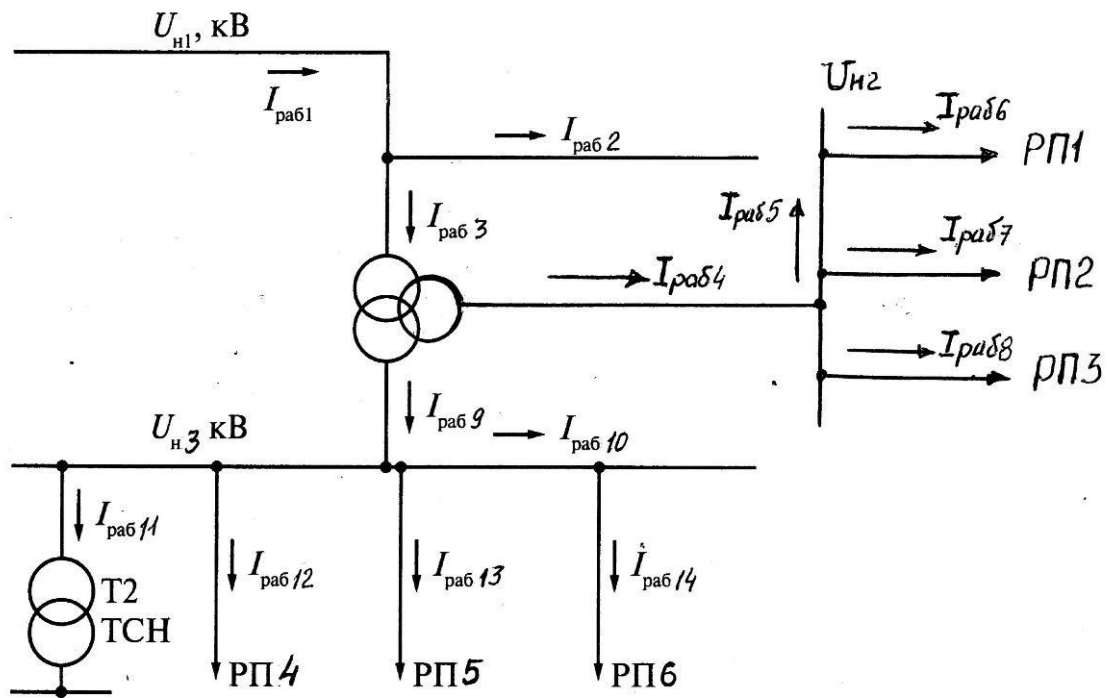


Рисунок 6- Расчетная схема для определения рабочих токов

5.2.25. Расчет рабочих токов на вводах тупиковой подстанции

$$I_{раб1} = \frac{K_{ав} \cdot \sum S_{н.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{н1}}, \quad (37)$$

где $\sum S_{н.тр}$ – суммарная мощность главных понижающих трансформаторов проектируемой подстанции, кВА

$$(\sum S_{н.тр} = 2 \cdot S_{н.тр});$$

$S_{н.тр}$ – номинальная мощность главного понижающего трансформатора, кВА;

$U_{н1}$ – номинальное напряжение первичной обмотки главного понижающего трансформатора, кВ;

$K_{ав}$ – коэффициент аварийной перегрузки трансформатора, $K_{ав} = 1,4$.

5.2.26. Расчет полной мощности подстанции

$$S_{mn} = n_{тр} \cdot S_{н.мп}, \quad (38)$$

где $n_{тр}$ – число главных понижающих трансформаторов, $n_{тр}=2$.

5.2.27. Расчет рабочего тока ремонтной перемычки

$$I_{раб2} = I_{рем} = \frac{K_{нр} \cdot K_{рн} \cdot S_{mn}}{\sqrt{3} \cdot U_{н1}}, \quad (39)$$

где $K_{рн}$ – коэффициент распределения нагрузки, $K_{рн}=0,7$.

5.2.28. Расчет рабочего тока первичной обмотки главного понижающего трансформатора

$$I_{раб3} = \frac{K_{ав} \cdot S_{н.мп}}{\sqrt{3} \cdot U_{н1}}, \quad (40)$$

где $K_{ав}$ – коэффициент аварийной перегрузки трансформатора, $K_{ав} = 1,4$.

5.2.29. Расчет рабочего тока на вводе в распределительное устройство вторичного напряжения

$$\begin{aligned} I_{раб4} &= \frac{S_{РП35}}{\sqrt{3} \cdot U_{н2}}, \\ I_{раб9} &= \frac{S_{РП10} + S_{сн}}{\sqrt{3} \cdot U_{н3}}, \end{aligned} \quad (41)$$

где $U_{н2}$, $U_{н3}$ – номинальные напряжения вторичных обмоток главного понижающего трансформатора, $U_{н2} = 35$ кВ, $U_{н3} = 10$ кВ;

$S_{РП35}$, $S_{РП10}$ – полная мощность районных потребителей РУ-35 кВ и РУ-10 кВ соответственно (указанные мощности определены формулой (10));

$S_{сн}$ – расчетная мощность собственных нужд подстанции, кВА (определена формулой (11)).

5.2.30. Расчет рабочего тока на сборных шинах распределительного устройства вторичного напряжения

$$\begin{aligned} I_{раб5} &= \frac{K_{рн} \cdot \sum S_{н.мп}}{\sqrt{3} \cdot U_{н2}}, \\ I_{раб10} &= \frac{K_{рн} \cdot \sum S_{н.мп}}{\sqrt{3} \cdot U_{н3}}, \end{aligned} \quad (42)$$

где $\sum S_{н.тр}$ – суммарная мощность главных понижающих трансформаторов проектируемой подстанции, кВА

$$(\sum S_{н.тр} = 2 \cdot S_{н.тр});$$

$K_{рн}$ – коэффициент распределения нагрузки на шинах, равный:

$K_{рн} = 0,5$ при пяти и более присоединениях к шинам;

$K_{рн} = 0,7$ менее пяти присоединений к шинам.

5.2.31. Расчет рабочего тока на вводе в трансформатор собственных нужд

$$I_{раб11} = \frac{K_{ав} \cdot S_{н.тсн}}{\sqrt{3} \cdot U_{н1.тсн}}, \quad (43)$$

где $S_{н.тсн}$ – номинальная мощность трансформатора собственных нужд, кВА;

$U_{н1.тсн}$ – номинальное напряжение первичной обмотки трансформатора собственных нужд, кВ.

5.2.32. Расчет рабочих токов питающих линий районных потребителей

$$I_{раб6-8} = \frac{K_{нр} \cdot P_{\max}}{\sqrt{3} \cdot U_{н2} \cdot \cos \varphi},$$
$$I_{раб12-14} = \frac{K_{нр} \cdot P_{\max}}{\sqrt{3} \cdot U_{н3} \cdot \cos \varphi}, \quad (44)$$

где $P_{\max}$ – максимальная активная мощность районного потребителя, кВт

(мощности определены формулой (8));

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности потребителя.

5.3. Расчет токов короткого замыкания

Расчет параметров цепи короткого замыкания необходим для дальнейшей проверки выбранных токоведущих частей и оборудования подстанции на термическую и электродинамическую стойкости.

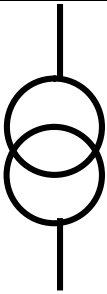
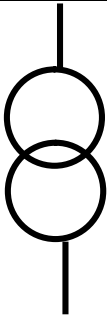
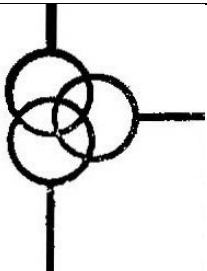
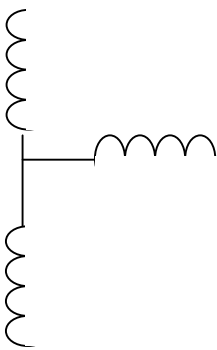
Последствиями термического и электродинамического действия токов короткого замыкания могут быть механическое разрушение токоведущих частей, частей аппаратов, оплавление контактов коммутационной аппаратуры, разрушение изоляторов в местах крепления жестких токоведущих частей.

Расчет токов короткого замыкания проводится методом относительных единиц при базисных условиях. По этому методу расчет параметров трехфазного короткого замыкания выполняется в следующей последовательности:

- по заданной схеме внешнего электроснабжения подстанций составляется расчетная схема, на которой указываются все номинальные параметры мощности короткого замыкания на шинах районных подстанция, которые питают проектируемую; длины линий электропередачи, номинальные мощности и напряжения короткого замыкания трансформаторов; точки короткого замыкания, для которых определяются токи короткого замыкания, уровни напряжений на шинах подстанций;
- на основании расчетной схемы составляется схема замещения, на которой все элементы расчетной схемы изображаются в виде индуктивных сопротивлений, т.к. при коротком замыкании в цепи преобладает индуктивный характер нагрузки; все сопротивления нумеруются и указывается их значение (в числителе дроби ставится номер относительного сопротивления, в знаменателе – рассчитанное значение);
- производится расчет относительных сопротивлений;
- схема замещения преобразуется к элементарному виду, в результате преобразования рассчитываются относительные сопротивления в точках короткого замыкания;
- рассчитываются базисные токи, установившиеся значения трехфазных токов, ударные токи и мощности короткого замыкания.

Относительное сопротивление в расчетных формулах обозначается $X_{*б1}$, где X обозначает индуктивное сопротивление, $*$ - сопротивление выражено в относительных единицах (без единицы измерения), $б$ – рассчитано при базисных условиях, 1 - порядковый номер, который имеет сопротивление в схеме замещения.

Таблица 9 – Расчетные выражения для определения относительных сопротивлений

Элемент цепи короткого замыкания	Условное графическое обозначение в расчетной схеме	Условное графическое обозначение в схеме замещения	Расчетная формула
Электрическая система			$X_{*6} = \frac{S_6}{S_k}$
Линия электропередачи			$X_{*6} = X_0 l \frac{S_6}{U_{cp}^2}$
Двухобмоточный трансформатор			$X_{*6} = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{н.тр}}$
Трехобмоточный трансформатор			$X_{*61} = \frac{u_{k1}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{н.тр}}$ $X_{*62} = \frac{u_{k2}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{н.тр}}$ $X_{*63} = \frac{u_{k3}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{н.тр}}$

Пояснения к формулам таблицы 9:

S_6 – базисная мощность, суммарная мощность генераторов, $S_6 = 100$ МВА;

S_k – мощность короткого замыкания на шинах районной подстанции, кВА;

X_0 – сопротивление одного километра линии электропередачи, $X_0=0,4$ Ом/км для воздушных ЛЭП, $X_0=0,08$ Ом/км для кабельных ЛЭП на 6 и 10 кВ, $X_0=0,12$ Ом/км для кабельных ЛЭП на 35 кВ;

l – длина линии электропередачи, км;

$U_{\text{ср}}$ – среднее напряжение в линии электропередачи (среднее напряжение на 5% больше номинального, определяется по таблице 10), кВ;

$S_{\text{н.тр}}$ – номинальная мощность трансформатора, МВА;

$u_{\text{к}}$ – напряжение короткого замыкания трансформатора, %.

Для двухобмоточных трансформаторов напряжение короткого замыкания указывается в техническом паспорте или в справочнике. У трехобмоточных трансформаторов указываются напряжения короткого замыкания между первой и второй обмотками $u_{\text{к1-2}}$, между первой и третьей обмотками $u_{\text{к1-3}}$, между второй и третьей обмотками $u_{\text{к2-3}}$. Напряжения короткого замыкания $u_{\text{к1}}$, $u_{\text{к2}}$, $u_{\text{к3}}$ определяются по формулам:

$$u_{\text{к1}} = 0,5 (u_{\text{к1-2}} + u_{\text{к1-3}} - u_{\text{к2-3}})$$

$$u_{\text{к2}} = 0,5 (u_{\text{к1-2}} + u_{\text{к2-3}} - u_{\text{к1-3}})$$

$$u_{\text{к3}} = 0,5 (u_{\text{к1-3}} + u_{\text{к2-3}} - u_{\text{к1-2}}).$$

Таблица 10 - Шкала номинальных и средних напряжений

$U_{\text{н}}$, кВ	0,22	0,38	3	6	10	35	110	220
$U_{\text{ср}}$, кВ	0,23	0,4	3,15	6,3	10,5	37	115	230

5.3.1. Порядок расчета при определении относительных сопротивлений, токов и мощностей короткого замыкания для транзитной подстанции

5.3.1.1. Расчет относительных сопротивлений

5.3.1.1.1. По схеме внешнего электроснабжения составляется расчетная схема, на которой указываются исходные данные своего варианта, указываются точки КЗ.

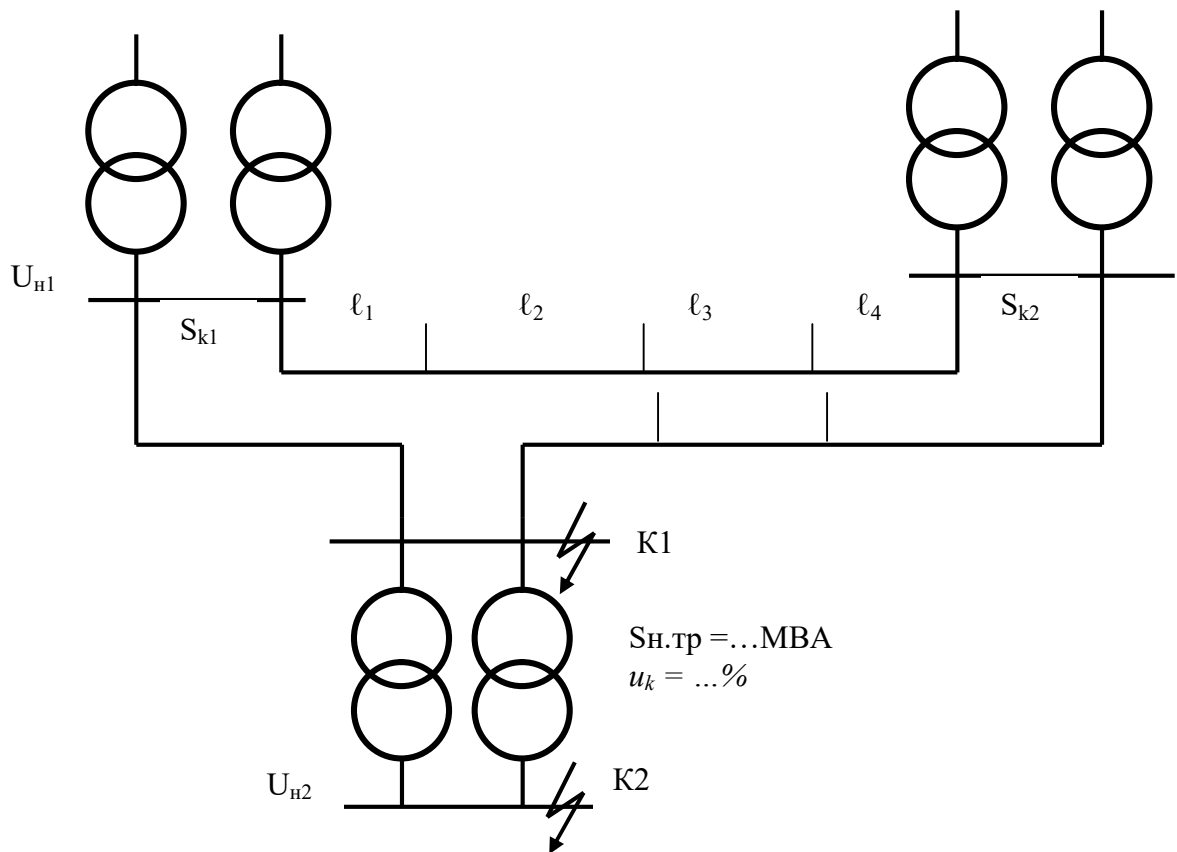


Рисунок 7- Расчетная схема для определения токов короткого замыкания для транзитной подстанции

5.3.1.1.2. По расчетной схеме составляется схема замещения, на которой все элементы расчетной схемы заменяются на индуктивные сопротивления. Сопротивления пронумеровываются, указываются точки КЗ.

5.3.1.1.3. Выполнение расчета относительных сопротивлений

Расчет относительных сопротивлений электрической системы

$$X_{*бэс} = \frac{Sб}{Sк}, \quad (45)$$

По формуле (45) рассчитываются сопротивления X_{*61} и X_{*62} , X_{*63} и X_{*64} .

$$X_{*61} = X_{*62} = \frac{Sб}{Sк1}$$

$$X_{*63} = X_{*64} = \frac{Sб}{Sк2}$$

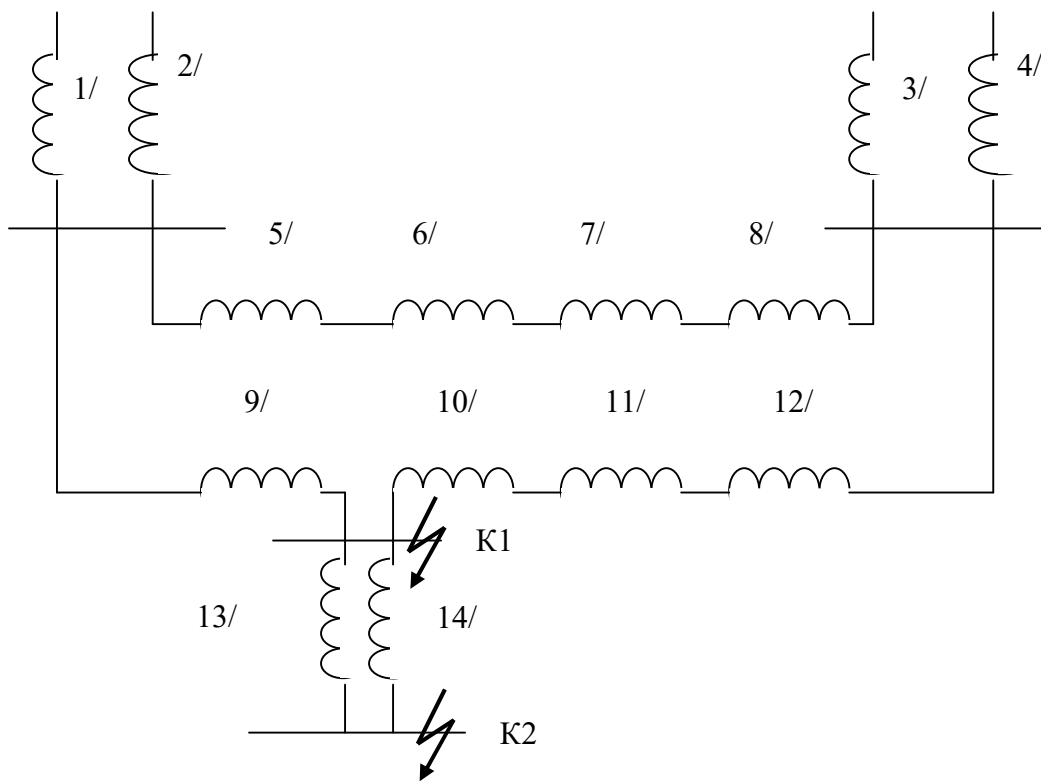


Рисунок 8 - Схема замещения для определения токов короткого замыкания для транзитной подстанции

Расчет относительных сопротивлений линий электропередачи

$$X_{*6 \text{ ЛЭП}} = X_0 \cdot l \cdot \frac{S\delta}{U_{c.p}^2}, \quad (46)$$

где X_0 – сопротивление одного километра линии, $X_0 = 0,4 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$;

l – длина ЛЭП, км;

U_{cp} – среднее напряжение в ЛЭП, кВ.

По формуле (46) рассчитываются относительные сопротивления

$X_{*65} - X_{*612}$.

$$X_{*65} = X_{*69} = X_0 \cdot l_1 \cdot \frac{S\delta}{U_{c.p}^2}$$

$$X_{*66} = X_{*610} = X_0 \cdot l_2 \cdot \frac{S\delta}{U_{c.p}^2}$$

$$X_{*67} = X_{*611} = X_0 \cdot l_3 \cdot \frac{S\delta}{U_{c.p}^2}$$

$$X_{*68} = X_{*612} = X_0 \cdot l_4 \cdot \frac{S\delta}{U_{c.p}^2}$$

Расчет относительных сопротивлений трансформаторов

$$X_{*6\text{ тр}} = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{S\delta}{S_{н.тр}}, \quad (47)$$

где u_k – напряжение короткого замыкания трансформатора, %;

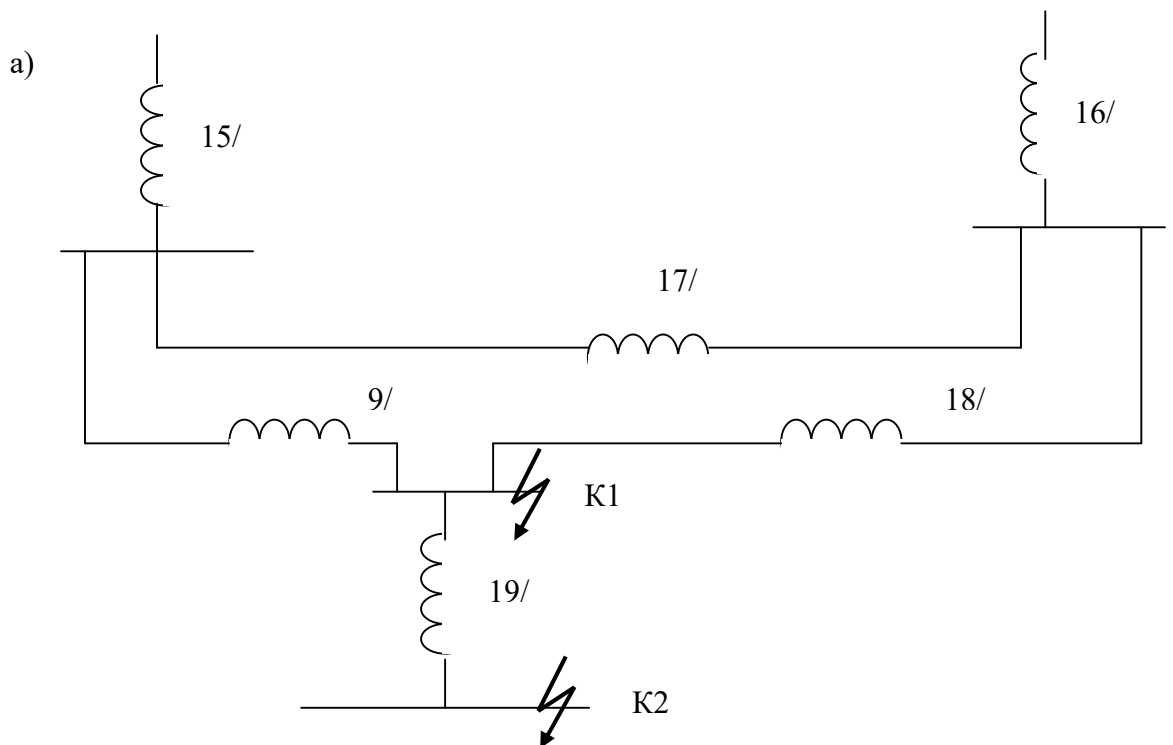
$S_{н.тр}$ – номинальная мощность трансформатора, МВА.

По формуле (47) рассчитываются относительные сопротивления

X_{*613} и X_{*614} .

Результаты расчетов необходимо нанести на схему замещения.

5.3.1.1.4. Преобразование схемы замещения



Преобразование схемы замещения проводится методом свертывания до элементарного вида, т.е. до одного сопротивления. В результате преобразования схемы замещения появляются новые эквивалентные сопротивления, нумерацию их необходимо продолжить. Если сопротивление переходит из одной схемы преобразования в другую без

изменения, то его номер сохраняется (в данном случае не изменяется номер X_{*69}).

Эквивалентное относительное сопротивление группы последовательно соединенных сопротивлений определяют их суммой. Например, относительные сопротивления X_{*65} , X_{*66} , X_{*67} , X_{*68} соединены последовательно, их эквивалентное сопротивление

$$X_{*617} = X_{*65} + X_{*66} + X_{*67} + X_{*68}.$$

$$X_{*618} = X_{*610} + X_{*611} + X_{*612}.$$

Эквивалентное сопротивление при параллельном соединении определяется по формуле $X_{*61-2} = (X_{*61} \cdot X_{*62}) / (X_{*61} + X_{*62})$. Если сопротивления имеют одинаковые значения $X_{*61} = X_{*62}$, то их эквивалентное находится по формулам $X_{*615} = X_{*61}/2$; $X_{*63} = X_{*64}$, $X_{*616} = X_{*63}/2$; $X_{*613} = X_{*614}$, $X_{*619} = X_{*613}/2$.

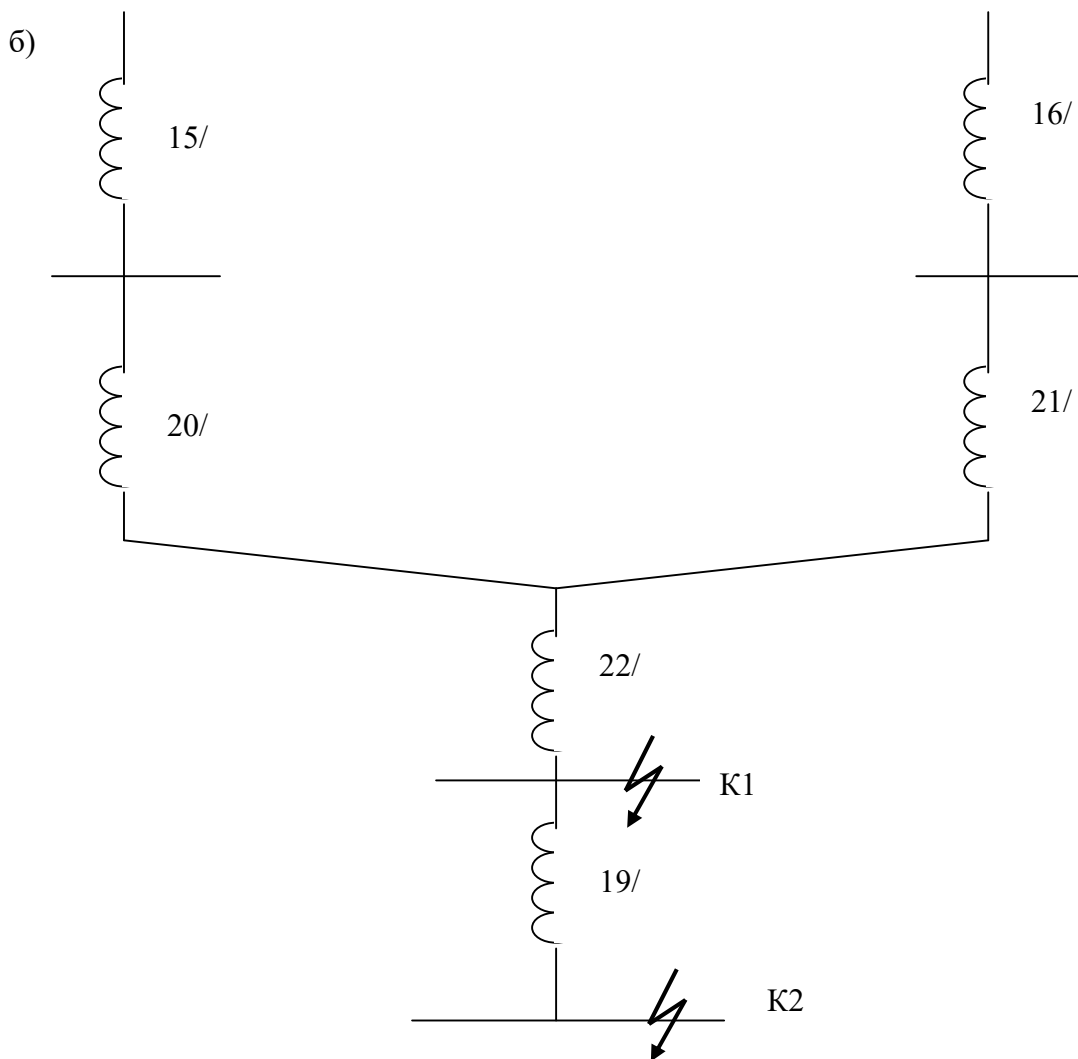
Схемы и формулы для преобразования указаны в учебнике [1], глава 2, § 2.3 на страницах 33-46.

Сторонами 9,17 и 18 образован треугольник. Его необходимо преобразовать в звезду со сторонами 20, 21, 22. Относительные сопротивления лучей звезды определяются по формулам

$$X_{*620} = \frac{X_{*B9} \cdot X_{*B17}}{X_{*B9} + X_{*B17} + X_{*B18}}$$

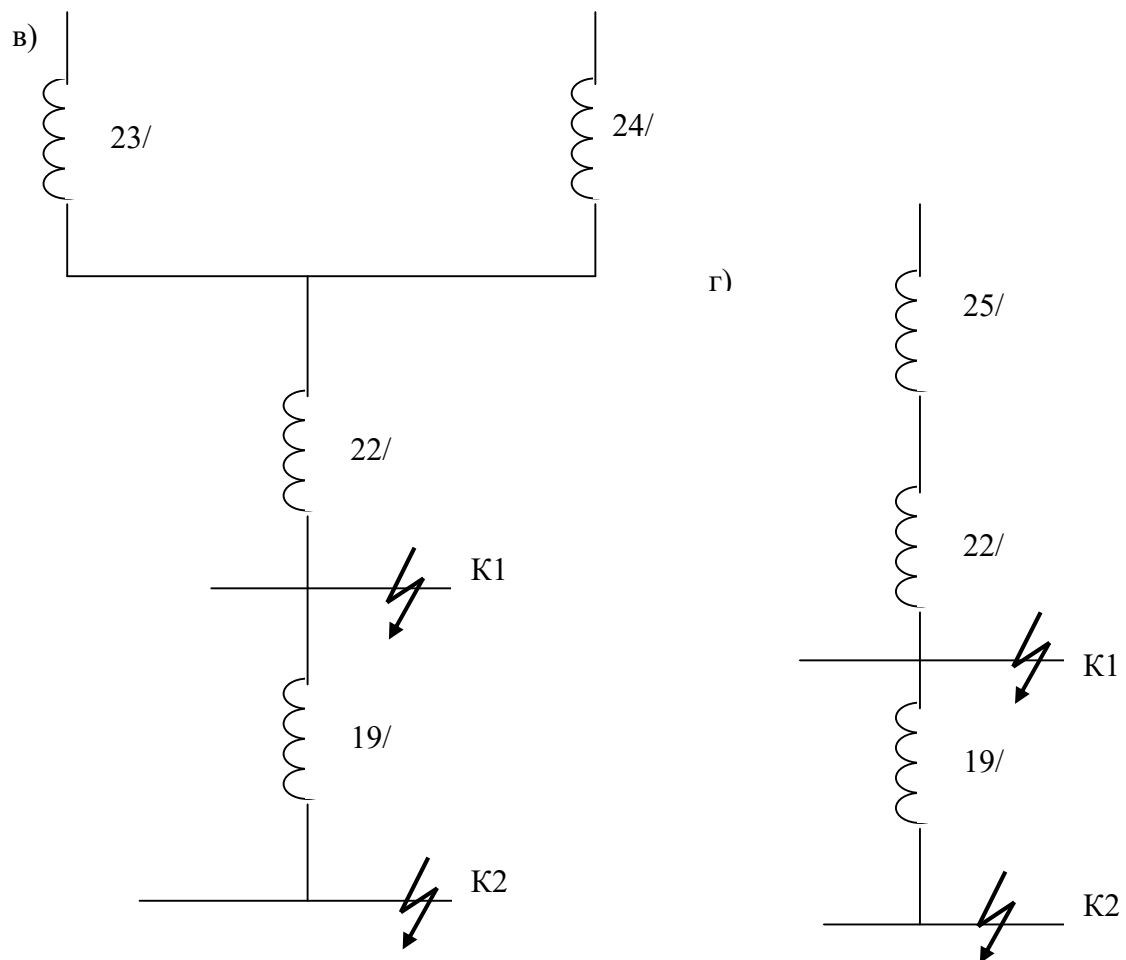
$$X_{*621} = \frac{X_{*B17} \cdot X_{*B18}}{X_{*B9} + X_{*B17} + X_{*B18}}$$

$$X_{*622} = \frac{X_{*B9} \cdot X_{*B18}}{X_{*B9} + X_{*B17} + X_{*B18}}$$



Относительные сопротивления X_{*B15} и X_{*B20} соединены последовательно, их результирующее определяется по формуле $X_{*B23} = X_{*B15} + X_{*B20}$.

Относительные сопротивления X_{*B16} и X_{*B21} соединены последовательно, их результирующее определяется по формуле $X_{*B24} = X_{*B16} + X_{*B21}$.



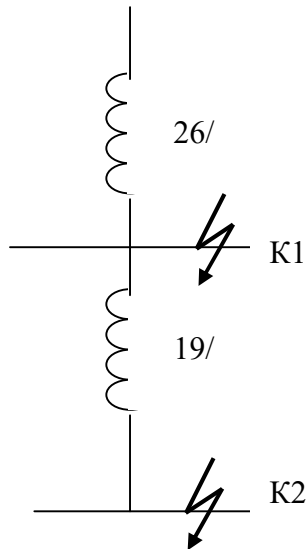
Относительные сопротивления X_{*B23} и X_{*B24} соединены параллельно, их результирующее сопротивление определяется по формуле

$$X_{*B25} = \frac{X_{*B23} \cdot X_{*B24}}{X_{*B23} + X_{*B24}}$$

Относительные сопротивления X_{*B25} и X_{*B22} соединены последовательно, их результирующее определяется по формуле $X_{*B26} = X_{*B25} + X_{*B22}$.

Относительное сопротивление X_{*B26} является относительным сопротивлением в точке K1, т.е. $X_{K1} = X_{*B26}$.

д)



е)

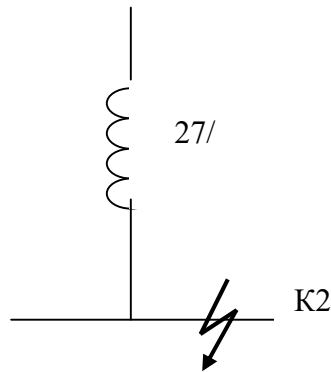


Рисунок 9 – Схемы преобразования

Относительные сопротивления X_{*B26} и X_{*B19} соединены последовательно, их результирующее определяется по формуле $X_{*B27} = X_{*B26} + X_{*B24}$. Относительное сопротивление X_{*B27} является относительным сопротивлением в точке K2, т.е. $X_{K2} = X_{*B27}$.

5.3.1.2. Расчет токов и мощности короткого замыкания

5.3.1.2.1. Расчет базисного тока

$$I_{\delta 1} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{c.p1}} ,$$

$$I_{\delta 2} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{c.p2}} , \quad (48)$$

где U_{cp1} и U_{cp2} – средние напряжения в точках короткого замыкания K1 и K2, кВ.

5.3.1.2.2. Расчет установившегося значения тока короткого замыкания

$$I_{K1} = \frac{I_{\delta 1}}{X_{*} \cdot \delta_{K1}} ,$$

$$I_{K2} = \frac{I_{\delta 2}}{X_{*} \cdot \delta_{K2}} , \quad (49)$$

где $X_{*\delta K1}$ и $X_{*\delta K2}$ – относительные сопротивления в точках короткого замыкания K1 и K2.

5.3.1.2.3. Расчет ударного тока короткого замыкания

$$\begin{aligned} i_{y1} &= 2,55 I_{k1}, \\ i_{y2} &= 2,55 I_{k2}, \end{aligned} \quad (50)$$

5.3.1.2.4. Расчет мощности короткого замыкания

$$\begin{aligned} S_{K1} &= \frac{S\bar{\sigma}}{X_{*\sigma} k1}, \\ S_{K2} &= \frac{S\bar{\sigma}}{X_{*\sigma} k2}, \end{aligned} \quad (51)$$

5.3.2. Порядок решения задачи при расчете относительных сопротивлений, токов и мощностей короткого замыкания для тупиковой подстанции

5.3.2.1. Расчет относительных сопротивлений

5.3.2.1.1. По схеме внешнего электроснабжения составляется расчетная схема, на которой указываются исходные данные своего варианта, указываются точки КЗ.

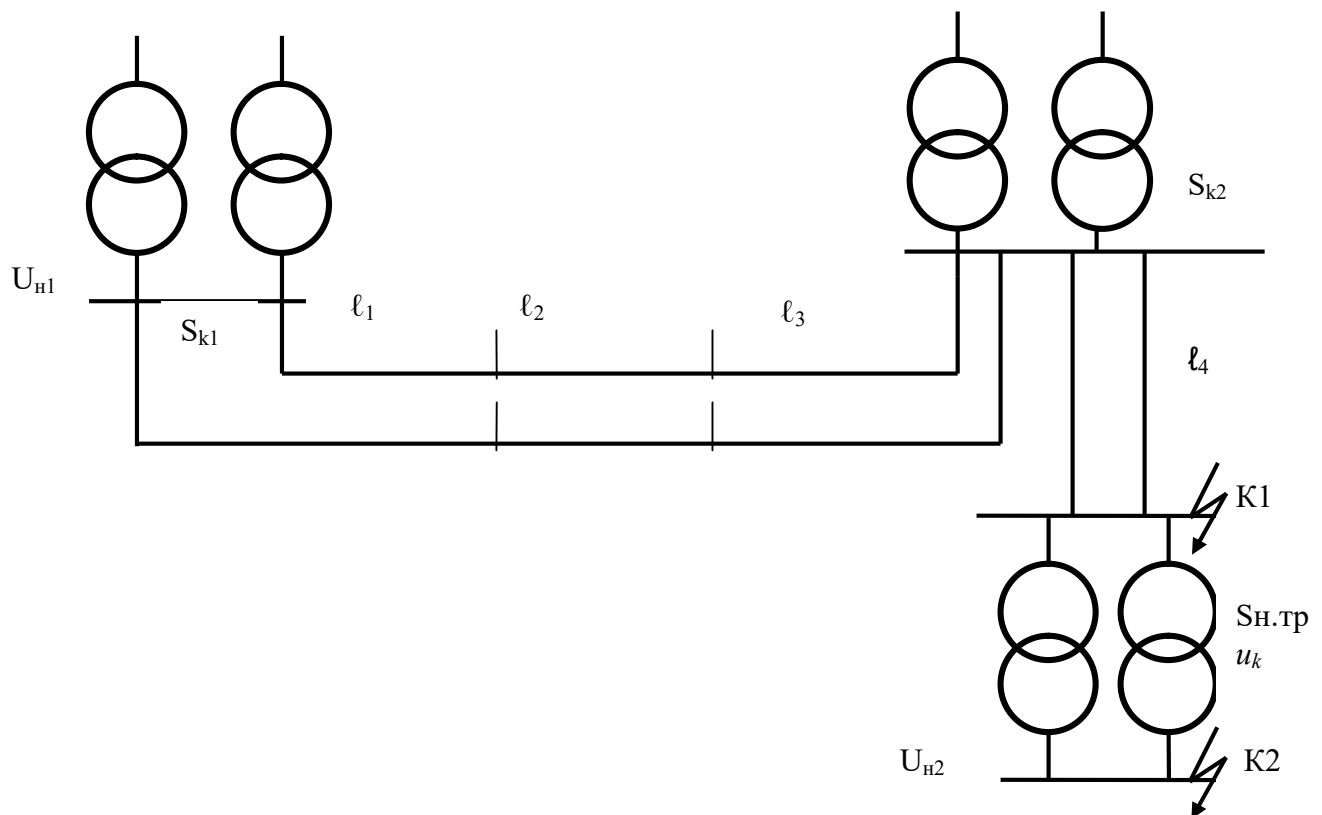


Рисунок 10 – Расчетная схема для определения токов короткого замыкания для тупиковой подстанции

5.3.2.1.2. По расчетной схеме составляется схема замещения, на которой все элементы расчетной схемы заменяются на индуктивные сопротивления.

Сопротивления пронумеровываются, указываются точки КЗ

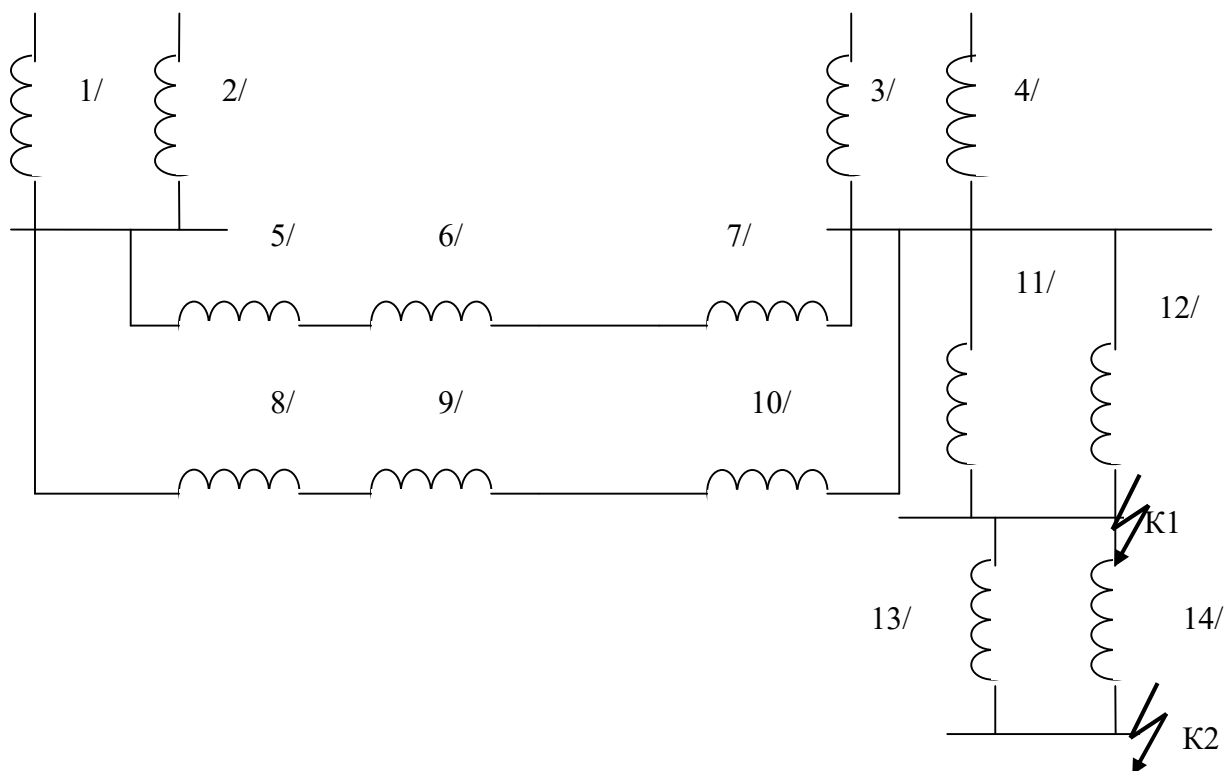
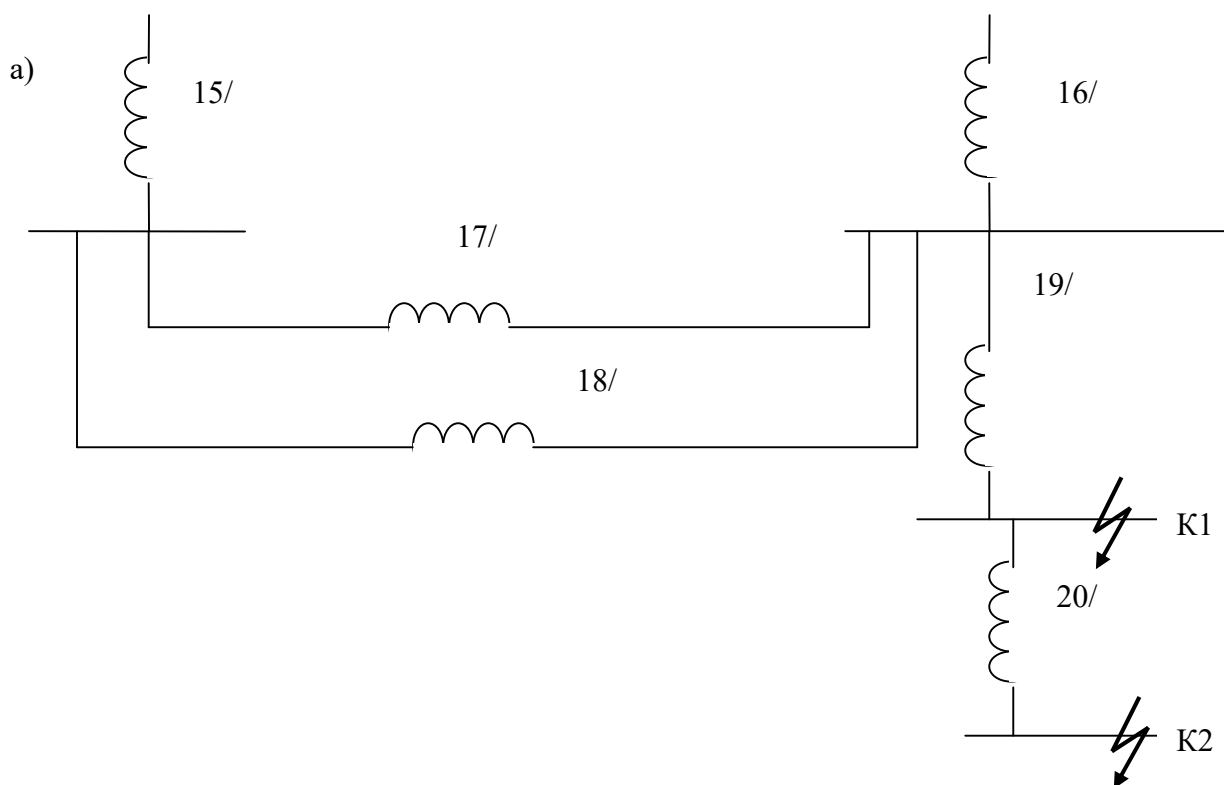


Рисунок 11- Схема замещения для определения токов короткого замыкания для тупиковой подстанции

Относительные сопротивления $X_{*61} = X_{*62}$ и $X_{*63} = X_{*64}$ рассчитываются по формуле (45); относительные сопротивления $X_{*65} = X_{*68}$, $X_{*66} = X_{*69}$, $X_{*67} = X_{*610}$, $X_{*611} = X_{*612}$ – по формуле (46); относительные сопротивления $X_{*613} = X_{*614}$ – по формуле (47).

5.3.2.1.3. Преобразование схемы замещения

Преобразование схемы замещения проводится методом свертывания до элементарного вида, т.е. до одного сопротивления. В результате преобразования схемы замещения появляются новые эквивалентные сопротивления, нумерацию их необходимо продолжить. Если сопротивление переходит из одной схемы преобразования в другую без изменения, то его номер сохраняется.



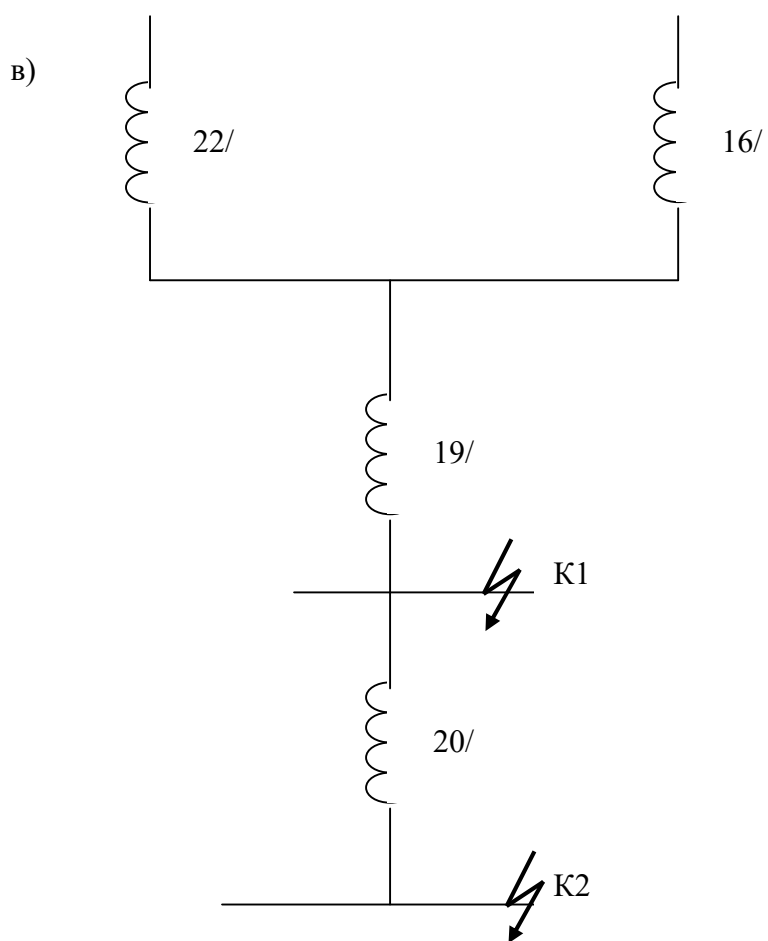
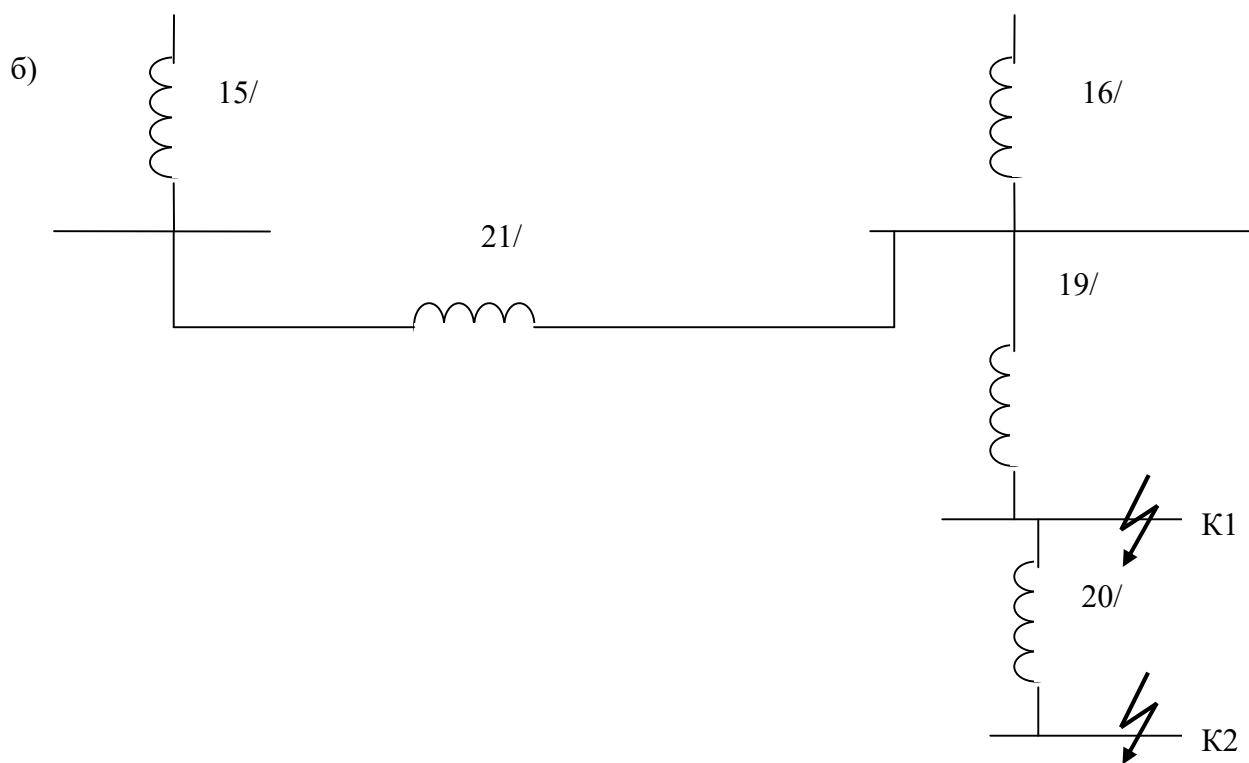
Эквивалентное относительное сопротивление группы последовательно соединенных сопротивлений определяют их суммой. Например, относительные сопротивления X_{*65} , X_{*66} и X_{*67} (X_{*68} , X_{*69} и X_{*610}) соединены последовательно, их эквивалентное сопротивление

$$X_{*617} = X_{*618} = X_{*65} + X_{*66} + X_{*67}.$$

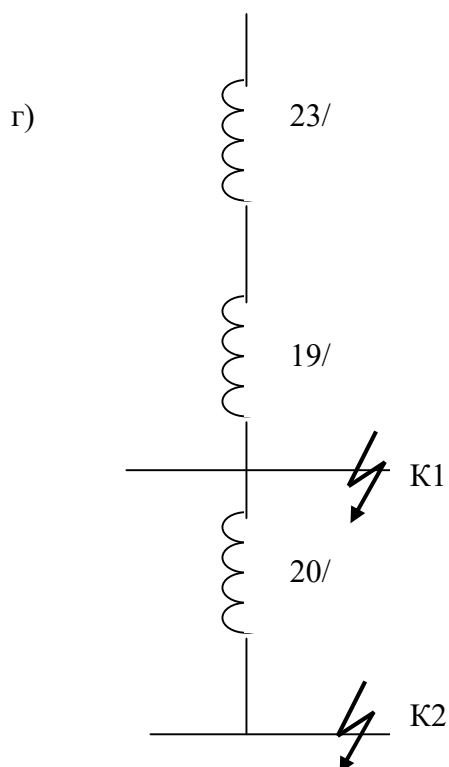
Эквивалентное сопротивление при параллельном соединении определяется по формуле $X_{*61-2} = (X_{*61} \cdot X_{*62}) / (X_{*61} + X_{*62})$. Если сопротивления имеют одинаковые значения $X_{*61} = X_{*62}$, то их эквивалентное находится по формуле $X_{*615} = X_{*61}/2$; $X_{*63} = X_{*64}$, $X_{*616} = X_{*63}/2$; $X_{*611} = X_{*612}$, $X_{*619} = X_{*611}/2$; $X_{*613} = X_{*614}$, $X_{*620} = X_{*613}/2$.

Схемы и формулы для преобразования указаны в учебнике [1], глава 2, § 2.3 на страницах 33 - 46.

Относительные сопротивления X_{*617} и X_{*618} соединены параллельно, их результирующее определяется по формуле $X_{*621} = X_{*617}/2$.

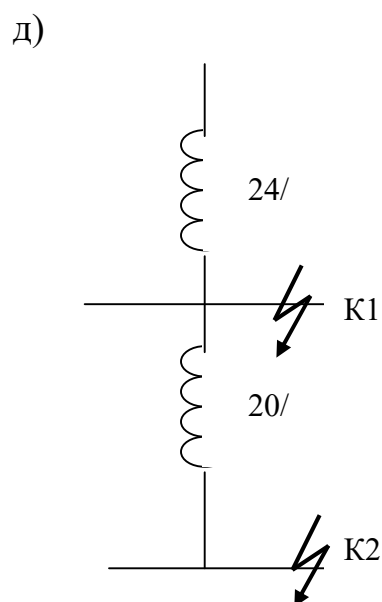


Относительные сопротивления X_{*615} и X_{*621} соединены последовательно, их результирующее определяется по формуле $X_{*622} = X_{*615} + X_{*621}$.



Относительные сопротивления $X_{*Б22}$ и $X_{*Б16}$ соединены параллельно, их результирующее сопротивление определяется по формуле

$$X_{*Б23} = \frac{X_{*622} \cdot X_{*616}}{X_{*Б22} + X_{*Б16}}$$



Относительные сопротивления X_{*B23} и X_{*B19} соединены последовательно, их результирующее определяется по формуле $X_{*B24} = X_{*B23} + X_{*B19}$.

Относительное сопротивление X_{*B24} является относительным сопротивлением в точке K1, т.е. $X_{K1} = X_{*B24}$.

е)

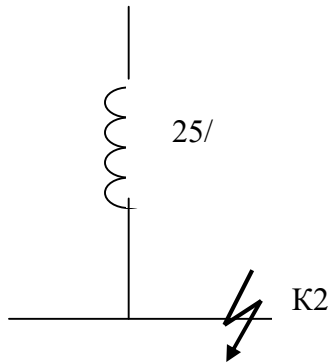


Рисунок 12 – Схемы преобразования

Относительные сопротивления X_{*B24} и X_{*B20} соединены последовательно, и результирующее сопротивление определяется по формуле $X_{*B25} = X_{*B24} + X_{*B20}$. Относительное сопротивление X_{*B25} является относительным сопротивлением в точке K2, т.е. $X_{K2} = X_{*B25}$.

Расчеты базисных токов, установившихся значений токов трехфазного короткого замыкания, ударных токов и мощностей короткого замыкания выполняются по формулам (48,49,50,51).

5.3.3. Расчет тепловых импульсов

Расчет тепловых импульсов проводится с целью проверки токоведущих частей и оборудования на термическую стойкость к току короткого замыкания. Полный тепловой импульс определяется по формуле (52).

$$B_K = I_K^2 (t_{cp} + t_{pz} + t_{cb} + T_a), \quad (52)$$

где I_K – ток короткого замыкания в точке короткого замыкания, $кА^2 \cdot с$;

t_{cp} – время срабатывания реле, $t_{cp} = 0,1 с$;

t_{pz} – время действия релейной защиты, определяемое по схеме селективности релейных защит, с;

$t_{св}$ – собственное время выключателя, для выключателей на 110 и 220 кВ

$t_{св} = 0,035$ с, для масляных выключателей на 35 кВ $t_{св} = 0,04$ с, для

вакуумных выключателей на 35 кВ $t_{св} = 0,015$ с, для масляных

выключателей на 10 кВ $t_{св} = 0,09$ с, для вакуумных выключателей на

10 кВ $t_{св} = 0,015$ с;

T_a – постоянная времени затухания апериодической составляющей тока короткого замыкания, $T_a = 0,05$ с.

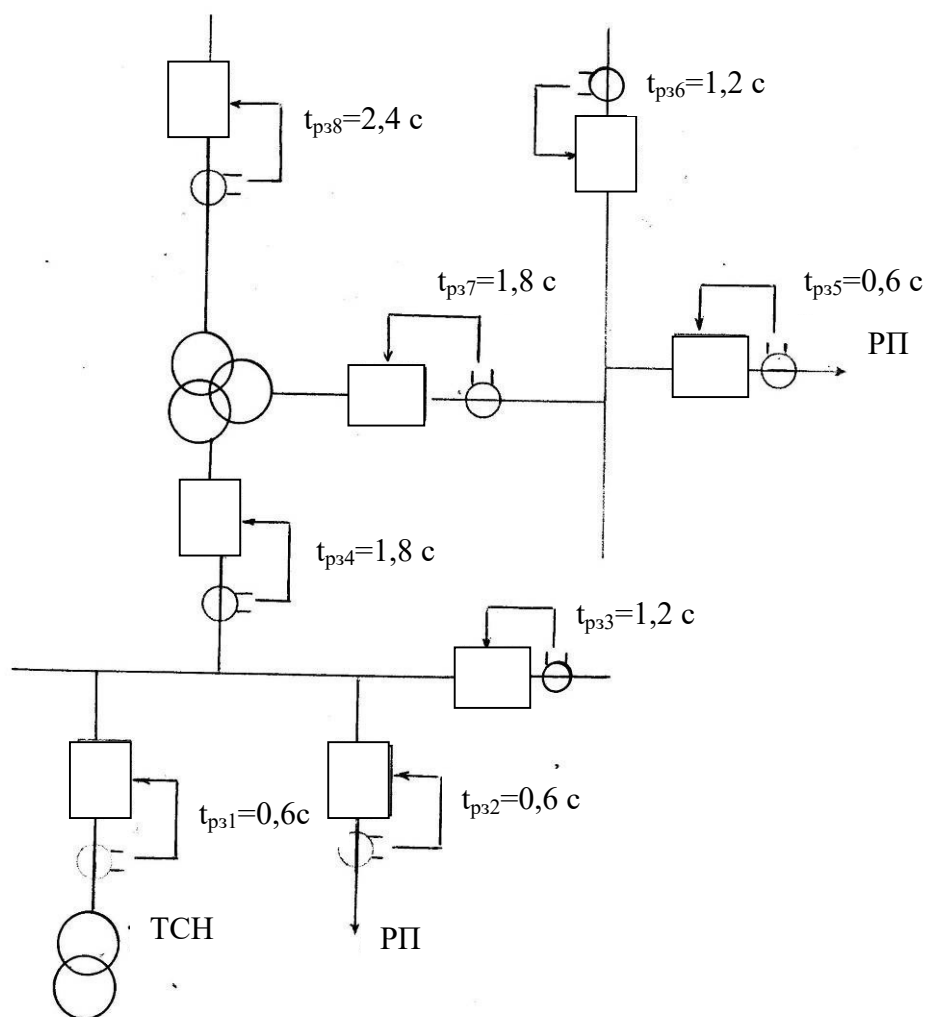


Рисунок 13 - Схема селективности релейных защит

Тепловые импульсы рассчитываются для ввода в подстанцию, для вводов вторичного напряжения, сборных шин распределительных устройств вторичного напряжения, на фидерах районных потребителей, на вводе в трансформатор собственных нужд.

Расчет тепловых импульсов можно свести в таблицу 10.

Таблица 10 – Тепловые импульсы

Наименование присоединения	Расчетная формула	Расчет и значение импульса
Ввод в подстанцию	$B_{K1} = I_{K1}^2 (t_{cp} + t_{p38} + t_{cb} + T_a)$	
Ввод в РУ-35 кВ	$B_{K2} = I_{K2}^2 (t_{cp} + t_{p37} + t_{cb} + T_a)$	
Сборные шины РУ-35 кВ	$B_{K3} = I_{K3}^2 (t_{cp} + t_{p36} + t_{cb} + T_a)$	
Фидер районного потребителя 35 кВ	$B_{K4} = I_{K4}^2 (t_{cp} + t_{p35} + t_{cb} + T_a)$	
Ввод в РУ-10 кВ	$B_{K5} = I_{K5}^2 (t_{cp} + t_{p34} + t_{cb} + T_a)$	
Сборные шины Ру-10 кВ	$B_{K6} = I_{K6}^2 (t_{cp} + t_{p33} + t_{cb} + T_a)$	
Фидер районного потребителя 10 кВ	$B_{K7} = I_{K7}^2 (t_{cp} + t_{p32} + t_{cb} + T_a)$	
Трансформатор собственных нужд	$B_{K8} = I_{K8}^2 (t_{cp} + t_{p31} + t_{cb} + T_a)$	

В таблице 10 представлены расчеты тепловых импульсов для подстанции с двумя уровнями вторичного напряжения. На подстанции с одним уровнем вторичного напряжения тепловые импульсы рассчитываются для пяти присоединений: ввода в подстанцию, ввода в распределительное устройство вторичного напряжения, сборных шинах, фидерах районных потребителей и вводе в ТСН.

Расчеты токов и мощностей короткого замыкания, тепловых импульсов необходимо свести в таблицу 11.

Таблица 11- Результаты расчетов токов короткого замыкания

Наименование присоединения	Точка короткого замыкания	Ток короткого замыкания I_K , кА	Ударный ток i_y , кА	Мощность короткого замыкания S_{K3} , МВА	Тепловой импульс B_K , $кА^2 \cdot с$
Ввод в подстанцию	к1	I_{K1}	i_{y1}	S_{K31}	B_{K1}
Ввод в РУ-35 кВ	к2	I_{K2}	i_{y2}	S_{K32}	B_{K2}
Сборные шины РУ-35 кВ	к2	I_{K2}	i_{y2}	S_{K32}	B_{K3}
Фидер районного потребителя 35 кВ	к2	I_{K2}	i_{y2}	S_{K32}	B_{K4}
Ввод в РУ-10 кВ	к3	I_{K3}	i_{y3}	S_{K33}	B_{K5}
Сборные шины Ру-10 кВ	к3	I_{K3}	i_{y3}	S_{K33}	B_{K6}
Фидер районного потребителя 10 кВ	к3	I_{K3}	i_{y3}	S_{K33}	B_{K7}
Трансформатор собственных нужд	к3	I_{K3}	i_{y3}	S_{K33}	B_{K8}

В таблице 11 вместо букв I_K , i_y , S_{K3} , B_K указываются значения, определенные расчетами.

Значения параметров цепи короткого замыкания используются при проверке оборудования подстанции на термическую и электродинамическую стойкости.

5.4. Выбор и проверка оборудования

5.4.1. Выбор и проверка токоведущих частей

В открытых распределительных устройствах напряжением 220, 110 и 35 кВ токоведущие части выполняются сталеалюминиевыми проводами марки АС. В закрытых распределительных устройствах напряжением 35 и 10 кВ токоведущие части представляют собой алюминиевые полосы марки А. Для удобства монтажа и дальнейшей эксплуатации на фидерах районных потребителей полосы принимаются одинакового сечения. Выбор производится для фидера районного потребителя с максимальным рабочим током.

5.4.1.1. Выбор токоведущих частей по условию нагрева.

Условие выбора:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{раб. max}}, \quad (53)$$

где $I_{\text{доп}}$ – допустимый ток для выбранной токоведущей части, А;

$I_{\text{раб. max}}$ – максимальный рабочий ток присоединения, для которого производится выбор токоведущих частей, А.

Характеристики выбранных токоведущих частей занести в таблицу 12.

Выбор проводов марки АС производится по таблице 13, алюминиевых полос марки А – по таблице 14.

Таблица 12 - Характеристики токоведущих частей

Наименование присоединения	Максимальный рабочий ток $I_{\text{раб.мах}}, \text{ A}$	Допустимый ток $I_{\text{доп}}, \text{ A}$	Материал и сечение токоведущей части, мм^2	Примечание
Ввод в подстанцию			АС -	
Ввод в РУ-35 кВ			А -	
Сборные шины РУ-35 кВ			А -	
Фидер районного потребителя 35 кВ			А -	
Ввод в РУ-10 кВ			А-	
Сборные шины Ру-10 кВ			А -	
Фидер районного потребителя 10 кВ			А -	
Трансформатор собственных нужд			А -	

Таблица 13 - Допустимые токи на неизолированные провода

Сечение провода, мм^2	Допустимый ток для провода марки А, А	Допустимый ток для провода марки АС, А	Допустимый ток для провода марки М, А
4	-	-	50
6	-	-	70
10	-	80	95
16	105	105	130
25	135	130	180
35	170	175	220
50	215	210	270
70	265	265	340
95	320	330	415
120	375	380	485
150	440	445	570
185	500	510	640
240	590	610	760
300	680	690	880
400	815	835	1050
500	980	-	-
600	1070	-	-

Таблица 14- Допустимые токи на алюминиевые шины

прямоугольного сечения

Размеры шины, мм	I _{доп} при одной полосе на фазу, А	I _{доп} при двух полосах на фазу, А	I _{доп} при трех полосах на фазу, А	I _{доп} при четырех полосах на фазу, А
А - 15х3	165	-	-	-
А - 20х3	215	-	-	-
А - 25х3	265	-	-	-
А - 30х4	365	-	-	-
А - 40х4	480	-	-	-
А - 40х5	540	-	-	-
А - 50х5	665	-	-	-
А - 50х6	740	-	-	-
А - 60х6	870	1350	1720	-
А - 80х6	1150	1630	2100	-
А - 100х6	1425	1935	2500	-
А - 60х8	1025	1680	2180	-
А - 80х8	1320	2040	2620	-
А - 100х8	1625	2390	3050	-
А - 120х8	1900	2650	3380	-
А - 60х10	1155	2010	2650	-
А - 80х10	1480	2410	3100	-
А - 100х10	1820	2860	3650	4150
А - 120х10	2070	3200	4100	4650

5.4.1.2. Проверка токоведущих частей на термическую стойкость

На термическую стойкость к токам короткого замыкания проверяются и гибкие (провода), и жесткие (полосы) токоведущие части.

Условие проверки:

$$q_{\min} \leq q_{\text{расч}}, \quad (54)$$

где $q_{\min}$ – минимальное сечение токоведущей части, мм²;

$q_{\text{расч}}$ – расчетное сечение токоведущей части, мм² (расчетное сечение берется из маркировки выбранного провода, например, для провода АС-150 $q_{\text{расч}} = 150$ мм², для полосы А-15х3 $q_{\text{расч}} = 15 \cdot 3 = 45$ мм²).

$$q_{\min} = \frac{\sqrt{B_{\kappa}}}{C}, \quad (55)$$

где B_{κ} – тепловой импульс, $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$;

C – коэффициент, учитывающий соотношение максимально-допустимой температуры токоведущей части и температуры при нормальном режиме работы.

$C = 0,0171$ – для медных токоведущих частей;

$C = 0,088$ – для алюминиевых и сталеалюминиевых токоведущих частей;

$C = 0,06$ – для стальных токоведущих частей.

$$q_{\min. \text{вв п/ст}} = \frac{\sqrt{B_{\kappa 1}}}{C}$$

$$q_{\min. \text{вв 35 кВ}} = \frac{\sqrt{B_{\kappa 2}}}{C}$$

$$q_{\min. \text{сб.ш.35 кВ}} = \frac{\sqrt{B_{\kappa 3}}}{C}$$

$$q_{\min. \text{рп 35 кВ}} = \frac{\sqrt{B_{\kappa 4}}}{C}$$

$$q_{\min. \text{вв 10 кВ}} = \frac{\sqrt{B_{\kappa 5}}}{C}$$

$$q_{\min. \text{сб.ш. 10 кВ}} = \frac{\sqrt{B_{\kappa 6}}}{C}$$

$$q_{\min. \text{рп 10 кВ}} = \frac{\sqrt{B_{\kappa 7}}}{C}$$

$$q_{\min. \text{тсн}} = \frac{\sqrt{B_{\kappa 8}}}{C}$$

Проверка выполнения условия (54):

$$q_{\min. \text{вв п/ст}} = \dots \text{мм}^2 < q_{\text{расч. вв п/ст}} = \dots \text{мм}^2$$

$$\begin{aligned}
q_{\min.вв\ 35\ кВ} &= \dots \text{ мм}^2 < q_{\text{расч.вв}\ 35\ кВ} = \dots \text{ мм}^2 \\
q_{\min.сб.ш.\ 35\ кВ} &= \dots \text{ мм}^2 < q_{\text{расч.сб.ш}\ 35\ кВ} = \dots \text{ мм}^2 \\
q_{\min.рп\ 35\ кВ} &= \dots \text{ мм}^2 < q_{\text{расч.рп}\ 35\ кВ} = \dots \text{ мм}^2 \\
q_{\min.вв\ 10\ кВ} &= \dots \text{ мм}^2 < q_{\text{расч.вв}\ 10\ кВ} = \dots \text{ мм}^2 \\
q_{\min.сб.ш.\ 10\ кВ} &= \dots \text{ мм}^2 < q_{\text{расч.сб.ш}\ 10\ кВ} = \dots \text{ мм}^2 \\
q_{\min.рп\ 10\ кВ} &= \dots \text{ мм}^2 < q_{\text{расч.рп}\ 10\ кВ} = \dots \text{ мм}^2 \\
q_{\min.тсн} &= \dots \text{ мм}^2 < q_{\text{расч.тсн}} = \dots \text{ мм}^2
\end{aligned}$$

Условие проверки выполняется, токоведущая часть термически устойчива к току короткого замыкания (если условие (54) не выполняется, то необходимо выбрать токоведущую часть большего сечения или из другого материала).

5.4.1.3. Проверка токоведущих частей на отсутствие короны

На отсутствие короны проверяются только гибкие токоведущие части (провода) в распределительных устройствах открытого типа напряжением 35, 110 и 220 кВ.

Условие проверки:

$$E_0 \geq 1,07 E, \quad (56)$$

где E_0 – максимальное значение начальной критической напряженности

электрического поля, при которой возникает коронный разряд $\frac{\kappa B}{\text{см}}$;

E – напряженность электрического поля около поверхности провода

$$\frac{\kappa B}{\text{см}}.$$

$$E_0 = 30,3m \left[1 + \frac{0,299}{\sqrt{r_{кр}}} \right], \quad (57)$$

где $r_{кр}$ – радиус провода, см (определяется по сечению выбранного провода

$$r_{np} = \frac{\sqrt{\frac{q}{3,14}}}{10}, \text{ см);}$$

m – коэффициент шероховатости провода, $m = 0,82$.

$$E = \frac{0,354 \cdot U}{r_{np} \lg \frac{D_{cp}}{r_{np}}}, \quad (58)$$

где U – линейное напряжение, $U=35$ кВ (110, 220 кВ);

D_{cp} – среднее геометрическое расстояние между проводами фаз,

$D_{cp} = 1,26 D$, см.

При горизонтальном расположении проводов фаз расстояние между соседними фазами:

$D = 150$ см при напряжении 35 кВ;

$D = 300$ см при напряжении 110 кВ;

$D = 400$ см при напряжении 220 кВ.

Проверка выполнения условия (56):

$$E_0 = \dots \frac{\kappa B}{\text{см}} \cdot > E = \dots \frac{\kappa B}{\text{см}}.$$

Условие проверки выполняется, коронирование отсутствует (если условие (56) не выполняется, то необходимо выбрать токоведущую часть большего сечения).

5.4.1.4. Проверка токоведущих частей на электродинамическую стойкость

На электродинамическую стойкость проверяются только жесткие токоведущие части (алюминиевые полосы) в распределительном устройстве закрытого типа напряжением 35 и 10 кВ.

Условия выбора:

$$\sigma_{don} \geq \sigma_{расч} \quad (59)$$

где $\sigma_{расч}$ – допустимое механическое напряжение материала токоведущих частей, МПа;

$\sigma_{доп} = 80$ МПа для алюминиевых шин;

$\sigma_{доп} = 170$ МПа для медных шин;

$\sigma_{\text{доп}} = 190 \text{ МПа}$ для стальных шин.

$\sigma_{\text{расч}}$ – расчетное механическое напряжение в выбранной токоведущей части, МПа.

$$\sigma_{\text{расч}} = \frac{M}{W \cdot 10^{-6}}, \quad (60)$$

где M – изгибающий момент, действующий на шину, Н·м;

W – момент сопротивления шины относительно главной оси инерции, перпендикулярной плоскости расположения шины, см³.

$$M = \frac{\sqrt{3} \cdot i_y^2 \cdot l^2}{100a}, \quad (61)$$

где i_y – ударный ток, кА ($i_{y2} = 2,55 \cdot I_{k2}$, $i_{y3} = 2,55 \cdot I_{k3}$, значения берутся из таблицы 11);

l – расстояние между соседними опорными изоляторами одной фазы, м;

a – расстояние между осями шин соседних фаз, м.

для РУ-10 кВ: $l = 1,25 \text{ м}$, $a = 0,3 - 0,35 \text{ м}$;

для РУ-35 кВ: $l = 4 \text{ м}$, $a = 1 \text{ м}$.

$$M_{35} = \frac{\sqrt{3} \cdot i_{y2}^2 \cdot l^2}{100a},$$

$$M_{10} = \frac{\sqrt{3} \cdot i_{y3}^2 \cdot l^2}{100a}.$$

Для шин, расположенных плашмя на опорных изоляторах, момент сопротивления определяется по формуле:

$$W = 0,167 \cdot b \cdot h^2, \quad (62)$$

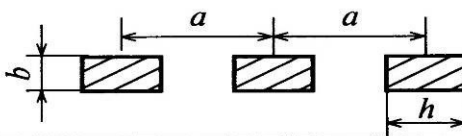
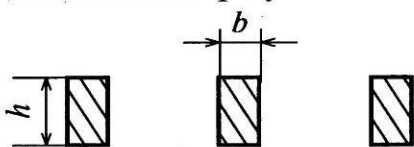
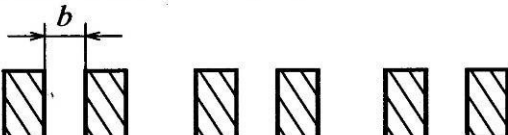
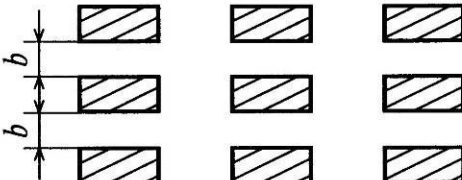
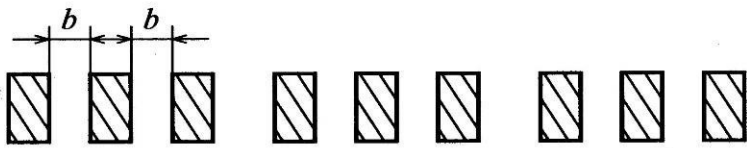
где b – толщина шина, см;

h – ширина шины, см

(например, для выбранной шины А-50х5 $b = 0,5 \text{ см}$, $h = 5 \text{ см}$).

Формулы для расчета моментов сопротивления шин W при различных способах крепления и разном числе полос на фазу представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Моменты сопротивления шин

Эскиз расположения шин и форма их сечения	Формула для определения момента сопротивления шин W , см ³
2	3
Плашмя одна полоса на фазу 	$W = 0,167bh^2$
На ребро одна полоса на фазу 	$W = 0,167b^2h$
Плашмя две полосы на фазу 	$W = 0,333bh^2$
На ребро две полосы на фазу 	$W = 1,44b^2h$
Плашмя три полосы на фазу 	$W = 0,5bh^2$
На ребро три полосы на фазу 	$W = 3,3b^2h$

$$W_{вв\ 35\ \kappa B} = 0,167 \cdot b \cdot h^2$$

$$W_{сб.ш\ 35\ \kappa B} = 0,167 \cdot b \cdot h^2$$

$$W_{pn\ 35\ \kappa B} = 0,167 \cdot b \cdot h^2$$

$$W_{вв\ 10\ \kappa B} = 0,167 \cdot b \cdot h^2$$

$$W_{сб.ш\ 10\ \kappa B} = 0,167 \cdot b \cdot h^2$$

$$W_{pn\ 10\ \kappa B} = 0,167 \cdot b \cdot h^2$$

$$W_{тсн} = 0,167 \cdot b \cdot h^2$$

Проверка выполнения условия (59):

$$\sigma_{\text{расч вв 35 кВ}} = \frac{M_{35}}{W_{\text{вв 35 кВ}} \cdot 10^{-6}} < \sigma_{\text{доп}} = 80 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{\text{расч сб.ш 35 кВ}} = \frac{M_{35}}{W_{\text{сб.ш 35 кВ}} \cdot 10^{-6}} < \sigma_{\text{доп}} = 80 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{\text{расч рп 35 кВ}} = \frac{M_{35}}{W_{\text{рп 35 кВ}} \cdot 10^{-6}} < \sigma_{\text{доп}} = 80 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{\text{расч вв 10 кВ}} = \frac{M_{10}}{W_{\text{вв 10 кВ}} \cdot 10^{-6}} < \sigma_{\text{доп}} = 80 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{\text{расч сб.ш 10 кВ}} = \frac{M_{10}}{W_{\text{сб.ш 10 кВ}} \cdot 10^{-6}} < \sigma_{\text{доп}} = 80 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{\text{расч рп 10 кВ}} = \frac{M_{10}}{W_{\text{рп 10 кВ}} \cdot 10^{-6}} < \sigma_{\text{доп}} = 80 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{\text{расч тсн}} = \frac{M_{10}}{W_{\text{тсн}} \cdot 10^{-6}} < \sigma_{\text{доп}} = 80 \text{ МПа},$$

При расчете $\sigma_{\text{расч}}$ $\frac{1}{10^{-6}} = 10^6$ дает приставку Мега в единице измерения (на 10^{-6} делить не надо).

Условие проверки выполняется, токоведущая часть электродинамически устойчива к току короткого замыкания (если условие (59) не выполняется, то необходимо выбрать токоведущую часть большего сечения или из другого материала).

5.4.2. Выбор и проверка изоляторов

5.4.2.1. Выбор подвесных изоляторов

Подвесные изоляторы предназначены для механического крепления и изоляции друг от друга и заземленных конструкций проводов в распределительном устройстве открытого типа проектируемой подстанции. Подвесные изоляторы собираются в гирлянды. Количество изоляторов в

гирлянде зависит от уровня напряжения. В настоящее время в качестве подвесных изоляторов рекомендуется применять подвесные стеклянные изоляторы марки ПС или подвесные фарфоровые марки ПФ.

Таблица 16- Количество подвесных изоляторов в гирлянде

Марка изолятора	$U_n = 35 \text{ кВ}$	$U_n = 110 \text{ кВ}$	$U_n = 220 \text{ кВ}$
ПС-70	3	9	16
ПФ-70	3	8	14

Выбор подвесных изоляторов необходимо свести в таблицу. Характеристики подвесных изоляторов представлены в таблице 17.

Таблица 17- Характеристики подвесных тарельчатых изоляторов

Марка изолятора	Минимальная механическая разрушающая нагрузка $F_{\text{разр}}$, кН	Длина пути утечки тока, мм	Выдерживаемое напряжение 50 Гц В сухом состоянии, кВ	Выдерживаемое напряжение 50 Гц под дождем, кВ	Выдерживаемое импульсное напряжение, кВ	Нормированное напряжение при допустимом уровне радиопомех, кВ	Масса кг
ПС-70Е	70	303	70	40	100	20	3,4
ПФ-70А	70	303	70	40	110	25	4,6

5.4.2.2. Выбор и проверка опорных изоляторов.

Опорные изоляторы предназначены для механического крепления и изоляции жестких токоведущих частей (полос) в закрытых распределительных устройствах проектируемой подстанции.

Условия выбора и проверки:

$$\begin{aligned}
 U_n &\geq U_{\text{раб}}, \\
 F &\leq 0,6F_{\text{разр}},
 \end{aligned}
 \tag{63}$$

где U_n – номинальное напряжение изолятора, кВ;

$U_{\text{раб}}$ – рабочее напряжение распределительного устройства, кВ;

F – сила, действующая на изолятор при коротком замыкании, Н;

$F_{\text{разр}}$ – разрушающая нагрузка на изгиб изолятора, Н (определяется по справочнику для выбранного изолятора).

$$F = \frac{\sqrt{3} \cdot i_y^2 \cdot l}{10a}, \quad (64)$$

Значения i_y , l и a берутся из формулы (61).

$$F_{35} = \frac{\sqrt{3} \cdot i_{y2}^2 \cdot l}{10a}$$

$$F_{10} = \frac{\sqrt{3} \cdot i_{y3}^2 \cdot l}{10a}$$

К установке принимается опорный изолятор марки ОФ-.... (указать марки опорных изоляторов).

Характеристики выбранного опорного изолятора занести в таблицу 18.

Технические характеристики опорных изоляторов приведены в таблице 19.

Таблица 18- Характеристики опорных изоляторов

Распределительное устройство	Марка изолятора	Номинальное напряжение U_n , кВ	Разрушающая нагрузка на изгиб изолятора $F_{\text{разр}}$, Н	Масса, кг
ЗРУ-35 кВ				
ЗРУ-10 кВ				

Таблица 19- Номинальные параметры опорных изоляторов

Марка изолятора	Номинальное напряжение U_n , кВ	Разрушающая нагрузка на изгиб изолятора $F_{\text{разр}}$, Н	Масса, кг
ОФ-10- 375	10	3680	1,5
ОФ-10-750	10	7358	2,1
ИОР-10-375	10	3680	2,87
ИОР-10-750	10	7358	4,47
ОФ-35-375	35	3680	7,1
ОФ-35-750	35	7358	10,6

Проверка выполнения условия (63):

$$F_{35} = \dots \text{ Н} < 0,6 \cdot F_{\text{разр}35} = \dots \text{ Н}$$

$$F_{10} = \dots \text{ Н} < 0,6 \cdot F_{\text{разр}10} = \dots \text{ Н}$$

5.4.2.3. Выбор и проверка проходных изоляторов.

Условия выбора и проверки:

$$\begin{aligned}U_n &\geq U_{\text{раб}}, \\F &\leq 0,6F_{\text{разр}}, \\I_n &\geq I_{\text{раб}},\end{aligned}\tag{65}$$

где U_n – номинальное напряжение изолятора, кВ;

$U_{\text{раб}}$ – рабочее напряжение распределительного устройства, кВ;

F – сила, действующая на изолятор при коротком замыкании, Н;

$F_{\text{разр}}$ – разрушающая нагрузка на изгиб изолятора, Н (определяется по справочнику для выбранного изолятора);

I_n – номинальный ток изолятора, А;

$I_{\text{раб}}$ – рабочий ток присоединения, на котором установлен проходной изолятор, А.

$$F = \frac{\sqrt{3} \cdot i_y^2 \cdot l}{10a},\tag{66}$$

Значения i_y , l и a берутся из формулы (61).

К установке принимается проходной изолятор марки (указать марку).

Характеристики выбранного проходного изолятора занести в таблицу 20.

Технические характеристики опорных изоляторов приведены в таблице 21.

Таблица 20- Характеристики проходного изолятора

Марка изолятора	Номинальное напряжение U_n , кВ	Разрушающая нагрузка на изгиб изолятора $F_{\text{разр}}$, Н	Номинальный ток изолятора I_n , А	Масса, кг

Таблица 21- Характеристики проходных изоляторов

Марка изолятора	Номинальное напряжение U_n , кВ	Разрушающая нагрузка на изгиб изолятора $F_{\text{разр}}$, Н	Номинальный ток изолятора I_n , А	Масса, кг
1	2	3	4	5
ИП-10-630-750 УХЛ1	10	7358	630	7
ИП-10-1000-750 УХЛ1	10	7358	1000	7,4
ИП-10-1600- 1250 УХЛ1	10	12263	1600	14,6
ИП-10-2000- 1250 УХЛ1	10	12263	2000	15

Проверка выполнения условий (65):

$$F = \dots N < 0,6F_{\text{разр}} = \dots N$$

$$I_n = \dots A > I_{\text{раб}} = \dots A$$

5.4.3. Выбор и проверка выключателей переменного тока

5.4.3.1. Выбор выключателей переменного тока

Выбор высоковольтных выключателей переменного тока производится в зависимости от места установки, условий работы по напряжению и току. В распределительном устройстве одного напряжения для удобства в эксплуатации и ремонтах рекомендуется устанавливать однотипные выключатели. После выбора выключателей его паспортные данные сравнивают с расчетными параметрами. Выбор и проверку целесообразно свести в таблицу. Паспортные характеристики выключателей указываются в числителе дроби, расчетные параметры – в знаменателе. Расчетные параметры необходимо взять из таблицы 11. Паспортные данные должны быть больше расчетных параметров.

При выполнении расчетов необходимо учитывать, что к установке принимаются только элегазовые и вакуумные выключатели. Масляные выключатели из выбора исключить. Паспортные параметры выключателей приведены в таблицах 23,24,25.

Условия выбора:

$$\begin{aligned}U_n &\geq U_{\text{раб}}, \\ I_n &\geq I_{\text{раб}},\end{aligned}\tag{67}$$

где U_n, I_n – номинальные напряжение и ток выбираемого выключателя, кВ и А, соответственно;

$U_{\text{раб}}, I_{\text{раб}}$ – рабочее напряжение и максимальный рабочий ток присоединения, на котором устанавливается выключатель, кВ и А соответственно.

5.4.3.2. Проверка выключателей на электродинамическую стойкость

Условие проверки:

$$i_{\text{пр.с}} \geq i_y,\tag{68}$$

где $i_{\text{пр.с}}$ – амплитудное значение предельного сквозного тока, кА;

i_y – ударный ток, кА.

5.4.3.3. Проверка выключателей на термическую стойкость

Условие проверки:

$$I_T^2 \cdot t_T \geq B_K,\tag{69}$$

где I_T – ток термической стойкости, кА;

t_T – время протекания тока термической стойкости, с;

B_K – тепловой импульс, $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$.

5.4.3.4. Проверка выключателей по отключающей способности

Условия проверки:

$$\begin{aligned}I_{\text{н.откл}} &\geq I_K, \\ S_{\text{н.откл}} &\geq S_K,\end{aligned}\tag{70}$$

где $I_{\text{н.откл}}$ – номинальный ток отключения выключателя, кА;

$S_{\text{н.откл}}$ – номинальная мощность отключения выключателя, МВА

$$(S_{\text{н.откл}1} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{н1}} \cdot I_{\text{н.откл}1}, S_{\text{н.откл}2} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{н2}} \cdot I_{\text{н.откл}2});$$

I_K – ток короткого замыкания, кА ($I_K = I_{K1}$ в распределительном устройстве первичного напряжения, $I_K = I_{K2}$ в распределительном устройстве вторичного напряжения).

S_K – мощность короткого замыкания, МВА.

Результаты выбора и проверки выключателей свести в таблицу 22.

Таблица 22- Результаты выбора и проверки выключателей переменного тока

			Соотношение паспортных и расчетных параметров					
Наименование присоединения	Марка выключателя	Тип привода	$\frac{U_n, \text{кВ}}{U_{\text{раб}}, \text{кВ}}$	$\frac{I_n, \text{А}}{I_{\text{раб}}, \text{А}}$	$\frac{I_{\text{н.откл}}, \text{кА}}{I_k, \text{А}}$	$\frac{i_{\text{пр.с}}, \text{кА}}{i_y, \text{кА}}$	$\frac{I_t^2 \cdot t_t, \text{кА}^2 \text{с}}{B_k, \text{кА}^2 \text{с}}$	$\frac{S_{\text{н.откл}}, \text{МВА}}{S_k, \text{МВА}}$
Ввод в РУ $U_{\text{н1}}$ кВ			_____	_____	_____	_____	_____	_____
Ввод в РУ-35 кВ			_____	_____	_____	_____	_____	_____
Сборные шины РУ- 35 кВ			_____	_____	_____	_____	_____	_____
Районные потребители РУ-35 кВ			_____	_____	_____	_____	_____	_____
Ввод в РУ-10 кВ			_____	_____	_____	_____	_____	_____
Сборные шины РУ- 10 кВ			_____	_____	_____	_____	_____	_____
Районные потребители РУ-10 кВ			_____	_____	_____	_____	_____	_____
ТСН			_____	_____	_____	_____	_____	_____

Таблица 23- Паспортные параметры вакуумных выключателей на 10 кВ

Марка выключателя	U _н , кВ	I _н , А	I _{н.откл} , кА	i _{пр.с} , кА	I _т , кА	t _т ,с	t _{св} , с	Тип привода
ВВ/TEL-10-630-12,5У2	10	630	12,5	32	12,5	3	0,015	встроенный электро-магнитный
ВВ/TEL-10-1000-20У2	10	1000	20	52	20	3	0,015	встроенный электро-магнитный
ВВ/TEL-10-1600-20У2	10	1600	20	20	81	3	0,015	встроенный электро-магнитный
ВР0-10-630-12,5	10	630	12,5	32	12,5	3	0,042	моторно- пружинный
ВР0-10-1000-16	10	1000	16	41	16	3	0,042	моторно- пружинный
ВР0-10-1250-20	10	1250	20	52	20	3	0,042	моторно- пружинный
ВР1-10-1600-20	10	1600	20	52	20	3	0,05	моторно- пружинный
ВР2-10-2000-31,5	10	2000	31,5	80	31,5	3	0,05	моторно- пружинный
ВР3-10-3150-40	10	3150	40	102	40	3	0,05	моторно- пружинный
ВРС-10-4000-40	10	4000	40	102	40	3	0,05	моторно- пружинный
ВВЭ-10-630-20У3	10	630	20	52	20	3	0,055	встроенный электро-магнитный
ВВЭ-10-1000-20У3	10	1000	20	52	20	3	0,055	встроенный электро-магнитный
ВВЭ-10-1600-20У3	10	1600	20	52	20	3	0,055	встроенный электро-магнитный
ВВЭ-10-630-31,5У3	10	630	31,5	80	31,5	3	0,055	встроенный электро-магнитный
ВВЭ-10-1000-31,5У3	10	1000	31,5	80	31,5	3	0,055	встроенный электро-магнитный
ВВЭ-10-1600-31,5У3	10	1600	31,5	80	31,5	3	0,055	встроенный электро-магнитный
ВВЭ-10-2000-31,5У3	10	2000	31,5	80	31,5	3	0,055	встроенный электро-магнитный
ВВЭ-10-3150-31,5У3	10	3150	31,5	80	31,5	3	0,055	встроенный электро-магнитный
ВБУЭ-10-1000-20У2	10	1000	20	52	20	3	0,03	встроенный электро-магнитный
ВБУЭ-10-1600-20У2	10	1600	20	52	20	3	0,03	встроенный электро-магнитный

**Таблица 24- Паспортные параметры вакуумных выключателей
на 35, 110 кВ**

Марка выключателя	U _н , кВ	I _н , А	I _{н.откл} , кА	i _{пр.с} , кА	I _т , кА	t _т ,с	t _{св} , с	Тип привода
ВВ/TEL-35-630-12,5УХЛ1	35	630	12,5	32	12,5	3	0,015	встроенный электро-магнитный
ВР-35-630-20УХЛ1	35	630	20	52	20	3	0,05	встроенный электро-магнитный
ВР-35-800-20УХЛ1	35	800	20	52	20	3	0,05	встроенный электро-магнитный
ВР-35-1000-20УХЛ1	35	1000	20	52	20	3	0,05	встроенный электро-магнитный
ВР-35-1250-20УХЛ1	35	1250	20	52	20	3	0,05	встроенный электро-магнитный
ВР-35-1600-20УХЛ1	35	1600	20	52	20	3	0,05	встроенный электро-магнитный
ВР-35-2000-20УХЛ1	35	2000	20	52	20	3	0,05	встроенный электро-магнитный
ВБЦ-35-1600-20УХЛ2	35	1600	20	80	20	3	0,06	встроенный электро-магнитный
ВРС-110-2500-31,5	110	2500	31,5	81	31,5	3	0,045	пружинный

Таблица 25- Паспортные параметры элегазовых выключателей на 35, 110, 220 кВ

Марка выключателя	U _н , кВ	I _н А	I _{н.откл} , кА	i _{пр.с} , кА	I _т , кА	t _т ,с	t _{св} , с	Тип привода
ВГБЭ-35-630-12,5УХЛ1	35	630	12,5	32	12,5	3	0,04	встроенный электро-магнитный
ВГТ-35-3150-50УХЛ1	35	3150	50	127,5	50	3	0,035	пружинный
ВГТ-110-2500-40УХЛ1	110	2500	40	102	40	3	0,035	пружинный
ВГТ-220-2500-40УХЛ1	110	2500	40	102	40	3	0,035	пружинный

5.4.4. Выбор и проверка разъединителей

Разъединители предназначены для создания видимого разрыва в электрических цепях при выполнении ремонтных работ.

Разъединители необходимо выбрать для открытого распределительного устройства первичного напряжения подстанции, а также на вводах в

распределительные устройства вторичного напряжения. В открытом распределительном устройстве первичного напряжения разъединители выбираются по току ввода подстанции. После выбора разъединителей его паспортные данные сравнивают с расчетными параметрами. Выбор и проверку целесообразно свести в таблицу. Паспортные характеристики разъединителей указываются в числителе дроби, расчетные параметры – в знаменателе. Расчетные параметры необходимо взять из таблицы 11. Паспортные данные должны быть больше расчетных параметров. Паспортные параметры разъединителей приведены в таблице 27.

5.4.4.1. Выбор разъединителей

Условия выбора:

$$\begin{aligned} U_n &\geq U_{\text{раб}}, \\ I_n &\geq I_{\text{раб}}, \end{aligned} \quad (71)$$

где U_n и I_n – номинальные напряжение и ток выбираемого разъединителя, кВ и А соответственно;

$U_{\text{раб}}$ и $I_{\text{раб}}$ – рабочее напряжение и максимальный рабочий ток присоединения, на котором устанавливается разъединитель, кВ и А соответственно.

5.4.4.2. Проверка разъединителей на электродинамическую стойкость

Условие проверки:

$$i_{\text{пр.с}} \geq i_y, \quad (72)$$

где $i_{\text{пр.с}}$ – амплитудное значение предельного сквозного тока, кА;

i_y – ударный ток, кА.

5.4.4.3. Проверка разъединителей на термическую стойкость

Условие проверки:

$$I_T^2 \cdot t_T \geq B_k, \quad (73)$$

где I_T – ток термической стойкости, кА;

t_T – время протекания тока термической стойкости, с;

B_k – тепловой импульс, $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$.

Результаты выбора и проверки выключателей сводятся в таблицу 26.

Таблица 26- Результаты выбора и проверки разъединителей переменного тока

			Соотношение паспортных и расчетных параметров					
Наименование присоединения	Марка разъединителя	Тип привода	$\frac{U_n, \text{кВ}}{U_{\text{раб}}, \text{кВ}}$	$\frac{I_n, \text{А}}{I_{\text{раб}}, \text{А}}$	$\frac{i_{\text{пр.с}}, \text{кА}}{i_y, \text{кА}}$	$\frac{I_T^2 \cdot t_T, \text{кА}^2\text{с}}{B_k, \text{кА}^2\text{с}}$		
ОРУ $U_{н1}$ кВ			_____	_____	_____	_____		
Ввод в РУ-35 кВ			_____	_____	_____	_____		
Ввод в РУ-10 кВ			_____	_____	_____	_____		

Таблица 27- Характеристики разъединителей

Марка разъединителя	Тип привода	U _н , кВ	I _н , А	i _{пр.скв.} , кА	I _т , кА	t _т , с
РВЗ-10-400	ПР-2	10	400	40	16	4
РВЗ-10-630	ПР-2	10	630	50	20	4
РВЗ-10-1000	ПР-2	10	1000	80	31,5	4
РЛН(З)-10-400	ПР-2	10	400	20	8	3
РЛН(З)-10-630	ПР-2	10	630	51	20	3
РВРЗ-10-2000	ПР-2	10	2000	85	31,5	4
РВК-10-3000	ПР-2	10	3000	200	60	4
РДЗ-35-400	ПРГ-2/ПДГ-9	35	400	31,5	12,5	3
РДЗ-35-1000	ПРГ-2/ПДГ-9	35	1000	40	16	3
РДЗ-35-2000	ПРГ-2/ПДГ-9	35	2000	80	31,5	3
РДЗ-110-1000	ПР2Б/ПДГ-5	110	1000	63	25	3
РДЗ-110-2000	ПР2Б/ПДГ-5	110	2000	80	31,5	3
РДЗ-220-1000	ПДГ-5	220	1000	63	25	3
РДЗ-220-2000	ПДГ-5	220	2000	80	31,5	3

5.4.5. Выбор и проверка измерительных трансформаторов тока

Измерительные трансформаторы тока предназначены для расширения пределов измерения электроизмерительных приборов (амперметров), для подключения обмоток по току счетчиков электрической энергии, устройств релейной защиты. Измерительные трансформаторы тока изолируют измерительные приборы и реле от высокого первичного напряжения, обеспечивают безопасность персонала, обслуживающего электроустановки.

5.4.5.1. Выбор измерительных трансформаторов тока

Условия выбора:

$$U_{н1} \geq U_{раб},$$

$$I_{н1} \geq I_{раб}, \quad (74)$$

где $U_{н1}$ – номинальное напряжение первичной обмотки измерительного трансформатора тока, кВ;

$U_{раб}$ – рабочее напряжение присоединения, на котором установлен

трансформатор тока, кВ;

$I_{н1}$ - номинальный ток первичной обмотки трансформатора тока, А;

$I_{раб}$ – рабочий ток присоединения, на котором установлен трансформатор тока, А.

5.4.5.2. Проверка измерительных трансформаторов тока на термическую и электродинамическую стойкости

Условия проверки:

$$\begin{aligned} I_d &\geq i_y, \\ I_T^2 \cdot t_T &\geq B_k, \end{aligned} \quad (75)$$

где I_d – ток электродинамической стойкости, кА;

i_y – ударный ток, кА;

I_T – ток термической стойкости, кА;

t_T – время действия тока термической стойкости, $t_T = 1$ с;

B_k – тепловой импульс, $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$.

Выбор и проверка трансформаторов тока сводится в таблицу 28. Паспортные данные записываются над чертой, расчетные параметры – под чертой. Паспортные данные берутся из таблиц 29-32.

Если в результате проверки на термическую и электродинамическую стойкость оказалось, что выбранный трансформатор тока не удовлетворяет одному из указанных условий, то выбирается следующий, ближайший по первичному номинальному току.

Таблица 28- Характеристики трансформаторов тока

Наименование присоединения	Марка ТА	Ток термической стойкости I_T , к А	Ток электро- динамической стойкости I_d , кА	Номинальная мощность вторичной обмотки в классе точности 0,5S	Номинальная мощность вторичной обмотки в классе точности 10P	$U_{н1}$, кВ	$I_{н1}$, А	$I^2_T \cdot t_T$, кА ² с	I_d , кА
				$S_{н2}$, ВА	$S_{н2}$, ВА	----- $U_{раб}$, кВ	----- $I_{раб}$, А	----- B_k , кА ² с	----- i_y , кА
Ввод $U_{н1}$ кВ						-----	-----	-----	-----
Ввод 35 кВ						-----	-----	-----	-----
Сборные шины РУ-35 кВ						-----	-----	-----	-----
Районные потребители РУ-35 кВ						-----	-----	-----	-----
Ввод 10 кВ						-----	-----	-----	-----
Сборные шины РУ-10 кВ						-----	-----	-----	-----
Районные потребители РУ-10 кВ						-----	-----	-----	-----
ТСН						-----	-----	-----	-----

Таблица 29 - Электрические характеристики элегазовых трансформаторов
тока ТГОФ-110 УХЛ1, ТГОФ-220УХЛ1

Наименование параметра	Значение параметра трансформатора ТГОФ-110	Значение параметра трансформатора ТГОФ-220
Номинальное напряжение первичной обмотки $U_{н1}$, кВ	110	220
Номинальный ток первичной обмотки $I_{н1}$, А:	50-100-200	200-400-800
-с возможностью изменения числа	75-150-300	300-600-1200
- без возможности изменения числа витков	100-200-400	400-800-1600
	200-400-800	500-1000-2000
	300-600-1200	750-1500-3000
	400-800-1600	800; 1000; 2000
	500-1000-2000	1500;2000;3000;4000
	750-1500-3000	
	800; 1000; 2000	
	1500;2000;3000;4000	
Номинальный ток вторичной обмотки $I_{н2}$, А	1 или 5	1 или 5
Классы точности вторичных обмоток:		
-для измерений	0,2; 0,2S; 0,5; 0,5S	0,2; 0,2S; 0,5; 0,5S
-для защиты	5P; 10P	5P; 10P
Номинальная вторичная нагрузка		
- для измерений при $\cos\varphi=0,8$	3;5;10;15;20;30;50;60;75;100	3;5;10;15;20;30;50;60;75;100
$S_{н2}$, ВА		
- для защиты	20	20
Ток термической стойкости I_T , кА	до 63	до 63
Время протекания тока термической стойкости t_T , с	1	1
Ток электродинамической стойкости $I_{д}$, кА	до 160	160

Таблица 30- Электрические характеристики трансформатора тока с литой изоляцией ТОЛ-110

Наименование параметра		Значение параметра	
Номинальное напряжение первичной обмотки $U_{н1}$, кВ		110	
Номинальный ток первичной обмотки $I_{н1}$, А:		50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 750, 800, 1000, 1200, 1500, 2000	
Номинальный ток вторичной обмотки $I_{н2}$, А		1 или 5	
Классы точности вторичных обмоток			
- для измерения		0,2S или 0,5	
- для защиты		10P	
Номинальная вторичная нагрузка			
- для измерений при $\cos\varphi=0,8$ $S_{н2}$, ВА		30	
- для защиты		20 или 30	
Односекундный ток термической стойкости I_T , кА при номинальном первичном токе $I_{н1}$, А:		Ток электродинамической стойкости I_d , кА при номинальном первичном токе $I_{н1}$, А:	
$I_{н1}$, А	I_T , кА	$I_{н1}$, кА	I_d , кА
50	2	50	10
75	3	75	15
100	4	100	20
150	6	150	30
200	8	200	42
300	12	300	62
400	16	400	84
500	20	500	100
600	24	600	120
750	28	750	124
800	28	800	124
1000	30	1000	130
1200	36	1200	140
1500	45	1500	200
2000	60	2000	153

Таблица 31 - Электрические характеристики трансформатора тока с литой изоляцией ТОЛ-35 УХЛ1

Наименование параметра	ТОЛ-35 III-II	ТОЛ-35 III-III	ТОЛ-35 III-V-4	ТОЛ-35III-V-5
Номинальное напряжение первичной обмотки $U_{н1}$, кВ	35	35	35	35
Номинальный ток первичной обмотки $I_{н1}$, А:	15, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 600, 800, 1000, 1500, 2000	500, 1000, 1500, 2000, 3000	15, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 600, 800, 1000, 1500, 2000, 3000	15, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 600, 800, 1000, 1500, 2000, 3000
Номинальный ток вторичной обмотки $I_{н2}$, А	5 или 1	5 или 1	5 или 1	5 или 1
Классы точности вторичных обмоток - для измерения - для защиты	0,2S, 0,5S 5P, 10P	0,2S, 0,5S 5P, 10P	0,2S, 0,5S 5P, 10P	0,2S, 0,5S 5P, 10P
Номинальная вторичная нагрузка - для измерений при $\cos\varphi=0,8$ $S_{н2}$, ВА - для защиты	30 30	30 50	30 30	15 20
Трехсекундный ток термической стойкости I_T , кА при номинальном первичном токе $I_{н1}$, А:	0,7 15 20 30 40 50 75 100 150 200 300 400 600 800 1000 1500 2000 3000	- - - - - - - - - - - $I_{н1}=500A$ -49 - - 49 49 57	0,7 1 1,5 2.1 2,3 3,5 4,7 7 10,5 15 21 31 30 37 41 57 57	0,7 1 1,5 2.1 2,3 3,5 4,7 7 10,5 15 21 31 30 37 41 57 57

Наименование параметра	ТОЛ-35 III-II	ТОЛ-35 III-III	ТОЛ- 35III-V-4	ТОЛ-35III- V-5
Ток электродинамической стойкости I_d , кА при номинальном первичном токе $I_{н1}$, А:				
15	3	-	3	3
20	4	-	4	4
30	6	-	6	6
40	8	-	8	8
50	10	-	10	10
75	15	-	15	15
100	21	-	21	21
150	31	-	31	31
200	42	-	42	42
300	63	-	63	63
400	84	-	84	84
600	127	$I_{н1}=500A -125$	127	127
800	107	125	107	107
1000	134	125	134	134
1500	106	125	106	106
2000	220	145	220	220
3000	-	145	220	220

Таблица 32 - Электрические характеристики трансформатора тока с литой изоляцией ТОЛ-10 УХЛ2

Наименование параметра	ТОЛ-10 УХЛ2
Номинальное напряжение первичной обмотки $U_{н1}$, кВ	10
Номинальный ток первичной обмотки $I_{н1}$, А:	10, 20, 30, 40, 50, 100, 150, 200, 300, 400, 600, 800, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000
Номинальный ток вторичной обмотки $I_{н2}$, А	5 или 1
Классы точности вторичных обмоток	
- для измерения	0,2; 0,2S; 0,5; 0,5S
- для защиты	5P, 10P
Номинальная вторичная нагрузка	
- для измерений при $\cos\varphi=0,8$ $S_{н2}$, ВА	30
- для защиты	15
Односекундный ток термической стойкости I_T , кА при номинальном первичном токе $I_{н1}$, А:	
10	0,78
20	1,56
30	2,5
40	3
50	4,9
100	9,7
150	12,5
200	17,5
300 - 2000	31,5
2500, 3000	61
Ток электродинамической стойкости I_d , кА при номинальном первичном токе $I_{н1}$, А:	
10	1,97
20	3,93
30	6,25
40	7,56
50	17,5
100 - 200	52
300 - 2000	100
2500, 3000	152,5

5.4.5.3. Проверка измерительного трансформатора тока на соответствие классу точности 0,5S.

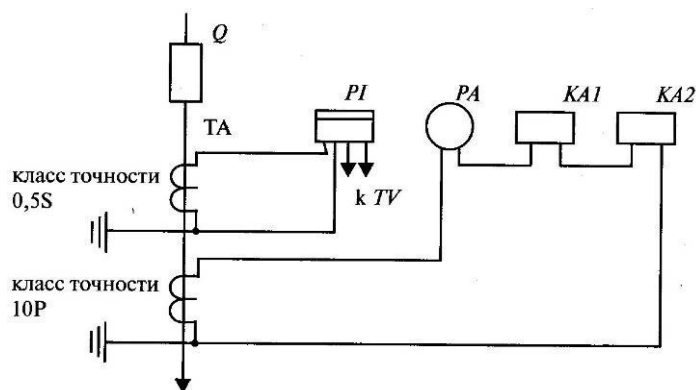


Рисунок 14- Расчетная схема для проверки трансформатора тока на соответствие классу точности

Условие проверки:

$$S_{н20,5S} \geq S_{расч2}, \quad (76)$$

где $S_{расч2}$ – мощность, потребляемая приборами в классе точности 0,5S, ВА.

Расчет мощности приборов:

$$S_{расч2} = S_{PI} + S_{пров} + S_{конт}, \quad (77)$$

где S_{PI} – мощность, потребляемая токовой цепью счетчика электрической энергии, $S_{PI} = 0,12$ ВА для счетчика «Альфа»;

$S_{пров}$ – мощность, теряемая в соединительных проводах, ВА;

$S_{конт}$ – мощность, теряемая в контактных соединениях, ВА.

Расчет мощности соединительных проводов:

$$S_{пров} = I_{н2}^2 \cdot \frac{\rho \cdot l}{q}, \quad (78)$$

где $I_{н2}$ – номинальный ток вторичной обмотки трансформатора тока, $I_{н2} = 5$ А;

$l_{расч}$ – длина соединительных проводов, м ($l_{расч} = \ell$ при схеме соединения трансформаторов тока «полная звезда»,

$l_{расч} = \sqrt{3} \cdot \ell$ при схеме соединения трансформаторов тока «неполная звезда»;

ρ – удельное сопротивление материала соединительных проводов, ($\rho = 0,0172 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$ для медных проводов; $\rho = 0,028 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$ для алюминиевых проводов);

q – площадь поперечного сечения соединительных проводов, ($q = 1,5 \text{ мм}^2$ для медных проводов, $q = 2,5 \text{ мм}^2$ для алюминиевых проводов).

Расчет мощности контактных соединений:

$$S_{\text{конт}} = I_{\text{н2}}^2 \cdot Z_{\text{конт}}, \quad (79)$$

где $Z_{\text{конт}}$ – сопротивление контактных соединений, $Z_{\text{конт}} = 0,1 \text{ Ом}$.

Проверка выполнения условия :

$$S_{\text{н2 0,5S}} = \dots\dots \text{ВА} > S_{\text{расч2}} = \dots\dots \text{ВА}.$$

Условие проверки выполняется, выбранный трансформатор напряжения соответствует классу точности 0,5S (если условие проверки не выполняется, $S_{\text{расч2}}$ можно снизить, увеличив сечение соединительных проводов).

5.4.5.4. Проверка измерительного трансформатора тока на соответствие классу точности 0,5S.

Условие проверки:

$$S_{\text{н2 10P}} \geq S_{\text{расч2}}, \quad (80)$$

где $S_{\text{расч2}}$ – мощность, потребляемая приборами в классе точности 10P, ВА.

Расчет мощности приборов:

$$S_{\text{расч2}} = S_{\text{РА}} + S_{\text{КА}} + S_{\text{пров}} + S_{\text{конт}}, \quad (81)$$

где $S_{\text{РА}}$ – мощность, потребляемая амперметром, ВА;

$S_{\text{КА}}$ – мощность, потребляемая реле тока, $S_{\text{КА}} = S_{\text{КА1}} + S_{\text{КА2}}$, ВА.

Мощности $S_{\text{РА}}$ и $S_{\text{КА}}$ берутся из таблицы 33. Мощности, теряемые в контактных соединениях и соединительных проводах, необходимо взять из предыдущих расчетов (формулы (78,79)).

Таблица 33 - Потребляемая мощность приборов

Наименование приборов	Марки приборов	Потребляемая мощность прибором S , ВА
Амперметры	Э377	0,5
	Э378	0,5
	Э8021	1,5
	Э140	1,2
Реле тока	РТ-40/2	0,2
	РТ-40/6	0,5
	РТ-40/50	0,8
	РТ-40/100	1,8

Проверка выполнения условия:

$$S_{н2\ 10P} = \dots\dots \text{ВА} > S_{расч2} = \dots\dots \text{ВА}$$

Условие проверки выполняется, выбранный трансформатор тока соответствует классу точности 10P (если условие проверки не выполняется, $S_{расч2}$ можно снизить, увеличив сечение соединительных проводов).

5.4.6. Выбор и проверка измерительных трансформаторов напряжения

Измерительные трансформаторы напряжения предназначены для расширения пределов измерения электроизмерительных приборов (вольтметров), для подключения обмоток по напряжению счетчиков электрической энергии, устройств релейной защиты. Измерительные трансформаторы напряжения изолируют измерительные приборы и реле от высокого первичного напряжения, обеспечивают безопасность персонала, обслуживающего электроустановки. Трансформаторы напряжения понижают напряжение до величины, удобной для питания приборов. Номинальное напряжение вторичной обмотки $U_{н2}$ при любом первичном напряжении. При

выборе трансформаторов напряжения необходимо учитывать, что маслонаполненные трансформаторы являются пожаро- и взрывоопасными. Поэтому желательно к установке принимать трансформаторы напряжения с литой изоляцией или элегазовые.

Режимы работы трансформатора напряжения под нагрузкой и холостого хода являются нормальными режимами работы, режим короткого замыкания – аварийным режимом работы.

По степени точности измерений трансформаторы напряжения имеют следующие **классы точности**: 0,2; 0,5; 1; 3; 3Р. Чаще всего используются: класс точности 0,5 для подключения обмоток по напряжению счетчиков электроэнергии, 1 и 3 – вольтметров, 3Р – устройств релейной защиты. Названные требования необходимо учесть при составлении расчетной схемы для проверки трансформаторов напряжения на соответствие классу точности.

5.4.6.1. Выбор трансформаторов напряжения.

Условие выбора:

$$U_{н1} \geq U_{раб}, \quad (82)$$

где $U_{н1}$ – номинальное напряжение первичной обмотки измерительного трансформатора напряжения, кВ;

$U_{раб}$ – рабочее напряжение на токоведущих частях, к которым подключены измерительные трансформаторы напряжения, кВ.

Характеристики выбранных трансформаторов напряжения взять из таблицы 35 и занести в таблицу 35.

Таблица 34 – Результаты выбора трансформаторов напряжения

Марка трансформатора	Номинальное напряжение первичной обмотки $U_{н1}$, кВ	Номинальное напряжение вторичной основной обмотки $U_{н2}$, кВ	Номинальное напряжение вторичной дополнительной обмотки $U_{н3}$, кВ	Номинальная мощность вторичной основной обмотки в классе точности $0,2 S_{н2}$, ВА	Номинальная мощность вторичной основной обмотки в классе точности $0,5 S_{н2}$, ВА	Номинальная мощность вторичной основной обмотки в классе точности $1 S_{н2}$, ВА	Номинальная мощность вторичной основной обмотки в классе точности $3 S_{н2}$, ВА	Номинальная мощность вторичной основной обмотки в классе точности $3P S_{н2}$, ВА
РУ- 110 (220) кВ								
РУ- 35 кВ								
РУ-10 кВ								

Таблица 35 – Электрические характеристики трансформаторов напряжения

Марка трансформатора	Номинальное напряжение первичной обмотки $U_{н1}$, кВ	Номинальное напряжение вторичной основной обмотки $U_{н2}$, В	Номинальное напряжение вторичной дополнительной обмотки $U_{н3}$, В	Номинальная мощность вторичной основной обмотки в классе точности 0,2	Номинальная мощность вторичной основной обмотки в классе точности 0,5	Номинальная мощность вторичной основной обмотки в классе точности 1	Номинальная мощность вторичной основной обмотки в классе точности 3	Номинальная мощность вторичной основной обмотки в классе точности 3P
ЗНОГ-М-110-I УХЛ4	$110:\sqrt{3}$	$100:\sqrt{3}$	100	150	400	600	-	1200
ЗНОГ-М-220-I УХЛ4	$2200:\sqrt{3}$	$100:\sqrt{3}$	100	150	400	600	-	1200
ЗНОЛ-35Ш-УХЛ1	$35:\sqrt{3}$	$100:\sqrt{3}$	100/3	15	60	120	-	-
ЗНОЛ-10Ш-УХЛ1	$10:\sqrt{3}$	$100:\sqrt{3}$	100	50	75	150	300	-

5.4.6.2 Проверка измерительных трансформаторов напряжения на соответствие классу точности.

На соответствие классу точности проверяется измерительный трансформатор напряжения, установленный в распределительном устройстве вторичного напряжения (35 или 10 кВ).

Условие проверки:

$$S_{н2} \geq S_{расч2}, \quad (83)$$

где $S_{н2}$ – номинальная мощность вторичной обмотки трансформатора напряжения в соответствующем классе точности, ВА (чаще всего используется класс точности 0,5);

$S_{расч2}$ – мощность, потребляемая измерительными приборами и реле, подключенными к вторичной обмотке трансформатора напряжения, ВА.

$$S_{расч} = S_{приб} + S_{пров} + S_{конт}, \quad (84)$$

где $S_{приб}$ – мощность, потребляемая приборами, ВА;

$S_{пров}$ – мощность, теряемая в соединительных проводах, ВА;

$S_{конт}$ – мощность, теряемая в контактных соединениях, ВА.

Расчет мощности, потребляемой приборами.

Для определения $S_{приб}$ составляется расчетная схема, на которой указываются все приборы. На основании расчетной схемы заполняется таблица 36 с мощностями приборов, подключенных к вторичной обмотке трансформатора напряжения.

При составлении расчетной схемы необходимо учитывать, что счетчики электрической энергии устанавливаются на каждом вводе в распределительное устройство вторичного напряжения, на вводах в трансформаторы собственных нужд, на фидерах районных потребителей. Число фидеров районных потребителей, подключенных к каждой секции шин вторичного напряжения, определяется их категорией. Потребители первой категории должны иметь фидер и на первой секции шин, и на второй, потребители второй категории – на одной из секций.

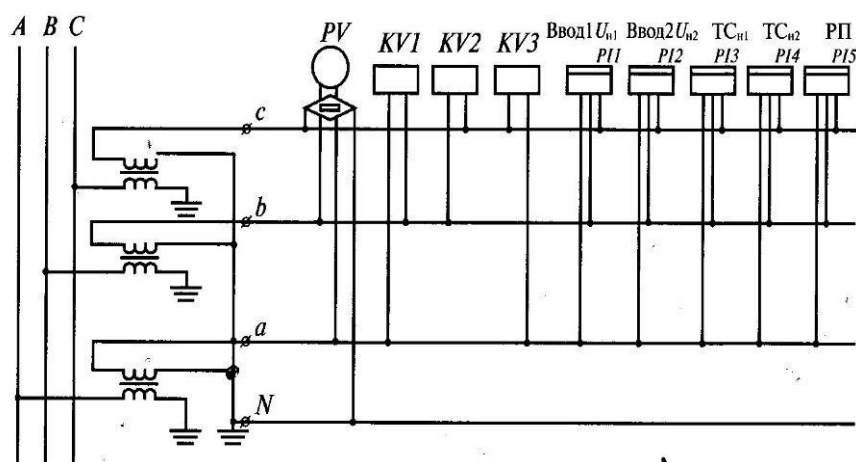


Рисунок 15- Расчетная схема для поверки трансформатора напряжения на соответствие классу точности

Таблица 36- Мощности приборов

Наименование приборов	Марка прибора	Количество приборов	Мощность, потребляемая одним прибором, ВА	Мощность, потребляемая приборами, ВА	$\cos\varphi_{\text{приб}}$	$\sin\varphi_{\text{приб}}$	Активная мощность приборов, $\Sigma P_{\text{приб}}$, Вт	Реактивная мощность приборов, $\Sigma Q_{\text{приб}}$, вар
Счетчик электрической энергии	«Альфа»	...	...	...	0,5	0,87	...	...
Вольтметр	Э378	1	2	2	1	0	2	-
Реле напряжения	РН-54	3	1	3	1	0	3	-
Итого								

$$S_{\text{приб}} = \sqrt{(\Sigma P_{\text{приб}})^2 + (\Sigma Q_{\text{приб}})^2}, \quad (85)$$

$\Sigma P_{\text{приб}}$ – суммарная активная мощность приборов, Вт;

$\Sigma Q_{\text{приб}}$ – суммарная реактивная мощность приборов, вар.

Расчет мощности, теряемой в соединительных проводах.

$$S_{\text{пров}} = I_{\text{н2}}^2 \cdot \frac{l_{\text{расч}} \cdot \rho}{q}, \quad (86)$$

где I_{H2} – номинальный ток цепи напряжения трансформатора напряжения, А (расчет по формуле (87));

$l_{расч}$ – длина соединительных проводов, м;

ρ – удельное сопротивление материала соединительных проводов

($\rho = 0,0172 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ для медных проводов; $\rho = 0,028 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ для алюминиевых проводов);

q – площадь поперечного сечения соединительных проводов,

$q = 1,5 \text{ мм}^2$ для медных проводов, $q = 2,5 \text{ мм}^2$ для алюминиевых проводов).

$$I_{H2} = \frac{S_{H2}}{U_{H2}}, \quad (87)$$

где S_{H2} – номинальная мощность вторичной основной обмотки в классе точности 0,5;

U_{H2} – номинальное напряжение вторичной обмотки трансформатора напряжения, $U_{H2} = 100 \text{ В}$.

Расчет мощности, теряемой в контактных соединениях.

$$S_{\text{конт}} = I_{H2}^2 \cdot Z_{\text{конт}}, \quad (88)$$

где $Z_{\text{конт}}$ – сопротивление контактных соединений, $Z_{\text{конт}} = 0,1 \text{ Ом}$.

Проверка выполнения условия (83):

$$S_{H2} = \dots\dots \text{ВА} > S_{\text{расч2}} = \dots\dots\dots \text{ВА}$$

Условие проверки выполняется, выбранный трансформатор напряжения соответствует классу точности 0,5 (если условие проверки не выполняется, $S_{\text{расч2}}$ можно снизить, увеличив сечение соединительных проводов).

5.4.7. Выбор предохранителей

Предохранители предназначены для защиты измерительных трансформаторов напряжения от токов короткого замыкания и длительных перегрузок. При выборе предохранителей необходимо учитывать их расположение (внутреннее или наружное), назначение (для защиты

трансформаторов или другого оборудования) и род дугогасительной среды (кварцевые, выхлопные). Предохранители, предназначенные для защиты измерительных трансформаторов напряжения по номинальному току плавкой вставки не выбирают, выбор производят только по номинальному напряжению.

Условие выбора:

$$U_n \geq U_{\text{раб}}, \quad (89)$$

где U_n – номинальное напряжение предохранителя, кВ;

$U_{\text{раб}}$ – рабочее напряжение электроустановки (первичной обмотки измерительного трансформатора напряжения), кВ.

Выбор предохранителей сводится в таблицу 37.

Таблица 37- Результаты выбора предохранителей

Марка предохранителя	Номинальное напряжение, кВ	Наибольшая мощность отключения (трехфазная), МВА	Предельный ток отключения, кА
Вод трансформатора напряжения на 35 кВ			
Вод трансформатора напряжения на 35 кВ			

Паспортные данные предохранителей берутся из таблицы 38.

Таблица 38 – Технические данные предохранителей

Марка предохранителя	Номинальное напряжение, кВ	Наибольшая мощность отключения (трехфазная), МВА	Предельный ток отключения, кА
ПКТ-35	35	1000	17
ПКТУ-35	35	1000	17
ПКТ-35н	35	1000	17
ПКТ-10	10	не ограничено	не ограничено
ПКТУ-10	10	не ограничено	не ограничено
ПКТ-10н	10	1000	50

5.4.8. Выбор ограничителей перенапряжения

Ограничители перенапряжения предназначены для защиты изоляции электрооборудования от перенапряжений.

Условие выбора:

$$U_n \geq U_{\text{раб}}, \quad (90)$$

где U_n – номинальное напряжение ограничителя перенапряжения, кВ;

$U_{\text{раб}}$ – рабочее напряжение электроустановки, кВ.

Выбор ограничителей перенапряжения сводится в таблицу 39.

Таблица 39 - Результаты выбора ограничителей перенапряжения

Марка ОПН	Номинальное напряжение, кВ	Наибольшее рабочее напряжение, кВ	Номинальный разрядный ток, А	Ток пропускной способности, А	Масса, кг
ОРУ-110 (220) кВ					
ЗРУ-35 кВ					
ЗРУ-10 кВ					

Паспортные данные ограничителей перенапряжения берутся из таблицы 40.

Пояснения к маркировке ОПН:

ОПН- П – с полимерной внешней изоляцией из кремнийорганической резины.

ОПН-Ф- с фарфоровой изоляцией.

Таблица 40 - Характеристики ограничителей перенапряжения

Марка ОПН	Номинальное напряжение, кВ	Наибольшее рабочее напряжение, кВ	Номинальный разрядный ток, А	Ток пропускной способности, А	Масса, кг
ОПН-П1-10-10,5-10	10	10,5	10000	550	3
ОПН-П1-10-11,5-10	10	11,5	10000	550	3
ОПН-П1-10-12-10	10	12	10000	550	3
ОПН-П1-35-40,5-10	35	40,5	10000	550	22
ОПН-П1-35-40,5-10	35	40,5	10000	850	22
ОПН-П1-35-44-10	35	44	10000	550	22
ОПН-П1-35-44-10	35	44	10000	850	22
ОПН-П1-110-73-10	110	73	10000	550	45
ОПН-П1-110-77-10	110	77	10000	550	45
ОПН-П1-110-83-10	110	83	10000	550	45
ОПН-П1-110-88-10	110	88	10000	550	45
ОПН-П1-110-73-10	110	73	10000	850	45
ОПН-П1-110-77-10	110	77	10000	850	45
ОПН-П1-110-83-10	110	83	10000	850	45
ОПН-П1-110-88-10	110	88	10000	850	45
ОПН-П1-110-73-20	110	73	20000	1200	95
ОПН-П1-110-77-20	110	77	20000	1200	95
ОПН-П1-110-83-20	110	83	20000	1200	95
ОПН-П1-110-88-20	110	88	20000	1200	95
ОПН-Ф-110-73-10	110	73	10000	550	110
ОПН-Ф-110-77-10	110	77	10000	550	110
ОПН-Ф-110-83-10	110	83	10000	550	110
ОПН-Ф-110-88-10	110	88	10000	550	110
ОПН-П1-220-154-10	220	154	10000	550	100
ОПН-П1-220-163-10	220	163	10000	550	100
ОПН-П1-220-172-10	220	172	10000	550	100
ОПН-П1-220-154-10	220	154	10000	850	100
ОПН-П1-220-163-10	220	163	10000	850	100
ОПН-П1-220-172-10	220	172	10000	850	100
ОПН-П1-220-154-20	220	154	20000	1200	180
ОПН-П1-220-163-20	220	163	20000	1200	180
ОПН-П1-220-172-20	220	172	20000	1200	180
ОПН-П1-220-154-20	220	154	20000	1500	190
ОПН-П1-220-163-20	220	163	20000	1500	190
ОПН-П1-220-172-20	220	172	20000	1500	190
ОПН-Ф-220-154-10	220	154	10000	550	197
ОПН-Ф-220-163-10	220	163	10000	550	197
ОПН-Ф-220-172-10	220	172	10000	550	197
ОПН-Ф-220-154-10	220	154	10000	850	197
ОПН-Ф-220-163-10	220	163	10000	850	197
ОПН-Ф-220-172-10	220	172	10000	850	197

6. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ ЧАСТИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

6.1. Организационно - технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ.

6.1.1. Организационные мероприятия.

Организационными мероприятиями, обеспечивающими безопасность работ в электроустановках, являются:

- оформление наряда, распоряжения или перечня работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации;
- выдача разрешения на подготовку рабочего места и на допуск к работе;
- допуск к работе;
- надзор во время работы;
- оформление перерыва в работе, перевода на другое место, окончания работы.

При указании организационных мероприятий необходимо учесть следующее:

- каким документом оформляется работа (или нарядом, или распоряжением, или перечнем работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации);
- требуется ли надзор во время выполнения работ;
- потребуется ли перерыв в работе и перевод на другое рабочее место.

6.1.2. Технические мероприятия.

Разработку технических мероприятий, обеспечивающих безопасность работ в электроустановках, необходимо свести в таблицу 41. В правом столбце таблицы указать содержание мероприятия в соответствии с Правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок от 04.08.2014 года, в левом столбце таблицы указать выполнение мероприятия в соответствии с однолинейной схемой курсового проекта.

Таблица 41- Разработка технических мероприятий

Техническое мероприятие	Выполнение технического мероприятия
Производство необходимых отключений и принятие мер, препятствующих подаче напряжения на место работы вследствие ошибочного или самопроизвольного включения коммутационных аппаратов	
Вывешивание запрещающих плакатов на приводах ручного и на ключах дистанционного управления коммутационных аппаратов	
Проверка отсутствия напряжения на токоведущих частях, которые должны быть заземлены для защиты людей от поражения электрическим током	
Заземление отключенных токоведущих частей	
Вывешивание указательных плакатов, ограждение при необходимости рабочих мест и оставшихся под напряжением токоведущих частей, вывешивание предупреждающих и предписывающих плакатов	

6.2. Содержание текущего ремонта оборудования

Для разработки материала, связанного с текущим ремонтом оборудования, необходимо воспользоваться технологическими картами по текущему ремонту оборудования. Из карты требуется выписать категорию работы, состав исполнителей, подготовительные и заключительные работы, а также содержание текущего ремонта.

7. ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЗАЩИТЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

1. Укажите назначение расчета токов короткого замыкания в курсовом проекте.
2. Приведите классификацию электрических подстанций и их назначение.
3. Объясните назначение ОПН.
4. Приведите классификацию высоковольтных выключателей и укажите их назначение.
5. Объясните способы выбора и проверки высоковольтных выключателей в курсовом проекте.
6. Объясните особенности гашения электрической дуги в масляном и вакуумном высоковольтных выключателях.
7. Объясните особенности гашения электрической дуги в элегазовом и воздушном высоковольтных выключателях.
8. Приведите причины коротких замыканий в электроустановках, опасность их последствий.
9. Приведите классификацию измерительных трансформаторов напряжения и их назначение.
10. Объясните способ выбора и проверки измерительных трансформаторов напряжения в курсовом проекте.
11. Приведите классификацию разъединителей и их назначение.
12. Объясните способ выбора и проверки разъединителей в курсовом проекте.
13. Приведите классификацию изоляторов и их назначение.
14. Приведите назначение и классификацию измерительных трансформаторов тока.
15. Укажите порядок выбора и проверки измерительных трансформаторов тока в Вашем проекте.
16. Перечислите типы предохранителей, укажите их назначение.

- 17.Объясните назначение сборных шин на подстанции, для чего их секционируют.
- 18.Укажите категории приемников электроэнергии по степени их ответственности.
- 19.Поясните, для чего служит РПН трансформатора.
- 20.Объясните назначение трансформатора собственных нужд.
- 21.Поясните назначение и тип силовых трансформаторов в курсовом проекте.
- 22.Поясните, как производился выбор силовых трансформаторов в курсовом проекте.
- 23.Объясните назначение секционного выключателя РУ-35 (10) кВ.
- 24.Перечислите технические мероприятия по обеспечению безопасности выполнения работ.
- 25.Перечислите организационные мероприятия по обеспечению безопасности выполнения работ.
- 26.Перечислите основные средства защиты от поражения электрическим током.
- 27.Укажите, что относится к дополнительным средствам защиты от поражения электрическим током в электроустановках напряжением выше 1000 В.
- 28.Перечислите обязанности оперативного персонала электрических подстанций.
- 29.Перечислите виды технического обслуживания силовых трансформаторов.
- 30.Перечислите виды технического обслуживания основного оборудования распределительных устройств электроустановок напряжением выше 1000 В.

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Расчетно-пояснительная записка должна быть выполнена на одной стороне листа формата А4. Изложение материала должно быть кратким и последовательным. Для уменьшения объема выбор и проверку оборудования целесообразно выполнять в виде таблиц.

Графическую часть следует выполнять на листе формата А1 в соответствии с требованиями ГОСТ на форматы, линии, шрифты, условные графические и буквенные обозначения электрических аппаратов и приборов.

Расчетно- пояснительную записку брошюруют в следующем порядке:

1. Титульный лист (приложение 1).
2. Бланк задания на проект (приложение 2).
3. Содержание.
4. Разделы записки.
5. Заключение.

Библиографический список.

ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основные источники:

1. Почаевец В.С. Электрические подстанции [Текст] [Электронный ресурс]: учебник. – М.: ФБГОУ "Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте", 2012. – 491 с. Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/6075>.
2. Акимова Н.А. и др. Монтаж, техническая эксплуатация и ремонт электрического и электромеханического оборудования [Текст]: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / Н.А. Акимова, Н.Ф. Котеленец, Н.И. Сентюрихин; под общ. ред. Н.Ф. Котеленца. – 11-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 304 с.
3. Кожунов В.И. Устройство электрических подстанций [Текст]: Учебное пособие. - М.: ФБГОУ "Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте", 2016. – 401 с.

Дополнительные источники:

4. Правила содержания тяговых подстанций, трансформаторных подстанций и линейных устройств системы тягового электроснабжения [Электронный ресурс]: Утв. Распоряжением ОАО «РЖД» № 1578р от 5.08.2016. Режим доступа: http://www.sptgt.ru/students/training_materials/elektrosnabzhenie-po-otraslyam/