Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Лысьвенский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»
(ЛФ ПНИПУ)

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОГО КУРСА МДК 02.01 УСТРОЙСТВО И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДСТАНЦИЙ

основной профессиональной образовательной программы
подготовки специалистов среднего звена
среднего профессионального образования
«СПО 13.02.07 « Электроснабжения»(по отраслям)»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению курсового проекта (работы)

(для очной и заочной формы обучения)

Лысьва 2020 г.

Разработчик-составитель: Паршонок Н.В.

Методические указания рассмотрены и одобрены на заседании предметной (цикловой) комиссии электротехнических дисциплин (ПЦК ЭД) «26» февраля 2020 г., протокол № 6.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Курсовой проект (работа) по учебной дисциплине (профессиональному модулю) является одним из основных видов учебных занятий и формой контроля учебной работы обучающихся. Выполнение обучающимися курсового проекта (работы) по учебной дисциплине (профессиональному модулю) проводится с целью:

– систематизации и закрепления полученных теоретических знаний и практических умений по общепрофессиональным и специальным дисциплинам;

– углубления теоретических знаний в соответствии с заданной темой;

– формирования умений применять теоретические знания при решении поставленных вопросов;

– формирования умений использовать справочную, нормативную и правовую документацию;

– развития творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;

– подготовки к итоговой государственной аттестации.

Выполнение обучающимися курсового проекта (работы) осуществляется на заключительном этапе изучения учебной дисциплины (профессионального модуля), в ходе которого осуществляется обучение применению полученных знаний и умений при решении комплексных задач, связанных со сферой профессиональной деятельности будущих специалистов.

Целью выполнения курсового проекта (работы) является формирование навыков самостоятельной работы обучающегося и овладение профессиональными компетенциями.

В результате выполнения курсового проекта (работы) обучающийся должен решить следующие задачи:

– изучить и проанализировать научную, учебно-методическую литературу и периодические издания по проблеме исследования;

– углублённо изучить и представить рассматриваемую тему, проблематику, раскрыв собственную критическую оценку;

– провести опытно-экспериментальную работу по проблеме исследования, чѐтко определив цель, задачи и методы исследования;

– провести анализ выбранной проблемы, показателей, материалов;

– обобщить результаты проведѐнных исследований, обосновать выводы и дать практические рекомендации;

– оформить курсовой проект (работу) в соответствии с установленными требованиями.

В процессе выполнения курсового проекта (работы) обучающийся должен показать умение работать с необходимыми материалами, специальной и справочной литературой, правильного оформления научной работы.

Процесс выполнения курсового проекта (работы) включает ряд этапов:

1. Подбор материала по теме и составление плана работы;

2. Написание курсового проекта (работы) и ее оформление в соответствии с установленными требованиями;

3. Отзыв на курсовой проект (работу);

4. Защита курсового проекта (работы).

Данные методические рекомендации содержат ряд требований, направленных на повышение качества самостоятельного выполнения обучающимися курсового проекта (работы), предусмотренного учебным планом.

1 ОРГАНИЗАЦИЯ РАЗРАБОТКИ ТЕМАТИКИ КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ)

Тематика курсовых проектов (работ) разрабатывается преподавателями, рассматривается и утверждается на заседании соответствующей ПЦК, утверждается зав. Кафедрой.

Темы курсовых проектов (работ) должны соответствовать рекомендуемой тематике курсовых проектов (работ) в рабочих программах учебных дисциплин (профессиональных модулей).

Обучающийся может предложить свою тему в направлении исследования или индивидуальных творческих или профессиональных интересов, обосновав при этом важность и целесообразность ее разработки и получив согласие преподавателя.

В отдельных случаях допускается выполнение курсового проекта (работы) по одной теме группой обучающихся.

Курсовой проект (работа) может стать составной частью (разделом, главой) дипломного проекта (работы), если видом государственной итоговой аттестации, определяемым в соответствии с ФГОС по данной специальности, является защита дипломного проекта (работы).

2 СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА (РАБОТЫ)

В курсовом проекте (работе) любого типа необходимо придерживаться следующей структуры оформления:

1 Рецензия научного руководителя на курсовой проект (работу) (ПРИЛОЖЕНИЕ А);

2 Титульный лист (ПРИЛОЖЕНИЕ Б);

3 Задание на выполнение курсового проекта (работы) (ПРИЛОЖЕНИЕ В);

4 Содержание;

5 Введение;

6 Основная часть (разделы и подразделы; главы)

7 Заключение

8 Список использованных источников;

9 Приложения (если они имеются).

Во введении автору курсового проекта (работы) необходимо в следующей последовательности изложить:

- актуальность работы;
- цель;
- объект и предмет исследования;
- задачи;
- практическую значимость;
- методы исследования;
- описание структуры работы.

Актуальность темы и ее обоснование связано с выявлением значимости данной темы в условиях изменяющихся нормативных документов. Необходимо раскрыть и объяснить наличие проблемы, ее важность; слабую изученность темы в теоретическом плане. Анализ литературы по проблеме исследования предполагает краткое описание наиболее значимых научных работ, которые были использованы автором в процессе написания курсового проекта (работы).

Исходя из степени исследования данной проблемы, формируется цель работы.

Целью исследования является достижение конкретного конечного результата.

Объект и предмет исследования обусловлены проблемой (темой) исследования и отражают ее суть. Объект исследования – это та крупная, относительно самостоятельная часть области, в которой находится предмет исследования.

Предмет исследования – это конкретная часть объекта, которая находится в границах объекта, определенные свойства объекта их соотношения, зависимость объекта от каких - либо условий. Предметом исследования могут быть явления в целом отдельные их стороны, аспекты и отношения между отдельными сторонами.

Задачами исследования являются конкретизированные или более частные цели исследования (т.е. ответить на вопрос – «Что нужно сделать, чтобы цель была достигнута?»).

Методы исследования. Выбор методов исследования зависит от темы, проблемы, цели и задач исследования. По уровню проникновения в сущность выделяют методы эмпирического, теоретического исследования, а также специальные методы.

К эмпирическим методам – способам выявления и обобщения фактов непосредственно в опыте, в практике – относятся: наблюдения, опросные методы.

К теоретическим методам, направленным на раскрытие внутренней структуры изучаемого предмета, механизмов его развития и функционирования, относятся теоретический анализ и синтез, абстрагирование, конкретизация и идеализация, индукция и дедукция, аналогия, моделирование, сравнение, классификация, обобщение.

По функциям выделяют методы диагностики, объяснения, прогнозирование, преобразование, коррекции, статистической обработки материала и др.

К специальным методам относят: SWOT-анализ, STEP-анализ, бенч - маркинг, модель Мак-Кинзи, метод Дельфи и др.

Основная часть курсового проекта (работы) содержит две главы, каждая из которых в свою очередь делится на подглавы. Структура основной части определяется характером курсового проекта (работы).

По содержанию курсовой проект (работа) может носить реферативный, практический или опытно - экспериментальный характер.

По объему курсовой проект (работа) должен быть не менее 15 - 20 страниц печатного текста.

По структуре курсовой проект (работа) реферативного характера состоит из:

- введения, в котором раскрывается актуальность и значение темы, формулируется цель работы;

- теоретической части, в которой даны история вопроса, уровень разработанности проблемы в теории и практике посредством сравнительного анализа литературы;

- заключения, в котором содержатся выводы и рекомендации относительно возможностей использования материалов работы;

- списка использованных источников;

- приложений.

По структуре курсовой проект (работа) практического характера состоит из:

- введения, в котором раскрывается актуальность и значение темы, формулируются цели и задачи работы;

- основной части, которая обычно состоит из двух разделов:

- в первом разделе содержатся теоретические основы разрабатываемой темы;

- вторым разделом является практическая часть, которая представлена расчетами, графиками, таблицами, схемами и т.п.

- заключения, в котором содержатся выводы и рекомендации относительно возможностей практического применения материалов работы;

- списка использованных источников;

- приложений.

Объем пояснительной записки курсового проекта (работы) должен быть не менее 5 страниц печатного текста, объем графической части - 1,5 - 2 листа. В заключении логически последовательно излагаются теоретические и практические выводы и предложения, к которым пришел обучающийся в результате исследования и разработки, т.е. формулируются ответы на поставленные во введении цель и задачи. Они должны быть краткими и четкими, дающими полное представление о содержании, значимости, обоснованности и эффективности разработок. Пишутся они тезисно (по пунктам) и должны отражать основные выводы по теории вопроса, по

проведенному анализу и всем предлагаемым направлениям совершенствования проблемы с оценкой их эффективности по конкретному объекту исследования.

Список источников должен быть составлен в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008 "Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу.

Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления", с указанием автора, названия, места издания, издательства, года издания, количества страниц. В состав списка источников входят Кодексы, Законы, нормативные акты, методические указания и рекомендации, монографии, учебники, учебные пособия, статьи, статистические материалы, отчеты.

В Приложение следует относить вспомогательный материал, который при включении в основную часть работы загромождает текст. К вспомогательному материалу относятся промежуточные расчеты, инструкции, иллюстрации.

Приложение нумеруется, продолжая счет после списка литературы, но его объем не ограничен и не включается в обязательное количество страниц работы.

Короткие замыкания (решение задач)

Темы:

1.Режимы КЗ.

2.Методы расчёта токов КЗ.

3.Ударные токи КЗ.

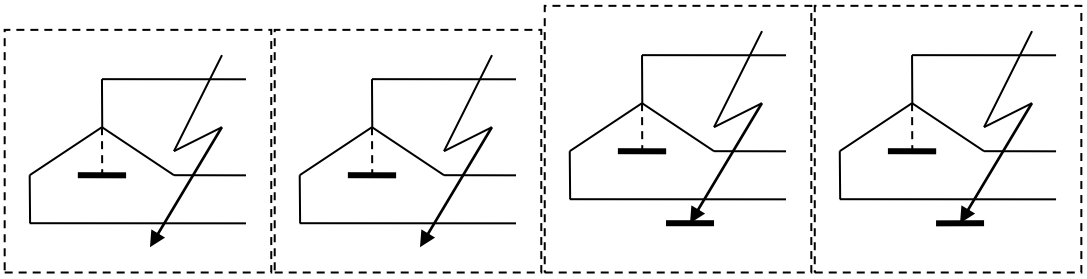
4.Расчётные схемы и схемы замещения.

2) Вопросы для обсуждения / Вопросы для подготовки

1. Необходимость расчёта токов КЗ..

3) Справочные материалы

Виды коротких замыканий.



а) 3х-фазное б) 2х-фазное в) 2х-фазное на землю г) однофазное

Основными причинами К.З. являются перекрытие изоляции во время грозы, схлёстывание и обрывы проводов при гололёде, набросы, перекрытие загрязнённой и увлажнённой изоляции, ошибки персонала и др.

Трёхфазные короткие замыкания.

Симметричное трёхфазное К.З. – наиболее простой для расчёта и анализа вид повреждения. Он характерен тем, что токи и напряжения всех фаз равны по значению как в месте К.З., так и в любой другой точке сети:

$\dot{I}a = \dot{I}б = \dot{I}c;$ $\dot{U}a = \dot{U}б = \dot{U}c$

Поскольку система симметричная, ток К.З., проходящий в каждой фазе, отстаёт от создающей его ЭДС на одинаковый угол (φ_C), определяемый соотношением активного и реактивного сопротивлений цепи короткого замыкания:

$\varphi_C = arctg\frac{X_\Sigma}{R_\Sigma}$, где $X_\Sigma = Xc + Xл; R_\Sigma = Rc + Rл$ - сопротивления системы и повреждённого участка ЛЭП.

Напряжения в точке К равны нулю: Uak=Ubk=Uck=0, а в любой другой точке может сети может быть определено векторной диаграмме, как сумма падений напряжений в активном сопротивлении $Ia \cdot Rл$, совпадающего по фазе с вектором Ia, и в реактивном сопротивлении $Ia \cdot Xл$, сдвинутого на 90 градусов относительно Ia. Ua= $Ia \cdot Rл$ +j $Ia \cdot Xл$. Аналогично строятся вектора Ub и Uc. Модули Ua, Ub, Uc имеют одинаковые значения, каждый из этих векторов опережает ток одноимённой фазы на угол $\varphi_K = arctg\frac{X_Л}{R_Л}$.

Для ЛЭП 35 кВ этот угол равен 45-55 град, 110 кВ – 60-78 град, 220 кВ – 73-82 град, 330 кВ – 80-85 град, 500 кВ – 84-87 град. Большее значение угла соответствует большему сечению провода, т.к. чем больше сечение, тем меньше активное сопротивление.

Из рассмотренной диаграммы следует:

1. Векторные диаграммы токов и напряжений являются симметричными и уравновешенными, так как отсутствуют составляющие обратной и нулевой последовательностей;
2. Трёхфазное К.З. сопровождается резким снижением всех междуфазных напряжений (как в месте К.З., так и вблизи него).

Такое К.З. является самым опасным повреждением для устойчивости параллельной работы энергосистемы и потребителей электроэнергии.

Двухфазное короткое замыкание.

При двухфазном К.З. токи и напряжения разных фаз неодинаковые.

Под действием междуфазной ЭДС Евс возникают токи К.З. Івк и Іск. Их значения определяются по формуле Івк=Іск=Евс/2Zф, где 2Zф – полное сопротивление прямой последовательности двух фаз (2Zф=Zв+Zс). Токи в

повреждённых фазах равны по значению, но противоположны по фазе, а ток в неповреждённой фазе равен нулю (при неучёте нагрузки). Iвк=Iск, Iа=0. Ток нулевой последовательности отсутствует, так как сумма токов трёх фаз равна нулю.

На векторной диаграмме построены вектора фазных ЭДС (Еа, Ев, Ес) и ЭДС между повреждёнными фазами Евс. Вектор тока К.З. Iвк отстаёт от создающей его Евс на угол фс $\varphi_C = arctg\frac{Xc + Xл}{Rc + Rл}$.

Напряжение неповреждённой фазы А одинаково в любой точке сети и равно фазной ЭДС (Еа). Поскольку межфазное напряжение при металлическом К.З. в точке К.З. Uвск=Uвк-Uск=0, Uвк=Uск, т.е. фазные напряжения повреждённых фаз в месте К.З. равны по модулю и совпадают по фазе.

Поскольку фазные напряжения при двухфазном К.З. не содержат составляющих нулевой последовательности, то в любой точке сети должно удовлетворяться условие 3U=Uак+Uвк+Uск=0, учитывая, что в месте К.З.

Uвк = Uск и Uак = Еа, находим

Uвк = Uск = - Uак/2= - Еа/2.

Двухфазное К.З. характеризуется двумя особенностями:

1. Векторы токов и напряжений образуют несимметричную, но уравновешенную систему, что говорит об отсутствии НП. Наличие несимметрии указывает, что токи и напряжения имеют составляющие обратной последовательности (ОП) наряду с прямой;

2. Фазные напряжения даже в месте К.З. существенно больше нуля, только одно межфазное напряжение снижается до нуля, а значения двух других равно 1,5 Uф. Поэтому двухфазное К.З. менее опасно для устойчивости энергосистемы и потребителей электроэнергии, чем трёхфазное КЗ.

3. Двухфазное КЗ на землю в сети с изолированной нейтралью практически не отличается от двухфазного КЗ. Токи, проходящие в месте КЗ и в ветвях рассматриваемой схемы, а также междуфазные напряжения в разных точках сети имеют те же самые значения, что и при двухфазном КЗ.

В сетях же с заземлённой нейтралью двухфазное КЗ на землю значительно более опасно, чем двухфазное КЗ. Это объясняется более значительным снижением междуфазных напряжений в месте КЗ, так как одно междуфазное напряжение

уменьшается до нуля, а два других – до значения фазного напряжения неповреждённой фазы.

Однофазное короткое замыкание.

Однофазное короткое замыкание может иметь место только в сетях с заземлённой нейтралью. Замыкание на землю одной фазы вызывает появление тока КЗ. Ток КЗ Iак возникает под действием ЭДС Еа, проходит по повреждённой фазе от источника питания и возвращается обратно по земле через заземлённые нейтрали трансформаторов:

$$Ia = \frac{Ea}{Rc + Rл + j(Xc + Xл)}$$

Индуктивные и активные сопротивления в этом выражении соответствуют петле фаза-земля и отличаются от значений сопротивлений фаз при межфазных КЗ. Вектор тока Iак отстаёт от вектора Еа на угол фс

$$\varphi c = arctg\frac{Xc + Xл}{Rc + Rл}$$

В неповреждённых фазах токи отсутствуют.

Напряжение повреждённой фазы в точке КЗ Uак=0. Напряжения неповреждённых фаз Uвк=Ев и Uск=Ес. Междуфазные напряжения

Uавк=Uвк; Uсак=Uск; Uвск=Uвк-Uск.

Геометрическая сумма фазных токов и напряжений равны:

Iак+Iвк+Iск=3Io

Uак+Uвк+Uск=Uвк+Uск=3Uo.

Отсюда ясно, что фазные токи и напряжения содержат составляющие нулевой последовательности

Iок=1/3 * Iак; Uок=1/3 * (Uвк+Uск).

Вектор Iок совпадает по фазе с Iак, вектор Uок противоположен по фазе Еа и равен 1/3 нормального (до КЗ) значения напряжения повреждённой фазы. Ток Iок опережает напряжение Uок на 90 град..

Однофазное К.З. характеризуется двумя особенностями:

1. Токи и фазные напряжения образуют несимметричную и неуравновешенную систему векторов, что говорит о наличии кроме прямой составляющих ОП и НП.

2. Данное КЗ является наименее опасным видом повреждения с точки зрения устойчивости энергосистемы и работы потребителей.

Выбор электрооборудования

1)Темы:

1.Выбор кабелей.

2.Выбор предохранителей.

3.Выбор выключателей и разъединителей.

4.Выбор трансформаторов тока и реактора.

2) Вопросы для обсуждения / Вопросы для подготовки

1. Условия выбора кабелей и проводов.

2. Необходимость расчёта и выбора реакторов.

3) Справочные материалы

Условия выбора и проверка кабелей на термическую устойчивость:

$$S \geq S_{\min} = \frac{I_p}{C} \cdot \sqrt{t_{пр}},$$

где S – фактическое сечение кабеля, кв.мм; Smin – минимально допустимое по термической устойчивости сечение кабеля, кв.мм; Iр – расчётный ток, А; tпр – приведённое время действия тока КЗ, сек.; С – термический коэффициент, $Ас^{1/2} / мм^2$.

С = 165 – для медных кабелей до 10 кВ;

С = 90 – для алюминиевых кабелей до 10 кВ.

Приведённое время действия тока КЗ складывается из приведённого времени действия периодического тока КЗ и приведённого времени действия апериодического тока КЗ:

$$t_{пр} = t_{пр.п} + t_{пр.а}.$$

При питании от системы неограниченной мощности:

$$t_{пр} = t_{выкл} + t_{защ},$$

где tвыкл – время отключения выключателя (0,1 – 0,2 сек); tзащ – время действия защит, сек..

Предохранители выбираются по номинальному току и напряжения, и отключающей способности. При выборе по номинальному напряжению необходимо учитывать повышение рабочего напряжения на 10%.

Таблица 1 – условия выбора предохранителя

Паспортные данные предохранителя	Условия выбора и проверки
Номинальный ток Iн.а, А	$Iн.а \geq Iр.м$
Номинальное напряжение Uн.а, кВ	$Uн.а = Uн.у$
Номинальная отключающая мощность Sн.о, тыс.кВА	$Sн.о \geq Sр.о$
Номинальный отключающий ток Iн.о	$Iн.о \geq Iр.о$

Таблица 2 - Условия выбора и проверки выключателей и разъединителей

Паспортные данные выключателей	Условия выбора и проверки
Номинальное напряжение Uн.а, кВ	$Uн.а \geq Uн.у$
Номинальный ток Iн.а, кА	$Iн.а \geq Iр.м$
Ток отключения Iн.о, кА	$Iн.о \geq Iр.о$
Мощность отключения Sн.о, МВА	$Sн.о \geq Sр.о$
Ток электродиамической устойчивости Iн.дин, кА	$Iн.дин \geq Iу$
Ток термической устойчивости Iн.т, кА	$Iн.Т \geq I_{\infty} \cdot \sqrt{\frac{tn}{tн.Т}}$

Таблица 3 - Условия выбора и проверки реакторов

Паспортные данные реактора	Условия выбора и проверки
Номинальное напряжение Uн.р, кВ	$Uн.р = Uн.у$
Номинальный ток Iн.р, А	$Iн.р \geq Iр.м$
Ток электродинамической устойчивости Iн.дин,	$Iн.дин \geq Iу$

кА	
Термическая стойкость реактора $I_{Н.Т.С} \cdot \sqrt{t_{Н.Т.С}}, кАс^{1/2}$	$I_{Н.Т.С} \geq I_{\infty} \cdot \sqrt{\frac{t_{ПР}}{t_{Н.Т.С}}}$
Термическая стойкость реактора при 5с $I_{5.Т.С}, кАс^{1/2}$	$I_{5.Т.С} \geq I_{\infty} \cdot \sqrt{\frac{t_{ПР}}{5}}$
Номинальное реактивное сопротивление $x_{Н.Р,ОТН.ЕД}$ а) по наибольшему допустимому току КЗ за реактором б) по наименьшему остаточному U перед реактором	$x_{Н.Р} \geq (x_{ДОП} - x_{СУЩ}) \cdot \frac{Iн.р \cdot Uн,у}{Iб \cdot Uн,р}$ $x_{Н.Р} \geq \frac{U_{ОСТ.ДОП} \cdot I_{Н.Р} \cdot U_{Н.У}}{(1 - U_{ОСТ.ДОП}) \cdot I_{\Sigma} \cdot U_{Н.Р}}$

Где хдоп, хсущ – наибольшее допустимое расчётное сопротивление реактора и существующее расчётное реактивное сопротивление до реактора; Iсум – суммарный ток КЗ от всех источников; Uост.доп = 0,6Uн,у – допустимое остаточное напряжение на шинах РУ.

Порядок выполнения курсовой работы

Задание №1. «Расчёт токов КЗ в сетях ВН»

Выбор оборудования.

Согласно рисунка схемы Рис 1, от шин подстанции энергосистемы питается главная понизительная подстанция (ГПП), предназначенная для электроснабжения промышленного предприятия. Питание ГПП осуществляется по двум линиям. На ГПП установлено два силовых трансформатора. В нормальном режиме линии и трансформаторы работают раздельно.

Среди прочих нагрузок ГПП на схеме выделена одно трансформаторная подстанция (ТП), которая рассчитана в первой контрольной.

Данные о величинах номинальных напряжений внешнего и внутреннего электроснабжения, типах линий, нагрузках трансформаторов ГПП и ТП приведены в таблицах 1-4.

Требуется:

1. Определить тип и мощность трансформаторов ГПП, согласно указанной на схеме подключённой нагрузке (P, Q) и мощности трансформатора ТП.

2. Рассчитать для точек К1 и К2 значения токов трёхфазного КЗ (ударного и установившегося значения), а также соответствующие мощности КЗ для режимов включения питающих линий выключателей ГПП.

3. Выбрать и проверить по условиям протекания токов КЗ на стороне 6-10 кВ ГПП следующие аппараты и токоведущие устройства:

А) выключатель в цепи нереактированной линии Л3, отходящей от ГПП к ТП;

Б) шинный разъединитель в той же цепи;

В) трансформатор тока там же;

Г) допустимое наименьшее сечение линии Л3 по термической устойчивости при КЗ;

Д) реактор на линии Л3 из условия ограничения токов КЗ для выбора менее мощного оборудования и уменьшения сечения линии.

4. Сделать вывод по расчётам и выбору оборудования.

Таблица1 Номинальные напряжения ступеней трансформации и мощности КЗ на шинах подстанции энергосистемы.

Параметры	Варианты									
	1, 19	2,13	3,18	4,17	5,15	6,20	7,17	8, 12	9,11	10, 16
U1, кВ	35	35	35	110	220	110	110	110	35	110
U2, кВ	6	10	6	6	10	6	10	6	6	10
Sк, МВА	450	550	400	1100	1500	1200	1000	900	600	950

Таблица 2 - Тип линий (ВЛ – воздушные, КЛ – кабельные) и её длина (км).

Элемент цепи	Вариант										
Л1, Л2	Тип	КЛ	ВЛ	КЛ	ВЛ	ВЛ	ВЛ	ВЛ	ВЛ	КЛ	ВЛ
	Длина	6	7	5,5	35	50	25	20	15	6	25
Л3	Тип	КЛ	КЛ	КЛ	КЛ	КЛ	КЛ	КЛ	КЛ	КЛ	КЛ
	Длина	2	2,5	1,5	4,5	2	1,5	2	2	1,5	2

Таблица3 - Нагрузки на стороне 6 – 10 кВ ГПП.

Подстанция, нагрузки		Вариант									
		1, 11, 21	2, 12,22	3, 13, 23	4, 14, 24	5, 15, 25	6, 16, 26	7, 17, 27	8, 18, 28	9, 19, 29	10, 20, 30
ГПП	P МВт	4,2	7	15,6	25,2	30,4	10,2	45,1	9,9	10,3	15,3
	Q МВар	3,5	5,3	15,8	22,4	30,2	7,8	33,1	7,6	8	13,2

Таблица 4 - Режим включения питающих линий и выключателей ГПП («+» - вкл, «-» - откл).

Элемент цепи	Вариант									
	1,11	2, 12	3,13	4, 14	5, 15	6, 16	7, 17	8, 18	9, 19	10, 20, 20
Л1	+	+	+	+	-	+	-	-	+	+
Л2	+	+	+	-	+	-	+	+	-	+
В1	+	+	+	+	-	+	-	-	+	+
В2	+	+	+	-	+	-	+	+	-	+
В3	+	-	+	+	+	-	-	+	+	+
В4	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
В5	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+
В6	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+

Таблица 5 - Формулы приведения параметров расчётной схемы к базисным условиям.

Элемент расчётной схемы	Исходные параметры	Относительные единицы, Ом	Именованные единицы, Ом
Энергосистема	$S_{н,с}$ - номинальная мощность системы, МВА; x_{c*} - относительное реактивное сопротивление энергосистемы, Ом; S_k - мощность КЗ системы, МВА;	$x_{б*} = x_{c*} \cdot \frac{S_б}{S_{н,с}}$; $x_{б*} = \frac{S_б}{S_k}$; $x_{б*} = \frac{S_б}{\sqrt{3} \cdot I_{откл.} \cdot U_{ср.}}$.	$x = x_{c*} \cdot \frac{U_б^2}{S_{н,с}}$; $x = \frac{U_б^2}{S_k}$; $x = \frac{U_б^2}{\sqrt{3} \cdot I_{откл.} \cdot U_{ср.}}$.

	$I_{откл.}$ - ном. ток откл. выключателя, кА.		
Генераторы, компенсаторы, синхронные и асинхронные двигатели	$S_{н,м}$ - номинальная мощность электрической машины, МВА; x''_{d*} - относительное сверхпереходное сопротивление генератора, Ом; $I_{пуск*}$ - кратность пускового тока двигателя, отн. ед; $E'' = U_н + I_н \cdot x''_d \cdot \sin\varphi$ - фазная ЭДС генератора.	$x_{б*} = x''_{d*} \cdot \frac{S_б}{S_{н,м}}$; $x_{б*} = \frac{S_б}{I_{пуск*} \cdot S_{н,дв.}}$; $E''_{б*} = E''_* \cdot \frac{U_н}{U_б}$.	$x = x''_{d*} \cdot \frac{U_б^2}{S_{н,м}}$; $x = \frac{U_б^2}{I_{пуск*} \cdot S_{н,дв.}}$.
Трансформаторы двухобмоточные: а) $S_{н,Т} \geq 1 МВА$ б) $S_{н,Т} \leq 630 кВА$	$S_{н,Т}$ - номинальная мощность трансформатора, МВА; u_{k*} - относительное напряжение КЗ трансформатора, отн. ед;	а) $x_{б*} = u_{k*} \cdot \frac{S_б}{S_{н,Т}}$ б) $x_{б*} = \sqrt{u_k^2 - r_T^2} \cdot \frac{S_б}{S_{н,Т}}$	а) $x = u_{k*} \cdot \frac{U_б^2}{S_{н,Т}}$ б) $x = \sqrt{u_k^2 - r_T^2} \cdot \frac{U_б^2}{S_{н,Т}}$

	$r_{T*} = \frac{\Delta P_м}{S_{н,T}}$ - относительное активное сопротивление трансформатора, Ом.		
Реакторы	$x_{р*}$ - относительное реактивное сопротивление реактора, Ом; $I_{н,р}$ - номинальный ток реактора, кА.	$x_{б*} = x_{р*} \cdot \frac{I_б}{I_{н,р}} \cdot \frac{U_{ср.}}{U_б}$	$x = x_{р*} \cdot \frac{U_б^2}{\sqrt{3} \cdot I_{н,р} \cdot U_{ср.}}$
Линии электропередач	x_0 - удельное реактивное сопротивление линии, Ом/км; $r_0 = \frac{1000}{\gamma \cdot s}$ - удельное активное сопротивление линии, Ом/км; γ - удельная проводимость, м/(Ом·мм^2); s - сечение проводника, мм^2; l - длина линии, км.	$x_{б*} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_б}{U_{ср.}^2}$; $r_{б*} = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_б}{U_{ср.}^2}$.	$x = x_0 \cdot l \cdot \frac{U_б^2}{U_{ср.}^2}$; $r = r_0 \cdot l \cdot \frac{U_б^2}{U_{ср.}^2}$.

Для меди $\gamma = 53$, для алюминиевых и сталеалюминиевых проводников $\gamma = 32$, для стальных проводов $\gamma = 10$.

Задание №2. (Расчёт токов КЗ в сетях НН).

Для расчёта токов КЗ необходимо:

- по расчётной схеме составить схему замещения;
- выбрать точки КЗ;
- рассчитать сопротивления;
- определить в каждой точке токи КЗ.

Схема замещения составляется на основании расчётной схемы, в которой все элементы расчётной схемы заменены сопротивлениями, а магнитные связи - электрическими.

Для определения токов КЗ используют следующие формулы:

А) трёхфазного $I_{КЗ} = \dfrac{U_Л}{\sqrt{3} \cdot Z_{КЗ}} кА$

Б) двухфазного $I_{КЗ.2} = \dfrac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{КЗ}$

В) однофазного $I_{КЗ.1} = \dfrac{U_Ф}{Z_П + \dfrac{Z_{T1}}{3}}$

Г) ударный ток $i_У = \sqrt{2} \cdot Ку \cdot I_{КЗ}$

где Uл линейное напряжение в точке КЗ, кВ;

Zкз – полное сопротивление до точки КЗ;

Zп – полное сопротивление;

Zт1 – полное сопротивление трансформатора однофазному КЗ;

Uф – фазное напряжение в точке КЗ.

Ку – ударный коэффициент, определяется по графику Ку = F[Rкз/Xкз]

При расчётах можно использовать следующие значения Ку:

Ку = 1,2 – при КЗ на шинах нн трансформаторов до 400 кВ.А;

Ку = 1,3 – при КЗ на шинах нн трансформаторов >400 кВ.А;

Ку = 1 – при более удалённых точках;

Ку = 1,8 – при КЗ в сетях ВН.

Сопротивление элементов схемы замещения определяется:

1. Для силовых трансформаторов по формулам

$$R_T = \Delta Pк\left[\frac{Uнн}{S_T}\right]^2 \cdot 10^6$$

$$Z_T = u_K \cdot \frac{U_{HH}^2}{S_T} \cdot 10^4$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}$$

где Uнн – номинальное напряжение или по таблице

Таблица 6 - Сопротивления трансформаторов 10/0,4 кВ

Мощность, кВ.А	Rт, мОм	Xт, мОм	Zт, мОм	Zт1, мОм однофазному КЗ
25	153	243	287	3110
40	88	157	180	1949
63	52	102	114	1237
100	31	64	72	779
160	16	42	45	487
250	9,4	27	28	312
400	5,5	17	18	195
630	3,1	13	14	129
1000	2	8,5	8,8	81
1600	1	5,4	5,4	54

Таблица 7 - Сопротивления первичных обмоток для трансформаторов ток

Коэффициент трансф.тока	Сопротивление, мОм класса точности			
	1		2	
	Xтт	Rтт	Xтт	Rтт
20/5	67	42	17	19
30/5	30	20	8	8,2

40/5	17	11	4,2	4,8
50/5	11	7	2,8	3
75/5	4,8	3	1,2	1,3
100/5	1,7	2,7	0,7	0,75
150/5	1,2	0,75	0,3	0,33
200/5	0,67	0,42	0,17	0,19
300/5	0,3	0,2	0,08	0,09
400/5	0,17	0,11	0,04	0,05
500/5	0,07	0,05	0,02	0,02

Таблица 8 - Сопротивления автоматов, рубильников, до 1 кВ

Номинальный ток Iн, А	Автомат			Рубильник	Разъединитель
	Ra, мОм	Xa, мОм	Rп, мОм	R, мОм	R, мОм
50	5,5	4,5	1,3	-	-
70	2,4	2	1	-	-
100	1,3	1,2	0,75	0,5	-
150	0,7	0,7	0,7	0,45	-
200	0,4	0,5	0,6	0,4	-
400	0,15	0,17	0,4	0,2	0,2
600	0,11	0,13	0,25	0,15	0,15
1000	0,1	0,1	0,15	0,08	0,08
1600	0,08	0,08	0,1	-	0,06
2000	0,0	0,0	0,0	-	0,03

	7	8	8		
2500	0,06	0,07	0,07	-	0,03
3000	0,05	0,07	0,06	-	0,02

Сопротивление предохранителей не учитывается, у рубильников и разъединителей учитывается только переходное сопротивление контактов.

2. Для ступеней распределения значения переходных сопротивлений определяется по таблице

Ступень	Место	Ra, мОм	Дополнительные сведения
1	2	3	4
1	Распределительное устройство подстанции	15	Используются при отсутствии данных о переходных сопротивлениях контактов в цеховых сетях
2	Первичные цеховые распред. пункты	20	
3	Вторичные цеховые распред. пункты	25	
4	Аппаратура управления эл.приёмниками, при питании от вторичных РП	30	

3. Для определения сопротивлений линий кабельных, воздушных и шинопроводов используются выражения

$R_л = r_o * L_л$ $X = x_o * L_л$

где r_o и x_o – удельные активные и индуктивные сопротивления. мОм/м;

$L_л$ – длинна линий, м.

Удельные сопротивления для расчёта токов КЗ можно определить по таблицам

Таблица 9 - Значения уд. сопротивлений кабелей и проводов

Сечение жилы кв.мм	ro, мОм/м при 20 град.Ц		xo, при 20 град.Ц	
	Al провода	Cu провода	Кабель с бум. Изоляцией ВВ	Любые кабели и провода в трубе НН
1	2	3	4	5
1	-	18,5	-	0,133
1,5	-	12,3	-	0,ё126
2,5	12,5	7,4	0,104	0,116
4	7,81	4,63	0,095	0,107
6	5,21	3,09	0,09	0,1
10	3,12	1,84	0,073	0,099
16	1,95	1,16	0,067	0,095
25	1,25	0,74	0,063	0,091
35	0,89	0,53	0,062	0,088
50	0,62	0,37	0,061	0,085
70	0,44	0,26	0,06	0,082
95	0,33	0,19	0,06	0,081
120	0,26	0,15	0,059	0,08
150	0,21	0,12	0,059	0,079
185	0,17	0,1	0,058	0,078
240	0,13	0,077	0,058	0,077

Таблица 10 - Значения уд. сопротивлений шинопроводов

Параметры	Тип шинопроводов						
	ШМА				ШРА		
1	2	3	4	5	6	7	8
In, A	1250	1600	2500	3200	250	400	630
ro, мОм/м	0,034	0,03	0,017	0,015	0,21	0,15	0,1

xo,мОм/м	0,016	0,014	0,008	0,007	0,21	0,17	0,13
rоп(ф-о)	0,068	0,06	0,034	0,03	0,42	0,3	0,2
xоп(ф-о)	0,053	0,06	0,075	0,044	0,42	0,24	0,26
zоп(ф-о)	0,086	0,087	0,082	0,053	0,59	0,38	0,33

При отсутствии данных значение ro можно определить по формуле

$r_o = \frac{10^3}{\gamma \cdot S}$, где S – сечение проводника,

ɣ - удельная проводимость материала, м/(Ом*кВ.мм).

ɣ = 30 – для алюминия,

ɣ = 50 – для меди,

ɣ = 10 – для стали.

При отсутствии данных xo можно принять

xo = 0,4 мОм/м – для ВЛ,

xo = 0,06 мОм/м – для проводов,

xo = 0,15 мОм/м – для шинопроводов.

При расчёте однофазных токов КЗ значения удельных индуктивных сопротивлений петли (фаза-нуль) принимается равным

xo(ф-о) = 0,15 мОм/м – для КЛ до 1 кВ и проводов в трубе,

xo(ф-о) = 0,6 мОм/м – для ВЛ до 1 кВ,

xo(ф-о) =0,4 мОм/м – для изолированных проводов,

xo(ф-о) = 0,2 мОм/м – для шинопроводов.

Удельное активное сопротивление петли (фаза-нуль) определяется для любых линий по формуле

ro(ф-о) = 2*ro.

Сопротивления элементов на ВН приводят к НН по формулам

$$R_{нн} = R_{вв} \cdot \left[\frac{U_{нн}}{U_{вв}}\right]^2 \qquad X_{нн} = X_{вн} \cdot \left[\frac{U_{нн}}{U_{вв}}\right]^2,$$

где Rнн и Хнн – сопротивления, приведённые к НН, мОм;

Rвн и Хвн – сопротивления на ВН, мОм;

Uнн и Uвн – напряжение низкое и высокое, кВ.

На величину тока КЗ могут оказывать влияние АД мощностью более 100 кВт напряжением до 1 кВ, если они подключены вблизи места КЗ, т.к. при КЗ резко снижается напряжение, а АД, вращаясь по инерции, генерирует ток в месте КЗ, этот ток быстро затухает, но в начальный момент равен

ΔIпо.ад = 4,5* Iн.ад; Δiу = 5=6,5* Iн.ад,

Где Iн.ад – номинальный ток АД.

Таблица 11 - варианты индивидуальных заданий расчёта Iкз по НН

Вариант	Lвн, км	Lкл1, м	Lкл2, м	Lш, м
1	2	3	4	5
1	1,5	15	30	6
2	3	20	25	4,5
3	4,5	25	20	3
4	6	30	15	1,5
5	7,5	35	10	0,5
6	9	40	5	1
7	10	20	28	2
8	12	15	23	2,5
9	14	25	18	3
10	14,5	40	14	3,5
11	15	30	8	4
12	16	25	20	4,5
13	18	15	15	5
14	19	30	10	4

15	20	10	25	3

Пример расчёта токов КЗ до 1000 В

Дано:

Расчётная схема

Lвн = 3км

Lкл1 = 5м (длина КЛ от шин НН до шинопровода ШРА630)

Lш = 2м (участок ШРА630 до ответвления)

Lкл2 = 20м (длина КЛ от ШРА630 до потребителя АД)

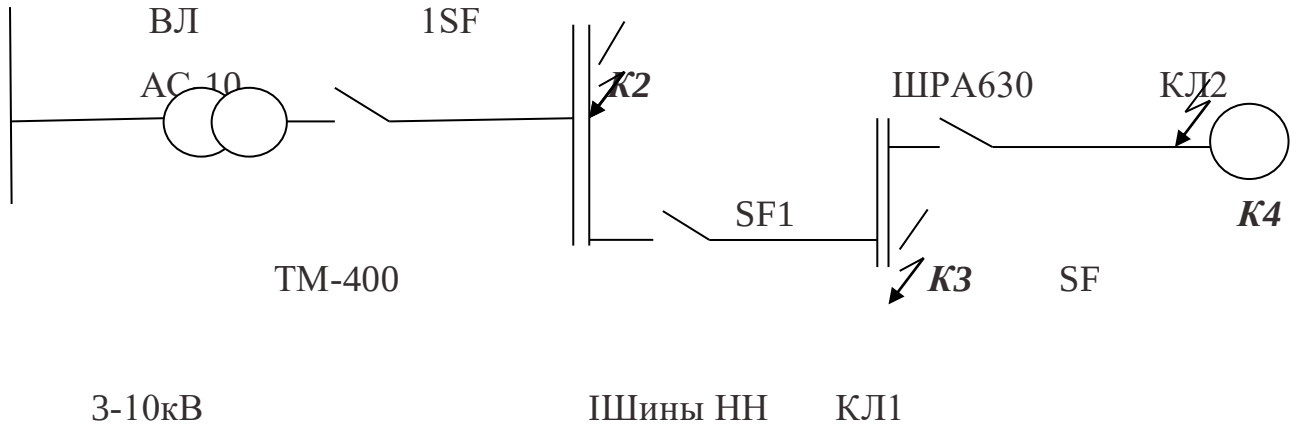
Требуется:

- составить схему замещения с указанием точек расчёта токов КЗ;
- рассчитать сопротивления элементов расчётной схемы;
- определить токи КЗв точках К2, К3 и К4.

Решение:

На основании расчётной схема составить схему замещения

Расчётная схема



Элементы расчётной схемы:

ВЛ выполнена проводом АС-10/1,8 длиной Lс = 3 км

Трансформатор ТМ-400-10/0,4

Автомат 1SF Iн = 630 А

Автомат SF1 Iн = 630 А

КЛ1 кабель АВВГ-3(3х95) длиной Lкл1 = 5 м

Шинопровод ШМА1 80х5 длиной Lш = 2 м

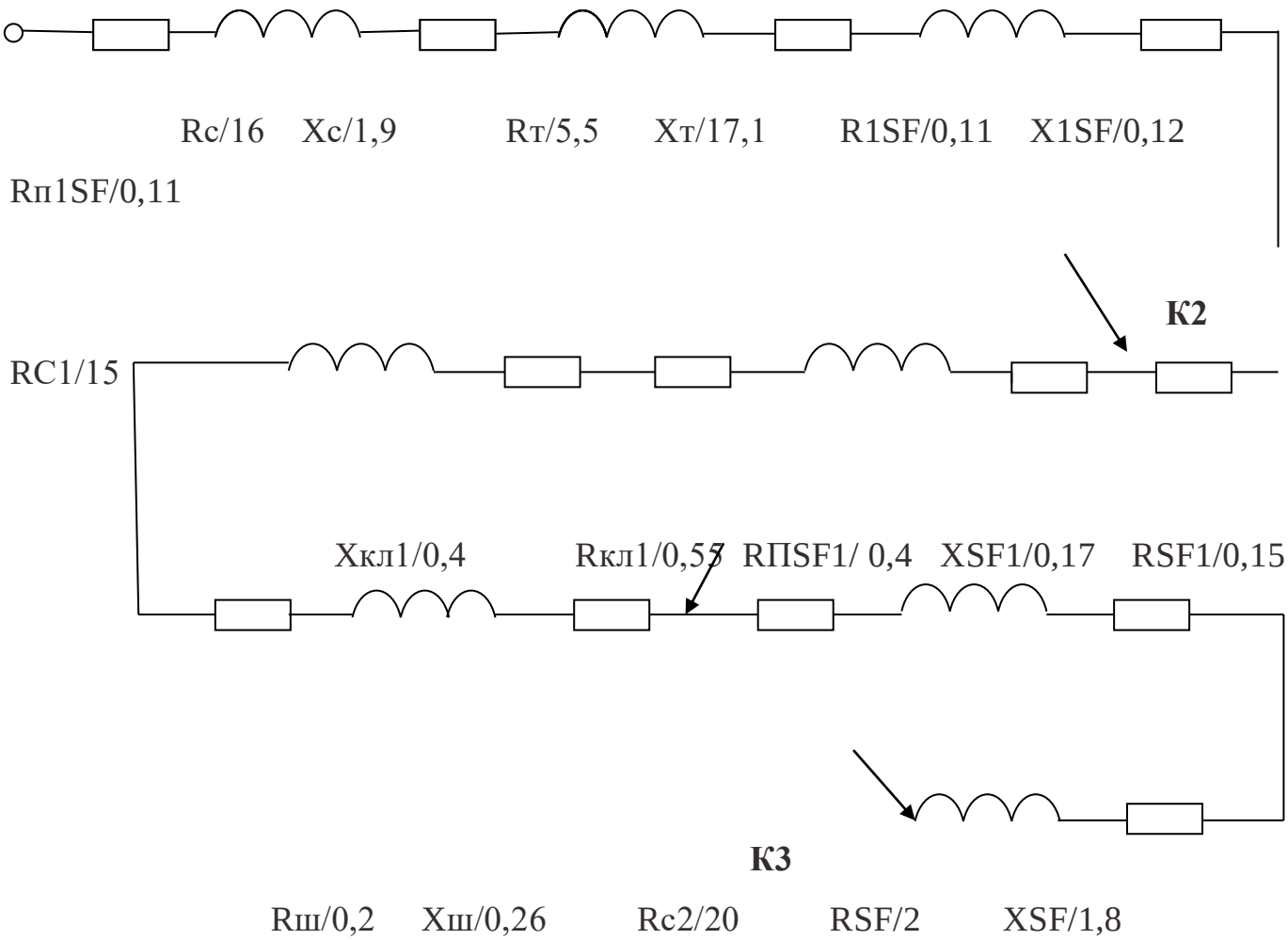
Автомат SF Iн = 80 А

КЛ2 кабель АВВГ-3х50 длиной Lкл2 = 20 м

АД компр. установки Рн = 28 кВт, cosφ = 0,8, η = 0,9

Точки К2, К3 и К4 – точки расчёта токов КЗ.

Схема замещения



К4

/ Xкл2/1,8 Rкл2/12,6

Расчёт сопротивлений

Для системы

$Ic = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot Uc} = \frac{400}{1{,}73 \cdot 10} = 23{,}1A$, ВЛ выполнена проводом АС сечением 10 кв.мм.

xo = 0,4 Ом/км, Xс.вн = xo*Lвн = 0,4*3 = 1,2 Ом

ro = 1000/γS = 1000/30*10 = 3,33Ом, Rс.вн = ro* Lвн = 3,33*3 = 10 Ом

сопротивление сети ВН - 10 кВ приводим к НН – 0,4 кВ

$$Rc = Rc.вн \cdot \left(\frac{Uнн}{Uвв}\right)^2 = 10 \cdot \left(\frac{0{,}4}{10}\right)^2 \cdot 10^3 = 16мОм$$

$$Xc = Xc.вн \cdot \left(\frac{Uнн}{Uвв}\right)^2 = 1{,}2 \cdot \left(\frac{0{,}4}{10}\right)^2 \cdot 10^3 = 1{,}9мОм$$

Для трансформатора

Сопротивление трансформатора определяем по таблице для 400 кВ.А

Rт = 5,5 мОм, Xт = 17,1 мОм, Zт1 = 195 мОм.

Для автоматов

Сопротивление автоматов определяем по таблице в зависимости от Iн

1SF R1SF = 0,11 мОм; X1SF = 0,12 мОм; RП1SF = 0,2 мОм

SF1 RSF1 = 0,15 мОм; XSF1 = 0,17 мОм; RПSF1 = 0,4 мОм

SF RSF = 2 мОм; XSF = 1,8 мОм; RПSF = 0,9 мОм.

Для кабельных линий

Сопротивления КЛ определяем по таблице

КЛ1 три кабеля 95 кв.мм в параллель ro =1/3*0,33=0,11мОм/м, xo = 0,08 мОм/м,

Rкл1 = ro*Lкл1 = 0,11*5 = 0,55 мОм,

Xкл1 = xo* Lкл1 = 0,08*5 = 0,4 мОм.

КЛ2 кабель 50 кв.мм ro = 0,63 мОм/м, xo = 0,09 мОм/м,

Rкл2 = ro*Lкл2 = 0,63*20 = 12,6 мОм,

Xкл2 = xo* Lкл2 = 0,09*20 = 1,8 мОм.

Для шинопровода

Сопротивление шинопровода типа ШРА 630 определяем по таблице

ro = 0,1 мОм/м; xo = 0,13 мОм/м

roп = 0,2 мОм/м; xoп = 0,26 мОм/м

Rш = ro*Lш = 0,1*2 = 0,2 мОм

Xш = xo*Lш = 0,13*2 = 0,26 мОм.

Для ступеней распределения

Переходные сопротивления распределительных устройств

Rc1 = 15 мОм

Rc2 = 20 мОм.

Вычисляем сопротивления до каждой точки КЗ

Точка К2

RК2 = Rc+Rт+R1SF +Rп1SF +R C1 = 16+5,5+0,11+0,2+15 = 36,8 мОм

X К2 = Xc+Xт+X1SF = 1,9+17,1+0,12 = 19,12 мОм

Z К2 = 41,5 мОм

Точка К3

RК3 =R К1+R SF1 +RПSF1 +Rкл1 + R Ш +R C2=36,8+1,15+0,4+0,55+0,2+20=58,1 мОм

X К3 = X К1+X SF1+Xкл1+XШ =19,12+0,17+0,4+0,26 = 19,95 мОм

Z К3 = 61,43 мОм

Точка К4

RК4 =R К2+R SF +RПSF +Rкл2 = 58,1+2+0,9+12,6 = 73,6 мОм

X К4 = X К2+X SF+Xкл2 = 19,95+1,8+1,8 = 23,55 мОм

Z К4 = 77,3 мОм

Ударный коэффициент Ку принимаем для всех точек равный 1.

Определяем токи 3-фазного КЗ

Iк2 = Ur1/√3 · Z К2 = 0,4 · 10^3/(1,73 · 41,5) = 5,6 кА

Iк3 = Ur2/√3 · Z К3 = 0,4 · 10^3/(1,73 · 61,4) = 3,6 кА

Iк4 = Ur3/√3 · Z К4 = 0,4 · 10^3/(1,73 · 77,3) = 2,8 кА

Ударные токи 3-фазного КЗ

Iук2 = √2 · Ку · Iк2 = 1,41 · 1 · 5,6 = 7,9 кА

Iук3 = √2 · Ку · Iк3 = 1,41 · 1 · 3,6 = 5,1 кА

Iук4 = √2 · Ку · Iк4 = 1,41 · 1 · 2,8 = 4,4 кА

Определяем токи 2-фазного КЗ

Iк2° = (√3/2) · Iк2 = 0,87*5,6 = 4,9 кА

Iк3° = (√3/2) · Iк3 = 0,87*3,6 = 3,1 кА

Iк4° = (√3/2) · Iк4 = 0,87*2,8 = 2,4 кА

Выбор электрооборудования

Для выбора электрооборудования необходимо знать ток

$$I_T = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_{HT}} \qquad I_{PУ} = \frac{S_{мРУ}}{\sqrt{3} \cdot U_{нРУ}} \qquad I_Д = \frac{P_Д}{\sqrt{3} \cdot U_{НД} \cdot \eta_Д \cdot \cos\varphi_Д}$$

где Iт, Iру, Iд – токи в тр-ре, РУ и двигателе;

Uнт, Uнру, Uнд – напряжения номинальные в тр-ре, РУ и двигателе;

Ηд – кпд электродвигателя, cosφд – коэф мощности эл.двигателя.

Выбор автоматов

Автоматы выбираются из условия:

Iна > Iнр, Iнр > Iдл – для линий без АД;

Uна > Uс, Iнр > 1,25*Iдл – для линий с одним АД;

Iнр > 1,1*Iм – для линий с группой АД;

Ко > Io/Iнр Io > Iдл - для линий без АД;

Io > 1,2*Iп - для линий с одним АД;

где Iна – ном. ток автомата;

Iнр – ном. ток расцепителя;

Iдл – длительный ток в линии;

Iм – мак. ток в линии;

Io – ток отсечки;

Iп – пусковой ток;

Uс – напряжение сети;

Uна – ном. напряжение автомата;

Ко – кратность отсечки;

Кп – кратность пускового тока, принимается для АД 6,5…..7,5;

Iк1 - ток КЗ;

Iкз – 3-фазный ток КЗ

Автоматы после выбора и расчёта токов КЗ проверяют:

- по надёжности срабатывания

Iк1 > 3* Iнр – с комбинированным расцепителем;

Iк1 > 1,25-1,4* Io – с максимальным расцепителем;

- по отключающей способности

Iна > √2* Iкз;

- по отстройке от пусковых токов

Iдл > Iп.

Провода и кабели проверяют:

- на соответствие выбранному аппарату защиты, согласно условию

Iдоп > Кз*Iу.

где Кз - кратность защиты = 1 - для любых кабелей с защитой автоматами; = 0,6…0,8 – для кабелей с бумажной изоляцией с защитой автоматами; = 0,33 – для предохранителей;

- на термическую стойкость, согласно условию

Sкл > Sкл.т, где Sкл – фактическое сечение кабеля,

Sкл.т – термически стойкое сечение кабеля.

Шинопроводы проверяют:

- на динамическую стойкость, согласно условию

σш.д ≥ σш, где σш.д – доп. механическое напряжение в шинопроводе, Н/см²,

σш – фактическое механическое напряжение в шинопроводе;

- на термическую стойкость, согласно условию

Sкл > Sкл.т, где Sш – фактическое сечение шинопровода, мм²

Sш.т – термически стойкое сечение шинопровода.

Динамическое действие токов КЗ.

Максимальное действие (усилие) на шину $F_м = 0{,}176 \cdot \frac{l}{a} \cdot i_у^2$, Н

где l – длина пролёта между опорами, может быть 1,5; 3; 4,5; 6 м;

a - расстояние между осями шин, может быть 100, 150, 200 мм.

Наибольший изгибающий момент от максимального усилия

Ммакс = 0,125*Fм

Напряжение от изгиба

σ = Ммакс/W

где W момент сопротивления материала, см³

W = b·h²/6 – шины на ребро;

W = b²·h/6 – шины плашмя.

Шины работают надёжно, если σдоп ≥ σ

σдоп = 14·10³ Н/см² - для меди;

σдоп = 14·10³ Н/см² - для алюминия;

σдоп = 14·10³ Н/см² - для стали.

Термическое действие тока КЗ.

Минимальное термически стойкое сечение

$S_{TC} = \alpha \cdot I_{КЗ} \cdot \sqrt{t_{ПР}}$, где α – термический коэффициент

α = 6 – для меди;

α = 11 – для алюминия;

α = 15 – для стали

tпр – приведённое время действия тока КЗ, равное сумме времени действия защиты и времени отключения выключателя.

Допустимые значения температуры токоведущих частей (шин, проводов, кабелей с изоляцией Тдоп

Проводники	Тдоп, град.С (норм.)	Тдоп, град.С (при КЗ)

Шина : медь алюминий	70 70	300 200
Кабели до 1 кВ	65	150
Кабели более 1 кВ	60	200

Выбор выключателей высокого напряжения.

Выключатели выбирают по напряжению, току, по конструкции и коммутационной способности.

Выключатели проверяют

- на отключающую способность, т.е. номинальные ток и мощность отключения должны быть больше расчётных значений

Iр.откл = Iкз, Sр.откл = √3 · Iр.откл · Uн;

- на динамическую устойчивость, т.е. iс ≥ iу;

- на термическую устойчивость, т.е. $I_{Р.ТС} = I_{Р.ОТКЛ} \cdot \sqrt{\frac{t_{ПР}}{t_{ТС}}}$.

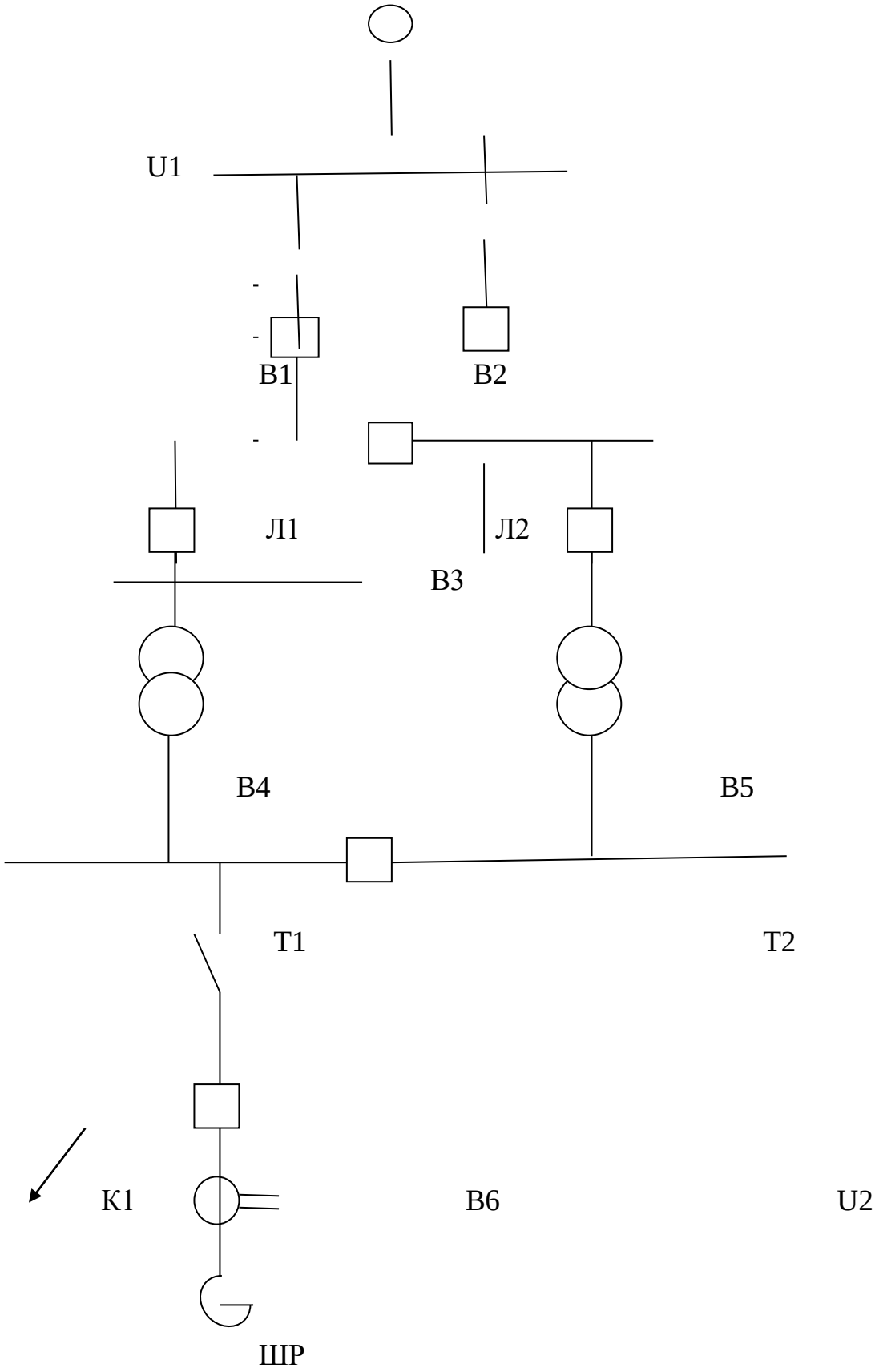
Задание №3. (варианты тем)

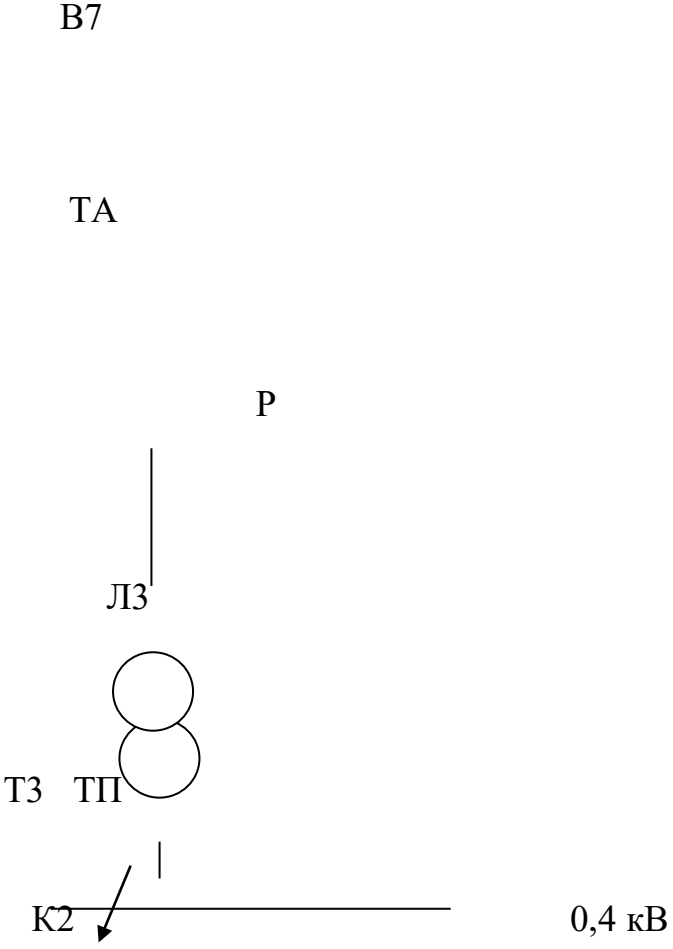
Техническое обслуживание выбранного оборудования электрических подстанций.

Требуется раскрыть одну из следующих тем по вариантам из ПТЭЭП

1. Требования к персоналу эксплуатирующего оборудование и его подготовка.
2. Требования к обслуживанию силовых трансформаторов.
3. Требования к обслуживанию распределительных устройств подстанций.
4. Требования к обслуживанию воздушных линий.
5. Требования к обслуживанию силовых кабельных линий.
6. Нормы испытания электрооборудования.
7. Технологическая и отчётная документация на ПС.

Расчётная схема участка схемы электроснабжения Рис 1




В7
ТА
Р
ЛЗ
ТЗ
ТП
К2
0,4 кВ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фёдоров А.А., Каменев В.В. Основы электроснабжения предприятий. -М.: Энергоатомиздат, 1994.

2. Князевский Б.А., Липкин Б.Ю. Элек-троснабжение промышленных предприятий. – М.: Энергия 2011.

3. Чернобровов Н.В. Релейная защита. – М.: Энергия 2009.

4. Сибкин Ю.Д. Электроснабжение про-мышленных предприятий и установок. – ФО-РУМ Москва 2017