

**ЧАСТНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ  
«ГАЗПРОМ ТЕХНИКУМ НОВЫЙ УРЕНГОЙ»**

**Сборник методических указаний**  
для студентов  
по выполнению практических работ  
по МДК 03.01 «Внешнее электроснабжение промышленных и гражданских  
зданий»  
профессионального модуля  
ПМ.03 Организация и выполнение работ по монтажу  
и наладке электрических сетей  
программы подготовки специалистов среднего звена  
*08.02.09 Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования  
промышленных и гражданских зданий*

Новый Уренгой 2020

Методические указания для выполнения практических работ разработаны в соответствии с рабочей программой профессионального модуля «ПМ.03 Организация и выполнение работ по монтажу и наладке электрических сетей» на основе ФГОС СПО по специальности 08.02.09 «Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования промышленных и гражданских зданий» и содержат требования по подготовке, выполнению и оформлению результатов практических работ.

Методические указания по выполнению практических работ адресованы студентам очной формы обучения.

**РАЗРАБОТЧИК:**

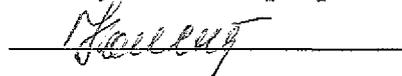
Людмила Викторовна Байол, преподаватель первой категории

Данные методические указания являются собственностью

© ЧПОУ «Газпром техникум Новый Уренгой»

Рассмотрены на заседании кафедры  
электротехнических дисциплин  
и рекомендованы к применению  
Протокол № 5 от «23» января 2020 г.

Заведующий кафедрой ЭТС

 Е.Г. Константинова

Зарегистрированы в реестре банка  
программной,  
оценочной и учебно-методической  
документации

Регистрационный номер

108.М.У.ЭЛ.Т.М.03 КЭ ТС.002-20

## СОДЕРЖАНИЕ

Пояснительная записка .....	3
Критерии оценки: .....	6
Практическая работа № 1 «Расчет токов короткого замыкания в электрических сетях напряжение выше 1 кВ в относительных и именованных единицах» .....	7
Практическая работа № 2 «Расчёт токов короткого замыкания по расчётным кривым» .....	28
Практическая работа № 3 «Расчет электрической нагрузки предприятия» .....	34
Практическая работа № 4 «Выбор числа и мощности силовых трансформаторов на ПС».....	45
Практическая работа № 5 «Выбор токоведущих частей в сетях напряжением выше 1 кВ по условиям короткого замыкания».....	52
Практическая работа № 6 «Выбор разъединителей, отделителей, короткозамыкателей, выключателей нагрузки по условиям короткого замыкания».....	60
Практическая работа № 7 «Выбор высоковольтных выключателей по условиям короткого замыкания» .....	64
Практическая работа № 8 «Выполнение электрической принципиальной схемы электроснабжения предприятия».....	71
Практическая работа № 9 «Расчёт и выбор основного электрооборудования главной понижающей трансформаторной подстанции».....	76
Список использованных источников (перечень учебной, справочной и специальной литературы).....	95
Лист согласования .....	97

## Пояснительная записка

В данном сборнике приведены методические указания к выполнению практических работ по междисциплинарному курсу МДК03.01 *«Внешнее электроснабжение промышленных и гражданских зданий»*

Объем практических работ по МДК составляет 26 часов, что соответствует программе МДК 03.01 для студентов СПО специальности 08.02.09 *«Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования промышленных и гражданских зданий»*.

В методических указаниях сформулированы конкретные цели и задачи к каждой практической работе, составлены индивидуальные задания, представлены примеры решения практических задач.

В каждом указании к практической работе имеются краткие теоретические сведения, раскрывающие суть расчётов, выбора и проверки электрооборудования. Теоретические сведения помогают студентам не только систематизировать изучаемый материал, но, и осознано выполнять практические задания.

Практические работы выполняются по индивидуальному заданию. Отчет оформляется согласно содержанию, которое отражено в каждом методическом указании к выполнению практической работы. Выполненная работа оценивается только при условии оформления отчета и собеседования с преподавателем о полученных результатах.

Предусмотрено проведение девяти практических работ для очной формы обучения.

Образовательные результаты, подлежащие проверке в ходе выполнения практических и лабораторных работ по МДК03.01 *«Внешнее электроснабжение промышленных и гражданских зданий»* формируются у студента:

*практический опыт и компетенции:*

ПО 1 организации и выполнения монтажа и наладки электрических сетей;

ПО 2 участия в проектировании электрических сетей;

ПК 3.1 Организовывать и производить монтаж воздушных и кабельных линий с соблюдением технологической последовательности.

ПК 3.2 Организовывать и производить наладку и испытания устройств воздушных и кабельных линий.

ПК 3.3 Участвовать в проектировании электрических сетей

ОК1 Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.

ОК2 Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.

ОК3 Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.

ОК4 Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.

ОК5 Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.

ОК6 Работать в коллективе и команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями.

ОК7 Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), за результат выполнения заданий.

ОК8 Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.

ОК9 Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности.

*умения:*

У 1 составлять отдельные разделы проекта производства работ

У 2 анализировать нормативные правовые акты при составлении технологических карт на монтаж воздушных и кабельных линий;

У 3 анализировать нормативные документы при составлении технологических карт на монтаж электрических сетей

У 4 выполнять монтаж воздушных и кабельных линий в соответствии с проектом производства работ, рабочими чертежами, требованиями нормативных документов и техники безопасности

У 5 выполнять приемо-сдаточные испытания

У 6 оформлять протоколы по завершению испытаний

У 7 выполнять работы по проверке и настройке устройств воздушных и кабельных линий,

У 8 выполнять расчет электрических нагрузок электрических сетей, осуществлять выбор токоведущих частей на разных уровнях напряжения

У 9 выполнять проектную документацию с использованием персонального компьютера

*знания:*

Зн.1 требования приемки строительной части под монтаж линий

Зн. 2 государственные, отраслевые и нормативные правовые акты по монтажу и приемо-сдаточным испытаниям электрических сетей

Зн.3 номенклатуру наиболее распространенных воздушных проводов, кабельной продукции и электромонтажных изделий

Зн. 4 технологию работ по монтажу воздушных и кабельных линий в соответствии с современными нормативными требованиями

Зн.5 методы наладки устройств воздушных и кабельных линий

Зн.6 основные методы расчета и условия выбора электрических сетей.

### Критерии оценки:

Оценка	Критерии
«Отлично»	<p>1 Практические задания выполнены правильно и в полном объеме с соблюдением технологической последовательности.</p> <p>2 Правильно выбрано электрооборудование и определены параметры по справочной литературе, дана расшифровка марки выбранного электрооборудования.</p> <p>3 Проявляются организационно-трудовые умения, профессиональные и общие компетенции.</p> <p>4 Отчет выполнен грамотно и с соблюдением требований.</p> <p>5 Даны правильные ответы на контрольные вопросы.</p>
«Хорошо»	<p>1 Практические задания в основном выполнены правильно и самостоятельно, с соблюдением технологической последовательности.</p> <p>2. Проявляются организационно-трудовые умения, профессиональные и общие компетенции.</p> <p>3 Допущены неточности при определении характеристик и параметров электрооборудования.</p> <p>4 В отчёте допущены отдельные неточности, выводы сделаны верные.</p> <p>5 Даны ответы на контрольные вопросы.</p>
«Удовлетворительно»	<p>1. Задания выполняются правильно не более, чем на половину, однако объем выполненной части таков, что позволяет получить правильные результаты и выводы по основным, принципиально важным заданиям.</p> <p>2 Проявляются отдельные профессиональные и общие компетенции.</p> <p>3. Задание выполнено частично с помощью преподавателя.</p> <p>3 В отчёте допущены неточности, выводы сделаны неполные.</p> <p>5 Даны неполные ответы на контрольные вопросы.</p>
«Неудовлетворительно»	<p>1 Вычисления выполнялись с помощью преподавателя.</p> <p>2 Проявляются отдельные профессиональные и общие компетенции.</p> <p>3 Параметры электрооборудования определены по справочной литературе с ошибками.</p> <p>4 Отчет оформлен небрежно, выводы не соответствуют полученным результатам.</p> <p>5 Ответы на контрольные вопросы не даны.</p>

## **Практическая работа № 1**

### **«Расчет токов короткого замыкания в электрических сетях напряжением выше 1 кВ в относительных и именованных единицах»**

**Учебная цель:** закрепить навыки расчета токов короткого замыкания в системе электроснабжения различными методами.

#### **Порядок выполнения работы:**

- 1 Составить по расчётной схеме (индивидуальное задание приложение 1) схему замещения.
- 2 Перенести точки короткого замыкания на схему замещения.
- 3 Задаться базисными значениями по напряжению и мощности.
- 4 Выполнить расчёт токов короткого замыкания в указанных точках схем (индивидуальное задание).
- 5 Результаты расчёта свести в таблицу результатов расчёта.
- 6 Сделать вывод о проделанной работе.

#### **Краткие теоретические сведения**

Согласно требованиям ПУЭ г.1.4 электрические аппараты и проводники в электроустановках должны быть выбраны по условиям электродинамического и термического действия токов короткого замыкания (КЗ). Для обеспечения надежности электроснабжения аппараты, которые предназначены для отключения токов КЗ или могут по условиям своей работы включать короткозамкнутую цепь, должны, кроме того, обладать способностью производить эти операции при всех возможных токах КЗ.

Стойкими при токах КЗ являются те аппараты и проводники, которые при расчетных условиях выдерживают воздействия этих токов, не подвергаясь электрическим, механическим и иным разрушениям или деформациям, препятствующим их дальнейшей нормальной эксплуатации.

Согласно ПУЭ п.1.4.6 расчетный ток короткого замыкания следует определять, исходя из условия повреждения в такой точке рассматриваемой цепи, при КЗ в которой аппараты и проводники этой цепи находятся в наиболее тяжелых условиях.

Порядок расчета токов короткого замыкания ( $I_{кз}$ ) **в относительных единицах**. Этот метод применяется для определения величин  $I_{кз}$  в сетях напряжением выше 1000 В.

1. Составляется расчетная схема и намечается расчетная точка.

2 По расчетной схеме составляется схема замещения, заменяя элементы их сопротивлениями.

3 Задаются базисными условиями  $S_б$  и  $U_б$ :

$S_б$  – базисная мощность, МВА, принимается равной сумме номинальных мощностей источников питания (генераторов) – если это известно, но если этих данных нет, то  $S_б$  принимается условно равной числу, удобному для расчетов. Чаще всего это 100 МВА или 1000 МВА.

$U_б$  – базисное напряжение, кВ. Это напряжение больше на 5% от номинального напряжения в расчетной точке, его ещё называют средним напряжением. Шкала средних значений напряжений: 0,23 кВ; 0,4 кВ; 0,525 кВ; 0,69 кВ; 6,3 кВ 10,5 кВ; 10,5 кВ; 37 кВ; 115 кВ; 230 кВ; 346,5 кВ.

4 Величина базисного тока кА, рассчитывается по формуле:

$$I_б = \frac{S_б}{\sqrt{3}U_б} = \frac{[MBA]}{[kV]} \quad (1)$$

5 Определяются величины относительных сопротивлений ( $X_*$ ) элементов до точки короткого замыкания по формулам:

5.1 для энергосистемы:

а) 
$$X_{*c} = \frac{S_б}{S_k} \quad (2)$$

где  $S_K$ - мощность короткого замыкания, МВА;

$$\text{б) } X_{*c} = X_{*r} = X_d \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{\text{НОМ}\cdot 2}} \quad (3)$$

где  $X_{*r}$  — относительное сопротивление генератора;

в) Если  $S_c = \infty$ , то  $X_c = 0$

5.2 для двухобмоточного трансформатора:

$$X_{*тр} = \frac{U\%}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{\text{НОМ}\cdot тр}} \quad (4)$$

5.3 для линии:

$$X_{*л} = X_{ол} \cdot L \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{cp}^2} \quad (5)$$

где  $U_{cp}$ - среднее значение напряжения от рабочего напряжения линии, кВ,

$L$  – длина линии электропередач, км

$$r_{*л} = r_{ол} \cdot L \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{cp}^2} \quad (6)$$

5.4 для реактора:

$$X_{*р} = \frac{X_p\%}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{cp}^2} \quad (7)$$

6 Определяется суммарное относительное сопротивление от энергосистемы до расчётной точки  $X_{*к\Sigma}$ , преобразуя схему замещения. Для этого рассчитывается эквивалентные сопротивления последовательно и параллельно включенных элементов:

а) для последовательно соединения элементов:

$$X_{*экв} = X_{*1} + \dots + X_{*n} \quad (8)$$

в) для параллельного соединения элементов:

$$X_{*экв} = \frac{X_{*1} \cdot X_{*2}}{X_{*1} + X_{*2}} \quad (9)$$

г) для параллельного соединения элементов с одинаковым сопротивлением:

$$X_{*экв} = \frac{X_{*1}}{n} \quad (10)$$

где  $n$  – число параллельных ветвей.

7 Определяются значения токов короткого замыкания по формулам:

а) Установившийся ток короткого замыкания, кА:

$$I_k = \frac{I_6}{X_{*к\Sigma}} \quad (11)$$

или

$$I_k = \frac{U_6}{\sqrt{3} \cdot X_{*к\Sigma}} \quad (12)$$

б) ударный ток короткого замыкания, кА:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_k \cdot K_{уд} \quad (13)$$

где  $K_{уд}$  - ударный коэффициент, зависящий от места точки короткого замыкания

в энергосистеме, принимается равным 1,8.

в) мощность короткого замыкания в расчётной точке, МВА:

$$S_k = \sqrt{3} \cdot I_k \cdot U_6 \quad (14)$$

Порядок расчёта токов короткого замыкания **в именованных единицах.**

1 Составляется расчётная схема и намечаются расчётные точки.

2 По расчётной схеме составляется схема замещения, заменяя элементы их сопротивлениями.

3 Задаются базисные значения мощности и напряжения (п.1.4).

4 Определяются сопротивления элементов по схеме замещения по формулам:

- для энергосистемы, Ом:

а) 
$$X_c = \frac{U_6^2}{S_k} = \frac{[\text{кВ}]^2}{[\text{МВА}]} \quad (15)$$

б) 
$$X_{*c} = X_r = X_d \cdot \frac{U_6^2}{S_{НГ}} \quad (16)$$

в) Если  $S_c = \infty$ , то  $X_c = 0$

- для двухобмоточного трансформатора, Ом:

$$X_{*тр} = \frac{U_K\%}{100} \cdot \frac{U_6^2}{S_{Н.ТР}} \quad (17)$$

- для линии, Ом:

$$X_l = X_{ол} \cdot 1 \cdot \frac{U_6^2}{U_{ср}^2} \quad (18)$$

- для реактора, Ом:

$$X_p = \frac{X_p\%}{100} \cdot \frac{U_{62}^2}{U_{cp}^2} \quad (19)$$

5 Определяется суммарное сопротивление основного электрооборудования до расчётной точки  $X_k$ , преобразуя схему замещения. Для этого определяются эквивалентные сопротивления последовательно и параллельно включенных элементов по формулам 8,9,10 :

6 Определяется значения токов короткого замыкания по формулам 11, 12,13:

### Пример расчёта

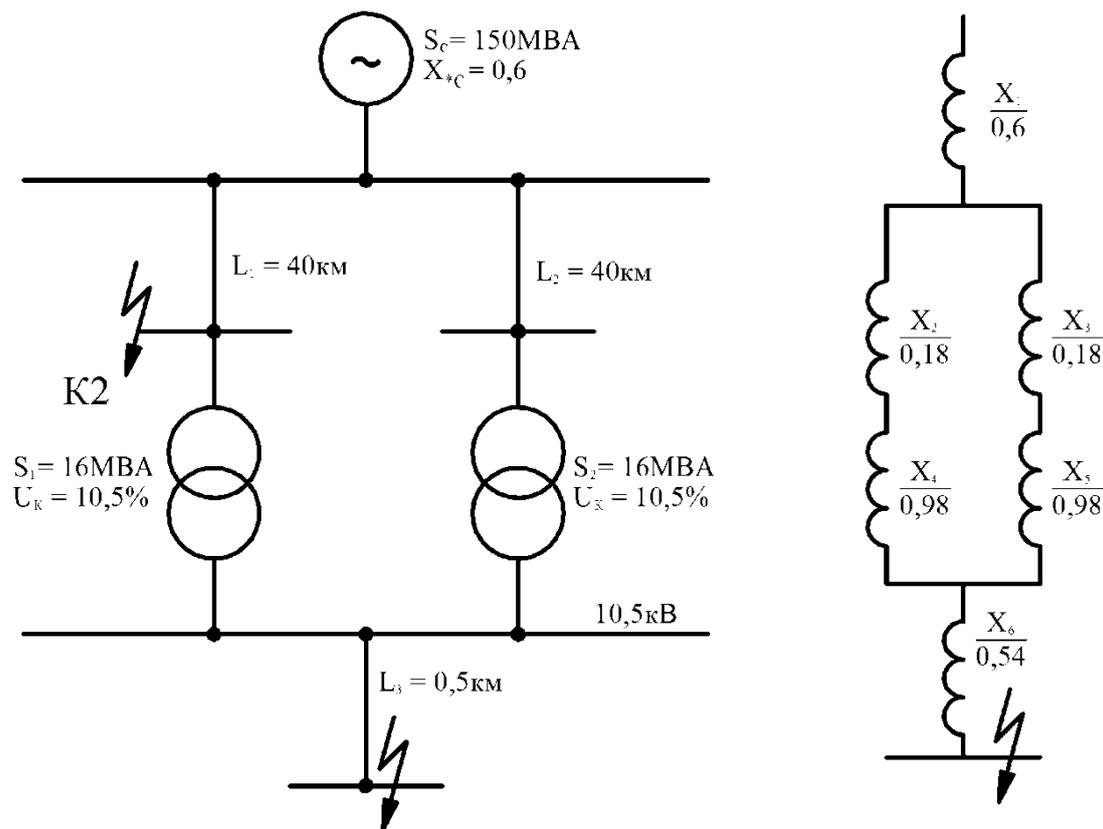


Рисунок 1 Расчётная схема(а) и схема замещения(б)

Для системы с условиями, указанными на схеме (рис.1) , определить ток и мощность КЗ в точке К. Расчёт выполнить в относительных единицах.

Решение а ) задаются базисные условия:

$$S_6 = S_c = 150\text{МВ} \cdot \text{А}; U_{61} = 115\text{кВ}; U_{62} = 10,5\text{кВ};$$

Б) составляется по расчётной схеме - схема замещения (рис 1б);

В) рассчитывается сопротивление элементов системы по базисным условиям, по формуле(5):

$$X_{*2} = X_{*3} = 0,4 \cdot 40 \cdot \frac{150}{115^2} = 0,18.$$

Сопротивление двухобмоточного трансформатора определяется по формуле(4)

$$X_{*4} = X_{*5} = \frac{10,5 \cdot 150}{100 \cdot 16} = 0,98.$$

Сопротивление кабельной линии рассчитывается по формуле (6)

$$X_{*6} = 0,08 \cdot 0,5 \cdot \frac{150}{10,5^2} = 0,054;$$

Г) определяется суммарное сопротивление основного электрооборудования до точки короткого замыкания

$$X_{*\text{рез}} = X_{*1} + \frac{X_{*2} + X_{*4}}{2} + X_6 = 0,6 + \frac{0,18 + 0,98}{2} + 0,054 = 1,23;$$

Д) базисный ток определяется по формуле(1)

$$I_6 = \frac{150}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 8,3 \text{кА};$$

Е) ток КЗ в точке К по формуле (11)

$$I_k = \frac{8,3}{1,23} = 6,74 \text{кА};$$

Ж) ударный ток КЗ в точке К определяется по формуле (13)

$$i_y = \sqrt{2} * 1,6 \cdot 6,74 = 17,18 \text{кА};$$

З) мощность трёхфазного КЗ рассчитывается по формуле (14)

$$S_k = \sqrt{3} \cdot 115 \cdot \frac{150}{1,23} = 121,9 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$$

### **Содержание отчета:**

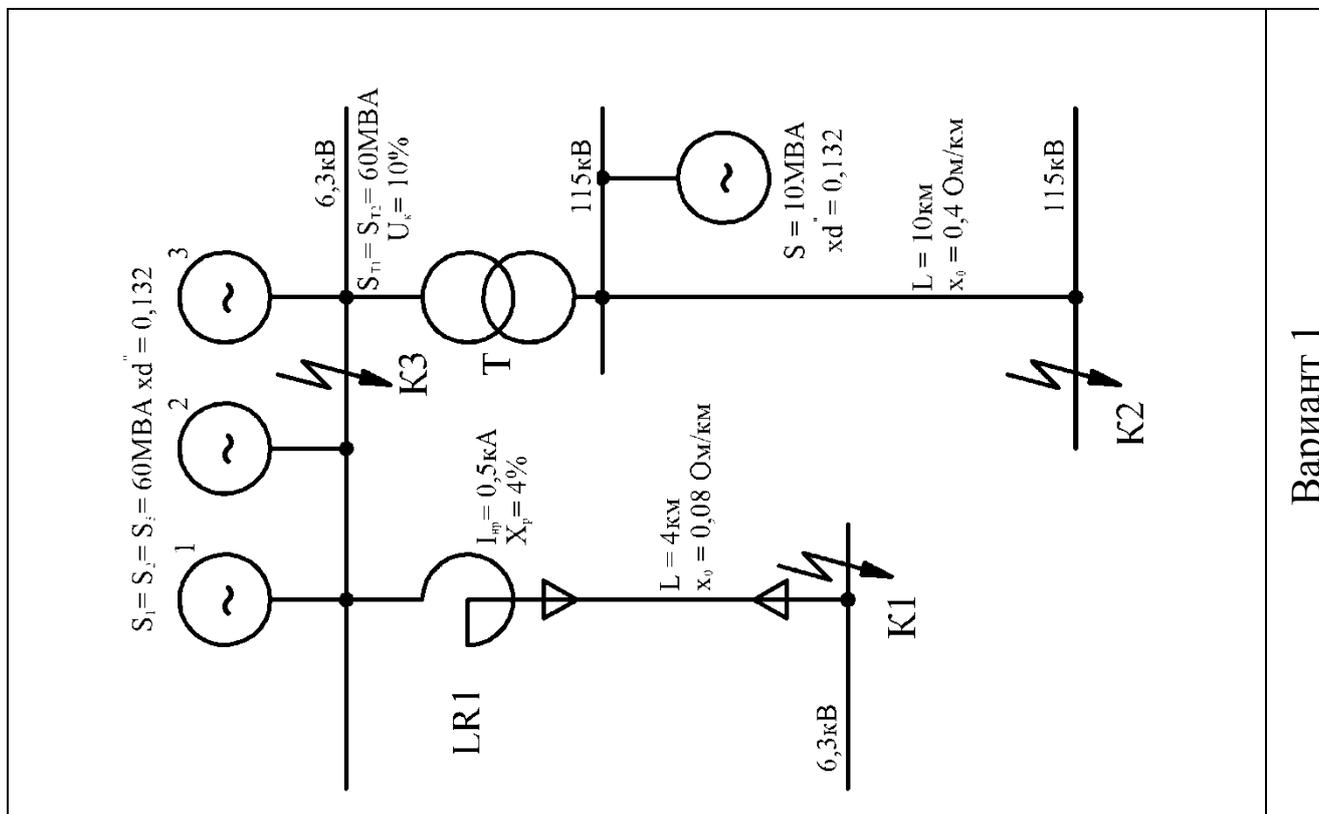
1. Номер практической работы, ее название.
2. Учебная цель.
3. Расчётная схема, схема замещения.
4. Решение задачи.
5. Вывод о проделанной работе.
6. Ответы на контрольные вопросы.

### **Контрольные вопросы**

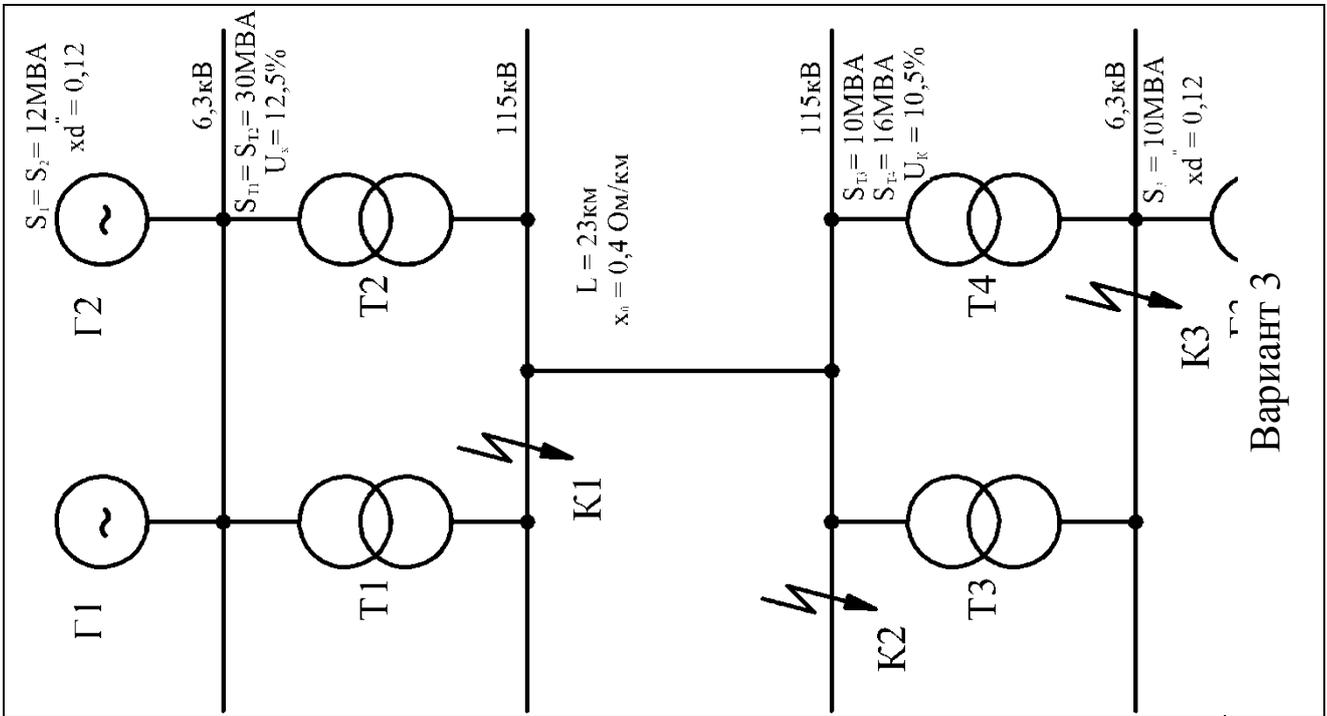
1. Порядок расчёта тока короткого замыкания в именованных единицах?
2. Порядок расчёта тока короткого замыкания в относительных единицах?
3. Для чего выполняют расчёт токов короткого замыкания?
4. Что такое базисные условия?

5 Чем отличается расчёт токов короткого замыкания в электроустановках до 1 кВ и выше 1 кВ?

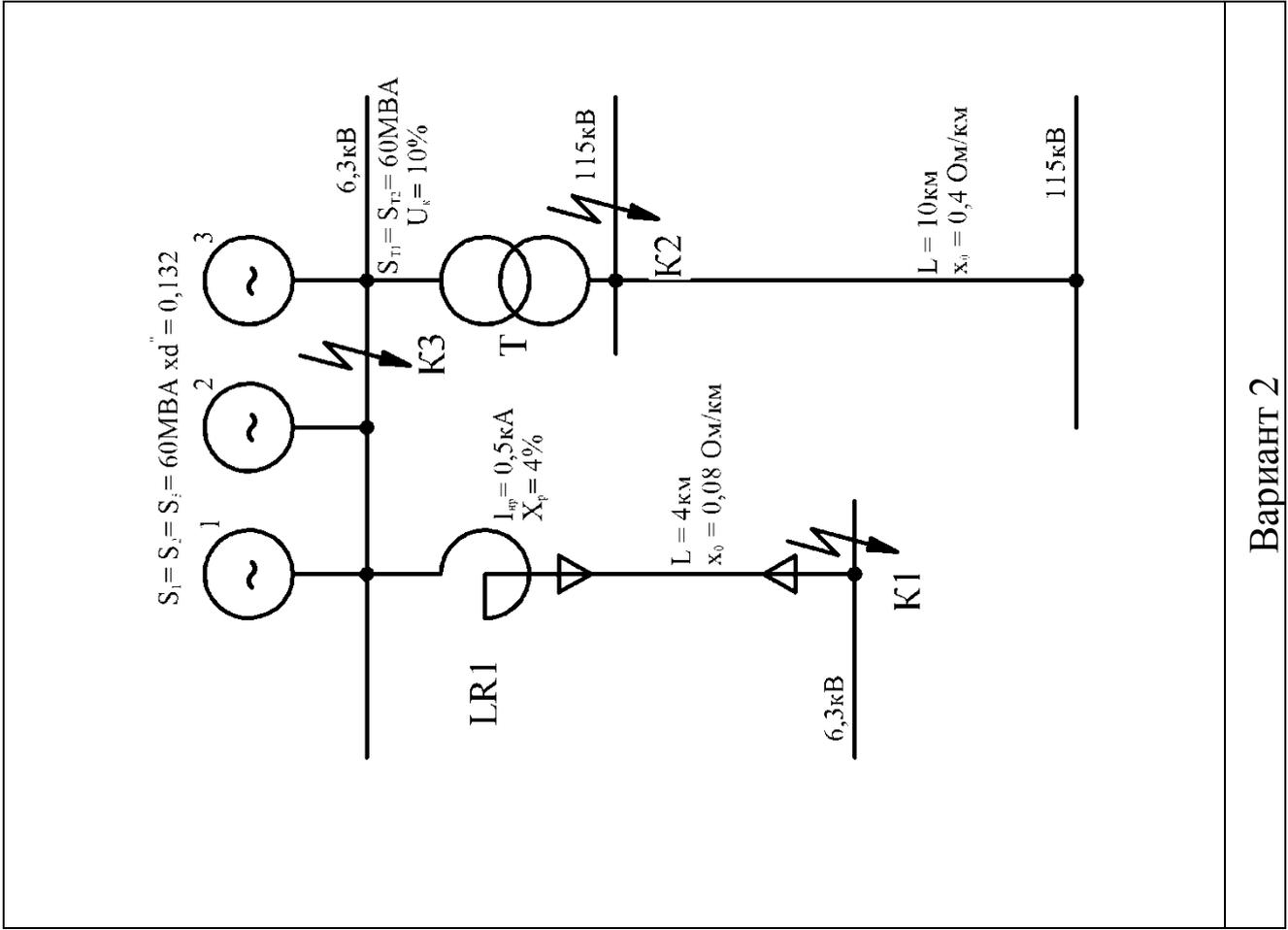
### Приложение 1 Индивидуальное задание



Вариант 1

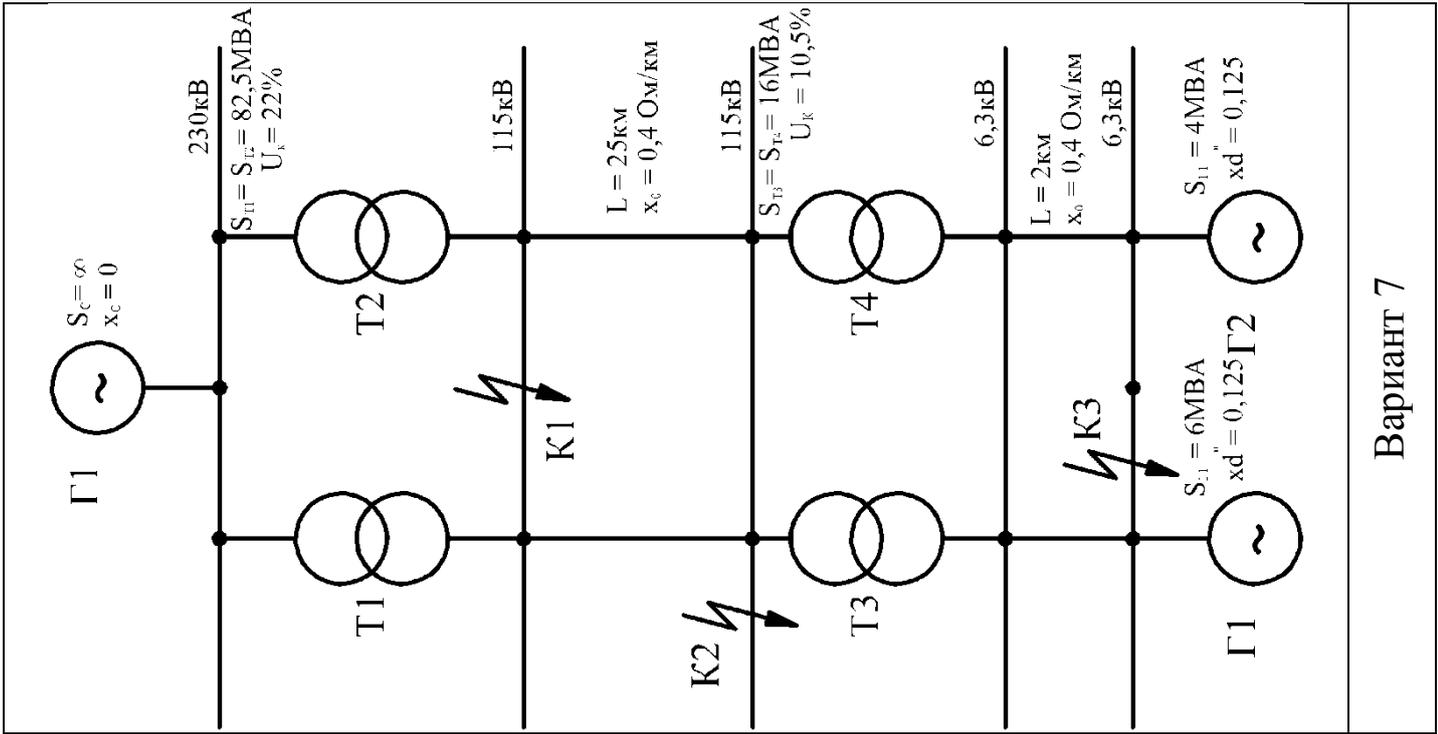


Вариант 3

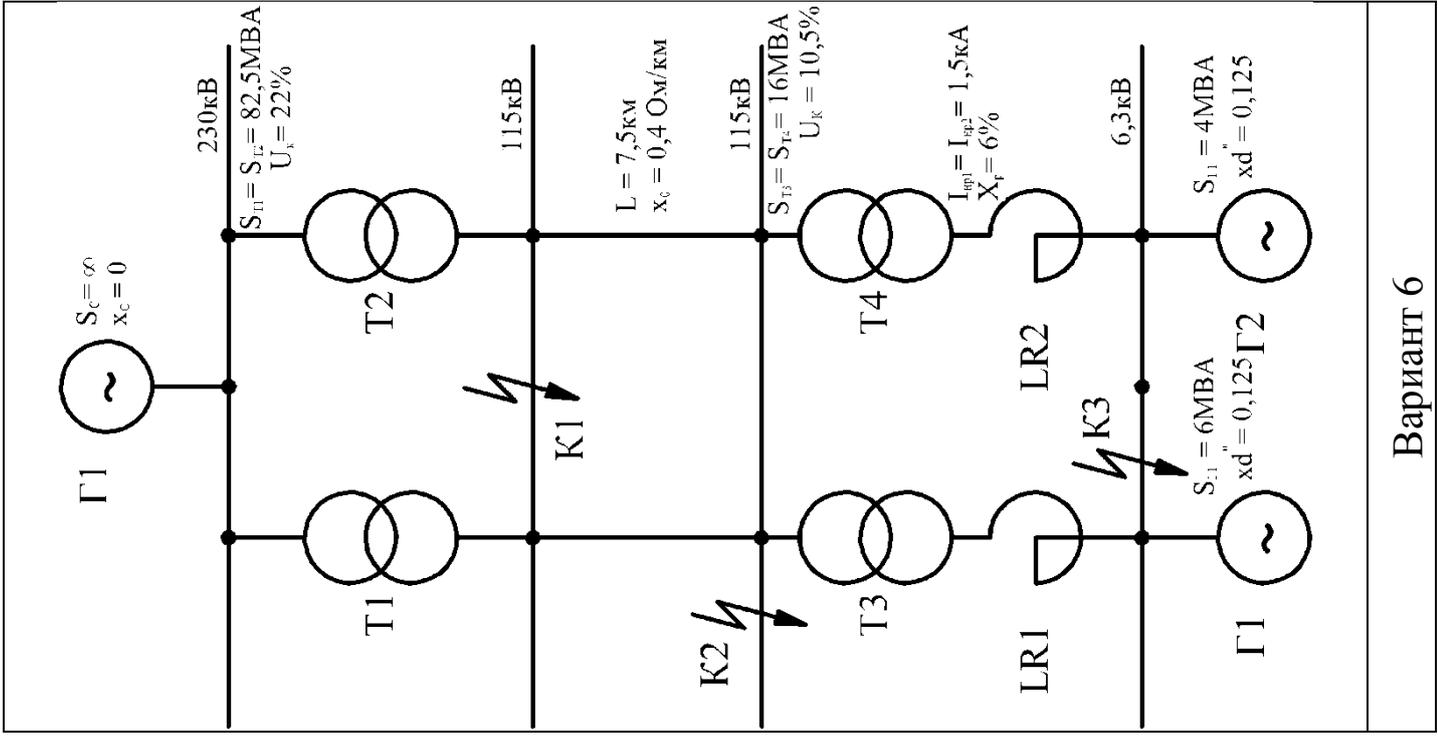


Вариант 2

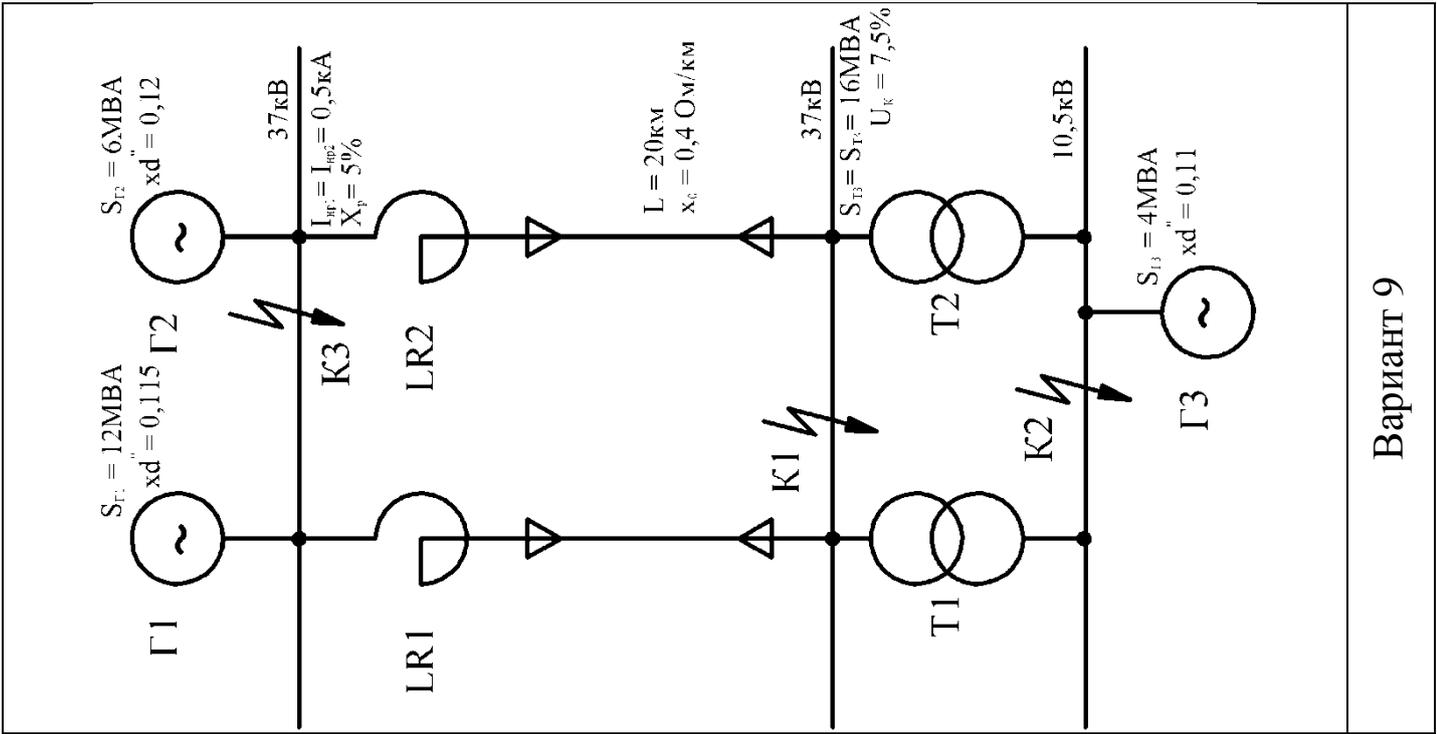




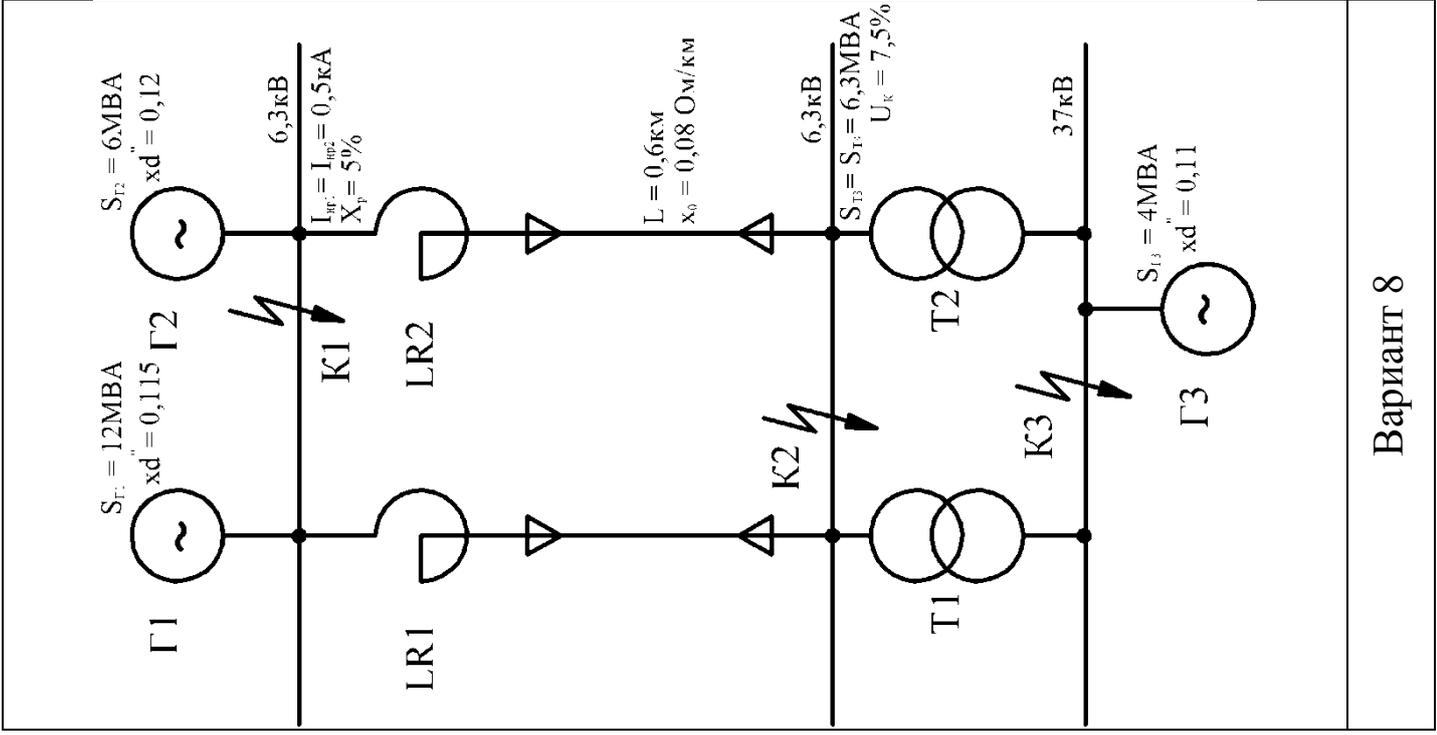
Вариант 7



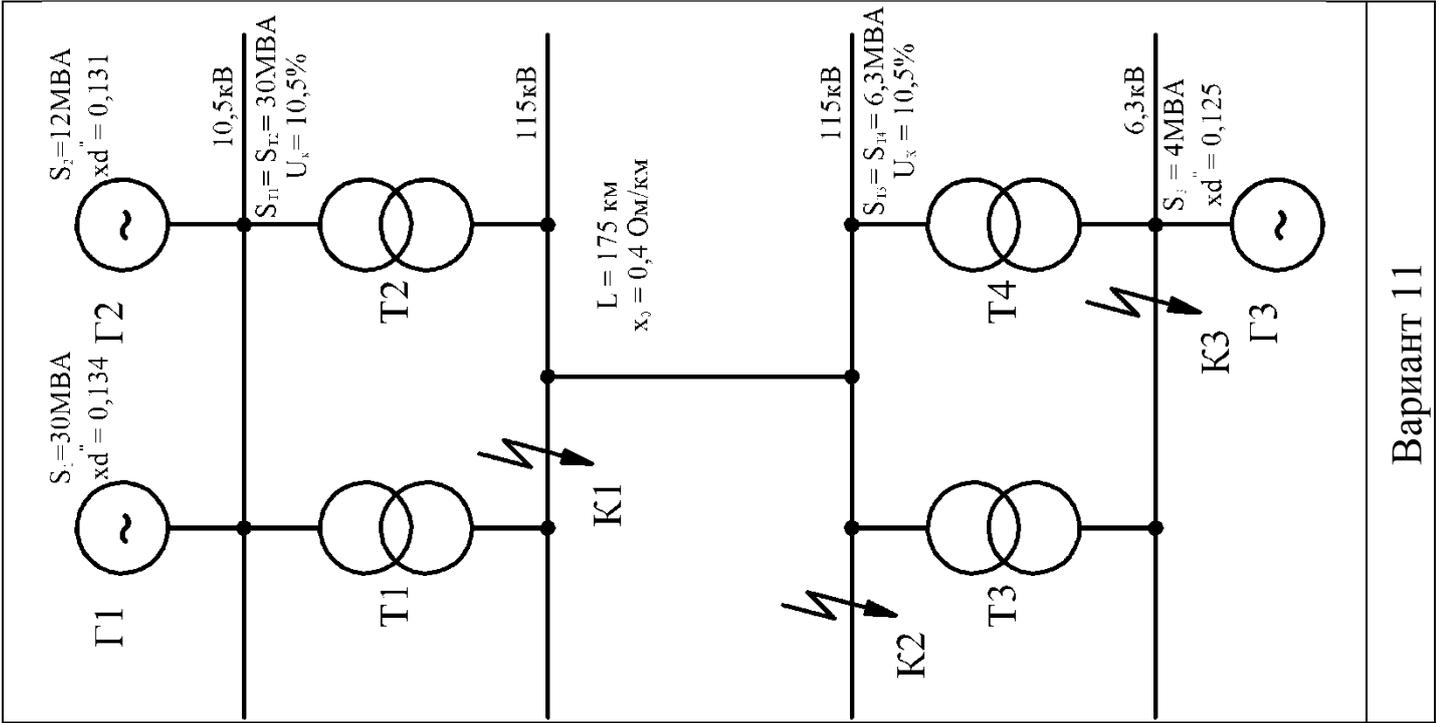
Вариант 6



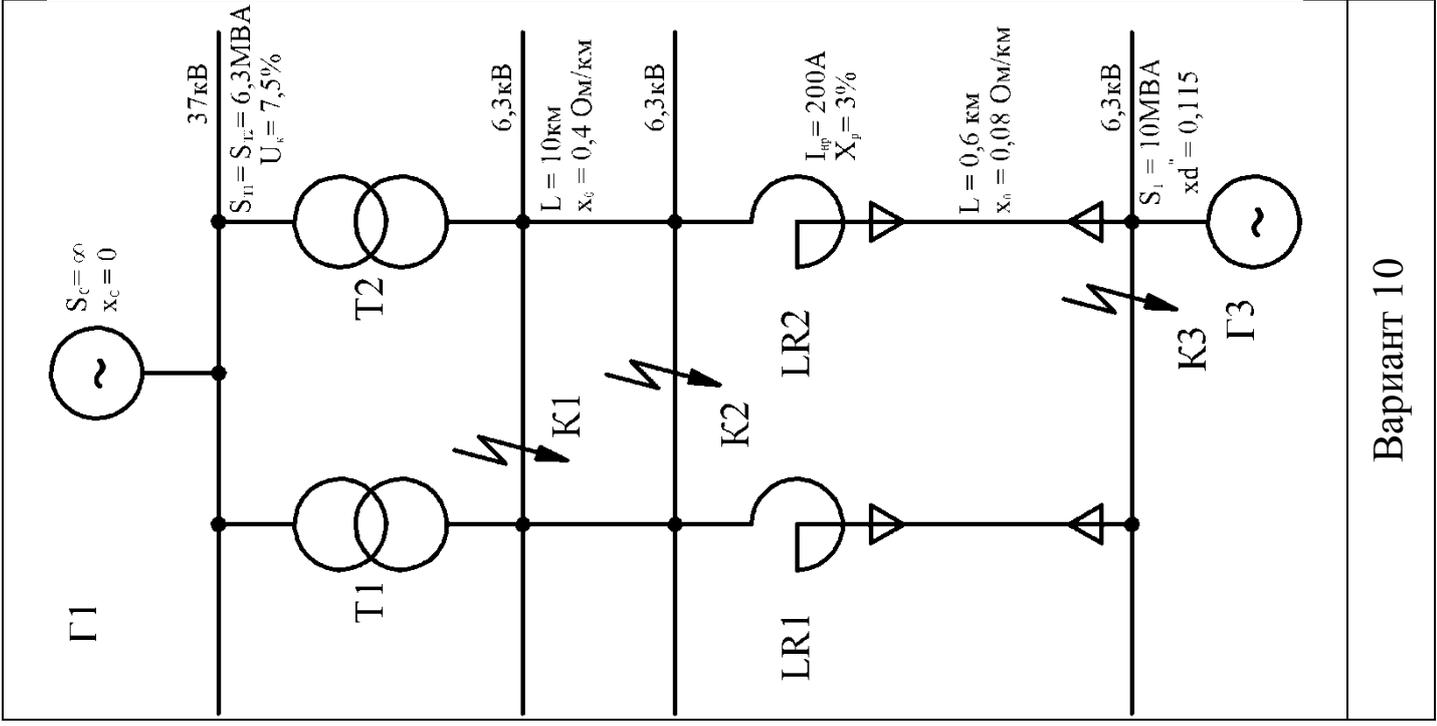
Вариант 9



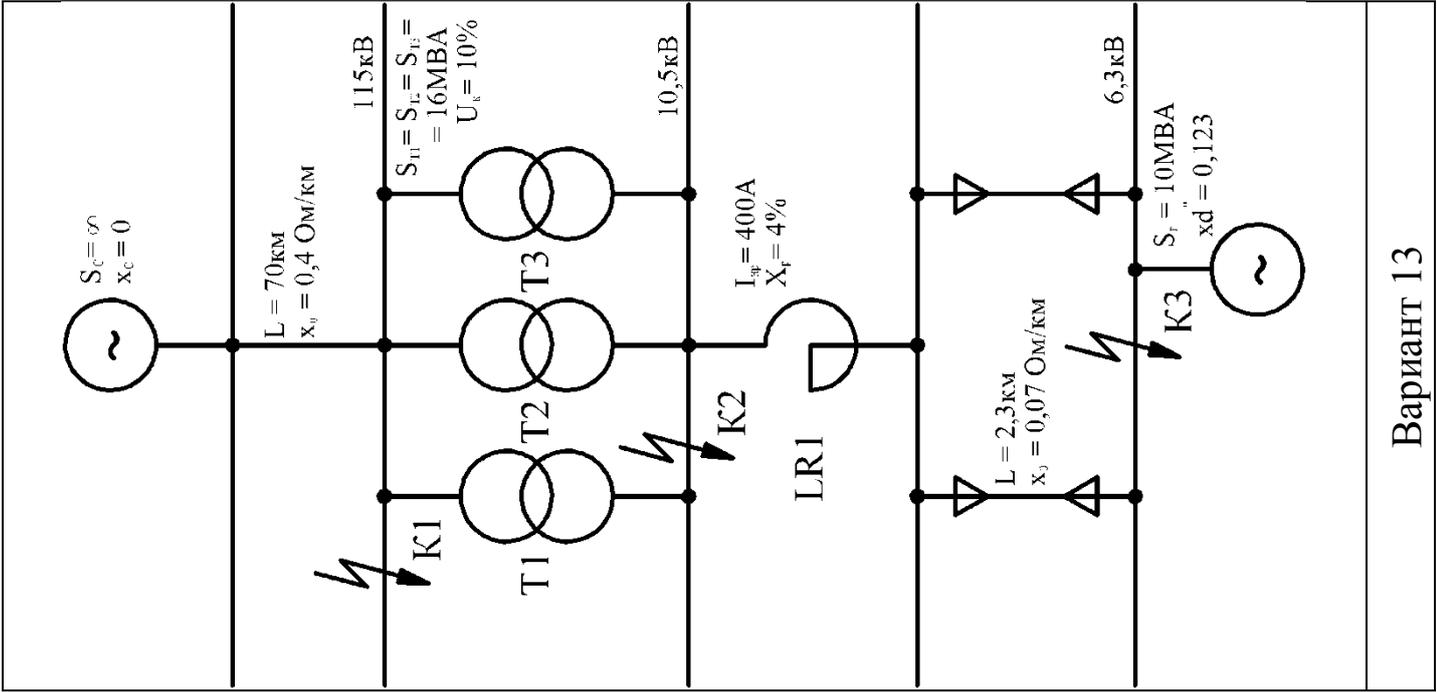
Вариант 8



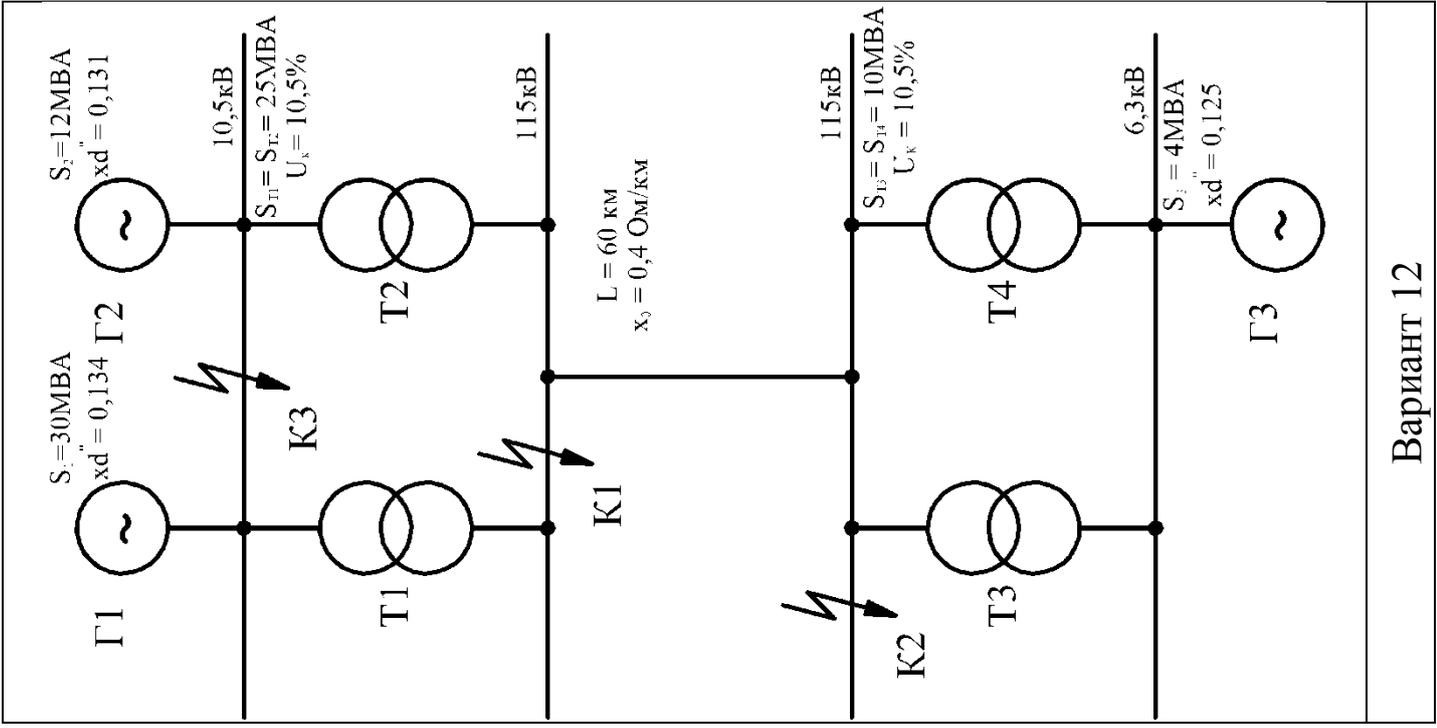
Вариант 11



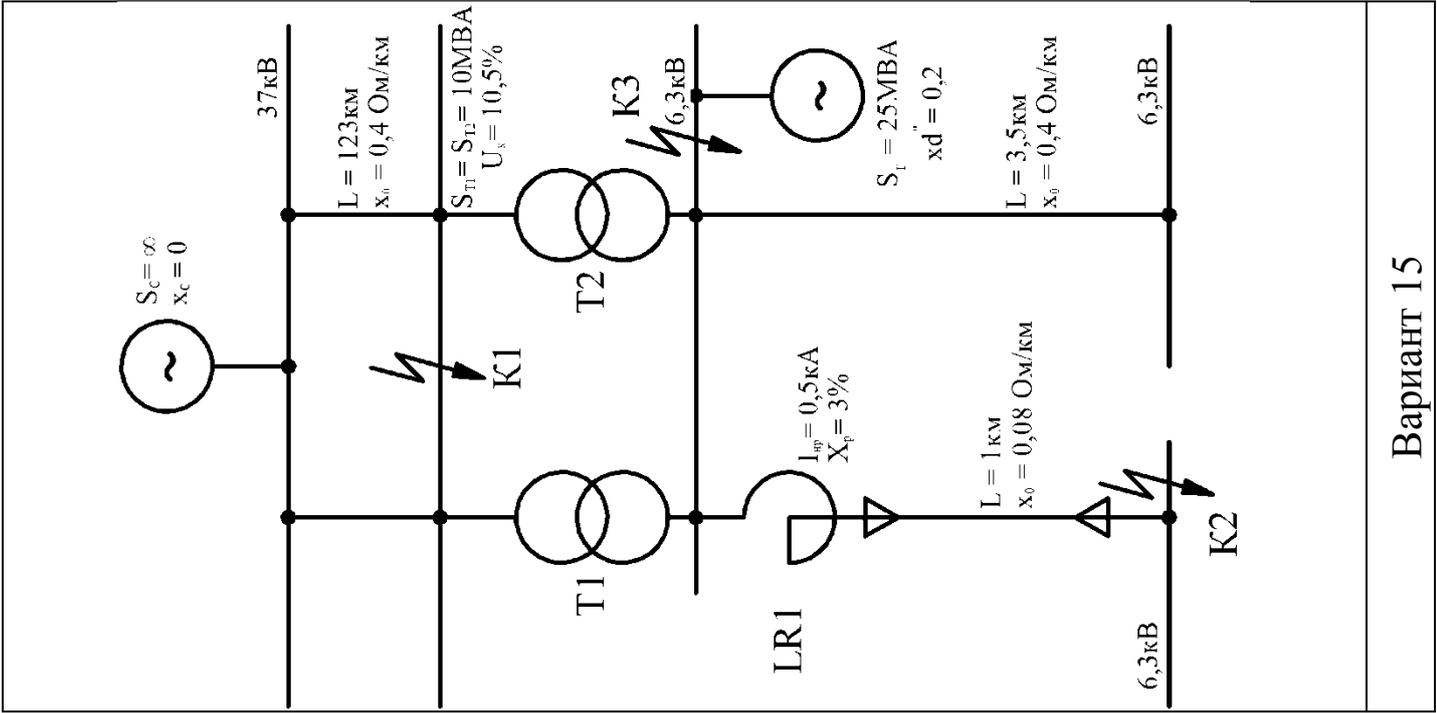
Вариант 10



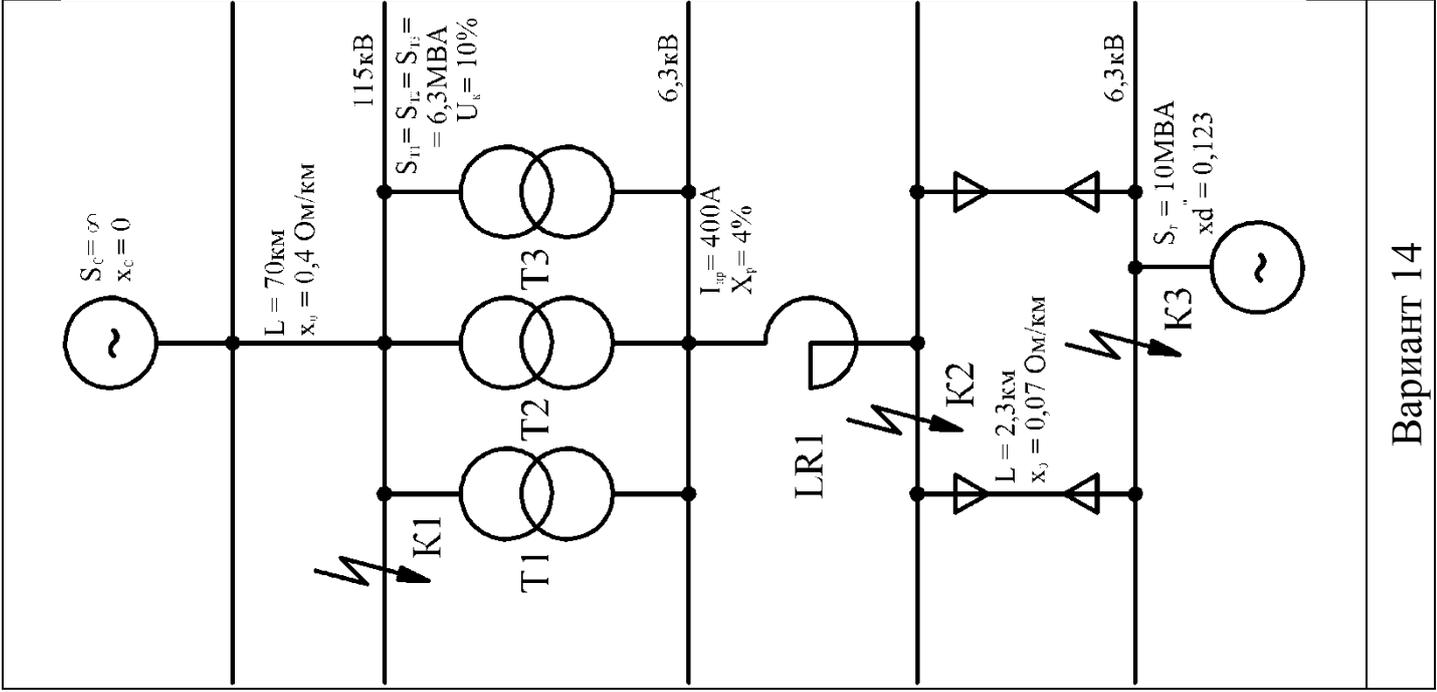
Вариант 13



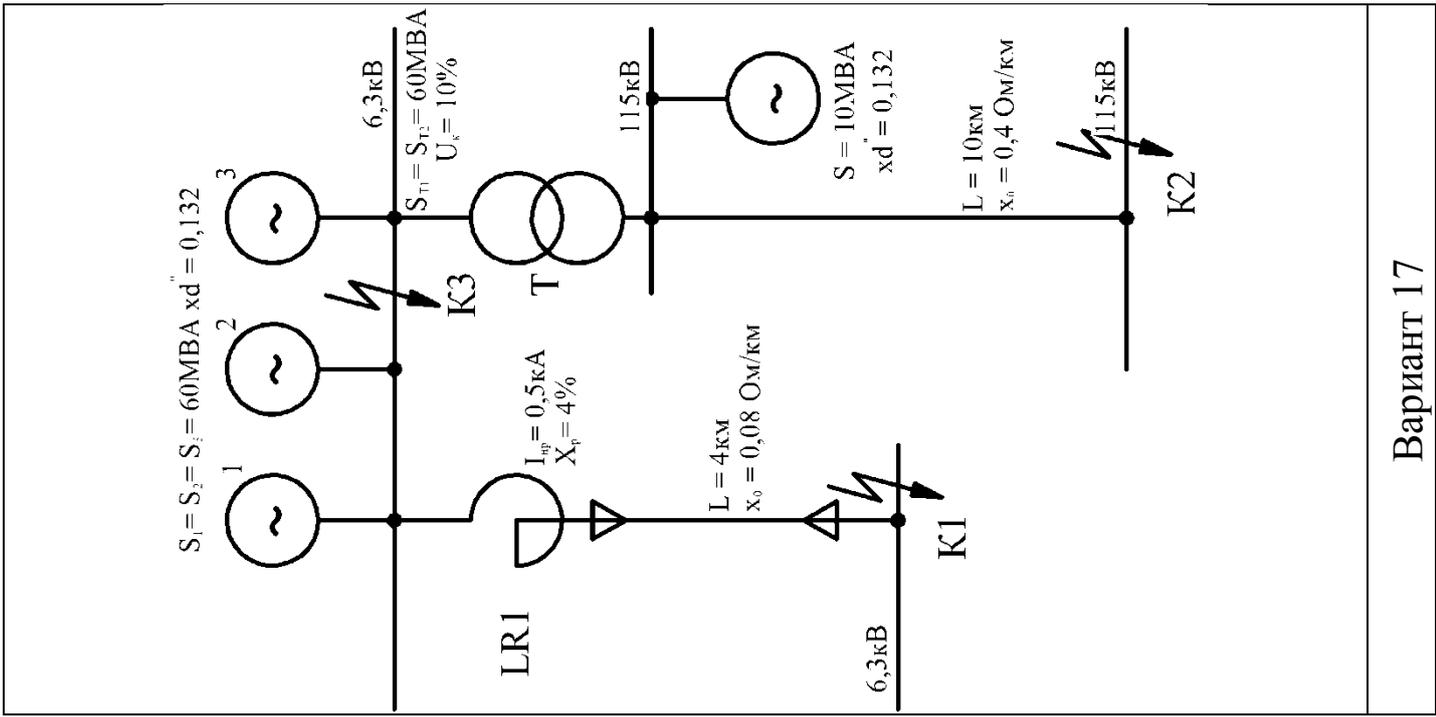
Вариант 12



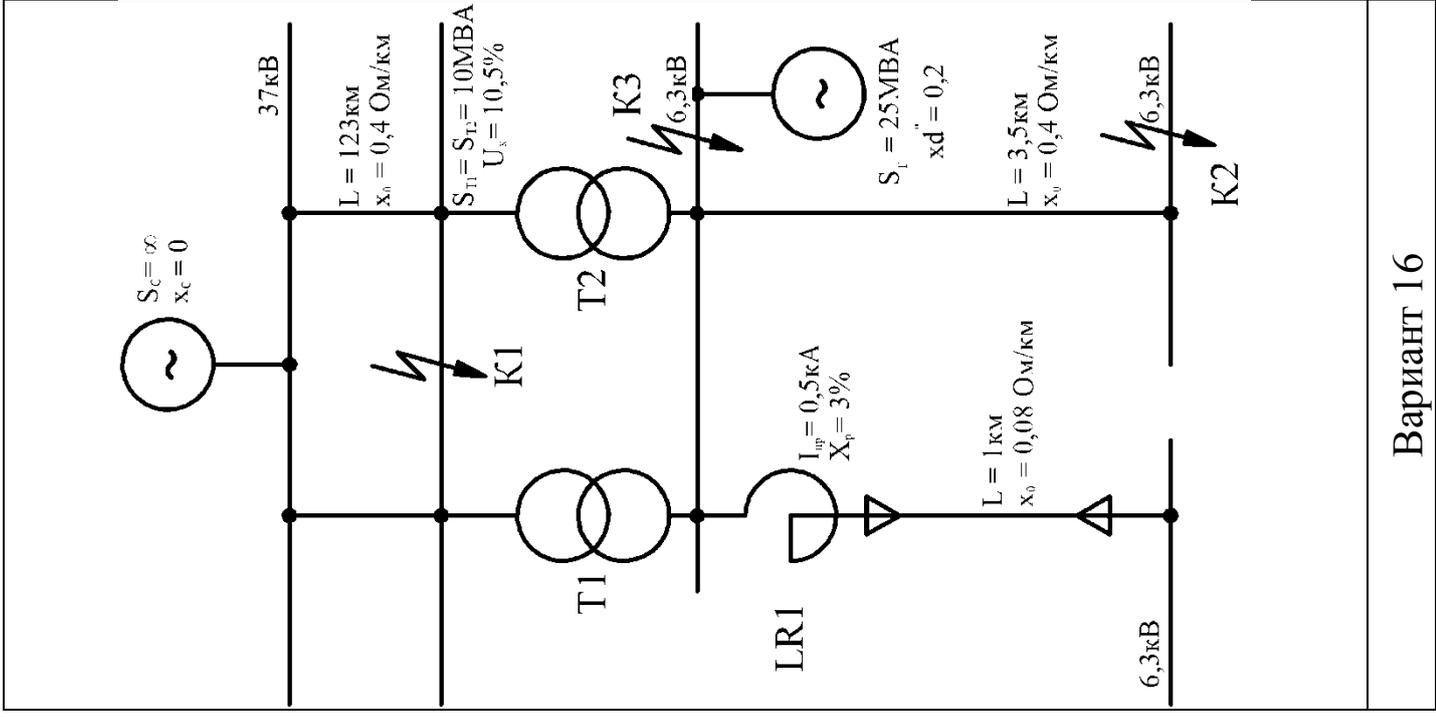
Вариант 15



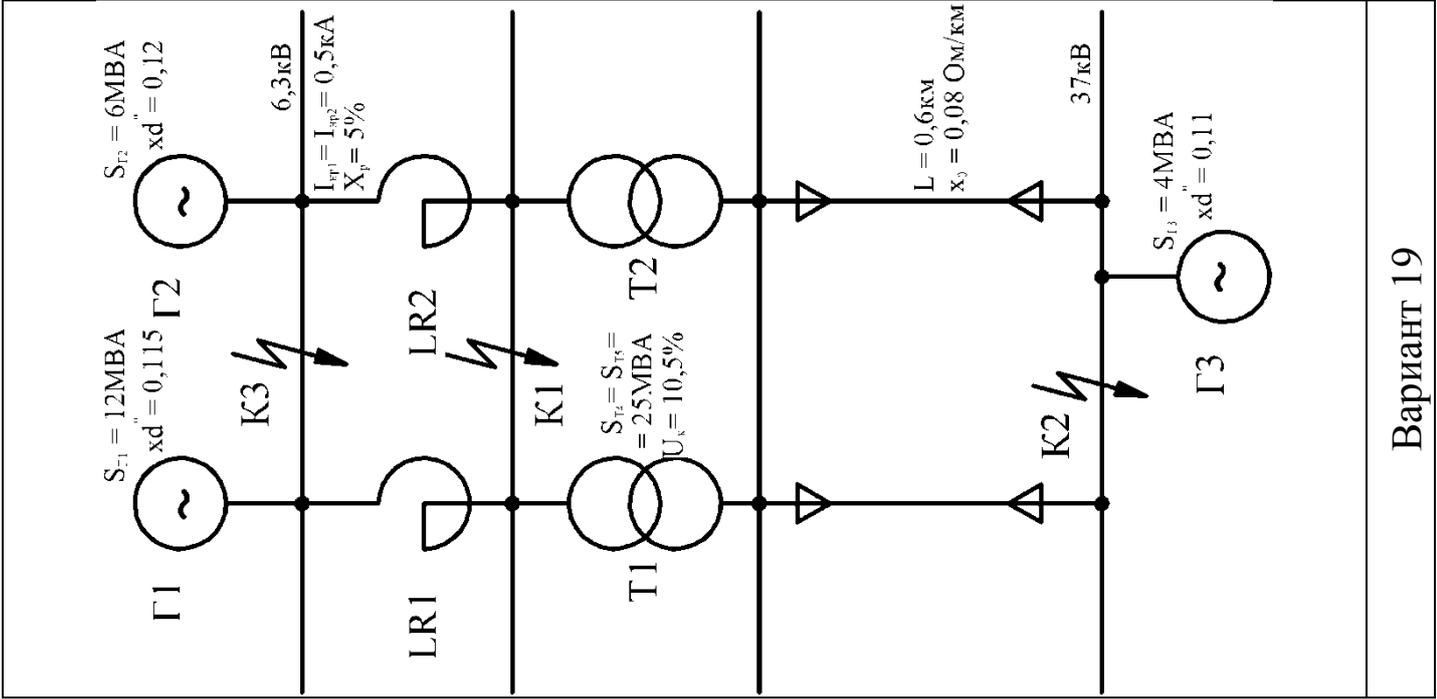
Вариант 14



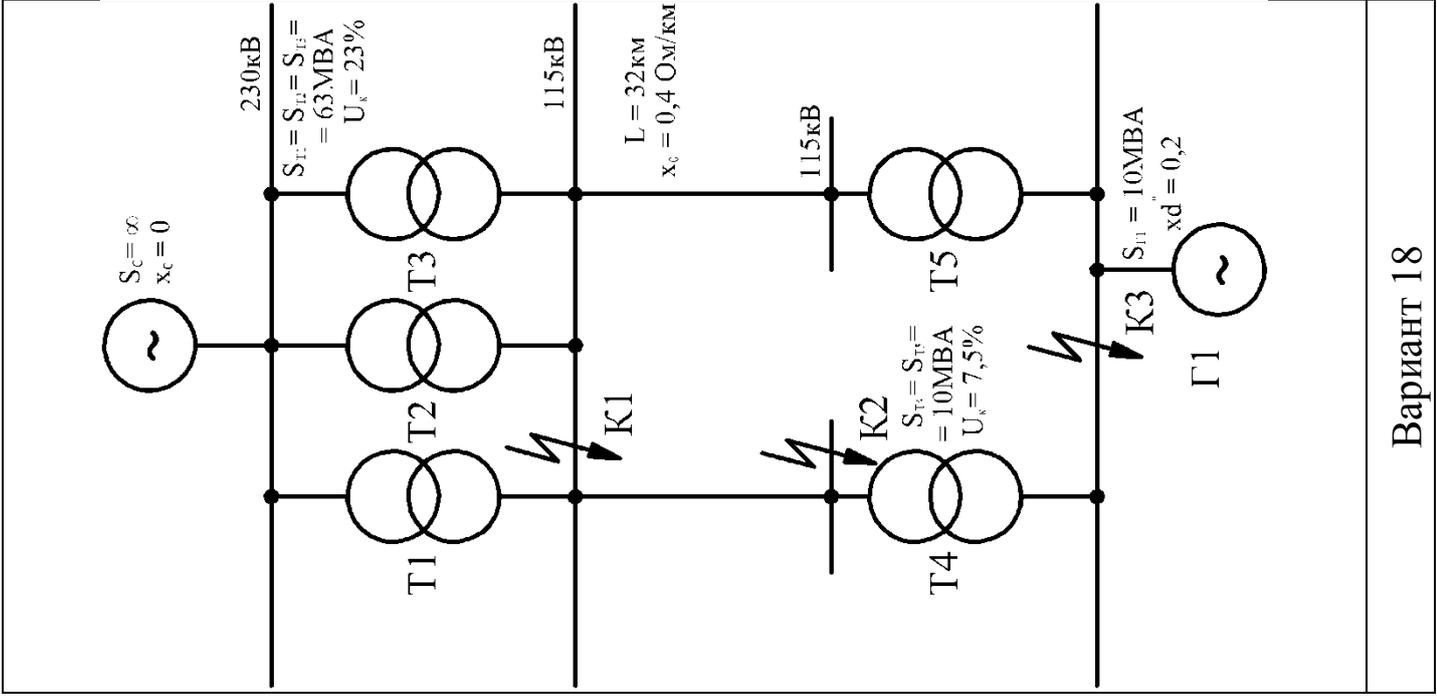
Вариант 17



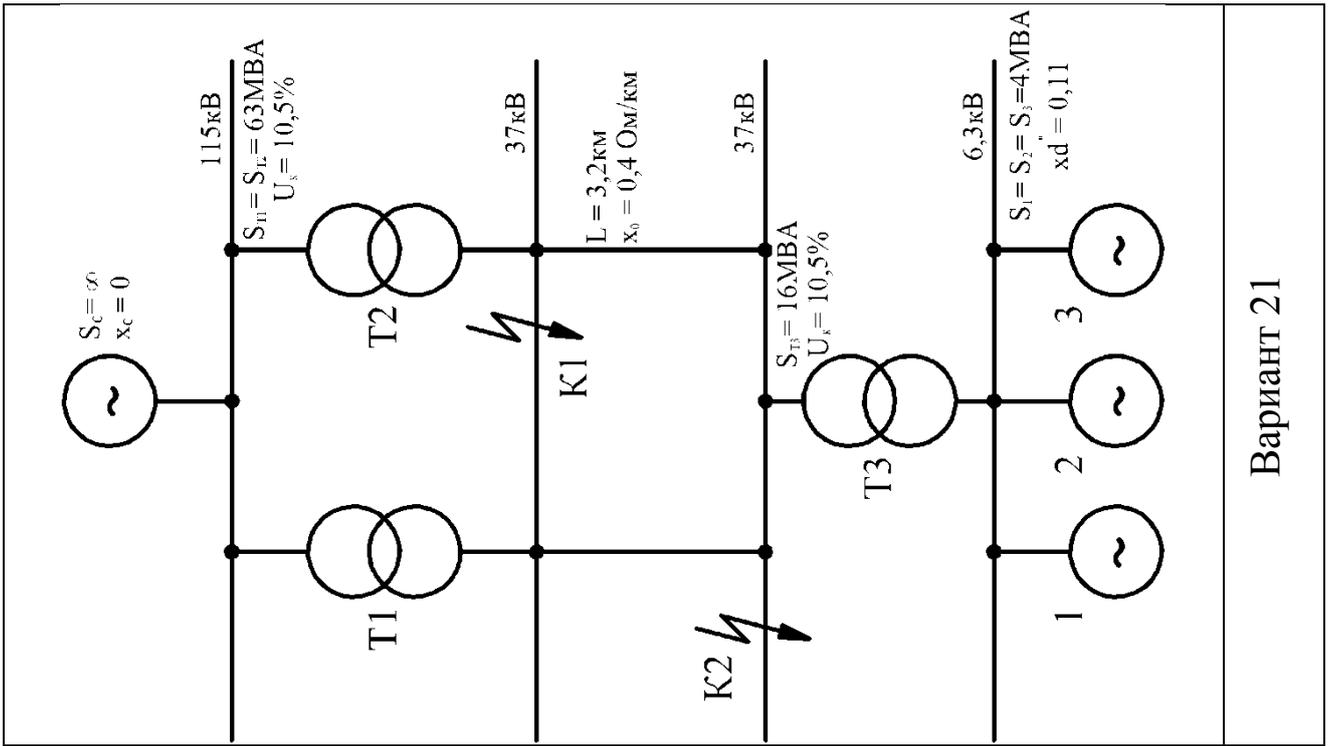
Вариант 16



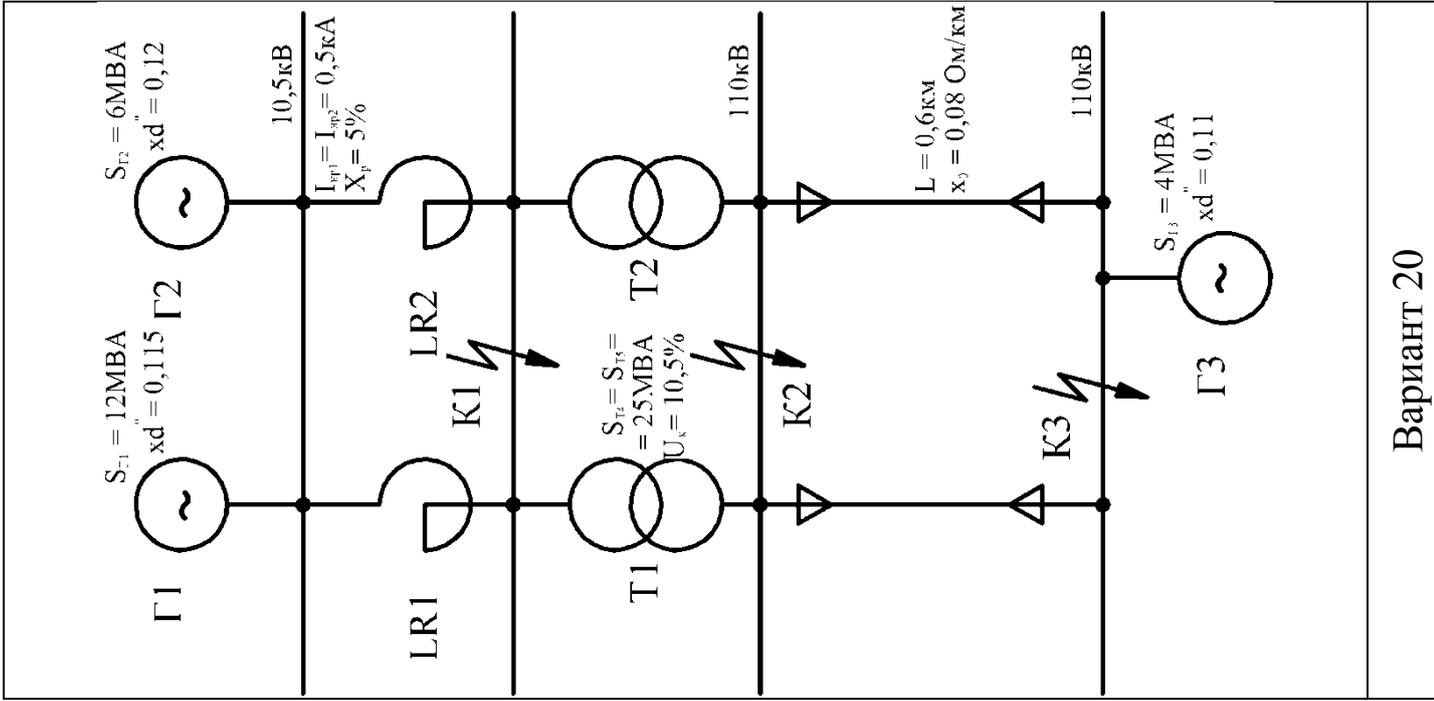
Вариант 19



Вариант 18

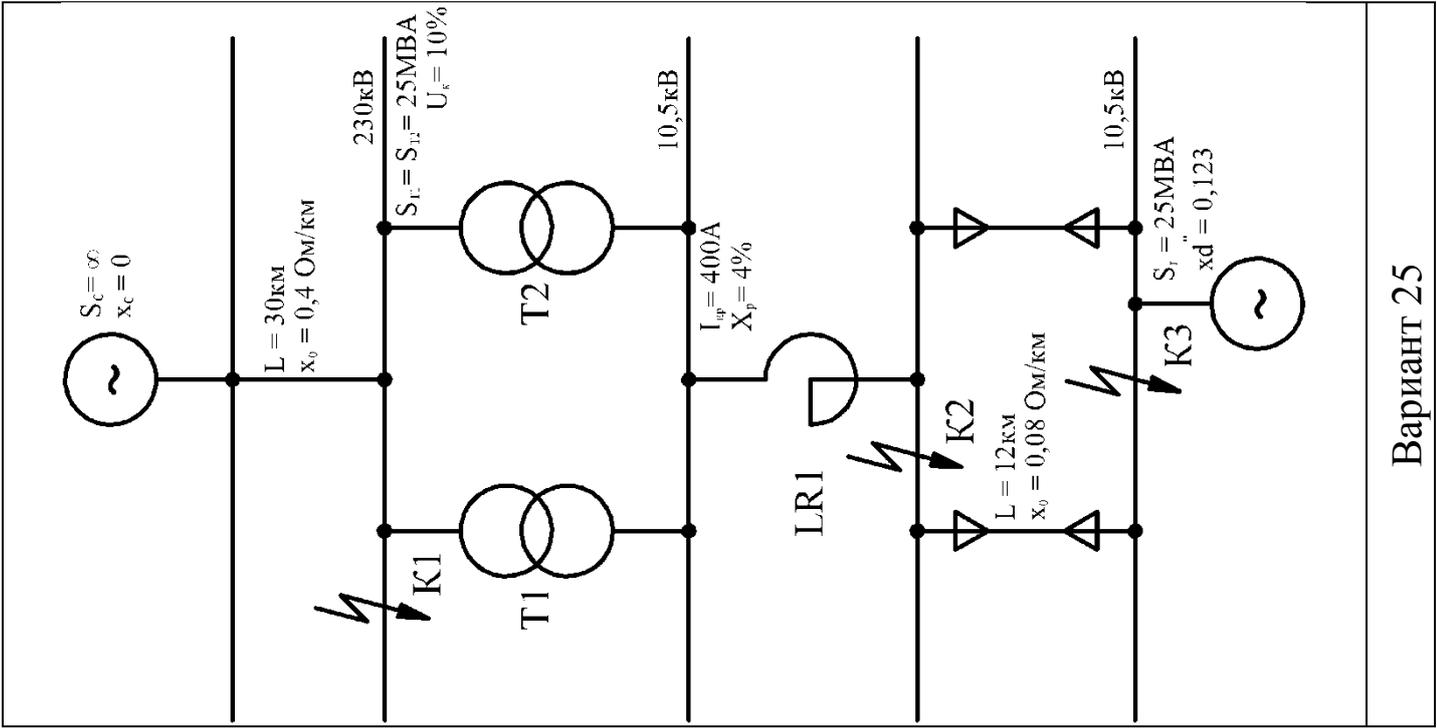


Вариант 21

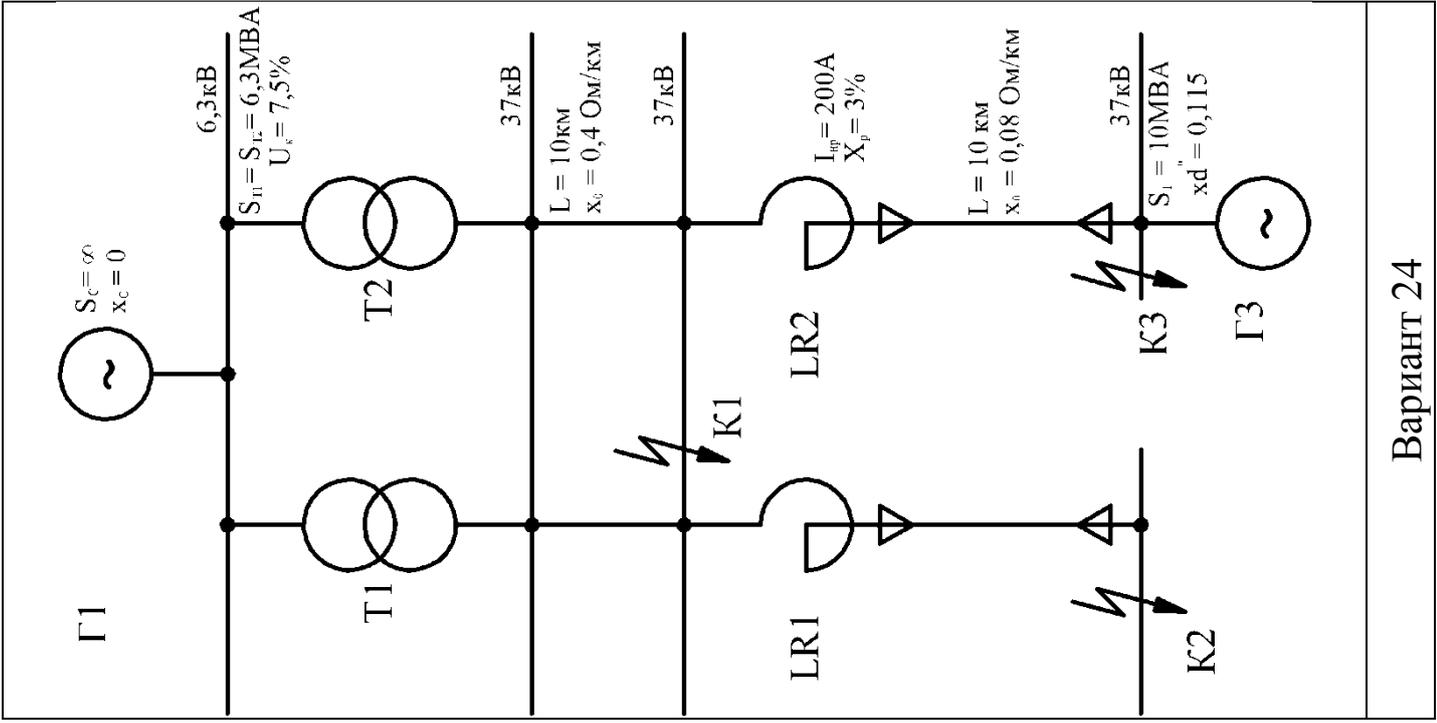


Вариант 20





Вариант 25



Вариант 24

## Практическая работа № 2

### «Расчёт токов короткого замыкания по расчётным кривым»

**Учебная цель:** закрепить навыки расчета токов короткого замыкания в системе электроснабжения различными методами.

#### Порядок выполнения работы

- 1 Составить по индивидуальному заданию (приложение 1) схему замещения.
- 2 Задаться базисными значениями по напряжению и мощности.
- 3 Выполнить расчёт токов короткого замыкания по расчётным кривым.
- 4 Результаты расчёта свести в таблицу результатов расчёта.
- 5 Сделать вывод о проделанной работе.

#### Краткие теоретические сведения

Если точка короткого замыкания находится вблизи источника питания (на шинах электростанции или на линии, ближайшей к ней), то периодическую слагающую тока короткого замыкания можно определить по расчётным кривым (кривым затухания). Указанные кривые (рис.1) представляют собой зависимость кратности периодической слагающей тока короткого замыкания  $k_t$  от расчётного сопротивления (для времени, принимаемого от начала возникновения короткого замыкания).

#### Порядок расчёта токов короткого замыкания по расчётным кривым

- 1 Составляется расчётная схема и намечаются расчётные точки.
- 2 По расчётной схеме составляется схема замещения, заменяя элементы их сопротивлениями.
- 3 Задаются базисные значения мощности и напряжения.
- 4 Определяются сопротивления до точки короткого замыкания в относительных единицах.

Расчётное сопротивление  $x_{*расч}$  представляет собой сопротивление схемы замещения, отнесённое к суммарной номинальной мощности источника питания:

$$X_{*расч} = \frac{X_{*б} S_{ном \Sigma}}{S_{б}} \quad (1)$$

Если при расчёте  $S_{б} = S_{ном}$  то  $X_{*расч} = X_{*б}$

Определение индуктивного сопротивления для электрооборудования схемы:

- для генератора

$$б) \quad X_{*г} = X_d \cdot \frac{S_{б}}{S_{ном \cdot г}} \quad (2)$$

для реактора

$$X_p = \frac{X_p \%}{100} \cdot \frac{S_{б}}{U_{ср}^2} \quad (3)$$

2 Определяется суммарное относительное сопротивление от энергосистемы до расчётной точки  $X_{*к\Sigma}$ , преобразуя схему замещения. Для этого рассчитываются эквивалентные сопротивления последовательно и параллельно включенных элементов:

а) для последовательно соединения элементов:

$$X_{*эКВ} = X_{*1} + \dots + X_{*n} \quad (4)$$

в) для параллельного соединения элементов, Ом:

$$X_{*эКВ} = \frac{X_{*1} \cdot X_{*2}}{X_{*1} + X_{*2}} \quad (5)$$

г) для параллельного соединения элементов с одинаковым сопротивлением:

$$X_{*экв} = \frac{X_{*1}}{n} \quad (6)$$

где  $n$  – число параллельных ветвей.

3 Определяется периодическая слагающая тока короткого замыкания  $K_t$  по расчётным кривым рис 1. требуемого момента времени по рис 1.

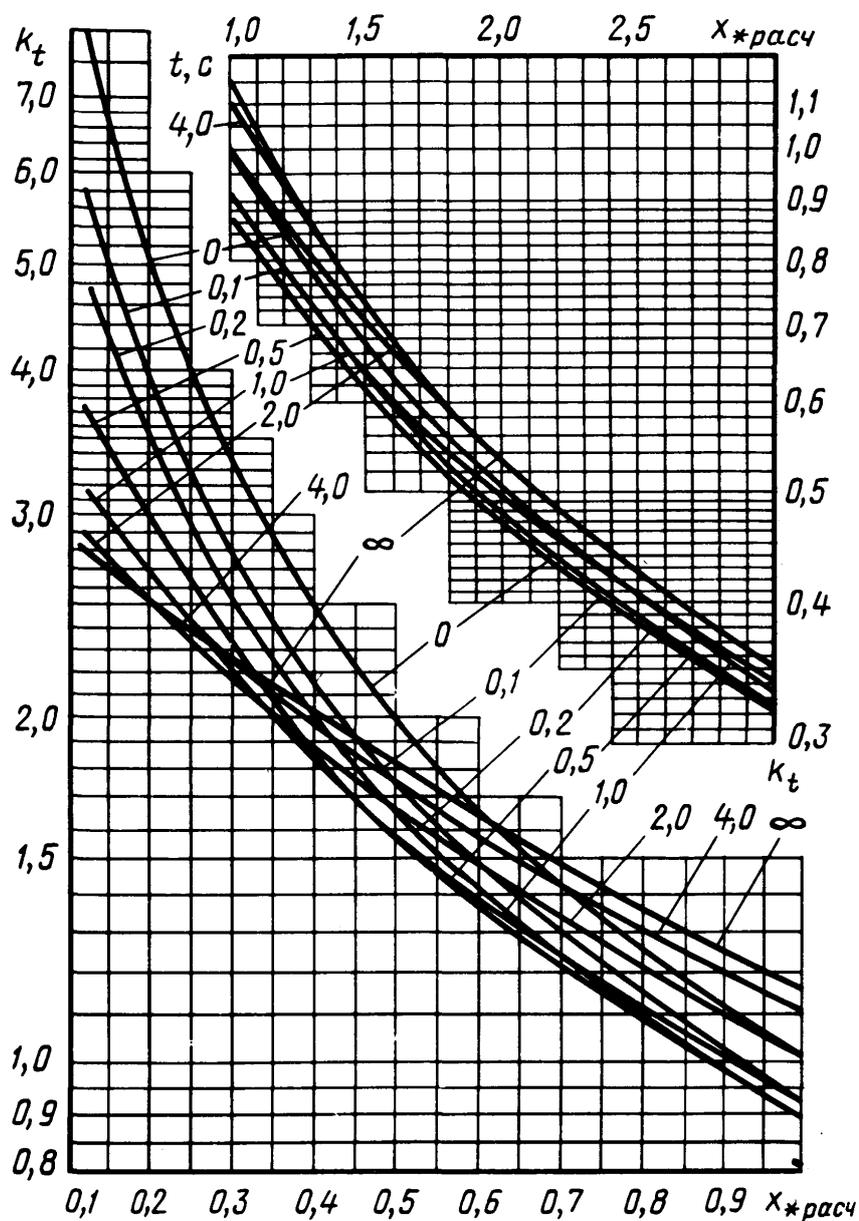


Рисунок 1 Кратность периодической составляющей тока трехфазного короткого замыкания

4 Определяется установившийся ток короткого замыкания, кА

$$I_t = K_t \cdot I_{\Sigma_{\text{НОМ}}} \quad (7)$$

где  $I_{\Sigma_{\text{НОМ}}}$  – суммарный номинальный ток источник питания, кА,  
рассчитывается по формуле:

$$I_{\Sigma_{\text{НОМ}}} = \frac{S_{\text{НОМ.Г}\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} \quad (8)$$

Ударный ток короткого замыкания, кА, определяется по формуле:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot I_t \cdot K_{\text{уд}} \quad (9)$$

где  $K_{\text{уд}}$  - ударный коэффициент, зависящий от места точки короткого замыкания

в энергосистеме, принимается равным 1,8.

$S_{\text{НОМ}\Sigma}$  - мощность всех генераторов в энергосистеме , МВА.

б) мощность короткого замыкания, МВА рассчитывается по формуле:

$$S_t = K_t \cdot S_{\text{НОМ}\Sigma} \quad (10)$$

Пример расчёта Дано:

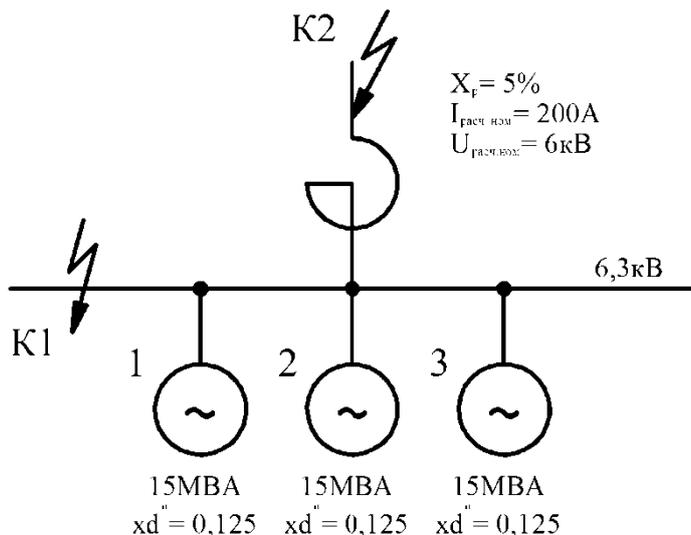


Рисунок 2 Расчётная схема

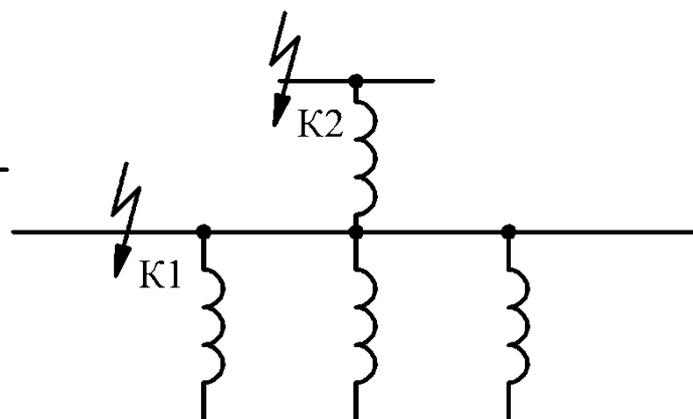


Рисунок 3 Схема замещения

Принимается за расчётную базисную мощность суммарная мощность турбогенераторов станции:

$$S_6 = S_{\text{ном}\Sigma} = 3 \cdot 15 = 45 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

Расчётные сопротивления турбогенератора  $x_{\text{расч.г}}$  и на шинах станции (для точки  $K_1$ ) рассчитывается по формуле (1):

$$x_{\text{расч.г}} = 0,125 \cdot \frac{45}{15} = 0,375;$$

$$x_{\text{расч.экв}} = \frac{x_{\text{расч.г}}}{3} = 0,125.$$

По расчётным кривым (рис. 1), если время действия тока короткого замыкания принимается равным нулю, то при расчётном сопротивлении  $x_{\text{расч}} = 0,125$  кратность периодической составляющей тока трехфазного короткого замыкания будет составлять  $K_t = 8$ .

Суммарный номинальный ток источника питания, определяется по формуле (8)

$$I_{\Sigma} = \frac{45}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 4,1 \text{ кА}.$$

Рассчитывается установившийся ток короткого замыкания, кА по формуле(7)

$$I_t = 8 \cdot 4,1 = 32,8 \text{ кА},$$

Ударный ток короткого замыкания по формуле (9):

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 32,8 \cdot 1,8 = 83,2 \text{кА}$$

Мощность короткого замыкания рассчитывается по формуле (10):

$$S_k = 8 \cdot 45 = 360 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$$

### **Содержание отчета**

1. Номер практической работы, ее название.
2. Учебная цель.
- 3 Решение задачи.
- 4 Вывод о проделанной работе.
- 5 Ответы на контрольные вопросы.

### **Контрольные вопросы**

- 1 Что из себя представляют расчётные кривые?
- 2 Особенности расчёта токов короткого замыкания по расчётным кривым.
- 3 Последовательность расчёта тока короткого замыкания по расчётным кривым.
- 4 Для чего выполняется расчёт токов короткого замыкания?

## Практическая работа № 3

### «Расчет электрической нагрузки предприятия»

**Учебная цель:** закрепить навыки по определению расчётных электрических нагрузок предприятия методом коэффициента спроса.

#### **Порядок выполнения работы:**

1 По индивидуальным карточкам – заданиям (приложение 1), рассчитать электрическую нагрузку предприятия методом коэффициента спроса.

2 Определить коэффициент мощности предприятия с учётом потерь.

3 Выбрать, при необходимости, компенсирующее устройство для компенсации реактивно-индуктивной мощности предприятия.

4 Указать технические характеристики выбранного электрооборудования и способ их установки.

5 Сделать вывод о проделанной работе.

#### **Краткие теоретические сведения**

Методом коэффициента спроса пользуется для оценочных расчётов максимальных нагрузок промышленных предприятий на высшем напряжении схемы электроснабжения, при котором величина расчётной активной максимальной нагрузки за наиболее загруженную смену определяется по формуле, кВт:

$$P_{см} = K_c \cdot P_{ном} \quad (1)$$

где  $P_{ном}$  – номинальная мощность электроприёмника (ЭП), кВт;

n – количество ЭП;

$K_c$  – коэффициент спроса, это отношение максимальной активной мощности одного или группы ЭП к номинальной мощности. Коэффициент спроса по некоторым предприятиям определяется по справочной литературе или по формуле:

$$K_c = \frac{P_{см}}{P_{ном}} \quad (2)$$

Максимальная реактивная мощность за наиболее загруженную смену определяется по формуле, квар:

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (3)$$

Определение расчетной нагрузки по методу коэффициента спроса находит применение только для предварительных расчетов при большом числе приемников в группах.

$$P_p = K_c P_y \quad (4)$$

где  $K_c$ -коэффициент спроса приемников данной группы;

$P_y$ -установленная мощность, известная для каждого цеха.

Для удобства расчетов электрических нагрузок составляется сводная таблица 1, в которой  $\cos\varphi$  и соответствующий ему  $\operatorname{tg}\varphi$  потребителей определяется по справочной литературе или при помощи инженерного калькулятора.

Таблица 1 Расчёт электрических нагрузок

Наименование	$P_{ном}$ кВт	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$K_c$	$P_{см}$ , кВт	$Q_{см}$ , квар	$S_{см}$ , кВА
Силовая нагрузка							

В графе «Силовая нагрузка» вписываются все нагрузки потребителей предприятия (цехов, корпусов, вспомогательных сооружений и т.д.), после чего определяется суммарные мощности  $\Sigma P_{см}$ ,  $\Sigma Q_{см}$ .

Полная суммарная мощность определяется из выражения, кВА:

$$\Sigma S_{\text{см}} = \sqrt{\Sigma P_{\text{см}}^2 + \Sigma Q_{\text{см}}^2} \quad (5)$$

При расчёте электрических нагрузок предприятия необходимо учитывать потери в силовых трансформаторах и в линии по формулам (6,7,8):

$$\Delta P_m = 0,02 \cdot S_{\text{см}\Sigma} \quad (6)$$

$$\Delta Q_m = 0,1 \cdot S_{\text{см}\Sigma} \quad (7)$$

$$P_{\text{сети}} = 0,03 \cdot S_{\text{см}\Sigma} \quad (8)$$

где  $S_{\text{маx}}$  - суммарная расчетная мощность предприятия, кВА

В целом нагрузка по предприятию, с учётом потерь, определяется по формуле, кВА:

$$S_p = \sqrt{(\Sigma P_{\text{см}} + \Delta P_m + \Delta P_c)^2 + (\Sigma Q_{\text{см}} + \Delta Q_{\text{тр}})^2} \quad (9)$$

Расчётный коэффициент мощности определяется по формуле

$$\cos \varphi_p = \frac{P_{\text{см}}\Sigma + \Delta P_m + \Delta P_c}{S_p \Sigma} \quad (10)$$

К техническим средствам компенсации реактивной мощности относятся следующие виды компенсирующих устройств: конденсаторные батареи, синхронные двигатели, вентильные статические источники реактивной мощности.

Компенсирующие устройства выбираются на основании нормативных значений средневзвешенного коэффициента мощности и ПУЭ, требуется, чтобы средневзвешенный коэффициент мощности электроустановок,

присоединенных к электрическим сетям, должен быть не ниже  $\cos\varphi = 0,92 - 0,95$ , после расчёта электрических нагрузок.

Мощность компенсирующего устройства (квар) определяется как разность между фактической наибольшей реактивной мощностью ( $Q_{\max}$ ) нагрузки предприятия и предельной реактивной мощностью  $Q_0$ , предоставляемой предприятию энергосистемой по условиям режима её работы:

По напряжению и результатам расчёта выбирается компенсирующее(ие) устройство из справочной литературы:

$$Q_{\text{ку}} = P_{\text{расч}}(tg\varphi_p - tg\varphi_{\text{эф}}) \quad (11)$$

где  $P_{\text{расч}}$ - мощность активной нагрузки предприятия в часы максимума нагрузки энергосистемы, принимаемая по средней расчётной мощности с учётом потерь, кВт;

$tg\varphi_p$ - фактический тангенс угла, соответствующий мощностям нагрузки;

$tg\varphi_{\text{эф}}$ -эффективный коэффициент реактивной мощности, принимается равным 0,33.

Максимальная реактивно-ёмкостная мощность, которую может генерировать синхронный двигатель, определяется по формуле, квар:

$$Q_{\text{сд}} = K_{\text{п.р.м}} * \frac{P_{\text{ном}} * tg\varphi_{\text{ном}}}{\eta} \quad (12)$$

где  $P_{\text{ном}}$ - номинальная мощность двигателя, кВт;

$K_{\text{п.р.м}}$  - коэффициент перегрузки по реактивной мощности;

$\eta$  - коэффициент полезного действия двигателя.

Величина расчетной максимальной нагрузки после компенсации реактивной мощности определяется по формуле, кВА:

$$S_p^* = \sqrt{(P_{cm\Sigma} + \Delta P_m + \Delta P_c)^2 + (Q_{cm\Sigma} + \Delta Q_n - Q_{co})^2} \quad (13)$$

где  $Q_{cd}$  – номинальная мощность рассчитанного (выбранного) компенсирующего устройства, квар.

Фактический коэффициент мощности, после установки компенсирующего устройства, пересчитывается по формуле:

$$\cos\varphi^* = \frac{P_{расч}}{S_p^*} \quad (14)$$

По расчётной мощности (формула 13), по уровню напряжения, по способу установки в дальнейшем выбирается мощность силовых трансформаторов ГПП, сечение проводов ВЛ и электрооборудования подстанции.

### Пример расчёта

Определить мощность силовых трансформаторов подстанции 110/10кВ для компрессорной станции мощностью  $S_{max}=55\text{MVA}$   $\cos\varphi=0,85$ .

Порядок расчёта:

1 Определяется активная мощность потребляемой нагрузкой компрессорной станции:

$$P_{cm} = S_{cm} \cos\varphi = 55000 \cdot 0,85 = 46750 \text{ кВт}$$

2 Рассчитывается реактивная мощности потребляемой нагрузкой компрессорной станции по формуле (3):

$$Q_{cm} = 46750 \cdot 0,62 = 28985 \text{ квар}$$

3 Определяются потери в СЭС по формулам (6,7,8):

$$\Delta P_{тр} = 0,02 \cdot 55000 = 1100 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_{тр} = 0,1 \cdot 55000 = 5500 \text{ квар}$$

$$\Delta P_c = 0,03 \cdot 55000 = 1650 \text{ кВт}$$

4 Рассчитывается суммарная расчётная полная мощность с учётом потерь по формуле (9)

$$S_p = \sqrt{(46750 + 1100 + 1650)^2 + (28985 + 5500)^2} = 60328 \text{ кВА}$$

5 Определяется коэффициент мощности по формуле (14)

$$\cos \varphi_p = \frac{46750 + 1100 + 1650}{60328} = 0,82$$

По формуле (11) рассчитывается мощность компенсирующего устройства:

$$Q_{\text{кв}} = 49500 \cdot (0,67 - 0,33) = 16966 \text{ квар}$$

6 Предварительно, по справочной литературе, выбирается компенсирующее устройство, синхронный компенсатор мощностью 8000 кВт в количестве двух двигателей и конденсаторные батареи мощностью 1800 квар – 2 установки.

По формуле 12 получается:

$$Q_{\text{сд}} = 0,9 \cdot \frac{8000 \cdot 0,33}{0,979} = 2427 \text{ квар}$$

Рассчитывается полная мощность с учётом компенсации реактивной составляющей по формуле 13:

$$S_p^* = \sqrt{(46750 + 1100 + 1650)^2 + (28985 + 5500 - 1800 \cdot 2 + 2427 \cdot 2)^2} = 51731,8 \text{ кВА}$$

7 Определяется коэффициент мощности, после компенсации по формуле (10):

$$\cos \varphi_p^* = \frac{46750 + 1100 + 1650}{51731,8} = 0,956$$

Окончательно принимается к установке:

1. Две установки компенсирующего устройство типа УКЛ-10,5-1800У1.

УК- установка конденсаторная;

Л- размещение ячеек ввода слева;

10,5- номинальное напряжение, кВ;

1800- номинальная мощность, квар;

У1 – климатическое исполнение и категория размещения;

Количество конденсаторных ячеек – 4;

Высота 1800 мм;

Масса – 1450 кг.

2 Два синхронных двигателя типа СТД-8000-23УХЛ4

СТД - синхронный трехфазный двигатель;

8000 - мощность двигателя, кВт ;

23 - число полюсов;

УХЛ -климатическое исполнение и категория размещения

Длина 4735мм;

Масса, кг 23тонны.

### **Содержание отчета**

1. Номер практической работы, ее название.
2. Учебная цель.
- 3 Решение задачи.
- 4 Выбор электрооборудования и его технические характеристики.
- 5 Вывод о проделанной работе.
- 6 Ответы на контрольные вопросы.

### **Контрольные вопросы:**

- 1 Что такое коэффициент спроса?

2 Последовательность расчёта электрических нагрузок.

3 Мероприятия по повышению коэффициента мощности.

4 Дать характеристику электроприёмникам предприятия по надёжности электроснабжения.

### Приложение III. Индивидуальное задание

#### Вариант №1

Произвести расчет электрических нагрузок для ГПП 220/10кВ и выбрать мощность силового трансформатора 2-х трансформаторной ПС с учетом потерь мощности. Состав потребителей, мощность, коэффициент спроса, коэффициент мощности следующие:

1. Металлургический завод –  $P=33600\text{кВт}$ ,  $K_c=0,37$ ,  $\cos \varphi = 0,8$ ;
2. Завод сельскохозяйственного машиностроения –  $P=6850\text{кВт}$ ,  $K_c=0,67$ ,  $\cos \varphi = 0,75$

#### Вариант №2

Произвести расчет электрических нагрузок для ГПП 35/6кВ и выбрать мощность силового трансформатора 2-х трансформаторной ПС с учетом потерь мощности. Состав потребителей, мощность, коэффициент спроса, коэффициент мощности следующие:

1. Завод стеклотары –  $P=4435\text{кВт}$ ,  $K_c=0,25$ ,  $\cos \varphi = 0,85$ ;
2. Завод синтетического волокна –  $P=4490\text{кВт}$ ,  $K_c=0,5$ ,  $\cos \varphi = 0,8$

#### Вариант №3

Произвести расчет электрических нагрузок для ГПП 110/6кВ и выбрать мощность силового трансформатора 2-х трансформаторной ПС с учетом потерь мощности. Состав потребителей, мощность, коэффициент спроса, коэффициент мощности следующие:

1. Нефтеперерабатывающий завод –  $P=55780\text{кВт}$ ,  $K_c=0,35$ ,  $\cos \varphi = 0,75$ ;
2. Компрессорная станция –  $P=435\text{кВт}$ ,  $K_c=0,58$ ,  $\cos \varphi = 0,8$

#### Вариант №4

Произвести расчет электрических нагрузок для ГПП 35/10кВ и выбрать мощность силового трансформатора 2-х трансформаторной ПС с учетом потерь мощности. Состав потребителей, мощность, коэффициент спроса, коэффициент мощности следующие:

1. Микрорайон города –  $P=8785\text{кВт}$ ,  $K_c=0,5$ ,  $\cos \varphi = 0,85$ ;
2. Кондитерская фабрика –  $P=1090\text{кВт}$ ,  $K_c=0,43$ ,  $\cos \varphi = 0,9$ ;

#### Вариант №5

Произвести расчет электрических нагрузок для ГПП 110/10 кВ и выбрать мощность силового трансформатора 2-х трансформаторной ПС с учетом потерь мощности. Состав потребителей, мощность, коэффициент спроса, коэффициент мощности следующие:

1. Буровые установки –  $P=25950\text{кВт}$ ,  $K_c=0,5$ ,  $\cos \varphi = 0,7$ ;
2. Газовый промысел –  $P=31400\text{кВт}$ ,  $K_c=0,8$ ,  $\cos \varphi = 0,75$

#### Вариант №6

Произвести расчет электрических нагрузок для ГПП 220/10кВ и выбрать мощность силового трансформатора 2-х трансформаторной ПС с учетом потерь мощности. Состав потребителей, мощность, коэффициент спроса, коэффициент мощности следующие:

1. Металлургический завод –  $P=45800\text{кВт}$ ,  $K_c=0,37$ ,  $\cos \varphi = 0,5$ ;
2. Горно-обогатительная фабрика –  $P=5300\text{кВт}$ ,  $K_c=0,8$ ,  $\cos \varphi = 0,7$

<p><b>Вариант №7</b></p> <p>Произвести расчет электрических нагрузок для ГПП 110/6кВ и выбрать мощность силового трансформатора 2-х трансформаторной ПС с учетом потерь мощности. Состав потребителей, мощность, коэффициент спроса, коэффициент мощности следующие:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Алюминиевый завод – <math>P=8450\text{кВт}</math>, <math>K_c=0,85</math>, <math>\cos \varphi = 0,7</math>;</li> <li>2. Горно-обогатительная фабрика – <math>P=6800\text{кВт}</math>, <math>K_c=0,5</math>, <math>\cos \varphi = 0,8</math></li> </ol>
<p><b>Вариант №8</b></p> <p>Произвести расчет электрических нагрузок для ГПП 35/10 кВ и выбрать мощность силового трансформатора 2-х трансформаторной ПС с учетом потерь мощности. Состав потребителей, мощность, коэффициент спроса, коэффициент мощности следующие:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Текстильное предприятие – <math>P=15400\text{кВт}</math>, <math>K_c=0,65</math>, <math>\cos \varphi = 0,8</math>;</li> <li>2. Консервный завод – <math>P=4080\text{кВт}</math>, <math>K_c=0,44</math>, <math>\cos \varphi = 0,78</math>;</li> </ol>
<p><b>Вариант №9</b></p> <p>Произвести расчет электрических нагрузок для ГПП 110/10кВ и выбрать мощность силового трансформатора 2-х трансформаторной ПС с учетом потерь мощности. Состав потребителей, мощность, коэффициент спроса, коэффициент мощности следующие:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Шинный завод – <math>P=48400\text{кВт}</math>, <math>K_c=0,5</math>, <math>\cos \varphi = 0,83</math>;</li> <li>2. Автомобильное предприятие – <math>P=50200\text{кВт}</math>, <math>K_c=0,47</math>, <math>\cos \varphi = 0,7</math></li> </ol>
<p><b>Вариант №10</b></p> <p>Произвести расчет электрических нагрузок для ГПП 150/10кВ и выбрать мощность силового трансформатора 2-х трансформаторной ПС с учетом потерь мощности. Состав потребителей, мощность, коэффициент спроса, коэффициент мощности следующие:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Нефтехимический завод – <math>P=45500\text{кВт}</math>, <math>K_c=0,65</math>, <math>\cos \varphi = 0,75</math>;</li> <li>2. Очистительные сооружения – <math>P=2300\text{кВт}</math>, <math>K_c=0,7</math>, <math>\cos \varphi = 0,8</math></li> </ol>
<p><b>Вариант №11</b></p> <p>Произвести расчет электрических нагрузок для ГПП 220/10кВ и выбрать мощность силового трансформатора 2-х трансформаторной ПС с учетом потерь мощности. Состав потребителей, мощность, коэффициент спроса, коэффициент мощности следующие:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Завод сельскохозяйственного машиностроения – <math>P=68300\text{кВт}</math>, <math>K_c=0,48</math>, <math>\cos \varphi = 0,8</math>;</li> <li>2. Населенный пункт – <math>P=3200\text{кВт}</math>, <math>K_c=0,7</math>, <math>\cos \varphi = 0,8</math></li> </ol>
<p><b>Вариант №12</b></p> <p>Произвести расчет электрических нагрузок для ГПП 110/10кВ и выбрать мощность силового трансформатора 2-х трансформаторной ПС с учетом потерь мощности. Состав потребителей, мощность, коэффициент спроса, коэффициент мощности следующие:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Нефтеперекачивающая станция – <math>P=48300\text{кВт}</math>, <math>K_c=0,75</math>, <math>\cos \varphi = 0,75</math>;</li> <li>2. Мебельная фабрика – <math>P=45800</math>, <math>K_c=0,5</math>, <math>\cos \varphi = 0,8</math></li> </ol>
<p><b>Вариант №13</b></p> <p>Произвести расчет электрических нагрузок для ГПП 220/10кВ и выбрать мощность силового трансформатора 2-х трансформаторной ПС с учетом потерь мощности. Состав потребителей, мощность, коэффициент спроса, коэффициент мощности следующие:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Компрессорная станция – <math>P=83000\text{кВт}</math>, <math>K_c=0,85</math>, <math>\cos \varphi = 0,85</math>;</li> <li>2. Буровые установки – <math>P=7200\text{кВт}</math>, <math>K_c=0,7</math>, <math>\cos \varphi = 0,75</math></li> </ol>
<p><b>Вариант №14</b></p> <p>Произвести расчет электрических нагрузок для ГПП 110/10кВ и выбрать мощность силового трансформатора 2-х трансформаторной ПС с учетом потерь мощности. Состав потребителей,</p>

<p>мощность, коэффициент спроса, коэффициент мощности следующие:  1 Насосная станция - <math>P=4300\text{кВт}</math>, <math>K_c=0,65</math>, <math>\cos \varphi = 0,75</math>;  2 Котельная – <math>P=1400\text{кВт}</math>, <math>K_c=0,75</math>, <math>\cos \varphi = 0,8</math></p>
<p><b>Вариант №15</b>  Произвести расчет электрических нагрузок для ГПП 35/10кВ и выбрать мощность силового трансформатора 2-х трансформаторной ПС с учетом потерь мощности. Состав потребителей, мощность, коэффициент спроса, коэффициент мощности следующие:  1. Населенный пункт – <math>P=3200\text{кВт}</math>, <math>K_c=0,6</math>, <math>\cos \varphi = 0,9</math>;  2. Котельная – <math>P=1800\text{кВт}</math>; <math>K_c=0,7</math>, <math>\cos \varphi = 0,85</math></p>
<p><b>Вариант №16</b>  Произвести расчет электрических нагрузок для ГПП 220/10кВ и выбрать мощность силового трансформатора 2-х трансформаторной ПС с учетом потерь мощности. Состав потребителей, мощность, коэффициент спроса, коэффициент мощности следующие:  1 Компрессорная станция – <math>P=12400\text{кВт}</math>, <math>K_c=0,7</math>, <math>\cos \varphi = 0,8</math>;  2 Насосная станция - <math>P=2340\text{кВт}</math>, <math>K_c=0,7</math>, <math>\cos \varphi = 0,82</math></p>
<p><b>Вариант №17</b>  Произвести расчет электрических нагрузок для ГПП 110/10кВ и выбрать мощность силового трансформатора 2-х трансформаторной ПС с учетом потерь мощности. Состав потребителей, мощность, коэффициент спроса, коэффициент мощности следующие:  1 КТП-10/0,4кВ - <math>P=2 \times 4000\text{кВт}</math>, <math>K_c=0,6</math>, <math>\cos \varphi = 0,9</math>;  2 Компрессорная станция – <math>P=9500\text{кВт}</math>, <math>K_c=0,63</math>, <math>\cos \varphi = 0,7</math></p>
<p><b>Вариант №18</b>  Произвести расчет электрических нагрузок для ГПП 110/6кВ и выбрать мощность силового трансформатора 2-х трансформаторной ПС с учетом потерь мощности. Состав потребителей, мощность, коэффициент спроса, коэффициент мощности следующие:  1. Машиностроительный завод – <math>P=10350\text{кВт}</math>, <math>K_c=0,48</math>, <math>\cos \varphi = 0,65</math>;  2. Жилые дома – <math>P=4100\text{кВт}</math>; <math>K_c=0,45</math>, <math>\cos \varphi = 0,95</math></p>
<p><b>Вариант №19</b>  Произвести расчет электрических нагрузок для ГПП 220/10кВ и выбрать мощность силового трансформатора 2-х трансформаторной ПС с учетом потерь мощности. Состав потребителей, мощность, коэффициент спроса, коэффициент мощности следующие:  1 Асфальтовый завод – <math>P=13200\text{кВт}</math>, <math>K_c=0,7</math>, <math>\cos \varphi = 0,8</math>;  2 Мебельная фабрика – <math>P=9450\text{кВт}</math>, <math>K_c=0,5</math>, <math>\cos \varphi = 0,6</math></p>
<p><b>Вариант №20</b>  Произвести расчет электрических нагрузок для ГПП 110/6кВ и выбрать мощность силового трансформатора 2-х трансформаторной ПС с учетом потерь мощности. Состав потребителей, мощность, коэффициент спроса, коэффициент мощности следующие:  1 Газовый промысел - <math>P=5930\text{кВт}</math>, <math>K_c=0,8</math>, <math>\cos \varphi = 0,7</math>;  2 Буровая установка – <math>P=1500\text{кВт}</math>, <math>K_c=0,6</math>, <math>\cos \varphi = 0,8</math></p>
<p><b>Вариант №21</b>  Произвести расчет электрических нагрузок для ГПП 35/10кВ и выбрать мощность силового трансформатора 2-х трансформаторной ПС с учетом потерь мощности. Состав потребителей, мощность, коэффициент спроса, коэффициент мощности следующие:  1. Кирпичный завод – <math>P=4780\text{кВт}</math>, <math>K_c=0,7</math>, <math>\cos \varphi = 0,87</math>;  2. Жилой поселок – <math>P=620\text{кВт}</math>, <math>K_c=0,6</math>, <math>\cos \varphi = 0,9</math></p>

**Вариант №22**

Произвести расчет электрических нагрузок для ГПП 110/6кВ и выбрать мощность силового трансформатора 2-х трансформаторной ПС с учетом потерь мощности. Состав потребителей, мощность, коэффициент спроса, коэффициент мощности следующие:

1. Химический комплекс –  $P=15700\text{кВт}$ ,  $K_c=0,65$ ,  $\cos \varphi = 0,86$ ;
2. Жилой массив –  $P=490\text{кВт}$ ;  $K_c=0,5$ ,  $\cos \varphi = 0,9$

**Вариант №23**

Произвести расчет электрических нагрузок для ГПП 110/10кВ и выбрать мощность силового трансформатора 2-х трансформаторной ПС с учетом потерь мощности. Состав потребителей, мощность, коэффициент спроса, коэффициент мощности следующие:

1. Жилые дома –  $P=4700\text{кВт}$ ,  $K_c=0,6$ ,  $\cos \varphi = 0,9$ ;
2. Больница –  $P=3150\text{кВт}$ ;  $K_c=0,6$ ,  $\cos \varphi = 0,9$

**Вариант №24**

Произвести расчет электрических нагрузок для ГПП 220/10кВ и выбрать мощность силового трансформатора 2-х трансформаторной ПС с учетом потерь мощности. Состав потребителей, мощность, коэффициент спроса, коэффициент мощности следующие:

1. Металлургический комбинат –  $P=15800\text{кВт}$ ,  $K_c=0,5$ ,  $\cos \varphi = 0,85$ ;
2. Горно-обогатительная фабрика –  $P=2300\text{кВт}$ ,  $K_c=0,8$ ,  $\cos \varphi = 0,7$

**Вариант №25**

Произвести расчет электрических нагрузок для ГПП 110/6кВ и выбрать мощность силового трансформатора 2-х трансформаторной ПС с учетом потерь мощности. Состав потребителей, мощность, коэффициент спроса, коэффициент мощности следующие:

1. Шинный завод –  $P=48400\text{кВт}$ ,  $K_c=0,5$ ,  $\cos \varphi = 0,83$ ;
2. Автомобильное предприятие –  $P=50200\text{кВт}$ ,  $K_c=0,47$ ,  $\cos \varphi = 0,7$

## **Практическая работа № 4**

### **«Выбор числа и мощности силовых трансформаторов на ПС»**

**Учебная цель:** закрепить навыки выбора и проектирования электрооборудования подстанции.

#### **Порядок выполнения работы**

1 По результатам расчёта электрических нагрузок предприятия (практическая работа №3), выбрать по мощности и по напряжению силовые трансформаторы для установки в подстанции (ПС).

2 Заполнить таблицу 1 технических характеристик двух предварительно выбираемых вариантов силовых трансформаторов.

3 Определить категорию по надёжности электроснабжения электроприёмников предприятия и определить количество силовых трансформаторов с ПС.

4 Выполнить технико-экономическое сравнения для каждого варианта силовых трансформаторов.

5 Составить таблицу технико-экономического сравнения двух вариантов силовых трансформаторов.

6 Сделать вывод о проделанной работе.

#### **Краткие теоретические сведения**

Выбор главных силовых трансформаторов для промышленных предприятий производится по конструктивному исполнению (тип), напряжению, группе соединения обмоток и мощности согласно расчёту электрических нагрузок. Определение числа и мощности силовых трансформаторов производится на основании сравнения нескольких вариантов, удовлетворяющих требованиям надёжного электроснабжения. Окончательное решение принимается на основе технико-экономических показателей.

1 Намечаются два или более варианта силовых трансформатора, паспортные данные которых вносятся в таблицу 1

Таблица 1 – Технические данные силовых трансформаторов

Вариант	Маркировка трансформатора	$U_{ВН.НОМ.}$ , кВ	$U_{НН.НОМ.}$ , кВ	$P_x$ , кВт	$P_k$ , кВт	$U_k$ , %	$i_0$ , %	Цена, тыс. руб
1								
2								

2 Определяется загрузка силовых трансформаторов в номинальном режиме:

$$K_3 = \frac{S_{расч}}{n \cdot S_{н.т.}} \quad (1)$$

где  $S_{расч}$  - расчетная полная мощность, (практическая работа №3) кВА;

$n$  - количество силовых трансформаторов на ПС;

$S_{н.т.}$  - номинальная мощность силовых трансформаторов, кВА.

3 Определяется загрузка силовых трансформаторов в аварийном режиме:

$$K_{3ав} = \frac{K_{р.м} \cdot S_{расч}}{S_{н.т.}} \quad (2)$$

$K_{р.м}$  - коэффициент одновременности максимумов нагрузки — это отношение суммарного расчетного максимума нагрузки всего предприятия к сумме расчетных максимумов всех цехов, замеренных для каждого цеха отдельно. Этот коэффициент учитывает сдвиг во времени максимумов нагрузки различных цехов, приводящих к снижению максимума нагрузки предприятия. Приблизительно для системы внутреннего электроснабжения предприятий  $K_{р.м}=0,85 \div 1$ . Для промышленных установок  $K_{р.м}=0,9 \div 0,95$ . Для внешнего электроснабжения  $K_{р.м}=0,9 \div 1$ . Для сетей напряжением ниже 1000 В цехов, промыслов  $K_{р.м}=1$ .

Необходимо учитывать, что в результате учета коэффициента расчетная нагрузка предприятия снижается, но она не может быть ниже средней за максимально загруженную смену.

4 Рассчитывается время потерь, ч :

$$\tau = 8760 \cdot \left( 0,124 + \frac{T_M}{10^4} \right)^2 \quad (3)$$

где  $T_M$  - время включения максимума нагрузки, час (таблица П 1)

5 Определяется величина потерь электроэнергии за год:

$$\Delta W_{год} = 8760 \cdot n \cdot \Delta P_{xx} + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{кз} \cdot (K_{зн})^2 \cdot \tau_{max} \quad (4)$$

где  $n$  – число силовых трансформаторов на ПС;

$\Delta P_{xx}$  – потери мощности холостого хода силового трансформатора, кВт;

$\Delta P_{кз}$  – потери мощности короткого замыкания силового трансформатора, кВт;

$K_{зн}$  – коэффициент загрузки силового трансформатора в нормальном режиме.

6 Определяется стоимость потерь электроэнергии предлагаемых вариантов, т.руб:

$$C_n = C_{оп} \cdot \Delta W_{год} \cdot 10^{-3} \quad (5)$$

где  $C_{оп}$  – стоимость одного кВт·ч, электроэнергии, руб.(2,0-4,0руб. за 1 кВт·час).

7 Рассчитывается стоимость амортизационных отчислений, т.руб:

$$C_a = \frac{P_a}{100\%} \cdot K \quad (6)$$

где  $P_a$  – процент амортизационных отчислений для электрооборудования подстанций, принимается равный 6,3%

$K$  – капитальные затраты или стоимость силовых трансформаторов на ПС, т. руб.

8 Определяются ежегодные эксплуатационные расходы, т.руб:

$$C_{\text{э}} = C_n + C_a \quad (7)$$

9 Рассчитываются приведенные затраты, т.руб, для каждого варианта выбранных силовых трансформаторов:

$$Z_{\text{г}} = E_n \cdot n + C_{\text{э}} \quad (8)$$

где  $E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, принимается равный 0,12.

### Пример расчёта

Для рационального выбора силовых трансформаторов на ПС, рассматриваются два варианта: ТМ-630/10 и ТМ-1000/10, каждый из которых, проверяется по технико-экономическим показателям.

Таблица - 3 – Технические параметры трансформаторов

Тип трансформатора	$S_{\text{н.тр.}}$ , кВ•А	$U_{\text{нвн.}}$ , кВ	$U_{\text{ннн.}}$ , кВ	$\Delta P_{\text{xx}}$ , кВт	$\Delta P_{\text{к.з.}}$ , кВт	$U_{\text{к}}$ , %	$I_{\text{xx}}$ , %	Стоимость, тыс.руб.
1 ТМ-630/10	630	10	0,4	1,25	7,6	4,5	1,7	230
2 ТМ-1000/10	1000	10	0,4	1,9	12,2	5,5	1,7	420

Выбор мощности силовых трансформаторов выполняется по коэффициентам загрузки. Коэффициент загрузки силового трансформатора в номинальном режиме определяется по формуле (1):

$$K_{3.н.1} = \frac{1133}{2 \cdot 630} = 0,89;$$

$$K_{3.н.2} = \frac{1133}{2 \cdot 1000} = 0,56.$$

Проверяется мощность каждого силового трансформатора в аварийном режиме, при отключении одного трансформатора и необходимости обеспечить электроснабжение потребителей I и II- категорий, в период максимальной допустимой нагрузки, по формуле (2):

$$K_{3.ав.1} = \frac{0,85 \cdot 1133}{1,4 \cdot 630} = 1,09;$$

$$K_{3.ав.2} = \frac{0,85 \cdot 1133}{1,4 \cdot 1000} = 0,69.$$

Определяется число часов максимальных потерь, по формуле (3):

$$\tau_{\max} = 8760 \cdot \left(0,124 + \frac{4500}{10^4}\right)^2 = 2886 \text{ ч.}$$

Определяется величина потерь электроэнергии за год, по формуле (4)

$$\Delta W_{\text{год } 1} = 8760 \cdot 2 \cdot 1,25 + \frac{1}{2} \cdot 7,6 \cdot 1,06^2 \cdot 2886 = 34222 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$\Delta W_{\text{год } 2} = 8760 \cdot 2 \cdot 1,9 + \frac{1}{2} \cdot 12,2 \cdot 0,69^2 \cdot 2886 = 41669,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Определяется стоимость годовых потерь электроэнергии, по формуле (5):

$$C_{n1} = 2 \cdot 34222 = 68,44 \text{ тыс.руб};$$

$$C_{n2} = 2 \cdot 41669,6 = 83,3 \text{ тыс.руб.}$$

Определяется стоимость амортизационных отчислений, по формуле (6):

$$C_{a1} = \frac{6,3}{100} \cdot 230 \cdot 2 = 28,98 \text{ тыс.руб};$$

$$C_{a2} = \frac{6,3}{100} \cdot 420 \cdot 2 = 52,92 \text{ тыс.руб.}$$

Определяются суммарные приведенные затраты для двух вариантов силовых трансформаторов, по формуле (7):

$$Z_{\text{год1}} = 0,12 \cdot 230 \cdot 2 + 68,44 + 28,98 = 152,6 \text{ тыс.руб};$$

$$Z_{\text{год2}} = 0,12 \cdot 420 \cdot 2 + 83,3 + 52,92 = 237 \text{ тыс.руб.}$$

Из сравниваемых вариантов силовых трансформаторов экономически наиболее целесообразен первый вариант, имеющий наименьшие приведенные затраты, но по условиям загрузки в номинальном и аварийном режимах установленная мощность трансформатора ТМ-630/10 не проходит. Поэтому, учитывая необходимость высокой надежности электроснабжения, окончательно выбирается для установки на ПС два силовых трансформатора типа ТМ-1000/10,

Т – трансформатор силовой трёхфазный двухобмоточный;

М – масляный;

1000 – номинальная мощность, кВА;

10 – номинальное напряжение на первичной обмотке, кВ;

0,4 - номинальное напряжение на вторичной обмотке, кВ;

Группа соединения обмоток – «0»

Масса 4600 кг;

Типоразмеры: высота 2250 мм; длина 2400 мм; ширина 1350 мм.

**Содержание отчета:**

- 1 Номер практической работы, её название.
- 2 Учебная цель.
- 3 Таблица 1 Технических характеристик силовых трансформаторов;
- 4 Решение задачи.
- 5 Сравнительная таблица 2 по результатам расчётов;
- 6 Типоразмер и способ установки выбранного силового трансформатора.
- 7 Ответы на контрольные вопросы.

**Контрольные вопросы:**

1. Что такое приведенные годовые зарплаты?
2. Условия выбора силового трансформатора.
3. Условия определения числа силовых трансформаторов на подстанции.
- 4 Какова допустимая продолжительность перегрузки одного трансформатора в аварийном режиме?
- 5 Условия, при которых разрешается параллельная работа силовых трансформаторов.

Таблица П1 – Годовое число часов работы предприятий

Продолжительность смены, ч	Т <sub>г</sub> , ч, при числе смен		
	одна	две	три
8	2250	4500	6600
7	2000	4000	5870

## **Практическая работа № 5**

### **«Выбор токоведущих частей в сетях напряжением выше 1 кВ по условиям короткого замыкания»**

**Учебная цель:** закрепить навыки последовательности выбора токоведущие части и проверки по условиям короткого замыкания.

#### **Порядок выполнения работы**

1 По результатам расчёта токов короткого замыкания (практические работы №1, №2), выбрать:

- воздушную (кабельную) линию;
- магистральный шинопровод;

2 Проверить выбранное электрооборудование по условиям короткого замыкания.

3 Выбрать изолятор для крепления магистрального шинопровода.

4 Указать технические характеристики выбранного электрооборудования.

5 Сделать вывод о проделанной работе.

#### **Краткие теоретические сведения**

Согласно требованиям ПУЭ г. 1.3 проводники любого назначения должны удовлетворять требованиям в отношении предельно допустимого нагрева с учетом не только нормальных, но и послеаварийных режимов, а также режимов в период ремонта и возможных неравномерностей распределения токов между линиями, секциями шин и т.п. При проверке на нагрев принимается получасовой максимум тока, наибольший из средних получасовых токов данного элемента сети.

Предварительно выбирается сечение кабельной (воздушной) линии по напряжению и по нагреву рабочим током,  $A$ , по условию:

$$I_{\text{раб}} \leq I_{\text{доп}} \cdot K_I \cdot K_{II} \quad (1)$$

где  $K_I$  - поправочный коэффициент на температуру земли и воздуха, приведённые в таблице г.1.3 ПУЭ .

$K_{II}$  - поправочный коэффициент на количество работающих кабелей, лежащих рядом, приведён в таблице г.1.3 ПУЭ.

Рабочий ток линии определяется по формуле, А:

$$I_p = \frac{S_{\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} \quad (2)$$

где  $S_{\Sigma}$ - мощность энергосистемы, кВА.

Сечение кабельной (воздушной) линии проверяется по потере напряжения, %:

$$\Delta U_{\text{расч}\%} = \frac{\sqrt{3} I_{\text{раб}} \cdot l}{U_{\text{ном}}} (r_0 \cos\varphi + X_0 \sin\varphi) \cdot 100\% \quad (3)$$

где  $l$ - длина кабеля, км

Выбранная линия проходит по потере напряжения, если  $U_{\text{расч}} \% \leq U_{\text{доп}} = 5\%$

Проверяется сечение выбранной линии на термическую устойчивость к токам КЗ, мм<sup>2</sup>, по формуле:

$$S_{\text{т.у.}} = \frac{I_{\kappa} \sqrt{t_{\text{нр}}}}{c} \quad (4)$$

где  $c$  - термический коэффициент, составляющий разности выделенной теплоты в проводнике до и после короткого замыкания.

- с медными жилами принимается равным 141;

- для кабеля с алюминиевыми жилами принимается равным 85.

$t_{пр}$ - приведенное время действия тока короткого замыкания, определяется как сумма:

$$t_{пр} = t_{р.з.} + t_{выкл} \quad (5)$$

где  $t_{р.з.} = 0,1с$  ;  $t_{выкл} = 0,15с$

Выбранная линия устойчива к действию токов короткого замыкания если  $S_{ту} \leq S_{выбр}$ .

Провода воздушных линий допускается не проверять на термическую устойчивость к токам КЗ, если они не имеют изоляции и хорошо охлаждаются воздухом, согласно требованиям ПУЭ г.1.4.

#### *Выбор шин прямоугольного сечения*

Предварительно выбирается алюминиевые или медные шины по нагреву рабочим током, используя справочную литературу:

$$I_{раб} \leq I_{доп}, \quad (6)$$

где:  $I_{раб}$  - рабочий ток в шинах, определяется по формуле (2) А;

$I_{доп}$ - допустимый ток для выбранного сечения шины, А;

Выбранное сечение шин проверяется на динамическую устойчивость к току короткого замыкания, Н:

$$F_m = 0,176 \cdot (i_{уд})^2 \cdot \frac{l}{a}, \quad (7)$$

где  $F_m$ - максимальное усилие на шину, Н;

$l$  - длина пролёта между соседними опорами, см;

$a$  - расстояние между осями шин, см, принимается равным 10, 15, 20см;

$i_{уд}$  – ударный ток в точке КЗ, кА;

Расчетное напряжение в шине, Н/см<sup>2</sup>:

$$\sigma_p = \frac{M_{\max}}{W}, \quad (8)$$

где  $M_{\max}$ - наибольший изгибающий момент шин, определяется следующим образом:

- при одном или двух пролётах, Н\*см:

$$M_{\max} = 0,125 \cdot F_{\max} \cdot l ; \quad (9)$$

- при трёх и более пролётах:

$$M_{\max} = 0,1 \cdot F_{\max} \cdot l . \quad (10)$$

Рассчитывается момент сопротивления сечения, см<sup>3</sup>:

-при расположении шин широкими сторонами друг к другу (на ребро):

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} ; \quad (11)$$

- при расположении шин плашмя:

$$W = \frac{b^2 \cdot h}{6} , \quad (12)$$

где  $b$ - толщина шины, см;

$h$ - ширина шины, см.

Шины будут работать надёжно, если выполнено условие:  $\sigma_p < \sigma_{\text{доп}}$

Допустимое напряжение в шинах:

$\sigma_{\text{доп}}=7000 \text{ Н/см}^2$  – для алюминия;

$\sigma_{\text{доп}}=14000 \text{ Н/см}^2$  - для меди;

$\sigma_{\text{доп}}=16000 \text{ Н/см}^2$  - для стали.

Если при расчёте оказалось, что  $\sigma_p > \sigma_{\text{доп}}$ , то выполнения условия необходимо увеличить расстояние между шинами ( $a$ ) или уменьшить пролёт между опорами – изоляторами.

Проверяются выбранные шины на термическую устойчивость к токам, мм<sup>2</sup> по формуле 4. Шины термически устойчивы, если выполняется условие:  $S_{\text{ту}} \leq S_{\text{выбр}}$  (мм<sup>2</sup>)

Таблица 1 – Условия выбора и проверки изоляторов

Параметры	Расчетные данные цепи	Условие	Паспортные данные
Номинальное напряжение, кВ	$U_{\text{раб}}$	$\leq$	$U_{\text{ном}}$
Номинальный ток, А	$I_{\text{раб}}$	$\leq$	$I_{\text{ном}}$
Допустимое усилие на головку изолятора, Н	$F_{\text{расч}}$	$\leq$	$F_{\text{доп}}$
Допустимый ток термической стойкости для проходных изоляторов и линейных выводов, кА	$I_{\text{у,кА}}$	$\leq$	$I_{\text{мах,кА}}$

Наибольшая расчётная нагрузка на головку изолятора определяется по формуле

$$F_{\text{расч.оп}} = i_{\text{уд}}^2 \cdot \frac{l}{a} \cdot 9,81 \cdot 10^{-2} \quad (13)$$

где  $l$  – длина пролёта между изоляторами, см;

$a$  – расстояние между осями шин, см.

Для проходных изоляторов наибольшая расчётная нагрузка рассчитывается по формуле, Н

$$F_{\text{расч.пр.}} = 0,5 \cdot F_{\text{расч.оп.}} \quad (14)$$

Сравнивая расчетные и паспортные данные, принимают решения о выборе данного типа изоляторов (марка выбранного типа изолятора расшифровывается).

### Пример расчёта

Выбрать кабельную линию напряжением 6 кВ от ЗРУ до ТП:

Определяется расчётный ток в кабельной линии, по формуле (2):

$$I_p = \frac{1795,83}{\sqrt{3} \cdot 6} = 165,82 \text{ А}$$

Производится выбор кабеля по следующему условию (1):

$$I_{\text{доп.}} = 200 \text{ А} \cdot 1,0 \cdot 1,0 \geq I_p = 165,82 \text{ А}$$

Предварительно выбирается кабель марки АСБ (3×50) мм<sup>2</sup>, проложенный открыто, по эстакаде.

Выбранный кабель проверяется на допустимую потерю напряжения, по формуле (3):

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 165,82 \cdot 2 \cdot (0,39 \cdot 0,94 + 0,08 \cdot 0,34)}{6000} \cdot 100\% = 3,7\% < 5\%$$

Выбранный кабель по допустимой потере напряжения проходит. Поэтому принимается к установке.

Расшифровка кабеля АСБ (3х50) мм<sup>2</sup>:

А – алюминиевые жилы;

С – свинцовая оболочка;

Б – броня из двух стальных лент с антикоррозионным защитным покровом;

3 – количество жил в кабеле, шт;

50 – сечение каждой токоведущей жилы, мм<sup>2</sup>.

*Выбор шинпровода.* Сечение шин определяется по нагреву длительным рабочим током (формула (6)):

$$I_{p2} = \frac{1133}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1637,3 \text{ А}$$

Предварительно, по справочной литературе, выбираются шины прямоугольного сечения типа ШМА 4·(100·10),  $I_{\text{доп}} = 1820 \text{ А}$ .

Выбранное сечение шин проверяется на динамическую устойчивость к току короткого замыкания.

Определяется максимальное усилие на шину,  $H$ , по формуле (7):

$$F_M = 0,176 \cdot (26,1)^2 \cdot 100/20 = 599,5 \text{ Н.}$$

Определяется наибольший изгибающий момент, по формуле (10):

$$M_{\text{макс}} = 0,1 \cdot 599,5 \cdot 100 = 5994,6 \text{ Н}\cdot\text{см}$$

Определяется напряжение в материале шин от изгиба, по формуле (8):

$$\sigma_{\text{расч}} = 5994,6 / 17 = 352,6 \text{ Н}\cdot\text{см}^2$$

Рассчитывается момент сопротивления сечения шины при расположении шин широкими сторонами друг к другу (на ребро) по формуле (11):

$$W = \frac{10^2 \cdot 1}{6} = 17 \text{ см}^3$$

Полученное расчетное напряжение в материале шин не должно превышать допустимого значения для алюминия  $\sigma_{\text{доп}} = 7000 \text{ Н}\cdot\text{см}^2$ . Условие выполняется.

Шины проверяются на термическую стойкость к току КЗ по формуле (4):

$$S_{\text{т.у.}} = \frac{11750 \sqrt{1,25}}{88} = 149,3 \text{ мм}^2$$

$$S_{\text{выбр}} = 100 \times 10 = 1000 \text{ мм}^2.$$

Условие термической стойкости выполняется:  $S_{\text{выбр}} \geq S_{\text{расч}}$ .

Шинопровод типа ШМА 4·(100·10) принимается к установке.

### **Содержание отчета**

- 1 Номер практической работы, ее название.
- 2 Учебная цель.
- 3 Расчёт, выбор и проверка кабельной (воздушной) линии.
- 4 Расчёт, выбор и проверка шинпровода.
- 5 Расчёт, выбор и проверка изолятора;
- 6 Расшифровка выбранного ЭО.
- 7 Ответы на контрольные вопросы.

### **Контрольные вопросы**

1. Перечислить условия выбора сечения КЛ (шинпровода, ВЛ).
2. Перечислить, по каким показателям проверяется КЛ (шинпровод, ВЛ).
3. Перечислите условия выбора изоляторов.
4. Что такое время протекание тока короткого замыкания?

## **Практическая работа № 6**

### **«Выбор разъединителей, отделителей, короткозамыкателей, выключателей нагрузки по условиям короткого замыкания»**

**Учебная цель:** закрепить навыки выбора основного электрооборудования подстанции.

#### **Порядок выполнения работы**

1 По результатам расчёта токов короткого замыкания (практическая работа №1 «Расчёт токов короткого замыкания в электрических сетях напряжением выше 1 кВ»), на расчётной схеме определить место установки:

- разъединителя(ей),
- отделителя(ей),
- короткозамыкателя(ей),
- выключателя нагрузки;
- заземляющих ножей.

2 Рассчитать параметры и выбрать по справочнику проектируемое электрооборудование подстанции.

3 Расшифровать выбранное электрооборудования.

4 Сделать вывод о проделанной работе.

#### **Краткие теоретические сведения**

Для выбора электрооборудования системы электроснабжения выше 1 кВ нужно: определиться с конструкцией высоковольтного аппарата по условиям окружающей среды; типа подстанции, определиться с требуемой степенью надежности электроснабжения.

Электрооборудование выбирается в сравнении расчетных данных номинального и аварийного режимов с паспортными данными, расчетные и паспортные данные для удобства сводятся в таблицу.

Разъединитель (QS)— это коммутационный аппарат, предназначенный для коммутации цепи без тока. Основное назначение разъединителя – создание надёжного видимого разрыва цепи для обеспечения безопасного проведения ремонтных работ на оборудовании и токоведущих частях электроустановки. Контактная система разъединителей не имеет дугогасительных устройств, поэтому отключение не обесточенной цепи приведёт к образованию устойчивой дуги и последующей аварии в распределительном устройстве. Прежде чем оперировать разъединителем, цепь должна быть отключена выключателем.

Таблица 1 – Выбор отделителей, разъединителей, короткозамыкателей, выключателей нагрузки

Паспортные данные	Условие выбора	Расчетные данные
$U_{ном}, \text{ кВ}$	$\geq$	$U_{сети}, \text{ кВ}$
$I_{ном}, \text{ А}$	$\geq$	$I_{расч}, \text{ А}$
$I_T^2 \cdot t_T, \text{ кА}^2 \cdot \text{ с}$	$\geq$	$I_k^2 \cdot t_{пр}, \text{ кА}^2 \cdot \text{ с}$
$i_{дин}, \text{ кА}$	$\geq$	$i_{уд}, \text{ кА}$

Короткозамыкатель (QN) – это коммутационный аппарат, предназначенный для создания искусственного КЗ в электрической цепи.

Короткозамыкатели применяются в упрощённых схемах подстанций для того, чтобы обеспечить проверку отключение повреждённого силового трансформатора подстанции релейной защитой питающей линии 35-220кВ. Время включения короткозамыкателей 0,2-0,25 с.

Отделитель (QR)— это коммутационный аппарат, предназначенный для автоматического отключения повреждённого участка линии или силового трансформатора после искусственного КЗ, а также для отключения и включения индуктивных токов холостого хода силового трансформатора и емкостных токов ненагруженных линий. У отделителя для отключения имеется пружинный привод (ПРО), который обеспечивает автоматическое или

дистанционное, со щита управления, отключение за 0,4-0,5с. Отделители могут иметь заземляющие ножи как с одной, так и с двух сторон.

Выключатели нагрузки (QW) - это аппараты, служащие только для включения и отключения номинальных токов установки. Отключение токов короткого замыкания и перегрузок производит высоковольтный предохранитель, включенный с выключателем нагрузки последовательно.

Таблица 3-Выбор предохранителя

Паспортные данные	Условие выбора	Расчетные данные
$U_{ном}$ , кВ	$\geq$	$U_{сети}$ , кВ
$I_{ном}$ , А	$\geq$	$I_{расч}$ , А
$i_{дин}$ , кА	$\geq$	$i_{уд}$ , кА

Таблица 3 – Выбор заземлителей

Паспортные данные	Условие выбора	Расчетные данные
$U_{ном}$ , кВ	$\geq$	$U_{сети}$ , кВ
$I_T^2 \cdot t_T$ , кА <sup>2</sup> с	$\geq$	$I_k^2 \cdot t_{пр}$ , кА <sup>2</sup> с
$i_{дин}$ , кА	$\geq$	$i_{уд}$ , кА

### Пример расчёта

Выбирается отделитель на напряжение 110 кВ по условиям указанным в таблице 2

Таблица 3 – Условия выбора

Паспортные данные	Условие выбора	Расчетные данные
$U_{ном} = 110$ кВ	$\geq$	$U_{сети} = 110$ кВ
$I_{ном} = 800$ А	$\geq$	$I_{расч} = 315,3$ А
$I_T^2 \cdot t_T = 31,5^2 \cdot 3$ кА <sup>2</sup> с	$\geq$	$I_k^2 \cdot t_{пр} = 28^2 \cdot 3$ кА <sup>2</sup> с
$i_{дин} = 80$ кА	$\geq$	$i_{уд} = 70,56$ кА

Окончательно выбирается отделитель типа ОД-110/800ХЛ1

О- отделитель;

Д-двухколонковый;

110 – номинальное напряжение, кВ;

800- номинальный ток, А

ХЛ- с холодным климатом;

1 – с короткозамыкателями;

Тип привода главных ножей ПРО-1ХЛ1 – подвижный нож соединяется с пружинным приводом, для работы на открытом воздухе

Масса: аппарата - 444 кг; привода – 85 кг.

### **Содержание отчета**

- 1 Номер практической работы, ее название.
- 2 Учебная цель.
- 3 Таблицы выбора электрооборудования.
- 4 Расшифровка выбранного электрооборудования.
- 5 Ответы на контрольные вопросы.

### **Контрольные вопросы**

- 1 Для чего предназначен разъединитель?
- 2 Для чего предназначен отделитель?
- 3 Для чего предназначен заземляющий разъединитель?
- 4 Почему с выключателем нагрузки устанавливается предохранитель?
- 5 Условия размещения выбранного электрооборудования.

## Практическая работа № 7

### «Выбор высоковольтных выключателей по условиям короткого замыкания»

**Учебная цель:** закрепить навыки выбора основного электрооборудования подстанции по условиям короткого замыкания.

#### Порядок выполнения работы

1 На схеме электрической принципиальной приложение 1 (практическая работа 1) произвести выбор места установки: высоковольтных выключателей; выключателей нагрузки; измерительных трансформаторов тока; измерительных трансформаторов напряжения.

2 По результатам расчёта токов короткого замыкания в практической работе №1,2 выполнить выбор основного электрооборудования: высоковольтных выключателей; выключателей нагрузки; измерительных трансформаторов тока; измерительных трансформаторов напряжения.

3 Дать расшифровку выбранного электрооборудования с указанием размеров, цены и способа установки.

4 Сделать вывод о проделанной работе.

#### Краткие теоретические сведения

*Для выбора электрооборудования системы электроснабжения выше 1 кВ нужно:*

- определиться с конструкцией высоковольтного аппарата по условиям окружающей среды; способу гашения дуги, типу подстанции;
- определиться с требуемой степени надежности электроснабжения.

Выключатель (Q)– коммутационный аппарат, предназначенный для включения и отключения цепи под нагрузкой, в том числе при коротких замыканиях. Отключение может производиться как в нормальном, так и в

аварийном режиме; как при помощи ручного, так и с помощью автоматического (дистанционного) управления.

Высоковольтный выключатель состоит из: контактной системы с дугогасительным устройством, токоведущих частей, корпуса, изоляционной конструкции и приводного механизма (электромагнитный, гидравлический, пневматический или пружинный приводы).

Согласно существующему государственному стандарту, высоковольтный выключатель характеризуется такими параметрами, как:

- номинальное напряжение, кВ;
- номинальный ток, А;
- ток отключения, кА — наибольшая величина тока короткого замыкания, при которой выключатель способен сработать;
- допустимая величина апериодического тока в общем токе отключения;
- коммутационный ресурс;
- по типу среды, в которой выключатель производит гашение электрической дуги, различают масляные, воздушные, вакуумные и элегазовые модели.

Таблица 1 – Выбор высоковольтных выключателей (Q)

Паспортные данные	Условие выбора	Расчетные данные
$U_{ном}, \text{кВ}$	$\geq$	$U_{сети}, \text{кВ}$
$I_{ном}, \text{А}$	$\geq$	$I_{расч}, \text{А}$
$I_{отк}, \text{кА}$	$\geq$	$I_{дин}, \text{кА}$
$I_T^2 \cdot t_T, \text{кА}^2 \cdot \text{с}$	$\geq$	$I_k^2 \cdot t_{пр}, \text{кА}^2 \cdot \text{с}$

Таблица 2 – Выбор предохранителей (FU)

Паспортные данные	Условие выбора	Расчетные данные
$U_{ном}, \text{кВ}$	$\geq$	$U_{сети}, \text{кВ}$
$I_{ном}, \text{А}$	$\geq$	$I_{расч}, \text{А}$
$I_{отк}, \text{кА}$	$\geq$	$I_k, \text{кА}$

Таблица 3 – Выбор измерительных трансформаторов тока и напряжения (ТА, TV)

Паспортные данные	Условие выбора	Расчетные данные
$U_{\text{ном}}$ , кВ	$\geq$	$U_{\text{сети}}$ , кВ
$I_{\text{ном1}}$ , А	$\geq$	$I_{\text{расч}}$ , А
$K_{\text{дин}}$	$\geq$	$\frac{I_{y0}, A}{\sqrt{2}I_{\text{расч}}}$
$(K_T \cdot I_{\text{ном}})^2 t_T$ , кА <sup>2</sup> с	$\geq$	$I_k^2 \cdot t_{\text{пр}}$ , кА <sup>2</sup> с
$Z_{2\text{ном}}$ , Ом	$\geq$	$Z_{2\text{расч}}$ , Ом
$S_{2\text{ном}}$	$\geq$	$S_{2\text{расч}}$ ВА

$$Z_{2\text{расч}} = Z_K + Z_{\text{пр}} + Z_{\text{пров}} \quad (1)$$

где  $Z_K$  – сопротивление контакторов, равное 0,1 Ом;

$Z_{\text{пр}}$  – сопротивление подключенных измерительных приборов, примерно равное для

амперметров и вольтметров 0,02 Ом; и для счетчиков 0,1 Ом.

$Z_{\text{пров}}$  – сопротивление соединительных проводов, Ом.

Сечение соединительных проводов, мм<sup>2</sup>:

$$F = \frac{\rho \cdot \ell \cdot K_{\text{сх}}}{Z_{\text{пров}}} \quad (2)$$

где  $\rho$  – удельная проводимость материала, равная 0,0283 (Ом мм<sup>2</sup>/м) для алюминия;

$\ell$  – длина соединительных проводов, м;

$K_{\text{сх}}$  – коэффициент схемы включения ТА, при соединении в звезду  $K_{\text{сх}} = 1$ , в треугольник –  $K_{\text{сх}} = \sqrt{3}$ ;

$Z_{\text{пров}}$  – сопротивление проводов Ом;

$$Z_{\text{пров}} = Z_{2\text{ном}} - Z_K - Z_{\text{пр}} \quad (3)$$

По расчётному значению сечения принимается стандартное большее сечение и определяется фактическое сопротивление проводников. Если задается , то учесть соотношение

$$S_{2ном} = I_{ном} \cdot Z_{2ном} \quad (4)$$

Трансформатор тока предназначен для понижения первичного тока до стандартной величины (5 или 1 А) и для отделения цепей измерения и защиты от первичных цепей высокого напряжения.

Трансформатор напряжения предназначен для отделения цепей измерения и релейной защиты от первичных цепей высокого напряжения. Напряжение на его вторичной обмотке обычно 100 В. Трансформатор напряжения по схеме включения напоминает силовой трансформатор, его первичная обмотка включена на напряжение сети, а к вторичной обмотке с напряжением присоединяются параллельно катушки измерительных приборов и реле. Трансформатор напряжения в отличие от трансформатора тока работает с небольшой нагрузкой в режиме, близком к холостому ходу.

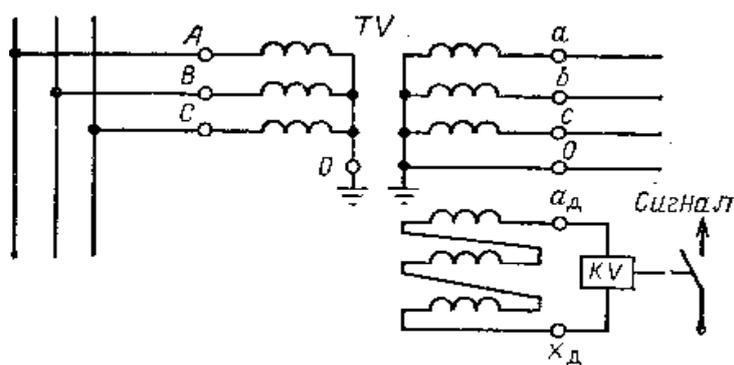


Рисунок 1 – Схема соединения обмоток трёхфазного измерительного трансформатора напряжения

Трёхфазный трансформатор напряжения (рис.1), имеющий две вторичные обмотки — для измерения напряжения и для контроля изоляции. Обмотка с выводами  $a_d$ ,  $x_d$ , соединенная в разомкнутый треугольник, предназначена для

присоединения реле напряжения KV. В нормальном режиме на выводах этой обмотки напряжение близко к нулю, при замыкании на землю в первичной сети симметрия напряжений нарушается и на обмотке появляется напряжение, достаточное для срабатывания реле, которое сигнализирует о повреждении. Вторая обмотка соединена в звезду с выведенной нулевой точкой и предназначена для измерений линейных и фазных напряжений.

### Пример расчёта

Таблица 4 – Выбор выключателя нагрузки и предохранителя

Расчетные данные	Паспортные данные QW	Паспортные данные FU
$I_{раб} = 93,6 \text{ А}$	$I_{ном} = 400 \text{ А}$	$I_{ном} = 100 \text{ А}$
$U_{уст} = 6 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 6 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 6 \text{ кВ}$
$I_{k^2} \cdot t_{пр} = 10,16^2 \cdot 1$	$I_{тер^2} \cdot t_{пр} = 20^2 \cdot 1$	
$i_{уд1} = 25,86 \text{ кА}$	$i_{дин} = 51 \text{ кА}$	$I_{пр.откл} = 31,5 \text{ кА}$
	ВНМ-/400-20зУХЛЗ	ПКТ103-6-100-31.5УЗ

Принимается к установке выключатель нагрузки типа ВНМ-6/400-20зУХЛЗ.

ВНМ – выключатель нагрузки модернизированный, автогазовый с пружинным приводом;

6– номинальное напряжение, кВ;

400 – номинальный ток, А;

з – с заземляющими ножами;

УХЛЗ– для районов с умеренным и холодным климатом, в закрытых помещениях;

Коммутационная способность в нормальном эксплуатационном режиме

Циклы Вкл/Откл -10;

Масса 59-78.8 кг.;

Таблица 5 – Выбор трансформатора тока

Расчётные данные	Условие	Паспортные данные
$U_{\text{раб}} = 0,4 \text{ кВ}$	$\leq$	$U_{\text{ном}} = 0,66 \text{ кВ}$
$I_{\text{раб}} = 373 \text{ А}$	$\leq$	$I_{\text{ном}} = 400 \text{ А}$
$I_{\text{уд}}/(\sqrt{2} \cdot I_{\text{ном}}) = 26,1/(\sqrt{2} \cdot 1637,3) = 11,13$	$\leq$	$K_{\text{д}} = 12$
$I_{\text{к}}^2 \cdot t_{\text{гр}} = 11,75^2 \cdot 0,65 = 89,74 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$		$(K_{\text{т}} \cdot I_{\text{ном}})^2 t_{\text{т}} = (11 \cdot 400)^2 \cdot 3$
$S_{\text{гр}} = 2 \text{ В} \cdot \text{А}$	$\leq$	$S_{\text{ном2}} = 5 \text{ В} \cdot \text{А}$

Принимается к установке трансформатор тока ТТИ-40, 400/5А

Первичный номинальный ток: 400 А;

Вторичный номинальный ток: 5 А;

Класс точности: 0,5%;

Номинальная вторичная полная мощность: 5 ВА;

Вторичное подключение: винтовое соединение;

Наибольшее рабочее напряжение: 0,72 кВ;

Номинальная частота: 50 Гц;

Климатическое исполнение: УХЛЗ;

Степень защиты - IP: IP20;

Макс диаметр кабеля: 30 мм;

Номинальное напряжение: 660 В.

### Содержание отчета

1 Номер практической работы, ее название.

2 Учебная цель.

3 Таблицы выбора электрооборудования (Q, QW, FU, TA, TV)

4 Расшифровка выбранного электрооборудования (включая типоразмер, способ установки и стоимость).

5 Ответы на контрольные вопросы.

### **Контрольные вопросы**

- 1 Почему проверяют коммутационную аппаратуру на термическую стойкость?
- 2 По каким параметрам определяется отключающая способность выключателей?
- 3 От каких показателей зависит допустимое время протекания тока короткого замыкания?
- 4 Почему в трансформаторе напряжения применяется схема «разомкнутый треугольник»?

## **Практическая работа № 8**

### **«Выполнение электрической принципиальной схемы электроснабжения предприятия»**

**Учебная цель:** приобрести навыки выполнения однолинейных электрических схем согласно требованиям ГОСТ 2.721 с указанием выбранного электрооборудования.

#### **Порядок выполнения работы**

1 По результатам выполнения индивидуального задания в практических работах №1, №2, №5; №6, №7, выполнить графическое построение электрической принципиальной схемы с условным обозначением выбранного электрооборудования согласно ГОСТ 2.701 "Единая система конструкторской документации. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению.

2 Составить перечень элементов в виде таблицы (рисунок 1).

3 Сделать вывод о проделанной работе.

#### **Краткие теоретические сведения**

В графической части основным является принципиальная (полная) схема, которая содержит все элементы и связи между ними и дает детальное представление о принципах работы установки. На основе принципиальной схемы разрабатываются схемы соединений (монтажные) и подключения (внешних соединений).

В соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ 2.701 «Единая система конструкторской документации. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению» схемой называется документ, на котором в виде условных обозначений показаны составные части изделия и связи между ними.

Условные графические обозначения (УГО) элементов, устройств, функциональных групп и соединяющие их линии взаимосвязи следует располагать на схеме таким образом, чтобы обеспечивать наилучшее представление о структуре изделия и взаимодействии его составных частей.

Перечень элементов оформляют в виде таблицы рис.1, заполняемой сверху вниз.

Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание

Dimensions: 15 (height), 20 (width of first column), 110 (width of second column), 10 (width of third column), 185 (total width), в мм (vertical dimension on the right).

Рисунок 1 – Перечень элементов

В графах таблицы указывают следующие данные:

- в графе «Поз.обозначение» - позиционные обозначения элементов, устройств и функциональных групп; по латинскому алфавиту;

- в графе «Наименование» - для элемента (устройства)- наименование в соответствии с документом, на основании которого этот элемент (устройство) применен, и обозначение этого документа (основной конструкторский документ, межгосударственный стандарт, стандарт Российской Федерации, стандарт организации, технические условия); - для функциональной группы - наименование;

- в графе «Примечание»-рекомендуется указывать технические данные элемента(устройства), не содержащиеся в его наименовании.

На принципиальной схеме изображают все электрические элементы или устройства, необходимые для осуществления и контроля в изделии заданных электрических процессов, все электрические взаимосвязи между ними, а также электрические элементы (соединители, зажимы и т.п.), которыми заканчиваются входные и выходные цепи.

Схемы выполняют для изделий, находящихся в отключенном положении. В технически обоснованных случаях допускается отдельные элементы схемы изображать в выбранном рабочем положении с указанием на поле схемы режима, для которого изображены эти элементы.

Порядковые номера следует присваивать в соответствии с последовательностью расположения элементов или устройства на схеме сверху вниз в направлении слева направо.

Позиционные обозначения проставляют на схеме рядом с условно-графическим обозначением (УГО) элементов и (или) устройств с правой стороны или над ними (Приложение 1,2).

Данные об элементах следует записывать в перечень элементов, оформляемый в виде таблицы по ГОСТ 2.701. При этом связь перечня с УГО элементов следует осуществлять через позиционные обозначения.

### **Содержание отчёта**

- 1 Номер практической работы, ее название.
- 2 Учебная цель.
- 3 Схема электрическая принципиальная электроснабжения.
- 4 Перечень элементов схемы (рисунок 1).
- 5 Расшифровка выбранного электрооборудования.
- 6 Ответы на контрольные вопросы.

### **Контрольные вопросы**

- 1 Какие элементы должны показываться на схеме?
- 2 В каком порядке присваивается номер элемента на схеме?
- 3 Назначение элементов на схеме FV, (QSN).
- 4 Как определяется место установки разъединителя на схеме?

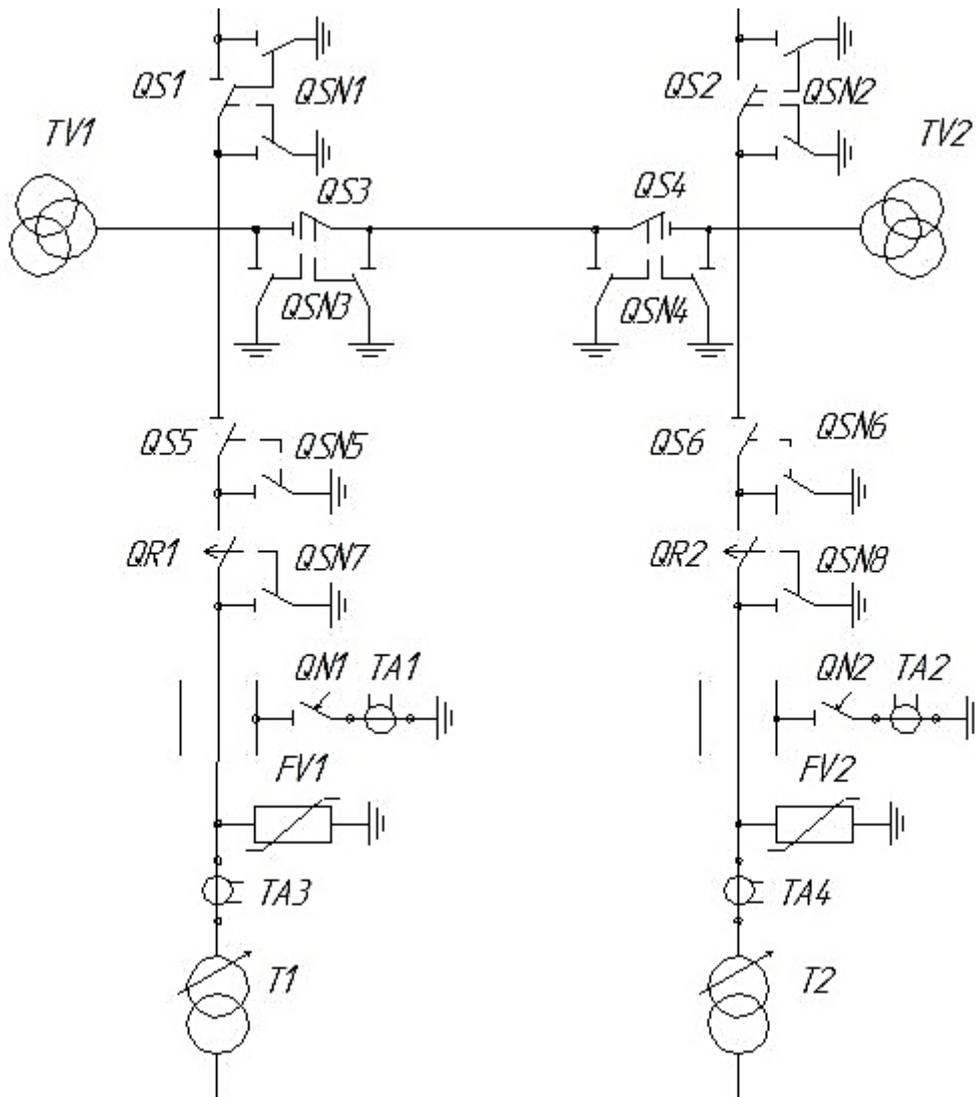
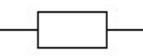
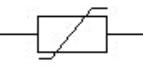


Рисунок П1 – Схема электрическая принципиальная электроснабжения  
110/10 кВ

Таблица П1 – Выдержка из ГОСТ. Обозначения условные графические и буквенные коды в схемах

<i>Графическое обозначение</i>	<i>Элемент схемы</i>	<i>Буквенный код</i>
	<i>Трансформатор</i>	<i>T</i>
	<i>Реактор</i>	<i>LR</i>
	<i>Выключатель высокого напряжения</i>	<i>Q</i>
	<i>Разъединитель</i>	<i>QS</i>
	<i>Отделитель</i>	<i>QR</i>
	<i>Короткозамыкатель</i>	<i>QN</i>
	<i>Выключатель нагрузки</i>	<i>QW</i>
	<i>Выключатель автоматический в силовых цепях</i>	<i>QF</i>
	<i>Предохранитель плавкий</i>	<i>FU</i>
	<i>Резистор</i>	<i>R</i>
	<i>Трансформатор тока</i>	<i>TA</i>
	<i>Разрядник</i>	<i>FV</i>

## Практическая работа № 9

### «Расчёт и выбор основного электрооборудования главной понижающей трансформаторной подстанции»

**Учебная цель:** закрепить навыки расчёта и выбора основного электрооборудования главной понижающей трансформаторной подстанции и формировать умения по заполнению схемы электрической принципиальной главной понижающей подстанции (ГПП).

#### Порядок выполнения работы

- 1 Рассчитать, по индивидуальному заданию, мощность ГПП;
- 2 Выбрать из справочной литературы, по расчётной мощности и напряжению - марку и мощность силовых трансформаторов для ГПП;
- 3 Определить рабочие токи и токи КЗ для цеховых трансформаторных подстанций (ТП);
- 4 Выбрать электрические аппараты и проводники по условиям короткого замыкания.
- 5 Заполнить схему электрическую принципиальную ГПП.
- 6 Сделать вывод о проделанной работе.

#### Краткие теоретические сведения

Суммарная полная мощность всех электроприёмников (ТП) ГПП определяется кВА, по формуле

$$S_{max} = \sum S_{н.т.} \quad (1)$$

Учитывается величина потерь активной и реактивной мощности в силовых трансформаторах и активной мощности в распределительных сетях по формуле:

$$\Delta P_m = 0,02 \cdot S_{max} \quad (2)$$

$$\Delta Q_m = 0,1 \cdot S_{max} \quad (3)$$

$$\Delta P_c = 0,03 \cdot S_{max} \quad (4)$$

Определяется мощность одного силового трансформатора  $S_{тр.расч.}$ , кВА:

$$S_{тр.расч.} = \frac{S_p}{n \cdot K_{з.ном.}} \quad (5)$$

где  $K_{з.ном.}$  – коэффициент загрузки силового трансформатора;

$n$  – количество силовых трансформаторов в ГПП, количество которых определяется согласно требованиям ПУЭ к надёжности электроснабжения объекта;

$S_p$  – полная расчётная мощность с учётом потерь, кВА.

Выбранная мощность силовых трансформаторов проверяется по действительному коэффициенту загрузки в нормальном режиме:

$$K_{з.ном.} = \frac{S_p}{n \cdot S_{н.тр.}} \leq 0,6 \div 0,8 \quad (6)$$

где  $S_{н.тр.}$  – номинальная мощность силового трансформатора, кВА.

Мощность силового трансформатора проверяется по коэффициенту загруженности в аварийном режиме по формуле:

$$K_{з.ав.} = \frac{S_p}{S_{н.т}} \leq K_{доп.перег.} \quad (7)$$

### Расчет токов короткого замыкания

Согласно ПУЭ - силы токов короткого замыкания рассчитывается в тех точках сети, при коротком замыкание в которых аппараты и токоведущие части будут находиться в наиболее тяжёлых условиях. Для вычисления силы токов короткого замыкания составляется расчетная схема, на которой указываются все данные, необходимые для расчета, и точки, где следует определить токи короткого замыкания.

Определяются сопротивления всех элементов схемы до точки короткого замыкания по формулам (8, 9):

- для двухобмоточного силового трансформатора

в относительных единицах

в именованных единицах, Ом

$$X_{\text{тр}}^* = \frac{u_{\text{к}}\%}{100} \cdot \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{НОМ тр.}}} \qquad X_{\text{тр.}}^* = \frac{U_{\text{к}}\%}{100} \cdot \frac{U_{\text{б}}^2}{S_{\text{н.тр.}}} \qquad (8)$$

где  $U_{\text{к}}$ - напряжение короткого замыкания трансформатора, определяется по справочным значениям, %.

- для линии

в относительных единицах

в именованных единицах, Ом

$$X_{\text{л}}^* = X_{\text{ол}} \cdot L \cdot \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{ср}}^2} \qquad X_{\text{л}} = X_0 \cdot L \cdot \frac{U_{\text{б}}^2}{U_{\text{ср}}^2} \qquad (9)$$

где  $X_0$ - индуктивное сопротивление линии на один километр, Ом/км, справочные данные;

$L$  – длина линии электропередач, км.

Определяется суммарное сопротивление от энергосистемы до расчётной точки, преобразуя схему замещения по формуле:

$$X_{\text{ЭКВ}}^* = X_1^* + \dots + X_n^* \qquad (10)$$

Рассчитываются значения токов короткого замыкания по формулам:

а) установившийся ток короткого замыкания, кА:

$$I_{\text{к}} = \frac{U_{\text{б}}}{\sqrt{3}X_{\text{к}}} \qquad (11)$$

б) ударный ток короткого замыкания, кА:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_k \cdot K_{уд} \quad (12)$$

где  $K_{уд}$  - ударный коэффициент, зависящий от места точки короткого замыкания в энергосистеме, его значение принимается равным 1,8.

Мощность короткого замыкания в расчётной точке, МВА, рассчитывается по формуле:

$$S_k = \sqrt{3} \cdot I_k \cdot U_б \quad (13)$$

### Выбор электрооборудования подстанции

Условия выбора и проверки шин со стороны низшего напряжения ГПП.

1 Выбор площади сечения по нагреву длительным током:  $I_{доп.} \geq I_{расч}$

$$I_p = \frac{S_{расч.*}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} \quad (14)$$

2 Выбранное сечение шин проверяется на динамическую устойчивость к току короткого замыкания, Н:

$$F_m = 0,176 \cdot (i_{уд})^2 \cdot \frac{l}{a} \quad (15)$$

где  $l$  - длина пролёта между соседними опорами, см, принимается равным 100см; 150см;

$a$  - расстояние между осями шин, см, принимается равным 10см, 15см, 20см;

$i_{уд}$  - ударный ток в точке КЗ, кА;

Расчетное напряжение в шине, Н/см<sup>2</sup>, определяется по формуле:

$$\sigma_p = \frac{M_{max}}{w} \quad (16)$$

где  $M_{max}$ - наибольший изгибающий момент шин, определяется следующим образом: при одном или двух пролётах, Н·см:

$$M_{max} = 0,125 \cdot F_{max} \cdot l \quad (17)$$

при трёх и более пролётах, Н·см:

$$M_{max} = 0,1 \cdot F_{max} \cdot l \quad (18)$$

Рассчитывается момент сопротивления сечения, см<sup>3</sup>:

-при расположении шин широкими сторонами друг к другу (на ребро):

$$w = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad (19)$$

- при расположении шин плашмя:

$$w = \frac{b^2 \cdot h}{6} \quad (20)$$

где  $b$ - толщина шины, см;

$h$ - ширина шины, см.

Шины будут работать надёжно, если выполнено условие:  $\sigma_p < \sigma_{доп}$

Допустимое напряжение в шинах:

$\sigma_{доп}=7000 \text{ Н/см}^2$  – для алюминия;

$\sigma_{доп}=14000 \text{ Н/см}^2$  - для меди;

$\sigma_{доп}=16000 \text{ Н/см}^2$  - для стали.

Если при расчёте оказалось, что  $\sigma_p > \sigma_{доп}$ , то выполнения условия необходимо увеличить расстояние между шинами ( $a$ ) или уменьшить пролёт между опорами – изоляторами.

Проверка шин на термическую устойчивость производится по формуле;  
мм<sup>2</sup>

$$S_{т.у} = \alpha \cdot I_{к} \cdot \sqrt{t_{пр}} \quad (21)$$

где  $\alpha$  – термический коэффициент, принимается:

$\alpha = 6$  – для меди;

$\alpha = 11$  – для алюминия;

$\alpha = 15$  – для стали;

$I_{к}$  - установившийся трёх фазный ток КЗ, кА;

$t_{пр}$  - приведённое время действия тока КЗ, с.

$$S_{т.у} \leq S_{ш} = h \cdot b \quad (22)$$

Сравнивая расчетные и паспортные данные окончательно выбирается марка и сечение шин.

Таблица 1 – Условия выбора изолятора

Параметры	Расчетные данные цепи	Условие	Паспортные данные
Номинальное напряжение, кВ	$U_{раб}$	$\leq$	$U_{ном}$
Номинальный ток, А	$I_{раб}$	$\leq$	$I_{ном}$
Допустимое усилие на головку изолятора, Н	$F_{расч}$	$\leq$	$F_{доп}$
Допустимый ток термической стойкости для проходных изоляторов и линейных выводов, кА	$I_{у,кА}$	$\leq$	$I_{мах,кА}$

Наибольшая расчётная нагрузка на головку изолятора определяется по формуле, Н

$$F_{расч.оп} = 1,76 \cdot i_{уд}^2 \cdot \frac{1}{a} \cdot 9,81 \cdot 10^{-2} \quad (23)$$

где  $l$  – длина пролёта между изоляторами, м;

$a$ - расстояние между осями шин, м.

Для проходных изоляторов наибольшая расчётная нагрузка рассчитывается по формуле, Н

$$F_{\text{расч.пр}} = 0,5 \cdot F_{\text{расч.оп}} \quad (24)$$

Сравнивая расчетные и паспортные данные, принимают решения о выборе данного типа изоляторов (марка выбранного изолятора расшифровывается).

Таблица 2 –Условия выбора разъединителя

Параметры	Расчетные данные цепи	Условие	Паспортные данные
Номинальное напряжение, кВ	$U_{\text{раб}}$	$\leq$	$U_{\text{ном}}$
Номинальный ток, А	$I_{\text{раб}}$	$\leq$	$I_{\text{ном}}$
Динамическая стойкость, кА	$i_y$	$\leq$	$I_{\text{мах}}$
Предельный ток термической стойкости, кА <sup>2</sup> с	$I_k^2 \cdot t_{\text{пр}}$	$\leq$	$I_T^2 \cdot t_T$

За действительное время протекания тока короткого замыкания принимается время, в течение которого установившийся ток  $I_k$ , выделяет такое же количество тепла, как и изменяющийся во времени ток короткого замыкания за действительное время короткого замыкания  $t_{\text{д}}$ , с:

$$t_{\text{д}} = t_3 + t_{\text{в}} \quad (25)$$

где  $t_3$ - время действия защиты, принимается равным 0,1с;

$t_{\text{в}}$ - время действия выключателя, принимается равным 0,15с.

Таблица 3 – Условия выбора трансформатора тока

Параметры	Расчетные данные цепи	Условие	Паспортные данные
Номинальное напряжение, кВ	$U_{\text{раб}}$	$\leq$	$U_{\text{ном}}$
Номинальный ток, А	$I_{\text{раб}}$	$\leq$	$I_{\text{ном}}$
Электродинамическую стойкость, кА	$i_y / (\sqrt{2} I_{\text{ном}})$	$\leq$	$K_d$
Предельный ток термической стойкости, $\text{kA}^2\text{c}$	$I_k^2 \cdot t_{\text{пр}}$	$\leq$	$I_T^2 \cdot t_T$

### Выбор питающих линий

Сечение провода воздушной линии, питающей ГПП, определяется:

а) по нагреву длительным расчетным током, А :  $I_{\text{доп.}} \geq I_p$

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} \quad (26)$$

б) выбранное сечение проверяется по экономической плотности тока,  $\text{мм}^2$ :

$$S_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}} \quad (27)$$

где  $j_{\text{эк}}$  - нормированное значение экономической плотности тока ( $\text{A}/\text{мм}^2$ ) определяется по справочной литературе в зависимости от числа часов использования максимума нагрузки в год.

в) по допустимой потере напряжения в линии, для КЛ сечение кабельных линий напряжением выше 1000 В, питающих ТП потребителей от ГПП, выбираются:

$$\Delta U_{\%p} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot l}{U_H} \cdot (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi) \cdot 100\% \quad (28)$$

где  $r_0, x_0$  - удельное активное и реактивное сопротивление линии, определяется по справочной литературе, Ом/км.

г) сечение кабельной линии, от ГПП к ТП потребителя, проверяется на термическую устойчивость к току короткого замыкания по формуле, мм<sup>2</sup>:

$$S_{т.у.} = \frac{I_k \sqrt{t_{пр}}}{c} \quad (29)$$

где  $c$  - термический коэффициент, составляющий разности выделенной теплоты в проводнике до и после короткого замыкания.

- для кабелей с медными жилами  $C=141$ ;
- для кабеля с алюминиевыми жилами  $C=85$ .

$t_{пр}$ - приведенное время действия тока короткого замыкания.

Таблица 4 – Условия выбора выключателя нагрузки

Параметры	Расчетные данные цепи	Условие	Паспортные данные
Номинальное напряжение, кВ	$U_{раб}$	$\leq$	$U_{ном}$
Номинальный ток, А	$I_{раб}$	$\leq$	$I_{ном}$
Ток отключения (динамическая стойкость), кА	$i_y$	$\leq$	$I_{ск}$
Предельный ток термической стойкости, кА <sup>2</sup> с	$I_k^2 \cdot t_{пр}$	$\leq$	$I_T^2 \cdot t_T$

### Пример расчёта

Выбор электрооборудования подстанции

Все выбираемое электрооборудование изначально выбирается по условиям нормального режима ( $I_{раб}$ ;  $U_{уст}$ ).

Таблица 5– Выбор трансформатора тока

Расчетные данные цепи	Условие	Паспортные данные
$U_{раб} = 110\text{кВ}$	$\leq$	$U_{ном} = 110\text{кВ}$
$I_p = 29 \text{ А}$	$\leq$	$I_{ном} = 200 \text{ А}$
$I_{уд} = 8,9 \text{ кА}$	$\leq$	$i_{дин} = 100 \text{ кА}$
$I_k^2 \cdot t_{пр} = 3,5^2 \cdot 3\text{с}$	$\leq$	$I_T^2 \cdot t_T = 8^2 \cdot 3\text{с}$

Принимается к установке трансформатор тока типа ТФЗМ110Б-1

- Т – трансформатор тока;  
 Ф – фарфоровая крышка;  
 З – вторичная обмотка звеньев типа;  
 М – маслонеполненный;  
 110 – номинальное напряжение;  
 Б – категория электрооборудования по степени загрязнения изоляции;  
 1 – номер конструктивного варианта исполнения.

Таблица 6 – Выбор разъединителя

Расчетные данные цепи	Условие	Паспортные данные
$U_{\text{раб}} = 110\text{кВ}$	$\leq$	$U_{\text{ном}} = 110\text{кВ}$
$I_p = 29\text{ А}$	$\leq$	$I_{\text{ном}} = 1000\text{ А}$
$i_{\text{уд}} = 8,9\text{ кА}$	$\leq$	$I_{\text{max}} = 80\text{ кА}$
$I_k^2 \cdot t_{\text{пр}} = 3,5^2 \cdot 3\text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$\leq$	$I_T^2 \cdot t_T = 31,5^2 \cdot 3\text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Принимается для установки разъединитель типа РНДЗ.1-110/1000У1,

- Р – разъединитель;  
 Н – наружной установки;  
 Д – двухполюсной;  
 З.1 – с одним заземляющим ножом;  
 110 – номинальное напряжение, кВ;  
 1000 – номинальный ток, А;  
 У1 – климатическое исполнение.

Таблица 7 – Выбор ограничителей перенапряжения

Расчетные данные цепи	Условие	Паспортные данные
$U_{\text{раб}} = 110\text{ кВ}$	$\leq$	$U_{\text{ном}} = 110\text{ кВ}$

Принимается к установке ограничитель перенапряжения типа ОПН-110/100-10-И2УХЛ1

- П – перенапряжений;  
 Н – нелинейный;

110 – номинальное напряжение, кВ;

100 – наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение, кВ;

10 – номинальный разрядный ток, кА;

I – класс разряда линии (класс пропускной способности);

2 – категория по длине пути утечки [10];

УХЛ 1 – для эксплуатации в районах с умеренным и холодным климатом с категорией размещения 1 (на открытом воздухе).

Предварительно выбирается выключатель нагрузки типа LF2.

Выключатели серии LF производства MerlinGerin – трехфазные выключатели внутренней установки, в качестве изолирующей и дугогасящей среды которых использован элегаз – шестифтористая сера SF<sub>6</sub>.

Таблица 8 – Условия выбора выключателя

Расчетные данные	Условие	Паспортные данные
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$\leq$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{расч} = 55,1 \text{ А}$	$\leq$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$
$I_{кл}^2 * t = 27,4^2 * 3 \cdot \text{с}$	$\leq$	$I_{тер}^2 * t_{пр} = 31,5^2 * 3 \text{ с}$
$i_{уд1} = 69,8 \text{ кА}$	$\leq$	$I_{дс} = 81 \text{ кА}$

Окончательно выбирается к установке выключатель нагрузки типа LF2

$I_{ном} = 630 \text{ А}$ .

Таблица 9 – Выбор предохранителя

Расчетные данные	Условие	Паспортные данные
FU1, FU2		ПКТ 102-6-80-20-У3
$U_p = 6 \text{ кВ}$	$\leq$	$U_n = 6 \text{ кВ}$
$I_p = 58 \text{ А}$	$\leq$	$I_n = 80 \text{ А}$
$I_{уд} = 7,4 \text{ кА}$	$\leq$	$I_{откл} = 20 \text{ кА}$

Расшифровка предохранителя марки ПКТ 102-6-80-20-У3[18]:

- П - предохранитель высоковольтный;
- К - с кварцевым наполнителем в патроне;
- Т - используется для защиты силовых трансформаторов;

- 102 - обозначение конструктивного исполнения (101,102,103,104);
- 6 - обозначение номинального напряжения предохранителя, кВ;
- 80 - обозначение номинального тока предохранителя, А;
- 20 - обозначение номинального тока отключения предохранителя, кА;
- У - обозначение климатического исполнения;
- 3 - категория размещения предохранителя - в помещении.

Выбирается питающая подстанцию ГПП воздушная линия 110кВ по допустимому длительному току нагрева:

$$265 \text{ A} \geq 33 \text{ A}$$

Выбирается провод АС 70/12 (исходя из условия механической прочности).

Выбранное сечение проверяется по экономической плотности тока, согласно требованиям ПУЭ п.1.3.27 по формуле (27)

$$s_{\text{эк}} = \frac{33}{1} = 33 \text{ мм}^2$$

Выбранное сечение будет считаться экономически целесообразным, если будет выполнено следующее условие:  $s_{\text{выбр}} \geq s_{\text{эк}}$ ,

$$70 \text{ мм}^2 \geq 33 \text{ мм}^2$$

Выбранное сечение проверяется на термическую устойчивость по формуле(29):

$$S_{\text{т.у.}} = \frac{3500\sqrt{1,7}}{85} = 53\text{мм}^2$$

Выбранное сечение обеспечит термическую устойчивость к току короткого замыкания, если будет выполнено условие:  $s_{т.у} \geq s_{выбр}$ ,

$$53 \text{ мм}^2 \leq 70 \text{ мм}^2$$

Окончательно принимается к установке питающей линии провод типа АС 70/12 [5],

А – алюминиевая токопроводящая жила;

С – стальной сердечник;

70 – сечение токопроводящей жилы,  $\text{мм}^2$ ;

11 – сечение стального сердечника,  $\text{мм}^2$ .

Неизолированный провод АС изготовлен из алюминиевой проволоки и стального сердечника. Конструкция провода состоит из скрученных правильной скруткой алюминиевых проволок и стального сердечника, при которой направление соседних повивов выполнено в противоположные стороны, а наружный повив скрутки направлен в правую сторону.

### **Содержание отчета**

- 1 Номер практической работы, ее название.
- 2 Учебная цель.
- 3 Схема электрическая принципиальная электроснабжения.
- 4 Результаты расчетов.
- 5 Расшифровка выбранного электрооборудования.
- 6 Ответы на контрольные вопросы.

### **Контрольные вопросы**

- 1 Условия выбора питающей линии ГПП.
- 2 Условия выбора силовых трансформаторов.
- 3 Условия выбора выключателя нагрузки.

4 Условия выбора трансформатора напряжения (тока).

5. Условия выбора изолятора.

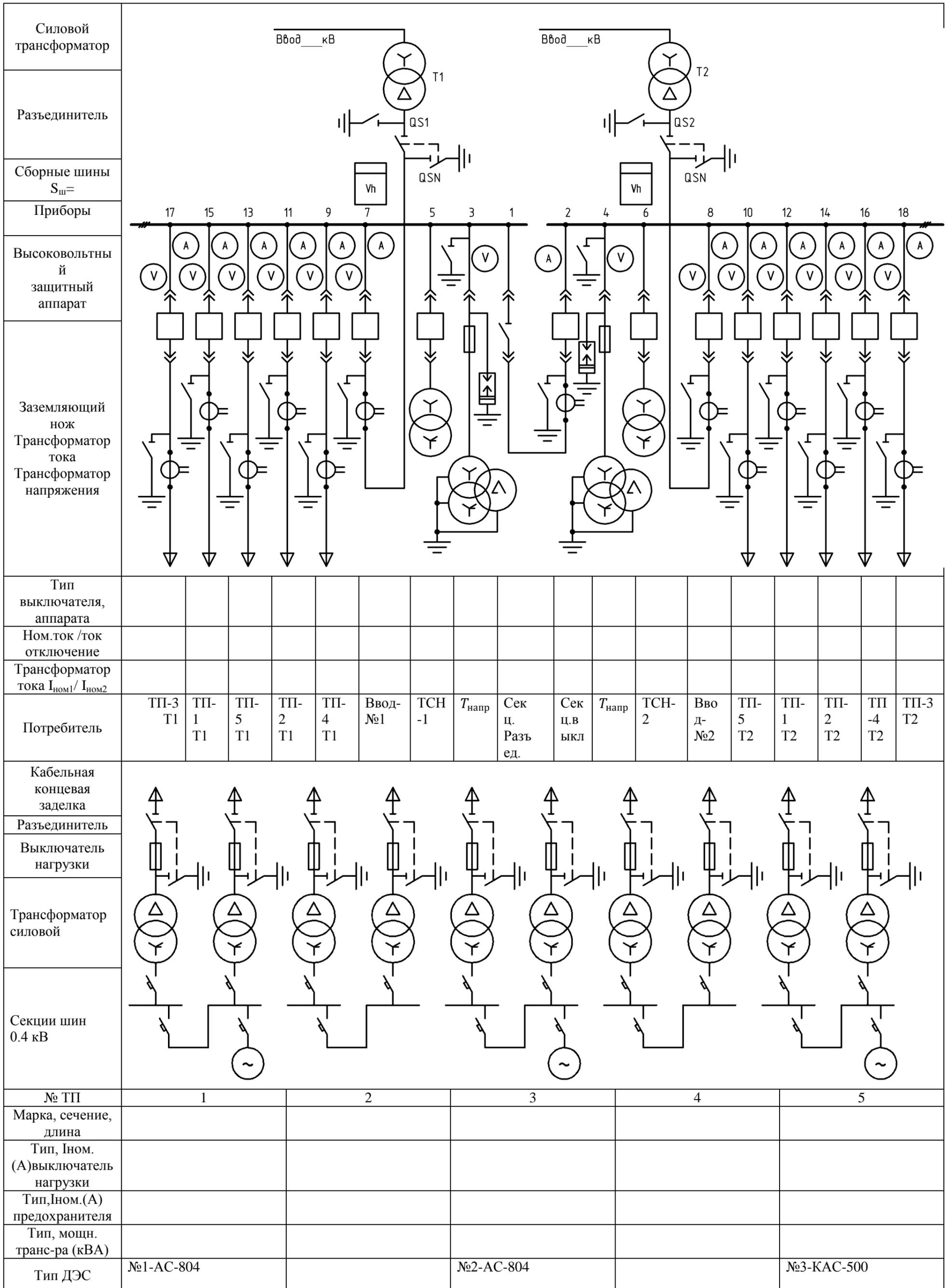
6? Условия выбора разрядника.

Номер варианта	Тип трансформатора ГПП	Количество* $S_{гпп}$ , МВА	$U_{к ГПП}$ %	Значения тока короткого замыкания в РУНН ГПП $I_{к}$ , кА	Параметры ЦТП, кВА			$U_{вн}$ , кВ	$U_{нн}$ , кВ	ТСН, кВА	Длина от ГПП до ЦТП, км
					Номера ЦТП	Количество* мощность, кВА	$U_{к}$ %				
1	ТМ	2*10	8	4,8	1	2*1000	6,5	35	10	2*16	0,6
					2	2*630	5,5				1,2
					3	2*1000	6,5				2,1
					4	2*1600	6,5				3,0
					5	2*400	4,5				0,8
2	ТД	2*16	10,5	5,6	1	2*2500	6,5	110	6	2*25	3,0
					2	2*630	5,5				5,0
					3	2*1000	6,5				1,5
					4	2*1600	6,5				2,2
					5	2*250	4,5				0,8
3	ТДТС	2*16	10,5	3,9	1	2*2500	6,5	35	10	2*10	2,5
					2	2*630	5,5				4,0
					3	2*1000	6,5				3,2
					4	2*1600	6,5				2,6
					5	2*400	4,5				1,5
4	ТДТС	2*16	10,5	4,1	1	2*2500	6,5	35	6	2*10	1,8
					2	2*1000	6,5				2,7
					3	2*1000	6,5				0,8
					4	2*1600	6,5				3,5
					5	2*250	4,5				4,0
5	ТМ	2*4,0	7,5	7,2	1	2*400	4,5	110	10	2*25	5,1
					2	2*630	5,5				4,5
					3	2*400	4,5				2,8
					4	2*250	4,5				1,8
					5	2*250	4,5				0,8
6	ТД	2*25	11,0	6,8	1	2*400	4,5	110	6	2*10	0,7
					2	2*630	5,5				1,6
					3	2*400	4,5				2,5
					4	2*400	4,5				3,7
					5	2*250	4,5				1,2
7	ТД	2*40	11,0	5,2	1	2*630	6,5	110	10	2*25	1,8
					2	2*1000	6,5				1,0
					3	2*1000	6,5				2,8
					4	2*630	6,5				3,2
					5	2*250	4,5				0,6
8	ТД	2*16	10,5	5,6	1	2*2500	6,5	110	6	2*25	3,0

					2	2*630	5,5				5,0
					3	2*1000	6,5				1,5
					4	2*1600	6,5				2,2
					5	2*250	4,5				0,8
9	ТДТС	2*16	10,5	3,9	1	2*2500	6,5	35	10	2*10	2,5
					2	2*630	5,5				4,0
					3	2*1000	6,5				3,2
					4	2*1600	6,5				2,6
					5	2*400	4,5				1,5
10	ТМ	2*4,0	7,5	7,2	1	2*400	4,5	110	10	2*25	5,1
					2	2*630	5,5				4,5
					3	2*400	4,5				2,8
					4	2*250	4,5				1,8
					5	2*250	4,5				0,8
11	ТД	2*25	11,0	6,8	1	2*400	4,5	110	6	2*10	0,7
					2	2*630	5,5				1,6
					3	2*400	4,5				2,5
					4	2*400	4,5				3,7
					5	2*250	4,5				1,2
12	ТДТС	2*16	10,5	4,1	1	2*1600	6,5	35	6	2*10	1,8
					2	2*1600	6,5				2,7
					3	2*2500	6,5				0,8
					4	2*630	6,5				3,5
					5	2*250	4,5				4,0
13	ТМ	2*4,0	7,5	7,2	1	2*400	4,5	110	10	2*25	5,1
					2	2*630	5,5				4,5
					3	2*400	4,5				2,8
					4	2*250	4,5				1,8
					5	2*250	4,5				0,8
14	ТД	2*16	10,5	5,6	1	2*1000	6,5	110	6	2*25	3,0
					2	2*630	5,5				5,0
					3	2*1000	6,5				1,5
					4	2*1600	6,5				2,2
					5	2*400	4,5				0,8
15	ТМ	2*4,0	7,5	7,2	1	2*400	4,5	110	10	2*25	5,1
					2	2*630	5,5				4,5
					3	2*400	4,5				2,8
					4	2*250	4,5				1,8
					5	2*250	4,5				0,8
16	ТД	2*25	11,0	6,8	1	2*400	4,5	110	6	2*10	0,7
					2	2*630	5,5				1,6

					3	2*400	4,5				2,5
					4	2*400	4,5				3,7
					5	2*250	4,5				1,2
17	ТМ	2*4,0	7,5	7,2	1	2*400	4,5	110	10	2*25	5,1
					2	2*1000	5,5				4,5
					3	2*400	4,5				2,8
					4	2*160	4,5				1,8
					5	2*1600	4,5				0,8
18	ТД	2*25	11,0	6,8	1	2*1000	4,5	110	6	2*10	0,7
					2	2*630	5,5				1,6
					3	2*400	4,5				2,5
					4	2*400	4,5				3,7
					5	2*630	4,5				1,2
19	ТМ	2*10	8	4,8	1	2*1000	6,5	35	10	2*16	0,6
					2	2*630	5,5				1,2
					3	2*2500	6,5				2,1
					4	2*1000	6,5				3,0
					5	2*250	4,5				0,8
20	ТД	2*16	10,5	5,6	1	2*2500	6,5	110	6	2*25	3,0
					2	2*630	5,5				5,0
					3	2*1000	6,5				1,5
					4	2*1600	6,5				2,2
					5	2*160	4,5				0,8
21	ТДТС	2*16	10,5	3,9	1	2*2500	6,5	35	10	2*10	2,5
					2	2*630	5,5				4,0
					3	2*1000	6,5				3,2
					4	2*1600	6,5				0,8
					5	2*400	4,5				0,6
22	ТДТС	2*16	10,5	4,1	1	2*2500	6,5	35	6	2*10	2,6
					2	2*1000	6,5				1,5
					3	2*1000	6,5				1,8
					4	2*1600	6,5				2,7
					5	2*250	4,5				0,8
23	ТМ	2*4,0	7,5	7,2	1	2*400	4,5	110	10	2*25	3,5
					2	2*630	5,5				1,0
					3	2*400	4,5				5,1
					4	2*250	4,5				4,5
					5	2*250	4,5				2,8
24	ТД	2*25	11,0	6,8	1	2*400	4,5	110	6	2*10	1,8
					2	2*630	5,5				0,8
					3	2*400	4,5				0,7

					4	2*400	4,5				1,6
					5	2*250	4,5				0,5
25	TM	2*4,0	7,5	7,2	1	2*400	4,5	110	10	2*25	5,1
					2	2*630	5,5				4,5
					3	2*400	4,5				2,8
					4	2*250	4,5				1,8
					5	2*250	4,5				0,8



## Список использованных источников (перечень учебной, справочной и специальной литературы)

### Основные источники:

- 1 Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (с изменениями на 13 сентября 2018 года): приказ Минэнерго России от 13.01.2003 № 6. [Электронный ресурс]: справ.- правовая система «Техэксперт». – Доступ из сети Техникума
- 2 Правила устройства электроустановок. 6-е и 7-е изд. с изм. и доп. Доступ из справ.-правовая система «Гарант».
- 3 Сибикин Ю.Д. Электроснабжение предприятий добычи и переработки нефти и газа: учебник для СПО. М.: ФОРУМ; ИНФРА-М, 2017. 352 с
- 4 ПС «Электромонтажник домовых электрических систем и оборудования» № 795. [Электронный ресурс]: справ.-правовая система «Гарант». – Доступ из сети Техникума.
- 5 ПС «Работник по ремонту трансформаторов в инженерной инфраструктуре электроснабжения населения» № 784. [Электронный ресурс]: справ.-правовая система «Гарант». – Доступ из сети Техникума.
- 6 ПС «Работник по обслуживанию оборудования подстанций электрических сетей» № 828. [Электронный ресурс]: справ.-правовая система «Гарант». – Доступ из сети Техникума.
- 7 Энергетическая стратегия России на период до 2030 года: распоряжение Правительства России от 13.11.2009 № 1715-р [Электронный ресурс]: справ.-правовая система «Техэксперт». – Доступ из сети Техникума..

### Дополнительные источники:

- 1 Варварин В.К. Выбор и наладка электрооборудования. [Электронный ресурс]: справочное пособие. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2017. 238 с. URL: <http://znanium.com/catalog/product/908450> (договор на предоставление доступа к ЭБС)
- 2 Киреева Э.А., Шерстнев С.Н. Полный справочник по электрооборудованию и электротехнике: справочник. М.: КНОРУС, 2017. 864 с. То же [Электронный

ресурс]: справочник. М.:КНОРУС, 2017. 864с. URL: <https://www.book.ru/book/926525> (договор на предоставление доступа к ЭБС)

- 3 Ополева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения (справочник). М.: Форум; Инфра-М, 2010. 480с.
- 4 Суворин А.В. Электрические схемы электроустановок: составление и монтаж. Ростов н/Д: Феникс, 2015. 541с
- 5 Суворин А.В Современный справочник электрика Ростов н/Д: Феникс, 2016. 517с
- 6 Шеховцов В.П. Расчёт и проектирование схем электроснабжения. М.: Форум; Инфра-М, 2010. 214 с. То же [Электронный ресурс]: методич. пособие для курсового проектирования. URL: <http://znanium.com/catalog/product/1009603> (договор на предоставление доступа к ЭБС)

Нормативно-технические документы:

- 1 Об утверждении требований к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок «Правила безопасности энергопринимающих установок. Особенности выполнения электропроводки в зданиях с токопроводящими медными жилами или жилами из алюминиевых сплавов»: приказ Минэнерго России от 16 октября 2017 г. № 968.
- 2 ГОСТ 21.613-2014. Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации силового электрооборудования.
- 3 СП 76.13330.2016. Электротехнические устройства.
- 4 ГОСТ 2.701 "Единая система конструкторской документации. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению"

Интернет-ресурсы:

- 1 Нормативно-технические документы: ГОСТы, Правила, СНиПы, СТО Газпром и др. Промышленный портал. URL:<http://www.complexdoc.ru> (дата обращения: 23.01.2020).
- 2 Электротехническая библиотека. URL:<http://www.electrolibrary.info> (дата обращения: 23.01.2020).
- 3 Электротехническая библиотека. URL:<http://www.electrolibrary.info>

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

СОГЛАСОВАНО

Старший методист

М.В. Отс

Методист по ИТ

Ю.В. Пеховкина