

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I»
(ФГБОУ ВО ПГУПС)

Петрозаводский филиал ПГУПС

ОДОБРЕНО

на заседании цикловой комиссии
протокол № 6 от 16.06.2017г.
Председатель цикловой комиссии:
(Алла В.В.)

УТВЕРЖДАЮ

Начальник УМО

(подпись) А.В. Калько
«16» 06 2017г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по организации и проведению практических занятий

по МДК.01.01. Устройство и техническое обслуживание
электрических подстанций

Специальность: 13.02.07 Электроснабжение (по отраслям)

Разработчик: Аблаев В.В.

2017 г

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Методические указания по организации и проведению практических занятий разработаны в соответствии с рабочей программой профессионального модуля ПМ.01 Техническое обслуживание оборудования электрических подстанций и сетей и предназначены для выполнения лабораторных работ обучающимися.

Практические занятия по МДК.01.01. Устройство и техническое обслуживание электрических подстанций направлены на усвоение знаний, освоение умений и формирование элементов общих компетенций, предусмотренных рабочей программой учебной дисциплины.

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен

уметь:

- разрабатывать электрические схемы устройств электрических подстанций и сетей;
- вносить изменения в принципиальные схемы при замене приборов аппаратуры распределительных устройств;
- обеспечивать выполнение работ по обслуживанию трансформаторов и преобразователей электрической энергии;
- обеспечивать проведение работ по обслуживанию оборудования распределительных устройств электроустановок;
- контролировать состояние воздушных и кабельных линий, организовывать и проводить работы по их техническому обслуживанию;
- использовать нормативную техническую документацию и инструкции;
- выполнять расчеты рабочих и аварийных режимов действующих электроустановок и выбирать оборудование;
- оформлять отчеты о проделанной работе;

знать:

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

иметь практический опыт:

- составления электрических схем устройств электрических подстанций и сетей;
- модернизации схем электрических устройств подстанций;
- технического обслуживания трансформаторов и преобразователей электрической энергии;
- обслуживания оборудования распределительных устройств электроустановок;
- эксплуатации воздушных и кабельных линий электропередачи;
- применения инструкций и нормативных правил при составлении отчетов и разработке технологических документов.

В результате освоения междисциплинарного курса происходит поэтапное формирование элементов общих и профессиональных компетенций:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ПК 1.3. Выполнять основные виды работ по обслуживанию оборудования распределительных устройств электроустановок, систем релейных защит и автоматизированных систем.

ПК 1.4. Выполнять основные виды работ по обслуживанию воздушных и кабельных линий электроснабжения.

ПК 1.5. Разрабатывать и оформлять технологическую и отчетную документацию.

Рабочей программой предусмотрено выполнение обучающимися практических занятий, включая, как обязательный компонент практические задания с использованием персонального компьютера.

Распределение результатов освоения учебного материала в ходе выполнения заданий на практических занятиях происходит в соответствии с таблицей 1.

Элемент модуля	Контрольно-оценочные мероприятия	Результаты			Поэтапно формируемые элементы общих и профессиональных компетенций
		усвоенные знания	освоенные умения	практический опыт	
Раздел 1. МДК.01.01. Устройство и техническое обслуживание электрических подстанций	Практические занятия №1-19.	- устройство оборудования электроустановок; - условные графические обозначения элементов электрических схем; - логику построения схем, типовые схемные решения, принципиальные схемы эксплуатируемых электроустановок; - виды работ и технологию обслуживания трансформаторов и преобразователей; - виды и технологии работ по обслуживанию оборудования распределительных устройств; - основные положения правил технической эксплуатации электроустановок;	- разрабатывать электрические схемы устройств электрических подстанций и сетей; - вносить изменения в принципиальные схемы при замене приборов аппаратуры распределительных устройств; - обеспечивать выполнение работ по обслуживанию трансформаторов и преобразователей электрической энергии; - обеспечивать проведение работ по обслуживанию оборудования распределительных устройств электроустановок; - выполнять расчеты рабочих и аварийных режимов действующих электроустановок и выбирать оборудование; - оформлять отчеты о проделанной работе;	- составления электрических схем устройств электрических подстанций и сетей; - модернизация схем электрических устройств подстанций; - техническое обслуживание трансформаторов и преобразователей электрической энергии; - обслуживание оборудования распределительных устройств электроустановок;	ОК 1-9; ПК 1.1. ПК 1.2. ПК 1.3.

Раздел 2. МДК.01.01. Устройство и техническое обслуживание электрических подстанций	Практические занятия №20-24.	<ul style="list-style-type: none"> - устройство оборудования электроустановок; - виды работ и технологию обслуживания трансформаторов и преобразователей; - виды и технологии работ по обслуживанию оборудования распределительных устройств; - эксплуатационно – технические основы линий электропередачи, виды и технологии работ по их обслуживанию; - основные положения правил технической эксплуатации электроустановок; - виды технологической и отчетной документации, порядок ее заполнения. 	<ul style="list-style-type: none"> - обеспечивать выполнение работ по обслуживанию трансформаторов и преобразователей электрической энергии; - обеспечивать проведение работ по обслуживанию оборудования распределительных устройств электроустановок; - контролировать состояние воздушных и кабельных линий, организовывать и проводить работы по их техническому обслуживанию; - использовать нормативную техническую документацию и инструкции; - оформлять отчеты о проделанной работе; 	<ul style="list-style-type: none"> - техническое обслуживание трансформаторов и преобразователей электрической энергии; - обслуживание оборудования распределительных устройств электроустановок; - эксплуатация воздушных и кабельных линий электропередачи; - применения инструкций и нормативных правил при составлении отчетов и разработке технологических документов. 	ОК 1-9; ПК 1.2. ПК 1.3. ПК 1.4. ПК 1.5.

Содержание практических занятий и лабораторных работ охватывает весь круг умений и компетенций, на формирование которых направлен МДК.01.01. Устройство и техническое обслуживание электрических подстанций.

КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

При оценке освоенных умений при выполнении практических работ применяется пятибалльная шкала оценивания.

Оценивание практических занятий производится в соответствии со следующими нормативными актами:

- Положение о текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся;
- Положение о планировании, организации и проведении лабораторных работ и практических занятий.

ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Раздел 1. Устройство электрических подстанций и составление их схем

Практическое занятие №1 Расчет токов короткого замыкания в электроустановках напряжением выше 1000 В тупиковой подстанции.

Практическое занятие №2 Расчет токов короткого замыкания в электроустановках напряжением выше 1000 В отпаечной подстанции.

Практическое занятие №3 Расчет токов короткого замыкания в электроустановках напряжением выше 1000 В транзитной подстанции.

Практическое занятие №4 Расчет токов короткого замыкания в электроустановках напряжением выше 1000 В узловой подстанции.

Практическое занятие №5 Расчет токов короткого замыкания в электроустановках напряжением до 1000 В.

Практическое занятие №6 Выбор и проверка измерительных трансформаторов тока.

Практическое занятие №7 Выбор и проверка измерительных трансформаторов напряжения.

Практическое занятие №8 Выбор и проверка токоведущих частей и изоляторов открытого распределительного устройства.

Практическое занятие №9 Выбор и проверка токоведущих частей и изоляторов закрытого распределительного устройства.

Практическое занятие №10 Выбор и проверка выключателей переменного тока напряжением выше 1000 В.

Практическое занятие № 11 Выбор и проверка разъединителей.

Практическое занятие №12 Исследование схемы узловой трансформаторной подстанции.

Практическое занятие №13 Исследование схемы проходной (транзитной) трансформаторной подстанции.

Практическое занятие №14 Исследование схемы тупиковой трансформаторной подстанции 10/0,4.

Практическое занятие №15 Расчет полной мощности трансформаторной подстанции.

Практическое занятие № 16 Расчет рабочих токов основных присоединений распределительных устройств.

Практическое занятие №17 Изучение конструкции аккумулятора.

Практическое занятие №18 Расчет и выбор аккумуляторной батареи.

Практическое занятие №19 Расчёт заземляющего устройства трансформаторной подстанции.

Раздел 2. Техническое обслуживание оборудования электрических подстанций

Практическое занятие №20 Составление графика дежурств при различных методах обслуживания подстанции.

Практическое занятие №21 Изучение оперативно-технической документации электрических подстанций.

Практическое занятие №22 Оформление оперативной технической документации на производство работ в электроустановке.

Практическое занятие №23 Изучение основных и дополнительных средств защиты.

Практическое занятие №24 Оформление технической документации по результатам испытания силового трансформатора.

Практическое занятие №1

Расчет токов короткого замыкания в электроустановках напряжением выше 1000 В тупиковой подстанции.

Цель: научиться рассчитывать токи и мощности короткого замыкания в точках K_1 , K_2 , K_3 понижающей трансформаторной подстанции с первичным напряжением 35 кВ.

Исходные данные:

1. Подстанция питается по двум воздушным линиям от шин РУ-35 кВ районной подстанции ПС №1;
2. Мощность КЗ на шинах ОРУ-220 кВ $S_{кз}$, МВ·А;
3. Мощность трехобмоточных трансформаторов Т-1 и Т-2 ПС №1 $S_{ном.т}$, МВ·А;
4. Напряжение КЗ обмоток трансформатора:
 $U_{к.в-с}$, %
 $U_{к.в-н}$, %
 $U_{к.с-н}$, %
5. Мощность двухобмоточных трансформаторов понижающей подстанции Т №1 и Т №2 $S_{ном.т}$, МВ·А;
6. Напряжение КЗ U_k , %;
7. Потребитель напряжением 10 кВ питается от подстанции по кабельной линии l_k , км;
8. Принять выдержки времени срабатывания релейной защиты присоединений:
на питающей линии потребителя $t_{в.р.з}$, с;
на секционном выключателе $t_{в.р.з}$, с;
на входах 10 кВ $t_{в.р.з}$, с;
на первичной стороне трансформатора $t_{в.р.з}$, с;

Задание

1. Составляем расчетную схему цепи КЗ и наносим на нее необходимые данные.
2. Составляем схемы замещения и преобразования.

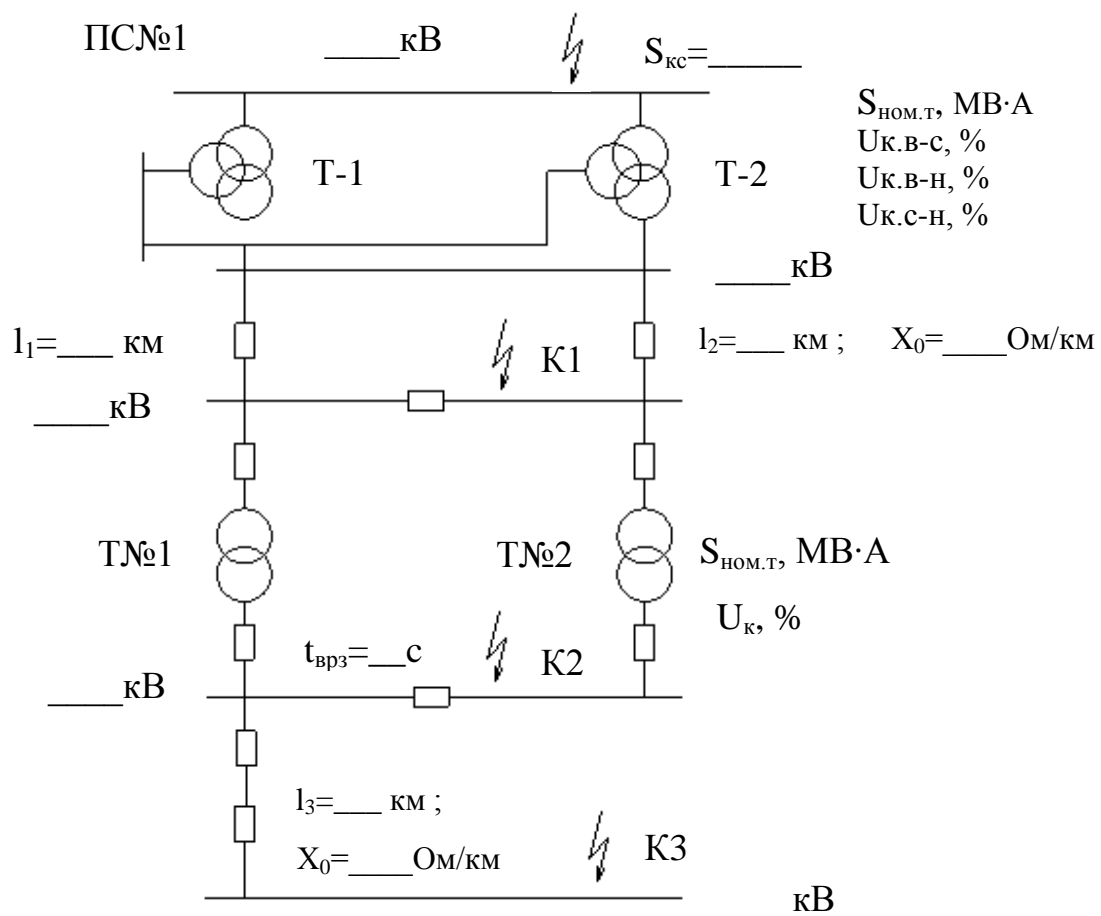


Рис. 1 Расчетная схема

2.1 По расчетной схеме необходимо составить схему замещения, на которой все элементы расчетной цепи заменить на индуктивные сопротивления. Сопротивления пронумеровать, указать точки короткого замыкания.

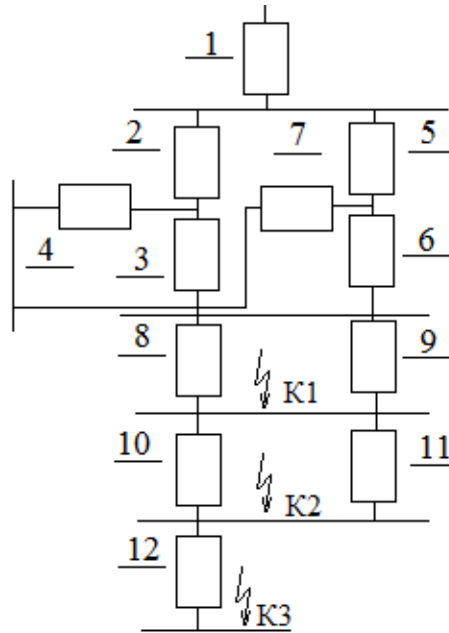
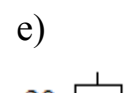
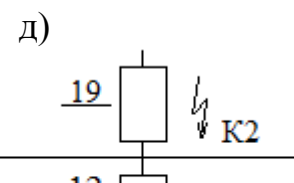
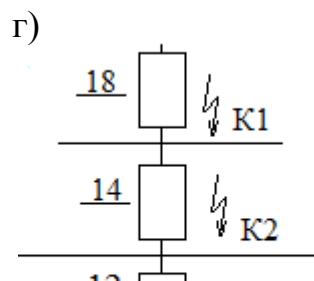
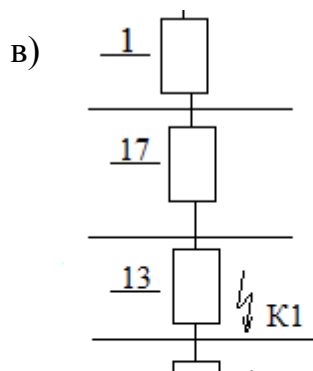
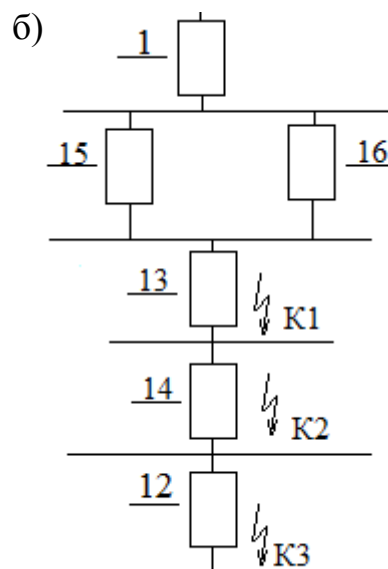
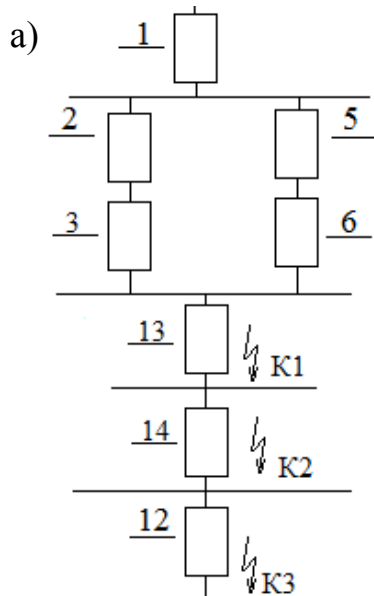


Рис. 2 Схема замещения



3. Вычислить относительные базисные сопротивления согласно схемам замещения и преобразования.

Принять базисную мощность 1000 или 100 МВ·А

3.1 Вычислить относительное сопротивление системы по формуле:

$$X_{*61} = \frac{S_{\delta}}{S_{\text{КС}}} ; \quad (1)$$

3.2 Вычислить расчетные значения $U_{\text{к}}$ обмоток трансформаторов Т-1 и Т-2 ПС №1, через которые протекают токи КЗ по формулам:

$$\begin{aligned} U_{\text{к.В}} &= 0,5(U_{\text{к.В-С}} + U_{\text{к.В-Н}} - U_{\text{к.С-Н}}); \\ U_{\text{к.С}} &= 0,5(U_{\text{к.В-С}} + U_{\text{к.С-Н}} - U_{\text{к.В-Н}}); \\ U_{\text{к.Н}} &= 0,5(U_{\text{к.С-Н}} + U_{\text{к.В-Н}} - U_{\text{к.В-С}}); \end{aligned} \quad (2)$$

3.3 Рассчитать относительное сопротивление обмоток трехобмоточных трансформаторов Т-1 и Т-2:

$$\begin{aligned} X_{*62} &= \frac{U_{\text{к.В}}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{\text{НОМ.Т}}} ; \\ X_{*63} &= \frac{U_{\text{к.Н}}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{\text{НОМ.Т}}} ; \end{aligned} \quad (3)$$

3.4 Относительные сопротивления обмоток двухобмоточных трансформаторов Т №1 и Т №2 найти по формуле:

$$X_{*610} = X_{*611} = \frac{U_{\text{к}}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{\text{НОМ.Т}}} ;$$

3.5 Расчет относительных сопротивлений линий:

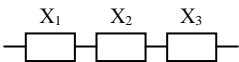
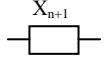
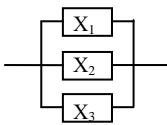

$$\begin{aligned} X_{*68} &= X_{*69} = X_0 \cdot l_1 \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\text{ср}}^2} ; \\ X_{*612} &= X_0 \cdot l_3 \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\text{ср}}^2} ; \end{aligned}$$

3.7 Преобразование схемы замещения.

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

Схемы и формулы для преобразования схемы замещения указаны в таблице 1.

Таблица 1 - Схемы и формулы для преобразования схемы замещения

Вид соединения	Схема до преобразования	Схема после преобразования	Расчетные формулы
Последовательное			$X_{*6n+1} = X_{*61} + X_{*62} + \dots + X_{*6n}$
Параллельное			$X_{*6n+1} = \frac{1}{\frac{1}{X_{*61}} + \frac{1}{X_{*62}} + \dots + \frac{1}{X_{*6n}}}$ <p>(при $X_{*61} = X_{*62} = \dots = X_{*6n}$)</p> $X_{*6n+1} = \frac{X_{*61}}{n}$

3.7.1 Расчеты по схеме преобразования рис. 3, а:

$$X_{*613} = \frac{X_{*68}}{2};$$

$$X_{*614} = \frac{X_{*610}}{2};$$

3.7.2 Расчеты по схеме преобразования рис. 3,б:

$$X_{*615} = X_{*616} = X_{*62} + X_{*63};$$

3.7.3 Расчеты по схеме преобразования рис. 3, в:

$$X_{*617} = \frac{X_{*615}}{2};$$

3.7.4 Расчеты по схеме преобразования рис. 3,г:

$$X_{*618} = X_{*61} + X_{*617} + X_{*613};$$

$$\underline{X_{*6к1} = X_{*618};}$$

3.7.5 Расчеты по схеме преобразования рис. 3,д:

$$X_{*619} = X_{*618} + X_{*614};$$

$$\underline{X_{*6к2} = X_{*619};}$$

3.7.6 Расчеты по схеме преобразования рис. 3,е:

$$X_{*620} = X_{*619} + X_{*612};$$

$$X_{*6к3} = X_{*620};$$

4. Рассчитать токи и мощности короткого замыкания в точках К1, К2, К3. Расчеты свести в таблицу 1.

Расчеты токов и мощностей КЗ в точках К1, К2, К3

Таблица 1

Точки КЗ	Расчетные формулы	Расчеты
К1 U _{ср} , кВ	$I_{61} = \frac{S_6}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{U_{ср}}, \text{ кА}$ $I_{к1} = \frac{I_{61}}{X_{*6к1}}, \text{ кА}$ $i_{y1} = 2,55 \cdot I_{к1}, \text{ кА}$ $I_{y1} = 1,25 \cdot I_{к1}, \text{ кА}$ $S_{кc1} = \frac{S_6}{X_{*6к1}}, \text{ кВА}$	
К2 U _{ср} , кВ	$I_{62} = \frac{S_6}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{U_{ср}}, \text{ кА}$ $I_{к2} = \frac{I_{62}}{X_{*6к2}}, \text{ кА}$ $i_{y2} = 2,55 \cdot I_{к2}, \text{ кА}$ $I_{y2} = 1,25 \cdot I_{к2}, \text{ кА}$ $S_{кc2} = \frac{S_6}{X_{*6к2}}, \text{ кВА}$	
К3 U _{ср} , кВ	$I_{63} = \frac{S_6}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{U_{ср}}, \text{ кА}$ $I_{к3} = \frac{I_{63}}{X_{*6к3}}, \text{ кА}$ $i_{y3} = 2,55 \cdot I_{к3}, \text{ кА}$ $I_{y3} = 1,25 \cdot I_{к3}, \text{ кА}$ $S_{кc3} = \frac{S_6}{X_{*6к3}}, \text{ кВА}$	

5. Определить тепловой импульс в точке К2 по формуле:

$$B_{к2} = I_{к2}^2 \cdot (t_{откл} + T_a),$$

где

T_a – постоянная времени затухания апериодической составляющей тока КЗ, с; принимаем T_a = 0,05 с;

t_{откл} – полное время отключения КЗ, состоящее из трех составляющих:

$$t_{\text{откл}} = t_{\text{в.р.з}} + t_{\text{с.р}} + t_{\text{с.в}},$$

где

$t_{\text{в.р.з}}$ – время выдержки срабатывания релейной защиты, с;

$t_{\text{с.р}}$ – собственное время срабатывания релейной защиты, с; принимаем $t_{\text{с.р}} = 0,1$ с;

$t_{\text{с.в}}$ – собственное время срабатывания релейной защиты выключателя с приводом, с; принимаем $t_{\text{с.в}} = 0,1$ с.

Содержание отчета:

1. Расчетная схема для определения токов короткого замыкания.
2. Схема замещения для определения токов короткого замыкания.
3. Схемы преобразования.
4. Расчеты относительных сопротивлений, токов и мощностей короткого замыкания.
5. Ответы на контрольные вопросы.
6. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Какие условия при расчете токов короткого замыкания называют базисными?
2. Какое сопротивление понимают под относительным сопротивлением?
3. Какое значение имеет базисная мощность?

Практическое занятие №2

Расчет токов короткого замыкания в электроустановках напряжением выше 1000 В отпаечной подстанции.

Цель: научиться рассчитывать токи и мощности короткого замыкания в точках K_1 , K_2 отпаечной трансформаторной подстанции, получающей электроэнергию по двум воздушным линиям электропередачи напряжением 110 кВ:

- 1) с двухсторонним питанием;
- 2) с односторонним питанием.

Исходные данные:

1. Подстанция питается от двухцепной воздушной линии.
2. Мощность КЗ на шинах ОРУ-110 кВ трансформаторных подстанций:
 $\text{ПС}\#1 - S_{\text{кз1}}, \text{МВ}\cdot\text{А};$
 $\text{ПС}\#2 - S_{\text{кз2}}, \text{МВ}\cdot\text{А};$
3. Мощность двухобмоточных трансформаторов $\text{Т}\#1$ и $\text{Т}\#2$ $\text{ПС}\#1$ ответвительной подстанции $S_{\text{ном.т}}, \text{МВ}\cdot\text{А};$

4. Напряжение КЗ обмоток трансформатора:

$U_{к.}, \%$

5. Расчетные схемы представлены на рис. I и рис. II.

На расчетных схемах, изображенных на рисунке I, II указать исходные данные своего варианта.

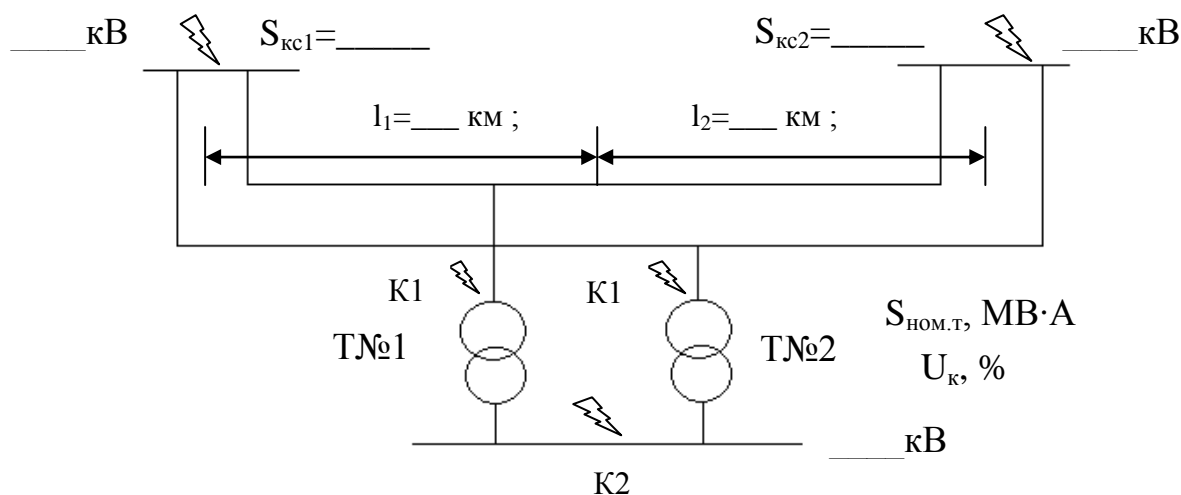


Рис. I Расчетная схема отпаечной трансформаторной подстанции с двухсторонним питанием

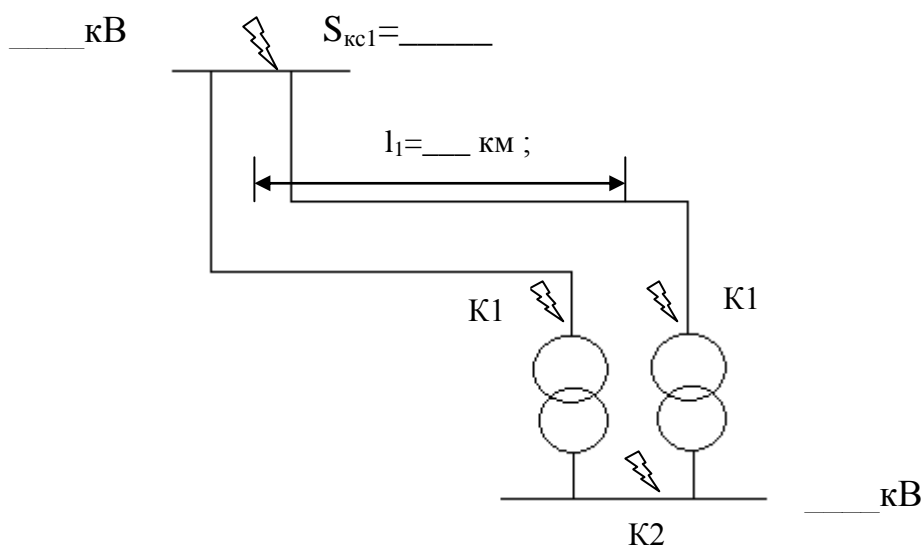


Рис. II Расчетная схема отпаечной трансформаторной подстанции с односторонним питанием

Задание

1. Рассчитать токи короткого замыкания в характерных точках при питании подстанции от ВЛ с двухсторонним питанием.

1.1 Составить расчетную схему цепи КЗ и нанести на нее необходимые данные своего варианта.

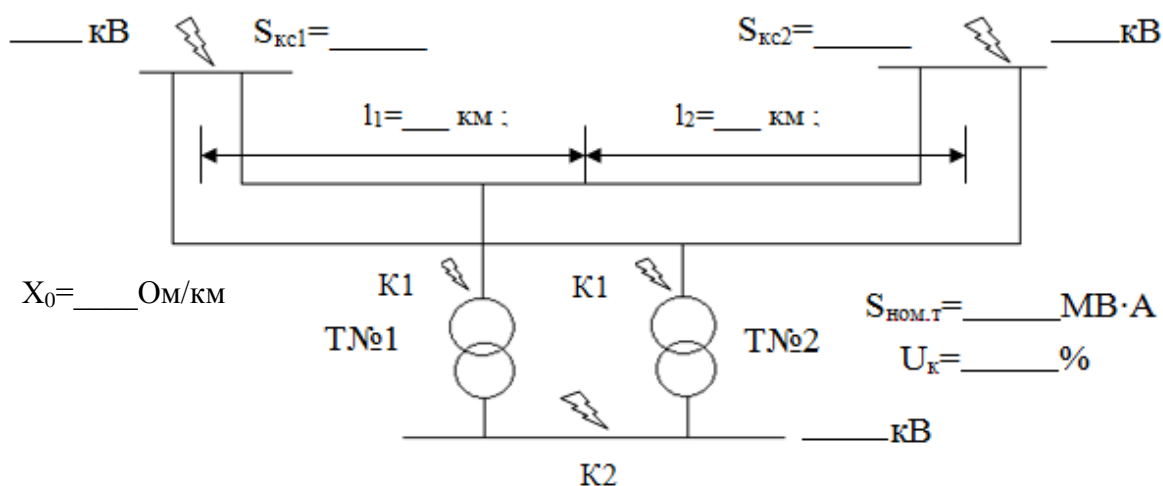


Рис. 1 Расчетная схема

1.2 По расчетной схеме составить схему замещения, на которой все элементы расчетной схемы заменить на индуктивные сопротивления. Сопротивления пронумеровать, указать точки КЗ.

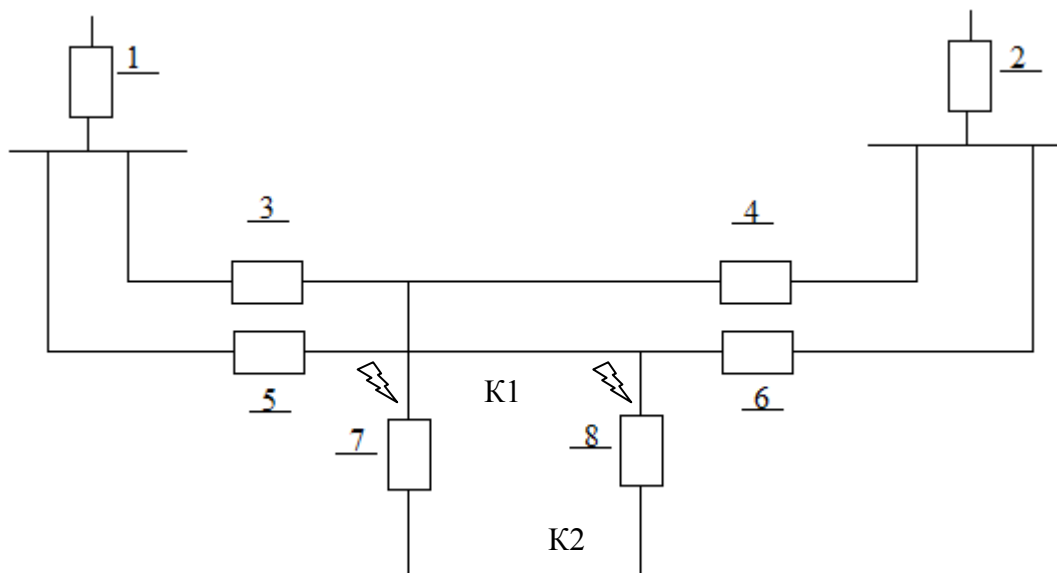


Рис. 2 Схема замещения

1.3 Преобразование схемы замещения.

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

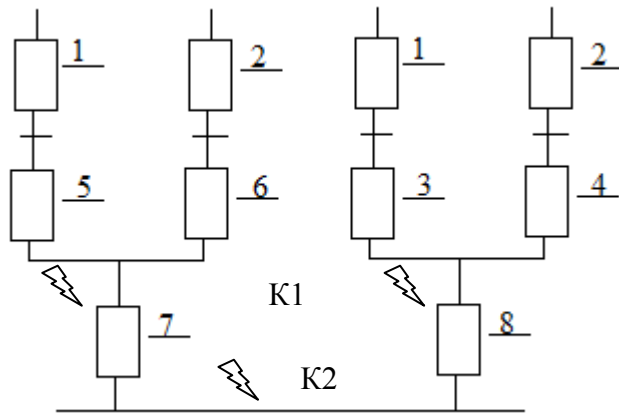
Схемы и формулы для преобразования схемы замещения указаны в таблице 1.

Таблица 1 - Схемы и формулы для преобразования схемы замещения

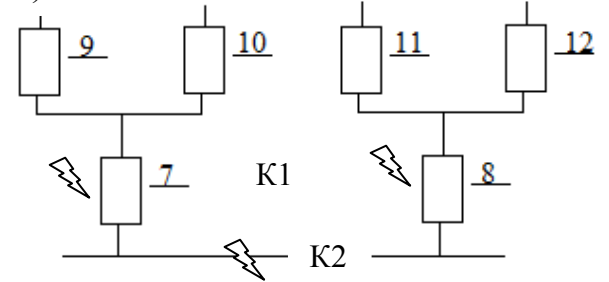
Вид соединения	Схема до преобразования	Схема после преобразования	Расчетные формулы
Последовательно			$X_{*o_{n+1}} = X_{*o_1} + X_{*o_2} + \dots + X_{*o_n}$
Параллельное			$X_{*o_{n+1}} = \frac{1}{\frac{1}{X_{*o_1}} + \frac{1}{X_{*o_2}} + \dots + \frac{1}{X_{*o_n}}}$ <p>(при $X_{*o_1} = X_{*o_2} = \dots = X_{*o_n}$)</p>

			$X_{*6n+1} = \frac{X_{*61}}{n}$
--	--	--	---------------------------------

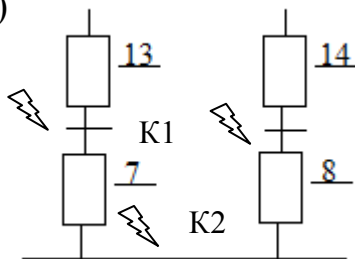
а)



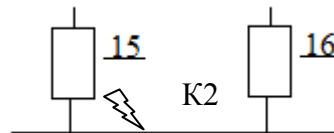
б)



в)



г)



д)

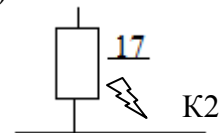


Рис. 3, а-д Схемы преобразования

1.4 Вычислить относительные базисные сопротивления согласно схемам замещения и преобразования.

Принять базисную мощность $S_6=100$ или $1000 \text{ МВ} \cdot \text{А}$

1.4.1 Рассчитать относительное сопротивление системы по формулам:

$$X_{*61} = \frac{S_6}{S_{\text{кск1}}}; \quad X_{*62} = \frac{S_6}{S_{\text{кск2}}};$$

1.4.2 Вычислить относительные сопротивления линий по формулам:

$$X_{*63} = X_{*65} = X_0 \cdot l_1 \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2};$$

$$X_{*64} = X_{*66} = X_0 \cdot l_2 \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2};$$

1.4.3 Рассчитать относительные сопротивления обмоток трансформаторов ТН№1 и ТН№2 по формулам:

$$X_{*67} = X_{*68} = \frac{U_K}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{\text{НОМ.Т}}};$$

1.4.4 Вычислить по схеме преобразования рис. 3, а-б относительные сопротивления:

$$X_{*69} = X_{*611} = X_{*61} + X_{*65};$$

$$X_{*610} = X_{*612} = X_{*62} + X_{*64};$$

1.4.5 Рассчитать по схеме преобразования рис. 3, в:

$$X_{*613} = X_{*614} = \frac{X_{*69} \cdot X_{*610}}{X_{*69} + X_{*610}};$$

$$X_{*6к1} = X_{*613};$$

1.4.6 Вычислить по схеме преобразования, рис. 3, г:

$$X_{*615} = X_{*616} = X_{*613} + X_{*67};$$

1.4.7 Рассчитать по схеме преобразования, рис. 3, д:

$$X_{*617} = \frac{X_{*615} \cdot X_{*616}}{X_{*615} + X_{*616}};$$

$$X_{*6к2} = X_{*617};$$

2. Расчет токов короткого замыкания в характерных точках при питании подстанции от ВЛ с односторонним питанием.

2.1 Составить расчетную схему цепи КЗ и наносим на нее необходимые данные.

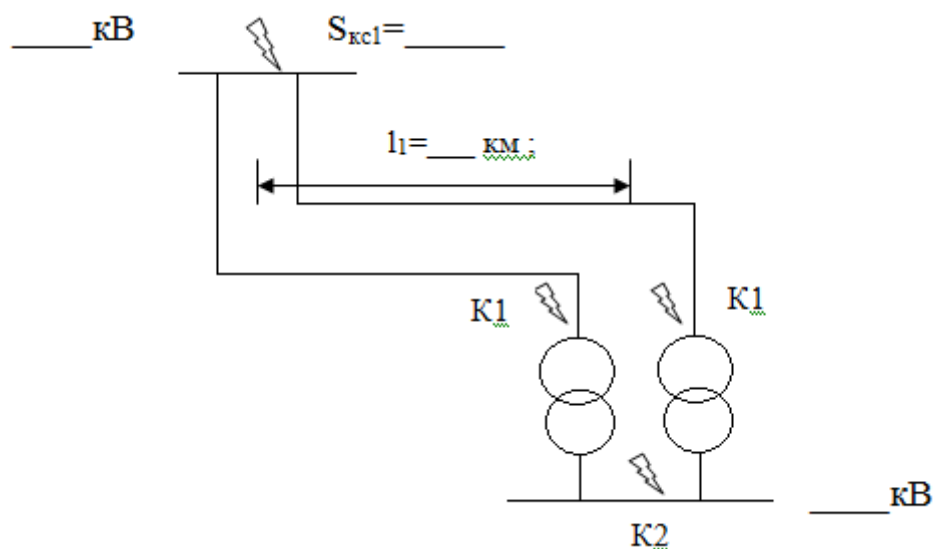


Рис. 4 Расчетная схема

2.2 Составить схемы замещения и преобразования.

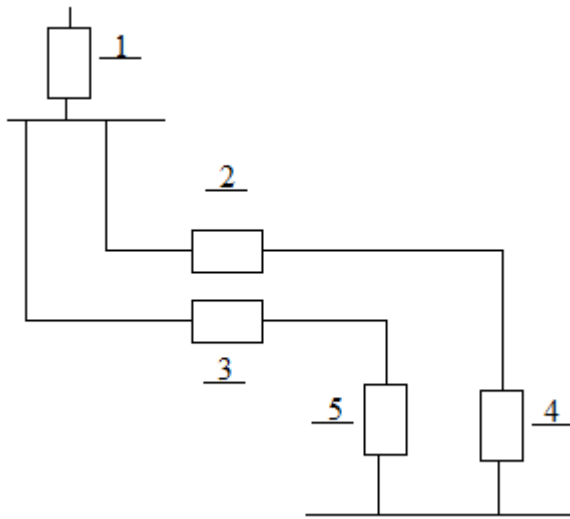


Рис. 5 Схема замещения

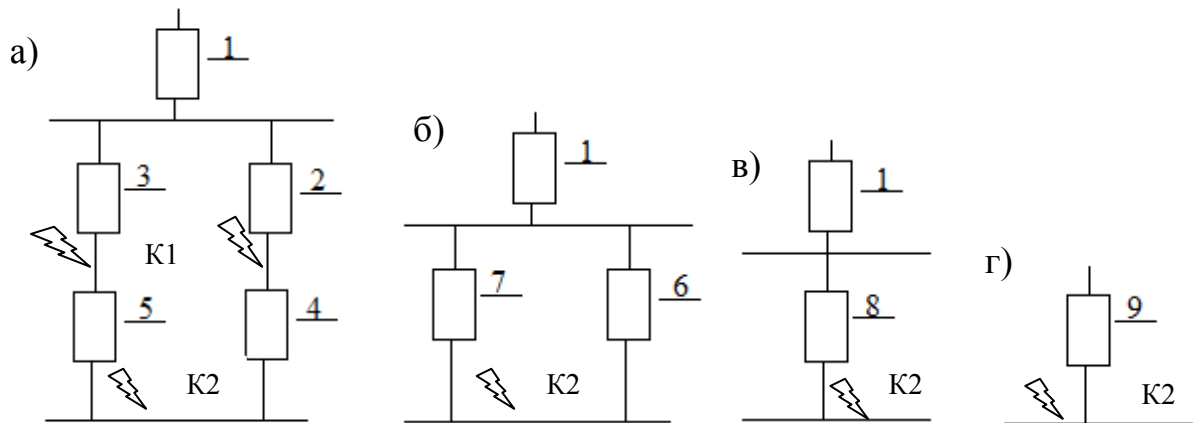


Рис. 6 Схема преобразования, а-г

2.3 Вычислить относительные базисные сопротивления согласно схемам замещения и преобразования.

Принять базисную мощность $S_{\text{б}}=100$ или $1000 \text{ МВ} \cdot \text{А}$

2.3.1 Вычислить относительное сопротивление системы по формуле:

$$X_{*61} = \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{кск1}}} ;$$

2.3.2 Рассчитать относительные сопротивления линий:

$$X_{*62} = X_{*63} = X_0 \cdot l_1 \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2};$$

$$X_{*6к1} = X_{*61} + X_{*63};$$

2.3.3 Найти относительные сопротивления обмоток трансформаторов Т№1 и Т№2:

$$X_{*64} = X_{*65} = \frac{U_K}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{ном.Т}};$$

2.4 Найти относительные базисные сопротивления по схемам преобразования:

2.4.1 По схеме преобразования рис. 6, а-б:

$$X_{*66} = X_{*67} = X_{*62} + X_{*64};$$

2.4.2 По схеме преобразования рис. 6, в:

$$X_{*68} = \frac{X_{*66} \cdot X_{*67}}{X_{*66} + X_{*67}};$$

2.4.3 По схеме преобразования, рис. 6, г:

$$X_{*69} = X_{*61} + X_{*68};$$

$$X_{*6к2} = X_{*69};$$

3. Рассчитать токи и мощности короткого замыкания в точках К1, К2. Расчеты свести в таблицу 1.

Расчеты токов и мощностей короткого замыкания в точках К1 и К2

Точки КЗ	Расчетные формулы	Расчеты	
		Схема I	Схема II
К1 U _{cp} , кВ	$I_{61} = \frac{S_6}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{U_{cp}}$ $I_{к1} = \frac{I_{61}}{X_{*6к1}}$ $i_{y1} = 2,55 \cdot I_{к1}$ $I_{y1} = 1,25 \cdot I_{к1}$ $S_{кc1} = \frac{S_6}{X_{*6к1}}$		

<p>K2</p> <p>U_{ср}, кВ</p>	$I_{62} = \frac{S_6}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{U_{ср}}$ $I_{к2} = \frac{I_6}{X_{*6к2}}$ $i_{y2} = 2,55 \cdot I_{к2}$ $I_{y2} = 1,25 \cdot I_{к2}$ $S_{кс2} = \frac{S_6}{X_{*6к2}}$		
-------------------------------------	---	--	--

Содержание отчета

1. Расчетная схема отпаечной трансформаторной подстанции с двухсторонним питанием
2. Расчетная схема отпаечной трансформаторной подстанции с односторонним питанием
3. Схема замещения для определения токов короткого замыкания.
4. Схемы преобразования.
5. Расчеты относительных сопротивлений, токов и мощностей короткого замыкания.
6. Ответы на контрольные вопросы.
7. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Назовите электрические параметры силовых трансформаторов, которые необходимы для расчета относительных сопротивлений трансформаторов.
2. Какой режим электрической цепи называют режимом короткого замыкания.
3. От каких параметров зависит относительное сопротивление линии электропередачи?

Практическое занятие №3

Расчет токов короткого замыкания в электроустановках напряжением выше 1000 В транзитной подстанции.

Цель: научиться рассчитывать токи короткого замыкания в характерных точках транзитной трансформаторной подстанции.

Исходные данные:

1. Схема внешнего электроснабжения электрических подстанций

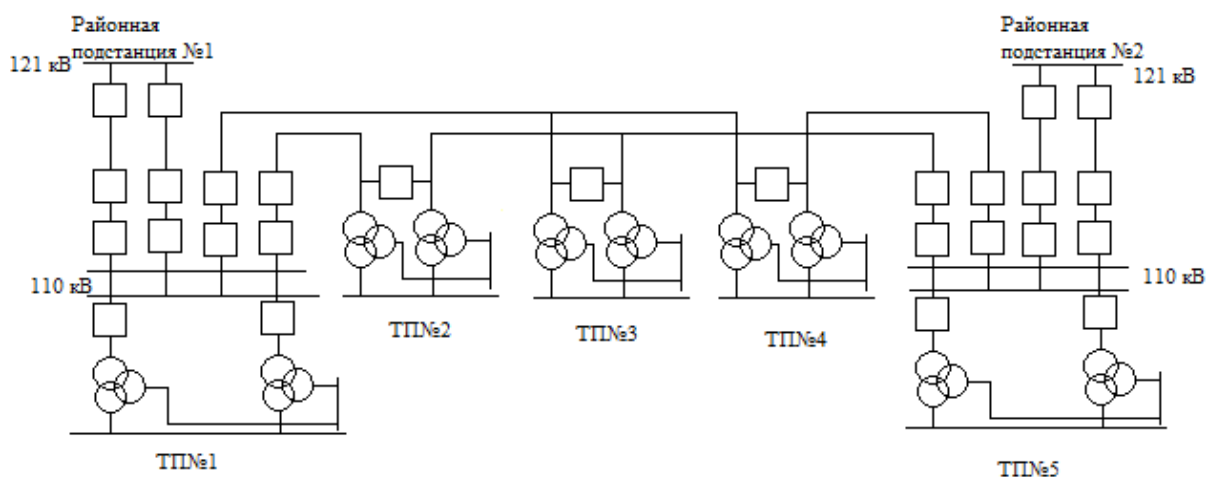


Рис. 1 Схема внешнего электроснабжения трансформаторных подстанций

2. Мощность короткого замыкания на шинах вторичного напряжения 121 кВ:

ПС №1 $S_{к.с1}$, МВ·А

ПС №2 $S_{к.с2}$, МВ·А

3. Длина воздушных линий 110 кВ: l_1 , км; l_2 , км; l_3 , км; l_4 , км; l_5 , км; l_6 , км;

4. Мощность трехобмоточных трансформаторов Т-1 и Т-2 ТП№2 $S_{ном.Т}$, МВ·А;

5. Напряжение КЗ обмоток трансформатора:

$U_{к.в-с}$, %

$U_{к.в-н}$, %

$U_{к.с-н}$, %

Задание

1. Составить расчетную схему, схему замещения и схемы преобразования максимального режима.

При расчете максимальных токов КЗ принять, что в работе находятся две ВЛ- 110 кВ, соединяющие узловые подстанции ПС№1 и ПС№2, а на рассчитываемой подстанции работают два трансформатора.

1.1 По схеме внешнего электроснабжения составить расчетную схему, на которой указать исходные данные своего варианта, указать точки КЗ.

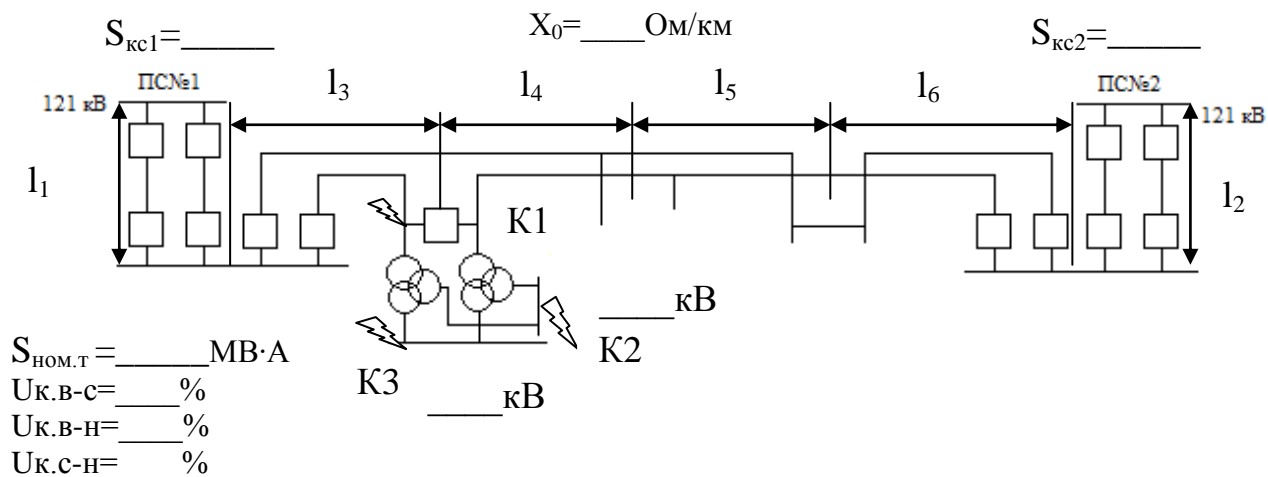


Рис. 2 Расчетная схема

1.2 По расчетной схеме составить схему замещения для максимального режима, на которой все элементы расчетной схемы заменить на индуктивные сопротивления. Сопротивления пронумеровать, указать точки КЗ.

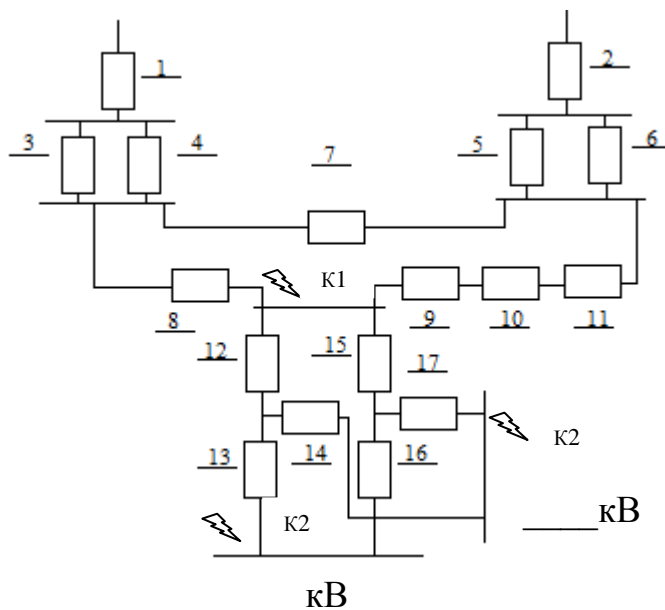


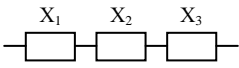
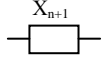
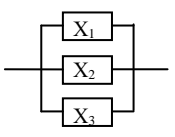

Рис. 3 Схема замещения

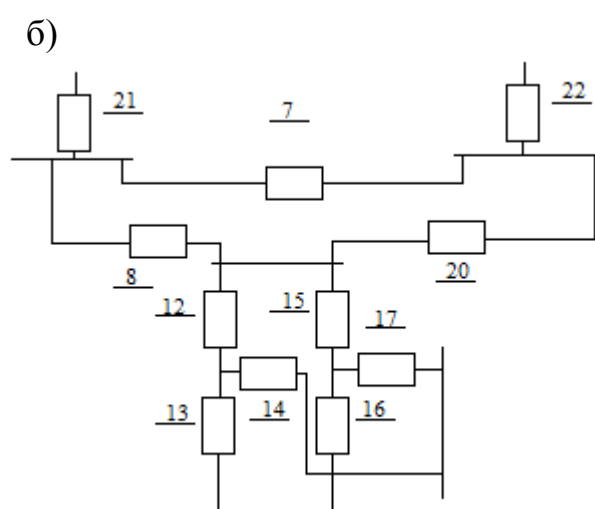
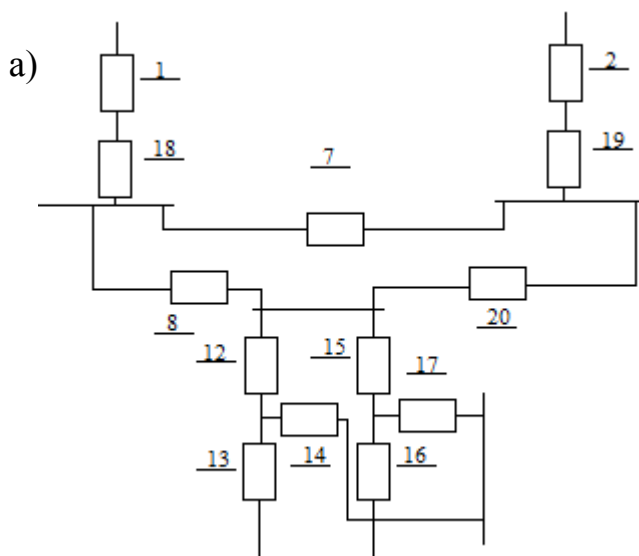
1.3 Составить схемы преобразования для максимального режима.

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

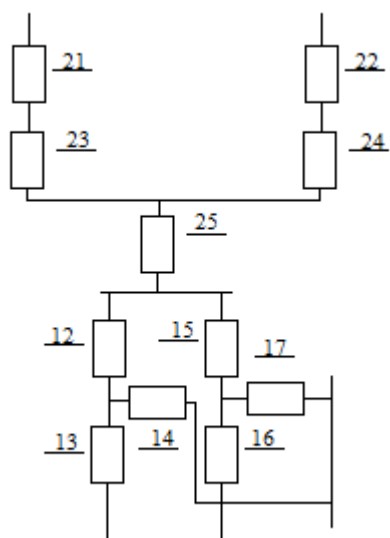
Схемы и формулы для преобразования схемы замещения указаны в таблице 1.

Таблица 1 - Схемы и формулы для преобразования схемы замещения

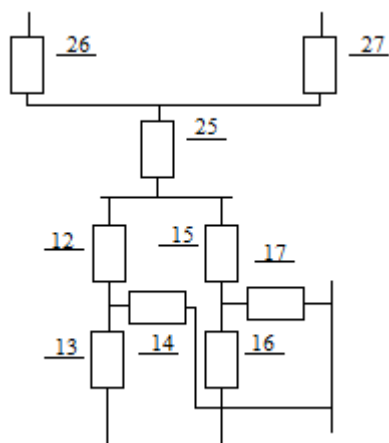
Вид соединения	Схема до преобразования	Схема после преобразования	Расчетные формулы
Последовательное			$X_{*6n+1} = X_{*61} + X_{*62} + \dots + X_{*6n}$
Параллельное			$X_{*6n+1} = \frac{1}{\frac{1}{X_{*61}} + \frac{1}{X_{*62}} + \dots + \frac{1}{X_{*6n}}}$ (при $X_{*61} = X_{*62} = \dots = X_{*6n}$ $X_{*6n+1} = \frac{X_{*61}}{n}$)



в) Преобразовываем образовавшийся
«треугольник» в «звезду»



г)



д)

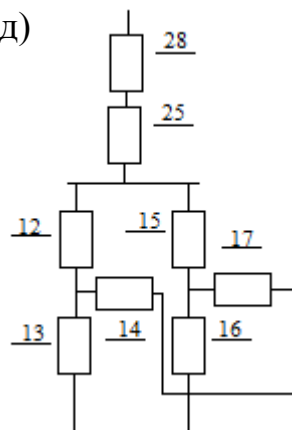


Рис. 4 Схемы преобразования, а-о

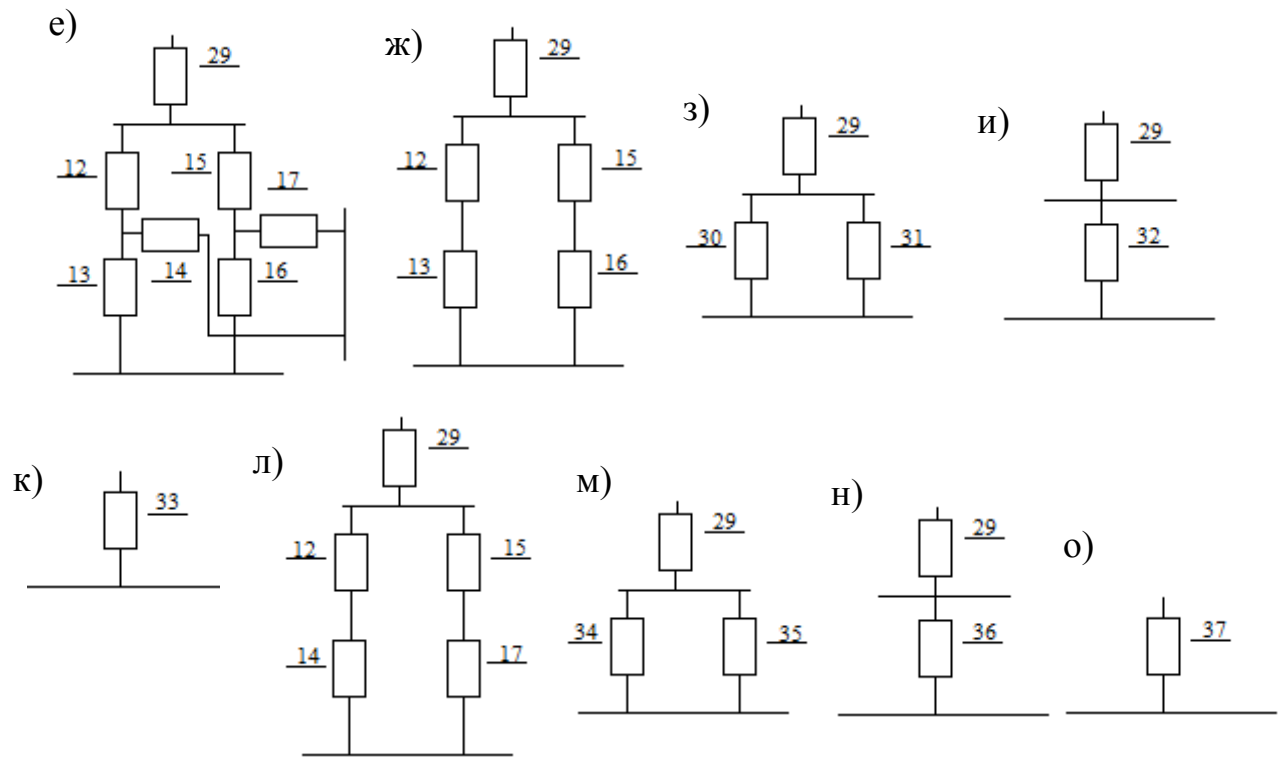


Рис. 4 Схемы преобразования, а-о (продолжение)

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

Принять базисную мощность $S_6=100$ или $1000 \text{ МВ} \cdot \text{А}$

2.1 Рассчитать относительные сопротивления систем по формулам:

$$X_{*61} = \frac{S_6}{S_{\text{КС1}}};$$

$$X_{*62} = \frac{S_6}{S_{\text{КС2}}};$$

2.2 Вычислить относительные сопротивления линий:

$$X_{*63} = X_{*64} = X_0 \cdot l_1 \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2};$$

$$X_{*65} = X_{*66} = X_0 \cdot l_2 \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2};$$

$$X_{*67} = X_0 \cdot l_{\Sigma} \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2};$$

$$X_{*68} = X_0 \cdot l_3 \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2};$$

$$X_{*69} = X_0 \cdot l_4 \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2};$$

$$X_{*610} = X_0 \cdot l_5 \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2};$$

$$X_{*611} = X_0 \cdot l_6 \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2};$$

2.3 Найти расчетные значения напряжения короткого замыкания обмоток трансформаторов Т-1 и Т-2, через которые протекают токи КЗ по формулам:

$$\begin{aligned} U_{\text{к.в}} &= 0,5(U_{\text{к.в-с}} + U_{\text{к.в-н}} - U_{\text{к.с-н}}); \\ U_{\text{к.с}} &= 0,5(U_{\text{к.в-с}} + U_{\text{к.с-н}} - U_{\text{к.в-н}}); \\ U_{\text{к.н}} &= 0,5(U_{\text{к.с-н}} + U_{\text{к.в-н}} - U_{\text{к.в-с}}); \end{aligned}$$

2.4 Рассчитать относительные сопротивления обмоток Т-1 и Т-2:

$$\begin{aligned} X_{*612} = X_{*615} &= \frac{U_{\text{к.в}}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{\text{ном.Т}}}; \\ X_{*613} = X_{*616} &= \frac{U_{\text{к.с}}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{\text{ном.Т}}}; \\ X_{*614} = X_{*617} &= \frac{U_{\text{к.н}}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{\text{ном.Т}}}; \end{aligned}$$

2.5 Рассчитать относительные сопротивления :

2.5.1 По схеме преобразования рис. 4, а:

$$\begin{aligned} X_{*618} &= \frac{X_{*63}}{2}; \\ X_{*619} &= \frac{X_{*65}}{2}; \\ X_{*620} &= X_{*69} + X_{*610} + X_{*611}; \end{aligned}$$

2.5.2 По схеме преобразования рис. 4, б:

$$\begin{aligned} X_{*621} &= X_{*61} + X_{*618}; \\ X_{*622} &= X_{*62} + X_{*619}; \end{aligned}$$

2.5.3 По схеме преобразования рис. 4, в:

$$\begin{aligned} X_{*623} &= \frac{X_{*67} \cdot X_{*68}}{X_{*67} + X_{*68} + X_{*620}}; \\ X_{*624} &= \frac{X_{*67} \cdot X_{*620}}{X_{*67} + X_{*68} + X_{*620}}; \\ X_{*625} &= \frac{X_{*68} \cdot X_{*620}}{X_{*67} + X_{*68} + X_{*620}}; \end{aligned}$$

2.5.4 По схеме преобразования рис. 4, г:

$$\begin{aligned} X_{*626} &= X_{*621} + X_{*623}; \\ X_{*627} &= X_{*622} + X_{*624}; \end{aligned}$$

2.5.5 По схеме преобразования рис. 4, д:

$$X_{*628} = \frac{X_{*626} \cdot X_{*627}}{X_{*626} + X_{*627}};$$

2.5.6 По схеме преобразования рис. 4, е

$$X_{*629} = X_{*628} + X_{*625};$$

$$X_{*6к1} = X_{*629};$$

2.5.7 По схеме преобразования рис. 4, ж-з:

$$X_{*630} = X_{*612} + X_{*613};$$

$$X_{*631} = X_{*615} + X_{*616};$$

2.5.8 По схеме преобразования рис.4, и:

$$X_{*632} = \frac{X_{*630}}{2};$$

2.5.9 По схеме преобразования рис. 4, к:

$$X_{*633} = X_{*629} + X_{*632};$$

$$X_{*6к3} = X_{*633};$$

2.5.10 По схеме преобразования рис.4, л-м:

$$X_{*634} = X_{*635} = X_{*612} + X_{*614};$$

2.5.11 По схеме преобразования рис. 4, н:

$$X_{*636} = \frac{X_{*634}}{2};$$

2.5.12 По схеме преобразования рис.4, о:

$$X_{*637} = X_{*629} + X_{*636};$$

$$X_{*6к2} = X_{*637};$$

С целью уменьшения токов КЗ для РУ-10 кВ можно предусмотреть раздельную работу трансформаторов на стороне 10 кВ.

В этом случае:

$$X_{*6к2} = X_{*629} + X_{*634};$$

3. Составить расчетную схему, схему замещения и схемы преобразования для минимального режима работы.

При расчете минимальных токов КЗ принимаем, что в работе находится одна ВЛ 110 кВ, соединяющая узловые подстанции ПС№1 и ПС№2, а на рассчитываемой подстанции работает только один трансформатор.

3.1 По расчетной схеме составить схему замещения для минимального режима, на которой все элементы расчетной схемы заменить на индуктивные сопротивления. Сопротивления пронумеровать, указать точки КЗ.

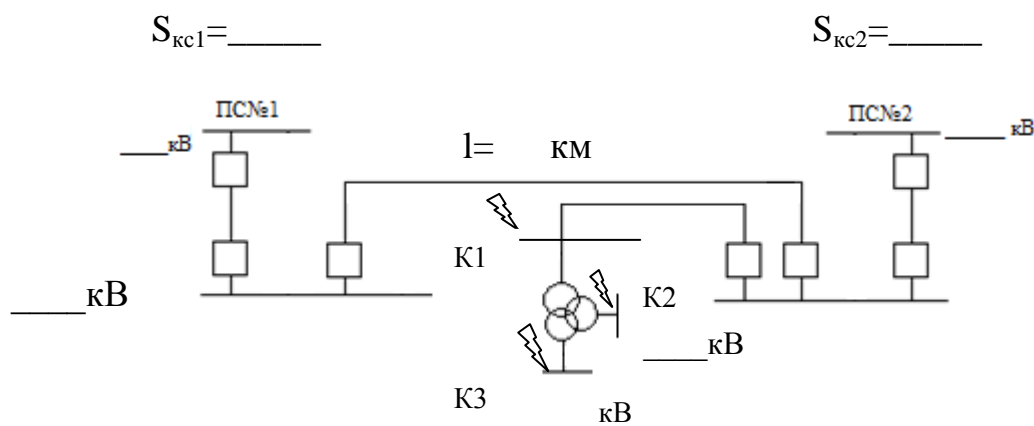


Рис. 5 Расчетная схема

3.2 Составить схемы преобразования для минимального режима.

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

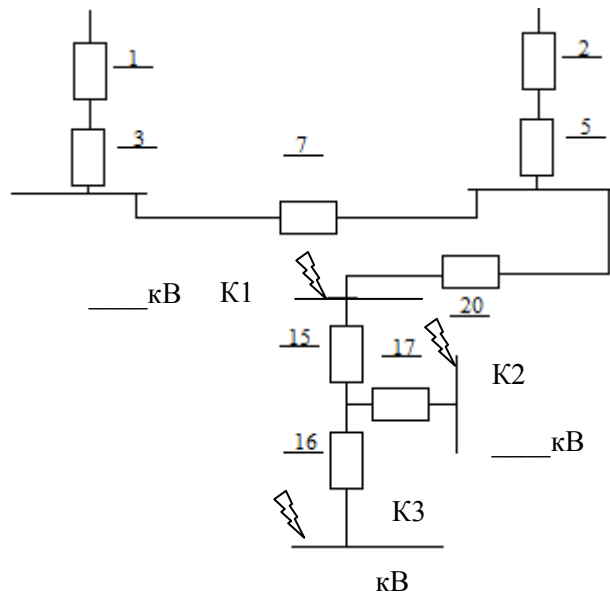
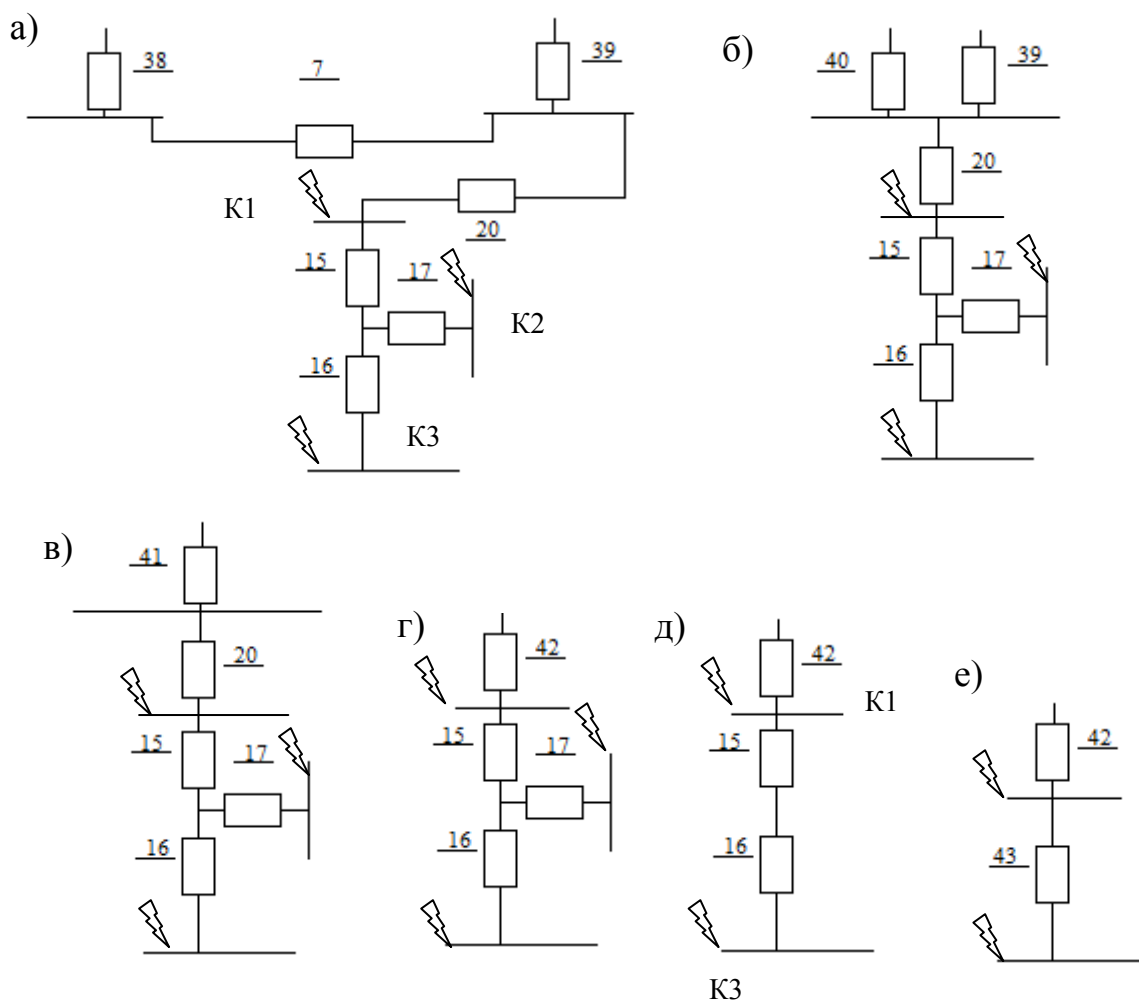


Рис. 6 Схема замещения

3.3 Составляем схемы преобразования для минимального режима



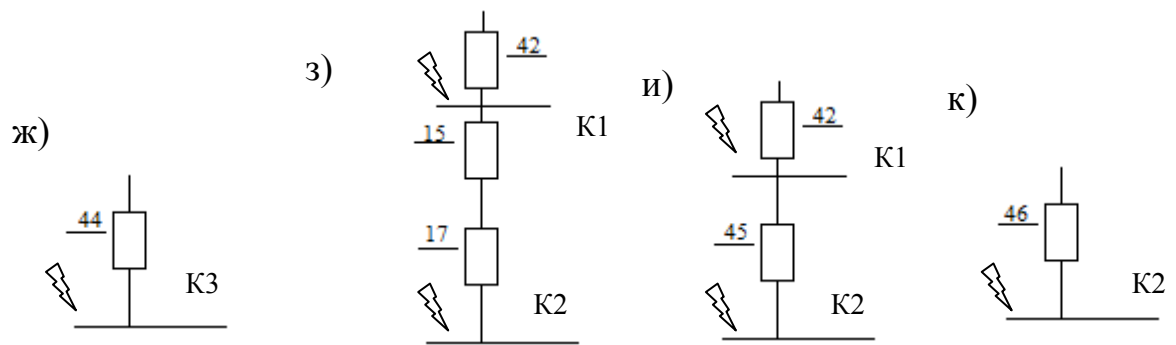


Рис. 7 Схемы преобразования, а-к

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

Принять базисную мощность $S_6=100$ или $1000 \text{ МВ} \cdot \text{А}$

Найти относительные сопротивления:

4.1 По схеме преобразования рис.7, а:

$$X_{*638} = X_{*61} + X_{*63};$$

$$X_{*639} = X_{*62} + X_{*65};$$

4.2 По схеме преобразования рис.7, б:

$$X_{*640} = X_{*638} + X_{*67};$$

4.3 По схеме преобразования рис.7, в:

$$X_{*641} = \frac{X_{*640} \cdot X_{*639}}{X_{*640} + X_{*639}};$$

4.4 По схеме преобразования рис.7, г:

$$X_{*642} = X_{*641} + X_{*620};$$

$$X_{*6\kappa 1} = X_{*642};$$

4. 5 По схеме преобразования рис.7, д-е:

$$X_{*643} = X_{*615} + X_{*616};$$

4. 6 По схеме преобразования рис.7, ж:

$$X_{*644} = X_{*642} + X_{*643};$$

$$X_{*6\kappa 3} = X_{*644};$$

4. 7 По схеме преобразования рис.7, з-и:

$$X_{*645} = X_{*615} + X_{*617};$$

4. 8 По схеме преобразования рис.7, к:

$$X_{*646} = X_{*645} + X_{*642};$$

$$X_{*6к2} = X_{*646};$$

5. Относительные сопротивления, соответствующие максимальным и минимальным токам короткого замыкания свести в таблицу 1.

Токи КЗ	Относительные базисные сопротивления для значений тока КЗ	
	Максимальный режим	Минимальный режим
K1		
K2		
K2		

6. Рассчитать токи и мощности короткого замыкания в точках K1, K2, K3. Расчеты свести в таблицу 2.

Расчеты токов и мощностей короткого замыкания в точках K1, K2, K3

Точки КЗ	Расчетные формулы	Максимальные мощности и токи КЗ	Минимальные мощности и токи КЗ
K1 U _{ср} , кВ	$I_{61} = \frac{S_6}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{U_{ср}}, \text{ кА}$ $I_{к1} = \frac{I_{61}}{X_{*6к1}}, \text{ кА}$ $i_{y1} = 2,55 \cdot I_{к1}, \text{ кА}$ $I_{y1} = 1,25 \cdot I_{к1}, \text{ кА}$ $S_{кc1} = \frac{S_6}{X_{*6к1}}, \text{ кВА}$		
K2 U _{ср} , кВ	$I_{62} = \frac{S_6}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{U_{ср}}, \text{ кА}$ $I_{к2} = \frac{I_{62}}{X_{*6к2}}, \text{ кА}$ $i_{y2} = 2,55 \cdot I_{к2}, \text{ кА}$ $I_{y2} = 1,25 \cdot I_{к2}, \text{ кА}$ $S_{кc2} = \frac{S_6}{X_{*6к2}}, \text{ кВА}$		

$I_{\text{б3}} = \frac{S_{\text{б}}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{U_{\text{ср}}}, \text{ кА}$ $I_{\text{к3}} = \frac{I_{\text{б3}}}{X_{*\text{бк3}}}, \text{ кА}$ $i_{\text{у3}} = 2,55 \cdot I_{\text{к3}}, \text{ кА}$ $I_{\text{у3}} = 1,25 \cdot I_{\text{к3}}, \text{ кА}$ $S_{\text{к3}} = \frac{S_{\text{б}}}{X_{*\text{бк3}}}, \text{ кВА}$			
---	--	--	--

Содержание отчета

1. Схема внешнего электроснабжения электрических подстанций.
2. Расчетная схема для определения токов короткого замыкания для максимального режима.
3. Схема замещения для определения токов короткого замыкания для максимального режима.
4. Расчетная схема для определения токов короткого замыкания для минимального режима.
5. Схема замещения для определения токов короткого замыкания для минимального режима.
6. Схемы преобразования для максимального и минимального режимов.
7. Расчеты относительных сопротивлений, токов и мощностей короткого замыкания.
8. Ответы на контрольные вопросы.
9. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Что представляет собой расчетная схема для определения токов короткого замыкания?
2. Какова особенность преобразования схемы замещения в максимальном режиме для транзитной подстанции?
3. Сравните значения относительных сопротивлений, рассчитанных в максимальном и минимальном режимах.

Практическое занятие №4

Расчет токов короткого замыкания в электроустановках напряжением выше 1000 В узловой подстанции.

Цель: научиться рассчитывать токи короткого замыкания в точке К1 узловой трансформаторной подстанции.

Исходные данные:

1. Узловая подстанция соединяет системы напряжением 220 кВ и 110 кВ.
2. Мощность КЗ на шинах ОРУ-220 кВ, ПС №90 $S_{кз1}$, МВ·А
3. Мощность КЗ на шинах ОРУ-220 кВ, ГЭС №12 $S_{кз2}$, МВ·А
4. Мощность КЗ на шинах ОРУ-110 кВ, ТЭЦ №13 $S_{кз3}$, МВ·А
5. Мощность КЗ на шинах ОРУ-110 кВ, ПС №327 $S_{кз4}$, МВ·А
6. Длины воздушных линий, соединяющих ОРУ-220 кВ и ОРУ-110 кВ электростанций и трансформаторных подстанций:

l_{1-4} , км;

7. Мощность автотрансформаторов АТ-1 и АТ-2 ПС №2 $S_{ном.ат}$, МВ·А

8. Напряжение КЗ обмоток трансформатора АДЦТН-125000/220:

$U_{к.в-с}$, %

$U_{к.в-н}$, %

$U_{к.с-н}$, %

9. Схема электроснабжения узловой трансформаторной подстанции изображена на рисунке 1.

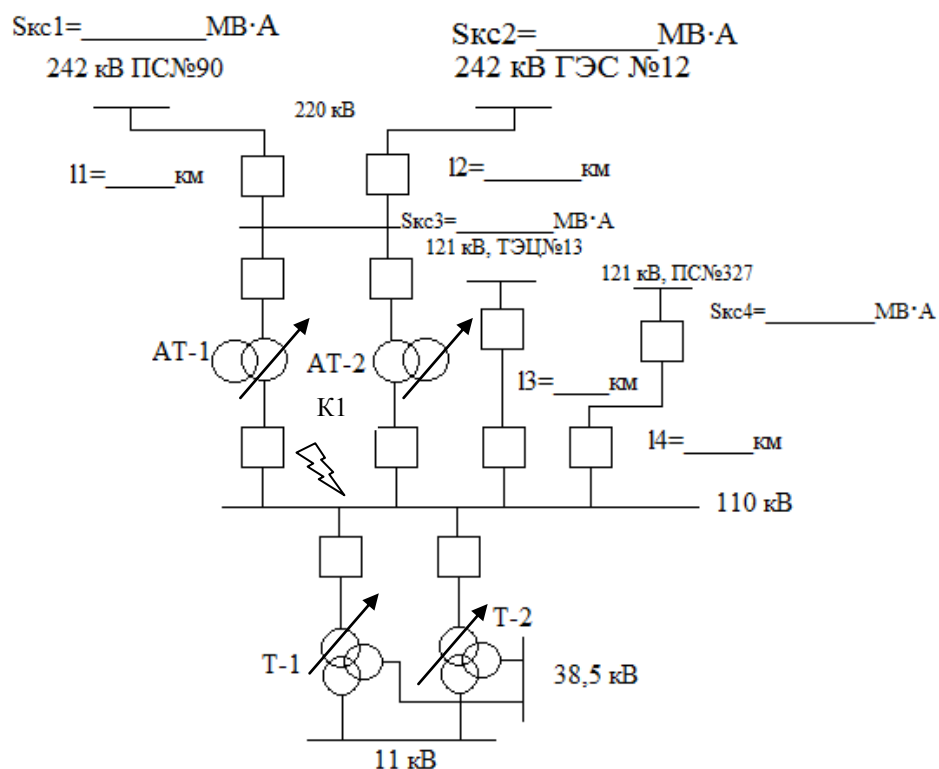


Рис. 1 Схема электроснабжения узловой трансформаторной подстанции

Задание

1. Составить расчетную схему цепи короткого замыкания, на которой указать исходные данные своего варианта, указать точки КЗ.

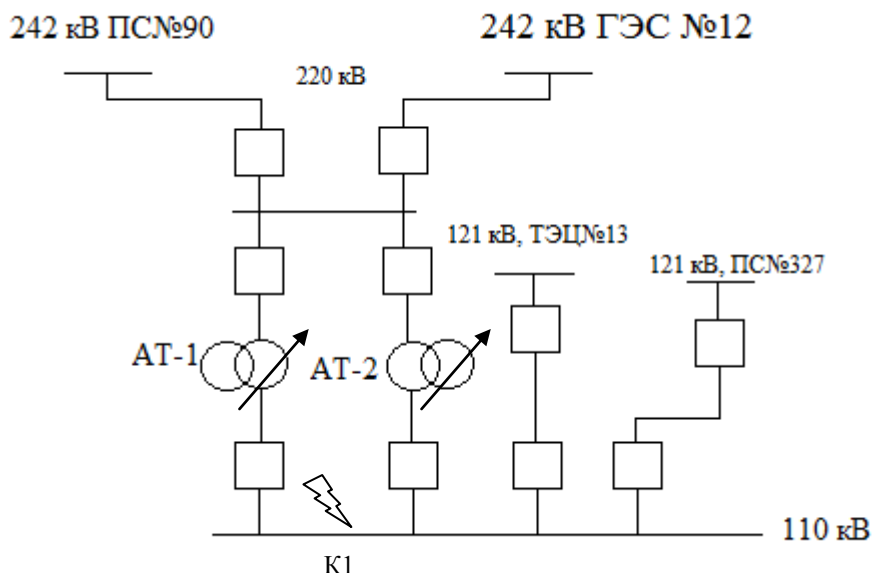


Рис. 2 Расчетная схема

2. По расчетной схеме составить схему замещения для максимального режима, на которой все элементы расчетной схемы заменить на индуктивные сопротивления. Сопротивления пронумеровать, указать точки КЗ.

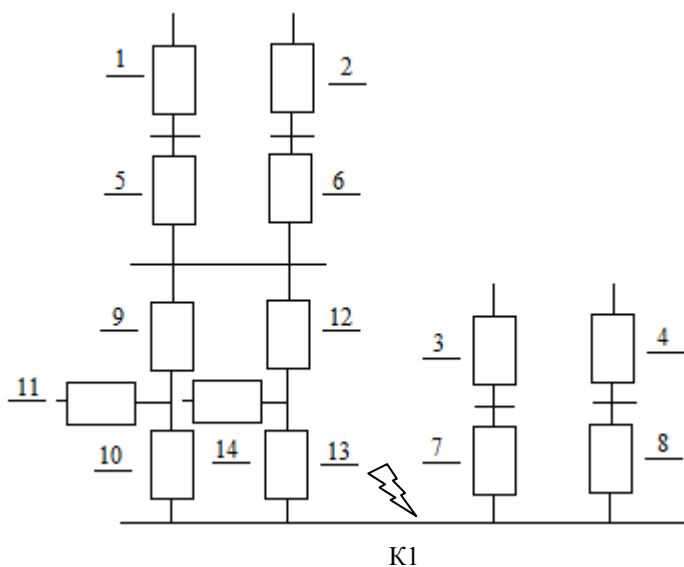


Рис. 3 Схема замещения

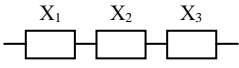
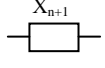
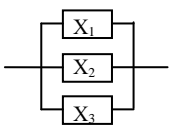
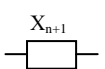
3. Составляем схем преобразования

Составить схемы преобразования для максимального режима.

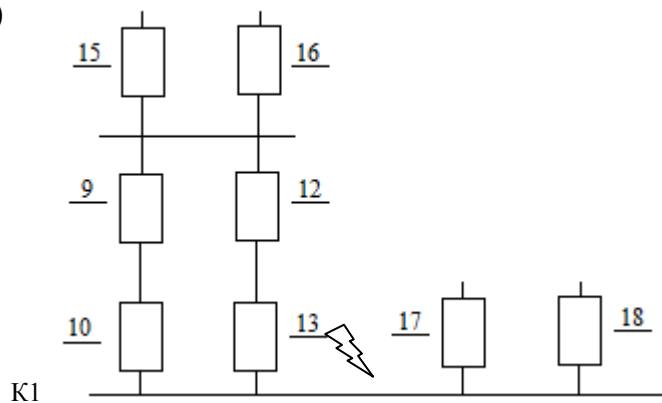
Преобразование схемы замещения проводится методом свертывания до элементарного вида, т.е. до одного сопротивления. В результате преобразования схемы замещения появляются новые эквивалентные сопротивления, нумерацию их необходимо продолжить. Если сопротивление переходит из одной схемы преобразования в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

Схемы и формулы для преобразования схемы замещения указаны в таблице 1.

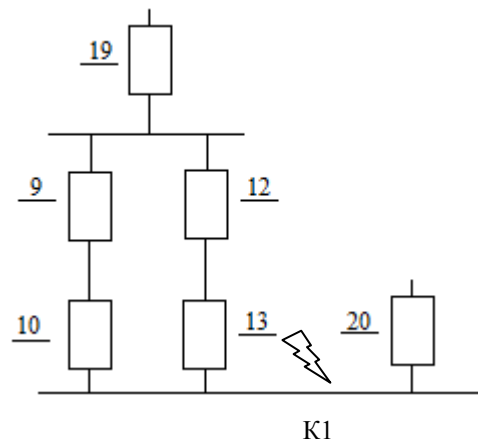
Таблица 1 - Схемы и формулы для преобразования схемы замещения

Вид соединения	Схема до преобразования	Схема после преобразования	Расчетные формулы
Последовательно			$X_{*_{\sigma n+1}} = X_{*_{\sigma 1}} + X_{*_{\sigma 2}} + \dots + X_{*_{\sigma n}}$
Параллельное			$X_{*_{\sigma n+1}} = \frac{1}{\frac{1}{X_{*_{\sigma 1}}} + \frac{1}{X_{*_{\sigma 2}}} + \dots + \frac{1}{X_{*_{\sigma n}}}}$ <p>(при $X_{*_{\sigma 1}} = X_{*_{\sigma 2}} = \dots = X_{*_{\sigma n}}$)</p> $X_{*_{\sigma n+1}} = \frac{X_{*_{\sigma 1}}}{n}$

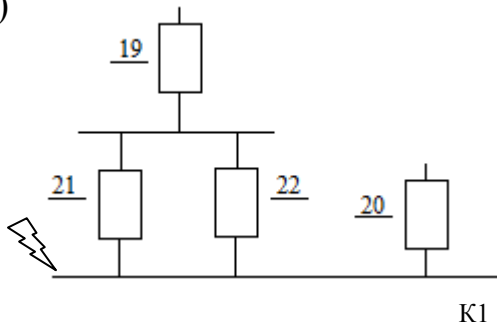
а)



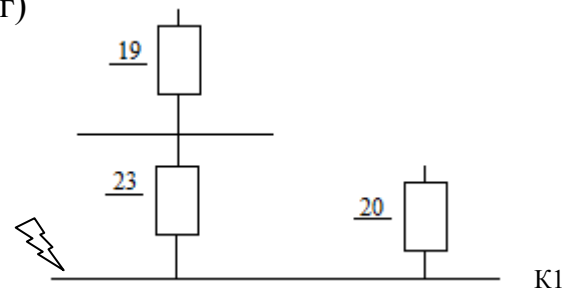
б)



В)



Г)



Д)

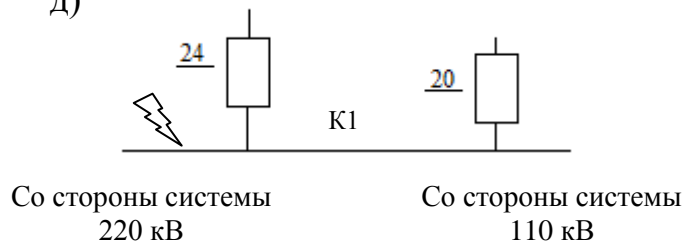


Рис. 4 Схемы преобразования, а-д

4. Вычислить относительные базисные сопротивления согласно схемам замещения и преобразования.

Принимаем базисную мощность $S_6 = 1000$ или $100 \text{ МВ} \cdot \text{А}$

4.1 Относительные сопротивления системы:

$$\begin{aligned} X_{*61} &= \frac{S_6}{S_{\text{КС1}}} ; & X_{*62} &= \frac{S_6}{S_{\text{КС2}}} ; \\ X_{*63} &= \frac{S_6}{S_{\text{КС3}}} ; & X_{*64} &= \frac{S_6}{S_{\text{КС4}}} ; \end{aligned}$$

4.2 Относительные сопротивления линий:

$$\begin{aligned} X_{*65} &= X_0 \cdot l_1 \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2} ; \\ X_{*66} &= X_0 \cdot l_2 \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2} ; \\ X_{*67} &= X_0 \cdot l_3 \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2} ; \\ X_{*68} &= X_0 \cdot l_4 \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2} ; \end{aligned}$$

4.3 Расчетные значения U_K обмоток автотрансформаторов АТ-1 и АТ-2:

$$U_{K.B} = 0,5(U_{K.B-C} + U_{K.B-H} - U_{K.C-H});$$

$$U_{K.C} = 0,5(U_{K.B-C} + U_{K.C-H} - U_{K.B-H});$$

$$U_{K.H} = 0,5(U_{K.C-H} + U_{K.B-H} - U_{K.B-C});$$

4.4 Относительные сопротивления обмоток автотрансформаторов АТ-1 и АТ-2:

$$X_{*69} = X_{*612} = \frac{U_{K.B}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{\text{НОМ.АТ}}};$$

$$X_{*611} = X_{*614} = \frac{U_{K.C}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{\text{НОМ.АТ}}};$$

$$X_{*610} = X_{*613} = \frac{U_{K.H}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{\text{НОМ.АТ}}};$$

4.5 Относительные сопротивления элементов по схеме преобразования рис. 4,а:

$$X_{*615} = X_{*61} + X_{*65};$$

$$X_{*616} = X_{*62} + X_{*66};$$

$$X_{*617} = X_{*63} + X_{*67};$$

$$X_{*618} = X_{*64} + X_{*68};$$

4.6 Относительные сопротивления элементов по схеме преобразования рис.4, б:

$$X_{*619} = \frac{X_{*615} \cdot X_{*616}}{X_{*615} + X_{*616}};$$

$$X_{*620} = \frac{X_{*617} \cdot X_{*618}}{X_{*617} + X_{*618}};$$

$$\text{Со стороны системы 110 кВ } X_{*6K1} = X_{*620};$$

4.7 Относительные сопротивления элементов по схеме преобразования рис.4, в:

$$X_{*621} = X_{*622} = X_{*69} + X_{*610};$$

4.8 Относительные сопротивления элементов по схеме преобразования рис.4, г:

$$X_{*623} = \frac{X_{*621}}{2};$$

4.9 Относительные сопротивления элементов по схеме преобразования рис.4, д:

$$X_{*624} = X_{*619} + X_{*623};$$

*Со стороны системы 220 кВ $X_{*6к1} = X_{*624}$;*

5. Рассчитать мощности и токи короткого замыкания в точке К1. Результаты расчета свести в таблицу 1.

Токи КЗ	Расчетные формулы	Расчеты	
		Со стороны 220 кВ	Со стороны 110 кВ
К1 $U_{cp}, \text{кВ}$	$I_{61} = \frac{S_6}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{U_{cp}},$ кА $I_{к1} = \frac{I_{61}}{X_{*6к1}}, \text{кА}$ $i_{y1} = 2,55 \cdot I_{к1},$ кА $I_{y1} = 1,52 \cdot I_{к1},$ кА $S_{кc1} = \frac{S_6}{X_{*6к1}},$ кВА		

Содержание отчета:

1. Расчетная схема для определения токов короткого замыкания.
2. Схема замещения для определения токов короткого замыкания.
3. Схемы преобразования.
4. Расчеты относительных сопротивлений, токов и мощностей короткого замыкания.
5. Ответы на контрольные вопросы.
6. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Какие условия при расчете токов короткого замыкания называют базисными?
2. Какое сопротивление понимают под относительным сопротивлением?
3. Какое значение имеет базисная мощность?

Практические занятие №5

Расчет токов короткого замыкания в электроустановках напряжением до 1000 В.

Цель: научиться рассчитывать установившийся ток трехфазного короткого замыкания и ударный ток в точке К в электроустановке напряжением до 1000 В методом именованных единиц.

Исходные данные:

1. Расчетная схема, рис.1.
2. Силовой трансформатор (указывается тип трансформатора)
3. Кабель силовой (указывается марка кабеля).
4. Длина кабеля, м.

Краткие теоретические сведения

Метод именованных единиц чаще применяется при расчете токов КЗ в простых неразветвленных сетях и установках напряжением до 1000В.

Сети напряжением до 1000В обычно питаются от понижающих трансформаторов мощностью не выше 1000кВА, обладающих значительными сопротивлениями, которые оказывают большое влияние на ограничение токов КЗ.

Задание

1. Составим расчетную схему цепи короткого замыкания и нанесем на нее необходимые данные.

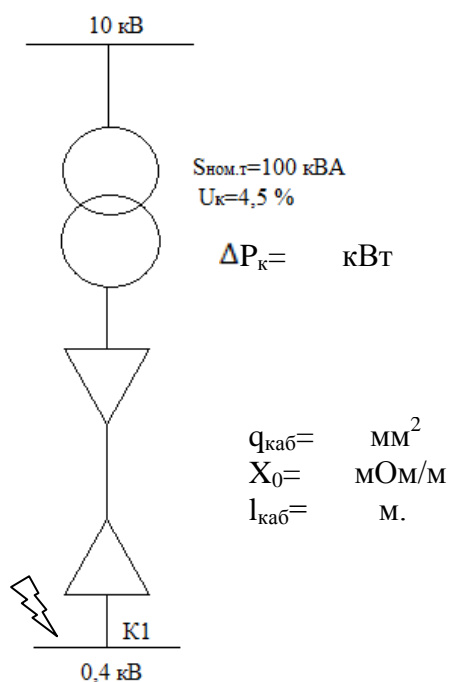


Рис. 1 Расчетная схема

На расчетной схеме указываются все элементы, сопротивления которых необходимо учесть в расчете.

2. Вычислить сопротивление трансформатора.

2.1 Определим активное сопротивление трансформатора по формуле:

$$R_T = \frac{\Delta P_K \cdot U_{\text{ср}}^2}{S_{\text{ном.т}}};$$

где

ΔP_K – потери активной мощности в обмотках трансформаторов при опыте КЗ.

2.2 Вычислим полное сопротивление трансформатора:

$$Z_T = \frac{U_K}{100} \cdot \frac{U_{\text{ср}}^2}{S_{\text{ном.т}}};$$

2.3 Найдём индуктивное сопротивление трансформатора:

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

3. Вычислить сопротивление кабеля.

3.1 Определим активное удельное сопротивление фазы кабеля (линии) по формуле:

$$R_0 = \frac{1000}{\gamma \cdot q_K};$$

где

γ – удельная проводимость материала фазы, МСм/м;

$\gamma = 32$ МСм/м для кабеля с алюминиевыми жилами;

q_K – сечение жилы кабеля, мм²;

1000 – переводной коэффициент в мОм.

3.2 Вычислим активное сопротивление кабеля:

$$R_{\text{каб}} = R_0 \cdot l_{\text{каб}};$$

3.3 Найдём индуктивное сопротивление кабеля:

$$X_{\text{каб}} = X_0 \cdot l_{\text{каб}};$$

4. Составим схемы замещения и преобразования.

По расчетной схеме составляется эквивалентная схема замещения, на которой указываются активные и реактивные сопротивления элементов цепи КЗ и затем составляются схемы преобразования.

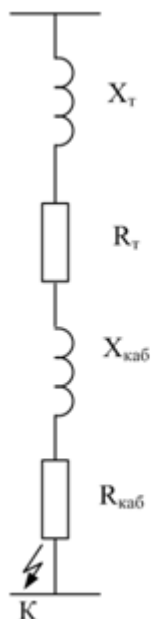


Рис. 2 Схема замещения

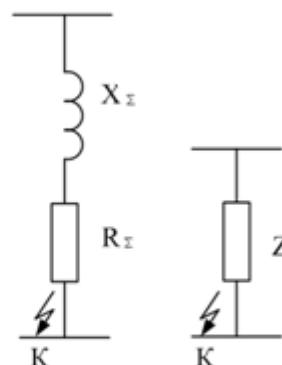


Рис. 3 Схемы преобразования

5. Определить суммарное сопротивление цепи КЗ: R_{Σ} , X_{Σ} , Z_{Σ} :

$$\begin{aligned} R_{\Sigma} &= R_T + R_{\text{каб}} ; \\ X_{\Sigma} &= X_T + X_{\text{каб}} ; \\ Z_{\Sigma} &= \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2} ; \end{aligned}$$

6. Рассчитать действующее значение токов КЗ:

$$I_K = \frac{U_{\text{ср}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}} ;$$

7. Рассчитываем ударный ток :

$$i_K = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_K ;$$

где

K_y – ударный коэффициент; $K_y = 1,2$

($K_y = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_a}}$, где $T_a = \frac{X_{\Sigma}}{314 R_{\Sigma}}$ – постоянная времени затухания

апериодической составляющей тока КЗ).

Содержание отчета:

1. Расчетная схема для определения токов короткого замыкания.
2. Расчеты относительных сопротивлений, токов и мощностей короткого замыкания.
2. Схема замещения и схемы преобразования для определения токов короткого замыкания.
5. Ответы на контрольные вопросы.
6. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Когда расчет токов короткого замыкания производится методом именованных единиц?
2. Как определить активное сопротивление кабеля?
3. Как составляется схема замещения?

Практическое занятие №6

Выбор и проверка измерительных трансформаторов тока.

Цель: научиться выбирать и проверять трансформатор тока.

Исходные данные:

1. Максимальные рабочие токи $I_{\text{раб.макс}}$ по присоединениям (по заданию преподавателя):
 - вводы РУ-10 кВ, А;
 - секционный выключатель, А;
 - потребитель №1 «Железнодорожный узел», А;
 - потребитель №2 «Локомотиворемонтный завод», А;
 - потребитель №3 «Вагоноремонтный завод», А.
2. Значение токов короткого замыкания и теплового импульса принять равным по результатам расчетов в практическом занятии №1 I_k , кА, V_k , кА²·с.

Краткие теоретические сведения

Трансформатор тока предназначен для понижения первичного тока до значений 5А или 1А, наиболее удобных для измерительных приборов и реле, а в цепях выше 1000 В для изолирования цепей измерения и защиты от первичных цепей высокого напряжения.

Трансформаторы тока применяются в электроустановках до 1000 В и выше 1000 В для питания токовых обмоток измерительных приборов и реле защиты. Они изготавливаются с расчетом получить во вторичной обмотке ток 5 А (реже 1 А) при номинальном токе в первичной обмотке.

1. Условия выбора и проверки указаны в таблице 1.

Таблица 1.1 – Характеристики выбора трансформатора тока

Наименование аппарата	Характеристика условий выбора и проверки	Условие
Трансформатор тока	По конструктивному выполнению и месту установки	—
	По номинальному напряжению	$U_{ном} \geq U_{раб}$
	По номинальному току	$I_{1ном} \geq I_{раб. макс}$
	На электродинамическую стойкость	$I_{дин} = \sqrt{2} \cdot I_{1ном} \cdot K_{дин} \geq i_y$
	На термическую стойкость	$I_T^2 \cdot t_T = (I_{1ном} \cdot K_{тер})^2 \cdot t_T \geq B_k$

Задание

Выбираем и проверяем трансформатор тока РУ-10 кВ по условиям.

Наименование присоединения	Тип транс форма тора тока	Соотношение паспортных и расчетных данных		Номинальна я вторичная нагрузка в классе точности		Коэфф-т стойкости		Проверка на стойкость	
		$\frac{U_{ном}}{U_{раб}}$ кВ	$\frac{I_{ном}}{I_{раб.макс}}$ А					Термическа я	Динамич еская
				Для измерений ВА	Для РЗ, ВА	$K_{тер, 2}$ кА · с	$K_{дин,}$ кА		
Вводы РУ-10 кВ									
Секционный выключатель									

Потребители	Железнодорожный узел									
	Локомотиворемонтный завод									
	Вагоноремонтный завод									

2.1. Рассчитываем термическую и электродинамическую стойкость трансформатора тока.

2.1.1 Для вводов РУ-10 кВ

Ток термической стойкости:

$$I_T = (I_{ном} \cdot K_{тер})^2 \cdot t_T, \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

где

$I_{ном}$ – номинальный ток первичной обмотки трансформатора тока, кА;

K_T – коэффициент термической стойкости по каталогу;

t_T – время протекания тока термической стойкости по каталогу. $t_T = 1 \text{ с}$.

Ток электродинамической стойкости:

$$I_{дин} = \sqrt{2} \cdot I_{ном} \cdot K_{дин}, \text{ кА}$$

где

$K_{дин}$ – коэффициент термической стойкости по каталогу;

2.1.2 Для секционного выключателя.

Ток термической стойкости:

$$I_T = (I_{ном} \cdot K_{тер})^2 \cdot t_T, \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Ток электродинамической стойкости:

$$I_{\text{дин}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ном}} \cdot K_{\text{дин}}, \text{ кА}$$

2.1.3 Для потребителя №1 «Железнодорожный узел»:

Ток термической стойкости:

$$I_T = (I_{\text{ном}} \cdot K_{\text{тер}})^2 \cdot t_T, \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Ток электродинамической стойкости:

$$I_{\text{дин}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ном}} \cdot K_{\text{дин}}, \text{ кА}$$

2.1.4 Для потребителя №2 «Локомотиворемонтный завод»:

Ток термической стойкости:

$$I_T = (I_{\text{ном}} \cdot K_{\text{тер}})^2 \cdot t_T, \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Ток электродинамической стойкости:

$$I_{\text{дин}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ном}} \cdot K_{\text{дин}}, \text{ кА}$$

2.1.5 Для потребителя №3 «Вагоноремонтный завод

Ток термической стойкости:

$$I_T = (I_{\text{ном}} \cdot K_{\text{тер}})^2 \cdot t_T, \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Ток электродинамической стойкости:

$$I_{\text{дин}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ном}} \cdot K_{\text{дин}}, \text{ кА}$$

3. Проверить трансформатор тока типа на соответствие классу точности 0,5 вторичной обмотки трансформатора тока по условию:

$$Z_{2\text{ном}} \geq Z_{2\text{расч}},$$

где

$Z_{2\text{ном}}$ – номинальная нагрузка проверяемой обмотки трансформатора тока в выбранном классе точности по каталогу. Принимаем равной 0,4 Ом;

$Z_{2\text{расч}}$ – расчетная нагрузка, присоединенная к проверяемой обмотке трансформатора тока по расчету, Ом.

3.1 Определим расчетное сопротивление вторичной обмотки трансформатора по формуле:

$$Z_{2\text{расч}} = Z_{PI} + Z_{PA} + Z_{PK} + Z_{\text{пров}} + Z_{\text{конт}},$$

где

Z_{PI} – сопротивление счетчика активной энергии. Принимаем по справочнику 0,1 Ом;

Z_{PA} – сопротивление амперметра. Принимаем по справочнику 0,02 Ом;

Z_{PK} – сопротивление счетчика реактивной энергии. Принимаем по справочнику 0,1 Ом.

$Z_{\text{конт}}$ – сопротивление переходных контактов. Принимаем по справочнику 0,1 Ом;

$Z_{\text{пров}}$ – сопротивление соединительных проводов. Определяется по формуле:

$$Z_{\text{пров}} = \frac{L_{\text{расч}}}{\gamma_a \cdot q_{\text{пров}}},$$

где

$L_{\text{расч}}$ – расчетная длина соединительных проводов, м;

γ_a – удельная проводимость алюминиевых проводов. Принимаем по справочнику 32 МСм/м;

$q_{\text{пров}}$ – сечение проводов для алюминиевых проводников. Принимаем по справочнику 4 мм².

$$L_{\text{расч}} = \sqrt{3} \cdot L,$$

где

L – расстояние между трансформатором тока и местом установки приборов. Принять равным 5 м.

$$Z_{2\text{ном}} \geq Z_{2\text{расч}}$$

Вторичная обмотка трансформатора тока соответствует (не соответствует) классу точности 0,5.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Условия выбора трансформатора тока.
3. Таблица с характеристиками выбранных трансформаторов тока.
4. Условия проверки трансформаторов тока в классе точности 0,5.
5. Ответы на контрольные вопросы.

6. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Определите коэффициенты трансформации выбранных в практическом занятии измерительных трансформаторов тока.
2. Расшифруйте марки выбранных трансформаторов тока.
3. Назовите режим, в котором работает трансформатор тока.

Электрические характеристики трансформаторов тока

Тип	Номинальный первичный ток, А	Назначение вторичных обмоток	Номинальная вторичная нагрузка в классе точности, В·А			Кратность стойкости	
			0,5	1	3;10	Термической	Электро- динамической
ТКЛН-10	10;15;20;30;40; 50; 75; 100; 150;200	Для измерительных приборов	—	—	15	50	100
		Для РЗ	—	—	15	50	100
ТПЛ-10	5-200	Для измерительных приборов	10	20	—	90	250
	300					90	175
	400					70	165
	5-200	Для РЗ	15	25	30	90	250
	300					90	175
	400					70	165
ТПЛУ-10	10; 15; 20; 30; 40; 50; 75; 100	Для измерительных приборов	10	20	—	120	250
		Для РЗ	15	25	30	120	250
ТПОЛ-10 ТПОЛА-10	600	Для измерительных приборов	10	15	30	65	160
	800					65	160
	1000					55	140
	1500					36	90
	600	Для РЗ	15	—	30	65	160

Практическое занятие №7

Выбор и проверка измерительных трансформаторов напряжения.

Цель: научиться практически выбирать измерительные трансформаторы напряжения для распределительных устройств открытого и закрытого типа, проверять их на соответствие классу точности.

Исходные данные:

1. ТН-1 и ТН-3 – трансформаторы напряжения, которые необходимо выбрать и проверить.
2. $U_{н1}$ – номинальное напряжение открытого распределительного устройства, кВ.
3. $U_{н2}$ – номинальное напряжение закрытого распределительного устройства, кВ.

Краткие теоретические сведения

Трансформатор напряжения предназначен для понижения высокого напряжения до стандартной величины 100 или $100/\sqrt{3}$ В и изолирования цепей измерения и релейной защиты от первичных цепей высокого напряжения.

Трансформаторы напряжения применяются для питания обмоток напряжения измерительных приборов и реле защиты и расширения пределов измерения приборов в электроустановках напряжением выше 1000 В.

Задание

1. Выбор трансформатора напряжения:

Условие выбора:

$$U_{ном1} \geq U_{раб}$$

где

$U_{ном1}$ – номинальное напряжение первичной обмотки измерительного трансформатора напряжения, кВ;

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

Характеристики выбранных трансформаторов напряжения взять из таблицы 1.2 и занести в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 Электрические характеристики трансформаторов напряжения

$U_{ном}$ РУ	$U_{ном}$ первичной обмотки и трансформатора, кВ	$U_{ном}$ вторичной основной обмотки трансформатора, кВ	$U_{ном}$ вторичной дополнительной обмотки трансформатора, кВ	$S_{ном}$ вторичной основной обмотки трансформатора в классе точности 0,5, ВА	$S_{ном}$ вторичной основной обмотки трансформатора в классе точности 1, ВА	$S_{ном}$ вторичной основной обмотки трансформатора в классе точности 3, ВА	$S_{ном}$ вторичной основной обмотки трансформатора в классе точности 3Р, ВА
РУ- кВ							
РУ- кВ							

2. Проверка измерительных трансформаторов напряжения на соответствие классу точности.

На соответствие классу точности проверяется трансформатор напряжения, установленный в распределительном устройстве низшего напряжения.

Условие проверки:

$$S_{ном2} \geq S_{расч2}$$

где

$S_{ном2}$ — номинальная мощность вторичной обмотки трансформатора напряжения в соответствующем классе точности, ВА (чаще всего используется класс точности 0,5);

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

Для определения $S_{расч2}$ составляется расчетная схема, на которой указываются все приборы. На основании расчетной схемы заполняется таблица 1.3 с мощностями приборов, подключенных к вторичной обмотке трансформатора напряжения.

Данные измерительных приборов и реле взять из таблицы 1.4.

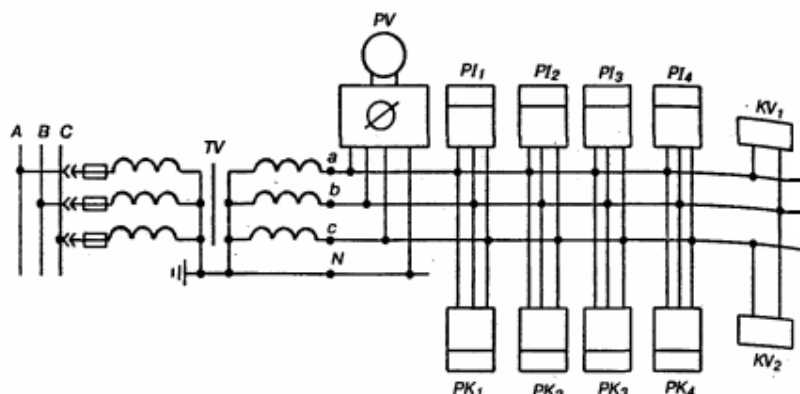


Рис. 1 Расчетная схема для проверки трансформатора напряжения на соответствие классу точности

Таблица 1.3

Мощности приборов

Наименование	Тип	Число катушек напряжения в приборе	Число приборов	Мощность, потребляемая одной катушкой, ВА	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	Суммарная потребляемая мощность	
							$\sum P_{\text{приб}}, \text{ Вт}$	$\sum Q_{\text{приб}}, \text{ вар}$
Итого:								

$$S_{\text{расч2}} = \sqrt{\sum P_{\text{приб}}^2 + \sum Q_{\text{приб}}^2},$$

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

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

$$S_{\text{ном2}} \geq S_{\text{расч2}}$$

Условие проверки выполняется (не выполняется), выбранный трансформатор напряжения соответствует (не соответствует) классу точности 0,5.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Условия выбора трансформатора напряжения.
3. Условия проверки трансформатора напряжения на соответствие классу точности 0,5.

4. Расчетная схема для проверки трансформатора напряжения на соответствие классу точности
5. Таблица с мощностями приборов.
6. Ответы на контрольные вопросы.
7. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Назовите предназначение трансформаторов напряжения.
2. Определите коэффициенты трансформации выбранных трансформаторов напряжения.
3. Расшифруйте марки выбранных трансформаторов напряжения.

Электрические характеристики трансформаторов напряжения

Таблица 1.2

Марка трансформатора	$U_{\text{ном}}$ первичной обмотки трансформатора, кВ	$U_{\text{ном}}$ вторичной основной обмотки трансформатора, кВ	$U_{\text{ном}}$ вторичной дополнительной обмотки трансформатора, кВ	$S_{\text{ном}}$ вторичной основной обмотки трансформатора в классе точности 0.5 , ВА	$S_{\text{ном}}$ вторичной основной обмотки трансформатора в классе точности 1 , ВА	$S_{\text{ном}}$ вторичной основной обмотки трансформатора в классе точности 3 , ВА	$S_{\text{ном}}$ вторичной основной обмотки трансформатора в классе точности 3Р , ВА
ЗНОЛ-35-66 УХЛ1	$35/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	60	120	-	-
НТМИ-10-У3	10	100	$100/\sqrt{3}$	120	200	500	-
ЗНОГ-220-УХЛ1	$220\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	100	400	600	-	1200
НКФ-110-УХЛ1	110	$100/\sqrt{3}$	100	400	600	-	1200

Данные измерительных приборов и реле

Таблица 1.4

Наименование прибора	Тип	Число катушек в приборе	Мощность, потребляемая одной катушкой, ВА	Коэффициент мощности	
				$\cos\varphi$	$\sin\varphi$
Вольтметр	Э-378	1	2	1	0
Счетчик активной энергии	СА3У-И670	2	4	0,38	0,93
Счетчик реактивной энергии	СР4У-И673	3	4	0,38	0,93
Реле напряжения	РН-50	1	1	1	0

Практическое занятие №8

Выбор и проверка токоведущих частей и изоляторов открытого распределительного устройства.

Цель: приобрести практические навыки в выборе и проверке токоведущих частей в открытом распределительном устройстве, проверке выбранных токоведущих частей на термическую стойкость к токам короткого замыкания и на образование короны.

Исходные данные:

1. $S_{\text{ном.т}}$ – номинальная мощность главного понижающего трансформатора (Т1, Т2), кВА;
2. $U_{\text{ном1}}$ – номинальное напряжение первичной обмотки главного понижающего трансформатора (Т1, Т2), кВ;
3. B_k – тепловой импульс, $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$ (см. практическую работу №1). B_k , $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$
4. $t_{\text{откл}}$ – время отключения тока КЗ релейной защитой выключателя ВМТ-1-110, ВМТ-2-110; $t_{\text{откл}}=0,1$ с.

Краткие теоретические сведения

В открытых распределительных устройствах напряжением 35, 110, 220 кВ применяются гибкие токоведущие части- сталеалюминиевые многопроволочные провода марки АС. Выбор проводов производится по условиям нагрева, проверка на термическую стойкость к токам КЗ и по условию отсутствия коронирования. На электродинамическую стойкость гибкие токоведущие части не проверяются.

Задание

1. Расчет рабочего тока на вводе в трансформатор Т1(Т2) (марка задается преподавателем).

$$I_1 = \frac{K_n \cdot S_{\text{ном.т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н1}}},$$

где

K_n – коэффициент нагрузки, $K_n=1,4$.

2. Выбор токоведущих частей по условию нагрева.
Условие выбора:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{раб}},$$

где

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

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

Характеристики токоведущих частей занести в табл. 1.1.

Выбор проводов производится по табл. 1.2

Характеристика токоведущих частей

Таблица 1.1

Наименование присоединения	Рабочий ток $I_{\text{раб}}$, А	Допустимый ток $I_{\text{доп}}$, А	Материал и сечение токоведущей части, мм ²
Ввод _____ кВ			

Допустимые токи на неизолированные провода

Таблица 1.2

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

3. Проверка токоведущих частей на термическую стойкость.

Условие проверки:

$$q_{\text{мин}} \leq q_{\text{расч}}$$

где

$q_{\text{мин}}$ – минимальное сечение токоведущей части, мм²;

$q_{\text{расч}}$ – расчетное сечение токоведущей части, мм²; (расчетное сечение берется из маркировки выбранного провода, например, для провода М-120 $q_{\text{расч}} = 120 \text{ мм}^2$).

$$q_{\min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C},$$

где

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

$C = 0,171 \text{ кА} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$ – для медных проводов;

$C = 0,088 \text{ кА} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$ – для алюминиевых, сталеалюминиевых проводов;

$C = 0,06 \text{ кА} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$ – для стальных проводов;

Проверка выполнения условия $q_{\min} \leq q_{\text{расч}}$:

Условие проверки выполняется (не выполняется), токоведущая часть термически устойчива (не устойчива) к току короткого замыкания;

4. Проверка токоведущих частей на отсутствие коронного разряда:

Условие проверки:

$$E_0 \geq 1,07E,$$

где

E_0 – максимальное значение начальной критической напряженности электрического поля, при которой возникает коронный разряд, кВ/см;

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

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

где

$r_{\text{пр}}$ – радиус провода, см. Определяется по сечению выбранного провода:

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

$$r_{\text{пр}} = \frac{\sqrt{\frac{q_{\text{расч}}}{\pi}}}{10},$$

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

где

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

При горизонтальном расположении проводов фаз расстояние между соседними фазами:

$D=150$ см при напряжении 35 кВ;

$D=300$ см при напряжении 110 кВ;

$D=400$ см при напряжении 220 кВ.

$$D_{cp} = \sqrt[3]{D \cdot D \cdot 2D},$$

Проверка выполнения условия $E_0 \geq 1,07E$:

Условие проверки выполняется (не выполняется), коронирование отсутствует (присутствует).

5. Выбор подвесных тарельчатых изоляторов.

Подвесные тарельчатые изоляторы предназначены для крепления и изоляции проводов в открытых распределительных устройствах электрических подстанций. Подвесные изоляторы ПС (подвесные стеклянные) или ПФ (подвесные фарфоровые) собираются в гирлянды.

Выбор подвесных изоляторов свести в табл. 1.3. Характеристики выбранных изоляторов взять из табл. 1.4. Количество изоляторов в гирлянде на разный уровень напряжения приведено в табл. 1.5.

Характеристики подвесного изолятора

Таблица 1.3

Марка изолятора	Механическая разрушающая нагрузка, $F_{разр}$, кН	Длина пути утечки тока, мм	Выдерживаемое напряжение в сухом состоянии, кВ	Выдерживаемое напряжение под дождем, кВ	Выдерживаемое импульсное напряжение, кВ	Нормированное напряжение при допустимом уровне радиопомех, кВ	Масса, кг	Количество изоляторов в гирлянде

Марка изолятора	Механическая разрушающая нагрузка, $F_{разр}$, кН	Длина пути утечки тока, мм	Выдерживаемое напряжение в сухом состоянии, кВ	Выдерживаемое напряжение под дождем, кВ	Выдерживаемое импульсное напряжение, кВ	Нормированное напряжение при допустимом уровне радиопомех, кВ	Масса, кг
-----------------	--	----------------------------	--	---	---	---	-----------

ПС-70А	70	303	70	40	100	20	3,4
ПФ-70А	70	303	70	40	110	25	4,6

Характеристики подвесных тарельчатых изоляторов Таблица 1.4

Количество изоляторов в гирлянде			Таблица 1.5
Марка изолятора	U=35 кВ	U=110 кВ	U=220 кВ
ПС-70	3	9	16
ПФ-70	3	8	14

Содержание отчета

1. Название и цель работы
2. Расчеты рабочего тока и условие выбора токоведущих частей.
3. Таблица с характеристиками выбранных токоведущих частей.
4. Проверка токоведущих частей на термическую стойкость и отсутствие короны.
5. Таблица с характеристиками выбранных подвесных изоляторов.
6. Ответы на контрольные вопросы.
7. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Как проявляется термическое воздействие токов короткого замыкания на токоведущую часть.
2. В чем преимущество стеклянных изоляторов перед фарфоровыми?

Практическое занятие №9

Выбор и проверка токоведущих частей и изоляторов закрытого распределительного устройства.

Цель: приобрести практические навыки в выборе и проверке токоведущих частей в закрытом распределительном устройстве, проверке выбранных токоведущих частей на термическую стойкость к токам короткого замыкания.

Исходные данные:

1. $S_{\text{ном.т}}$ – номинальная мощность главного понижающего трансформатора (Т1, Т2), кВА;
2. $U_{\text{ном2}}$ – номинальное напряжение вторичной обмотки главного понижающего трансформатора (Т1, Т2), кВ;
3. B_k – тепловой импульс, $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$ (см. практическое занятие №1). B_k , $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$
4. i_y – ударный ток, кА.

Краткие теоретические сведения

В закрытых распределительных устройствах напряжением 10 кВ применяются жесткие токоведущие части- алюминиевые шины марки А. Выбор шин производится по условиям нагрева, проверка на термическую и электродинамическую стойкости к токам КЗ. Проверка на термическую стойкость для жестких шин проводится аналогично проверке для гибких токоведущих частей. Для механического крепления шин применяются опорные фарфоровые изоляторы. Для пропуска токоведущих частей через стены здания устанавливаются проходные изоляторы.

Задание

1. Расчет рабочего тока на вводе в трансформатор Т1(Т2) (марка указывается преподавателем).

$$I_{\text{раб}} = \frac{K_{\text{н}} \cdot S_{\text{ном.т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н2}}},$$

где

$K_{\text{н}}$ – коэффициент нагрузки, $K_{\text{н}}=1,4$.

2. Выбор токоведущих частей по условию нагрева.

Условие выбора:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{раб}},$$

где

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

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

Характеристики токоведущих частей занести в табл. 1.1.

Выбор проводов производится по табл. 1.2

Характеристика токоведущих частей

Таблица 1.1

Наименование присоединения	Рабочий ток $I_{\text{раб}}$, А	Допустимый ток $I_{\text{доп}}$, А	Материал и сечение токоведущей части, мм ²
Ввод _____ кВ			

Допустимые токи на неизолированные провода

Таблица 1.2

Размер шины,	Допустимый ток	Допустимый ток	Допустимый ток
--------------	----------------	----------------	----------------

мм ²	при одной полосе на фазу, А	при двух полосах на фазу, А	при трех полосах на фазу, А
15х3	165	-	-
20х3	215	-	-
25х3	256	-	-
30х4	365	-	-
40х4	480	-	-
40х5	540	-	-
50х5	665	-	-
50х6	740	-	-
60х6	870	1350	1720
80х6	1150	1630	2100
100х6	1425	1935	2500
60х8	1025	1680	2180
80х8	1320	2040	2620
100х8	1625	2390	3050
120х8	1900	2650	3380
60х10	1155	2010	2650
80х10	1480	2410	3100
100х10	1820	2860	3650
120х10	2070	3200	4100

3. Проверка токоведущих частей на термическую стойкость.

Условие проверки:

$$q_{\min} \leq q_{\text{расч}},$$

где

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

$q_{\text{расч}}$ – расчетное сечение токоведущей части, мм²; (расчетное сечение берется из маркировки выбранной шины, например, для шины А-50х5 $q_{\text{расч}} = 50 \cdot 5 = 250 \text{ мм}^2$).

$$q_{\min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C},$$

где

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

$C = 0,171 \text{ кА} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$ – для медных шин;

$C = 0,088 \text{ кА} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$ – для алюминиевых шин;

$C = 0,06 \text{ кА} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$ – для стальных шин;

$$q_{\min} =$$

Проверка выполнения условия $q_{\min} \leq q_{\text{расч}}$:

Условие проверки выполняется (не выполняется), токоведущая часть термически устойчива (не устойчива) к току короткого замыкания.

4. Выбор и проверка изоляторов для механического крепления шин.

Условие выбора и проверки:

$$U_n \geq U_{\text{раб}},$$

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

где

U_n – номинальное напряжение изолятора, кВ;

$U_{\text{раб}}$ – номинальное напряжение изолятора, кВ;

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

$F_{\text{разр}}$ – разрушающая нагрузка на изгиб изолятора, Н;

$$F_{\text{расч}} = \frac{\sqrt{3} \cdot i_y^2 \cdot l}{a \cdot 10^{-1}},$$

где

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

a – расстояние между осями шин соседних фаз, м;

Для РУ-10 кВ: $l=1,25$; $a=0,35$;

Для РУ-35 кВ: $l=4$; $a=1$;

$$F_{\text{расч}} =$$

Характеристики выбранного изолятора занести в табл. 1.3 Технические характеристики изоляторов приведены в табл. 1.4.

Характеристики изолятора			Таблица 1.3
Марка изолятора	Номинальное напряжение, кВ	Разрушающая нагрузка, $F_{\text{разр}}$, Н	Масса, кг

Технические характеристики изоляторов			Таблица 1.4
Марка изолятора	Номинальное	Разрушающая	Масса, кг

	напряжение, кВ	нагрузка, $F_{\text{разр}}$, Н	
ОФ-10-3,75	10	3680	1,5
ОФ-35-3,75	35	3680	7,1
ШФ-20-13	20	13000	3,5
ОФ-10-7,5	10	7358	2,1
ИОР-10-3,75	10	3680	2,87
ИОР-10-7,5	10	7358	4,47

Проверка выполнения условий:

$$U_n \geq U_{\text{раб}}, \underline{\hspace{10cm}}$$

$$F_{\text{расч}} \leq 0,6F_{\text{разр}}, \underline{\hspace{10cm}}$$

Условия проверки выполняются (не выполняются) .

5. Выбор и проверка изоляторов для пропуска токоведущих частей через стены здания.

Условие выбора и проверки:

$$U_n \geq U_{\text{раб}},$$

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

$$I_n \geq I_{\text{раб}},$$

где

U_n – номинальное напряжение изолятора, кВ;

$U_{\text{раб}}$ – номинальное напряжение изолятора, кВ;

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

$F_{\text{разр}}$ – разрушающая нагрузка на изгиб изолятора, Н;

I_n – номинальный ток изолятора, А;

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

$$F_{\text{расч}} = \frac{\sqrt{3} \cdot i_y^2 \cdot l}{a \cdot 10^{-1}},$$

Характеристики выбранного изолятора занести в табл. 1.5 Технические характеристики изоляторов приведены в табл. 1.6.

Характеристики изолятора

Таблица 1.3

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

--	--	--	--	--

Технические характеристики изоляторов Таблица 1.5

Марка изолятора	Номинальное напряжение, кВ	Разрушающая нагрузка, $F_{\text{разр}}$, Н	Номинальный ток изолятора, А	Масса, кг
ИП-10-5000-42	10	41693	5000	83
ИП-35-630-7,5	35	7358	630	35,4
ИПЛ-35-1000-20	35	19629	1000	35
ИП-10-1600-12,5	10	12263	1600	14,6
ИП-10-630-7,5	10	7358	630	7
ИП-35-3150-20	35	19629	3150	85

Проверка выполнения условий:

$$U_n \geq U_{\text{раб}}$$

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

$$I_n \geq I_{\text{раб}}$$

Условия проверки выполняются (не выполняются).

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Расчет рабочего тока и условие выбора токоведущих частей.
3. Таблица с характеристиками выбранных токоведущих частей.
4. Проверка токоведущих частей на термическую стойкость.
5. Таблица с характеристиками выбранных опорных изоляторов.
6. Таблица с характеристиками выбранных проходных изоляторов.
7. Ответы на контрольные вопросы.
8. Вывод.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается недостаток расположения шин на ребро?
2. Как проявляется электродинамическое воздействие токов короткого замыкания на токоведущие части.
3. Предназначение проходных изоляторов.

Практическое занятие №10

Выбор и проверка выключателей переменного тока напряжением выше 1000 В.

Цель: научиться практически выбирать высоковольтные выключатели переменного тока для распределительных устройств электрических подстанций, проверять их на термическую и электродинамическую стойкости по отключающей способности.

Исходные данные:

1. Расчетные параметры режима КЗ принять по результатам расчетов в практическом занятии №1.

2. Максимальные рабочие токи $I_{\text{раб.макс}}$ трансформаторной подстанции по присоединениям:

- вводы ОРУ-35 кВ, А;
- секционный выключатель (сборные шины), А;
- первичная обмотка понижающего трансформатора, А;
- вводы РУ-10 кВ, А;
- секционный выключатель (сборные шины), А;
- потребители:
 - Потребитель №1 «Железнодорожный узел», А;
 - Потребитель №2 «Локомотивный завод», А;
 - Потребитель №3 «Вагоноремонтный завод», А;

4. Принять время отключения тока КЗ $t_{\text{откл}}$:

- для ОРУ-35, с;
- для РУ-10 кВ, с.

Краткие теоретические сведения

Выбор высоковольтных выключателей переменного тока производится в зависимости от места установки, условий работы по напряжению и току. В распределительном устройстве одного напряжения для удобства в эксплуатации и ремонтах рекомендуется устанавливать однотипные выключатели.

При выполнении практического занятия необходимо учитывать, что к установке принимаются только элегазовые и вакуумные выключатели. Масляные выключатели из выбора исключить. Паспортные данные выключателей указаны в приложении А.

Задание

1. Условия выбора и проверки выключателей:

Таблица 1

Наименование аппарата	Характеристика условий выбора проверки	Формула
Высоковольтный выключатель	По конструктивному исполнению и месту установки (наружной или внутренней)	-
	По номинальному напряжению	$U_{ном} \geq U_{раб}$
	По номинальному току	$I_{ном} \geq I_{раб. макс}$
	По отключающей способности- по номинальному периодическому току отключения	$I_{ном.откл} \geq I_k$
	На электродинамическую стойкость:	$i_{пр.с} \geq i_y$
	На термическую стойкость	$I_T^2 \cdot t_t \geq B_k$

2. Выбор выключателей в зависимости от условий работы по напряжению и току.

Условие выбора:

$$U_{ном} \geq U_{раб}$$

$$I_{ном} \geq I_{раб. макс}$$

3. Проверка выключателей на электродинамическую стойкость.

Условие проверки:

$$i_{пр.с} \geq i_y, \text{ где}$$

$i_{пр.с}$ – амплитудное значение предельного сквозного тока, кА (см. каталог);

i_y – ударный ток;

Для ОРУ-35 кВ i_y , кА

Для РУ-10 кВ i_y , кА

4. Проверка выключателей на термическую стойкость.

Условие проверки:

$$I_T^2 \cdot t_t \geq B_k$$

Определяем тепловой импульс B_k по формуле:

$$B_k = I_k^2 \cdot (t_{откл} + T_a), \text{ где}$$

T_a – постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ, с. Принимаем $T_a = 0,05$ с;

$t_{откл}$ – полное время отключения тока КЗ, с.

Для ОРУ-35 кВ:

$B_k, \text{кА}^2 \cdot \text{с}$

Для РУ-10 кВ:

$B_k, \text{кА}^2 \cdot \text{с}$

5. Проверка выключателей по отключающей способности.

Условие проверки:

$$I_{\text{ном.откл}} \geq I_k, \text{ где}$$

$I_{\text{ном.откл}}$ – номинальный ток отключения выключателя (см. каталог);

I_k – ток короткого замыкания

Для ОРУ-35 кВ $I_k, \text{кА}$

Для РУ-10 кВ $I_k, \text{кА}$

6. Результаты выбора и проверки выключателей сводим в таблицу 2.

Наименование РУ	Наименование аппарата	Наименование присоединения	Тип аппарата	Тип привода	Соотношение каталожных и расчетных данных				
					$\frac{U_{\text{ном}}}{U_{\text{раб}}}$ кВ	$\frac{I_{\text{ном}}}{I_{\text{раб}}}$ А	$\frac{I_{\text{ном.откл}}}{I_k}$ кА	$\frac{i_{\text{пр.с}}}{i_y}$ кА	$\frac{I_t^2 \cdot t_t}{B_k}$ кА ² ·с

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Условия проверки высоковольтных выключателей.
3. Таблица с выбранными по условиям высоковольтными выключателями для каждого присоединения подстанции.
4. Ответы на контрольные вопросы.
5. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Предназначение высоковольтных выключателей.

2. Преимущества вакуумных выключателей перед многообъемными.
3. Требования, предъявляемые к высоковольтным выключателям.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Паспортные параметры вакуумных выключателей на 10 кВ

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

Паспортные параметры вакуумных выключателей на 35, 110 кВ

Марка выключателя	U _{ном} , кВ	I _н , А	I _{н.откл} , кА	i _{пр.с} , кА	I _т , кА	t _т , с	t _{св} , с	Тип привода
-------------------	-----------------------	--------------------	--------------------------	------------------------	---------------------	--------------------	---------------------	-------------

ВВ/TEL-35-630-12,5УХЛ1	35	630	12,5	32	12,5	3	0,015	Встроенный электромагнитный
ВР-35-630-20 УХЛ1	35	630	20	52	20	3	0,015	Встроенный электромагнитный
ВР-35-800-20 УХЛ1	35	800	20	52	20	3	0,05	Встроенный электромагнитный
ВР-35-1000-20 УХЛ1	35	1000	20	52	20	3	0,05	Встроенный электромагнитный
ВР-35-1200-20 УХЛ1	35	1250	20	52	20	3	0,05	Встроенный электромагнитный
ВР-35-1600-20 УХЛ1	35	1600	20	52	20	3	0,05	Встроенный электромагнитный
ВРС-110-2500-31,5	110	2500	31,5	81	31,5	3	0,045	пружинный

Паспортные данные элегазовых выключателей на 35, 110, 220 кВ

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

Практическое занятие №11

Выбор и проверка разъединителей

Цель: научиться практически выбирать разъединители для ОРУ-35 и РУ-10 кВ электрических подстанций, проверять их на термическую и электродинамическую стойкости.

Исходные данные:

1. Расчетные параметры режима КЗ принять по результатам расчетов в практическом занятии №1.
2. Максимальные рабочие токи $I_{\text{раб.макс}}$ трансформаторной подстанции по присоединениям:
 - вводы ОРУ-35 кВ, А;
 - секционный выключатель (сборные шины), А;
 - первичная обмотка понижающего трансформатора, А.
3. Принять время отключения тока КЗ $t_{\text{откл}}$:
 - для ОРУ-35, с;
 - для РУ-10 кВ, с.

Краткие теоретические сведения

Выбор разъединителей производится по способу установки, условий работы по напряжению и току. В настоящее время РУ-10 кВ выполняются модульными, выключатели переменного тока на выкатных тележках, функцию разъединителей выполняют разъемы.

Задание

1. Условия выбора и проверки разъединителей:

Таблица 1

Наименование аппарата	Характеристика условий выбора проверки	Формула
Разъединитель	По конструктивному исполнению и месту установки (наружной или внутренней)	-
	По номинальному напряжению	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{раб}}$
	По номинальному току	$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{раб.макс}}$
	На электродинамическую стойкость:	$i_{\text{пр.с}} \geq i_y$
	На термическую стойкость	$I_T^2 \cdot t_T \geq B_k$

2. Выбор разъединителей в зависимости от условий работы по напряжению и току.

Условие выбора:

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

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{раб. макс}}$$

3. Проверка разъединителей на электродинамическую стойкость.
Условие проверки:

$$i_{\text{пр.с}} \geq i_y, \text{ где}$$

$i_{\text{пр.с}}$ – амплитудное значение предельного сквозного тока, кА (см. каталог);

i_y – ударный ток;

Для ОРУ-35 кВ i_y , кА

4. Проверка разъединителей на термическую стойкость.
Условие проверки:

$$I_T^2 \cdot t_T \geq B_k$$

Определяем тепловой импульс B_k по формуле:

$$B_k = I_k^2 \cdot (t_{\text{откл}} + T_a), \text{ где}$$

T_a – постоянная времени затухания апериодической составляющей тока КЗ, с. Принимаем $T_a = 0,05$ с;

$t_{\text{откл}}$ – полное время отключения тока КЗ, с

5. Результаты выбора и проверки разъединителей сводим в таблицу 2.

Наименование РУ	Наименование аппарата	Наименование присоединения	Тип аппарата	Соотношение каталожных и расчетных данных			
				$\frac{U_{\text{ном}}}{U_{\text{раб}}}$ кВ	$\frac{I_{\text{ном}}}{I_{\text{раб}}}$ А	$\frac{i_{\text{пр.с}}}{i_y}$ кА	$\frac{I_T^2 \cdot t_T}{B_k}$ кА ² ·с

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Условия выбора и проверки разъединителей.
3. Таблица с выбранными по условиям разъединителями для каждого присоединения подстанции.
4. Ответы на контрольные вопросы.
5. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Основное предназначение разъединителей.
2. В каких условиях допустима работа разъединителей.

Паспортные параметры разъединителей

Марка разъединителя	$U_{ном.}$ кВ	I_n , А	$i_{пр.с.}$ кА	I_T , кА	t_T , с
РВЗ-10-400	10	400	40	16	4
РВЗ-10-630	10	630	50	20	4
РВЗ-10-1000	10	1000	80	31,5	4
РВРЗ-10-2000	10	2000	85	31,5	4
РВК-10-3000	10	3000	200	60	4
РДЗ-35-400	35	400	31,5	12,5	3
РДЗ-35-1000	35	1000	40	16	3
РДЗ-35-2000	35	2000	80	31,5	3
РДЗ-110-1000	110	1000	63	25	3
РДЗ-110-2000	110	2000	80	31,5	3
РДЗ-220-1000	220	1000	63	25	3
РДЗ-220-2000	220	2000	80	31,5	3

Практическое занятие № 12

Исследование схемы узловой трансформаторной подстанции

Цель: изучить схему электрических соединений узловой трансформаторной подстанции.

Исходные данные: схема главных электрических соединений узловой трансформаторной подстанции. Типы применяемого оборудования.

Краткие теоретические сведения

Типы применяемого оборудования на трансформаторной подстанции:

РУ-35 кВ

Обозначение аппарата на схеме	Типа аппарата
Q ₁ -Q ₇	МКП-35-630
TA ₂ , TA ₄ , TA ₆ , TA ₈ , TA ₉ , TA ₁₀ , TA ₁₁	ТВ-35
TA ₁ , TA ₃ , TA ₅ , TA ₇	ТФЗМ-35
QS ₁ -QS ₄ , QS ₁₁ , QS ₁₄	РНДЗ-2-35
QS ₅ -QS ₁₀ , QS ₁₂ , QS ₁₃	РНДЗ-1-35
T1, T2	ТМ-2500-35
TV ₁ , TV ₂	НАМИ-35
FV ₁ , FV ₂	РВС-35

РУ-10 кВ

Обозначение аппарата на схеме	Типа аппарата
Q ₈ -Q ₁₆	ВМГ-10
TA ₁₂ – TA ₂₀	ТПЛ-10
T3, T4	ТМГ-400-10/0,23
TV ₃ , TV ₄	НТМИ-10
FU ₁ , FU ₂	ПКТ-10
FV ₃ , FV ₄	ОПН-10

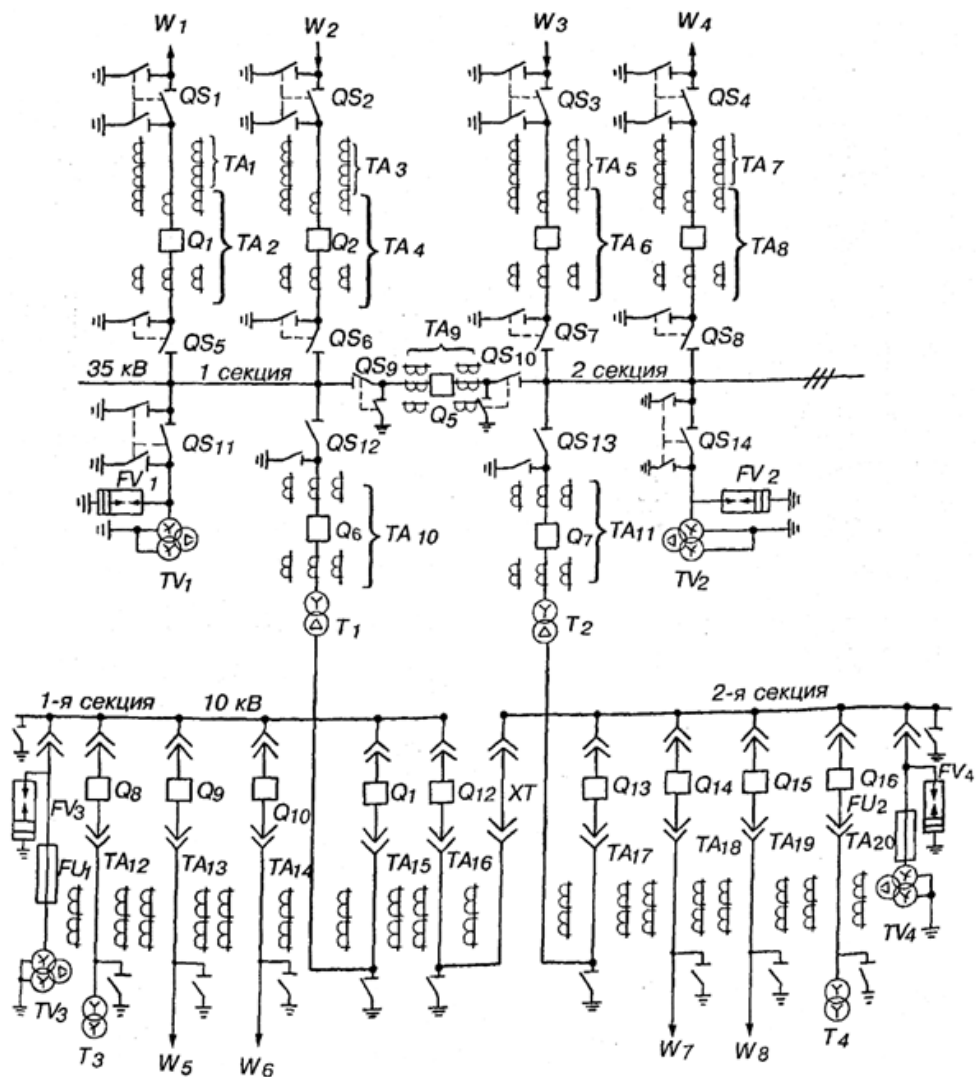


Рис. 1 Схема главных электрических соединений узловой трансформаторной подстанции

Задание

1. Дайте описание схемы главных электрических соединений трансформаторной подстанции.
2. В таблицу 1 занести марки используемого оборудования на присоединениях открытого распределительного устройства 35 кВ.
3. В таблицу 2 занести марки используемого оборудования на присоединениях закрытого распределительного устройства 10 кВ.

Наименование присоединения		W1	W2	W3	W4	T1	T2	Секционн ый выключате ль	Трансфор матор напряжени я 1	Трансфор матор напряжени я 2
Разъединитель	Шинный									
	Линейны й									
	Секционн ый									
Выключатель										
Трансформатор тока										
Трансформатор напряжения										

Предохранитель									
Разрядник, ограничитель перенапряжений									

ЗРУ-10 кВ

Таблица 2

Наименование присоединения		Ввод от T1	Ввод от T2	W5	W6	W7	W8	Секционный выключатель	Трансформатор напряжения 3,4	Трансформатор собственных нужд 1,2
Разъединитель	Шинный									
	Линейный									
	Секционный									
Выключатель										

Трансформатор тока									
Трансформатор напряжения									
Предохранител ь									
Разрядник, ограничитель перенапряжени й									

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Описание схемы главных электрических соединений узловой трансформаторной подстанции.
3. Таблицы с указанными марками оборудования на присоединениях трансформаторной подстанции.
4. Контрольные вопросы.
5. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Для чего предназначен секционный выключатель Q5?
2. Что представляет собой элемент ХТ, расположенный в ЗРУ-10 кВ?

Практическое занятие №13

Исследование схемы проходной (транзитной) трансформаторной подстанции.

Цель: изучить схему электрических соединений проходной трансформаторной подстанции.

Исходные данные: схема главных электрических соединений проходной трансформаторной подстанции; типы применяемого оборудования.

Краткие теоретические сведения

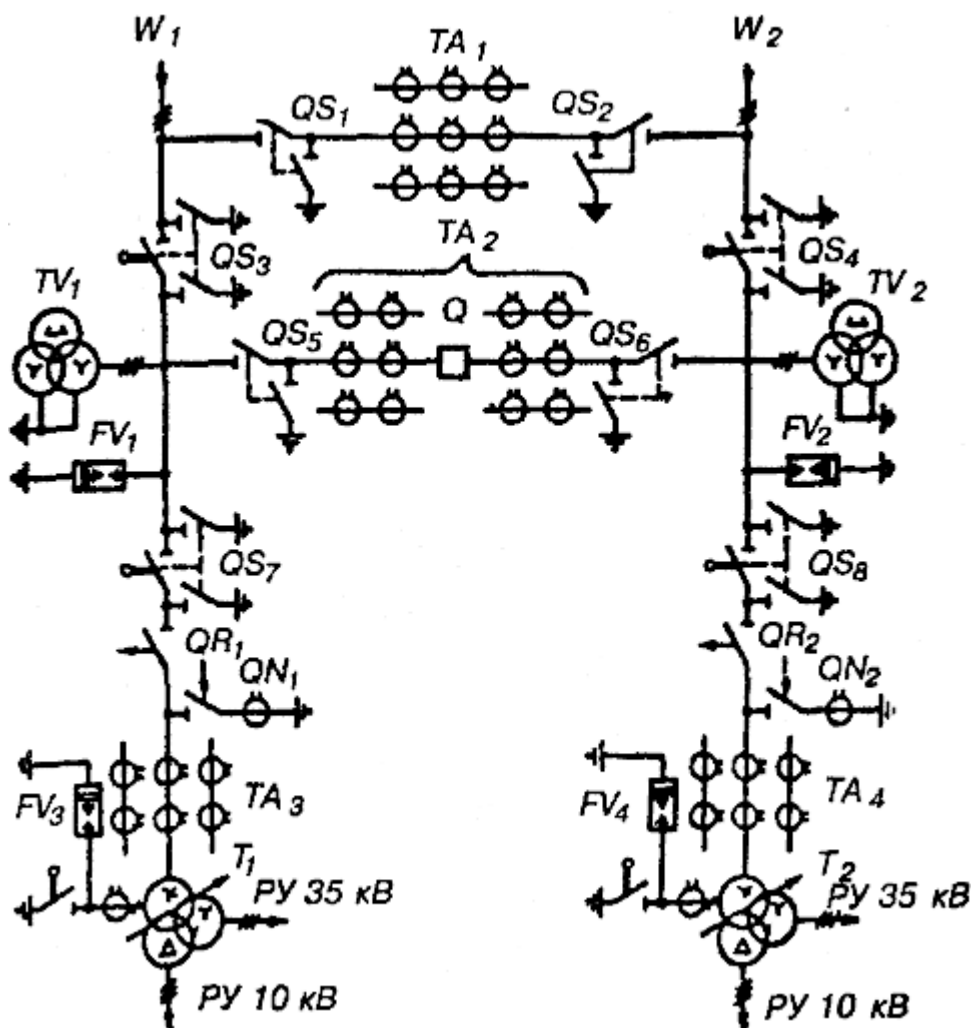
Типы применяемого оборудования на проходной трансформаторной подстанции:

ОРУ-110 кВ

Обозначение аппарата на схеме	Типа аппарата
QR_1, QR_2	ОД-110/1000У1
QN_1, QN_2	КЗ-110У1
TA_1, TA_3, TA_4	ТФМ-110
TA_2	ТВ-110
QS_3, QS_4, QS_7, QS_8	РНДЗ-2-110 Дистанционный привод ПДН
QS_1, QS_2, QS_5, QS_6	РНДЗ-1-110 Ручной привод ПР
$T1, T2$	ТДТН-40000-110
FV_1, FV_2	РВС-110
Q	МКП-110
$TV1, TV2$	НКФ-110

Задание

1. Изучить схему главных электрических соединений проходной трансформаторной подстанции.



2. Дать описание схемы главных электрических соединений проходной трансформаторной подстанции.

3. Занести в таблицу 1 типы применяемого оборудования на присоединениях проходной трансформаторной подстанции.

Таблица 1

Наименование присоединения		W1	W2	Ремонтная перемычка	Рабочая перемычка	Трансформатор напряжения
Разъединитель	Шинный					
	Линейный					
	Секционный					
Отделитель						
Короткозамыкатель						
Трансформатор тока						
Силовой трансформатор						
Трансформатор напряжения						
Разрядник, ограничитель перенапряжений						
Высоковольтный выключатель						

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Описание схемы главных электрических соединений проходной трансформаторной подстанции.
3. Таблица с указанными марками оборудования на присоединениях трансформаторной подстанции.
4. Контрольные вопросы.
5. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение проходной трансформаторной подстанции.
2. Предназначение разъединителей QS1, QS2.

Практическое занятие №14

Исследование схемы тупиковой трансформаторной подстанции 10/0,4.

Цель: изучить схему электрических соединений тупиковой трансформаторной подстанции.

Исходные данные: схема главных электрических соединений трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ.

Задание

1. Изучить схему главных электрических соединений трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ

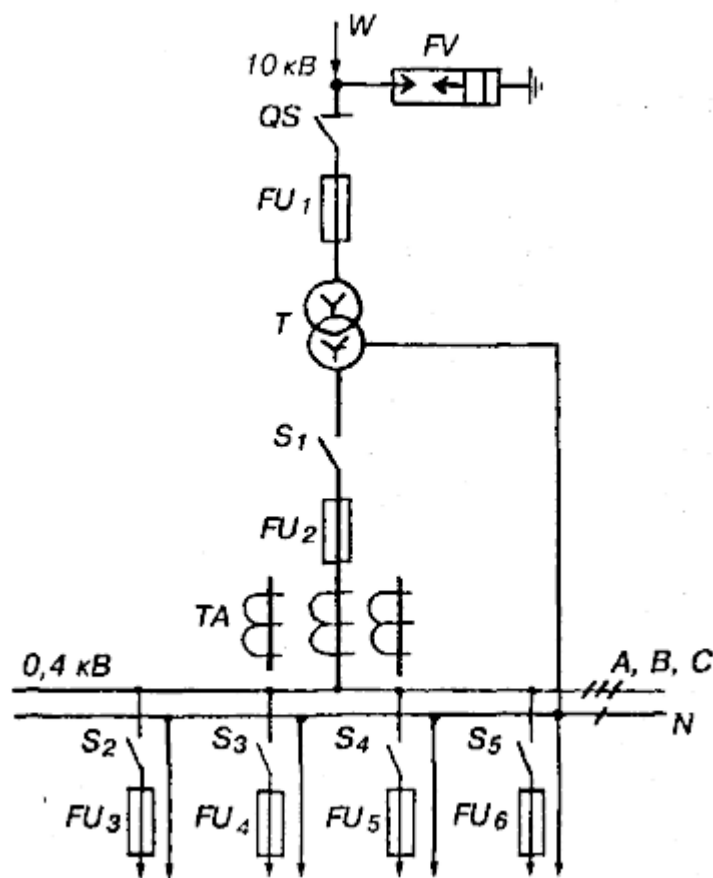


Рис. 1 Схема главных электрических соединений трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ

2. Дать описание схемы главных электрических соединений трансформаторной подстанции.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Схема главных электрических соединений трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ.
3. Описание схемы главных электрических соединений трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ.
4. Ответы на контрольные вопросы.
5. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение тупиковой трансформаторной подстанции.
2. Для чего на вводе в РУ-0,4 кВ устанавливается предохранитель FU2.

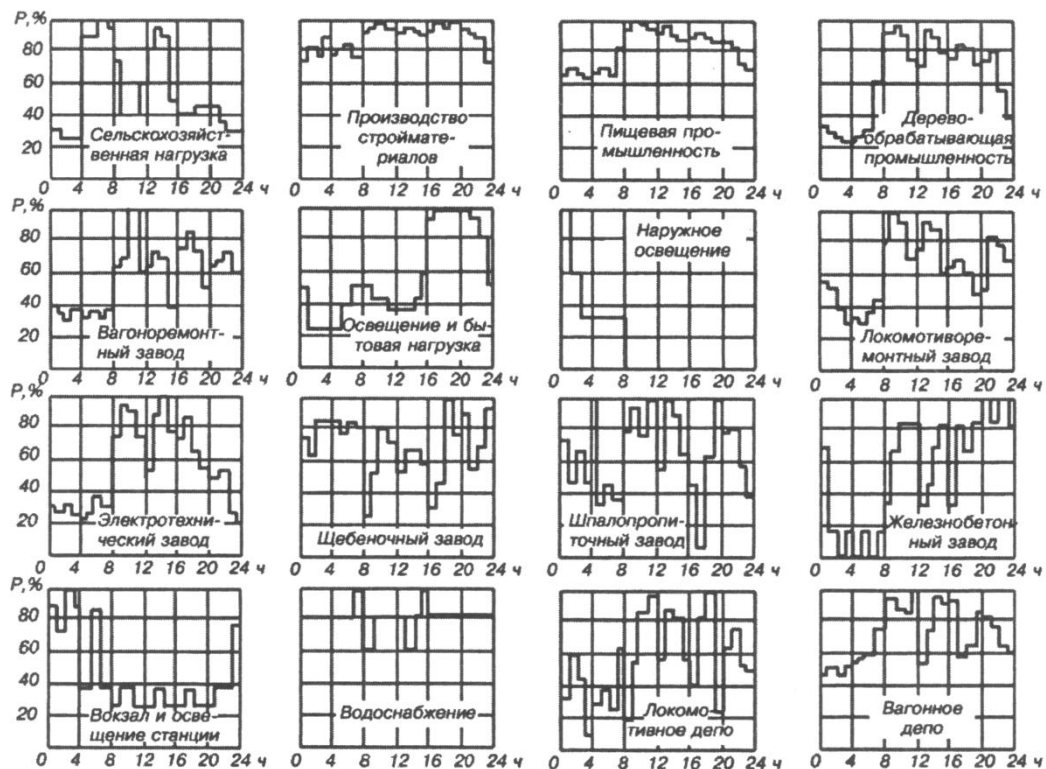
Практическое занятие №15

Расчет полной мощности трансформаторной подстанции.

Цель: научиться выбирать трансформаторы, рассчитывать мощность понижающей подстанции с первичным напряжением 35 кВ.

Исходные данные:

1. От подстанции питаются 3 потребителя напряжением 10 кВ (наименование потребителя и все необходимые данные: установленная мощность потребителя, коэффициент спроса, $\cos\varphi$ задаются преподавателем по вариантам).
2. Мощность трансформатора собственных нужд подстанции, $S_{\text{ном. тсн}}$, кВ·А;
3. Типовые суточные графики нагрузок потребителей.



Задание

1. Вычислить максимальные активные мощности потребителей по формуле:

$$P_{\text{макс}} = P_{\text{уст}} \cdot K_c,$$

где

$P_{\text{уст}}$ - установленная мощность потребителя, кВт;

K_c - коэффициент спроса.

$$\sum P_{\text{макс}} = P_{\text{макс1}} + P_{\text{макс2}} + P_{\text{макс3}};$$

где

$\sum P_{\text{макс}}$ – суммарная максимальная активные мощность потребителей, кВт.

2. Пользуясь типовым суточным графиком нагрузок потребителей необходимо занести в таблицу процент потребления мощности в каждый час суток потребителем.

Для построения суточных графиков перевод процентов типовых суточных графиков активных нагрузок потребителей в киловатты для каждого числа производим по формуле:

$$P_t = P_{\text{макс}} \cdot \frac{P_t}{100}$$

Таблица 1

Часы	Активная нагрузка потребителей, % и кВт						
	Потребитель №1 «_____»		Потребитель №2 «_____»		Потребитель №3 «_____»		Суммарная активная нагрузка
	%	кВт	%	кВт	%	кВт	кВт
0							
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							

16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							

$$\sum P_{\text{макс.расч}}, \text{ кВт}$$

3. На основании вычисленных максимальных активных мощностей потребителей и типовых графиков построить графики активных нагрузок потребителей и график суммарной активной нагрузки.

4. Вычислить максимальные реактивные мощности потребителей по формуле:

$$Q_{\text{макс}} = P_{\text{макс}} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \text{ где}$$

$\operatorname{tg} \varphi$ – тангенс угла, определяемый по заданному $\cos \varphi$ по формуле

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}{\cos \varphi};$$

$$\sum Q_{\text{макс}} = Q_{\text{макс1}} + Q_{\text{макс2}} + Q_{\text{макс3}};$$

5. Найти коэффициент раномерности максимумов нагрузок подстанции по формуле:

$$K_{\text{рм}} = \frac{\sum P_{\text{макс.расч}}}{\sum P_{\text{макс}}}$$

6. Определить максимальную полную мощность всех потребителей по формуле:

$$S_{\text{макс}} = K_{\text{рм}} \cdot \left(1 + \frac{P_{\text{пост}} + P_{\text{пер}}}{100}\right) \cdot \sqrt{(\sum P_{\text{макс}})^2 + (\sum Q_{\text{макс}})^2}, \text{ где}$$

$P_{\text{пост}}$ – постоянные потери, принимаем 2%.

$P_{\text{пер}}$ – переменные потери, принимаем 8%.

7. Вычислить максимальную полную мощность на шинах 10 кВ подстанции по формуле:

$$S_{\text{макс.ш}} = S_{\text{макс}} + S_{\text{ном.тсн}},$$

где

$S_{\text{макс}}$ - максимальная полная мощность всех потребителей, кВ·А

$S_{\text{ном.тсн}}$ - максимальная мощность трансформатора собственных нужд, кВ·А

8. Определить мощность трансформатора по условию:

$$S_{\text{ном.т}} \geq \frac{S_{\text{макс.ш}}}{1,4 \cdot (n-1)}, \text{ где}$$

n – количество трансформаторов (учитывая, что от подстанции питаются потребители I, II, III категории, устанавливаем два трансформатора, один из которых является резервным, а второй-рабочим).

9. Мощность тупиковой(концевой) и ответвительной (отпаечной) подстанции (считать, что на ней установлено 2 трансформатора):

$$S_{\text{тп}} = n \cdot S_{\text{ном.т}}$$

10. Мощность проходной (транзитной) подстанции, включаемой расщелку питающей линии, определяется с учетом мощности транзита электроэнергии через подстанцию:

$$S_{\text{тп}} = (n \cdot S_{\text{ном.т}} + \sum S_{\text{транз}}) \cdot K''_{\text{р}}, \text{ где}$$

$K''_{\text{р}}$ – коэффициент одновременности максимумов нагрузок проектируемой и смежных подстанций, питающихся транзитом через РУ проектируемой, принимаем 0,7;

$\sum S_{\text{транз}}$ – суммарная мощность подстанций, питающихся транзитом через РУ проектируемой.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Расчет максимальных активных мощностей заданных потребителей.
3. Таблица активных нагрузок потребителей.
4. Графики активных нагрузок потребителей и график суммарной активной нагрузки.
5. Расчет максимальных реактивных мощностей потребителей.
6. Расчет мощности трансформаторной подстанции.
7. Контрольные вопросы.

8. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Как произвести перевод процентов типовых суточных графиков активных нагрузок потребителей в киловатты?

Практическое занятие №16

Расчет рабочих токов основных присоединений распределительных устройств.

Цель: научиться рассчитывать токи основных присоединений распределительных устройств

Исходные данные:

1. Мощность трансформаторной подстанции $S_{\text{ТП}}$, кВ·А;
2. Номинальная мощность главного понижающего трансформатора, $S_{\text{НОМ.Т}}$, кВ·А;
3. Основные присоединения трансформаторных подстанций;
4. Номинальное напряжение распределительных устройств подстанции.

Задание

1. Расчет максимальных рабочих токов вводов, сборных шин и присоединений подстанции.

1.1 Вводы узловых и проходных подстанций:

$$I_{\text{раб.макс}} = \frac{K_{\text{пр}} \cdot S_{\text{ТП}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}}, \text{ где}$$

$K_{\text{пр}}$ – коэффициент перспективы развития подстанций и потребителей, равный 1,3.

$S_{\text{ТП}}$ – мощность подстанции, кВ·А;

$U_{\text{НОМ}}$ – номинальное напряжение распределительного устройства, кВ.

1.2 Вводы конечных и ответвительных подстанций:

$$I_{\text{раб.макс}} = \frac{K_{\text{пер}} \cdot \sum S_{\text{НОМ.Т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}}, \text{ где}$$

$K_{\text{пер}}$ – коэффициент допустимой перегрузки трансформаторов, равный 1,5.

$\Sigma S_{\text{ном.т}}$ - суммарная номинальная мощность трансформатора, кВ·А.

1.3 Сборные шины опорных подстанций и перемычки проходных подстанций:

$$I_{\text{раб.макс}} = \frac{K_{\text{пр}} \cdot S_{\text{тп}} \cdot K_{\text{р.н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \text{ где}$$

$K_{\text{р.н}}$ – коэффициент распределения нагрузки на шинах распределительного устройства, равный 0,6.

1.4 Первичные обмотки понижающих трансформаторов:

$$I_{\text{раб.макс}} = \frac{K_{\text{пер}} \cdot S_{\text{ном.т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном1}}};$$

1.5 Вторичные обмотки обмотки трансформаторов:

$$I_{\text{раб.макс}} = \frac{K_{\text{пер}} \cdot S_{\text{ном.т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном2}}};$$

1.6 Сборные шины РУ-10 кВ:

$$I_{\text{раб.макс}} = \frac{K_{\text{р.н}} \cdot \Sigma S_{\text{ном.т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном2}}};$$

11.4 Питающие линии потребителей:

$$I_{\text{раб.макс}} = \frac{K_{\text{пр}} \cdot P_{\text{макс}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi}, \text{ где}$$

$P_{\text{макс}}$ – максимальная активная мощность потребителя, на фидере которого рассчитываются рабочие токи, кВт.

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности потребителей.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Расчет максимальных рабочих токов вводов, сборных шин и присоединений подстанции.
3. Контрольные вопросы.
4. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Назовите виды потерь электрической энергии в трансформаторах.

Практическое занятие № 17 Изучение конструкции аккумулятора

Цель: изучить конструкцию аккумулятора.

Оборудование: аккумулятор типа СК.

Краткие теоретические сведения

На тяговых подстанциях в качестве источника оперативного постоянного тока используют, как правило, аккумуляторные батареи из свинцово-кислотных аккумуляторов типа СК (С — стационарный, К — для кратковременного разряда).

Аккумулятор (рис. 1) состоит из положительных пластин 4 и отрицательных — 5. Пластины каждой полярности спаивают соединительными полюсами. Положительные пластины соединяются между собой полосой 3 и отрицательные — полосой 6. Между собой эти две группы пластин изолированы, а выступами 2 опираются на края стеклянного сосуда 1, заполненного электролитом.

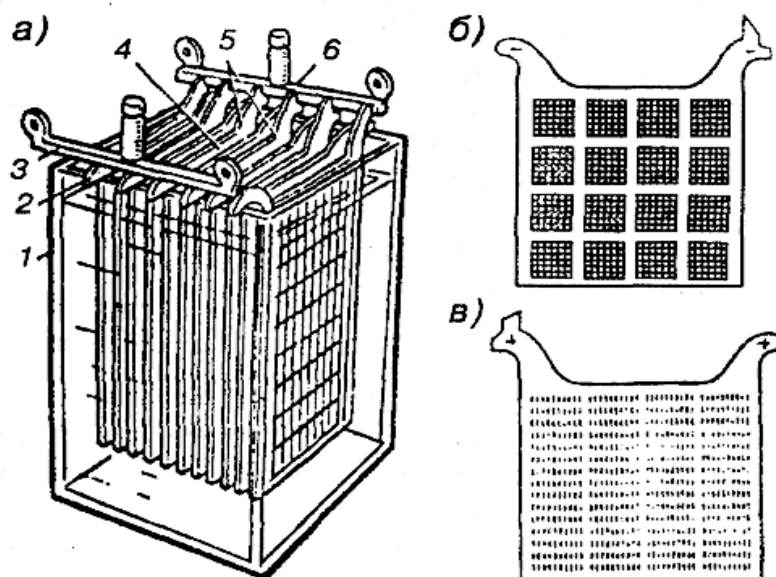


Рис. 1 Устройство аккумуляторной батареи:
а- аккумулятор и его пластины;
б — отрицательная пластина;
в — положительная пластина.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Предназначение аккумуляторных батарей.
3. Конструктивное исполнение аккумулятора.
4. Контрольные вопросы.
5. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Из чего состоят отрицательная и положительная пластины аккумулятора?
2. Что используется в качестве электролита?
3. Источником какого тока является аккумуляторная батарея?
4. До какого значения допускается разряд аккумуляторной батареи?
5. Что предпринимают для предотвращения коротких замыканий между пластинами?

Практическое занятие №18

Расчет и выбор аккумуляторной батареи

Цель: научиться выбирать аккумуляторную батарею и зарядно-подзарядное устройство тяговой подстанции переменного тока.

Исходные данные:

Таблица 1 - Данные приемников СН, присоединяемых к аккумуляторной батарее.

Потребителя постоянного тока	Количество одновременно работающих	Ток одного потребителя, А	Нагрузка батареи, А	
			длительная	кратковременная
<i>Постоянно присоединенные приемники:</i> Лампы положения выключателей	25	0,065	1,6	
Устройства управления и защиты			15	
<i>Приемники, присоединяемые при аварийном режиме:</i> Устройство ТУ и связи			1,4	
Аварийное освещение			10	
Привод выключателя 110 кВ				244
Итого			28	244

Краткие теоретические сведения

Выбор номера аккумуляторной батареи типа СК производится по длительному и кратковременному режимам.

Задание

1. Определим ток длительного разряда батареи в аварийном режиме по формуле:

$$I_{\text{дл.разр}} = I_{\text{пост}} + I_{\text{ав}}, \text{ где}$$

$I_{\text{пост}}$ - ток постоянной нагрузки рабочего режима, А;

$I_{\text{ав}}$ - ток временной аварийной нагрузки, А.

2. Определим ток кратковременного разряда в аварийном режиме:

$$I_{\text{кр.разр}} = I_{\text{дл.разр}} + I_{\text{вкл}}, \text{ где}$$

$I_{\text{вкл}}$ - ток, потребляемый наиболее мощным приводом при включении выключателя, А.

3. Определим расчетную емкость батареи:

$$Q_{\text{расч}} = I_{\text{дл.разр}} \cdot t_{\text{ав}}, \text{ где}$$

$t_{\text{ав}}$ - длительность разряда батареи при аварии, принимаемая для тяговых подстанций. $t_{\text{ав}} = 2$ ч.

4. Вычислим номер аккумуляторной батареи по формуле:

$$N \geq \frac{1,1 \cdot Q_{\text{расч}}}{Q_{\text{СК-1}}}, \text{ где}$$

1,1 - коэффициент, учитывающий уменьшение емкости батареи в процессе эксплуатации;

$Q_{\text{СК-1}}$ - емкость аккумулятора СК-1 при $t_{\text{ав}} = 2$ ч., равная 22 А·ч

5. Вычислим номер аккумуляторной батареи по току кратковременного разряда:

$$N_{\text{кр}} \geq \frac{I_{\text{кр.разр}}}{46}, \text{ где}$$

6. Выберем аккумуляторную батарею, принимая наибольший из двух значений N и $N_{\text{кр}}$.

7. Определим полное количество последовательно соединённых аккумуляторов батареи по формуле:

$$n = \frac{U_{\text{шв}}}{U_{\text{пз}}},$$

где

$U_{\text{шв}}$ – напряжение на шинах включения ЕУ1 принимаемое 260 В;

$U_{\text{пз}}$ – напряжение аккумулятора при подзарядке, равное 2,15 В.

8. Выберем зарядно-подзарядное устройство (ЗПУ) по необходимым значениям напряжения, тока и мощности ЗПУ, которые определяются исходя из первого (формовочного) заряда батареи.

Определим напряжение заряда ЗПУ по формуле:

$$U_{\text{зар}} = n \cdot 2,15 + (2-3),$$

где

n – полное количество аккумуляторов (элементов) батареи.

Вычислим ток заряда ЗПУ:

$$I_{\text{зар}} = 3,75 \cdot N;$$

Определим расчётную (требуемую) мощность ЗПУ:

$$P_{\text{расч.ЗПУ}} = U_{\text{зар}} \cdot (I_{\text{зар}} + I_{\text{пост}}).$$

Содержание отчета

1. Название и цель работы
2. Таблица данных приемников собственных нужд, присоединяемых к аккумуляторной батарее.
3. Выбор аккумуляторной батареи.
4. Выбор зарядно- подзарядного устройства.
5. Контрольные вопросы.
6. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Исходя из чего производится выбор аккумуляторной батареи?

Практические занятие № 19

Расчёт заземляющего устройства трансформаторной подстанции.

Цель: научиться рассчитывать заземляющее устройство трансформаторной подстанции напряжением 110/10 кВ.

Исходные данные:

1. Периметр территории подстанции L_p , м
2. Нейтраль обмотки трансформатора 110 кВ заземлена.
3. Сеть напряжением 10 кВ – с изолированной нейтралью.
4. Вид грунт в месте сооружения подстанции (по заданию преподавателя) с удельным сопротивлением ρ , Ом·м (значение удельного сопротивления различных видов грунта указаны в справочниках).
5. Металлические оболочки и броня кабелей имеют сопротивление растеканию тока R_k , Ом.
6. Заземлённый грозозащитный трос ВЛ-110 кВ имеет сопротивление растеканию тока $R_{тр}$, Ом.
7. Сопротивление горизонтальных заземлителей (полос) не учитывать.

Краткие теоретические сведения

При расчете заземляющих устройств выбирают тип заземлителей, их количество и место размещения, а также сечение заземляющих проводников.

В соответствии с ПУЭ заземляющие устройства следует выполнять с соблюдением требований либо к их сопротивлению, либо к напряжению прикосновения.

Заземляющие устройства электроустановок напряжением выше 1 кВ с заземленной нейтралью должно иметь сопротивление в любое время года не более 0,5 Ом.

$$R_z \leq 0,5 \text{ Ом}$$

1. Определить общее сопротивление естественных заземлителей.

$$R_{з.е.} = \frac{R_k \cdot R_{тр}}{R_k + R_{тр}}, \text{ где}$$

$R_{з.е.}$ – сопротивление металлических оболочек и брони кабелей и заземленного грозозащитного троса, Ом.

2. Вычислить сопротивление искусственных заземлителей $R_{з.и.}$

$$R_{з.и.} = \frac{R_з \cdot R_{з.е.}}{R_{з.е.} - R_з}$$

3. Найти сопротивление одиночного вертикального стержневого заземлителя – электрода по формулам:

$$R_э = \frac{0,366 \cdot \rho \cdot K_c}{l} * lg \frac{4l}{d}$$

$$R_э' = \frac{\rho \cdot K_c}{2\pi l} * lg \frac{4l}{d}$$

где

l – длина электрода, м;

d – диаметр стержневого электрода, м.

K_c – коэффициент сезонности, учитывающий просыхание и промерзание грунта, во второй климатической зоне. Для вертикальных электродов принимаем равный 1,45-1,75, принимаем $K_c = 1,6$.

4. Рассчитать количество электродов искусственного заземлителя без учёта экранирования, преобразуя формулу:

$$R_{з.и.} = \frac{R'_э}{n} \quad \text{следовательно,}$$

$$n = \frac{R'_э}{R_{з.и.}} \quad \text{– количество электродов.}$$

Рассчитать количество электродов с учётом экранирования по формуле:

$$n_э = \frac{R'_э}{R_{з.и.} * \eta} \quad \text{где}$$

η – коэффициент экранирования заземлителей, зависящий от количества заземлителей n , отношением расстояния «а» между ними к их длине l , их размещения в ряд или по контуру.

5. Определить количество электродов, размещённых по периметру подстанции.

$$n_{э.п.} = \frac{L_{п.}}{a};$$

6. Определить количество электродов, размещаемых внутри и вне контура.

$$n_{э.в.к} = n_э - n_{э.п.}$$

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Расчет сопротивлений искусственных и естественных заземлителей.
3. Расчет количества электродов с учетом экранирования, без учета экранирования.
4. Расчет количества электродов по периметру подстанции, а так же внутри и вне контура.
5. Контрольные вопросы.
6. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Что такое естественный заземлитель?
2. Что такое искусственный заземлитель?

Практическое занятие №20
Составление графика дежурства при различных методах
оперативного обслуживания подстанции.

Цель: научиться составлять график дежурств оперативного обслуживания устройств электроснабжения.

Исходные данные:

1. График дежурств
2. Месяц года.
3. График дежурства.

Краткие теоретические сведения

На некоторых подразделениях дистанций электроснабжения, например, в энергодиспетчерской службе, принята система круглосуточного дежурства продолжительностью 12 часов.

Дневное дежурство с 8.00 до 20.00, ночное с 20.00 до 8.00. После дневного дежурства работающему должен быть предоставлен отдых не менее 24 часов, а после ночного – не менее 48 часов.

Задание

1. Записать исходные данные.
2. Подсчитать количество рабочих часов в заданном месяце.
3. Составить график дежурств при четырехсменном круглосуточном дежурстве.
4. Подсчитать количество рабочих часов по графику, в том числе «ночных».
5. Результаты оформить в виде таблицы 1.

График дежурств

Ф.И.О.	Дни месяца																														В том числе				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		Всего часов	ночные	праздничные	сверхурочные
																																			</

Содержание отчета

1. Исходные данные.
2. Расчет количества рабочих часов в заданном месяце.
3. График дежурства при 4-х сменном круглосуточном дежурстве.
4. Ответы на контрольные вопросы.
5. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Как определяется норма часов, фактически отработанное время и переработка? Назовите максимальное рабочее время.

Практическое занятие № 21

Изучение оперативно-технической документации электрических подстанций.

Цель: ознакомиться с оперативно-технической документацией электрических подстанций.

Исходные данные: Инструкция по безопасности при эксплуатации электроустановок тяговых подстанций и районов электроснабжения железных дорог ОАО «РЖД» №4054. «Перечень обязательной оперативно-технической документации на тяговых подстанциях, районах электроснабжения (Приложение №5).

Задание

1. По указанию преподавателя изучить перечень технической документации для различных потребителей.
2. Составить порядок оперативных переключений на схеме-макете (или по однолинейной схеме) для вывода в ремонт указанного преподавателем электрооборудования электрической подстанции.
3. Заполнить бланк переключений и наряд-допуск.
4. Произвести оперативные переключения на схеме-макете и указать действительное состояние оборудования подстанции, используя условные знаки, наносимые на однолинейную схему.
5. Заполнить оперативный журнал.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.

2. Часть однолинейной схемы (те РУ, где производятся оперативные переключения).
3. Бланк переключений.
4. Наряд-допуск.
5. Запись в оперативном журнале.
6. Ответы на контрольные вопросы.
7. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Объясните, чем отличается оперативная схема от однолинейной схемы электрической подстанции.
2. Укажите назначение оперативного журнала.
3. Перечислите требования, предъявляемые к оперативным переговорам.

Практическое занятие №22

Оформление оперативной технической документации на производство работ в электроустановке.

Цель: научиться оформлять оперативную техническую документацию на производство работ в электроустановке.

Исходные данные:

1. Электроустановка.
2. Место работы.
3. Содержание работы..
4. Схема электрических соединений электрооборудования.
5. Бланк наряда-допуска для работы в электроустановках, формы ЭУ-44.
6. Оперативный журнал.
7. Журнал учета работ по нарядам и распоряжениям.
8. Штамп приказа на производство работ

Задание

1. Перечислить организационные и технические мероприятия.
2. Начертить схему электрических соединений заданного присоединения с указанием оперативных наименований, оборудования и коммутационных аппаратов.
3. Оформить заявку энергодиспетчеру на проведение работ по наряду в оперативном журнале (рис.1)
4. Оформить приказ на переключения и приказ на допуск к работе (рис.1)
5. Заполнить наряд-допуск за выдающего наряд.
6. Оформить работу по наряду-допуску в журнале учета работ по нарядам и распоряжениям.

7. Оформить в наряд-допуске действия допускающего и производителя работ.
8. Оформить допуск к работе, окончание работы.
9. Оформить уведомление энергодиспетчеру об окончании работа (рис.1)

Рисунок 1

№ по пор. записей в журнале энергодиспетчера	Дата	Время (час. мин)	Кому или от кого	Содержание приказа, уведомления или заявки	Кто передал (фамилия)	Кто принял (фамилия)	Утверждено (час. мин)	Отметка об исполнении
				ЗАЯВКА _____ Разрешите работу _____ на _____ дата _____ по наряду № _____ производитель работ _____ наблюдающий _____ Состав бригады _____ человек _____ (условия, категория и точное место работы) Для работы прошу _____ _____ (указать, что отключить, включить) Передал _____ принял _____ Дата _____ Время _____ ПРИКАЗ _____ Кому _____ Разрешаю до _____ ч. _____ мин производить работу на _____ _____ (категория и точное место работы) Выполните следующие меры безопасности _____ _____ (установка заземлений, ограждений) Дата _____ Принял _____ Утверждаю _____ ч. _____ мин. Энергодиспетчер _____				
				УВЕДОМЛЕНИЕ _____ Кому _____ От кого _____ Работа на _____ по приказу № _____ Окончена в _____ ч. _____ мин Люди выведены, заземления сняты. Передал _____ Принял _____ Дата _____ время _____ ч _____ мин				

Содержание отчета

1. Организационные и технические мероприятия.
2. Схема электрических соединений заданного присоединения с указанием оперативных наименований, оборудования и коммутационных аппаратов.
3. Оформленные заявка, приказ, уведомление.
4. Оформленный наряд-допуск.
5. Контрольные вопросы.
6. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Поясните, какое время ставится в таблице «Ежедневный допуск к работе и время ее окончания».
2. Перечислите, в каких случаях назначается ответственный руководитель работ.

Практическое занятие №23

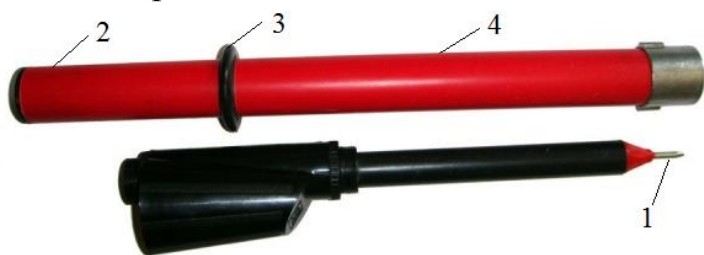
Изучение основных и дополнительных средств защиты

Цель: изучить классификацию, назначение и конструкцию средств защиты.

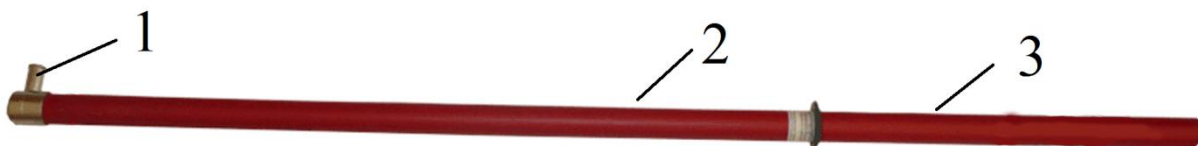
Задание

1. Изучить классификацию средств защиты.
2. Изучить назначение и конструкцию средств защиты.

Указатель напряжения
Предназначение.



Изолирующая штанга
Предназначение.



Клеши изолирующие
Предназначение.

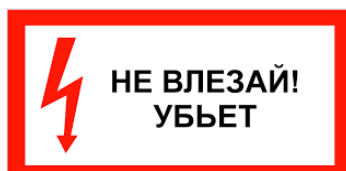


Перчатки диэлектрические:
Предназначение.



3. Ознакомиться с принципом учета средств защиты.
Штамп о проведении испытания изолирующей штанги;
Штамп о проведении испытания диэлектрических перчаток;

4. Ознакомиться со знаками и плакатами безопасности.





Содержание отчета

1. Классификация средств защиты.
2. Назначение и конструкция защитных средств.
3. Принцип учета средств защиты. Штамп о проведении испытания изолирующей штанги. Штамп о проведении испытания диэлектрических перчаток.
4. Категории знаков и плакатов безопасности.
5. Контрольные вопросы.
6. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение основным и дополнительным защитным средствам.
2. Поясните порядок установки переносных заземлений в электроустановках.

Практическое занятие №24
Оформление технической документации по результатам испытания
силового трансформатора.

Цель:

1. Научиться составлять дефектную ведомость на капитальный ремонт силового трансформатора
2. Научиться оформлять протокол испытания силового трансформатора после капитального ремонта.

Оборудование и приборы:

1. Силовой трансформатор (марка задается преподавателем)
2. Мегаомметр на 2500 В.

Задание

1. Обследовать трансформатор.
2. Записать в дефектную ведомость наименования работ, которые необходимо выполнить при капитальном ремонте для устранения дефектов, выявленных при обследовании трансформатора.
3. Оформить протокол испытания силового трансформатора после капитального ремонта.

ДЕФЕКТНАЯ ВЕДОМОСТЬ №_____

«___» _____ 20___ г.

г. _____

При осмотре _____
выявлены дефекты в работе.

№	Дефект	Причина дефекта	Наименование работ	Ед. изм.	Кол ичес тво
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
Обследование силового трансформатора произвели, дефектную ведомость составили: _____ (ФИО, подпись) _____ (ФИО, подпись)					

Содержание отчета

1. Дефектная ведомость с дефектами, обнаруженными при обследовании силового трансформатора.
2. Наименование работ в дефектной ведомости, которые необходимо выполнить при капитальном ремонте.
3. Протокол испытания силового трансформатора.

Контрольные вопросы

1. Укажите назначение измерения сопротивления обмоток силового трансформатора постоянному току.
2. Объясните, каким образом, не вскрывая бак силового трансформатора, можно определить наличие в нем внутренних повреждений.

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