

Аннотация

Темой выпускной квалификационной работы является «Электроснабжение испытательного стенда завода по производству силовых трансформаторов» ООО «Тольяттинский Трансформатор». Работа содержит введение, основную часть, заключение и приложение.

Основная часть включает следующие основные разделы:

- 1) характеристика предприятия;
- 2) Испытательные стенды до модернизации на заводе ООО Тольяттинский Трансформатор;
- 3) Универсальный испытательный стенд №1 после модернизации на заводе ООО Тольяттинский Трансформатор;

- 4) расчет и выбор ГПП;

Графический материал выпускной квалификационной работы представлен соответствующими листами формата А1:

- однолинейная схема ГПП-1;
- конструктивный чертеж (план и разрез) ГПП-1;
- испытательный стенд «3Птгδ» до модернизации;
- принципиальная схема стенда «3Птгδ»;
- универсальный испытательный стенд №1 после модернизации;
- принципиальная схема универсального стенда №1.

Условные графические обозначения элементов на электрических схемах выполняются в соответствии с требованиями ЕСКД [4, 14, 33].

Выпускная квалификационная работа выполнена в объеме 76 страниц, двух рисунков, 17 таблиц и графической частью выполненными на 6-и листах формата А-0.

Содержание

Введение	5
1 Характеристика объекта проектирования	6
2 Испытательные стенды до модернизации на заводе ООО Тольяттинский Трансформатор	9
3 Универсальный испытательный стенд №1 после модернизации на заводе ООО Тольяттинский Трансформатор	16
4 Выбор типа, числа и мощности силовых трансформаторов.....	21
5 Расчёт токов короткого замыкания	31
6 Выбор электрических аппаратов и проводников	38
7 Релейная защита	49
8 Выбор оперативного тока	50
9 Собственные нужды подстанции	51
10 Расчет заземления подстанции	52
11 Молниезащита подстанции	57
Заключение	58
Список использованных источников	60
Приложение А	62
Приложение Б	63
Приложение В	64
Приложение Г	65
Приложение Д	66
Приложение Е	67
Приложение Ж	68
Приложение З	69
Приложение И	70
Приложение К	71

Приложение Л	72
Приложение М	73

Введение

Испытания силовых трансформаторов занимают значительную роль в сборке и комплектации трансформатора, на каждой стадии сборки его подвергают всем видам испытания. Когда собирают металлоконструкцию и активную сталь проводят определенный вид испытания до 1 сборки, после того как производят намотку обмотки на стержень сердечника и запрессовку проверяют на правильность намотки обмотки после 1 сборки. После того как все концы по схеме спаяют и заизолируют, подключают привод в схему проводят испытания после 2 сборки. Если трансформатор прошел все эти испытания его ставят в сушильную камеру, затем подготавливают его к третьей сборке, то есть укомплектовывают его полностью как для эксплуатации, и производят испытания после третьей сборки, эта стадия испытания будет раскрываться в данной выпускной квалификационной работе и. На производстве проводят масштабную модернизацию всего устаревшего оборудования с полной заменой и доработкой на инновационную технологию, это создают удобства в испытании данного объекта на всех стадиях испытания: до 1 сборки; после первой сборки; после второй сборки и после третьей сборки.

Кроме приемо-сдаточных испытаний проводят другие виды испытаний которые должен пройти данный объект:

- Тепловые испытания, на этом виде испытания проверяют трансформатор на длительный режим нагрева обмотки внутри трансформатора, на правильность работы системы охлаждения, проверяют на вибрацию силового трансформатора, на усиление звука в длительном режиме и другие виды тепловых испытаний.

- Испытания грозовых импульсов, проводят проверку трансформатора на устойчивость трансформатора к работе в не помещения, создавая тем самым искусственный разряд молнии при помощи генератора импульсных напряжений, для того чтобы зафиксировать данные испытаний применяется

инновационная технология. Производят испытания частичных разрядов которые возникают в процессе эксплуатации в высоковольтных вводах, и другие виды импульсных испытаний.

Актуальность выбранной темы выпускной квалификационной работы заключается в том, чтобы показать, как производят испытания силовых трансформаторов, с каких стендов производят испытания и как модернизация стенда повлияла на испытания объектов, зная сколько происходит потребление мощности и какой график работы, произвел расчет электрических нагрузок для выбора ГПП-1. В работе изложена методика и последовательность выполнения, показаны методы выбора силового оборудования, электрических схем и аппаратов, даны формулы, сделаны таблицы и схемы, начерчены 6 чертежей, которые необходимы для выполнения данной работы.

Целью выпускной квалификационной работы заключается в следующем, произвести расчет и выбор ГПП. Рассмотреть испытательные стенды до модернизации и после модернизации, произвести сравнительный анализ и отличие электроснабжения стендов.

1 Характеристика объекта проектирования

Объектом исследования является ООО "Тольяттинский Трансформатор" Испытательный центр, дата рождения предприятия считается июнь 1956 года. Предприятие занимается в основном производством и обслуживанием трансформаторов, реакторов, автотрансформаторов, общепромышленного и специального исполнения: сейсмостойкие, форсированные, высокогорные, для различных климатических условий, классом напряжения 6, 10, 35, 110, 220, 330, 500 кВ, комплектующих изделий, вносят вклад в развитие электроэнергетики России с обеспечением ее энергетической безопасности. Организация стремится внедрять новые и совершенствовать существующие технологии, разрабатывать новые и модернизировать существующие типы изделий, увеличивать объемы и локализацию производства, монтажную готовность оборудования и завоевывать новые сегменты рынка сбыта.

Испытательный центр ООО «Тольяттинский Трансформатор» аккредитован на техническую компетентность в Системе сертификации ГОСТ Р. Аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.22 МВ 19. Лаборатории Испытательного центра оснащаются современными компьютеризированными стендами который является созданным на базе универсального программного продукта LabVIEW 7.1Ф. National Instruments, позволяющими механизировать и автоматизировать технологический процесс испытаний трансформаторов и их узлов. Внедрение данного оборудования позволяет сократить время испытаний продукции, создает удобства для работы и ремонта оборудования, а также уменьшить влияние субъективного фактора на результаты испытаний.

На стенде выполняются прямо-сдаточные испытания:

- Измерение диэлектрических характеристик трансформаторов.
- Измерение потерь и тока холостого хода при напряжении 220 В.
- Измерение сопротивления нулевой последовательности.

- Измерение коэффициента трансформации и определение группы соединения обмоток.

- Измерение сопротивления обмоток постоянному току.

- Измерение потерь тока холостого хода при номинальном напряжении.

- Измерение гармонического состава тока холостого хода.

- Измерение потерь и напряжения короткого замыкания.

- Испытание изоляции объекта приложенным напряжением.

- Испытание изоляции объекта индуктированным напряжением.

Испытание переключающего устройства в составе силового трансформатора.

Результаты испытаний на данном стенде формируются как в базе протоколов испытаний, так и в базе паспортов на трансформаторы тока, которые распечатываются на прикрепленном за стендом принтером и отправляются по почте в техническое бюро для обчета.

2 Испытательные стенды до модернизации на заводе ООО Тольяттинский Трансформатор

В испытательном центре после 3 сборки производят испытания трансформаторов, реакторов, автотрансформаторов и другого оборудования с помощью пультовых помещений, и полей испытания. Есть поля: для типовых испытаний, для тепловых и импульсных испытаний. В выпускной квалификационной работе будем рассматриваем поле № 4, № 12 и пультовое помещение «3ПТ» для типовых испытаний. Количество стендов до модернизации было 3 к ним добавлялись переносные приборы для дополнительного испытания, виды проводимых испытаний оговариваются с заказчиками после чего пишут план проведения испытаний, если трансформатор испытывается первый раз, то он считается головным образцом и испытания проходят полностью, с добавлением дополнительных испытаний, чтобы убедиться в правильности работы трансформатора.

Стенд старого образца «3Птгδ» для измерения сопротивления изоляции и тангенса угла диэлектрических потерь в силовых трансформаторах.

Стенд «3ПХХ» предназначен:

- для измерения потерь и тока холостого хода при пониженном напряжении 220 В, 380 В.

- для измерения коэффициента трансформации и группы соединения обмоток

- измерения сопротивления постоянному току

- испытания изоляции объекта приложенным напряжением

- испытание переключающего устройства в составе силового трансформатора.

Стенд «1ПТ» предназначен:

- для измерения потерь и тока холостого хода при номинальном напряжении

- для измерения потерь и напряжения короткого замыкания

- для испытания объекта индуктированным напряжением частотой 150 Гц

С помощью переносных приборов типа Impuls производят испытания импульсных напряжений низкой частоты. С помощью переносного мегомметра производили испытание измерения сопротивления изоляции обмоток. С помощью переносного прибора Siemens производили измерение гармонического состава тока холостого хода.

В дипломном проекте будем рассматривать подробно стенд старого образца «3Птгδ» для измерения сопротивления изоляции и тангенса угла диэлектрических потерь в силовых трансформаторах.

2.1 Назначение и описание пульта «3Птгδ».

Пульт «3Птгδ» предназначен для измерения сопротивления изоляции и тангенса угла диэлектрических потерь силовых трансформаторах.

Измерение величины сопротивления и коэффициента абсорбции изоляции ведутся мегомметром типа Ф4100, входящим в комплект измерительных приборов пульта «3Птгδ».

Измерение тангенса диэлектрических потерь в изоляции ведутся электронным мостом типа Р595 с использованием к нему автотрансформатора типа РНО-250, повышающего трансформатора напряжения НОМ-10 и образцового конденсатора типа Р5023.

Пульт представлен собой металлоконструкцию двумя панелями – вертикальной и горизонтальной. На вертикальной панели расположены – ключ выбора пультов, автоматический выключатель, сигнальные табло, сигнальные лампы, ключ безопасности, ключ выбора полей, ключ выбора полярности, ключ подачи напряжения на мост или мегомметр, ручки управления автотрансформатором, щитовые вольтметр и амперметр. На горизонтальной панели расположены мегаомметр типа Ф4100, кнопка подачи звукового сигнала, измерительный мост Р595. На задней стенке пульта имеются двери, через которые возможен доступ к электрооборудованию,

расположенному внутри пульта. Горизонтальная панель разделена на две крышки, одна из которых исключает доступ к высоковольтному силовому кабелю, подключенному к мосту P595, а другая – к повышающему трансформатору НОМ-10. Под крышками и на дверях установлены концевые выключатели блокировки.

2.2 Техническая характеристика пульта «3Птгδ»

Напряжение питания – 220В. Род тока – переменный. Частота питающей сети – 50 Гц. Напряжение при испытании: а) $tg\delta$ – 10000 В, род тока – переменный; б) $R_{\text{изол}}$ – 2500В, род тока – постоянный. Регулировка напряжения испытания – ручная. Габариты пульта в мм: высота – 1260 мм; ширина – 1702 мм; глубина – 1160 мм. Потребляемая мощность – 12 кВт

Характеристика электрооборудования пульта 3Птгδ находится в «Приложение Е»

2.3 Электроснабжение и принцип работы пульта «3Птгδ»

Переменное напряжение 220 В через автоматический выключатель АВ поступает на ключ ЗКУ, с помощью которого выдается на контакты 1РП или 6 РП, обеспечивая питание мегаомметра и автотрансформатора.

С автотрансформатора через токовые реле РТ, амперметр и ключ 2КУ (ключ выбора полярности) напряжение выдается на повышающий трансформатор НОМ-10. Высокое напряжение с трансформатора поступает на образцовый конденсатор, а затем на измерительный мост P595. С измерительного моста напряжение выдается на испытательные поля №1 или №5

Управление с пульта производится на переменном токе при напряжении 220 В. Через нормально открытые контакты РРП и ключ ЗКУ получает питание катушка реле 1РП. Реле 1РП включается и обеспечивает выдачу напряжения на мегаомметр. При собранной блокировке пульта

включаются контакторы 1К и 2К и своими контактами отключают заземление с высоковольтного ввода трансформатора НОМ-10 и мегаомметра.

Напряжение на мост Р595 выдается через реле 6РП. Включение реле 6РП происходит по цепи АЗ-КБ – нормально открыты контакт РРП – ключ ЗКУ – нормально закрытый контакт РТ – катушка 6РП-0,2

Одновременно с подачей напряжения на реле 1РП получает напряжение реле времени РВ, контакты которого замыкаются через 15 сек и размыкаются при достижении 60 сек.

В цепях сигнализации установлены сигнальные лампы ЛС1, ЛС2, ЛС3, ЛС4. Лампа ЛС1 сигнализирует о том, что блокировка пульта собрана, она подключается через контакторы реле разрешения пуска (РРП). Лампа ЛС2 сигнализирует о том, что напряжение выдано на мегаомметр. Лампа ЛС3 сигнализирует о выдаче напряжения на мост Р595. Сигнальная лампа ЛС4 загорается через 15 секунд после подачи напряжения на мегаомметр и гаснет через 60 секунд.

На дверях испытательного поля установлены световые табло «СТОЙ, ИДУТ ИСПЫТАНИЯ» и габаритные фонари красного цвета, которые сигнализируются одновременно с подачей напряжения на поле.

Защита трансформатора НОМ-10 от коротких замыканий выполнена на токовом реле РТ-40, при срабатывании короткого замыкания отключается реле 6РП и схема обесточивается.

Блокировка испытательной схемы состоит из: блокировки пульта; блокировки полей №1 и №5. В цепи блокировки включены – ключ выбора пультов КВПУ и ключ выбора полей КВП₁₋₅. Питание цепей блокировки выполнено на переменном напряжении 220В.

В цепь блокировки включены два реле РБП₁ и РБП₅, которые получают питание через ключ выбора полей (КВП₁₋₅).

2.5 Инструкция по эксплуатации

2.5.1 Измерение сопротивления изоляции.

При снятом напряжении с пульта собирается испытательная схема на трансформаторе. Переключатель держателя предохранителя мегаомметра Ф4100 устанавливается в положение соответствующее положению питающей сети. Устанавливать переключатель пределов измерения в положение 1x1. Нажать кнопку «Питание». При разомкнутых зажимах «Заземлено» и «Л» включить АВ, КБ а ключ ЗКУ переключить в положение «МΩ» и установить с помощью ручки «Уст ∞ » указатель прибора на отметку « ∞ », нажав кнопку «Высокое напряжение», после чего кнопку отпустить. Замкнуть зажимы «Заземлено» и «Л» временной перемычкой, нажав кнопку «Высокое напряжение» и пользуясь ручкой «Уст 0», установить указатель прибора на отметку «0», после чего кнопку отпустить. Убедившись в отсутствии людей на испытательном поле, подключают измерительные провода к зажимам «заземлено» и «Л». С помощью сирены подается звуковой сигнал и объявляется устно «Выдано напряжение» после чего нажимается кнопка «Высокое напряжение». Когда стрелка приблизится к отметке « ∞ » шкалы, переключатель пределов установить на больший предел.

Для измерения коэффициента абсорбции отсчет показаний прибора следует производить через 15 и 60 секунд после подачи напряжения на испытательное поле. Отсчет времени производится по сигнальной лампе ЛС4, которая загорается через 15 секунд и гаснет через 60 секунд. Если при нажатии кнопки «Высокое напряжение» загорится лампочка с подписью «Перегрузка», измерение необходимо прекратить и проверить цепь экранировки. Сопротивление этой цепи относительно «Заземления» должно быть не менее 5 МОм.

По окончании измерений отпустить кнопку «Высокое напряжение», переключатель пределов измерения установить в положение 1x1, а затем отключить ключ ЗКУ, ключ КБ и автоматический выключатель АВ. Визуально проверить, что контактор 2К отключился и наложил на

измеряемую цепь заземление. На этом измерение можно считать законченным и замеренные показания заносятся в протокол испытания, при разомкнутой цепи блокировки допускается персонал на испытательное поле для разборки схемы.

2.5.2 Измерение тангенса угла диэлектрических потерь.

При снятом напряжении с пульта и разорванной цепи блокировки собирается испытательная схема на трансформаторе. Установить на мосте P595: ручку, чувствительность в положение «выкл»; ручки магазина сопротивления R3 – в положение отсчета 50 Ом, ручки ряда $\text{tg}\delta$ – в положение 5 %, ручка «А» - в положение, « $\text{tg}\delta$ », ручку «В» в положение с обозначениями красного цвета при работе на высоком напряжении. Если переключатель «В» находился в положении, соответствующем работе на низком напряжении (обозначение черного цвета) при переводе его ручки для работы на высоком напряжении необходимо нажать кнопку «Б» и отключить ее после перехода указателя ручки на обозначение красного цвета.

При неизвестной величине емкости измеряемого объекта переключатель «В» необходимо установить в положение изменения наибольшей емкости и под уравниванием моста установить в начале испытательное напряжение 3 кВ не снижая значения ряда R3 менее 15 Ом. Собрать блокировку пульта для чего ключ выбора пультов КЗПУ установить в положение $\text{tg}\delta$ закрыть двери испытательного поля и двери балкона. Убедившись в отсутствии людей на испытательном поле и балконе, подается звуковой сигнал и объявляется устно «Выдаю напряжение» после чего включают ключ выбора поля КВП в положение 5 или 1; ключ ЗКУ в положение « $\text{tg}\delta$ »; ключ КБ в положение «включено» и автоматический выключатель АВ. Ручкой регулирующего устройства плавно поднять напряжение до требуемого значения. Никаких толчков, разрядов и шипений в схеме не должно наблюдаться.

Включить тумблер «сеть». При этом должна загореться лампочка освещения шкалы микроамперметра. Установить ручку «Чувствительность» в такое положение при котором стрелка микроамперметра отклонится на 30-35 мкА. Регулируя сопротивление ряда R3 и $\text{tg}\delta$, добиться положения при котором стрелка микроамперметра наиболее близко подойдет к нулевой отметке шкалы и увеличивая чувствительность уравновесить мост P595 и произвести отсчет. Чувствительность нужно выбрать такую, при которой измерение R3 на величину порядка 2% от набранного отсчетного значения или $\text{tg}\delta$ на величину $(0,3+0,05 \text{ tg}\delta)$ вызывает отклонение конца стрелки микроамперметра на 1 мкА.

Написать значение «R3» и « $\text{tg}\delta$ », а так же положение переключателя пределов измерения «В». По окончании измерений переключатель «чувствительность» установить в положение «выкл». Ручкой РНО снизить напряжение до нуля, затем ключ ЗКУ установить в положение «0», отключить ключ КБ и автоматический выключатель АВ. Визуально проверить, что контактор «1К» отключился и наложил на измеряемую цепь заземление.

На этом измерение можно считать законченным, показания приборов проверяются и измерения заносятся в протокол.

Все 3 стенда старого образца до модернизации очень большие по габаритам и занимают большое количество пультового помещения, и исходя из испытаний они считаются более устаревшими, на сборку схемы и на испытания силовых трансформатором и реакторов уходит большое количество времени, испытание проводят согласно расчетов для испытаний определенного трансформатора под номером ВЕИЮ после чего данные с испытаний заносятся в протокол, заполнение производят в рукописном виде.

Для того чтобы ввести в эксплуатацию новые технологии и новое современное оборудование, создали проект, в котором произвели масштабную модернизацию пультового помещения, поля для испытания и

РУ, тем самым создав из 3 больших стендов один компьютеризированный стенд, заменив на новейшее оборудование, и улучшение поля для испытания.

3 Универсальный испытательный стенд №1 после модернизации на заводе ООО Тольяттинский Трансформатор

3.1 Назначение универсального стенда №1

Универсальный стенд №1 предназначен для приемосдаточных испытаний силовых и измерительных трансформаторов, реакторов и иного энергетического оборудования.

Виды испытаний, проводимые на стенде:

- Измерение диэлектрических характеристик трансформаторов.
- Измерение потерь и тока холостого хода при напряжении 220 В.
- Измерение сопротивления нулевой последовательности.
- Измерение коэффициента трансформации и определение группы соединения обмоток.
- Измерение сопротивления обмоток постоянному току.
- Измерение потерь тока холостого хода при номинальном напряжении.
- Измерение гармонического состава тока холостого хода.
- Измерение потерь и напряжения короткого замыкания.
- Испытание изоляции объекта приложенным напряжением.
- Испытание изоляции объекта индуктированным напряжением.

Испытание переключающего устройства в составе силового трансформатора.

3.2 Рабочие условия эксплуатации стенда его состав и характеристики

Стенд должен эксплуатироваться в следующих условиях:

- температура окружающего воздуха, от + 10 до + 35 °С;
- относительная влажность воздуха, от 30 до 80;
- атмосферное давление, от 84 до 106 кПа;
- частота питающей сети, от 49,5 до 50,5 Гц;
- напряжение питающей сети переменного тока, от 198 до 242 В

- коэффициент несинусоидальной кривой напряжения питающей сети не более, 5%.

Стенд включает в себя два компьютеризированных рабочих места оператора, с каждого из которых можно проводить автономно и одновременно закрепленные виды испытаний разных объектов.

Виды испытаний, проводимые с рабочего места оператора №1:

- Измерение диэлектрических характеристик трансформаторов.
- Измерение потерь и тока холостого хода при напряжении 220 В.
- Измерение коэффициента трансформации и определение группы соединения обмоток.

- Измерение сопротивления обмоток постоянному току.

- Измерение сопротивления нулевой последовательности.

В состав оборудования и средств измерения, обеспечивающих испытания объектов с рабочего места оператора №1 входят:

- Пульт управления и измерения, включающий в себя :

- а) ПК оператора №1, с установленным программным продуктом;

- б) мост переменного тока СА 7000-3;

- в) микроомметр МІ 3250;

- г) измеритель коэффициента трансформации ТТR300

- д) измеритель мощности NORMA 4000

- Шкаф управления, измерения и защиты.

- Регулируемый источник переменного напряжения, мощностью 10 кВА, с диапазоном регулирования напряжения от 10 В до 400 В

Виды испытаний, проводимые с рабочего места оператора №2:

- Измерение потерь и тока холостого хода при номинальном напряжении.

- Измерение гармонического состава тока холостого хода. Прогонка РПН при номинальном напряжении (4 цикла).

- Измерение потерь и напряжения короткого замыкания.

- Испытание изоляции объекта приложенным напряжением.

- Испытание изоляции объекта индуктированным напряжением.
- Испытание переключающего устройства в составе силового трансформатора.

В состав оборудования и средств измерения, обеспечивающих испытаний объектов с рабочего места оператора №2 входят:

- Пульт управления и измерения, включающий в себя:
 - а) ПК оператора №1, с установленным программным продуктом;
 - б) измеритель мощности NORMA 4000;
 - в) амплитудный вольтметр ВА 11;
- Регулируемый источник переменного напряжения ПЧ-ТТТТ-1,2к-600-50/150, мощностью 1000 кВА, с диапазоном регулирования напряжения от 10 В до 600 В
- Согласующий трансформатор №1 ТМГ-1600/11,5/6,6/0,6
- Согласующий трансформатор №2 ТМТН- 4000/35.
- Регулируемый трансформатор РОТМ-100/05
- Испытательный трансформатор ИОМ-100/100
- Шкаф управления, измерения и защиты.
- Измерительные трансформаторы тока ТЛЛ 3000/5, количество – 3шт.
- Измерительные трансформаторы напряжения НЛЛ15, количество – 3шт.
- Измерительные трансформаторы напряжения UZON 30, количество - 3 шт.
- Измерительные трансформаторы напряжения ЗНОМ 35, количество 2 шт.

Устройство стенда предусматривает прямые измерения всех характеристик трансформаторов и реакторов.

В выпускной квалификационной работе подробно рассматриваем испытание измерения сопротивления изоляции и тангенса угла диэлектрических потерь в силовых трансформаторах.

3.3 Порядок работы на рабочем месте оператора №1.

1 Запуск

Для запуска программы IST необходимо запустить файл IST.exe, расположенный в каталоге программного обеспечения АСУ.

Программу IST.exe. можно также запустить из меню «Пуск/Все программы/АСУ ИСТ/ IST» или с помощью ярлыка, расположенного на Рабочем столе.

2 Подготовка к испытанию нового трансформатора

Перед началом испытания нового трансформатора нужно нажать кнопку «Новый» на главной вкладке программы, заполнить все поля группы «Объект испытаний» и выбрать вид испытаний в поле «Испытание».

3 Измерение сопротивления изоляции обмоток

Для измерения используется прибор СА 7003.

Подключить измерительные кабели к объекту испытаний. Включить стенд в режиме измерения диэлектрических характеристик. Включить прибор в режиме измерения сопротивления изоляции обмоток. Провести измерения и сохранить измеренные значения. Сохранить в файл и загрузить в таблицу «Загрузить». Отправить измеренные значения в «Протокол».

4 Измерение тангенса угла диэлектрических потерь и емкости обмоток.

Для измерения используется прибор СА 7003. Подключить измерительные кабели к объекту испытаний. Включить стенд в режиме измерения диэлектрических характеристик. Включить прибор в режиме измерения тангенса угла диэлектрических потерь и емкости обмоток. Включить отпайку «5/5» трансформатора тока. Выбрать обмотку, изоляция которой проверяется: ВН; СН; НН; ВН+СН+НН. Нажать кнопку «Сборка цепей измерения»

При этом напряжение на выходе регулируемого источника, автоматически устанавливается в нулевое положение. Загорается сигнализация Умин. Только при этом условии нажимается кнопка «Пуск» и на прибор СА 7003 подается тестирующее напряжение. Провести измерения

и сохранить измеренные значения. Сохранить файл и загрузить в таблицу «Загрузить». Отправить измеренные значения в «Протокол».

Освоение новых передовых технологий и внедрение их в производство по испытанию силовых трансформаторов с целью повышения их надежности, обеспечения экономичности эксплуатации у заказчика, снижения капитальных затрат при реконструкции или строительстве энергетических объектов. Универсальный испытательный стенд №1 после полной модернизации соответствует всем требованиям и нормам в испытании силовых трансформаторов, прошедший полную аккредитацию, и внедрен в эксплуатацию. На стенде сократилось количество затрачиваемого времени для испытания данного объекта, сократилось время на заполнение протокола, в 10-ки раз в схеме сократилось число проводов, все кнопки, ключи управления, ключи переключения, управляются при помощи программы IST.exe. в компьютере, что создает удобство и сокращает сроки данные на испытание объекта в 2 раза.

В машинный зал приходит на ячейки напряжение с ГПП, для дальнейшего распределение электроэнергии в производственном корпусе и для включения: генераторов больших мощностей; преобразователя частоты ПЧ-ТТПТ-1,2к-600-50/150; питания стендов и всего оборудования в испытательном центре. Для того чтобы знать какое напряжение и какая мощность должна приходить в машинный зал, нужно произвести расчет ГПП

4 Выбор типа, числа и мощности силовых трансформаторов

4.1 Выбор типа силовых трансформаторов

В соответствии с последними редакциями нормативно-технической документации касающихся напряжения 110 кВ, рекомендуется использование трехфазных трансформаторов со встроенным устройством регулирования напряжения под нагрузкой (далее РПН). Для отдельного питания резкопеременной и общепромышленной нагрузок целесообразно применять трансформаторы с расщепленными обмотками или сдвоенные реакторы с двухобмоточным трансформатором с вынесением, в случае необходимости резкопеременной нагрузки на отдельные обмотки трансформаторов и сборных шин подстанции [1,25].

4.2 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов

С учетом категории потребителей для обеспечения надежности питания определяется число трансформаторов на подстанции с выполнением приближенного расчета номинальной мощности выбираемых трансформаторов.

Для потребителей 1-й категории или 2-й категории без резервирования по стороне низшего напряжения выбирают многотрансформаторную подстанцию (далее ПС), как правило, двухтрансформаторную ПС, для которой допустимая номинальная мощность каждого трансформатора $S_{\text{ном.Т}}$ с учётом допустимой перегрузки в аварийном режиме в общем виде определяется по выражению:

$$S_{\text{ном.Т}} \geq \frac{S_{\text{max ПС}} \times K_{1-2}}{K_{\text{пер}} \times (n - 1)},$$

где K_{1-2} - коэффициент участия в нагрузке потребителей первой и второй категории (в среднем для сетевых ПС и главных понизительных подстанций (далее ГПП) принимается равным 0,75÷0,85);

$K_{пер} = 1,4$ - коэффициент приближенной допустимой аварийной перегрузки трансформатора;

n – количество параллельно работающих трансформаторов ПС.

$$S_{ном.Т} = \frac{41,54 \times 0,8}{1,4 \times (2 - 1)} = 23,74 \text{ МВА}$$

Далее применительно к полученному значению $S_{ном.Т}$ подстанции по шкале мощности силовых трансформаторов из справочников выбирается не менее двух ближайших и больших по мощности трансформаторов из условия:

$$S_{ном.Т2} > S_{ном.Т1} \geq S_{ном.Т}$$

Для дальнейшего рассмотрения применяются следующие силовые трехфазные трансформаторы: ТРДН-32000/110 и ТРДН-40000/110.

4.3 Техничко-экономический выбор номинальной мощности трансформаторов по годовым графикам нагрузки подстанции

Техничко-экономический выбор номинальной мощности трансформаторов предусматривает обеспечение экономичных режимов работы, которые характеризуются минимум потерь мощности в трансформаторах при их работе по заданному графику нагрузки.

При этом необходимо учитывать не только потери активной мощности в самих трансформаторах, но и потери активной мощности, возникающие в системе электроснабжения из-за потребления трансформаторами реактивной мощности.

Рассмотрим вариант подстанции с трансформатором типа ТРДН-32000/110/6. Каталожные данные которого представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Каталожные данные трансформатора типа ТРДН-32000/110/6/6

Тип	$S_{\text{НОМ.Т}},$ МВА	$U_{\text{НОМ.ОБМОТОК}},$ кВ		$U_{\text{к}},$ %	$\Delta P_{\text{к}},$ кВт	$\Delta P_{\text{х}},$ кВт	$I_{\text{х}},$ %	Стоимость, млн. руб.
		ВН	НН					
ТРДН- 32000/110	32	115	6,3/6,3	10,5	145	32	0,75	28

Коэффициенты загрузки обмоток трансформаторов высшего и низшего напряжений составляют:

$$k_{\text{з.в.}} = \frac{41540}{32000} = 1,298, \quad k_{\text{з.н1}} = \frac{25411}{32000} = 0,794, \quad k_{\text{з.н2}} = \frac{16129}{32000} = 0,504$$

Потери реактивной мощности трансформатора в режиме холостого хода составят:

$$Q_{\text{х}} = \frac{I_{\text{х}}(\%)}{100} \times S_{\text{НОМ.Т}} = \frac{0,75}{100} \times 32000 = 240 \text{ квар}$$

Приведенные потери мощности трансформатора в режиме холостого хода:

$$P'_{\text{х}} = \Delta P_{\text{х}} + K_{\text{ип}} \times Q_{\text{х}} = 32 + 0,05 \times 240 = 44 \text{ кВт}$$

Напряжение короткого замыкания (%) обмоток трехфазного трансформатора с расщепленной обмоткой определяют из приближенных выражений:

$$U_{\text{к.в}} = 0,125 \times u_{\text{к.ВН-НН}} = 0,125 \times 10,5 = 1,3125 \%,$$

$$U_{\text{к.н1}} = U_{\text{к.н2}} = 1,75 \times u_{\text{к.ВН-НН}} = 1,75 \times 10,5 = 18,375 \%$$

Потери реактивной мощности соответствующих обмоток трехфазного трансформатора определяются по формуле:

$$Q_{к.в} = \frac{1,3125}{100} \times 32000 = 420 \text{ квар},$$

$$Q_{к.н1} = Q_{к.н2} = \frac{18,375}{100} \times 32000 = 5880 \text{ квар}.$$

Потери активной мощности короткого замыкания соответствующих обмоток трансформатора при 100% их загрузки определяются из выражения:

$$P_{к.в} = 0, \quad P_{к.н1} = P_{к.н2} = 2 \times \Delta P_{к.вн-нн} = 2 \times 145 = 290 \text{ кВт},$$

Приведенные потери активной мощности короткого замыкания соответствующих обмоток трансформатора с расщепленной обмоткой низшего напряжения определяются следующим образом:

$$P'_{к.в.} = P_{к.в} + K_{ип} \times Q_{к.в} = 0 + 0,05 \times 420 = 21 \text{ кВт},$$

$$P'_{к.н1} = P'_{к.н2} = P_{к.н1,2} + K_{ип} \times Q_{к.н1,2} = 290 + 0,05 \times 5880 = 584 \text{ кВт}$$

Для группы параллельных трансформаторов определяется экономическая нагрузка $S_{э}$, ниже которой целесообразно отключать один из параллельно работающих трансформаторов для неответственных потребителей.

Экономическая нагрузка трансформаторов для подстанции определяется по следующей формуле:

$$S_{э} = S_{ном.т} \times \sqrt{n \times n - 1} \times \frac{P'_x}{P'_k}$$

где $P'_k = P'_{к.в.} + P'_{к.н1,2} = 21 + 584 = 605 \text{ кВт}$ - приведенные потери активной мощности короткого замыкания трансформатора.

Экономическая нагрузка трансформаторов для подстанции варианта №1 составит:

$$S_{\Sigma 2} = 32000 \times \frac{2 \times (2 - 1) \times 44}{605} = 12204,32 \text{ кВА}$$

Для трехфазных трансформаторов с расщепленной обмоткой низшего напряжения годовые потери энергии $\Delta W_{\text{пс}}$ определяются из следующего обобщенного выражения на основании расчетных годовых графиков нагрузки для соответствующих обмоток $S_{B_i}, S_{H1i}, S_{H2i}$:

$$\begin{aligned} \Delta W_{\text{пс}} = & \Delta W_{x_i} + \Delta W_{k_i} = \Delta W_{x_i} + \Delta W_{\text{к.в.} i} + \\ + & \Delta W_{\text{к.н1} i} + \Delta W_{\text{к.н2} i} = (n_i \times P'_x \times T_i) + \sum_{i=1}^k \left(\left(\frac{1}{n} \times P'_{\text{к.в.}} \times k_{\text{з.в.}i}^2 \times T_i \right) + \right. \\ & \left. + \left(\frac{1}{n} \times P'_{\text{к.н1}i} \times k_{\text{з.н1}i}^2 \times T_i \right) + \left(\frac{1}{n} \times P'_{\text{к.н2}i} \times k_{\text{з.н2}i}^2 \times T_i \right) \right), \end{aligned}$$

где i – порядковый номер ступени графика нагрузки, ступени нагрузки целесообразно определять по графику загрузки обмоток высшего напряжения трансформатора;

n_i - число трансформаторов ПС, находящихся в работе на i -ой ступени годового графика нагрузки, определенное с учетом значения экономической нагрузки S_{Σ} ;

T_i - продолжительность нахождения нагрузки S_i на i -ой ступени.

Расчет потерь электроэнергии в трансформаторах приведен в таблице 3.3 «Приложение Б», отражающей в табличном виде выражение.

Далее определяем стоимость годовых потерь электроэнергии в трансформаторах по выражению:

$$И_{\Sigma} = \Delta W_{\text{пс}} \times C_{\Sigma},$$

где $C_{\text{Э}}$ - стоимость 1 кВт*ч электроэнергии, (руб./кВт*ч), определяется из выражения:

$$C_{\text{Э}} = \frac{\alpha}{T_{\text{М}}} + \beta,$$

где α - основная ставка двухставочного тарифа за 1 кВт договорной мощности. В данной курсовой работе принимается равным $\alpha = 240$;

β - дополнительная ставка двухставочного тарифа за каждый кВт*ч активной энергии, учтенной расчетным счетчиком. В данной курсовой работе принимается равным $\beta = 1,1$.

$$C_{\text{Э}} = \frac{240}{5509,11} + 1,1 = 1,14 \text{ кВт} * \text{ч}$$

Таким образом стоимость годовых потерь электроэнергии варианта №2 составит:

$$И_{\text{Э}2} = 1811501,031 \times 1,14 = 2065111,18 \text{ руб.}$$

Экономическую целесообразность выбора трансформаторов определяется методом приведенных затрат:

$$З_{\text{пр}} = E_{\text{н}} \times K + И = E_{\text{н}} \times K + И_0 + И_{\text{Э}},$$

где K – капитальные затраты на оборудование ПС (в данной курсовой работе учитывается только стоимость трансформаторов ПС), руб.;

$E_{\text{н}}$ – нормативный коэффициент дисконтирования, принимается равным $E_{\text{н}} = 0,125 \div 0,3$;

$И$ - годовые эксплуатационные издержки, руб.;

I_3 - стоимость годовых потерь электроэнергии в трансформаторах определяемых по выражению;

I_0 - годовые отчисления, руб. Определяются по следующему выражению:

$$I_0 = p_{\text{сум}} \times K$$

где $p_{\text{сум}} = p_a + p_{op}$ - суммарный коэффициент отчислений, который состоит из отчислений на амортизацию и обслуживание и ремонт.

Для силового электрооборудования $p_{\text{сум}}$ составляет:

до 20 кВ: $p_{\text{сум}} = 0,104;$

35-150 кВ: $p_{\text{сум}} = 0,094;$

220 кВ и выше $p_{\text{сум}} = 0,084.$

Таким образом годовые отчисления для варианта №1 составят:

$$I_{0,2} = 0,094 \times 28 = 2,632 \text{ млн. руб.}$$

Приведенные затраты для варианта №1 составят:

$$\begin{aligned} Z_{пр 2} &= 0,3 \times 28000000 \times 2 + 2632000 \times 2 + 2065111,18 = \\ &= 24129111,18 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Рассмотрим вариант подстанции с трансформатором типа ТРДН-40000/110/6. Каталожные данные которого представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Каталожные данные трансформатора типа ТРДН-40000/110/6/6

Тип	$S_{\text{ном.Т}}$, МВА	$U_{\text{ном}}$ обмоток, кВ		U_k , %	ΔP_k , кВт	ΔP_x , кВт	I_x , %	Стоимость, млн. руб.
		ВН	НН					
ТРДН-40000/110	40	115	6,3/6,3	10,5	175	36	0,7	32

Коэффициенты загрузки обмоток трансформаторов высшего и низшего напряжений составляют:

$$k_{з.в.} = \frac{41540}{40000} = 1,038, \quad k_{з.н1} = \frac{25411}{40000} = 0,635, \quad k_{з.н2} = \frac{16129}{32000} = 0,504$$

Потери реактивной мощности трансформатора в режиме холостого хода составят:

$$Q_x = \frac{I_x(\%)}{100} \times S_{\text{ном.Т}} = \frac{0,7}{100} \times 40000 = 280 \text{ квар}$$

Приведенные потери мощности трансформатора в режиме холостого хода:

$$P'_X = \Delta P_x + K_{\text{ип}} \times Q_x = 36 + 0,05 \times 280 = 50 \text{ кВт}$$

Напряжение короткого замыкания (%) обмоток трехфазного трансформатора с расщепленной обмоткой определяют из приближенных выражений:

$$U_{к.в} = 0,125 \times u_{к.вн-нн} = 0,125 \times 10,5 = 1,3125 \%, \\ U_{к.н1} = U_{к.н2} = 1,75 \times u_{к.вн-нн} = 1,75 \times 10,5 = 18,375 \%$$

Потери реактивной мощности соответствующих обмоток трехфазного трансформатора определяются по формуле:

$$Q_{к.в} = \frac{1,3125}{100} \times 40000 = 525 \text{ квар}, \\ Q_{к.н1} = Q_{к.н2} = \frac{18,375}{100} \times 40000 = 7350 \text{ квар}.$$

Потери активной мощности короткого замыкания соответствующих обмоток трансформатора при 100% их загрузки определяются из выражения:

$$P_{к.в} = 0, \quad P_{к.н1} = P_{к.н2} = 2 \times \Delta P_{к.вн-нн} = 2 \times 175 = 350 \text{ кВт},$$

Приведенные потери активной мощности короткого замыкания соответствующих обмоток трансформатора с расщепленной обмоткой низшего напряжения определяются следующим образом:

$$P'_{к.в.} = P_{к.в.} + K_{ип} \times Q_{к.в.} = 0 + 0,05 \times 525 = 26,25 \text{ кВт},$$

$$P'_{к.н1} = P'_{к.н2} = P_{к.н1,2} + K_{ип} \times Q_{к.н1,2} = 350 + 0,05 \times 7350 = 717,5 \text{ кВт}$$

Для группы параллельных трансформаторов определяется экономическая нагрузка $S_{э}$, ниже которой целесообразно отключать один из параллельно работающих трансформаторов для неответственных потребителей.

Приведенные потери активной мощности короткого замыкания трансформатора составят:

$$P'_к = P'_{к.в.} + P'_{к.н1,2} = 26,25 + 717,5 = 743,75 \text{ кВт}$$

Экономическая нагрузка трансформаторов для подстанции варианта №2 составит:

$$S_{э3} = 40000 \times \frac{2 \times (2 - 1) \times 50}{743,75} = 14667,176 \text{ кВА}$$

Расчет потерь электроэнергии в трансформаторах приведен в таблице 3.5 «Приложение В», отражающей в табличном виде выражение.

Стоимость годовых потерь электроэнергии в трансформаторах для варианта №3 составит:

$$И_{эз} = 1655626,646 \times 1,14 = 1887414,38 \text{ руб.}$$

Годовые отчисления для варианта №2 равны:

$$И_{оэ} = 0,094 \times 32 = 3,008 \text{ млн. руб.}$$

Приведенные затраты для варианта №2 составят:

$$\begin{aligned} Z_{пр2} &= 0,3 \times 32000000 \times 2 + 3008000 \times 2 + 1887414,38 = \\ &= 27103414,38 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Из рассмотренных вариантов №1 и №2 видно, что наименьшие приведенные затраты имеет вариант №2, но при этом одна из обмоток трансформатора на низкой стороне загружена на 79,4%, что превышает допустимые 70%. Данное превышение загрузки обмоток трансформатора приводит к быстрому старению изоляционных материалов и, как следствие, уменьшению межремонтного интервала трансформаторов и недоставке электроэнергии потребителям.

Исходя из расчетных данных и учитывая вышесказанное, к дальнейшему рассмотрению принимается вариант №2, 2 трансформатора типа ТРДН-40000/110/6/6.

5 Расчёт токов короткого замыкания

Расчет токов короткого замыкания зависит от поставленной цели. Например, расчетным видом тока короткого замыкания при выборе и проверке аппаратов и проводников обычно является трехфазный ток короткого замыкания, реже (в сетях 110 кВ и выше) – однофазный ток короткого замыкания. При расчетах цепей релейной защиты расчетными видами токов короткого замыкания, в сетях 110-220 кВ – трех-, двух- и однофазные токи короткого замыкания [1,17].

В данном пункте выпускной квалификационной работы рассматривается расчет токов трехфазного короткого замыкания напряжением выше 1 кВ.

При расчетах токов короткого замыкания допускается не учитывать:

- сдвиг по фазе ЭДС различных синхронных машин и изменение их частоты вращения, если продолжительность короткого замыкания не превышает 0,5 с;
- ток намагничивания силовых трансформаторов и автотрансформаторов;
- насыщение магнитных систем электрических машин;
- поперечную емкость воздушных линий электропередачи напряжением 110-220 кВ, если их длина не превышает 200 км, и напряжением 330-500 кВ, если их длина не превышает 150 км;
- влияние активных сопротивлений различных элементов исходной расчетной схемы на амплитуду периодической составляющей тока короткого замыкания, если активная составляющая результирующего эквивалентного сопротивления расчетной схемы относительно точки короткого замыкания не превышает 30% от индуктивной составляющей результирующего эквивалентного сопротивления.

Расчётная схема и схема замещения показаны на рисунке 5.1 «Приложение Г».

Далее производим расчет сопротивлений схемы замещения в относительных единицах. Так сопротивление системы находится по следующей формуле:

$$X_{*б,с} = \frac{S_б}{S_к} = \frac{100}{520} = 0,192$$

Сопротивление линии составит:

$$X_{*б,л} = x_{уд} \times l \times \frac{S_б}{U_{ср}^2} = 0,4 \times 8 \times \frac{100}{115^2} = 0,0242$$

Для нахождения сопротивления трансформатора, представим его условно в виде одной обмотки:

$$X_{*б,т} = \frac{U_к\%}{100} \times \frac{S_б}{S_{ном.т}} = \frac{10,5}{100} \times \frac{100}{40} = 0,2625$$

5.1 Расчет симметричного короткого замыкания до точки К1

Резльтирующее сопротивление до точки К1:

$$X_{*рез \ б \ К1} = X_{*б,с} + X_{*б,л} = 0,192 + 0,0242 = 0,2162$$

Базисный ток:

$$I_б = \frac{S_б}{\sqrt{3} \times U_б} = \frac{100}{\sqrt{3} \times 115} = 0,502 \text{ кА}$$

Начальное действующее значение периодической составляющей тока короткого замыкания определяется по следующей формуле:

$$I_{п,о}^3 = \frac{E''_{*б}}{X_{*рез б}} \times I_б$$

$$I_{п,о К1}^3 = \frac{1}{0,2162} \times 0,502 = 2,322 \text{ кА}$$

Ударный ток короткого замыкания определяется по следующему выражению:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \times I_{п,о} \times k_{уд}$$

Ударный ток короткого замыкания до точки К1:

$$i_{уд К1} = \sqrt{2} \times 2,322 \times 1,8 = 5,911 \text{ кА}$$

5.2 Расчет симметричного короткого замыкание до точек К2 и К3

Так как трансформатор на низкой стороне имеет две расщепленные обмотки одинакового сопротивления, следовательно и токи короткого замыкания протекающие в них будут равны.

Результатирующее сопротивление до точки К2:

$$X_{*рез б К2} = X_{*рез б К1} + X_{*б,Т} = 0,2162 + 0,2625 = 0,4787$$

Базисный ток:

$$I_б = \frac{S_б}{\sqrt{3} \times U_б} = \frac{100}{\sqrt{3} \times 6,3} = 9,164 \text{ кА}$$

Начальное действующее значение периодической составляющей тока короткого замыкания определяется по выражению:

$$I_{п,о К2}^3 = \frac{1}{0,4787} \times 9,164 = 19,144 \text{ кА}$$

Ударный ток короткого замыкания определяется по выражению равен:

$$i_{уд К2} = \sqrt{2} \times 19,144 \times 1,8 = 48,73 \text{ кА}$$

5.3 Расчет несимметричных коротких замыканий до точки К1

Для расчета несимметричных токов короткого замыкания необходимо составить схемы замещения прямой, обратной и нулевой последовательности. Данные схемы замещения для расчета тока короткого замыкания до точки К1 представлены на рисунке 5.2 «Приложение Д».

Сопротивление прямой последовательности составит:

$$X_{1\Sigma} = X_{*б,с} + X_{*б,л} = 0,2162$$

Сопротивление обратной последовательности равно сопротивлению прямой последовательности и равно:

$$X_{2\Sigma} = X_{1\Sigma} = 0,2162$$

Сопротивление нулевой последовательности составит:

$$X_{0\Sigma} = \frac{X_{*б,с} \times X_{*б,л}}{X_{*б,с} + X_{*б,л}} = 0,1315$$

Ток прямой последовательности для несимметричных коротких замыканий определяется по следующей формуле:

$$I_K^n = \frac{E''_{*6}}{X_{1\Sigma} + \Delta X^n}$$

Для определения самого опасного вида несимметричного короткого замыкания воспользуемся коэффициентом тяжести, определяемым по формуле:

$$K_T = \frac{m}{1 + \frac{\Delta X^n}{X_{1\Sigma}}}$$

Расчет коэффициентов тяжести произведем в таблицу 5.1.

Таким образом, самым опасным видом несимметричного короткого замыкания является однофазное короткое замыкание, следовательно:

$$I_K^{(1)} = \frac{1}{0,2162 + 0,3477} = 1,7734$$

Начальное значение периодической составляющей при любом виде короткого замыкания определяется:

$$I_{п,0}^{(n)} = m^n \times I_K^n \times I_6$$

Таблица 5.1 – Расчет коэффициентов тяжести

Вид к. з.	ΔX^n	m^n	K_T
Однофазное	$X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma} = 0,3477$	3	1,15
Двухфазное	$X_{2\Sigma} = 0,2162$	$\bar{3}$	0,87
Двухфазное на землю	$\frac{X_{2\Sigma} \times X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}} = 0,082$	$\bar{3} \times \sqrt{1 - \frac{X_{2\Sigma} \times X_{0\Sigma}}{(X_{2\Sigma} + 0_{2\Sigma})^2}} = 1,515$	1,1

Начальное значение периодической составляющей при любом виде короткого замыкания определяется:

$$I_{п,о}^{(n)} = m^n \times I_K^n \times I_б$$

$$I_{п,о}^{(1)} = 3 \times 1,7734 \times 0,502 = 2,671 \text{ кА}$$

Ударный ток короткого замыкания определяется по выражению равен:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \times 2,671 \times 1,8 = 6,8 \text{ кА}$$

5.4 Расчет несимметричных коротких замыканий до точек К2 и К3

Так как расщепленные обмотки трансформатора имеют соединение треугольник, то следовательно токи нулевой последовательности будут равны нулю: $X_{0\Sigma} = 0$

Схемы прямой и обратной последовательности для расчета тока короткого замыкания до точки К2 представлены на рисунке 5.3 «Приложение Е».

Сопротивление прямой последовательности оставит:

$$X_{1\Sigma} = X_{*б,с} + X_{*б,л} + X_{*б,т} = 0,4787$$

Сопротивление обратной последовательности равно сопротивлению прямой последовательности и равно:

$$X_{2\Sigma} = X_{1\Sigma} = 0,4787$$

Расчет коэффициентов тяжести произведем в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Расчет коэффициентов тяжести

Вид к. з.	ΔX^n	m^n	K_T
Однофазное	$X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma} = 0,4787$	3	1,5
Двухфазное	$X_{2\Sigma} = 0,4787$	$\sqrt{3}$	0,87
Двухфазное на землю	$\frac{X_{2\Sigma} \times X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}} = 0$	$\sqrt{3} \times \sqrt{1 - \frac{X_{2\Sigma} \times X_{0\Sigma}}{(X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma})^2}} = 1,7321$	1,7321

Таким образом, самым опасным видом несимметричного короткого замыкания является двухфазное короткое замыкание на землю, следовательно:

$$I_{\text{к}}^{(1,1)} = \frac{1}{0,479 + 0} = 2,09$$

Начальное значение периодической составляющей при двухфазном коротком замыкании на землю равно:

$$I_{\text{п,о}}^{(1,1)} = 1,7321 \times 2,09 \times 9,164 = 33,174 \text{ кА}$$

Ударный ток короткого замыкания определяется по выражению равен:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \times 33,174 \times 1,8 = 84,45 \text{ кА}$$

Сведем рассчитанные токи короткого замыкания в таблице 5.3 «Приложение Ж».

6 Выбор электрических аппаратов и проводников

6.1 Выбор оборудования на 110 кВ

6.1.1 Выбор выключателя

Выключатели выбираются по следующим параметрам:

1) номинальному напряжению $U_{\text{ном}} \leq U_{\text{сет.ном.}}$;

2) номинальному току $I_{\text{ном.дл.}} \leq I_{\text{ном.}}$;

3) отключающей способности:

3.1) на симметричный ток отключения $I_{n,\tau} \leq I_{\text{откл.ном.}}$;

3.2) на отключение апериодической составляющей тока короткого замыкания $i_{a,\tau} \leq i_{a,\text{ном.}} = \bar{2} \times \beta_{\text{нор.}}/100) \times I_{\text{откл.ном.}}$,

где $i_{a,\tau}$ - номинальное допустимое значение апериодической составляющей в отключенном токе для времени $\tau = t_{\text{рз}} + t_{\text{с.в.}}$;

$t_{\text{рз}} = 0,01$ с- время действия релейной защиты;

$t_{\text{с.в.}}$ - собственное время отключения выключателя;

$\beta_{\text{нор.}}$ - нормативное значение содержания апериодической составляющей в отключенном токе, %, которое определяется по справочникам или каталогу на выключатель.

3.3) если условие $I_{n,\tau} \leq I_{\text{откл.ном.}}$ соблюдается, но при этом $i_{a,\tau} > i_{a,\text{ном.}}$, то проверку по отключающей способности производят по полному току короткого замыкания:

$$\bar{2} \times I_{n,\tau} + i_{a,\tau} \leq \bar{2} \times I_{\text{откл.ном.}} \times (1 + \beta_{\text{нор.}}/100)$$

4) предельному сквозному току короткого замыкания – на электродинамическую стойкость:

$$I_{\text{п,о}}^n \leq I_{\text{н п.с.}}$$

$$i_{уд} \leq i_{n.p.c.}$$

где $I_{n.p.c.}$ - действующее значение предельного сквозного тока короткого замыкания (по справочнику);

$i_{n.p.c.}$ - амплитудное значение предельного сквозного тока короткого замыкания (по справочнику);

5) тепловому импульсу – на термическую стойкость:

$$W_k \leq I_T^2 \times t_T,$$

если $t_{откл} < t_T$, то $W_k \leq I_T^2 \times t_{откл.}$,

где I_T – предельный ток термической устойчивости (по справочнику):

t_T - длительность протекания тока термической устойчивости (по справочнику).

Расчетные токи продолжительного режима с учетом 40% перегрузки:

$$I_{max} = 1,4 \times \frac{S_{ном.Т}}{\sqrt{3} \times U_{ср}}$$

$$I_{max} = 1,4 \times \frac{40000}{\sqrt{3} \times 115} = 281,14 \text{ А}$$

Термическая стойкость определяется по следующей формуле:

$$W_k = I_{п,о}^2 \times t_{откл.} + T_a$$

Для выбора и проверки аппаратов и проводников принимается к расчету наибольшее начальное значение периодической составляющей рассчитанной в пункте 5:

$$I_{п,о}^{(1)} = 2,671 \text{ кА}; \quad i_{уд} = 6,8 \text{ кА}.$$

Термическая стойкость с продолжительностью короткого замыкания $t_{откл.} = 0,2 \text{ с}$ составляет:

$$W_{к} = 2,671^2 \times 0,2 + 0,12 = 2,283 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Максимальное значение аperiodической составляющей тока короткого замыкания находится по формуле:

$$i_{а,τ} = \bar{2} \times I_{п,о}^n \times e^{-\frac{τ}{T_a}}$$

$$\text{Времени } τ = t_{рз} + t_{с.в} = 0,01 + 0,06 = 0,07 \text{ с}$$

Максимальное значение аperiodической составляющей тока короткого замыкания составляет:

$$i_{а,τ} = \bar{2} \times 2,283 \times e^{-\frac{0,07}{0,12}} = 1,802 \text{ кА}$$

По каталожным данным известных производителей элегазовый колонковый выключатель, выбираю выключатель элегазовый типа ВГТ-110 производителя ЗАО «ЗЭТО–Газовые Технологии», Псковская область, г. Великие Луки.

Все каталожные и расчетные величины сведены в таблицу 6.1 «Приложение 3».

В результате сопоставления расчетных данных с каталожными, выявлено, что данный выключатель соответствует всем параметрам и применяется к установке в ОРУ [1,20] .

6.1.2 Выбор разъединителей

Разъединители выбираются по следующим параметрам:

- 1) номинальному напряжению $U_{\text{ном}} \leq U_{\text{сет.ном.}}$;
- 2) номинальному току $I_{\text{ном.дл.}} \leq I_{\text{ном.}}$;
- 3) электродинамической стойкости $I_{\text{п,о}}^n \leq I_{\text{n п.с.}}, \quad i_{\text{уд}} \leq i_{\text{n п.с.}}$;
- 4) термической стойкости: $B_{\text{к}} \leq I_{\text{T}}^2 \times t_{\text{T}}$,
если $t_{\text{откл}} < t_{\text{T}}$, то $B_{\text{к}} \leq I_{\text{T}}^2 \times t_{\text{откл.}}$,
- 5) конструкции, роду установки.

По каталожным данным известных производителей разъединителей, выбираю разъединитель серии РГ-110 производителя ЗАО «ЗЭТО–Газовые Технологии», Псковская область, г. Великие Луки.

Все каталожные и расчетные величины сведены в таблицу 6.2.

Таблица 6.2 – Расчетные и каталожные данные разъединителя

Разъединитель РГ-110	
Расчетные данные	Каталожные данные
$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{сет.ном}} = 110 \text{ кВ}$
$I_{\text{max}} = 281,14 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$
$I_{\text{п,о}}^{(1)} = 2,671 \text{ кА}$	$I_{\text{n п.с.}} = 31,5 \text{ кА}$
$i_{\text{уд}} = 6,8 \text{ кА}$	$i_{\text{n п.с.}} = 80 \text{ кА}$
$B_{\text{к}} = 2,283 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$t_{\text{откл}} < t_{\text{T}}$, то $B_{\text{к}} \leq I_{\text{T}}^2 \times t_{\text{откл.}} = 31,5^2 \times 0,06 = 59,54 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

6.1.3 Выбор трансформаторов тока

Трансформатор тока выбирается по следующим условиям:

- 1) номинальному напряжению $U_{\text{ном}} \leq U_{\text{сет.ном.}}$;
- 2) номинальному длительному (рабочему) току $I_{\text{ном.}} \leq I_{1\text{ном.}}$,

где $I_{\text{ном.}}$ - номинальный расчетный (рабочий) первичный ток нагрузки трансформатора тока;

$I_{1\text{ном.}}$ - номинальный первичный ток трансформатора тока (по каталогу);

- 3) электродинамической стойкости $i_{\text{уд}} \leq K_{\text{эд}} \times \sqrt{2} \times I_{1\text{ном.}}$,

где $K_{\text{эд}}$ - кратность электродинамической стойкости трансформатора тока (по каталогу);

- 4) термической стойкости: $B_{\text{к}} \leq K_{\text{T}}^2 \times I_{1\text{ном.}}^2 \times t_{\text{T}}$,

где K_T - кратность термической стойкости трансформатора тока (по каталогу);

5) конструкции и классу точности;

6) вторичной нагрузке $Z_2 \leq Z_{2 \text{ ном.}}$,

где $Z_{2 \text{ ном.}}$ - номинальное полное сопротивление нагрузки (допустимая нагрузка) вторичной обмотки трансформатора тока в выбранном классе точности;

Z_2 - вторичная нагрузка трансформатора тока.

Индуктивное сопротивление токовых цепей невелико, поэтому

$$Z_2 \approx R_2, \quad R_2 = R_{\text{приб.}} + R_{\text{пр}} + R_{\text{к}},$$

где $R_{\text{к}}$ - переходное сопротивление контактов. $R_{\text{к}} = 0,1 \text{ Ом}$.

$R_{\text{пр}}$ - сопротивление проводов;

$R_{\text{приб.}}$ - сопротивление приборов, подключенных к трансформатору тока:

$$R_{\text{приб.}} = \frac{S_{\text{приб.}}}{I_2^2},$$

где $S_{\text{приб.}}$ - полная мощность, потребляемая подключенными приборами (сумма полной мощности всех подключенных приборов);

I_2 - ток вторичной обмотки трансформатора тока, определяемый нагрузкой подключенных приборов.

Чтобы трансформатор тока работал в выбранном классе точности, необходимо выдержать условие:

$$R_{\text{приб.}} + R_{\text{пр}} + R_{\text{к}} \leq Z_{2 \text{ ном.}}$$

Откуда

$$R_{\text{пр}} \leq Z_{2 \text{ ном.}} - R_{\text{приб.}} - R_{\text{к.}}$$

Зная $R_{\text{пр}}$, можно определить сечение соединительных проводов:

$$s = \frac{\rho \times l_{\text{р}}}{R_{\text{пр}}},$$

где ρ - удельное сопротивление материала провода. На подстанциях с высшим напряжением 220 кВ и выше применяются провода с медными жилами ($\rho = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$), в остальных случаях применяются провода с алюминиевыми жилами ($\rho = 0,0283 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$);

$l_{\text{р}}$ - расчетная длина, зависящая от схемы соединения трансформаторов тока (рисунок 6.1)

По условию прочности сечение для медных жил должно быть не менее $2,5 \text{ мм}^2$, для алюминиевых – $4,0 \text{ мм}^2$, но не более 6 мм^2 .

Максимальный расчетный ток в цепи трансформатора среднего напряжения равен номинальному току, так как перегрузка трансформатора среднего напряжения не допускается:

$$I_{\text{max}} = \frac{S_{\text{ном.Т}}}{\sqrt{3} \times U_{\text{ном}}} = \frac{40000}{\sqrt{3} \times 115} = 200,82 \text{ А}$$

По каталожным данным известных производителей измерительных трансформаторов тока, выбираю трансформатор тока типа ТОГФ-110 производителя ЗАО «ЗЭТО–Газовые Технологии», Псковская область, г. Великие Луки. Данный трансформатор тока имеет следующие технические характеристики: $I_{1\text{ном.}} = 400 \text{ А}$, $K_{\text{эд}} = 40$, $K_{\text{Т}} = 27$, $t_{\text{Т}} = 3 \text{ с}$, $Z_{2 \text{ ном.}} = 4 \text{ Ом}$, $S_{2\text{ном}} = 100 \text{ ВА}$.

Сравнение расчетных и каталожных данных приведены в таблицу 6.3.

Таблица 6.3 – Расчетные и каталожные данные трансформатора тока

Трансформатор тока ТОГФ-110	
Расчетные данные	Каталожные данные
$U_{ном} = 110$ кВ	$U_{сет.ном} = 110$ кВ
$I_{max} = 200,82$ А	$I_{ном} = 400$ А
$i_{уд} = 6,8$ кА	$K_{эд} \times \sqrt{2} \times I_{1ном.} = 40 \times \sqrt{2} \times 0,4 = 22,63$ кА
$B_k = 2,283$ кА ² * с	$K_T^2 \times I_{1ном}^2 \times t_T = 27^2 \times 0,4^2 \times 3 = 349,92$ кА ² * с

Для проверки трансформатора тока по вторичной нагрузке, пользуясь схемой включения и каталожными данными приборов, определяем нагрузку по фазам для наиболее загруженного трансформатора тока. В таблицу 6.4 сведена вторичная нагрузка трансформатора тока.

Таблица 6.4 – Вторичная нагрузка трансформатора тока

Прибор	Тип	Нагрузка, ВА, фазы		
		А	В	С
Амперметр	ЦА 2101-005	10	10	10

Из таблицы 6.4 видно, что нагрузка трансформатора по фазам равномерная, следовательно, к расчету можно принимать любую фазу. Общее сопротивление фазы А по формуле составит:

$$R_{приб.} = \frac{10}{5^2} = 0,4 \text{ Ом}$$

Сопротивление проводов находится по условию :

$$R_{пр} = 4 - 0,4 - 0,1 = 3,5 \text{ Ом}$$

Принимая длину соединительных проводов 75 м с медными жилами, определяем сечение проводов по формуле:

$$s = \frac{0,0175 \times 75}{3,5} = 0,375 \text{ мм}^2$$

Принимаем стандартное сечение 2,5 мм².

6.2 Выбор оборудования на 6 кВ

6.2.1 Выбор КРУ

Выбираю КРУ высокого напряжения серия СЭЩ-70 на номинальное напряжение 6 кВ и номинальный ток 3150 А.

Комплектация КРУ-СЭЩ-70 следующая:

- выключатель элегазовый типа LF3 производства MerlinGerin, $I_{ном} = 3150$ А;

- трансформаторы тока типа ТОЛ-СЭЩ-70 производства «РУССКИЙ ТРАНСФОРМАТОР», $I_{1ном.} = 2500$ А, $K_{эд} = 35$, $K_T = 26$, $t_T = 3$ с,

$$Z_{2ном.} = 2,4 \text{ Ом}, \quad S_{2ном} = 60 \text{ ВА.}$$

- трансформатор напряжения типа НОЛ-СЭЩ-6, $U_{ном} = 6$ кВ, класс точности 0,5; $S_{ном} = 50$ ВА.

Произведем проверку комплектного электрооборудования выбранного КРУ.

Проверка выключателя производится аналогично пункту 6.1.1.

Расчетные токи продолжительного режима с учетом 40% перегрузки рассчитываются по формуле:

$$I_{max} = 1,4 \times \frac{40000}{\sqrt{3} \times 6,3 \times 2} = 2566,0012 \text{ А}$$

Для выбора и проверки аппаратов и проводников на стороне НН принимается к расчету наибольшее начальное значение периодической составляющей рассчитанной в пункте 5:

$$I_{п,о}^{(1,1)} = 33,174 \text{ кА}; \quad i_{уд} = 84,45 \text{ кА.}$$

Термическая стойкость с продолжительностью короткого замыкания $t_{откл.} = 0,2$ с составляет:

$$W_k = 33,174 \times 0,2 + 0,12 = 10,62 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Максимальное значение апериодической составляющей тока короткого замыкания находится по формуле:

$$i_{a,\tau} = \frac{\bar{I}}{2} \times 33,174 \times e^{-\frac{0,08}{0,12}} = 24,09 \text{ кА}$$

$$\text{Времени } \tau = t_{рз} + t_{с.в} = 0,01 + 0,07 = 0,08 \text{ с}$$

Все каталожные и расчетные величины сведены в таблицу 6.5

«Приложение И».

В результате сопоставления расчетных данных с каталожными, выявлено, что данный выключатель соответствует всем параметрам и применяется к установке в КРУ.

Проверка трансформаторов тока производится аналогично пункту 7.1.3.

Максимальный расчетный ток в цепи трансформатора среднего напряжения равен номинальному току, так как перегрузка трансформатора среднего напряжения не допускается:

$$I_{max} = \frac{S_{ном.Т}}{\sqrt{3} \times U_{ном} \times 2} = \frac{40000}{\sqrt{3} \times 6,3 \times 2} = 1832,86 \text{ А}$$

Для проверки трансформатора тока по вторичной нагрузке, пользуясь схемой включения и каталожными данными приборов, определяем нагрузку по фазам для наиболее загруженного трансформатора тока. В таблицу 6.7 «Приложение К» сведена вторичная нагрузка трансформатора тока.

Из таблицы 6.4 видно, что наиболее загруженная обмотка трансформатора по фазе А, следовательно, общее сопротивление фазы А по формуле составит:

$$R_{\text{приб.}} = \frac{24}{5^2} = 0,96 \text{ Ом}$$

Сопротивление проводов находится по условию:

$$R_{\text{пр}} = 2,4 - 0,96 - 0,1 = 1,34 \text{ Ом}$$

Принимая длину соединительных проводов 40 м с медными жилами, определяем сечение проводов по формуле:

$$s = \frac{0,0175 \times 40}{1,34} = 0,52 \text{ мм}^2$$

Принимаем стандартное сечение 2,5 мм².

Проверка трансформаторов напряжения производится по следующим условиям:

- 1) номинальному напряжению $U_{\text{ном}} \leq U_{\text{сет.ном.}}$;
- 2) конструкции и схеме соединений обмоток, классу точности с учетом допустимой вторичной нагрузки;
- 3) вторичной нагрузке: $S_{2\Sigma} \leq S_{\text{ном}}$,

где $S_{2\Sigma}$ - нагрузка всех измерительных приборов и реле, присоединенных к трансформатору напряжения, ВА.

Для упрощения расчетов нагрузку приборов можно не разделять по фазам, тогда

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{(S_{\text{ном}} \times \cos\varphi)^2 + (S_{\text{ном}} \times \sin\varphi)^2} = \sqrt{P_{\text{приб}}^2 + Q_{\text{приб}}^2}$$

Подсчет нагрузки приведен таблицу 6.8 «Приложение К».

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{24,26^2 + 24,975^2} = 34,82 \text{ ВА}$$

Выбранный трансформатор напряжения типа НОЛ-СЭЦ-6 имеет номинальную мощность в классе точности 0,5, необходимом для присоединения счетчиков, 50 ВА. Таким образом, $S_{2\Sigma} = 34,82 \text{ ВА} < S_{\text{ном}} = 50 \text{ ВА}$, трансформатор будет работать в выбранном классе точности.

7 Релейная защита

В выпускной квалификационной работе произвели выбор релейной защиты основных элементов проектируемой подстанции: трансформаторов, линии, шин.

При выборе следует руководствоваться ПУЭ (15) , руководящими указаниями по релейной защите и другими документами [1,11] .

Расчетные и каталожные данные трансформаторов тока приведены в таблице 7.1 и таблице 7.2 «Приложение Л».

Продольная дифференциальная защита выполняется на всех трансформаторах мощностью 10,5 МВА и более. Трансформаторы тока для продольной дифференциальной защиты должны устанавливаться со всех сторон защищаемого трансформатора.

Так как при расчете дифференциальной защиты трансформатора с расщепленной обмоткой ТРДН-40000/110/6 с РПН, коэффициент чувствительности оказался выше допустимого ($K_{\text{ч}} \geq 2$), то принимаем выполненный расчет с реле серии РНТ-565.

Принцип действия максимальной токовой защиты основан на фиксации увеличения тока при аварийном режиме. Максимальная токовая защита обеспечивается введением выдержки времени зависящей или нет от величины тока короткого замыкания.

Расчетные данные максимальной токовой защиты занесены в таблицу 7.3 «Приложение М»

Каталожные данные максимальной токовой защиты занесены в таблицу 7.4 «Приложение М»

Расчетные и каталожные данные максимальной токовой защиты секционных выключателей занесены в таблицу 7.5 «Приложение М».

8 Выбор оперативного тока

Управление выключателями, отделителями, короткозамыкателями, сигнализацией, автоматикой связью осуществляется оперативным током.

Для питания оперативных цепей подстанций может применяться переменный или постоянный ток.

Постоянный оперативный ток применяется на всех ПС 330-750 кВ, на ПС 110-220 кВ – с числом масляных выключателей три и более, на ПС 35-220 кВ – с воздушными выключателями.

Переменный оперативный ток применяется на ПС 35-220 кВ без выключателей на высокое напряжение или с выключателями, если невозможно одновременно использовать больше одного выключателя.

Установки постоянного тока состоят из аккумуляторных батарей, зарядно-подзарядных агрегатов и оперативных цепей, защиты, сигнализации, управления, освещения. Аккумуляторные батареи работают, как правило, в режиме постоянного подзаряда. Оперативные цепи постоянного тока имеют сильное разветвление.

Установки переменного тока позволяют отказаться от дорогостоящих аккумуляторных батарей, при этом уменьшается разветвленность оперативных сетей. Электротехническая промышленность серийно выпускает аппаратуру к приводам выключателей, отделителей, короткозамыкателей для работы непосредственно на переменном оперативном токе и от выпрямительных устройств 6-10 кВ.

Так как управление выключателями, разъединителями, сигнализацией, автоматикой, связью осуществляется переменным током, следовательно в выпускной квалификационной работе, применяется оперативный переменный ток.

9 Собственные нужды подстанции

В таблице 8.1 сведены мощности собственных нужд подстанции.

Таблица 8.1 – Нагрузка на собственные нужды показана

№ п/п	Наименование потребителей	Общая потребляемая мощность	
		P, кВт	P _Σ ,кВт
1	Устройство охлаждения трансформаторов ТРДН-40000/110	5,5 x 2	11
2	КРУ 6 кВ	0,89 x 9	8
3	Подогрев приводов разъединителей	0,6 x 6	3,6
4	Отопление, освещение		20
5	Освещение ОРУ 110 кВ		2
	Итого:		43,6
	С учетом коэффициента загрузки $K_3 = 0,7$		
	Итого:		30,5

На основании данных таблицы 8.1 для подстанции выбираем один трансформатор собственных нужд мощностью ТСН – 40 кВА

10 Расчет заземления подстанции

В выпускной квалификационной работе производим расчет заземляющего устройства для подстанции 110/6 кВ площадью 31x25 м; грунт однородный $\rho_{в.с} = \rho_{э} = 84 \text{ Ом} \cdot \text{м}$; $t = 0,7$; $t_{р.з} = 0,01 \text{ с}$; $t_{о.в} = 0,06 \text{ с}$; ток замыкания на землю при однофазном к.з. на рассматриваемой подстанции, $I_з = 2,322 \text{ кА}$. Намечена к выполнению сетка с 9 прямоугольными ячейками и 12 вертикальными проводниками с $l_{в} = 5 \text{ м}$; $a = 5 \text{ м}$. Естественных заземлений нет.

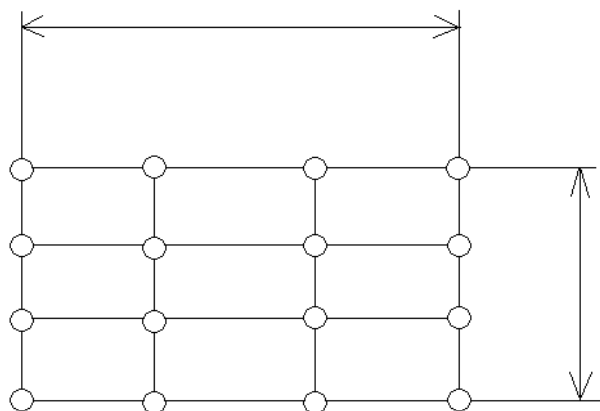


Рисунок 10.1 – Схема заземлителя

Для $\tau = t_{р.з} + t_{о.в} = 0,01 + 0,06 = 0,07 \text{ с}$ $U_{пр.доп} = 500 \text{ В}$

Для сложных заземлителей из горизонтальных и вертикальных проводников находим коэффициент напряжения прикосновения:

$$k_{\Pi} = \frac{M \cdot \beta}{\frac{l_{в} \cdot L_{Г}}{5 \cdot a}} = \frac{0,5 \cdot 0,89}{\frac{5 \cdot 224}{775 \cdot 5}} = 0,17$$

где M – параметр, зависящий от ρ_1 , ρ_2 , т. к. грунт принят однородным,

то $\rho_1 = \rho_2 = 1$, а $M = 0,5$;

$l_{в} = 5 \text{ м}$ длина вертикального заземлителя;

$L_{\Gamma} = 224$ м (по плану рисунок 10.1) – длина горизонтальных заземлителей;

$a = 5$ м – расстояние между вертикальными заземлителями;

$S = 775$ м² – площадь заземляющего устройства;

Коэффициент, определяемый по сопротивлению тела человека $R_{\text{ч}}$ и сопротивлению растекания тока от ступеней $R_{\text{с}}$:

$$\beta = \frac{R_{\text{ч}}}{R_{\text{с}} + R_{\text{ч}}} = \frac{1000}{1000 + 1,5 \cdot 84} = 0,89$$

где $R_{\text{ч}} = 1000$ Ом;

$$R_{\text{с}} = 1,5 \cdot \rho_{\text{в.с.}}$$

Расчет напряжения на заземлителе:

$$U_{\text{з}} = \frac{U_{\text{пр.доп}}}{k_{\text{п}}} = \frac{500}{0,17} = 2941,2 \text{ В}$$

Расчет заземляющего устройства, Ом:

$$R_{\text{з,доп}} = \frac{U_{\text{з}}}{I_{\text{з}}} = \frac{2941,2}{2322} = 1,27 \text{ Ом}$$

Расчетная модель заземлителя представляет собой квадрат со стороной:

$$\bar{S} = \sqrt{31 \cdot 25} = 27,84 \text{ м}$$

Число ячеек по стороне квадрата:

$$m = \frac{L_{\Gamma}}{2 \cdot \bar{S}} - 1 = \frac{224}{2 \cdot 27,84} - 1 = 3,02 \text{ Ом}$$

принимаем $m = 3$.

Длина полос в расчетной модели

$$L_{\Gamma} = 2 \cdot \bar{S} \cdot m + 1 = 2 \cdot 27,84 \cdot 4 = 222,72 \text{ м}$$

Длина сторон ячеек

$$b = \frac{\bar{S}}{m} = \frac{27,84}{3} = 9,28 \text{ м}$$

Вертикальные электроды наилучшим образом используются при расположении их в основном по периметру заземлителя. Число вертикальных заземлителей, расположенных по периметру контура при условии $a/l_B = 1$:

$$n_B = \frac{\bar{S} \cdot 4}{1 \cdot l_B} = \frac{27,84 \cdot 4}{5} = 23,3$$

принимаем $n_B = 22$

Общая длина вертикальных заземлителей:

$$L_B = l_B \cdot n_B = 5 \cdot 22 = 110 \text{ м}$$

Относительная глубина погружения вертикальных электродов:

$$\frac{l_B + t}{\bar{S}} = \frac{5 + 0,7}{27,84} = 0,21 > 0,1$$

Определение общего сопротивления сложного заземлителя, преобразованного в расчетную модель, Ом:

$$R_3 = A \frac{\rho_3}{S} + \frac{\rho_3}{L_\Gamma + L_B} = 0,333 \frac{84}{27,84} + \frac{84}{222,72 + 110} = 1,26 \text{ Ом}$$

где

$$A = 0,385 - 0,25 \cdot \frac{l_B + t}{S} = 0,385 - 0,25 \cdot \frac{5 + 0,7}{27,84} = 0,333$$

Найдем напряжение прикосновения:

$$U_{пр} = k_{\Pi} \cdot I_3 \cdot R_3 = 0,17 \cdot 2322 \cdot 1,26 = 497,37 \text{ В}$$

Что близко к допустимому значению 500 В.

Необходимо принять меры для снижения $U_{пр}$, например путем уменьшения $U_{пр}$. Применим подсыпку слоем гравия толщиной 0,2 м по всей территории подстанции для увеличения сопротивления под ступенями человека. Удельное сопротивление верхнего слоя почвы(гравия) $\rho_{в.с} = 3000$ Ом · м, тогда

$$\beta = \frac{R_{ч}}{R_{с} + R_{ч}} = \frac{1000}{1000 + 1,5 \cdot 3000} = 0,18$$

$$k_{\Pi} = \frac{M \cdot \beta}{\frac{l_B \cdot L_\Gamma}{S \cdot a}} = \frac{0,5 \cdot 0,18}{\frac{5 \cdot 224}{775 \cdot 5}^{0,45}} = 0,05$$

Подсыпка гравием не влияет на растекание тока с заземляющего устройства, т. к. глубина заложения заземлителей (0,7) больше толщины слоя гравия, поэтому соотношение ρ_1 / ρ_2 и величина M остаются неизменными.

Расчет напряжения на заземлителе:

$$U_3 = \frac{U_{\text{пр.доп}}}{k_{\text{П}}} = \frac{400}{0,05} = 10000 \text{ В}$$

Что в пределах допустимого (равно 10 кВ).

Расчет заземляющего устройства, Ом:

$$R_{\text{з,доп}} = \frac{U_3}{I_3} = \frac{10000}{2322} = 4,31 \text{ Ом}$$

Что больше $R_3 = 1,26 \text{ Ом}$

Найдем напряжение прикосновения:

$$U_{\text{пр}} = k_{\text{П}} \cdot I_3 \cdot R_3 = 0,05 \cdot 2322 \cdot 1,26 = 146,3 \text{ В}$$

Что меньше допустимого значения 500 В.

Из расчетов видно, что для заземляющего устройства на ГПП будет эффективно применяться подсыпка гравием.

11 Молниезащита подстанции

Для обеспечения защиты здание и сооружение подстанции с достаточной степенью надежности должны защищаться молниеотводами от поражений прямыми ударами молний в здания, произведён расчёт молниезащиты.

Устройство защиты от прямых ударов молнии (молниеотводы) - комплекс, состоящий из молниеприемников, токоотводов и заземлителей [1,1].

Молниеотводы бывают стержневые и тросовые. Стержневые применяются для защиты от прямых ударов молнии в здания, сооружения; тросовые для защиты ЛЭП.

Задаёмся высотой молниеотвода $h = 30$ м.

Определяем активную высоту молниеотвода:

$$h_a = h - h_x$$

$$h_a = 30 - 12 = 18 \text{ м},$$

где $h_x = 12$ м – высота защищаемого объекта.

Определяем зону защиты:

$$r_x = \frac{1,6 \cdot h_0 \cdot p}{1 + \frac{h_x}{h}},$$

$$r_x = \frac{1,6 \cdot 18 \cdot 1}{1 + \frac{12}{30}} = 20,57 \text{ м},$$

где $p = 1$ – коэффициент для различных высот молниеотводов.

Принимаем к установке 2 молниеотвода, расположенных по углам подстанции.

Заключение

В выпускной квалификационной работе была спроектирована электрическая схема подстанции. В разделе расчёт электрических нагрузок понизительной подстанции на каждой ступени распределительного напряжения проектируемой подстанции были заданы нагрузки потребителей в виде максимальных значений активной мощности P_{max} , которые соответствуют 100% максимальной ступени для суточных графиков и годовых графиков по продолжительности.

В разделе выбор типа, числа и мощности силовых трансформаторов были выбраны трансформаторы типа ТРДН-40000/110/6/6.

В разделе выбор электрической схемы подстанции была выбрана схема подстанции с учётом обеспечения надёжности, перспектив развития, проведения ремонтных работ и безопасности эксплуатации.

В разделе расчёт токов короткого замыкания была составлена расчетная схема рассматриваемой электроустановки, намечены расчетные точки к.з. На основании расчетной схемы была составлена эквивалентная схема замещения, определены величины сопротивлений всех элементов схемы замещения в относительных или именованных единицах, номинальные параметры были взяты из каталожных данных электрооборудования.

В разделе выбор электрических аппаратов и проводников были выбраны силовой выключатель элегазовый типа ВГТ-110, разъединитель серии РГ-110/1000 У1, трансформатор тока типа ТОГФ-110, комплектация КРУ-СЭЩ-70.

В разделе выбор оперативного тока было дано обоснование принятой конструкции распределительного устройства понизительной подстанции.

В разделе собственные нужды было выбрано количество и мощность необходимого оборудования для подстанции.

Универсальный стенд №1 после модернизации оснащаются современным компьютеризированным оборудованием, которое является созданным на базе универсального программного продукта LabVIEW 7.1Ф. National Instruments, позволяющими механизировать и автоматизировать технологический процесс испытаний трансформаторов и их узлов. Внедрение данного оборудования позволяет сократить время испытаний продукции, создает удобства для работы и ремонта оборудования, а также уменьшить влияние субъективного фактора на результаты испытаний. Универсальный стенд №1 аккредитован на техническую компетентность в системе сертификации ГОСТ Р. Аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.22 МВ 19. Лаборатории Испытательного центра ООО «Тольяттинский Трансформатор».

Список используемых источников

1. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. — М. : Изд-во МЭИ, 2004.
2. Кудрин, Б. И. Электроснабжение промышленных предприятий : учебник для вузов / Б.И. Кудрин. — М.: Интермет Инжиниринг, 2005.
3. Лыкин, А.В. Электрические системы и сети / А.В. Лыкин. - М.: Логос, 2006.
4. Макаров, Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4-35 кВ : в 6-ти т. / Е.Ф.Макаров ; под ред. И.Т. Горюнова [и др.].- М.: Папирус Про, 1999. - Т. 1.
5. Макаров, Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4-35 кВ и 110-1150 кВ : в 6-ти т. / Е.Ф. Макаров ; под ред. И.Т. Горюнова [и др.]. - М.: Папирус Про, 2003. - Т. 2.
6. Макаров, Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4-35 кВ и 110-1150 кВ : в 6-ти т. / Е.Ф. Макаров ; под ред. И.Т. Горюнова [и др.]. - М.: Папирус Про, 2004. - Т. 3.
7. Макаров, Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4-35 кВ и 110-1150 кВ: в 6-ти т. / Е.Ф. Макаров; под ред. И.Т. Горюнова [и др.]. — М.: Папирус Про, 2005. - Т. 5.
8. Макаров, Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4-35 кВ и 110-1150 кВ : в 6-ти т. / Е.Ф. Макаров ; под ред. гл. специалистов ОАО «Мосэнерго». — М.: Энергия, 2006. — Т. 6.
9. Неклепаев, Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования : учеб. пособие для вузов / Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков. - М.: Энергоатомиздат, 1989.

10. Ополева, Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения : учеб. пособие / Г.Н. Ополева. — М.: Форум-Инфра-М, 2006.
11. Правила устройств электроустановок (ПУЭ). - 6-е изд. с изм. и доп. — М.: Госэнергонадзор, 2001.
12. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. — М.: Энергоатомиздат, 2000.
13. Правила технической эксплуатации электроустановок.- М.: ПЦ ЭНАС, 2004.
14. Рекус, ГГ. Электрооборудование производств : учеб. пособие / ГГ. Рекус. - М.: Высшая школа, 2005.
15. Рожкова, Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций/Л.Д. Рожкова, Л.К. Карнеева, ТВ. Чиркова. — М.: Академия, 2004.
16. Расчет коротких замыканий и выбор электрооборудования : учеб. пособие для вузов / под ред. И.П. Крючкова [и др.]. — М.: Академия, 2005.
17. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования: РД 153-34.0-20.527-98 / под ред. Б.Н. Неклепаева. - М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006.
18. Вахнина, В.В. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий : учебное пособие / В.В. Вахнина. – Тольятти : ТГУ, 2006. – 69 с.
19. Вахнина, В.В. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: учебно-методическое пособие для практических занятий и курсового проектирования / В.В. Вахнина, А.Н. Черненко. – Тольятти: ТГУ, 2007. – 54 с.
20. Электронный справочник. [электронный ресурс] - «Энергетика. Оборудование. Документация». Режим доступа: <http://forca.ru/>
21. http://www.thefullwiki.org/Electronic_power_supply
22. <http://www.studfiles.ru/preview/3157052/>

23. <http://electrical-engineering-portal.com/>

24. <http://www.ti.com/lit/ml/slup126/slup126.pdf>

25. <http://www.sayedsaad.com/Transformer/>

Приложение

Приложение А

Таблица 12.1 Характеристика электрооборудования

№ п/п	Обозначение	Наименование	Тип	Количе ство
1	2	3	4	5
1	АВ	Автоматический выключатель	АП-50-2МТ	1
2	тр	Трансформатор напряжения	НОМ-10	1
3	А	Амперметр щитовой	Э-30-7328	1
4	V	Вольтметр щитовой	Э-30-7378	1
5	МΩ	Мегаомметр	Ф4100	1
6	ЛС1 – ЛС4	Лампы сигнальные	СЦ-21	4
7	1РП, 6РП	Реле промежуточное	РП25	2
8	КВП ₁₋₅	Ключ выбора полей	КФ1122/пiv-8с	1
9	РРП	Реле разрешения пуска	РП-25	1
10	РБП ₁ , РБП ₅	Реле блокировки полей	ЭП-41	2
11	1к, 2к	Заземляющие штанги	Спец. изгот.ов	2
12	РВ	Реле времени	ВС-10	1
13	1кВ, 2кВ, 3кВ	Конечные выключатели	ВК-200	3
14	1Д, 2Д, Б ₁₋₅	Конечные включатели	ВК -200	3
15	РТ	Реле тока	РТ-40	1
16	КБ	Ключ безопасности	КФ3-1111/ пvii -с	1
17	Со	Образцовый конденсатор	Р5023	1
18	АТ	Автотрансформатор	РНО-250	1
19	2КУ	Ключ выбора полярности	КФ -1111 / пiv-8с	1
20	3КУ	Ключ переключения моста и мегаомметра	КФ999999/пiv-8с	1
21	ДС ₁ – ДС ₃	Добавочное сопротивление	ПЭ-20	3
22	Сс	Сирена	СС-1	2
23	Кс	Кнопка подачи сигнала	КО-3	1

24	КВПУ	Ключ выбора пультов	УП5314-С	1
25	Р595	Мост переменного тока	Р595	1

Приложение Б

Таблица 3.3 – Расчет потерь электроэнергии в трансформаторах, вариант №1, трансформатор типа ТРДН-32000/110/6/6.

i	S_{Bi} , МВА	S_{H1i} , МВА	S_{H2i} , МВА	n_i	T_i , ч	ΔW_{xi} , кВт×ч	$k_{з.в.i}$	$k_{з.н1.i}$	$k_{з.н2.i}$	$\Delta W_{к.в i}$, кВт×ч	$\Delta W_{к.н1 i}$, кВт×ч	$\Delta W_{к.н2 i}$, кВт×ч
1	41540	25411	16129	2	600	52800	1,298	0,794	0,504	10614,265	110452,387	44503,603
2	40476,2	24347,2	16129	2	400	35200	1,265	0,761	0,504	6720,945	67641,333	29669,069
3	37521,6	21392,6	16129	2	1000	88000	1,173	0,669	0,504	14447,255	130687,812	74172,672
4	31104,4	18201,2	12903,2	2	700	61600	0,972	0,569	0,403	6944,162	66176,748	33196,4
5	29627,1	16723,9	12903,2	2	1900	167200	0,926	0,523	0,403	17106,646	151753,889	90104,513
6	21969,4	12292	9677,4	2	400	35200	0,687	0,384	0,302	1982,27	17222,861	10652,627
7	20905,6	11228,2	9677,4	2	1600	140800	0,653	0,351	0,302	7163,671	57559,507	42610,509
8	17951	8273,6	9677,4	2	400	35200	0,561	0,259	0,302	1321,83	7835,061	10652,627
9	13112,3	8273,6	4838,7	2	1000	88000	0,41	0,259	0,151	1765,05	19587,652	6657,892
10	12048,5	7209,8	4838,7	1	760	33440	0,377	0,225	0,151	2268,379	22469,4	10119,996
						ΔW_x = 737440				$\Delta W_{к.в}$ = 70334,473	$\Delta W_{к.н1}$ = 651386,653	$\Delta W_{к.н2}$ = 352339,908
										$\Delta W_k = 1074061,031$		
						$\Delta W_{пс 2} = 1811501,031$						

Приложение В

Таблица 3.5 – Расчет потерь электроэнергии в трансформаторах, вариант №2, трансформатор типа ТРДН-40000/110/6/6.

i	S_{Bi} , МВА	S_{H1i} , МВА	S_{H2i} , МВА	n_i	T_i , ч	ΔW_{xi} , кВт×ч	$k_{з.в.i}$	$k_{з.н1.i}$	$k_{з.н2.i}$	$\Delta W_{к.в i}$, кВт×ч	$\Delta W_{к.н1 i}$, кВт×ч	$\Delta W_{к.н2 i}$, кВт×ч
1	41540	25411	16129	2	600	52800	1,038	0,635	0,403	8484,872	86794,181	34958,537
2	40476,2	24347,2	16129	2	400	35200	1,012	0,609	0,403	5376,756	53221,424	23305,692
3	37521,6	21392,6	16129	2	1000	88000	0,938	0,535	0,403	11547,953	102683,219	58264,229
4	31104,4	18201,2	12903,2	2	700	61600	0,778	0,455	0,323	5561,047	51989,153	26199,62
5	29627,1	16723,9	12903,2	2	1900	167200	0,741	0,418	0,323	13692,707	119096,247	71113,255
6	21969,4	12292	9677,4	2	400	35200	0,549	0,307	0,242	1582,355	13524,732	8403,934
7	20905,6	11228,2	9677,4	2	1600	140800	0,523	0,281	0,242	5744,109	45323,614	33615,736
8	17951	8273,6	9677,4	2	400	35200	0,449	0,207	0,242	1058,405	6148,832	8403,934
9	13112,3	8273,6	4838,7	1	1000	88000	0,328	0,207	0,121	2824,08	30744,158	10504,918
10	12048,5	7209,8	4838,7	1	760	33440	0,301	0,180	0,121	1807,49	17667,72	7983,737
						ΔW_x = 737440				$\Delta W_{к.в}$ = 57679,774	$\Delta W_{к.н1}$ = 527193,28	$\Delta W_{к.н2}$ = 282753,592
										$\Delta W_k = 867626,646$		
						$\Delta W_{ис3} = 1605066,65$						

Приложение Г

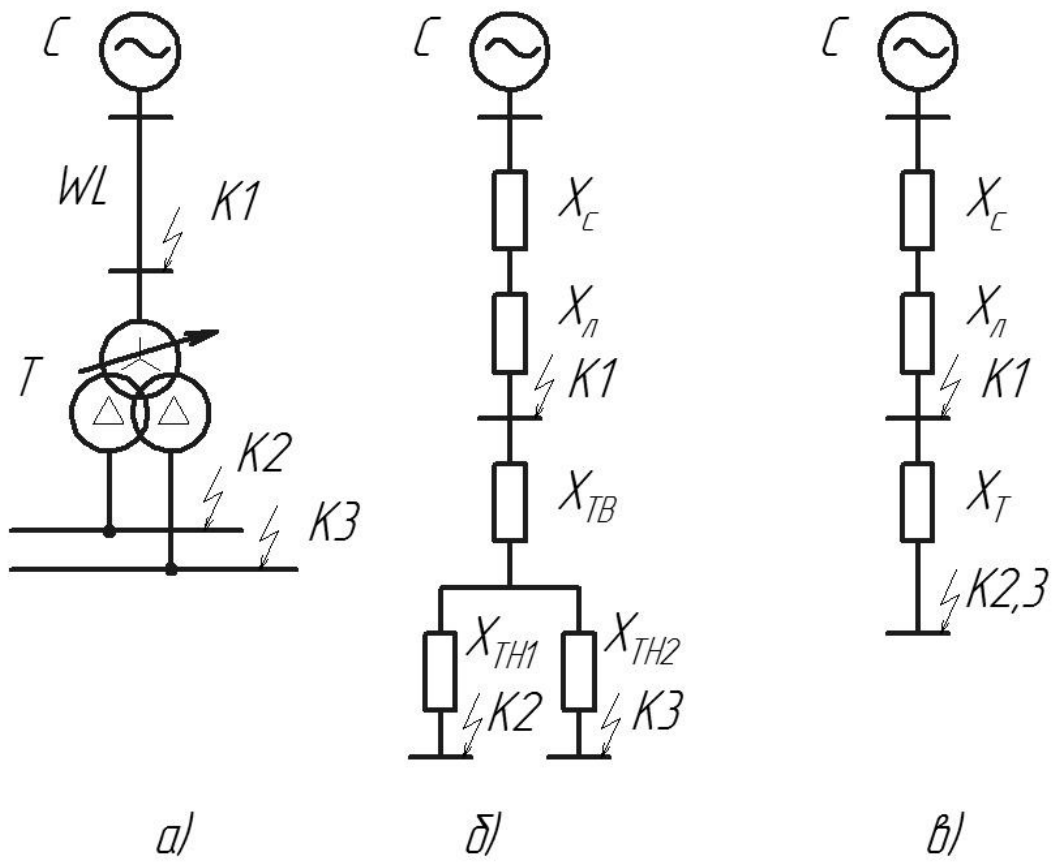
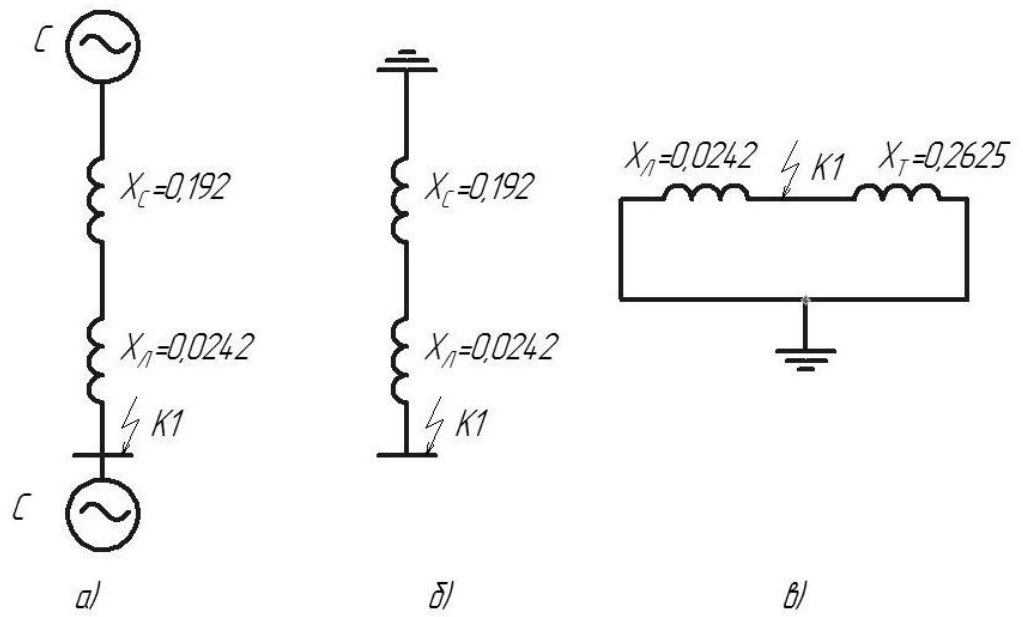


Рисунок 5.1 – Расчетная схема (а) и схема замещения (б, в)

Приложение Д



Рисунке 5.2 – Схема замещения прямой (а), обратной (б) и нулевой (в) последовательности

Приложение Е

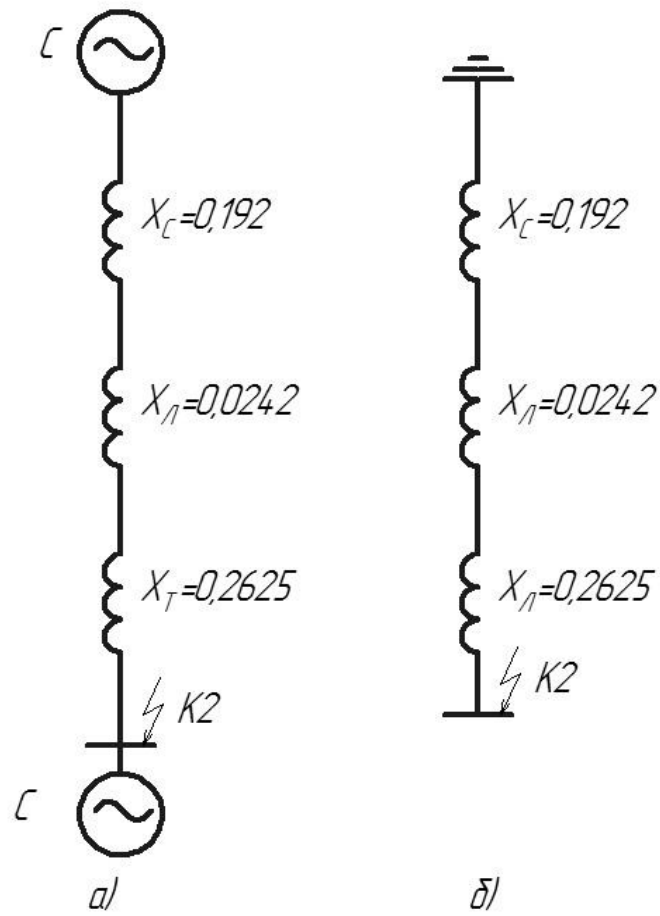


Рисунок 5.3 – Схема замещения прямой (а) и обратной (б) Последовательности

Приложение Ж

Таблица 5.3 – Сводная таблица токов короткого замыкания

Напряжение, кВ	Точка КЗ	$I_{п,о}^{(3)}$, кА	$I_{п,о}^{(1)}$, кА	$I_{п,о}^{(2)}$, кА	$I_{п,о}^{(1,1)}$, кА
110	К1	2,322	2,671	2,011	2,55
6	К2	19,144	28,715	16,579	33,174
6	К3	19,144	28,715	16,579	33,174

Приложение 3

Таблица 6.1 – Расчетные и каталожные данные выключателя

Выключатель ВГТ-110	
Расчетные данные	Каталожные данные
$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{сет.ном}} = 110 \text{ кВ}$
$I_{\text{max}} = 281,14 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 2000 \text{ А}$
$I_{\text{п,о}}^{(1)} = 2,671 \text{ кА}$	$I_{\text{откл.ном}} = 40 \text{ кА}$
$i_{\text{а,т}} = 1,802 \text{ кА}$	$i_{\text{а,ном.}} = \sqrt{2} \times (\beta_{\text{нор.}}/100) \times I_{\text{откл.ном.}} =$ $= \sqrt{2} \times 0,45 \times 40 = 25,46 \text{ кА}$
$I_{\text{п,о}}^{(1)} = 2,671 \text{ кА}$	$I_{\text{н п.с.}} = 40 \text{ кА}$
$i_{\text{уд}} = 6,8 \text{ кА}$	$i_{\text{н п.с.}} = 102 \text{ кА}$
$B_{\text{к}} = 2,283 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$t_{\text{откл}} < t_{\text{T}}, \text{ то } B_{\text{к}} \leq I_{\text{T}}^2 \times t_{\text{откл.}} = 40^2 \times 0,06 = 96 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Приложение И

Таблица 6.5 – Расчетные и каталожные данные выключателя

Выключатель LF3	
Расчетные данные	Каталожные данные
$U_{\text{ном}} = 6 \text{ кВ}$	$U_{\text{сет.ном}} = 6,3 \text{ кВ}$
$I_{\text{max}} = 2566,0012 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 3150 \text{ А}$
$I_{\text{п,о}}^{(1,1)} = 33,174 \text{ кА}$	$I_{\text{откл.ном}} = 40 \text{ кА}$
$i_{\text{а,т}} = 24,09 \text{ кА}$	$i_{\text{а,ном.}} = \sqrt{2} \times \beta_{\text{нор.}} / 100 \times I_{\text{откл.ном.}} =$ $= \sqrt{2} \times 0,26 \times 40 = 14,71 \text{ кА}$
$\sqrt{2} \times I_{\text{п,о}}^{1,1} + i_{\text{а,т}} =$ $= \sqrt{2} \times 33,174 + 24,09 = 71,01 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \times I_{\text{откл.ном}} \times (1 + \beta_{\text{нор.}} / 100) = \sqrt{2} \times 40 \times (1 + 0,26) =$ $= 71,28 \text{ кА}$
$I_{\text{п,о}}^{(1,1)} = 33,174 \text{ кА}$	$I_{\text{n.p.c.}} = 40 \text{ кА}$
$i_{\text{уд}} = 84,45 \text{ кА}$	$i_{\text{n.p.c.}} = 102 \text{ кА}$
$B_{\text{к}} = 10,62 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$t_{\text{откл}} < t_{\text{T}}, \text{ то } B_{\text{к}} \leq I_{\text{T}}^2 \times t_{\text{откл.}} = 40^2 \times 0,07 = 112 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Приложение К

Таблица 6.7 – Вторичная нагрузка трансформатора тока

Прибор	Тип	Нагрузка, ВА, фазы		
		А	В	С
Амперметр	ЦА 2101-005	10	-	-
Ваттметр	СР3020-5	5	-	5
Счетчик активной и реактивной энергии	СЕ302-S33	9	9	9
ИТОГО		24	9	14

Таблица 6.8 – Вторичная нагрузка трансформатора напряжения

Приборы	Типы приборов	Потребляемая мощность одной катушки, ВА	Число катушек	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	Число приборов	Общая потребляемая мощность	
							P, Вт	Q, вар
Вольтметр	СВ3020-100	4	1	1	0	1	4	-
Ваттметр	СР3020-5	5	2	1	0	2	10	-
Счетчик активной и реактивной энергии	СЕ302-S33	9	3	0,38	0,925	1	10,26	24,975
ИТОГО							24,26	24,975

Приложение Л

Таблица 7.1 – Расчетные и каталожные данные трансформатора тока

Трансформатор тока ТОГФ-110	
Расчетные данные	Каталожные данные
$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{сет.ном}} = 110 \text{ кВ}$
$I_{\text{max}} = 200,82 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 400 \text{ А}$
$i_{\text{уд}} = 6,8 \text{ кА}$	$K_{\text{эд}} \times \bar{2} \times I_{1\text{ном.}} = 40 \times \bar{2} \times 0,4 = 22,63 \text{ кА}$
$B_{\text{к}} = 2,283 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$K_{\text{т}}^2 \times I_{1\text{ном}}^2 \times t_{\text{т}} = 27^2 \times 0,4^2 \times 3 = 349,92 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Таблица 7.2 – Расчетные и каталожные данные трансформатора тока

Трансформатор тока ТОЛ-СЭЦ-70	
Расчетные данные	Каталожные данные
$U_{\text{ном}} = 6 \text{ кВ}$	$U_{\text{сет.ном}} = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{max}} = 1832,86 \text{ А}$	$I_{1\text{ном}} = 2500 \text{ А}$
$i_{\text{уд}} = 84,45 \text{ кА}$	$K_{\text{эд}} \times \bar{2} \times I_{1\text{ном.}} = 35 \times \bar{2} \times 2,5 = 123,744 \text{ кА}$
$B_{\text{к}} = 10,62 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$K_{\text{т}}^2 \times I_{1\text{ном}}^2 \times t_{\text{т}} = 26^2 \times 2,5^2 \times 3 = 12675 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Приложение М

Таблица 7.3 – Расчетный данные максимальной токовой защиты.

Наименование величины	Трансформатор ТРДН-40000/110/6				
	МТЗ на стороне		Защита от перегрева на стороне 6 кВ	Реле обдувки на стороне 6 кВ	Реле блокировки на стороне 6 кВ
	110 кВ	6 кВ			
Ток уставки реле, А	9,12	17,18	6,01	3,21	9,16

Таблица 7.4 – Каталожные данные максимальной токовой защиты.

Наименование величины	Трансформатор ТРДН-40000/110/6				
	МТЗ на стороне		Защита от перегрева на стороне 6 кВ	Реле обдувки на стороне 6 кВ	Реле блокировки на стороне 6 кВ
	110 кВ	6 кВ			
Тип реле и пределы уставки	РТ-40/20 5...20А	РТ-40/20 5...20 А	РТ- 40/6 2,5...10А	РТ-40/6 1,5..6А	РТ-40/20 5..20

Таблица 7.5 – Расчетные и каталожные данные максимальной токовой защиты секционных выключателей.

Наименование величин	$S_{\text{ном.Т}} = 40 \text{ МВА}$	
	6 кВ	6 кВ
Ток уставки реле, А	25,27	25,27
Чувствительность защиты	2,42>1,5	2,42>1,5
Тип реле и пределы уставки	РТ-40/50 25...50 А	РТ-40/50 25...50 А