

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

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

Петрозаводский филиал ПГУПС

ОДОБРЕНО

на заседании цикловой комиссии

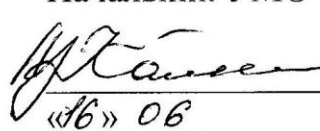
протокол № 6 от 16.06.2017г.

Председатель цикловой комиссии:


(Аблаев В.В.)

УТВЕРЖДАЮ

Начальник УМО


«16» 06 А.В. Калько
2017г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению выпускной квалификационной работы по теме
«Проектирование тяговой подстанции переменного тока»

Специальность: 13.02.07 Электроснабжение (по отраслям)

Разработчик: Аблаев В.В.

2017 г.

ВВЕДЕНИЕ

Методическое пособие содержит рекомендации по выполнению выпускной квалификационной работы студентами специальности 13.02.07 Электроснабжение (по отраслям) по теме «Проектирование тяговой подстанции переменного тока».

Проектирование электрической части подстанций представляет собой сложный процесс выработки и принятия решений по схемам электрических соединений, составу электрооборудования, связанный с производством расчетов.

Проектирование подстанции заключается в составлении описания еще не существующего объекта, предназначенного для получения, преобразования распределения электроэнергии. Описания и расчеты в графической и текстовой формах составляют содержание проекта, то есть совокупность документов, необходимых для создания новой подстанции в ее электрической части.

Работая над проектом, студент самостоятельно принимает различные расчетные, конструкторские и технологические решения, анализирует данные учебной и технической литературы, используя приобретенные в процессе обучения знания, и применяет их для решения поставленных в задании вопросов.

Методическое пособие поможет студенту определить объем расчетов, систематизировать все имеющиеся источники информации при проработке темы дипломного проекта, включающих основные вопросы по комплексному применению знаний, выбору наиболее рациональных вариантов и технических решений.

Разработка дипломного проекта должна производиться в соответствии с уровнем требований предъявляемых к знаниям и умениям студентов, уровнем подготовки техника по данной специальности, устанавливаемых ФГОС СПО специальности 13.02.07 Электроснабжение (по отраслям) базовой подготовки среднего профессионального образования.

Состав дипломного проекта

Дипломный проект состоит из трех основных разделов:

Общей части, включающей в себя разработку однолинейной схемы подстанции, расчет мощности подстанции, рабочих токов и токов короткого замыкания, выбор и проверку по режиму короткого замыкания токоведущих частей и оборудования подстанции, расчет параметров релейной защиты.

Технологического, связанного с техническим обслуживанием, ремонтом и испытаниями какого-либо оборудования электрической подстанции и составлением технологических карт.

Экономического, в котором составляется штатное расписание подстанции и график планово-предупредительных работ на заданный год эксплуатации подстанции.

Помимо этих разделов в дипломном проекте должны быть отражены проектируемые мероприятия по технике безопасности и противопожарной профилактике.

Дипломный проект состоит из расчетно-пояснительной записки и 2-6 листов чертежей, тематику и количество которых определяет в каждом конкретном проекте руководитель дипломного проектирования.

Расчетно-пояснительная записка должна быть выполнена на одной стороне листа формата А4. Изложение материала должно быть кратким, ясным и последовательным. Для уменьшения объема расчетно-пояснительной записки вычисления токов короткого замыкания и выбор, и проверку оборудования целесообразно выполнять в виде таблиц. Иллюстрации в проектах могут быть выполнены на миллиметровой бумаге, размеры которой кратны формуле А4.

Графическую часть проектов следует выполнять 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
2. Бланк задания на проект
3. Содержание
4. Введение
5. Текст расчетно-пояснительной записки в следующем порядке:

Общая часть

- разработка структурной схемы подстанции;
- расчет мощности подстанции и выбор типа главных понижающих трансформаторов;
- расчет максимальных рабочих токов;
- расчет токов короткого замыкания в максимальном и минимальном режимах;
- выбор по параметрам рабочего режима и проверка по параметрам короткого замыкания токоведущих частей, изоляторов, высоковольтных

выключателей, разъединителей, измерительных трансформаторов тока и напряжения, разрядников или ограничителей перенапряжения, аккумуляторной батарей, предохранителей;

-выбор типов релейной защиты и ее расчет.

Технологический раздел

Назначение и типы рассматриваемого электрического аппарата, конструктивное выполнение, электрические параметры, текущий или капитальный ремонт, профилактические испытания после ремонта, технологическая карта ремонта и испытаний, техника безопасности при ремонте.

Экономический раздел

Годовые эксплуатационные расходы на содержание и обслуживании подстанции, фонд заработной платы, график планово-предупредительных работ.

Техника безопасности и охрана труда при эксплуатации подстанций

Противопожарные мероприятия.

6.Список использованной при проектировании литературы.

Пояснительная записка

ГЛАВА 1

Разработка однолинейной схемы коммутации электрической подстанции

Проектирование однолинейной схемы электрических соединений в ходе выполнения проекта осуществляется в три этапа:

1. Составление структурной схемы.
2. Выбор схем электрических соединений распределительных устройств (РУ) всех уровней напряжения.
3. Составление принципиальной схемы.

В ходе составления структурной схемы определяются тип подстанции, необходимые РУ высшего, среднего и низшего напряжения, количества главных понижающих трансформаторов, через который осуществляется связь РУ между собой, количество линий потребителя, получающие питание от подстанции, привязка трансформаторов собственных нужд к РУ. Возможные и допустимые варианты структурной схемы формируются в соответствии с рекомендациями на проектировании.

Затем для составленной структурной схемы выбираются возможные допустимые варианты схем РУ всех имеющихся напряжений. Для этого используется соответствующие нормативы указания в отношении принципиальных схем РУ и рекомендации по их компоновке, приведенные в учебной литературе.

Однолинейная схема электрических соединений определяет основные качества электрической части спроектированной подстанции. От этой схемы 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 предопределяет безошибочность работы оперативного и оперативно-ремонтного персонала.

По принципиальной схеме подстанции рассчитываются выдержки времени релейных защит присоединений.

1.1 Структурные схемы электрических подстанций

Учитывая, что электрифицированная железная дорога является потребителем первой категории, а трансформаторные (не тяговые) подстанции обеспечивают электрической энергией потребителей именно этой категории, то присоединение их к электрической сети должно быть осуществлено таким образом, чтобы обеспечить бесперебойное питание этих подстанций при нормальном и аварийном режимах работы.

Электрические подстанции различаются по многим признакам, но их основу составляют схемы присоединения к сети внешнего электроснабжения и схема выполнения распределительных устройств (сборных шин и присоединений к ним). По заданной схеме внешнего электроснабжения определяется тип проектируемой подстанции:

- *опорная*, получающая питание от сети внешнего электроснабжения по трем и более линиям электропередач, напряжением 110 или 220 кВ;

- *промежуточная*, расположена между двумя опорами и получающая питание по двум вводам либо по одной ЛЭП (транзитная подстанция), либо от двух ЛЭП (подстанция на отпайках), напряжением 35, 110 или 220 кВ;

- *тушковая*, получающая питание по двум линиям электропередачи 35, 110 или 220 кВ от разных секций сборных шин вторичного напряжения тяговой, районной или трансформаторной подстанции.

Вводы от линии электропередачи к проектируемой подстанции любого типа присоединяют к распределительному устройству (РУ) питающего (первичного) напряжения открытого типа.

Структурная схема проектируемой подстанции помогает составить однолинейную схему. На ней указывается количество вводов, все РУ, силовые трансформаторы и количество потребителей электрической энергии.

Необходимо помнить, что на каждой подстанции должна быть предусмотрена возможность питания электроэнергией:

- тяговых подстанций электрической тяги поездов, напряжением 3,3 кВ на постоянном токе и 27,5 кВ - на переменном;

- нетяговых железнодорожных потребителей по линиям продольного электроснабжения 10 кВ при электрификации на постоянном токе и линиям ДПР – на переменном, а также нетяговых (железнодорожных) потребителей;

- собственных нужд подстанции.

Эта возможность реализуется различными способами, зависящими от величины питающего напряжения и типа подстанции.

1.2 Составление однолинейных схемы проектируемой подстанции

На основании составленной структурной схемы производится разработка однолинейной схемы, которая должна отвечать требованиям потребителей в отношении надежности электроснабжения. Схема должна быть простой и наглядной, обеспечивать надежность в эксплуатации, допускать безопасное обслуживание и бесперебойное электроснабжение.

В каждом из РУ, который связан между собой через ГПТ, указывается все его силовые оборудования и все соединения между РУ в той последовательности, которая обеспечивает его необходимую и надежную работу эксплуатации.

По типам подстанции в учебной литературе имеются типовые однолинейные схемы всех РУ, и задача проектировщика подстанции использовать их для составления общей схемы всей подстанции с привязкой к своим исходным данным.

1.2.1 Схема распределительного устройства питающего (первичного) напряжения опорной подстанции

Схема распределительного устройства первичного напряжения опорной подстанции выполняется с одной рабочей, секционированной выключателем и разъединителем, и обходной системами сборных шин. Количество вводов на подстанцию определяется заданной схемой внешнего электроснабжения.

Схема образована рабочей системой шин, состоящей из двух секций, параллельно которым расположена обходная система шин. Взаимное расположение всех шин и коммутационных аппаратов соответствует расположению их на плане подстанции. Параллельное расположение первой и второй секции рабочей системы шин дает возможность при развитии подстанции увеличивать число вводов, а при необходимости перемонтировать их в РУ в двумя рабочими и одной обходной системами сборных шин.

Секции шин могут работать совместно или отдельно, для чего их соединяют выключателем, оборудованным устройствами защиты. Обходная система шин позволяет заменить на время обходным выключателем выключатель любого присоединения на период его ремонта, а также собрать схему плавки гололедом на проводах высоковольтной линии.

1.2.2 Схема распределительного устройства первичного напряжения транзитной подстанции

На транзитной подстанции при типовом решении, рассчитанном на два главных понижающих трансформатора, имеются два ввода, соединенных между собой рабочей и ремонтной перемычками. На первичной стороне ГПТ установлены отделители, работающие совместно с короткозамкательными. В настоящее время целесообразным считается замена их высоковольтными выключателями переменного тока.

1.2.3 Схема распределительного устройства промежуточных подстанций на отпайках и тупиковых

Она во многом аналогична схеме РУ транзитной подстанции, однако в ней отсутствует ремонтная перемычка и выключатель в рабочей перемычки. В режиме короткого замыкания, когда необходимо перевести оба главных понижающих трансформатора на питание от одного ввода, вполне достаточно обычной перемычки с двумя разъединителями. Наличие двух разъединителей обеспечивает возможность безопасного осмотра и ремонта каждого из них без отключения обоих вводов.

РУ-10 кВ. Назначение РУ-10 кВ хорошо просматривается по структурным схемам, рассмотренным выше, для различных типов подстанций. Для питания всех указанных потребителей используется схема РУ-10кВ с одной рабочей, секционированной выключателем и разъединителем, системой сборных шин. Рекомендуются РУ-10кВ выполнять из комплектных камер с выкатными масляными выключателями, снабженными штепсельными разъемами для создания видимого разрыва цепи при выкатывании выключателя из камер.

Напряжение на сборные шины 10 кВ поступает от обмоток низшего напряжения главных понижающих трансформаторов через ячейки с соответствующими необходимым оборудованием. Схемы ячеек типовые.

РУ-27,5 кВ. Распределительное устройство тягового напряжения переменного тока 27,5 кВ включает в себя сборные шины, вводы от обмоток 27,5 кВ главных понижающих (тяговых) трансформаторов, фидера контактной сети и ДПР, трансформаторы собственных нужд.

Шины 27,5 кВ состоят из проводов фаз А и В, секционированных разъединителями, которые нормально включены. Секционирование сборных шин 27,5 кВ двумя разъединителями (фазы А и В) обеспечивает безопасное выполнение работ и на секции шин. Фаза С представляет собой рельс, уложенный в землю, так называемый рельс заземленной фазы, который соединен с контуром заземления подстанции, рельсом подъездного пути, отсасывающей линией и тяговым рельсом.

Питающие линии контактной сети (фидеры) присоединяют к фазе А и фазе В согласно фазировке станции и прилегающих перегонов. Для замены любого фидерного выключателя при выводе его в ремонт или аварийном режиме схеме РУ-27,5 кВ предусмотрена запасная шина, которая может получить питание через запасной выключатель от фазы А или В сборных шин.

Линии ДПР подключаются к разным секциям шин и запитывают оба направления от подстанций.

Трансформаторы собственных нужд также подключаются к двум разным секциям сборных шин 27,5 кВ.

ГЛАВА 2. Расчет мощности подстанции

Целью расчета является определение суммарной мощности всех потребителей для определения расчетной мощности главных понижающих трансформаторов и выбора их типов, а также определение полной мощности подстанции. Исходные данные, требуемые для расчета всех типов подстанций, приведены в общих указаниях. Расчетная мощность главных понижающих трансформаторов для различных типов подстанций определяется нагрузкой их вторичных обмоток.

2.1 Мощность тяговой нагрузки.

2.1 Для определения тяговой нагрузки необходимо знать номинальное напряжение на шинах тяговой подстанции распределительного устройства, питающего тяговую сеть, знать рабочие токи наиболее загруженной фазы и наименее загруженной фазы.

$$S_{\text{тяг}} = U_{\text{ш}} \cdot (2 \cdot I'_{\text{э}} + 0,65 \cdot I''_{\text{э}}) \cdot K_{\text{нр}} \cdot K_{\text{к.у}} \cdot K_{\text{м}},$$

где

$U_{\text{ш}}$ - напряжение на шинах, равное 27,5 кВ;

$I'_{\text{э}}$ - эффективный ток наиболее загруженной фазы питания тяги, А;

$I''_{\text{э}}$ - эффективный ток наименее загруженной фазы питания тяги, А;

$K_{\text{нр}}$ – коэффициент неравномерности нагрузки фаз тягового трансформатора, принимаемый равным 0,9;

$K_{\text{к.у}}$ – коэффициент компенсирующего устройства, учитывающий снижение требуемой на тягу мощности при работе компенсирующего устройства, принимаемый равным 0,93;

$K_{\text{м}}$ – коэффициент влияния на износ изоляции обмоток трансформатора из-за неравномерности движения поездов в течение суток, принимаемый равным: 1,45 – для двухпутных участков, 1,25 – для однопутных участков.

2.2. Вычислить максимальные активные мощности нетяговых потребителей по формуле:

$$P_{\text{макс}} = P_{\text{уст}} \cdot K_{\text{с}};$$

где

$P_{уст}$ – установленная мощность потребителя, кВт;

K_c – коэффициент спроса, учитывающий режим работы потребителя, загрузку и КПД оборудования, одновременность его включения

$$\sum_1^n P_{\max}$$

На основании вычисленных максимальных активных мощностей потребителей и типовых графиков строим графики активных нагрузок потребителей и график суммарной активной нагрузки, по которому определяем суммарную максимальную расчетную активную мощность. Мощности потребителей сведены в таблицу 2.1.

Мощности потребителей определяем по формуле:

$$P_n = \frac{P_{\max} \cdot P\%}{100\%};$$

Таблица 2.1 - Нагрузки нетяговых потребителей в течение суток

Время (час)	Железнодорожный узел		Вагонное депо		Сельскохозяйственные потребители		Суммарная нагрузка всех потребителей
	%	кВт	%	кВт	%	кВт	
0(24)							
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							

16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							

$$\sum_1^n P_{\text{макс.расч.}};$$

2.3 Вычислить максимальные реактивные мощности нетяговых потребителей по формулам:

$$Q_{\text{макс}} = P_{\text{макс}} \cdot \text{tg } \Psi;$$

$$Q_{\text{макс.1}} = P_{\text{макс.1}} \cdot \text{tg } \Psi_1;$$

$$Q_{\text{макс.2}} = P_{\text{макс.2}} \cdot \text{tg } \Psi_2;$$

$$Q_{\text{макс.3}} = P_{\text{макс.3}} \cdot \text{tg } \Psi_3;$$

$$\sum_1^n Q_{\text{макс}} = Q_{\text{макс1}} + Q_{\text{макс2}} + Q_{\text{макс3}};$$

$$\sum_1^n Q_{\text{макс}};$$

2.4 Мощность собственных нужд. Выбор трансформаторов собственных нужд

Определить максимальную полную мощность нетяговых потребителей с учетом потерь в электрических сетях и трансформаторах по формуле:

$$S_{\text{макс.н.п.}} = K_{\text{р.м}} \cdot \left(1 + \frac{P_{\text{пост}} + P_{\text{пер}}}{100}\right) \sqrt{(\sum_1^n P_{\text{макс}})^2 + (\sum_1^n Q_{\text{макс}})^2};$$

где

$K_{р.м}$ — коэффициент одновременности максимумов нагрузок тяговой подстанции, вычисляем по формуле :

$P_{пост}$ — постоянные потери, принимаемые равными 1-2%

$P_{пер}$ — переменные потери, принимаемые равными 5-8%

Принимаем $P_{пост} = 2\%$; $P_{пер} = 8\%$

$$K_{р.м} = \frac{\sum_1^n P_{\text{макс.расч}}}{\sum_1^n P_{\text{макс}}};$$

где

$\sum_1^n P_{\text{макс.расч}}$ - суммарная максимальная расчетная активная мощность, определяемая по суммарному графику нагрузки потребителей, кВт;

$\sum_1^n P_{\text{макс}}$ - сумма максимальных активных мощностей потребителей, кВт.

2.5 Мощность нетяговых железнодорожных потребителей, питающихся по линии «два провода-рельс» (ДПР)

Определить мощность нетяговых потребителей, питающихся по линии ДПР-25 кВ по формуле:

$$S_{\text{ДПР}} = \frac{P_{\text{уст}} \cdot K_c}{\cos \psi};$$

2.6 Определить необходимую мощность собственных нужд и выбрать трансформаторы собственных нужд

2.6.1 Мощность собственных нужд вычислить по формуле:

$$S_{с.н.} = S_{с.н.ТПС} + S_{сцб} + S_{\text{ДПР к.с.}};$$

где

$S_{с.н.ТПС}$ — мощность собственных нужд тяговой подстанции,

$$S_{с.н.ТПС}=0,05\% \text{ от } S_{\text{тяг}};$$

$S_{сцб}$ – мощность, необходимая для питания устройств СЦБ;

$S_{\text{ДПР к.с.}}$ – мощность собственных нужд дежурного пункта района контактной сети,

$$S_{\text{ДПР к.с.}} = 40 \text{ к}\cdot\text{ВА}.$$

2.6.2 Выбрать ТСН по условию представленному формулой:

$$S_{\text{ТСН}} \geq S_{с.н}$$

Выбрать трансформатор типа. Его технические характеристики свести в таблицу 2.2

Таблица 2.2 - Технические характеристики трансформатора типа

Тип	$S_{\text{НОМ}}$, кВА	$U_{1н}$,кВ	$U_{2н}$,кВ	Потери		Группа соединения
				$\Delta P_{\text{ХХ}}$	$\Delta P_{\text{КЗ}}$	

2.7 Вычислить необходимую мощность на шинах ОРУ-27,5 кВ тяговой подстанции по формуле:

$$S_{27,5} = S_{\text{тяг}} + S_{\text{ТСН}} + S_{\text{ДПР}};$$

где

$S_{\text{тяг}}$ – мощность на тягу поездов (тяговой нагрузки), кВ·А;

$S_{\text{ДПР}}$ – мощность нетяговых потребителей, питающихся от шин РУ-27,5кВ по линиям ДПР-25 кВ;

$S_{\text{ТСН}}$ – мощность одного ТСН, присоединенного к шинам 27,5кВ;

2.8 Определить необходимую мощность и выбрать тяговые трансформаторы

2.8.1 Вычислить необходимую мощность первичных обмоток тяговых трансформаторов по формуле:

$$S_{\text{расч.110}} = (S_{\text{Ш 27,5}} + S_{\text{Ш 10}}) \cdot K_{\text{р.м.}}$$

где

$K_{\text{р.м.}}$ – коэффициент одновременности максимумов нагрузок вторичной обмотки тягового трансформатора, равный 0,95-0,98, принимаемым 0,96;

$S_{\text{Ш 10}}$ – необходимая мощность на шинах РУ-10 кВ.

$$S_{\text{Ш 10}} = S_{\text{макс.н.п}}$$

2.8.2 Определить мощность тягового трансформатора, выбирать тяговый трансформатор по условию, представленному формулой:

$$S_{\text{ном.т.}} \geq \frac{S_{\text{расч.110}}}{1,4 \cdot (n-1)}$$

где

n – количество устанавливаемых трансформаторов; исходя из требований резервирования устанавливаем два трансформатора, $n=2$.

$$S_{\text{ном.т.}} \geq$$

По итогам расчетов выбрать трансформатор. Его технические характеристики свести в таблицу 1.2.3.

Таблица 2.3 - Технические характеристики тягового трансформатора

Тип трансформатора	Uном, кВ			Схемы и группы соединения обмоток	Напряжение КЗ		
	ВН	СН	НН		ВС	ВН	СН

2.9 Определить мощность на шинах первичного напряжения подстанции с учетом транзита по формуле :

$$S_{тпс} = \left(n_t \cdot S_{ном.} + \sum_1^n S_{транз.} \right) \cdot K'p ;$$

где

$\sum_1^n S_{транз.}$ - сумма мощностей тяговых подстанции, питающихся транзитом через ОРУ – 110 кВ проектируемой тяговой подстанции

$K'p$ – коэффициент одновременности максимумов нагрузок проектируемой тяговой подстанции и питающихся от нее соседних подстанций, принимаемых равным 0,6-0,8, принимаем

$$K'p=0,8;$$

n_t – количество трансформаторов, устанавливаемых на тяговой подстанции, $n=2$.

ГЛАВА 3. Расчет максимальных рабочих токов

Расчеты максимальных рабочих токов сведены в таблицу 3.1

Таблица 3.1 - Расчёт максимальных рабочих токов

Наименование присоединений и сборных шин	Формула для расчета $I_{\text{раб. макс.}}$
Вводы №1 и №2	$\frac{K_{п.р.} \cdot S_{тпс}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}}$
Первичная обмотка тягового трансформатора	$\frac{K_{пер.} \cdot S_{ном. т.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном. 1}}$
Ввод ОРУ – 27,5 кВ	$\frac{S_{макс. тяг.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном. 2}}$
Сборные шины ОРУ – 27,5 кВ	$\frac{K_{н.р.} \cdot S_{ном. т.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном. 2}}$
Питающая линия (фидер) контактной сети Ф.1 Ф.2 Ф.3 Ф.4 Ф.5	По заданию
Линия ДПР – 25 кВ	$\frac{K_{п.р.} \cdot S_{дп.р.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}}$
Первичная обмотка ТСН	$\frac{K_{пер.} \cdot S_{ном. тсн}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном. 2}}$
Ввод РУ – 10 кВ	$\frac{K_{п.р.} \cdot S_{макс. нп10}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном. 3}}$
Сборные шины РУ – 10 кВ	$\frac{K_{п.р.} \cdot S_{макс. ш10}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном. 3}}$
Нетяговые потребители 10 кВ	$\frac{K_{п.р.} \cdot P_{макс.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.} \cdot \cos\varphi}$

В таблице приняты следующие обозначения:

$S_{тпс}$ – максимальная полная мощность тяговой подстанции, кВА;

$S_{ном.т.}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА;

$P_{макс.}$ – максимальная активная мощность потребителя, кВА;

$U_{ном.}$ – номинальное напряжение на вводах, сборных шинах подстанции, кВ;

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

$U_{ном.1}, U_{ном.2}, U_{ном.3}$ – номинальное напряжение первичной и вторичных обмоток трансформатора, кВ;

$K_{п.р.}$ – коэффициент перспективы развития тяговой подстанции и потребителя, равный 1,3;

$K_{пер.}$ – коэффициент допустимый перегрузки трансформатора, равный 1,4;

$K_{р.п.}$ – коэффициент распределения нагрузки по шинам распределительного устройства, принимаемым равным 0,5-0,7, принимаем $K_{р.п.}=0,7$;

$S_{макс.тяг.}$ – максимальная мощность тяговой нагрузки, кВА;

$S_{макс.нп10}$ – максимальная полная мощность на шинах нетяговой нагрузки, кВА;

$S_{дпр}$ – полная мощность потребителей, питающихся по линии ДПР – 25 кВ, кВА.

ГЛАВА 4. Расчет параметров короткого замыкания

4.1 Вычислить относительные базисные сопротивления для максимального режима

4.2 Составить расчетную схему цепи КЗ для максимального режима

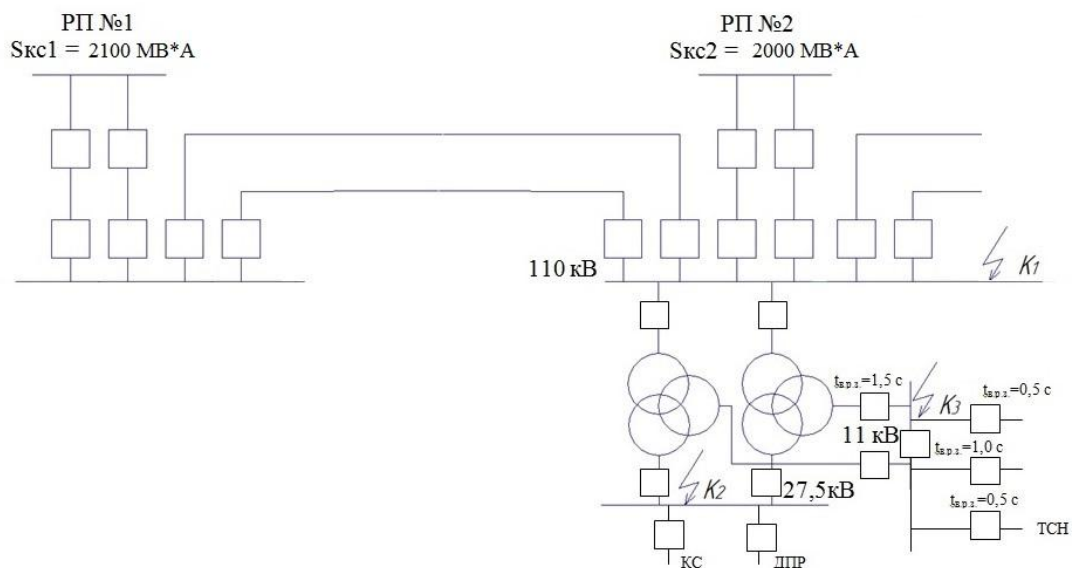
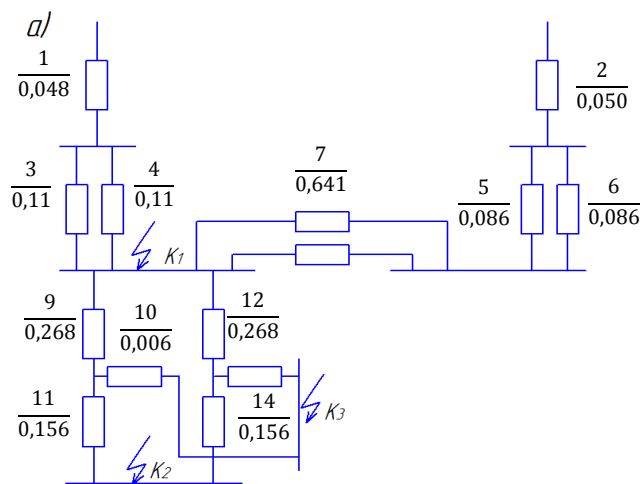
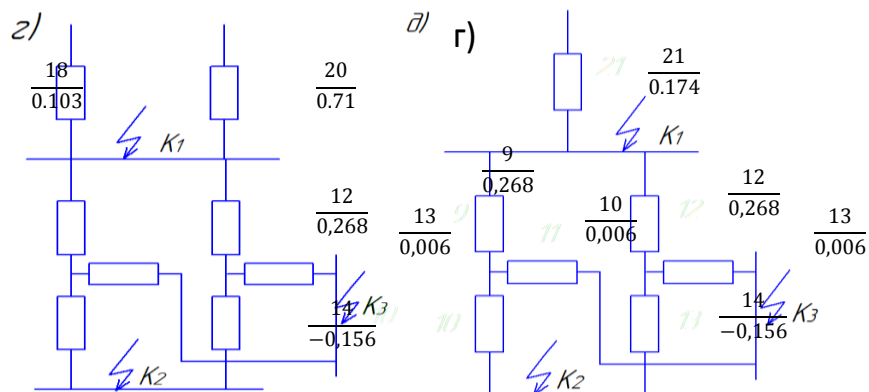
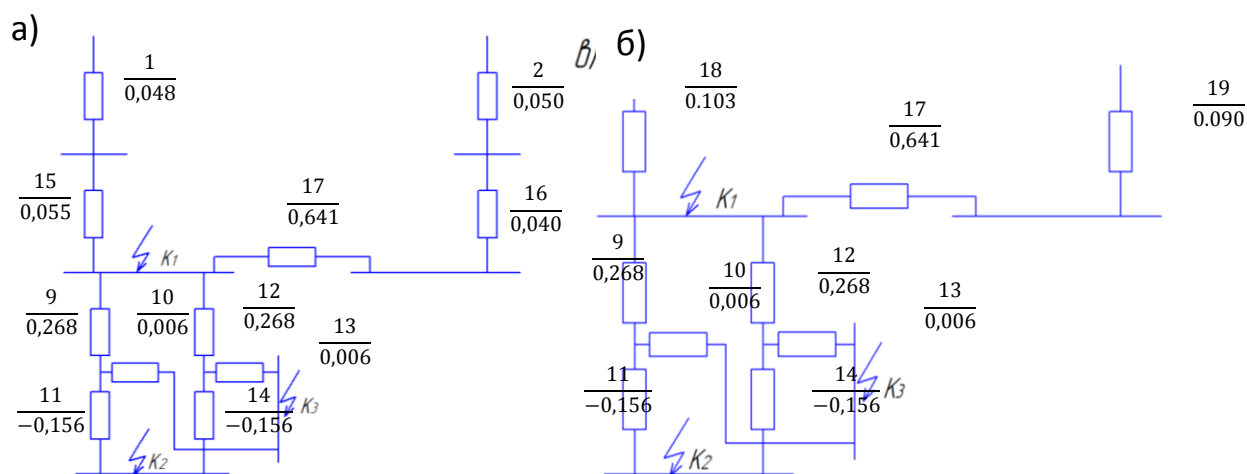


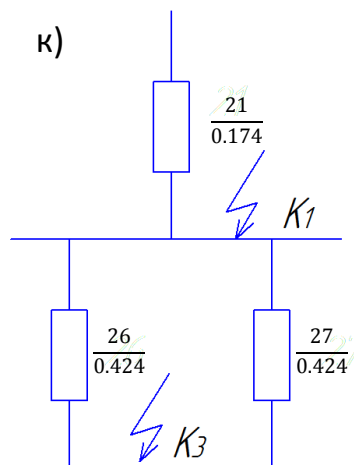
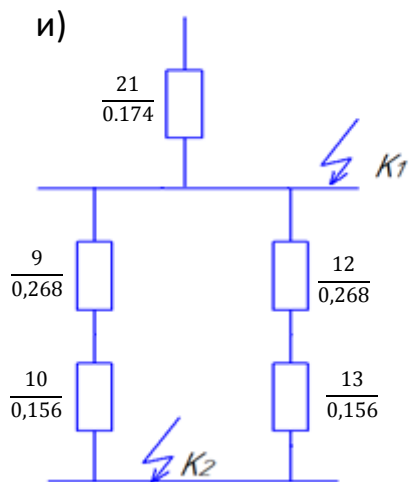
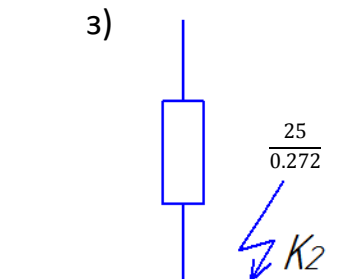
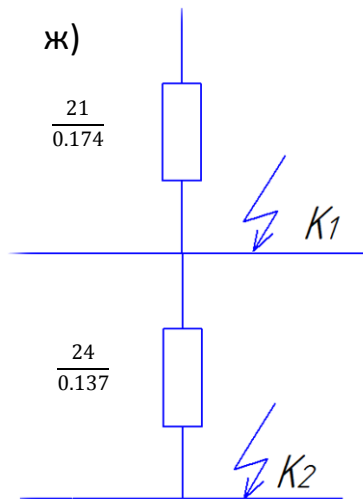
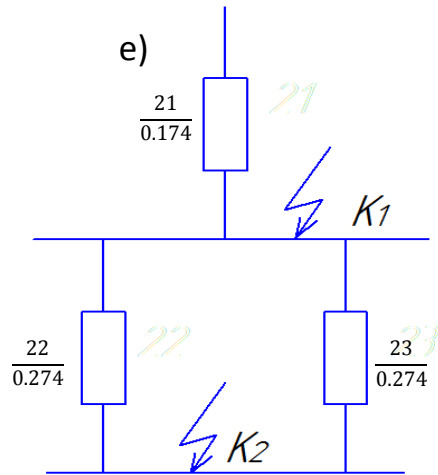
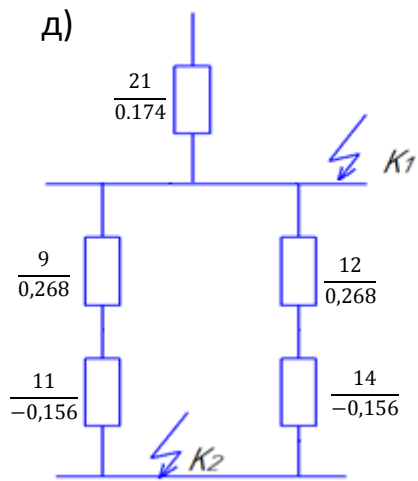
Рисунок 4.1 - Расчетная схема цепи КЗ для максимального режима

4.3. Составить схемы замещения и преобразования



исунок 4.2 - Схема замещения для максимального режима





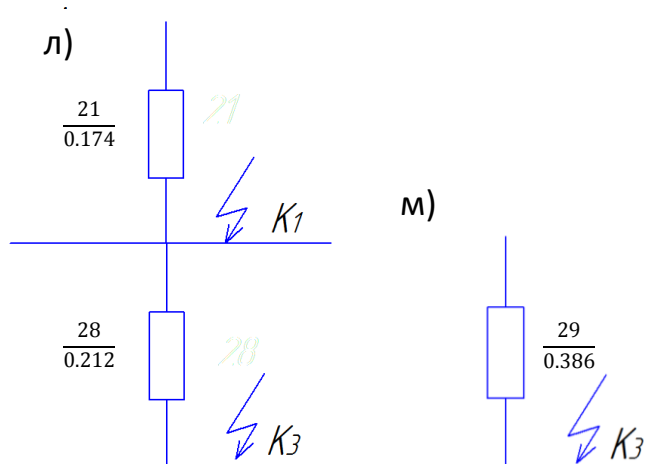


Рисунок 4.3 - Схемы преобразования

4.4 Вычислить относительные базисные сопротивления согласно схемам замещения и преобразования для максимального режима

По схеме замещения рис. 4.2

Принимаем базисную мощность $S_{\text{б}} = \text{MVA}$

$$X_{*61} = \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{ксл}}};$$

Относительные сопротивления линий

$$X_{*63} = X_{*64} = X_0 \cdot l_1 \cdot \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{ср}}^2};$$

$$X_{*65} = X_{*66} = X_0 \cdot l_2 \cdot \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{ср}}^2};$$

$$X_{*67} = X_{*68} = X_0 \cdot \sum l \cdot \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{ср}}^2};$$

Расчетные значения напряжений короткого замыкания обмоток понижающих трансформаторов

$$U_{к.в.} = 0,5 (U_{к.в.-с} + U_{к.в.-н} - U_{к.н.-с});$$

$$U_{к.с.} = 0,5 (U_{к.в.-с} + U_{к.с.-н} - U_{к.в.-н});$$

$$U_{к.н.} = 0,5 (U_{к.в.-н} + U_{к.с.-н} - U_{к.в.-с});$$

Относительные сопротивления обмоток понижающих трансформаторов

$$X_{*69} = X_{*612} = \frac{U_{к.в.}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{НОМ.Т.}} ;$$

$$X_{*610} = X_{*613} = \frac{U_{к.с.}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{НОМ.Т.}} ;$$

$$X_{*611} = X_{*614} = \frac{U_{к.н.}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{НОМ.Т.}} ;$$

По схеме преобразования рис. 4.3 «а»

$$X_{*615} = \frac{X_{*63}}{2} ;$$

$$X_{*616} = \frac{X_{*65}}{2} ;$$

$$X_{*617} = \frac{X_{*67}}{2} ;$$

По схеме преобразования рис. 4.3 «б»

$$X_{*618} = X_{*61} + X_{*615} ;$$

$$X_{*619} = X_{*62} + X_{*616} ;$$

По схеме преобразования рис. 4.3 «в»

$$X_{*620} = \frac{X_{*617} \cdot X_{*619}}{X_{*617} + X_{*619}} ;$$

По схеме замещения рис. 4.3 «г»

$$X_{*621} = X_{*620} + X_{*618} ;$$
$$X_{*6к1} ;$$

По схеме замещения рис. 4.3 «д-е»

$$X_{*622} = X_{*623} = X_{*69} + X_{*613} ;$$

По схеме замещения рис. 4.3 «ж»

$$X_{*624} = \frac{X_{*622}}{2} ;$$

По схемам замещения рис. 4.3 «з»

$$X_{*625} = X_{*621} + X_{*624} ;$$
$$X_{*6к2} ;$$

По схемам замещения рис. 4.3 «и-к»

$$X_{*626} = X_{*627} = X_{*69} + X_{*611} ;$$

По схеме замещения рис. 4.3 «л»

$$X_{*628} = \frac{X_{*626}}{2} ;$$

По схемам замещения рис. 4.3 «м»

$$X_{*629} = X_{*621} + X_{*628} ;$$

$$X_{*6K3} ;$$

4.5 Составить расчетную схему цепи КЗ для минимального режима

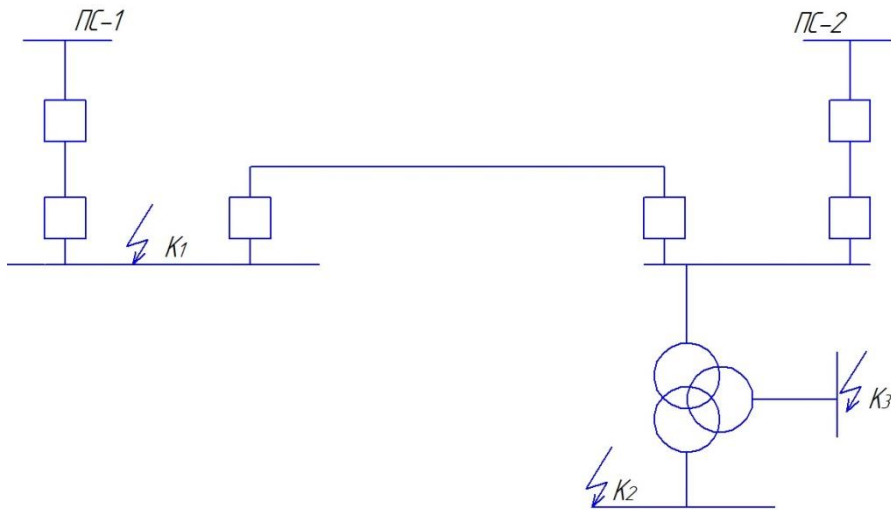


Рисунок 4.4 - Расчетная схема цепи КЗ для минимального режима

Составить схемы замещения и преобразования

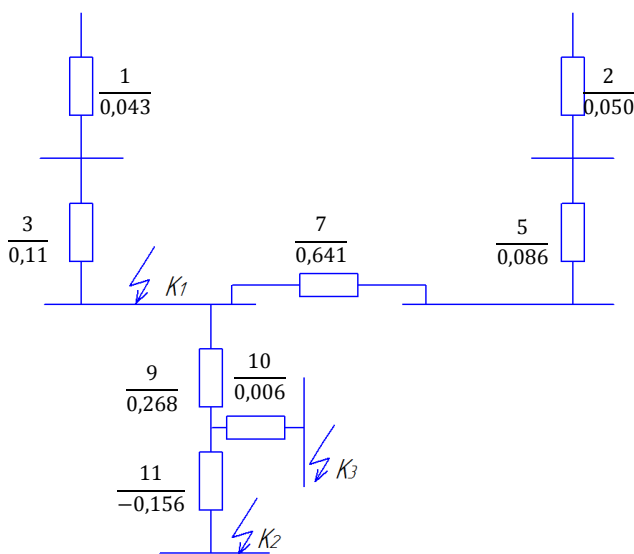


Рисунок 4.5 - Схема замещения

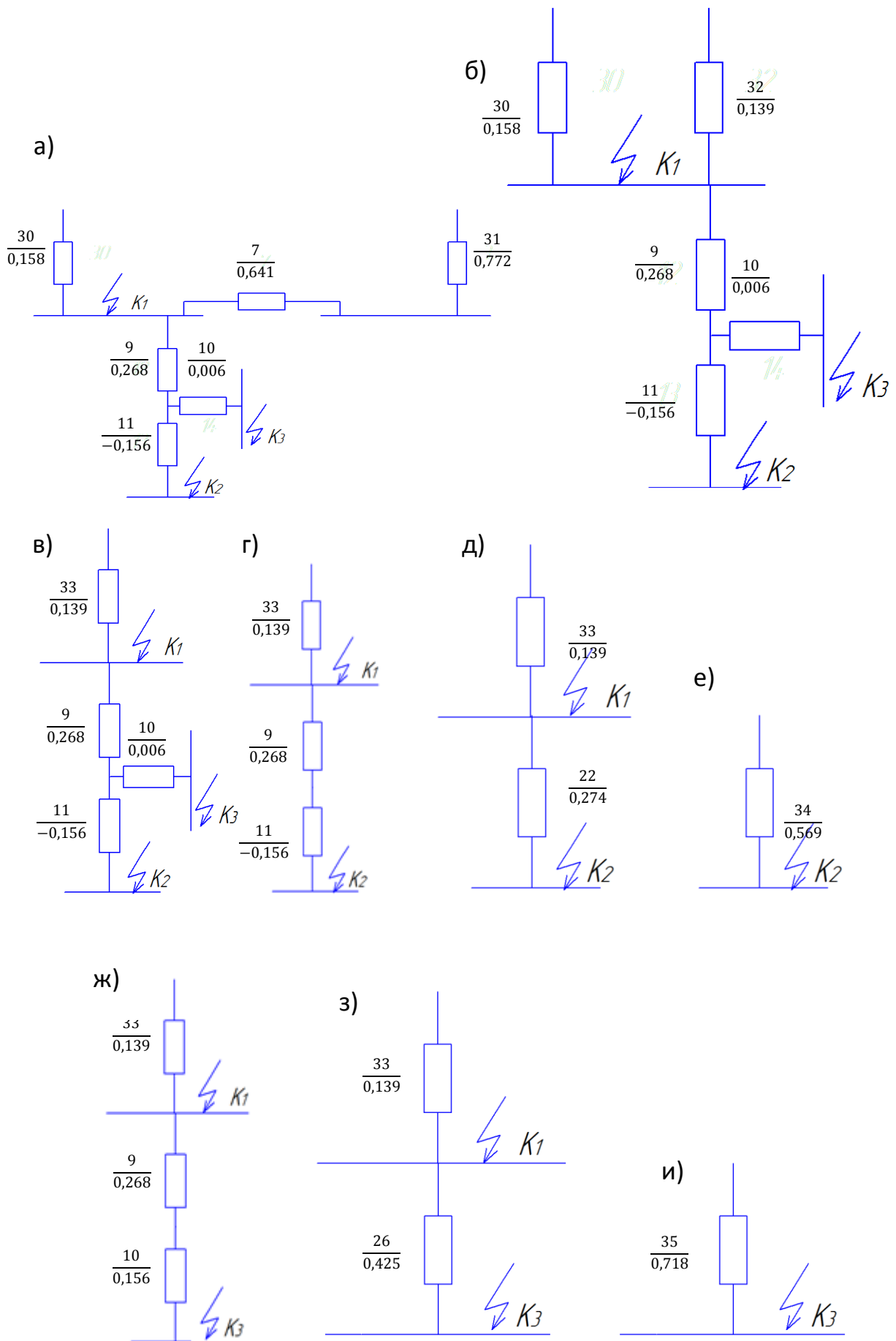


Рисунок 4.6 - Схемы замещения и преобразования

4.6 Вычислить относительные базисные сопротивления согласно схемам замещения и преобразования для минимального режима

По схеме замещения рис. 4.6, а

$$X_{*630} = X_{*61} + X_{*63} ;$$

$$X_{*631} = X_{*62} + X_{*65} + X_{*67} ;$$

По схеме замещения рис. 4.6, б

$$X_{*632} = \frac{X_{*630} \cdot X_{*631}}{X_{*630} + X_{*631}} ;$$

По схеме замещения рис. 4.6, в

$$X_{*633} = X_{*632} + X_{*614} ;$$

$$X_{*6к1} ;$$

По схеме замещения рис. 4.6, г-д

$$X_{*622} = X_{*69} + X_{*610} ;$$

По схеме замещения рис. 4.6, е

$$X_{*634} = X_{*622} + X_{*633} ;$$

$$X_{*6к2} ;$$

По схемам замещения рис. 4.6, ж-з

$$X_{*626} = X_{*69} + X_{*611} ;$$

По схемам замещения рис. 4.6, и

$$X_{*635} = X_{*626} + X_{*633} ;$$

$$X_{*6к3} = X_{*635} ;$$

4.7 Относительные сопротивления, соответствующие максимальным и минимальным токам короткого замыкания свести в таблицу 4.1

Таблица 4.1 - Относительные базисные сопротивления для значений токов КЗ

Токи КЗ	Относительные базисные сопротивления, соответствующие токам КЗ	
	максимальным	Минимальным
К1		
К2		
К3		

1.3.3 Рассчитать мощности и токи короткого замыкания в точках К₁, К₂, К₃

Результаты расчета сводим в таблицу 4.2

Таблица 4.2 - Расчет мощности и токов короткого замыкания

Точки КЗ	Расчетные формулы	Максимальные мощности и токи КЗ	Минимальные мощности и токи КЗ
К1	$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} U_{cp}}$ $I_K = \frac{I_{\sigma}}{X_{*\sigma.k1}}$ $i_y = 2,55 \cdot I_K$ $I_y = 1,52 \cdot I_K$ $S_K = \frac{S_{\sigma}}{X_{*\sigma.k1}}$		
К2	$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} U_{cp}}$ $I_K = \frac{I_{\sigma}}{X_{*\sigma.k2}}$ $i_y = 2,55 \cdot I_K$ $I_y = 1,52 \cdot I_K$ $S_K = \frac{S_{\sigma}}{X_{*\sigma.k2}}$		

КЗ	$I_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} U_{cp}}$ $I_K = \frac{I_{\delta}}{X_{*\delta,кз}}$ $i_y = 2,55 \cdot I_K$ $I_y = 1,52 \cdot I_K$ $S_K = \frac{S_{\delta}}{X_{*\delta,кз}}$		
----	---	--	--

4.8 Определить тепловой импульс

4.8.1 Установить выдержки времени релейных защит присоединений тяговой подстанции:

- фидер контактной сети – 0 с.;
- фидер ДПР и вводе ТСН – 0,5 с.;
- ввод ОРУ-27,5 кВ – 1,0 с.;
- питающая линия не тягового потребителя - 0,5 с.;
- сборные шины РУ-10 кВ (секционный выключатель) – 1,0 с.;
- ввод РУ-10кВ – 1,5 с.;
- ввод РУ – 110 кВ – 3,0 с.

4.8.2 Определить тепловой импульс тока короткого замыкания по формуле:

$$W_K = I_K^2 \cdot (t_{откл} + T_a);$$

где

T_a – постоянное время затухания апериодической составляющей короткого замыкания, принимаем $T_a = 0,05$ с.;

$t_{откл}$ – полное время отключения тока короткого замыкания, состоит из трех частей

$$t_{откл} = t_{в.р.з.} + t_{с.р.} + t_{с.в.};$$

где

$t_{в.р.з.}$ - выдержка времени срабатывания релейной защиты;
 $t_{с.р.}$ – собственное время срабатывания релейной защиты,
 принимаем $t_{с.р.} = 0,1$ с.;
 $t_{с.в.}$ – собственное время отключения с приводом, принимаем
 $t_{с.в.} = 0,08$ с.

$$W_k = I_k^2 \cdot (t_{в.р.з.} + t_{с.р.} + t_{с.в.} + T_a);$$

Расчеты теплового импульса сводим в таблицу 4.3

Таблица 43 - Расчет теплового импульса

Точки короткого замыкания	Время отключения $t_{откл} = t_{в.р.з.} + t_{с.р.} + t_{с.в.}$	Тепловой импульс $W_k = I_k^2 \cdot (t_{откл} + T_a)$
K_1'		
K_2		
K_2'		
K_2''		
K_2'''		
K_3		
K_3'		

4.9 Расчет токов короткого замыкания в тяговой сети

При расчете токов КЗ в тяговой сети учитываем индуктивные и активные сопротивления петли «контактная подвеска - рельс».

При вычислении относительного сопротивления тяговой сети используем понятие «условной фазы», сопротивление которой равно полусумме сопротивлений контактной подвески и тяговых рельсов.

4.10 Определить результирующее относительные сопротивление до точки КЗ по формуле:

$$Z_{*\Sigma} = \left(\sqrt{x_{*б.с.}} + \frac{X_{*б.гр.}}{n} + 0,5 \cdot x_{*б.тс.} \right)^2 + (0,5 \cdot r_{*б.тс.})^2 ;$$

где

$X_{*б.с.}$ – относительное индуктивное сопротивление энергосистемы до первичных вводов трансформатора подстанции в рассчитываемом режиме максимума или минимума;

$X_{*б.тр.}$ - относительное индуктивное сопротивление тягового трансформатора подстанции;

n – количество тяговых трансформаторов при расчете минимальных токов КЗ $n=1$

4.11 Вычислить относительное индуктивное сопротивление и относительное активное сопротивление тяговой сети по формулам:

$$x_{*б.тс.} = x_{0тс.} \cdot L \cdot \frac{Sб.}{U_{ср.}^2} ;$$

$$r_{*б.тс.} = r_{0тс.} \cdot L \cdot \frac{Sб.}{U_{ср.}^2} ;$$

где

$U_{ср.}$ – среднее расчетное напряжение тяговой сети, равное 26,2 кВ;

L – расстояние до точки КЗ, до поста секционирования, равное 25 км;

$Sб.$ – базисная мощность, равная 100 МВА;

$x_{0тс.}$ и $r_{0тс.}$ - индуктивное и активное сопротивления 1 км тяговой сети.

Принять удельные сопротивления тяговой сети ($x_{0тс.}, r_{0тс.}, Z_{0тс.}$) при различных режимах работы для контактной подвески ПБСМ –95 + МФ – 100 и рельсов Р65 Ом/км, по справочнику. Данные сводим в таблицу 4.4

Таблица 4.4 - Удельные сопротивления тяговой сети.

Провода контактной	r21	x21	z21	r22	x22	z22

В таблице приняты следующие обозначения сопротивлений:

r_{21}, x_{21}, z_{21} – для одного двухпутного участка при отключенной контактной подвеске смежного пути;

r_{22}, x_{22}, z_{22} – для одного двухпутного участка при равномерных и одинаково направленных токах в подвесках смежных путей.

$$x_{*б.тс.} =$$

$$x_{*б.тс.} =$$

Для максимального режима:

$$z_{*\Sigma} = \sqrt{(x_{*б.к.2} + 0,5 \cdot x_{*б.тс.})^2 + (0,5 \cdot x_{*б.тс.})^2};$$

Для минимального режима:

$$z_{*\Sigma} = \sqrt{(x_{*б.к.2} + 0,5 \cdot x_{*б.тс.})^2 + (0,5 \cdot x_{*б.тс.})^2};$$

Рассчитать ток двухфазного КЗ в тяговой сети по формуле:

$$I_K^2 = \frac{S_б}{2 \cdot U_{ср} \cdot z_{*\Sigma}} ;$$

где

$U_{ср}$ – среднее расчетного напряжения равное 26,2кВ.

Максимальный ток двухфазного КЗ

$$I_{к.макс.}^2 = \frac{S_б}{2 \cdot U_{ср} \cdot z_{*\Sigma}} ;$$

Минимальный ток двухфазного КЗ

$$I_{к.мин.}^2 = \frac{Sб}{2 \cdot U_{ср.} \cdot z_{*\Sigma}};$$

ГЛАВА 5 Выбор токоведущих частей и электрического оборудования подстанций

5 Выбор и проверка сборных шин распределительных устройств

5.1 Выбор и проверка шин ОРУ-110 кВ

5.1.1 Выбрать сборные шины ОРУ-110 кВ по формуле:

$$I_{доп} \geq I_{раб.макс},$$

где

$I_{доп}$ - длительно допустимый ток для выбранной токоведущей части, по каталогу, А;

$I_{раб.макс}$ - максимальный рабочий ток шин, А.

Для $I_{раб.макс}$ = по каталогу выбираем три сталеалюминевых провода марки АС-185с длительно допустимым током 510 А

$$I_{доп} \geq I_{раб.макс}$$

5.1.2 Проверить выбранный провод на термическую стойкость по условию представленному формулой:

$$Q_{выбр} \geq Q_{мин};$$

где

$Q_{выбр}$ - выбранное сечение шин, мм²;

$Q_{мин}$ - минимальное сечение шин, мм², вычисляем по формуле:

$$Q_{мин} = \frac{\sqrt{B_k}}{c};$$

где

B_k – тепловой импульс тока короткого замыкания для расчетной точки, А;

c - коэффициент, учитывающий максимальное допустимое время и время нормального режима; принимаем по таблице справочника для алюминиевых шин $c=0,088 \frac{\text{кА} \cdot \text{с}^{\frac{1}{2}}}{\text{мм}^2}$.

>

Шины термически устойчивы.

5.1.3 Проверить токоведущие части на отсутствие коронирования по условию представленному формулой:

$$0,9 \cdot E_0 \geq E;$$

где

E – напряженность электрического поля около поверхности провода, кВ/см;

E_0 – максимальное значение критической напряженности, при котором возникает коронный разряд. Вычисляем по формуле:

$$E_0 = 30,3 \cdot m \left(1 + \frac{0,299}{\sqrt{r_{\text{пр}}}} \right);$$

где

m – коэффициент, учитывающий негладкость поверхности провода, равный 0,82;

$r_{\text{пр}}$ – радиус провода, для выбранных шин равен 19 см.

$$E_0 =$$

$$E = \frac{0,354 \cdot U}{r_{\text{пр}} \cdot \lg \frac{D_{\text{ср}}}{r_{\text{пр}}}};$$

где

U - линейное напряжение, кВ;

$D_{\text{ср}}$ - среднее геометрическое расстояние между проводами фаз, см.

Расстояние между соседними фазами сборных шин и ошиновки при напряжении 110 кВ=300 см.

$$D_{\text{ср}} = \sqrt[3]{D_{\text{AB}} \cdot D_{\text{BC}} \cdot D_{\text{AC}}} = \sqrt[3]{D \cdot D \cdot 2D} = \sqrt[3]{2D^3} = \sqrt[3]{2} \cdot D;$$

5.1.4 Выбрать и проверить шины распределительного устройства ОРУ-27,5 кВ

5.1.5 Выбрать провода для гибких шин по условию, представленному формулой

Для $I_{\text{раб.макс}}$ по каталогу выбираем два провода марки АС-240 с допустимым током 610 А.

5.1.3 Проверить выбранные шины на термическую стойкость по условию, представленному формулой

5.1.4 Проверить токоведущие части на отсутствие коронирования по условию, представленному формулой

Максимальное значение критической напряженности, при которой возникает коронный разряд

Среднее геометрическое расстояние между проводами фаз принимаем для напряжения 27,5 кВ $D=1,5$ м = 150 см.

5.2 Выбор и проверка сборных шин ЗРУ-10 кВ

5.2.1 Выбрать сборные шины ЗРУ-10 кВ по условию, представленному формулой (1.5.1)

Для $I_{\text{раб.макс}}=A$ по каталогу выбираем алюминиевые шины прямоугольного сечения А-60×6 (высота $h=60$ мм, ширина $b=6$ мм) с допустимым током 870 А.

5.2.3 Проверить выбранные шины на термическую стойкость по условию, представленному формулой

5.2.4 Проверить сборные шины на электродинамическую прочность по условию, представленному формулой:

$$\delta_{\text{расч}} \leq \delta_{\text{доп}}$$

где

$\delta_{\text{доп}}$ - допустимое механическое напряжение в материале шин, МПа;
принимается для алюминиевых шин по справочнику $\delta_{\text{доп}} = 80$ МПа;

$\delta_{\text{расч}}$ – расчетное механическое напряжение в материале шин, МПа;
расстояние между опорными изоляторами: $l = 1,25$ м;
расстояние между осями шин фаз: $a = 0,35$ м.

$$\delta_{\text{расч}} = \frac{M}{W_n} \cdot 10^{-6};$$

где M – изгибающий момент.

5.2.5 Усилие, действующее на шину по длине пролета определяем по формуле:

$$F = 1,76 \cdot i_y^2 \cdot \frac{l}{a} \cdot 10^{-1};$$

где i_y - ударный ток КЗ, по расчету $i_{y,3} = 40,42$ кА.

5.2.6 Изгибающий момент определяем по формуле:

$$M = \frac{F \cdot l}{10};$$

Так как токи КЗ очень велики, располагаем шины плашмя и определяем момент сопротивления шин.

5.2.7 Момент при расположении шин плашмя определяем по формуле :

$$W_n = \frac{b \cdot h^2}{6} \cdot 10^{-9};$$

5.2.8 Вычислить расчетное напряжение в материале шин при расположении плашмя

5.3 Выбор и проверка изоляторов

5.3.1 Выбор и проверка изоляторов для ОРУ-110 кВ

Выбрать подвесные изоляторы для крепления гибких шин ОРУ-110 кВ по условию представленному формулой:

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{раб}},$$

где

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

$U_{\text{раб}}$ - рабочее напряжение изолятора, кВ.

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

Выбрать гирлянды из девяти подвесных изоляторов типа ПС-70

5.3.2 Выбор и проверка изоляторов ОРУ-27,5 кВ

Выбрать подвесные изоляторы для крепления гибких шин ОРУ-27,5 кВ по условию представленному формулой

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{раб}}$$

Принимаем гирлянды из 3 подвесных изоляторов типа ПС-70

5.3.3 Выбор и проверка изоляторов ЗРУ-10 кВ

5.4. Выбрать опорные изоляторы для крепления жестких шин ЗРУ-10 кВ по условию представленному формулой:

$$U_{\text{ном}} = U_{\text{раб}}$$

Выбрать опорные изоляторы типа ИО-10-7,5 на номинальное напряжение 10 кВ с разрушающей нагрузкой 7500 Н.

5.5 Проверить выбранные изоляторы на электродинамическую стойкость по условию представленному формулой:

$$F_{\text{расч}} \leq 0,6F_{\text{разр}};$$

где

$F_{\text{расч}}$ – наибольшая расчетная нагрузка, действующая на изолятор при коротком замыкании, Н;

$F_{\text{разр}}$ – разрушающая нагрузка на изгиб изолятора, действующая на изолятор при коротком замыкании .

$$F_{\text{расч}} = 1,76 \cdot i_y^2 \cdot \frac{l}{a} \cdot 10^{-1};$$

где

i_y - ударный ток трехфазного короткого замыкания, кА;

l - расстояние между соседними опорными изоляторами, $l = 1,25$ м;

a – расстояние между осями шин соседних фаз, $a=0,35$ м.

Выбранные изоляторы удовлетворяют условию.

5.6 Выбор и проверка выключателей

5.6.1 Выбрать выключатели для ОРУ-110 кВ, ОРУ-27,5 кВ, РУ-10 кВ
Условия выбора и проверки выключателей сводим в таблицу 5.1

Таблица 5.1 - Условия выбора выключателей для РУ

Характеристика условий выбора и проверки	Формула
По конструктивному выполнению и месту установки (наружная или внутренняя)	-
По номинальному напряжению	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{раб}}$
По номинальному току	$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{раб.макс}}$
По отключающей способности (по номинальному периодическому току отключения)	$I_{\text{ном.откл}} \geq I_{\text{кз}}$
На электродинамическую стойкость: - по предельному периодическому току КЗ; - по ударному току КЗ	$I_{\text{пр.с}} \geq I_{\text{кз}}$ $i_{\text{пр.с}} \geq i_{\text{у}}$
На термическую стойкость	$I_m^2 * t_m \geq B_k$

В таблице приняты следующие обозначения:

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

$U_{\text{раб}}$ - рабочее напряжение на шинах подстанции, кВ;

$I_{\text{ном}}$ - номинальный ток аппарата, А;

$I_{\text{раб.макс}}$ - максимальный рабочий ток присоединения, А;

$I_{\text{ном.откл}}$ - номинальный ток отключения выключателя, кА;

$I_{\text{кз}}$ - максимальный ток трехфазного КЗ, который предстоит отключить выключателю по расчету, кА

$I_{\text{пр.с}}$ - действительное (эффективное) значение периодической составляющей предельного сквозного тока КЗ по каталогу, кА;

$i_{\text{пр.с}}$ - амплитудное значение периодического сквозного тока КЗ по каталогу, кА;

$i_{\text{у}}$ - ударный ток КЗ, по расчету, кА;

I_m - предельный ток термической стойкости, по каталогу, кА;

t_m - время протекания тока термической стойкости, по каталогу, сек;

B_k - тепловой импульс тока КЗ по расчету, $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$

5.6.2 Выбрать и проверить выключатели

5.7 Выбрать и проверить разъединители

5.7.1 Условия выбора и проверки разъединителей для ОРУ-110 кВ, ОРУ-27,5 кВ, РУ-10 кВ сводим в таблицу 5.2

Таблица 5.2 - Условия для выбора разъединителей для РУ

Характеристика условий выбора и проверки	Формула
По конструктивному выполнению и месту установки (наружная или внутренняя)	-
По номинальному напряжению	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{раб}}$
По номинальному току	$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{раб.макс}}$
На электродинамическую стойкость	$I_{\text{пр.с.}} \geq i_y$
На термическую стойкость	$I_{\text{т}^2} \cdot t_{\text{т}} \geq B_{\text{к}}$

5.7.2 Выбор и проверку разъединителей ОРУ-110 кВ, ОРУ-27,5 кВ, РУ-10 кВ сводим в таблицу.

5.8 Выбор и проверка измерительных трансформаторов тока

5.8.1 Условия выбора трансформаторов тока ОРУ-110 кВ, ОРУ-27,5 кВ и РУ-10 кВ сводим в таблицу 5.4

Таблица 5.4 - Условия выбора трансформаторов тока

Характеристика условий выбора и проверки	Формула
По конструктивному выполнению и месту установки (наружная или внутренняя)	-
По номинальному напряжению	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{раб}}$
По номинальному току	$I_{\text{ном1}} \geq I_{\text{раб.макс}}$
На электродинамическую стойкость (отдельно стоящие трансформаторы кроме шинных)	$\sqrt{2I_{\text{ном1}}} * K_d \geq i_y$
Характеристика условий выбора и проверки	Формула
На термическую стойкость (отдельно стоящие трансформаторы кроме шинных)	$I_m^2 * t_m \geq B_{\text{к}}$
По классу точности	-
По нагрузке вторичных цепей	$Z_{\text{ном2}} \geq Z_2$

В таблице приняты следующие обозначения:

$U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение аппарата, кВ;

5.8.3 Проверить трансформатор типа ТПЛ-10-0,5/Р-200/5-У3 на присоединении потребителя «Сельскохозяйственные потребители» на соответствие данному классу точности 0,5 по наиболее загруженной обмотке трансформатора тока фазы А согласно расчетной схеме, показанной на рисунке 5.1, по условию представленному формулой :

$$Z_{\text{НОМ2}} \geq Z_2;$$

где

$Z_{\text{НОМ2}}$ - номинальная допустимая нагрузка проверяемой обмотки трансформатора тока в выбранном классе точности (по каталогу), Ом;

Z_2 – вторичная нагрузка, присоединенная к проверяемой обмотке трансформатора тока (по расчету), Ом.

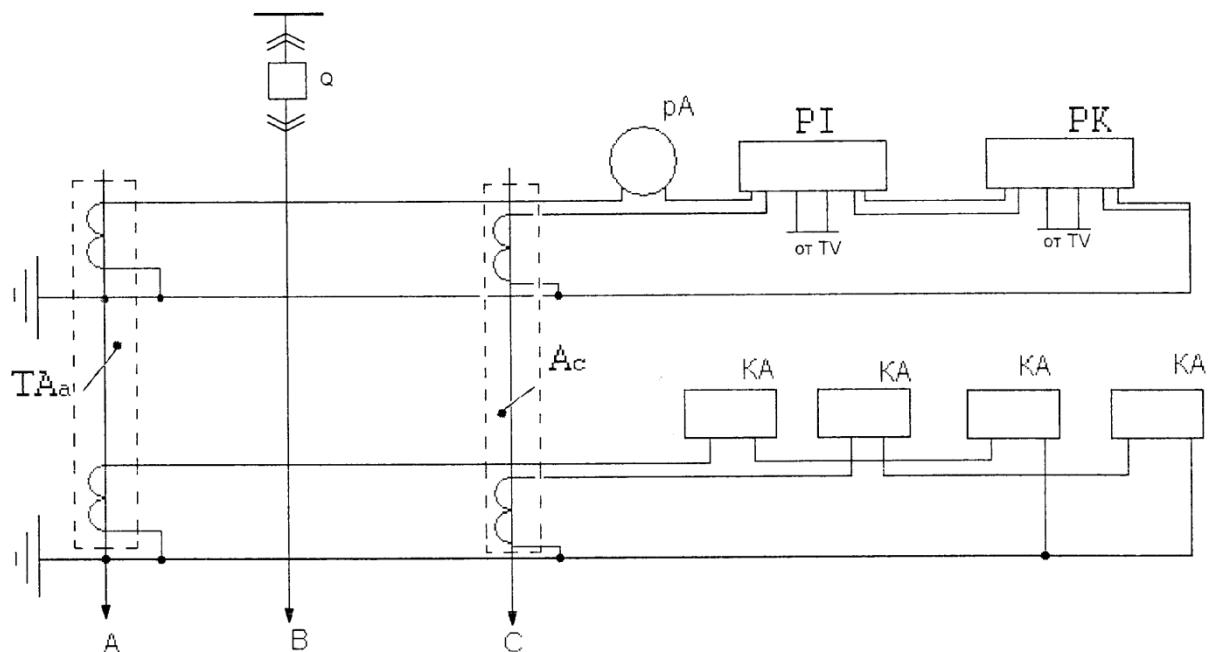


Рисунок 5.1 - Расчетная схема для проверки трансформатора тока ТПЛ

Определить вторичную расчетную нагрузку присоединенной к проводам обмотки

$$Z_{2\text{расч}} = Z_{\text{рА}} + Z_{\text{рІ}} + Z_{\text{рК}} + Z_{\text{конт}} + Z_{\text{пров}};$$

где

$Z_{\text{рА}}$ – сопротивление одного амперметра, $Z_{\text{рА}} = 0,02$ Ом;

$Z_{\text{рІ}}$ – сопротивление одного счетчика активной энергии, $Z_{\text{рІ}} = 0,01$ Ом;

$Z_{\text{рК}}$ – сопротивление одного счетчика реактивной энергии, $Z_{\text{рК}} = 0,01$ Ом;

$Z_{\text{конт}}$ – сопротивление переходных контактов; принимаем $Z_{\text{конт}} = 0,1$ Ом;

$Z_{\text{пров}}$ – сопротивление соединительных проводов, определяемое по формуле:

$$Z_{\text{пров}} = \frac{l_{\text{расч}}}{\gamma_a * q_{\text{пров}}};$$

где

$l_{\text{расч}}$ - расчетная длина соединительных проводов. Для схемы соединения обмоток трансформатора тока «неполная звезда» $l_{\text{расч}} = \sqrt{3} * l$; принимаем расстояние между трансформатором тока и местом установки приборов $l = 5$ м;

γ_a - удельная проводимость алюминиевого провода (по справочнику), $\gamma_a = 32$;

$q_{\text{пров}}$ - сечение проводов; для алюминиевых проводов $q_{\text{пров}} = 4 \text{ мм}^2$.

Рассчитать сопротивление соединительных проводов

5.9 Выбор и проверка трансформаторов напряжения для ОРУ-110 кВ, ОРУ-27,5 кВ и РУ-10 кВ

5.9.1 Выбрать трансформатор напряжения по условию представленному формулой:

$$U_{\text{ном1}} \geq U_{\text{раб}};$$

где

$U_{\text{ном1}}$ – номинальное первичное напряжение трансформатора, кВ;

$U_{\text{раб}}$ – рабочее напряжение на шинах подстанции, кВ.

5.10 Для ОРУ-110 кВ выбираем трансформатор напряжения типа НКФ-110-57У1

5.10.1 Для ОРУ-27,5 кВ выбираем трансформатор напряжения типа ЗНОМ-35-65У1

5.10.2 Для РУ-10 кВ выбираем трансформатор напряжения типа НТМИ-10-66У3

Параметры выбранных трансформаторов сводим в таблицу 5.6

Таблица 5.6 - Параметры трансформаторов напряжения

Тип трансформатора	Напряжение, В			Номинальная мощность, ВА в классе точности			Предельная мощность, ВА	Схема и группа соединения обмоток
	Первичное	Вторичное	Дополнительная обмотка	0,5	1	3		
НКФ-110-57-У1	$\frac{110000}{\sqrt{3}}$	$\frac{100}{\sqrt{3}}$	100	400	600	1200	2000	I/I-0
ЗНОМ-35-65-У1	27500	100	127	150	250	600	1200	I/I-0
НТМИ-10-60	10000	100	100	120	200	500	960	Y/Y-0

5.11 Проверить трансформатор напряжения на соответствие классу точности согласно расчетной схеме по условию представленному формулой:

$$S_{\text{ном2}} \geq S_{\text{расч.2}};$$

где

$S_{\text{ном2}}$ - номинальная мощность вторичной обмотки трансформатора в соответствующем классе точности, ВА;

$S_{\text{расч.2}}$ - мощность, потребляемая измерительными приборами и реле, подключенными к трансформатору, ВА.

Полная мощность потребляемая измерительными приборами и реле, подключенными к трансформатору напряжения рассчитывается по формуле:

$$S_{\text{расч.2}} = \sqrt{\sum P_{\text{приб.}}^2 + \sum Q_{\text{приб.}}^2};$$

где

$\sum P_{\text{приб.}}$, $\sum Q_{\text{приб.}}$ - суммарные активная и реактивные мощности приборов, подключенных к трансформатору.

5.12 Проверить трансформатор напряжения типа ЗНОМ-35 на соответствие классу точности согласно расчетной схеме, показанной на рисунке 5.2

Условия проверки трансформатора напряжения на соответствие классу точности 0,5, необходимого для счетчиков денежного расчета удовлетворяются.

5.14 Выбор и проверка ограничителей перенапряжения

5.14.1 Выбрать ограничители перенапряжения по условию представленному формулой:

$$U_{\text{ном}} = U_{\text{раб}},$$

где

$U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение аппарата, кВ;

$U_{\text{раб}}$ – рабочее напряжение на шинах подстанции, кВ.

Выбор и проверку ограничителей перенапряжения сводим в таблицу

5.9

Таблица 5.9 Выбор и проверка ограничителей перенапряжения

Наименование РУ	Тип ОПН	Соотношение паспортных и расчетных данных
ОРУ-110 кВ		
ОРУ-27,5 кВ		
РУ-10 кВ		

ГЛАВА 6. Выбор типов и расчет релейной защиты

6.1 Выбор типов релейных защит

Типы релейных защит представлены в таблице 6.1

Таблица 6.1 - Типы релейных защит

Наименование присоединения	Тип защиты	Действие защиты
1	2	3
Тяговый трансформатор	Продольная дифференциальная токовая защита (без выдержки времени) Газовая двухступенчатая защита	На отключение, $t_{\text{в}}=0$ с. Первая ступень - на сигнал; Вторая ступень - на

	<p>Максимальная токовая защита с блокировкой по напряжению</p> <p>От перегрузки</p> <p>От перегрева трансформатора</p>	<p>отключение</p> <p>На отключение, $t_{в.}=2,0$ с.</p> <p>На сигнал</p> <p>На сигнал</p>
Ввод ОРУ-27,5 кВ	Максимальная токовая защита с блокировкой по напряжению	На отключение, $t_{в.}=0$ с.
Фидер контактной сети	<p>Дистанционная двухступенчатая защита, дополненная ускоренной токовой отсечкой и телеблокировкой:</p> <p>первая ступень защиты – ненаправленная дистанционная защита (без выдержки времени);</p> <p>ускоренная токовая защита;</p> <p>вторая ступень защиты – направленная дистанционная защита;</p> <p>УРОВ</p>	<p>На отключение, $t_{в.}=0$ с.</p> <p>На отключение, $t_{в.}=0$ с.</p> <p>На отключение, $t_{в.}=0,5$ с.</p> <p>На отключение, $t_{в.}=0$ с.</p>

Продолжение таблицы 6.1

1	2	3
Линия ДПР-25 кВ	<p>Двухступенчатая максимальная токовая защита:</p> <p>первая ступень;</p> <p>вторая ступень</p>	<p>На отключение, $t_{в.}=0$ с.</p> <p>На отключение, $t_{в.}=0,5$ с.</p>

Ввод РУ-10 кВ	Максимальная токовая защита с блокировкой по напряжению	На отключение, $t_{\text{в.}}=1,5$ с.
Сборные шины РУ-10 кВ	Токовая отсечка (с выдержкой времени)	На отключение, $t_{\text{в.}}=1$ с.
Трансформатор собственных нужд	Токовая отсечка	На отключение $t_{\text{в.}}=0$ с.
	Максимальная токовая защита	На отключение $t_{\text{в.}}=0,5$ с.
Линия нетяговых потребителей	Максимальная токовая защита	На отключение, $t_{\text{в.}}=0,5$ с.
	Токовая отсечка	На отключение, $t_{\text{в.}}=0$ с.
	Направленная защита нулевой последовательности	На сигнал

6.2 Расчет релейных защит

6.2.1 Защита тягового трансформатора

6.2.2 Расчет максимальной токовой защиты с блокировкой по напряжению 27,5 кВ

6.2.3 Вычислить ток срабатывания защиты и напряжение блокировки по формулам:

$$I_{\text{с.з.}} = \frac{K_{\text{н}} \cdot I_{\text{раб.макс.}}}{K_{\text{в}}};$$

$$U_{\text{с.з.}} = \frac{U_{\text{раб.мин.}}}{K_{\text{н}} \cdot K_{\text{в}}};$$

где

$K_{\text{н}}$ - коэффициент надежности, принимаемый равным 1,15-1,25, принимаем $K_{\text{н}}=1,15$;

$K_{\text{в}}$ – коэффициент возврата электромеханических реле, принимаем

$K_{\text{в}}=0,85$ – для реле тока;

$K_B = 1,2$ – для реле напряжения.

$$U_{\text{раб.мин.}} = 0,9 \cdot U_{\text{ном.}}, \text{ кВ}$$

6.2.3 Проверить чувствительность защиты по выражению представленному формулой:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.мин.}}^{(2)}}{I_{\text{с.з.}}};$$

где

$K_{\text{ч}}$ – коэффициент чувствительности, равный 1,5;

$I_{\text{к.мин.}}^{(2)}$ – минимальный ток двухфазного короткого замыкания, определяемый по формуле:

$$I_{\text{к.мин.}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\text{к.мин.}};$$

где $I_{\text{к.мин.}}$ – минимальный ток короткого замыкания, кА.

6.3 Рассчитать ток уставки срабатывания реле по формуле:

$$I_{\text{у.с.р.}} = \frac{K_{\text{сх}}}{K_I} \cdot I_{\text{с.з.}};$$

где

$K_{\text{сх}}$ – коэффициент схемы, при соединении обмоток трансформатора тока в «полную звезду», $K_{\text{сх}}=1$;

K_I – коэффициент трансформации трансформатора тока (по расчету)

6.4 Защита ввода ОРУ-27,5 кВ

6.5 Расчет максимальной токовой защиты с блокировкой по напряжению 27,5 кВ

6.5.1 Вычислить ток срабатывания защиты при работе одного трансформатора по формуле:

$$I_{с.з.(1)} = \frac{K_H \cdot I_{ном.т.}}{K_B};$$

где $I_{ном.т.}$ - номинальный ток тяговой обмотки (по расчету);

K_H - коэффициент надежности равный 1,15-1,25, принимаем $K_H = 1,15$;

K_B - коэффициент возврата, принимаем $K_B = 0,85$.

6.5.2 Вычислить ток срабатывания защиты при работе двух трансформаторов по формуле:

$$I_{с.з.(2)} = \frac{K_H \cdot I_{ном.т.}}{K_B};$$

6.5.3 Напряжение блокировки согласно расчету - $U_{с.з.} = 17,9$ кВ

6.5.4 Проверить чувствительность защиты по формуле :

Защита чувствительна так как:

6.5.5 Рассчитать токуставки срабатывания реле по формуле (1.6.6)

6.6 Дистанционная защита фидеров контактной сети

6.6.1 Расчет дистанционной двухступенчатой защиты, дополненной ускоренной токовой отсечкой и телеблокировкой

Первая ступень защиты - ненаправленная дистанционная защита без выдержки времени, защищающая 80-85% зоны "тяговая подстанция - пост секционирования" и посылающая сигнал на запуск телеблокировки.

6.6.2 Определить сопротивление срабатывания первой ступени защиты для двухпутного участка по формуле:

$$z_{с.з.1} = 0,8 \cdot l_1 \cdot z_{21};$$

где z_{21} – сопротивление одного километра петли «контактная подвеска – рельс» для одного пути двухпутного участка приотключенной контактной подвески смежного пути (по справочнику), Ом/км, для контактной подвески ПБСМ-95+МФ-100 и рельсов Р65 $z_{21} = 0,42$ Ом/км;

l_1 - расстояние между тяговой подстанцией и постом секционирования, равное половине расстояния между смежными тяговыми подстанциями, $l_1 = 25$ км.

6.6.3 Проверить селективность защиты по отношению к токам нагрузки по условию:

$$z_{с.з.1} \leq \frac{K_B \cdot U_{раб.мин} \cdot 10^3}{K_H \cdot I_{раб.макс}};$$

где K_B - коэффициент возврата электронного реле сопротивления, равный 0,9;

K_H - коэффициент надежности, принимаемый равным 1,2 – 1,3, принимаем $K_H = 1,25$;

$U_{\text{раб.мин}}$ - минимальное напряжение на шинах тяговой подстанции в нормальном режиме, $U_{\text{раб.мин}}=25$ кВ;

$I_{\text{раб.макс}}$ - максимальный ток питающей линии в нормальном режиме, А.

Для первого фидера контактной сети;

Для второго фидера контактной сети;

Для третьего фидера контактной сети;

Для четвертого фидера контактной сети;

Для пятого фидера контактной сети;

6.6.4 Вычислить максимальный ток, протекающий через защищаемый фидер от соседних подстанций (ток подпитки), при близком коротком замыкании на соседнем фидере по формуле:

$$I_{\text{к.макс. (подпитки)}} = \frac{0,5 \cdot U_{\text{НОМ}}}{2(z_{\text{с.2}} + \frac{z_{\text{м.2}}}{n_2}) + 0,5 \cdot z_{22} \cdot L};$$

где $U_{\text{НОМ}}$ - номинальное напряжение на шинах тяговой подстанции, кВ;

z_{22} - сопротивление одного километра петли «контактная подвеска – рельс» при параллельном соединении контактных подвесок обоих путей (по справочнику), Ом/км, для контактной подвески ПБСМ-95+МФ-100 и рельсов Р65 $z_{22}=0,55$ Ом/км;

L – расстояние между смежными тяговыми подстанциями, км;

$z_{\text{с.2}}$ – сопротивление фазы энергосистемы, приведенное к напряжению 27,5кВ, определяемое по формуле:

$$z_{\text{с.2}} = \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{к}}};$$

где $S_{\text{к}}$ - мощность короткого замыкания на шинах первичного напряжения тяговой подстанции в максимальном режиме (по расчету)

$z_{\text{м.2}}$ – сопротивление тягового трансформатора, приведенное к напряжению 27,5кВ, определяемое по формуле:

$$z_{\text{м.2}} = \frac{U_{\text{к}}}{100} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ.т}}};$$

где $U_{\text{к}}$ - напряжение короткого замыкания, кВ;

$U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение на шинах, кВ;

$S_{\text{ном.т.}}$ - номинальная мощность трансформатора, МВА.

6.6.5 Определить напряжение, при котором первая ступень дистанционной защиты переводится в режим ускоренной токовой отсечки по формуле:

$$U_{\text{с.з. (перевода)}} = \frac{U_{\text{к.мин.}}}{K_{\text{н}}};$$

где $K_{\text{н}}$ - коэффициент надежности защиты, принимаемый равным 1,2 – 1,3, принимаем $K_{\text{н}} = 1,25$;

$U_{\text{к.мин}}$ - минимальное напряжение на шинах тяговой подстанции при коротком замыкании у шин поста секционирования, определяемое для двухпутного участка по формуле:

$$U_{\text{к.мин}} = \frac{U_{\text{ном}} \cdot 0,5 \cdot z_{22} \cdot l_1}{2(z_{\text{с}} + z_{\text{м}}) + 0,5 \cdot z_{22} \cdot l_1};$$

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

z_{22} - сопротивление одного километра петли «контактная подвеска – рельс» при параллельном соединении контактных подвесок обоих путей (по справочнику), Ом/км, для контактной подвески ПБСМ-95+МФ-100 и рельсов Р65 $z_{22} = 0,55$ Ом/км;

l_1 - расстояние между тяговой подстанцией и постом секционирования, км;

$z_{\text{м}} = z_{\text{м.2}} = 1,18$;

$z_{\text{с.2}}$ – сопротивление фазы энергосистемы, приведенное к напряжению 27,5кВ для режима минимального тока короткого замыкания, определяемое по формуле:

6.6.6 Проверить защиту по условию, что на двухпутном участке она не будет действовать при протекании тока по защищаемому фидеру со стороны соседней тяговой подстанции при близком коротком замыкании на соседнем фидере по формуле:

$$\frac{U_{\text{с.з. (перевода)}}}{z_{\text{с.з.1}}} \geq K_{\text{н}} \cdot I_{\text{к. макс. (подпитки)}}$$

где K_n – коэффициент надежности, принимаемый равным 1,2 – 1,3, принимаем $K_n = 1,25$;

$I_{к.макс. (подпитки)}$ – максимальный ток подпитки, протекающий по фидеру от соседней тяговой подстанции, кА.

6.7 Вычислить ток срабатывания ускоренной токовой отсечки по формулам:

$$I_{с.з.(1)} = K_{н.1} \cdot I_{к.макс}^{(2)};$$

$$I_{с.з.(2)} = \frac{K_{н.2} \cdot I_{раб.макс}}{K_B};$$

где $K_{н.1}$ – коэффициент надежности защиты, $K_{н.1} = 1,2 – 1,3$, принимаем $K_{н.1} = 1,25$;

$K_{н.2}$ – коэффициент надежности защиты, $K_{н.2} = 1,1 – 1,2$, принимаем $K_{н.2} = 1,15$;

K_B – коэффициент возврата реле, $K_B = 1$;

$I_{раб.макс}$ – максимальный рабочий ток фидера, А;

$I_{к.макс}^{(2)}$ – максимальный ток двухфазного короткого замыкания на шинах поста секционирования (по расчету).

Принимаем ток срабатывания ускоренной токовой отсечки наибольший из двух полученных значений (для всех фидеров)

6.8 Определить сопротивление срабатывания второй ступени защиты направленной дистанционной защиты с выдержкой времени 0,5 с. для двухпутного участка по формулам:

- при узловом питании

$$z'_{с.з.2} = K_{\text{ч}} \cdot 2(0,5 \cdot z_{22} \cdot l_1 \cdot z_{21} \cdot l_2);$$

- при раздельном питании контактных подвесок

$$z''_{с.з.2} = K_{\text{ч}} \cdot z_{22} \cdot L;$$

где $K_{\text{ч}}$ – коэффициент чувствительности, равный 1,5;

l_1 - расстояние между тяговой подстанцией и постом секционирования, км;

l_2 - расстояние между постом секционирования и тяговой подстанцией, км;

L - расстояние между смежными тяговыми подстанциями, км.

6.9 Рассчитать условие срабатывания реле

6.9.1 Дистанционных защит с учетом коэффициента трансформации трансформатора тока K_I и коэффициента трансформации трансформатора напряжения K_V по формуле:

$$Z_{у.с.р.} = Z_{с.з.} \cdot \frac{K_I}{K_V};$$

Ненаправленной дистанционной защиты (первая ступень)

Направленной дистанционной защиты (вторая ступень)

6.9.2 Напряжение перевода ненаправленной дистанционной защиты в режим ускоренной токовой отсечки определяем по формуле:

$$U_{у.с.р.} = \frac{U_{с.з.(\text{перевода})}}{K_V};$$

6.9.3 Ускоренной токовой отсечки определяем по формуле:

$$I_{у.с.р.} = \frac{K_{сх} \cdot I_{с.з.}}{K_I};$$

6.9.4 Защита линии ДПР-25 кВ

6.10 Рассчитать максимальную токовую двухступенчатую защиту

6.10.1 Вычислить ток срабатывания первой ступени защиты без выдержки времени ($t_v=0$ с.) по формуле:

$$I_{с.з.} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{I_{к.мин}}{K_{ч}};$$

где $I_{к.мин}$ - минимальный ток КЗ у потребителя, принимаем $I_{к.мин} = \text{кА}$;

$K_{ч}$ - коэффициент чувствительности, равный 1,5.

6.10.2 Вычислить ток срабатывания второй ступени защиты с выдержкой времени ($t_B=0,5$ с.) по формуле:

$$I_{с.з.(1)} = \frac{K_3 \cdot I_{раб.макс}}{K_B},$$

где K_3 - коэффициент запаса, принимаем равным 1,75;

$I_{раб.макс}$ - максимальный рабочий ток линии ДПР-25 кВ (по расчету);

K_B - коэффициент возврата, принимаем равным 0,85.

6.10.3 Рассчитать ток уставки срабатывания реле по формуле (1.6.24)

$$I_{у.с.р.} = \frac{K_{сх} \cdot I_{с.з.}}{K_I};$$

6.11 Защита трансформатора собственных нужд

6.11.2 Расчет токовой отсечки без выдержки времени ($t_B=0$ с.), являющейся основной защитой от короткого замыкания в обмотках трансформатора и на его вводах

6.11.3 Вычислить ток срабатывания защиты по формуле:

$$I_{с.з.} = \frac{K_3 \cdot I_{к.макс}}{K_T},$$

где K_3 - коэффициент запаса, принимаем равным 1,35;

K_T - коэффициент трансформации трансформатора, определяемый по формуле:

$$K_T = \frac{U_{ном.1}}{U_{ном.2}}$$

$I_{к.макс}$ - максимальный ток, проходящий через вторичную обмотку при трехфазном КЗ, определяемы по формуле:

$$I_{к.макс} = \frac{K_3 \cdot U_{ном.2}}{\sqrt{3} \times Z},$$

где Z – полное сопротивление трансформатора собственных нужд (по справочнику), $Z=26$ мОм.

6.11.4 Проверить чувствительность защиты по формуле:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.мин}}^2}{I_{\text{с.з.}}} \geq 2,$$

где $I_{\text{к.мин}}^2$ - минимальный ток двухфазного короткого замыкания на шинах 10 кВ, определяемый по формуле:

$$I_{\text{к.мин}}^2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\text{к}};$$

6.12 Рассчитать ток уставки срабатывания реле по формуле:

$$I_{\text{у.с.р.}} = \frac{K_{\text{сх}} \cdot I_{\text{с.з.}}}{K_{\text{I}}},$$

где K_{I} - коэффициент трансформации трансформатора тока, равный 40.

6.13 Расчет максимальной токовой защиты с выдержкой времени ($t_{\text{в}}=0,5$ с.), действующей при коротком замыкании на шинах собственных нужд и в трансформаторе

6.13.1 Вычислить ток срабатывания защиты по формуле:

$$I_{\text{с.з.}} = \frac{K_{\text{з}} \cdot I_{\text{раб.макс}}}{K_{\text{в}}},$$

где $K_{\text{з}}$ - коэффициент запаса, принимаем равным 1,2;

$I_{\text{раб.макс}}$ - максимальный рабочий ток первичной обмотки трансформатора собственных нужд (по расчету);

$K_{\text{в}}$ - коэффициент возврата, принимаем равным 0,85.

6.13.2 Проверить чувствительность защиты по формуле:

$$K_{\text{ч}} = \frac{2 \cdot I_{\text{к.мин}}^{(1)}}{3 \cdot I_{\text{с.з.}} \cdot K_{\text{T}}} \geq 1,5,$$

где $I_{\text{к.мин}}^{(1)}$ - ток однофазного короткого замыкания на шинах собственных нужд, определяемый по формуле:

$$I_{\text{к.мин}}^{(1)} = \frac{U_{2.\text{ср.}}}{\frac{1}{3} \cdot Z}$$

6.13.3 Рассчитать ток уставки срабатывания реле

6.14 Защита ввода РУ-10 кВ

6.14.1 Расчет максимальной токовой защиты с выдержкой времени ($t_{\text{в}}=1,5$ с.) с блокировкой по напряжению 10 кВ

6.14.2 Вычислить ток срабатывания защиты по формуле:

$$I_{\text{с.з.}} = \frac{K_{\text{з}} \cdot I_{\text{раб.макс}}}{K_{\text{в}}},$$

где $K_{\text{з}}$ - коэффициент запаса, принимаем равным 1,15;

$I_{\text{раб.макс}}$ - максимальный рабочий ток на стороне 10 кВ (по расчету);

$K_{\text{в}}$ - коэффициент возврата, принимаем равным 0,85.

6.14.3 Определить напряжение блокировки по формуле:

$$U_{\text{с.з.}} = \frac{U_{\text{раб.мин}}}{K_{\text{з}} \cdot K_{\text{в}}},$$

где $U_{\text{раб.мин}}$ - номинальное рабочее напряжение, определяемое по формуле:

$$U_{\text{раб.мин}} = 0,9 \times U_{\text{ном}} \quad (1.6.39)$$

$K_{\text{з}}$ - коэффициент запаса, принимаем 1,15;

$K_{\text{в}}$ - коэффициент возврата, принимаем равным 1,2.

6.14.4 Проверить чувствительность защиты по выражению:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.мин}}^{(2)}}{I_{\text{с.з.}}} \geq 1,5$$

где $I_{к.мин}^{(2)}$ - минимальный ток двухфазного короткого замыкания на шинах 10 кВ (по расчету)

6.14.5 Рассчитать ток уставки срабатывания реле по формуле:

$$I_{у.с.р.} = \frac{K_{сх} \cdot I_{с.з.}}{K_I},$$

где K_I - коэффициент трансформации трансформатора тока, равный 40;
 $K_{сх}$ - коэффициент схемы, равный 1.

6.15 Защита линии нетяговых потребителей 10 кВ

6.15.1 Расчет максимальной токовой защиты с независимой выдержкой времени ($t_b=0,5$ с.), обеспечивающей защиту от многофазных коротких замыканий всей линии до шин подстанции потребителя

6.15.2 Вычислить ток срабатывания защиты по формуле:

$$I_{с.з.} = \frac{K_з \cdot K_{сз.п.}}{K_B} \cdot I_{раб.макс},$$

где $K_з$ - коэффициент запаса, равный 1,15;

$K_{сз.п.}$ - коэффициент самозапуска асинхронных двигателей после восстановления напряжения сети понизившегося при коротком замыкании, равный 2,5;

$I_{раб.макс}$ - максимальный рабочий ток линии (по расчету) для линии «Локомотивное депо»

6.15.3 Проверить чувствительность защиты по выражению:

$$K_ч = \frac{I_{к.мин}^{(2)}}{I_{с.з.}} \geq 1,5;$$

где $I_{к.мин}^{(2)}$ - минимальный ток двухфазного короткого замыкания на шинах 10кВ (по расчету).

6.15.4 Рассчитать ток уставки срабатывания реле по формуле:

$$I_{y.c.p.} = \frac{K_{cx} \cdot I_{c.z.}}{K_I},$$

6.15.5 Рассчитать токовую отсечку без выдержки времени ($t_B=0$ с.), защищающую от многофазных коротких замыканий не менее 10-20% длины линии

6.15.6 Вычислить ток срабатывания защиты по формуле:

$$I_{c.z.} = K_3 \cdot I_{k.maxc};$$

где K_3 – коэффициент запаса, принимаем равным 1,25;

$I_{k.maxc}$ – максимальный ток трехфазного короткого замыкания в конце защищаемой линии, равный 9,8 кА

6.15.7 Рассчитать ток уставки срабатывания реле по формуле(1.6.24)

6.15.8 Защита сборных шин РУ-10 кВ

6.15.9 Расчет токовой отсечки с выдержкой времени ($t_B=1$ с.)

6.15.10 Вычислить ток срабатывания защиты по формуле:

$$I_{c.z.} = K_{сел} \cdot I_{c.z.(1)},$$

где $K_{сел}$ – коэффициент селективности защиты, вводимый в расчетную формулу для того, чтобы АО отношению к одному и тому же значению тока чувствительность защиты, расположенной ближе к источнику питания была меньше защиты, расположенной дальше от источника питания, $K_{сел} = 1$;

$I_{c.z.(1)}$ – максимальный ток срабатывания первой ступени защиты любого присоединения, подключенного к шинам.

6.15.11 Рассчитать ток уставки срабатывания реле по формуле(1.6.24)

ГЛАВА 7. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

7.1 Расчет стоимости тяговой подстанции по укрепленным показателям сводим в таблицу 7.1

Таблица 7.1 - Расчет стоимости тяговой подстанции по укрепленным показателям

Наименование устройств	Строительные работы	Монтаж оборудования	Оборудование
1	2	3	4
Панельные здания			
Открытое распределительное устройство ОРУ-110 кВ с масляным выключателем в цепи трансформатора			
Тяговый блок 110/35/10 кВ			
Верхнее строение подъездного пути			
Благоустройство территории			
Отдельно стоящие молниеотводы			
Порталы шинных мостов и опор			
Колодцы			
Кабельные каналы			
Прокладка из асбестоцементных труб			
Шкафы собственных нужд			
Автоблокировка			
Устройство поперечной компенсации			
Резервуары для слива масла вместимостью 50 м ³			
Прожекторное освещение территории			
Заземление открытой части			
Прокладка кабелей			
Шинные мосты			
Итого			

Итого			
Всего			

7.2 Определить годовые эксплуатационные расходы по тяговой подстанции

Планирование, прогнозирование и учет текущих затрат осуществляем на базе Номенклатуры расходов основных видов хозяйственной деятельности железнодорожного транспорта, с целью определения потребности в трудовых, материальных и финансовых ресурсах (в денежном эквиваленте), для выполнения намеченных объемов продукции (перевозок, работ, услуг).

При планировании и учете расходов по видам работ используем группировку расходов по следующим элементам затрат:

- затраты на оплату труда;
- материальные затраты (в том числе на топливо, электроэнергию и материалы);
- отчисления на социальные нужды;
- амортизационные отчисления;
- прочие затраты.

7.2.1 Рассчитать затраты на электроэнергию

Затраты на электроэнергию включают расходы электроэнергии на собственные нужды.

Определяем стоимость потребляемой электроэнергии на собственные нужды по формуле:

$$E_{\text{эл.эн}} = W_{\text{пер}} \cdot C ,$$

где C – стоимость 1 кВт/ч электроэнергии;

$W_{\text{пер}}$ – расход электроэнергии.

7.2.2 Расчет потребной численности персонала тяговой подстанции

Общая численность работников тяговой подстанции определяется по формуле:

$$\mathcal{C}_{\text{ТП}} = \mathcal{C}_{\text{нач}} + \mathcal{C}_{\text{ст.мех}} + \mathcal{C}_{\text{мех.(деж.)}} + \mathcal{C}_{\text{монт}} + \mathcal{C}_{\text{мех}},$$

где $\mathcal{C}_{\text{нач}}$ - численность начальников ТПС;

$\mathcal{C}_{\text{ст.мех}}$ - численность старших электромехаников;

$\mathcal{C}_{\text{мех.(деж.)}}$ - численность электромехаников при круглосуточном дежурстве;

$\mathcal{C}_{\text{монт.}}$ - численность электромонтеров;

$\mathcal{C}_{\text{мех}}$ - численность электромехаников по обслуживанию подстанции.

Списочная численность работников определяется по формуле:

$$\mathcal{C}_{\text{сп}} = \mathcal{C}_{\text{яв}} \cdot K_{\text{пер}},$$

где $\mathcal{C}_{\text{яв}}$ – явочная численность работников ТПС,

$K_{\text{пер}}$ – коэффициент перевода явочной численности в списочную.

$$K_{\text{пер}} = 1 + (\mathcal{H}_{\text{бол}} + \mathcal{H}_{\text{отп}} + \mathcal{H}_{\text{уч}} + \mathcal{H}_{\text{гос}}) / 100\%,$$

где $\mathcal{H}_{\text{бол}}$ – дни болезни (3%);

$\mathcal{H}_{\text{отп}}$ – дни отпуска (18,9%);

$\mathcal{H}_{\text{уч}}$ – отпуск по учебе (0,6%);

$\mathcal{H}_{\text{гос}}$ – другие неявки разрешенные законом, за время которого сохраняется средний заработок (0,14%).

7.2.3 Расчет затрат на оплату труда

Расчет расходов на оплату труда с отчислениями на социальные нужды. Определение необходимой величины фонда оплаты труда работников ЭЧ, осуществляется с помощью составленного штатного расписания таблица 7.2

Таблица 7.2 - Штатное расписание

№№ п/п	Статья	Подразделение, наименование профессии	Кол-во штатных единиц	Разряд по ТСП*	Тарифный коэффициент	Часовая тарифная ставка	Должностной оклад (месячная тарифная ставка) руб.	Доплата за вредные условия труда	Региональный коэффициент	Надбавки в РКС и местах приравненных к ним	Надбавки и доплаты	Всего в месяц	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
		Тяговая подстанция											
		Раздел 1. Должности, относящиеся к аппарату управления											
1.	830	Начальник тяговой подстанции	1				22000		3300.0	11000		36300	
		Итого по р.1.:	1									36300	
		Раздел 2.1.Руководители, специалисты,служащие, не относящиеся к аппарату управления											
	2504	Старший электромеханик	1				15600	1872	2620.8	8736		28829	
1.	2504	Электромеханик (тяговой подстанции - по ремонту)	1				15000	1800	2520.0	8400		27720	
2.	2504	Электромеханик (тяговой подстанции- дежурный)	5				13600	1088	2480.0	8267	1845	136401	ТК РФ
		Итого по р. 2.1.:	7									192949	
		Раздел 2.2.Рабочие											
1.	2504	Электромонтер тяговой подстанции	1	3	1,63	53.42	8818.574	1058.23	1481.5	4938		16296.7	
		Итого по р. 2.2.:	1									16296,7	
		Итого по тяговой подстанции:	9									245546	

При выполнении расчетов применяем «Положение о корпоративной системе оплаты труда работников филиалов и структурных подразделений ОАО РЖД», Тарифной сеткой по оплате труда рабочих и служащих от 01.11.2008 г. МРОТ на 01.11.2011 составляет 5490руб, среднемесячная норма часов в 2011 году составляет 165,08 часов.

Эти отчисления отражают расходы по начислению единого социального налога и включают отчисления в Пенсионный Фонд РФ, медицинское страхование, страховые взносы на обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний.

Общая величина отчислений на социальные нужды составляет 34,4% от фонда оплаты труда.

$$E_{\text{сн}} = \text{ФОТ} \cdot 12 \cdot 0,344$$

7.3 Расчет величины амортизационных отчислений

В процессе эксплуатации оборудование подвергается моральному и физическому износу. Для полной замены по истечению срока обслуживания износившегося оборудования требуются денежные средства. Для этого создается амортизационный фонд.

Определяют систему амортизационных отчислений исходя из норм амортизационных отчислений и стоимости основных средств по статье 2514 «Амортизация тяговых подстанций».

$$C_{\text{ам}} = C_{\text{тп}} \cdot Q_{\text{общ}} / 100,$$

где $C_{\text{тп}}$ – стоимость одной тяговой подстанции;

$Q_{\text{общ}}$ - норма амортизационных отчислений, принимаем равной 2%.

Рассчитать затраты по статье 757 «Затраты по оплате труда за неотработанное время», принимаем в работе 5%

$$E_{\text{нв}} = \text{ФОТ} \cdot 12 \cdot 5 / 100,$$

7.2.5 Расчет материальных затрат

Материальные затраты отражают стоимость приобретенных материалов. Материальные затраты включают: затраты на материалы и запчасти, затраты на электроэнергию, прочие материальные затраты.

Затраты на материалы включают расходы на приобретение материалов (инструменты, инвентарь, приборы и т.д.) используемые при текущем обслуживании и ремонте оборудования. Эти расходы определяются исходя из среднесетевых норм расхода материалов, запчастей и изделий, их количества и стоимости. Примерный расход денежных средств на материалы для тяговой подстанции.

$$E_{\text{мат}} = N_{\text{тп}} \cdot 12233,73 \cdot 12$$

7.2.6 Расчет затрат по охране труда и технике безопасности

Расходы по охране труда и технике безопасности включают в себя затраты на погашение износа спецодежды и спецобуви, затраты на мыло.

В целях предупреждения производственного травматизма и установления единого порядка по приобретению и обеспечению работников филиалов и структурных подразделений ОАО РЖД качественной одеждой, спецобувью и др. средствами индивидуальной защиты (СИЗ) действует стандарт предприятия: СТП 32.01.001-2000 (порядок организации и обеспечения рабочих и служащих спец.одеждой, спец.обувью и др. средствами индивидуальной защиты (СИЗ), организацией ухода за ними).

В соответствии с этим стандартом определяем затраты по статье 0761 «Охрана труда и производственная санитария», расчеты сводим в таблицу 7.4
Таблица 7.4 - Стоимость спецодежды и средств индивидуальной защиты.

Должность	Наименование спецодежды и средств индивидуальной защиты	Срок носки (лет)	Стоимость единицы спецодежды и средств индивидуальной защиты	Расчет стоимости спецодежды и средств инд. Защиты на 1 чел. в год	Количество человек	спецодежды и средств защиты по подразделениям
1	2	3	4	5	6	7
1	Костюм «Электромонтер»					
	Плащ или полуплащ из плащ-палатки или прорезиненной ткани					
	Рукавицы комбинированные					
	Сапоги юфтевые на бензомаслостойкой подошве					
	Перчатки х/б					
	2					
	Перчатки диэлектрические					
	Галоши диэлектрические					

	кие					
	Пояс предохраните льный					
	Зимой дополнительно:					
	Валенки					
	Галоши на валенки					
	Рукавицы двухпальные, утепленные					
Итого						

Кроме того работникам полагается в качестве средств личной гигиены специальное мыло. Расход денежных средств на его приобретение определяем по формуле (3.2.9) исходя из норм расхода на одного работника, количества этих работников и стоимости мыла. Норма расхода на одного рабочего в год составляет 2,4 кг, а специалистов 0,6 кг. Стоимость одного килограмма мыла принимаем равной 120 руб.

$$E'_{\text{мыло}} = (Ч_{\text{ст.эл.мех}} + Ч_{\text{эл.мех[деж]}} + Ч_{\text{эл.мех.по рем.}}) \cdot 0,6 \cdot 120 + Ч_{\text{эл.монт}} \cdot 2,4 \cdot 120$$

Общая величина затрат по охране труда и технике безопасности рассчитывается по :

$$E_{\text{мат}} = E_{\text{сиз}} + E'_{\text{мыло}}$$

7.2.7 Расчет прочих затрат

Прочие затраты включают затраты по оплате командировочных расходов производственного персонала. Прочие затраты планируются и учитываются по статье 0762 «Командировки и подъемные работников, не относящихся к аппарату управления».

Эти затраты определяем в размере 1% от фонда оплаты труда определяем по формуле :

$$E_{\text{прочие}} = \text{ФОТ} \cdot 12 \cdot 1/100$$

7.2.8 Расчет затрат по оплате труда за непроработанное время

Данные затраты учитывают очередных (ежегодных) и дополнительных отпусков по статье «Затраты на оплату труда производственного персонала за непроработанное время».

Величину этих затрат определяем в размере 7% от суммы затрат на оплату труда по формуле:

$$E_{\text{непрораб.}} = \frac{\text{ФОТ}_{\text{ЭчЭ}} \cdot 7\%}{100\%},$$

7.2.9 Годовые эксплуатационные расходы по тяговой подстанции сводим в таблицу 7.5

Таблица 7.5 - Годовые эксплуатационные расходы

Статьи затрат	Элемент затрат						
	ФОТ (млн.руб)	ЕСН (млн.руб)	Материальные затраты		Амортиз. Отчисления (млн.руб)	Прочие расходы (млн.руб)	Всего (млн.руб)
			Материалы (млн.руб)	Эл/энергия (млн.руб)			
2504							
2514							
761							
757							
762							
Всего (млн.руб)							
Структура в %							

7.3 Использование инструментов бережливого производства

7.3.1 Базис системы бережливого производства

Концепция бережливого мышления и производства — это одно из модных направлений развития менеджмента, которое явилось еще одним каналом проникновения западных консультантов на российский рынок.

Все дело в том, что эта концепция, как и множество других, наводнивших наш бизнес идей, таких, как «шесть сигм», «пять С», TQM (всеобщая система управления качеством), TPM (всеобщая система обеспечения деятельности производства), JIT (точно в срок), КАНБАН и других подобных, являются компонентами огромной цельной системы японского менеджмента Кайдзен (постоянные улучшения), основанной на идеях Деминга, Джурана, Фейгенбаума и их японских коллег Исикавы, Тагути и Сингу.

7.3.2 Суть системы бережливого производства

В основе концепции лежит оптимизация процессов путем их ранжирования по признакам, определяемым понятиями *Муда*. Под этими понятиями подразумеваются процессы, которые не приносят добавленной ценности потребителям, или уменьшают ее. Выделяют до семи видов таких процессов, хотя никто не ограничивает фантазию по поводу умножения их номенклатуры:

- процессы, ведущие к перепроизводству;
- процессы ожидания;
- процессы лишней транспортировки;
- процессы излишней обработки;
- процессы, приводящие к избытку запасов;
- процессы, содержащие лишние движения;
- процессы, создающие дефекты.

Весомая группа процессов связана с потерями, обусловленными игнорированием человеческого фактора. Последовательное или взрывное уменьшение таких процессов позволяет приблизить время и уровень издержек к минимуму, определяемому только временем передела.

7.3.3 Варианты реализации

Реализация концепции возможна в двух вариантах: либо для получения разового результата, либо для создания постоянно улучшающегося бизнеса. В первом случае набор разовых мероприятий напоминает то, что делается при реинжиниринге бизнес-процессов в соответствии с методологией Хаммера. Во втором случае создание бережливого производства фактически означает освоение почти всех элементов Кайдзен.

Такое освоение реализуется несколькими последовательными и параллельными шагами.

7.3.4 Последовательность шагов реализации

Все начинается с наведения порядка и наглядной демонстрации неудобств, вызванных большими запасами. Для этого необходимо внедрить концепцию 5С (S), чтобы каждый работающий смог понять и прочувствовать необходимость самоорганизации и исключения превышения некоторого разумного минимума.

5S — система рационализации рабочего места (пять японских слов)

1)Сортировка - четкое разделение вещей на нужные и ненужные и избавление от последних.

Все материалы делят на:

- нужные - материалы, которые используются в работе в данный момент;
- неиспользуемые - материалы, которые могут использоваться в работе, но в данный момент не востребованы;
- ненужные/непригодные - брак, который необходимо вернуть поставщикам, либо уничтожить.

2) Соблюдение порядка— организация хранения необходимых вещей, которая позволяет быстро и просто их найти и использовать.

Расположение предметов должно отвечать требованиям:

- безопасности;
- качества;
- эффективности работы.

Четыре правила расположения вещей:

- на видном месте;
- легко взять;
- легко использовать;
- легко вернуть на место.
-

3)Содержание в чистоте – соблюдение рабочего места в чистоте и опрятности.

Порядок действий:

- разбить линию на зоны, создать схемы и карты с обозначением рабочих мест, мест расположения оборудования и т.п.;
 - определить специальную группу, за которой будет закреплена зона для уборки;
 - определить время проведения уборки:
 - утренняя: 5-10 мин. до начала рабочего дня;
 - обеденная: 5-10 мин. после обеда;
- по окончании работы: после прекращения работы, во время простоев.

4) Стандартизация — необходимое условие для выполнения первых трех правил.

Этот шаг подразумевает поддержание состояния после выполнения первых трех шагов.

Необходимо создать рабочие инструкции, которые включают в себя описание пошаговых действий по поддержанию порядка. А также вести разработки новых методов контроля и вознаграждения отличившихся сотрудников.

5) Совершенствование/Формирование привычки — воспитание привычки точного выполнения установленных правил, процедур и технологических операций.

Важные моменты:

- вовлечение всех работников, работа в команде;
- наблюдение за работой оборудования, за рабочим местом, чтобы облегчить их обслуживание;
- использование фотографий *до/после* для сравнения того, что было и какой конечный результат;
- организация аудитов, чтобы оценить результативность внедрения программы 5S.

Параллельно необходимо провести огромную работу по делегированию полномочий и доведению стратегических целей от высшего уровня вплоть до рабочих, в соответствии с их квалификациями и способностями. Эта работа сочетается с постановкой маркетинга и выстраиванием цепочек внутренних потребителей и поставщиков, ориентированных на потребителей.

Цепочки внутренних потребителей и поставщиков необходимо превратить в последовательности процессов. Это даст возможность сформировать потоки создания ценностей, как для внутренних, так и для внешних потребителей. Эти потоки нужно распространить на поставщиков, что позволит минимизировать дискретности и разовые объемы поставок с максимальным приближением их к реальным потребностям процессов. Фактически речь идет о подготовке к внедрению бережливого производства по всем предприятиям и сетям поставщиков. Превращение сетей поставок в потоки означает также непрерывность движения перерабатываемых в процессах ресурсов в ритме, задаваемом потребителями (еще одна модная концепция — SupplyChainManagement) по принципу вытягивания. Таким образом, автоматически получается система «точно в срок». Все это приводит к созданию тотальной системы вовлечения работников в процессы создания ценностей в соответствии с целями предприятия.

Следующие шаги по созданию бережливого производства осуществляются уже фактически с помощью и на основе тотальных инициатив по повышению качества и уменьшению издержек. Искусное

направление этих инициатив в сторону поддержания непрерывного движения потока с помощью инфраструктуры (оборудования и оптимально планируемых помещений) приводит нас к технологии ТРМ (TotalProductiveMaintenance).

Такая последовательность действий ведет к тому, что на предприятии начинает работать система тотального обеспечения качества и уменьшения издержек. Рабочие, инженеры и менеджеры, направляя свои усилия на устранение причин несоответствий и лишних и вредных издержек, в рамках периодических мероприятий по прорывным улучшениям способны совместными усилиями создать бережливое производство, как высшую форму эффективного бизнеса. Естественно, все вышесказанное касается не только производственных, но и других процессов на предприятии.

7.3.5 Особенности информационного обеспечения в бережливом производстве

В бережливом производстве особое значение имеет информационное обеспечение, которое также принимает характер универсального средства, поддерживающего непрерывность потоков и их эффективность. Однако растут требования и к эффективности самого информационного обеспечения. Поэтому обязательно наличие в системе четкого управленческого учета, обеспечивающего пользователей только релевантной информацией, которая всегда достоверна, своевременна и объективна. Кроме того, информация должна быть представлена в форме, понятной ее потребителю, в виде, позволяющем очень быстро принять правильное решение.

Поэтому для работающих очень важно соблюдение принципа визуальной информированности о состоянии дел в ближайших точках потоков. Информация должна отображаться в виде, доступном для наблюдения практически всем работающим в пределах данной актуальной части потоков. Таким образом, наличие центрального плана актуально только в маркетинге и в финансовой структуре, ибо все остальные участники потока работают на основе визуализации, и для них важнее ситуационная информация о движении потоков, чем откорректированный централизованный план.

Все вышесказанное позволяет значительно снизить сложность и стоимость MRP и ERP-систем, одновременно значительно повысив их эффективность.

Таким образом, проведение последовательных работ по внедрению полноценной системы менеджмента, основанной на концепциях Кайдзен и направленных на создание бережливого производства, позволяет предприятиям, уже внедрившим MRP и ERP-системы, использовать их на более высоком уровне эффективности. Предприятиям, собирающимся внедрять MRP и ERP-системы, можно посоветовать вначале оптимизировать свои процессы и организацию бизнеса в соответствии с Кайдзен и требованиями бережливого производства.

Перечень рекомендуемой учебной литературы, информационных ресурсов сети Интернет соответствует пункту 3.2. рабочей программы профессионального модуля ПМ. 01 Техническое обслуживание оборудования электрических подстанций и сетей специальности 13.02.07 Электроснабжение (по отраслям).

СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВА 1. Разработка однолинейной схемы коммутации электрической подстанции

1.1 Структурные схемы электрических подстанций

1.2 Составление однолинейных схемы проектируемой подстанции

1.2.1 Схема распределительного устройства питающего (первичного) напряжения опорной подстанции

1.2.2 Схема распределительного устройства первичного напряжения транзитной подстанции

1.2.3 Схема распределительного устройства промежуточных подстанций на отпайках и тупиковых

ГЛАВА 2. Расчет мощности подстанции

2. Расчет мощности подстанции.

2.1 Мощность тяговой нагрузки.

2.2 Мощность нетяговых потребителей

2.3 Мощность собственных нужд. Выбор трансформаторов собственных нужд

2.4 Мощность нетяговых железнодорожных потребителей, питающихся по линии «два провода-рельс» (ДПР)

2.5 Полная расчетная мощность для выбора главных понижающих трансформаторов

2.6 Выбор главных понижающих трансформаторов

2.7 Полная мощность подстанции

ГЛАВА 3. Расчет максимальных рабочих токов

ГЛАВА 4. Расчет параметров короткого замыкания

4.1 Общие положения

4.2 Схема внешнего электроснабжения

4.3 Расчетная схема

4.4 Базисные условия

4.5 Эквивалентная электрическая схема замещения

4.6 Расчет относительных сопротивлений элементов цепи короткого замыкания

4.7 Преобразование схем замещения

4.8 Расчет параметров цепи короткого замыкания

4.9 Расчет токов короткого замыкания в тяговой сети переменного тока
27.5 кВ

4.10 Расчет токов короткого замыкания в тяговой сети постоянного тока
3.3 кВ

4.11 Расчет токов короткого замыкания на низкой стороне (до 1000В)
трансформатора собственных нужд

ГЛАВА 5 . Выбор токоведущих частей и электрического оборудования
подстанций

5.1 Выбор и проверка токоведущих частей

5.2 Выбор и проверка изоляторов

5.3 Выбор и проверка высоковольтных выключателей переменного тока

5.4 Выбор быстродействующих выключателей постоянного тока

5.5 Выбор и проверка разъединителей

5.6 Выбор и проверка измерительных трансформаторов тока

5.7 Выбор и проверка измерительных трансформаторов напряжения

5.8 Выбор реакторов

5.9 Выбор высоковольтных предохранителей

5.10 Выбор оборудования для защиты от перенапряжений

5.11 Расчет заземляющих устройств

5.12 Выбор аккумуляторной батареи

5.13 Выбор сглаживающего устройства

ГЛАВА 6. Релейная защита

6.1 Защита вводов подстанции

6.2 Защита сборных шин первичного напряжения

6.3 Защита главных понижающих трансформаторов

6.4 Защита вводов в распределительные устройства среднего и низшего
напряжений 10, 27.5 и 35 кВ

6.5 Защита сборных шин вторичного напряжения 10 и 35 кВ (цепь
секционного выключателя)

6.6 Защита линий (нетяговых) потребителей

6.7 Защита фидеров контактной сети

6.8 Защита трансформаторов собственных нужд

6.9 Защита преобразовательных агрегатов

6.10 Защита районных трансформаторов 35/(6-10)кВ трансформаторных
подстанций

6.11 Примеры расчета релейных защит

ГЛАВА 7. Экономическая часть дипломного проекта

7.1 Годовые эксплуатационные расходы на содержание и обслуживание
тяговой подстанции

7.2 Графики планово-предупредительных работ

Рекомендуемая литература