

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

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

Ожерельевский ж.д. колледж - филиал ПГУПС

СОГЛАСОВАНО

Методист

Л.А. Елина
« ____ » _____ 20 ____ г.

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по УР

Н.Н. Иванова
« ____ » _____ 20 ____ г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ И ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

**по МДК.01.01 Устройство и техническое обслуживание
электрических подстанций**

Раздел 1. Устройство электрических подстанций и составление их схем
**ПМ.01 Техническое обслуживание оборудования электрических
подстанций и сетей**

специальность 13.02.07 Электроснабжение (по отраслям)

СОДЕРЖАНИЕ

1. Пояснительная записка	5
2. Перечень практических работ	7
3. Перечень лабораторных работ	9
4. Практическая работа № 1	10
5. Практическая работа № 2	16
6. Практическая работа № 3	19
7. Практическая работа № 4	24
8. Практическая работа № 5	28
9. Практическая работа № 6	33
10. Практическая работа № 7	37
11. Практическая работа № 8	42
12. Практическая работа № 9	46
13. Практическая работа № 10	51
14. Практическая работа № 11	55
15. Практическая работа № 12	59
16. Практическая работа № 13	69
17. Практическая работа № 14	74
18. Практическая работа № 15-16	82
19. Практическая работа № 17-18	89
20. Практическая работа № 19	98
21. Практическая работа № 20	101
22. Практическая работа № 21	105
23. Практическая работа № 22	108
24. Практическая работа № 23	115
25. Практическая работа № 24	119
26. Практическая работа № 25	123
27. Практическая работа № 26	127
28. Практическая работа № 27	130
29. Практическая работа № 28	133

30. Практическая работа № 29	136
31. Практическая работа № 30-31	139
32. Практическая работа № 32-33	142
33. Практическая работа № 34-35	145
34. Практическая работа № 36-37	149
35. Практическая работа № 38-39	152
36. Практическая работа № 40-41	155
37. Практическая работа № 42-43	164
38. Практическая работа № 44	170
39. Практическая работа № 45	173
40. Лабораторная работа № 1	177
41. Лабораторная работа № 2	182
42. Лабораторная работа № 3	186
43. Лабораторная работа № 4-5	190
44. Лабораторная работа № 6-7	195
45. Лабораторная работа № 8	198
46. Приложения	202
47. Перечень литературы	207

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Методические указания по выполнению практических и лабораторных работ к Разделу 1 Устройство электрических подстанций и составление их схем по МДК 01.01. Устройство и техническое обслуживание электрических подстанций составлены в соответствии с требованиями ФГОС СПО к минимуму содержания и уровню подготовки выпускников СПО по специальности 13.02.07 Электроснабжение (по отраслям) и на основе рабочей программы профессионального модуля ПМ 01 Техническое обслуживание оборудования электрических подстанций и сетей.

В результате освоения данного раздела междисциплинарного курса обучающийся должен **иметь практический опыт:**

- составления электрических схем устройств электрических подстанций и сетей;
- модернизации схем электрических устройств подстанций;
- применения инструкций и нормативных правил при составлении отчетов и разработке технологических документов.

В результате освоения данного раздела междисциплинарного курса обучающийся должен **уметь:**

- разрабатывать электрические схемы устройств электрических подстанций и сетей;
- вносить изменения в принципиальные схемы при замене приборов аппаратуры распределительных устройств;
- использовать нормативную техническую документацию и инструкции;
- выполнять расчеты рабочих и аварийных режимов действующих электроустановок и выбирать оборудование;
- оформлять отчеты о проделанной работе.

В результате освоения данного раздела междисциплинарного курса обучающийся должен **знать:**

- устройство оборудования электроустановок;
- условные графические обозначения элементов электрических схем;
- основные положения правил технической эксплуатации электроустановок;
- виды технологической и отчетной документации, порядок ее заполнения;
- логику построения схем, типовые схемные решения, принципиальные схемы эксплуатируемых электроустановок.

Процесс изучения междисциплинарного курса направлен на освоение общих компетенций, включающих в себя способность:

ОК 01 - понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес;

ОК 02 - организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество;

ОК 03 - принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность;

ОК 04 - осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития;

ОК 05 - использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности;

ОК 06 - работать в коллективе и в команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями;

ОК 07 - брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), за результат выполнения заданий;

ОК 08 - самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации;

ОК 09 - ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности.

Общей целью проведения практических и лабораторных занятий является формирование у обучающихся профессиональных компетенций:

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

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

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

ПК 1.5. Разрабатывать и оформлять технологическую и отчетную документацию.

Рабочая программа профессионального модуля предусматривает в Разделе 1 МДК 01.01. 90 часов практических работ и 16 часов лабораторных работ.

Перечень практических работ

№ п/п	Название работы	Объем часов
1	Расчет токов короткого замыкания в электроустановках напряжением выше 1000 В для опорной подстанции в максимальном режиме	2
2	Расчет токов короткого замыкания в электроустановках напряжением выше 1000 В для опорной подстанции в минимальном режиме	2
3	Расчет токов короткого замыкания в электроустановках напряжением выше 1000 В для транзитной подстанции в максимальном режиме	2
4	Расчет токов короткого замыкания в электроустановках напряжением выше 1000 В для транзитной подстанции в минимальном режиме	2
5	Расчет токов короткого замыкания в электроустановках напряжением выше 1000 В для отпаечной подстанции в максимальном режиме	2
6	Расчет токов короткого замыкания в электроустановках напряжением выше 1000 В для отпаечной подстанции в минимальном режиме	2
7	Расчет токов короткого замыкания в электроустановках напряжением выше 1000 В для тупиковой подстанции в максимальном режиме	2
8	Расчет токов короткого замыкания в электроустановках напряжением выше 1000 В для тупиковой подстанции в минимальном режиме	2
9	Расчет токов короткого замыкания в электроустановках напряжением до 1000 В	2
10	Исследование конструкции силового маслонаполненного трансформатора	2
11	Исследование конструкции силового трансформатора с сухой изоляцией	2
12	Выбор и проверка измерительных трансформаторов тока на термическую и динамическую стойкости к токам короткого замыкания	2
13	Проверка измерительных трансформаторов тока на соответствие классу точности	2
14	Выбор и проверка измерительных трансформаторов напряжения	2
15-16	Выбор и проверка токоведущих частей и изоляторов для открытого распределительного устройства	4

№ п/п	Название работы	Объем часов
17-18	Выбор и проверка токоведущих частей и изоляторов для закрытого распределительного устройства	4
19	Изучение конструкции высоковольтных (масляных) выключателей переменного тока.	2
20	Изучение конструкции высоковольтных (вакуумных) выключателей переменного тока.	2
21	Изучение конструкции высоковольтных (элегазовых) выключателей переменного тока.	2
22	Выбор и проверка высоковольтных выключателей переменного тока	2
23	Изучение конструкции разъединителей.	2
24	Выбор и проверка разъединителей	2
25	Изучение конструкции магнитного пускателя	2
26	Изучение конструкции контактора	2
27	Изучение конструкции автоматического воздушного выключателя	2
28	Изучение конструкции вентильных разрядников	2
29	Изучение конструкции ограничителей перенапряжений	2
30-31	Исследование схемы опорной подстанции	4
32-33	Исследование схемы транзитной подстанции	4
34-35	Исследование схемы отпаечной подстанции	4
36-37	Исследование схемы тупиковой подстанции	4
38-39	Исследование схемы электрической подстанции 10/0,4 кВ	4
40-41	Расчет полной мощности трансформаторной подстанции	4
42-43	Расчет рабочих токов основных присоединений распределительных устройств	4
44	Изучение конструкции аккумулятора	2
45	Расчет и выбор аккумуляторной батареи	2
ИТОГО		90

Перечень лабораторных работ

№ п/п	Название работы	Объем часов
1	Исследование работы магнитного пускателя	2
2	Исследование работы контактора	2
3	Исследование работы автоматического воздушного выключателя	2
4-5	Разборка, замер параметров и сборка высоковольтного выключателя переменного тока	4
6-7	Исследование работы привода высоковольтного выключателя	4
8	Исследование схемы управления высоковольтным выключателем переменного тока	4
ИТОГО		16

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

Тема: Расчет токов короткого замыкания в электроустановках напряжением выше 1000 В для опорной подстанции в максимальном режиме

Цель работы: научиться рассчитывать токи короткого замыкания в электроустановках напряжением выше 1000 В в максимальном режиме работы сети для опорной подстанции.

Краткие теоретические сведения

Токи короткого замыкания в электроустановках напряжением до 1000 В определяются методом относительных единиц. Относительные единицы (сопротивления цепи короткого замыкания) вычисляются при базисных условиях. Базисные условия характеризуются базисной мощностью S_b , средним линейным напряжением $U_{ср}$, базисным током I_b . Базисная мощность – суммарная номинальная мощность генераторов электрической системы. В расчеты принимать $S_b = 100$ МВА. Среднее напряжение на 5% больше номинального.

Таблица 1.1.1 - Шкала номинальных и средних напряжений

U_n , кВ	0,22	0,38	3	6	10	35	110	220
$U_{ср}$, кВ	0,23	0,4	3,15	6,3	10,5	37	115	230

Токи короткого замыкания требуется рассчитать в максимальном и минимальном режимах работы электрической сети. Токи, определенные в максимальном режиме, необходимы для проверки электрооборудования на термическую и динамическую стойкости. Токи, определенные в минимальном режиме, необходимы для проверки релейной защиты на чувствительность.

Расчет относительных сопротивлений выполняется в следующем порядке:

1. По схеме внешнего электроснабжения подстанции составляется расчетная схема.

2. По расчетной схеме составляется схема замещения, на которой все элементы расчетной схемы представляются как индуктивные сопротивления. Активные и емкостные сопротивления не учитывают ввиду их малых значений.

3. Рассчитываются относительные сопротивления элементов цепи короткого замыкания. Полученные значения наносятся на схему замещения. Каждое относительное сопротивление обозначается дробью, в числителе которой указывается его порядковый номер, в знаменателе – значение этого сопротивления.

4. Схема замещения методом свертывания приводится к элементарному виду, при этом определяются относительные сопротивления в заданных точках короткого замыкания.

Исходные данные

1. Схема внешнего электроснабжения электрических подстанций (Рисунок 1.1.1).

2. Номер подстанции, для которой рассчитываются токи короткого замыкания (№ 2 или № 6).

3. $S_{к1}$ и $S_{к2}$ – мощности короткого замыкания на шинах районных подстанций, МВА.

5. $U_{н1}$ и $U_{н2}$ – номинальные напряжения, кВ.

6. $l_1, l_2, l_4, l_5, l_6, l_7$ – длины воздушных линий электропередачи, км.

7. $S_{н.тр}$ – номинальная мощность двухобмоточных трансформаторов, установленных на рассматриваемой подстанции, МВА.

8. u_k – напряжение короткого замыкания трансформаторов, %.

Цифры для расчетов выдаются преподавателем.

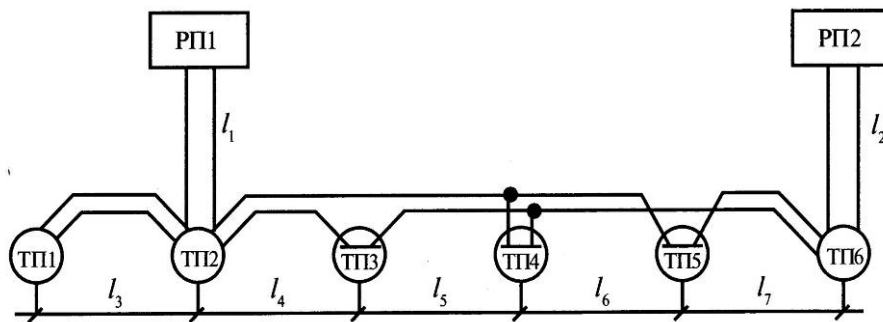


Рисунок 1.1.1. Схема внешнего электроснабжения электрических подстанций

Порядок выполнения работы

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

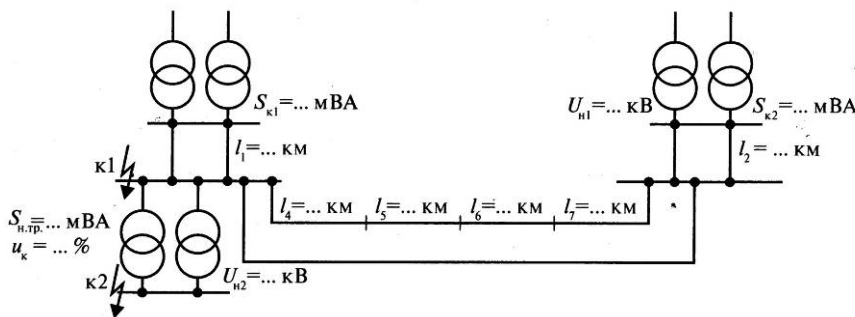


Рисунок 1.1.2. Расчетная схема для определения токов короткого замыкания

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

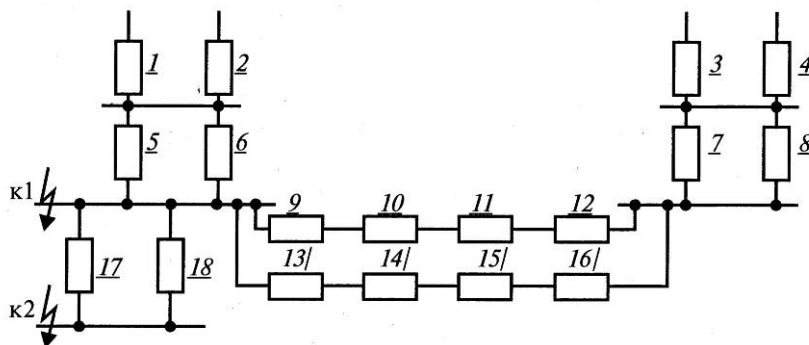


Рисунок 1.1.3. Схема замещения для определения токов короткого замыкания

3. Выполнить расчет относительных сопротивлений.

3.1. Расчет относительных сопротивлений электрической системы:

$$X_{*бэс} = \frac{S_{\delta}}{S_{\kappa}}, \quad (1.1)$$

По формуле 1.1 рассчитываются сопротивления $X_{*б1}$ и $X_{*б2}$, $X_{*б3}$ и $X_{*б4}$.

3.2. Расчет относительных сопротивлений линий электропередачи:

$$X_{*б\text{ ЛЭП}} = X_0 l \frac{S_{\delta}}{U_{cp}^2}, \quad (1.2)$$

где X_0 – сопротивление одного километра линии, $X_0 = 0,4 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$;

l – длина ЛЭП, км;

U_{cp} – среднее напряжение в ЛЭП, кВ.

По формуле 1.2 рассчитываются относительные сопротивления $X_{*б5}$ – $X_{*б16}$.

3.3. Расчет относительных сопротивлений трансформаторов:

$$X_{*б\text{ тр}} = \frac{u_{\kappa}}{100} \frac{S_{\delta}}{S_{н.тр}}, \quad (1.3)$$

где u_{κ} – напряжение короткого замыкания трансформатора, %;

$S_{н.тр}$ – номинальная мощность трансформатора, МВА.

По формуле 1.3 рассчитываются относительные сопротивления $X_{*б17}$ и $X_{*б18}$.

Результаты расчетов необходимо нанести на схему замещения.

4. Преобразование схемы замещения.

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

Эквивалентное относительное сопротивление группы последовательно соединенных сопротивлений определяют их суммой. Например,

относительные сопротивления X_{*69} , X_{*610} , X_{*611} , X_{*612} соединены последовательно, их эквивалентное сопротивление $X_{*623} = X_{*69} + X_{*69} + X_{*69} + X_{*69}$. $X_{*623} = X_{*624}$.

Эквивалентное сопротивление при параллельном соединении определяется по формуле

$$X_{*61-2} = (X_{*61} \cdot X_{*62}) / (X_{*61} + X_{*62}).$$

Если сопротивления имеют одинаковые значения $X_{*61} = X_{*62}$, то их эквивалентное находится по формуле

$$X_{*61-2} = X_{*61} / 2.$$

Этой формулой необходимо воспользоваться, объединяя X_{*61} и X_{*62} , X_{*63} и X_{*64} , X_{*65} и X_{*66} , X_{*67} и X_{*68} , X_{*617} и X_{*618} сопротивления. Схемы и формулы для преобразования указаны в учебнике [1], на стр. 41 в таблице 2.2.

5. Расчет токов и мощности короткого замыкания.

5.1. Расчет базисного тока.

$$I_{\bar{6}} = \frac{S_{\bar{6}}}{\sqrt{3} \cdot U_{cp}}, \quad (1.4)$$

где U_{cp} – среднее напряжение в точке короткого замыкания, кВ.

5.2. Расчет установившегося значения тока короткого замыкания.

$$I_k = \frac{I_{\bar{6}}}{X_{*6k}}, \quad (1.5)$$

где X_{*6k} – относительное сопротивление в точке короткого замыкания.

5.3. Расчет ударного тока короткого замыкания.

$$i_y = 2,55 I_k. \quad (1.6)$$

5.4. Расчет мощности короткого замыкания.

$$S_{кз} = \frac{S_{\bar{6}}}{X_{*6k}}, \quad (1.7)$$

Контрольные вопросы.

1. Какие условия при расчете токов короткого замыкания называют базисными?

2. Какое сопротивление понимают под относительным сопротивлением?
3. С какой целью рассчитывают токи короткого замыкания в максимальном режиме?

Содержание отчета

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

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

Тема: Расчет токов короткого замыкания в электроустановках напряжением выше 1000 В для опорной подстанции в минимальном режиме

Цель работы: научиться рассчитывать токи короткого замыкания в электроустановках напряжением выше 1000 В в минимальном режиме работы сети для опорной подстанции.

Исходные данные

Исходные данные для расчета токов короткого замыкания в минимальном режиме для опорной подстанции берутся из практической работы № 1.

Порядок выполнения работы

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

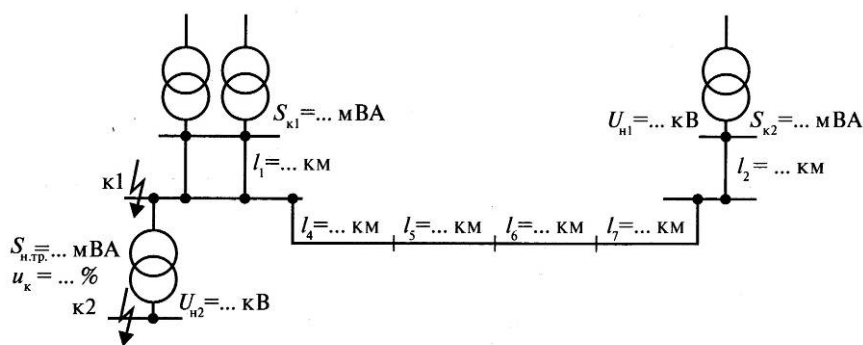


Рисунок 1.2.1. Расчетная схема для определения токов короткого замыкания (для опорной подстанции ТП2)

2. По расчетной схеме составить схему замещения, на которой все элементы расчетной схемы заменить на индуктивные сопротивления. Сопротивления пронумеровать и указать их значения. Значения относительных сопротивлений берутся из практической работы № 1, из рисунка № 1.1.3. На расчетной схеме, схеме замещения и схемах преобразования отметить точки короткого замыкания.

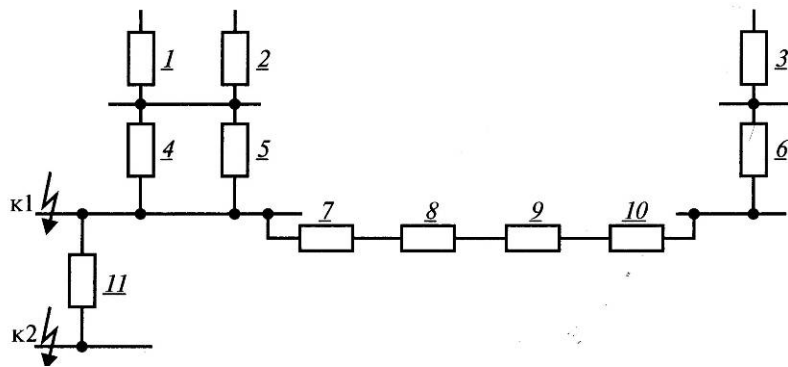


Рисунок 1.2.2. Схема замещения для определения токов короткого замыкания

3. Преобразование схемы замещения.

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

Эквивалентное относительное сопротивление группы последовательно соединенных сопротивлений определяют их суммой. Например, относительные сопротивления X_{*63} , X_{*66} , X_{*610} , X_{*69} , X_{*68} , X_{*67} соединены последовательно, их эквивалентное сопротивление $X_{*614} = X_{*63} + X_{*66} + X_{*610} + X_{*69} + X_{*68} + X_{*67}$.

Эквивалентное сопротивление при параллельном соединении определяется по формуле:

$$X_{*612} = (X_{*61} \cdot X_{*62}) / (X_{*61} + X_{*62}).$$

Если сопротивления имеют одинаковые значения $X_{*61} = X_{*62}$, то их эквивалентное находится по формуле

$$X_{*612} = X_{*61} / 2.$$

Этой формулой необходимо воспользоваться, объединяя X_{*64} и X_{*65} , X_{*63} сопротивления. Схемы и формулы для преобразования указаны в учебнике [1] на стр. 41 в таблице 2.2.

4. Расчет токов и мощности короткого замыкания.

4.1. Расчет базисного тока:

$$I_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{cp}}, \quad (2.1)$$

где U_{cp} – среднее напряжение в точке короткого замыкания, кВ.

4.2. Расчет установившегося значения тока короткого замыкания:

$$I_{к} = \frac{I_{\delta}}{X_{*\deltaк}}, \quad (2.2)$$

Где $X_{*\deltaк}$ – относительное сопротивление в точке короткого замыкания.

4.3. Расчет ударного тока короткого замыкания:

$$i_y = 2,55 I_{к}, \quad (2.3)$$

4.4. Расчет мощности короткого замыкания:

$$S_{кз} = \frac{S_{\delta}}{X_{*\deltaк}}, \quad (2.4)$$

Контрольные вопросы.

1. Что обозначает индекс звездочка X^* ?
2. Какое значение имеет базисная мощность?
3. С какой целью рассчитывают токи короткого замыкания в минимальном режиме?

Содержание отчета

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

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3

Тема: Расчет токов короткого замыкания в электроустановках напряжением выше 1000 В для транзитной подстанции в максимальном режиме

Цель работы: научиться рассчитывать токи короткого замыкания в электроустановках напряжением выше 1000 В в максимальном режиме работы сети для транзитной подстанции.

Исходные данные

1. Схема внешнего электроснабжения электрических подстанций (рисунок 1.3.1).
2. Номер подстанции, для которой рассчитываются токи короткого замыкания (№ 3 или № 5).
3. $S_{к1}$, $S_{к}$ – мощности короткого замыкания на шинах районных подстанций, МВА.
4. $U_{н1}$, $U_{н2}$ – номинальные напряжения, кВ.
5. l_1 , l_2 , l_4 , l_5 , l_6 , l_7 – длины воздушных линий электропередачи, км.
6. $S_{н,тр}$ – номинальная мощность двухобмоточных трансформаторов, установленных на рассматриваемой подстанции, МВА.
7. $u_{к}$ – напряжение короткого замыкания трансформаторов, %.

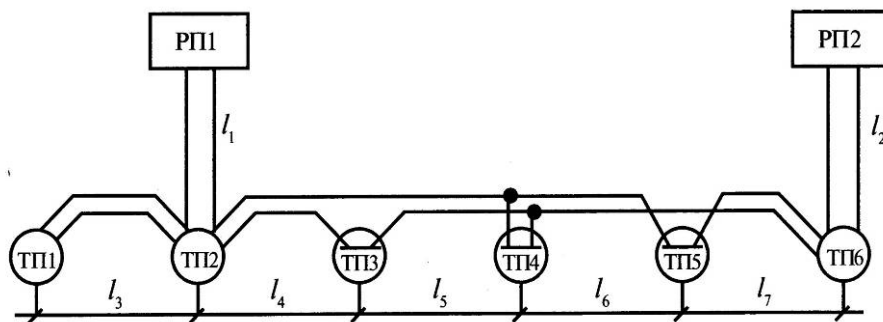


Рисунок 1.3.1. Схема внешнего электроснабжения электрических подстанций

Порядок выполнения работы

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

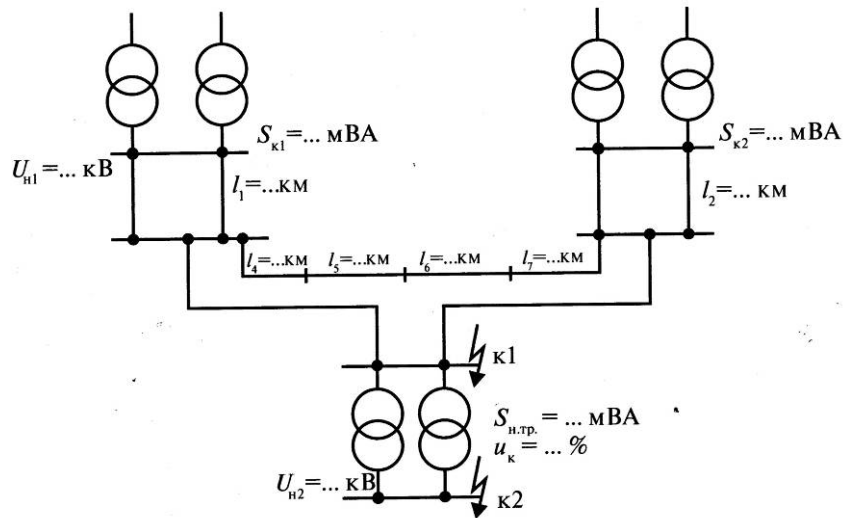


Рисунок 1.3.2. Расчетная схема для определения токов короткого замыкания

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

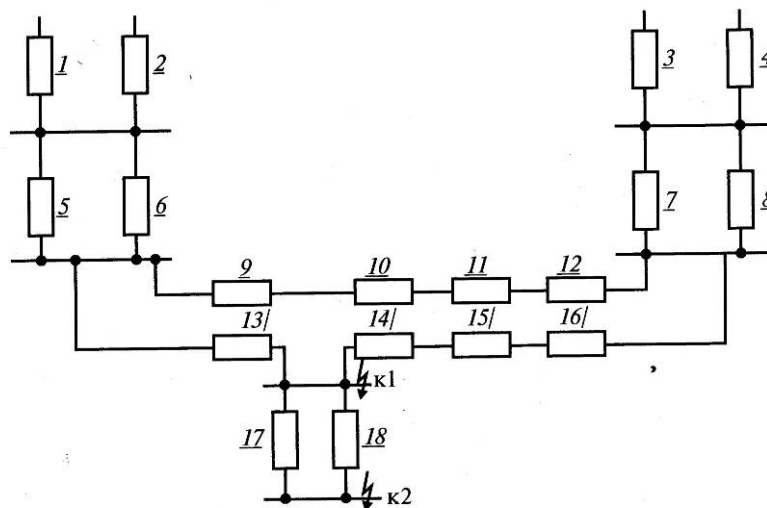


Рисунок 1.3.3. Схема замещения для определения токов короткого замыкания

3. Выполнить расчет относительных сопротивлений.

3.1. Расчет относительных сопротивлений электрической системы:

$$X_{*6эс} = \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{\kappa}}, \quad (3.1)$$

По формуле 3.1 рассчитываются сопротивления X_{*61} и X_{*62} , X_{*63} и X_{*64} .

3.2. Расчет относительных сопротивлений линий электропередачи.

$$X_{*6 \text{ лэп}} = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{cp}^2}, \quad (3.2)$$

где X_0 – сопротивление одного километра линии, $X_0 = 0,4 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$;

l – длина ЛЭП, км;

U_{cp} – среднее напряжение в ЛЭП, кВ.

По формуле 3.2 рассчитываются относительные сопротивления X_{*65} – X_{*616} .

3.3. Расчет относительных сопротивлений трансформаторов:

$$X_{*6 \text{ тр}} = \frac{u_{\kappa}}{100} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{н.тр}} \quad (3.3)$$

где u_{κ} – напряжение короткого замыкания трансформатора, %;

$S_{н.тр}$ – номинальная мощность трансформатора, МВА.

По формуле 3.3 рассчитываются относительные сопротивления X_{*617} и X_{*618} .

Результаты расчетов необходимо нанести на схему замещения.

4. Преобразование схемы замещения.

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

Эквивалентное относительное сопротивление группы последовательно соединенных сопротивлений определяют их суммой. Например, относительные сопротивления X_{*69} , X_{*610} , X_{*611} , X_{*612} соединены последовательно, их эквивалентное сопротивление $X_{*623} = X_{*69} + X_{*610} + X_{*611} + X_{*612}$.

Эквивалентное сопротивление при параллельном соединении определяется по формуле

$$X_{*61-2} = (X_{*61} \cdot X_{*62}) / (X_{*61} + X_{*62}).$$

Если сопротивления имеют одинаковые значения $X_{*61} = X_{*62}$, то их эквивалентное находится по формуле

$$X_{*61-2} = X_{*61} / 2.$$

Этой формулой необходимо воспользоваться, объединяя X_{*61} и X_{*62} , X_{*63} и X_{*64} , X_{*65} и X_{*66} , X_{*67} и X_{*68} , X_{*617} и X_{*618} сопротивления. Схемы и формулы для преобразования указаны в учебнике [1] на странице 41 в таблице 2.2.

5. Расчет токов и мощности короткого замыкания.

5.1. Расчет базисного тока:

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{cp}}, \quad (3.4)$$

где U_{cp} – среднее напряжение в точке короткого замыкания, кВ.

5.2. Расчет установившегося значения тока короткого замыкания:

$$I_k = \frac{I_{\sigma}}{X_{*\sigma k}}, \quad (3.5)$$

где $X_{*\sigma k}$ – относительное сопротивление в точке короткого замыкания.

5.3. Расчет ударного тока короткого замыкания:

$$i_y = 2,55 I_k, \quad (3.6)$$

5.4 Расчет мощности короткого замыкания:

$$S_{кз} = \frac{S_{\sigma}}{X_{*\sigma k}}, \quad (3.7)$$

Контрольные вопросы.

1. Что представляет собой расчетная схема для определения токов короткого замыкания?

2. Какова особенность преобразования схемы замещения в максимальном режиме для транзитной подстанции?

3. Почему при расчете токов короткого замыкания не учитывают активные и емкостные сопротивления?

Содержание отчета

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

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4

Тема: Расчет токов короткого замыкания в электроустановках напряжением выше 1000 В для транзитной подстанции в минимальном режиме

Цель работы: научиться рассчитывать токи короткого замыкания в электроустановках напряжением выше 1000 В в минимальном режиме работы сети для транзитной подстанции.

Исходные данные

Исходные данные для расчета токов короткого замыкания в минимальном режиме для транзитной подстанции берутся из практической работы № 3.

Порядок выполнения работы

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

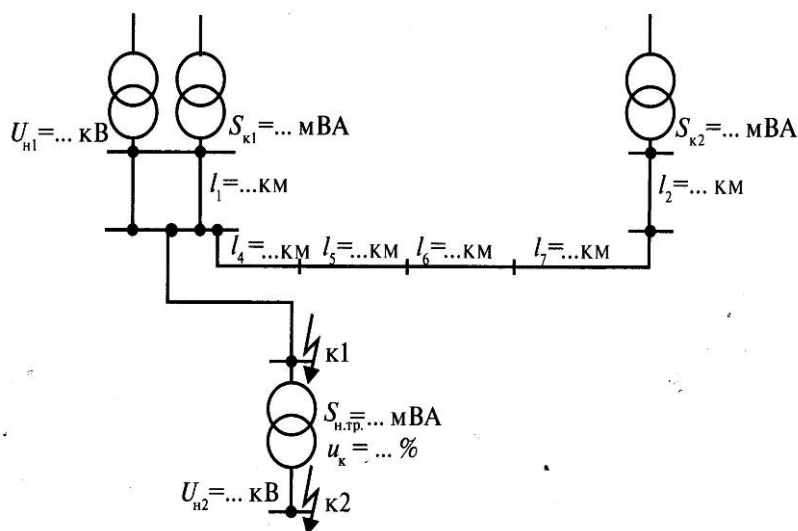


Рисунок 1.4.2. Расчетная схема для определения токов короткого замыкания

2. По расчетной схеме составить схему замещения, на которой все элементы расчетной схемы заменить на индуктивные сопротивления. Сопротивления

пронумеровать и указать их значения. Значения относительных сопротивлений берутся из практического занятия № 3, указанные на рисунке 1.3.3. На расчетной схеме, схеме замещения и схемах преобразования отметить точки короткого замыкания

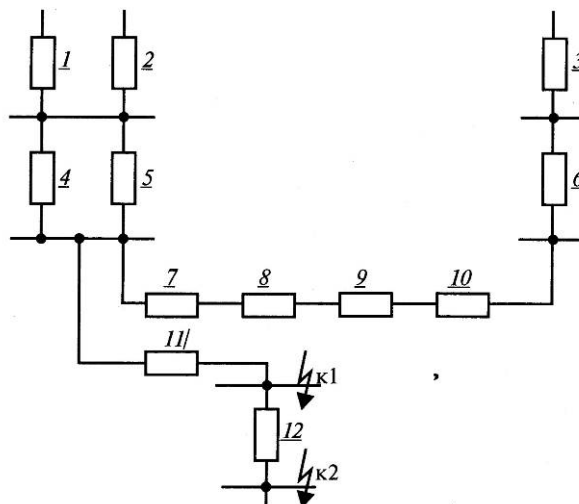


Рисунок 1.4.3. Схема замещения для определения токов короткого замыкания

3. Преобразование схемы замещения.

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

Эквивалентное относительное сопротивление группы последовательно соединенных сопротивлений определяют их суммой. Например, относительные сопротивления X_{*63} , X_{*66} , X_{*610} , X_{*69} , X_{*68} , X_{*67} соединены последовательно, их эквивалентное сопротивление $X_{*615} = X_{*63} + X_{*66} + X_{*610} + X_{*69} + X_{*68} + X_{*67}$.

Эквивалентное сопротивление при параллельном соединении определяется по формуле

$$X_{*612} = (X_{*61} \cdot X_{*62}) / (X_{*61} + X_{*62}).$$

Если сопротивления имеют одинаковые значения $X_{*61} = X_{*62}$, то их эквивалентное находится по формуле

$$X_{*612} = X_{*61}/2.$$

Этой формулой необходимо воспользоваться, объединяя X_{*64} сопротивления. Схемы и формулы для преобразования указаны в учебнике [1] на странице 41 в таблице 2.2.

4. Расчет токов и мощности короткого замыкания.

4.1 Расчет базисного тока:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{cp}}, \quad (4.1)$$

где U_{cp} – среднее напряжение в точке короткого замыкания, кВ.

4.2 Расчет установившегося значения тока короткого замыкания:

$$I_k = \frac{I_6}{X_{*6k}}, \quad (4.2)$$

где X_{*6k} – относительное сопротивление в точке короткого замыкания.

4.3 Расчет ударного тока короткого замыкания:

$$i_y = 2,55 I_k, \quad (4.3)$$

4.4 Расчет мощности короткого замыкания:

$$S_{кз} = \frac{S_6}{X_{*6k}}, \quad (4.4)$$

Контрольные вопросы.

1. Приведите расшифровку выражения $X_{*6ЛЭП}$?
2. Сравните значения относительных сопротивлений, рассчитанных в максимальном и минимальном режимах.
3. С какой целью рассчитывают токи короткого замыкания в минимальном режиме?

Содержание отчета

1. Расчетная схема для определения токов короткого замыкания.

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

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5

Тема: Расчет токов короткого замыкания в электроустановках напряжением выше 1000 В для отпаечной подстанции в максимальном режиме

Цель работы: научиться рассчитывать токи короткого замыкания в электроустановках напряжением выше 1000 В в максимальном режиме работы сети для отпаечной подстанции.

Исходные данные

1. Схема внешнего электроснабжения электрических подстанций (рисунок 1.5.1).
 2. Номер подстанции, для которой рассчитываются токи короткого замыкания (№4).
 3. $S_{к1}, S_{к2}$ – мощности короткого замыкания на шинах районных подстанций, МВА.
 4. $U_{н1}, U_{н2}$ – номинальные напряжения, кВ.
 5. $l_1, l_2, l_4, l_5, l_6, l_7$ – длины воздушных линий электропередачи, км.
 6. $S_{н.тр}$ – номинальная мощность двухобмоточных трансформаторов, установленных на рассматриваемой подстанции, МВА.
 7. u_k – напряжение короткого замыкания трансформаторов, %.
- Данные для расчета выдаются преподавателем.

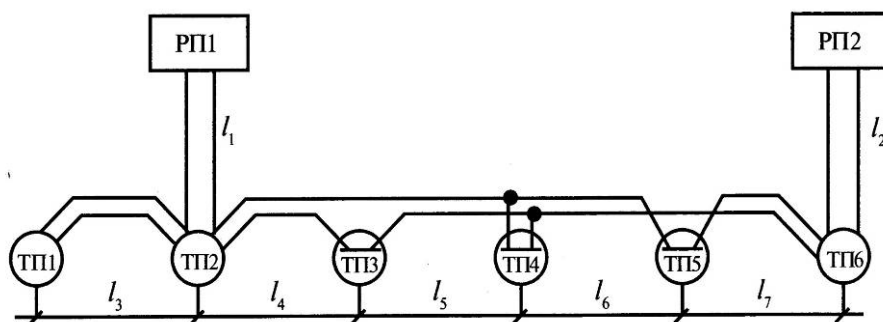


Рисунок 1.5.1. Схема внешнего электроснабжения электрических подстанций

Порядок выполнения работы

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

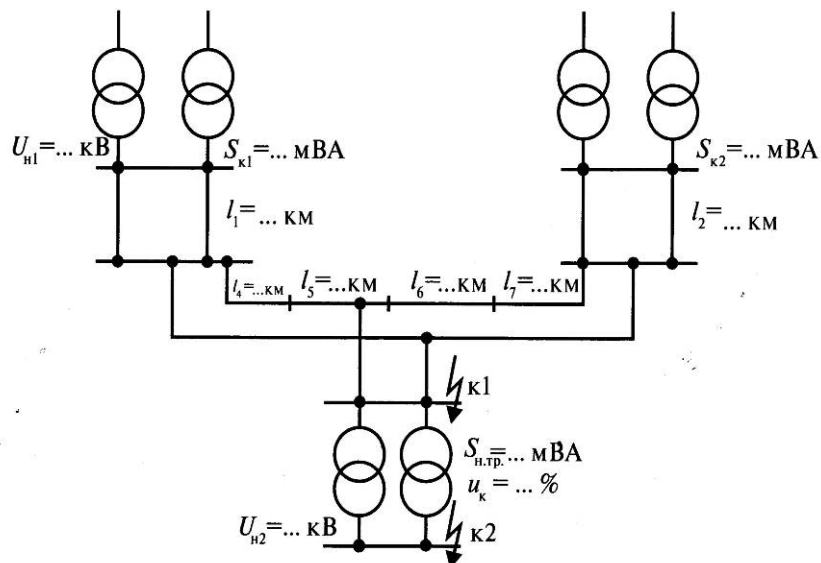


Рисунок 1.5.2. Расчетная схема для определения токов короткого замыкания

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

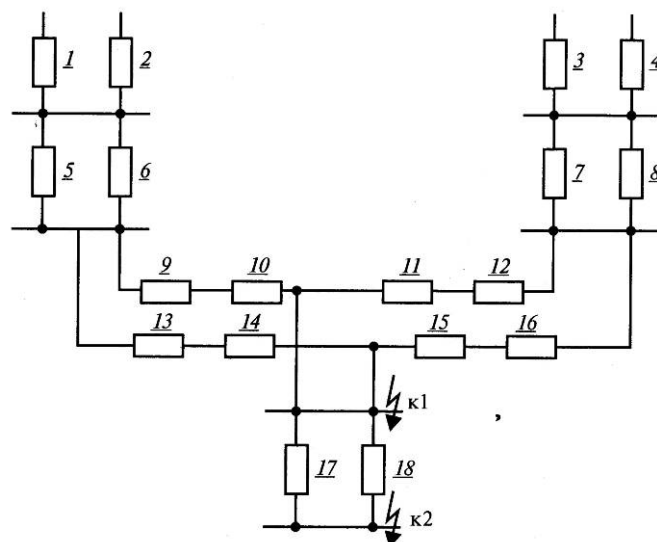


Рисунок 1.5.3. Схема замещения для определения токов короткого замыкания

3. Выполнить расчет относительных сопротивлений.

3.1. Расчет относительных сопротивлений электрической системы:

$$X_{*бэс} = \frac{S_{\sigma}}{S_{\kappa}}, \quad (5.1)$$

По формуле 5.1 рассчитываются сопротивления X_{*61} и X_{*62} , X_{*63} и X_{*64} .

3.2. Расчет относительных сопротивлений линий электропередачи:

$$X_{*б\text{ ЛЭП}} = X_0 \cdot l \frac{S_{\sigma}}{U_{cp}^2}, \quad (5.2)$$

где X_0 – сопротивление одного километра линии, $X_0 = 0,4 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$;

l – длина ЛЭП, км;

U_{cp} – среднее напряжение в ЛЭП, кВ.

По формуле 5.2 рассчитываются относительные сопротивления X_{*65} – X_{*616} .

3.3. Расчет относительных сопротивлений трансформаторов:

$$X_{*б\text{ тр}} = \frac{u_{\kappa}}{100} \frac{S_{\sigma}}{S_{н.тр}}, \quad (5.3)$$

где u_{κ} – напряжение короткого замыкания трансформатора, %;

$S_{н.тр}$ – номинальная мощность трансформатора, МВА.

По формуле 5.3 рассчитываются относительные сопротивления X_{*617} и X_{*618} .

Результаты расчетов необходимо нанести на схему замещения.

4. Преобразование схемы замещения.

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

Эквивалентное относительное сопротивление группы последовательно соединенных сопротивлений определяют их суммой. Например, относительные сопротивления X_{*69} и X_{*610} , X_{*611} и X_{*612} , X_{*613} и X_{*614} , X_{*615} и X_{*616} соединены последовательно, их эквивалентные сопротивления $X_{*623} = X_{*625} = X_{*69} + X_{*610}$, $X_{*624} = X_{*626} = X_{*611} + X_{*612}$.

Эквивалентное сопротивление при параллельном соединении определяется по формуле:

$$X_{*61-2} = (X_{*61} \cdot X_{*62}) / (X_{*61} + X_{*62}).$$

Если сопротивления имеют одинаковые значения $X_{*61}=X_{*62}$, то их эквивалентное находится по формуле:

$$X_{*61-2} = X_{*61}/2.$$

Этой формулой необходимо воспользоваться, объединяя X_{*61} и X_{*62} , X_{*63} и X_{*64} , X_{*65} и X_{*66} , X_{*67} и X_{*68} , X_{*617} и X_{*618} сопротивления.

5. Расчет токов и мощности короткого замыкания.

5.1. Расчет базисного тока:

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{cp}}, \quad (5.4)$$

где U_{cp} – среднее напряжение в точке короткого замыкания, кВ.

5.2. Расчет установившегося значения тока короткого замыкания:

$$I_{к} = \frac{I_{\sigma}}{X_{*\sigma к}}, \quad (5.5)$$

где $X_{*\sigma к}$ – относительное сопротивление в точке короткого замыкания.

5.3. Расчет ударного тока короткого замыкания:

$$i_y = 2,55 I_{к}, \quad (5.6)$$

5.4. Расчет мощности короткого замыкания:

$$S_{кз} = \frac{S_{\sigma}}{X_{*\sigma к}}, \quad (5.7)$$

Контрольные вопросы.

1. Назовите электрические параметры силовых трансформаторов, которые необходимы для расчета относительных сопротивлений трансформаторов.

2. Расшифруйте обозначения $I_{к}^{(1)}$, $I_{к}^{(2)}$, $I_{к}$.

3. Какое значение индуктивного сопротивления X_0 имеет 1 километр кабельной линии электропередачи напряжением 10 кВ при отсутствии точных данных?

Содержание отчета

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

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 6

Тема: Расчет токов короткого замыкания в электроустановках напряжением выше 1000 В для отпаечной подстанции в минимальном режиме

Цель работы: научиться рассчитывать токи короткого замыкания в электроустановках напряжением выше 1000 В в минимальном режиме работы сети для отпаечной подстанции

Исходные данные

Исходные данные для расчета токов короткого замыкания в минимальном режиме для отпаечной подстанции берутся из практической работы № 5.

Порядок выполнения работы

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

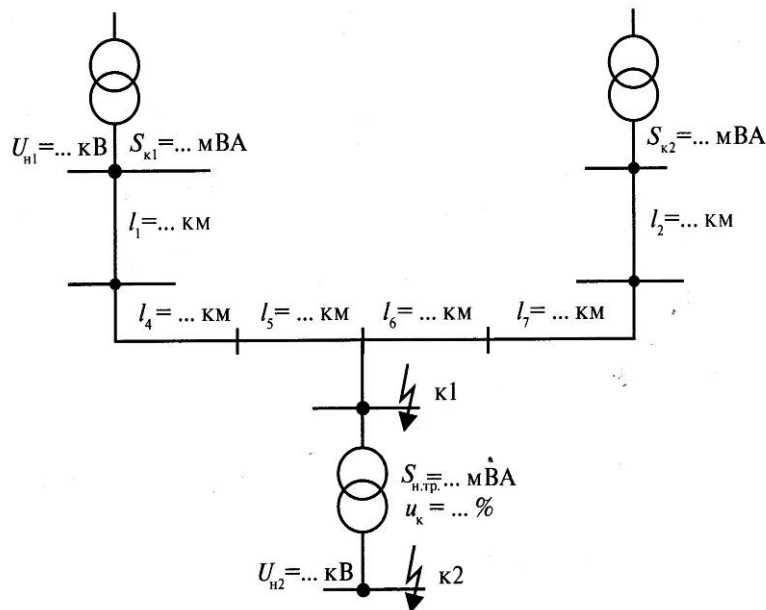


Рисунок 1.6.1. Расчетная схема для определения токов короткого замыкания

2. По расчетной схеме составить схему замещения, на которой все элементы расчетной схемы заменить на индуктивные сопротивления. Сопротивления пронумеровать и указать их значения. Значения относительных сопротивлений берутся из практической работы № 5, в которой они указаны на рисунке 1.5.3. На расчетной схеме, схеме замещения и схемах преобразования отметить точки короткого замыкания.

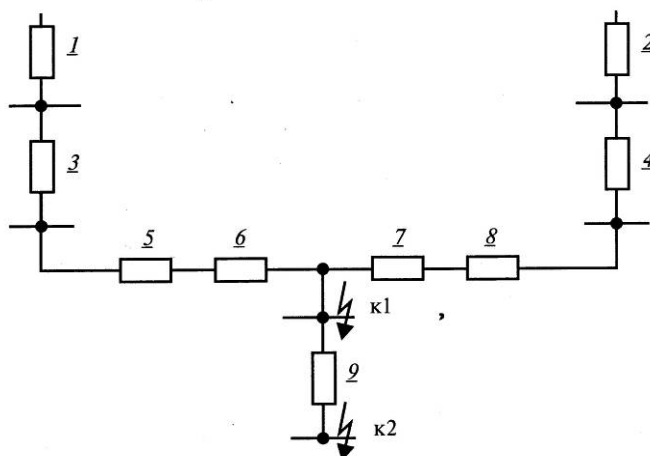


Рисунок 1.6.2. Схема замещения для определения токов короткого замыкания

3. Преобразование схемы замещения.

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

Эквивалентное относительное сопротивление группы последовательно соединенных сопротивлений определяют их суммой. Например, относительные сопротивления X_{*61} , X_{*63} , X_{*65} , X_{*66} соединены последовательно,

их эквивалентное сопротивление $X_{*610} = X_{*61} + X_{*63} + X_{*65} + X_{*66}$. Аналогично определяется эквивалентное сопротивление $X_{*611} = X_{*62} + X_{*64} + X_{*68} + X_{*67}$.

Эквивалентное сопротивление при параллельном соединении определяется по формуле $X_{*612} = (X_{*610} \cdot X_{*611}) / (X_{*610} + X_{*611})$.

4. Расчет токов и мощности короткого замыкания.

4.1. Расчет базисного тока:

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{cp}}, \quad (6.1)$$

где U_{cp} – среднее напряжение в точке короткого замыкания, кВ.

4.2. Расчет установившегося значения тока короткого замыкания:

$$I_{к} = \frac{I_{\sigma}}{X_{*\sigma к}}, \quad (6.2)$$

где $X_{*\sigma к}$ – относительное сопротивление в точке короткого замыкания.

4.3. Расчет ударного тока короткого замыкания:

$$i_y = 2,55 I_{к}, \quad (6.3)$$

4.4. Расчет мощности короткого замыкания:

$$S_{кз} = \frac{S_{\sigma}}{X_{*\sigma к}}, \quad (6.4)$$

Контрольные вопросы.

1. Какой режим электрической цепи называют режимом короткого замыкания?
2. Назовите методы расчета токов короткого замыкания.

3. От каких параметров зависит относительное сопротивление линии электропередачи?

Содержание отчета

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

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 7

Тема: Расчет токов короткого замыкания в электроустановках напряжением выше 1000 В для тупиковой подстанции в максимальном режиме

Цель работы: научиться рассчитывать токи короткого замыкания в электроустановках напряжением выше 1000 В в максимальном режиме работы сети для тупиковой подстанции.

Исходные данные

1. Схема внешнего электроснабжения электрических подстанций (рисунок 1.7.1).
2. Номер подстанции, для которой рассчитываются токи короткого замыкания (№ 1).
3. $S_{к1}, S_{к2}$ – мощности короткого замыкания на шинах районных подстанций, МВА.
4. $U_{н1}, U_{н2}, U_{н3}$ – номинальные напряжения, кВ.
5. $l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, l_7$ – длины воздушных линий электропередачи, км.
6. $S_{н.тр}$ – номинальная мощность трехобмоточных трансформаторов, установленных на рассматриваемой подстанции, МВА.
7. $u_{кв-с}, u_{кв-н}, u_{кн-н}$ – напряжения короткого замыкания трансформаторов, %.

Данные для расчета задаются преподавателем.

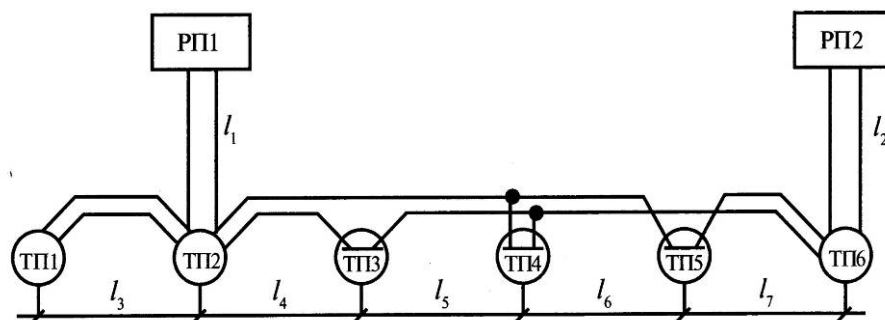


Рисунок 1.7.1. Схема внешнего электроснабжения электрических подстанций

Порядок выполнения работы

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

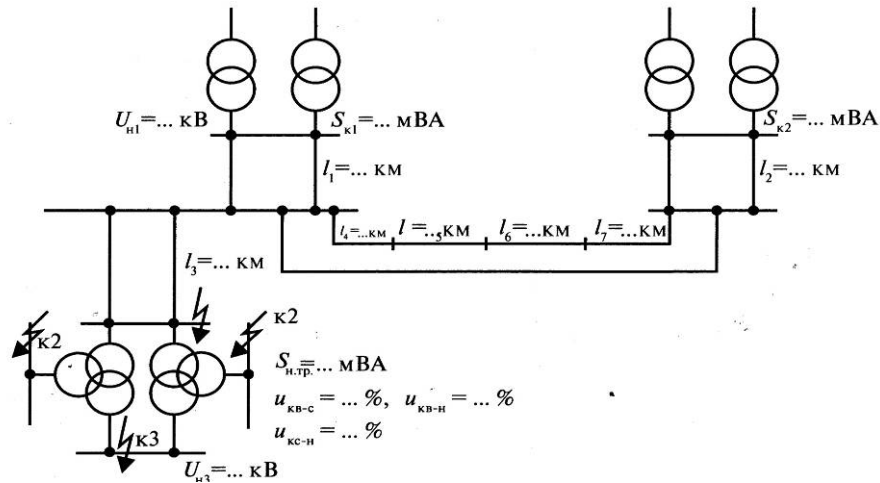


Рисунок 1.7.2. Расчетная схема для определения токов короткого замыкания

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

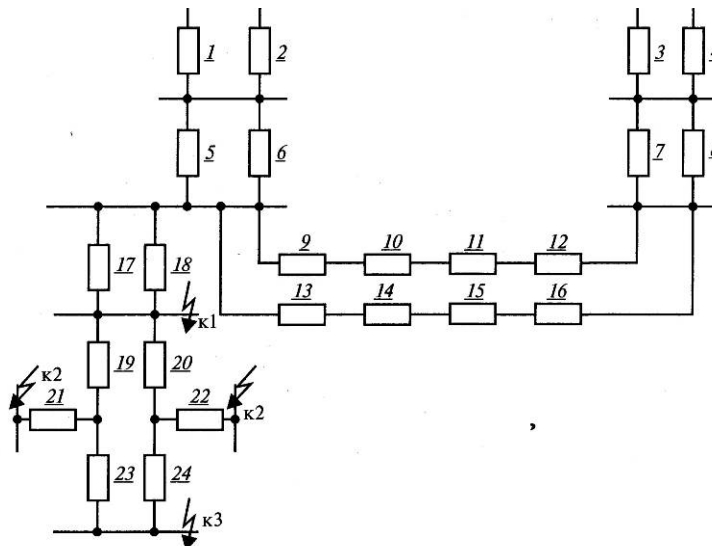


Рисунок 1.7.3. Схема замещения для определения токов короткого замыкания

3. Выполнить расчет относительных сопротивлений.

3.1. Расчет относительных сопротивлений электрической системы:

$$X_{*бэс} = \frac{S_{\sigma}}{S_{\kappa}}, \quad (7.1)$$

По формуле 7.1 рассчитываются сопротивления X_{*61} и X_{*62} , X_{*63} и X_{*64} .

3.2. Расчет относительных сопротивлений линий электропередачи:

$$X_{*б\text{ ЛЭП}} = X_0 \cdot l \frac{S_{\sigma}}{U_{cp}^2}, \quad (7.2)$$

где X_0 – сопротивление одного километра линии, $X_0 = 0,4 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$;

L – длина ЛЭП, км;

U_{cp} – среднее напряжение в ЛЭП, кВ.

По формуле 7.2 рассчитываются относительные сопротивления X_{*65} – X_{*618} .

3.3. Расчет относительных сопротивлений трансформаторов:

$$X_{*б\text{ тр}} = \frac{u_{\kappa}}{100} \frac{S_{\sigma}}{S_{н.тр}}, \quad (7.3)$$

где u_{κ} – напряжение короткого замыкания трансформатора, %;

$S_{н.тр}$ – номинальная мощность трансформатора, МВА.

По формуле 7.3 рассчитываются относительные сопротивления X_{*619} и X_{*624} .

Результаты расчетов необходимо нанести на схему замещения.

4. Преобразование схемы замещения.

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

Эквивалентное относительное сопротивление группы последовательно соединенных сопротивлений определяют их суммой. Например, относительные сопротивления X_{*69} и X_{*610} , X_{*611} и X_{*612} соединены

последовательно, их эквивалентные сопротивления $X_{*629} = X_{*630} = X_{*69} + X_{*610} + X_{*611} + X_{*612}$.

Эквивалентное сопротивление при параллельном соединении определяется по формуле:

$$X_{*61-2} = (X_{*61} \cdot X_{*62}) / (X_{*61} + X_{*62}).$$

Если сопротивления имеют одинаковые значения $X_{*61} = X_{*62}$, то их эквивалентное находится по формуле

$$X_{*61-2} = X_{*61} / 2.$$

Этой формулой необходимо воспользоваться, объединяя X_{*61} и X_{*62} , X_{*63} и X_{*64} , X_{*65} и X_{*66} , X_{*67} и X_{*68} , X_{*617} и X_{*618} , X_{*619} и X_{*620} , X_{*621} и X_{*622} , X_{*623} и X_{*624} сопротивления. Схемы и формулы для преобразования указаны в учебнике [1] на странице 41 в таблице 2.2.

Расчет относительных сопротивлений силового трехобмоточного трансформатора выполняется по формулам:

$$X_{*619} = X_{*620} = \frac{u_{k1}}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{н.тр}},$$

$$X_{*621} = X_{*622} = \frac{u_{k2}}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{н.тр}},$$

$$X_{*623} = X_{*624} = \frac{u_{k3}}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{н.тр}}.$$

Расчет напряжений короткого замыкания:

$$u_{k1} = 0,5 (u_{кв-с} + u_{кв-н} - u_{кс-н}),$$

$$u_{k2} = 0,5 (u_{кв-с} + u_{кс-н} - u_{кв-н}),$$

$$u_{k3} = 0,5 (u_{кв-н} + u_{кс-н} - u_{кв-с}).$$

5. Расчет токов и мощности короткого замыкания.

5.1. Расчет базисного тока:

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{cp}}, \quad (7.4)$$

где U_{cp} – среднее напряжение в точке короткого замыкания, кВ.

5.2. Расчет установившегося значения тока короткого замыкания:

$$I_k = \frac{I_\sigma}{X_{*\sigma k}}, \quad (7.5)$$

где $X_{*\sigma k}$ – относительное сопротивление в точке короткого замыкания.

5.3 Расчет ударного тока короткого замыкания:

$$i_y = 2,55 I_k, \quad (7.6)$$

5.4. Расчет мощности короткого замыкания.

$$S_{кз} = \frac{S_\sigma}{X_{*\sigma k}}, \quad (7.7)$$

Контрольные вопросы.

1. Назовите электрические параметры силовых трансформаторов, которые необходимы для расчета относительных сопротивлений трансформаторов.
2. Представьте схемы замещения для расчета относительных сопротивлений двухобмоточного и трехобмоточного силовых трансформаторов.
3. С какой целью выполняют расчет токов короткого замыкания в максимальном режиме?

Содержание отчета

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

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 8

Тема: Расчет токов короткого замыкания в электроустановках напряжением выше 1000 В для тупиковой подстанции в минимальном режиме

Цель работы: научиться рассчитывать токи короткого замыкания в электроустановках напряжением выше 1000 В в минимальном режиме работы сети для тупиковой подстанции.

Исходные данные

Исходные данные для расчета токов короткого замыкания в минимальном режиме для тупиковой подстанции берутся из практической работы № 7.

Порядок выполнения работы

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

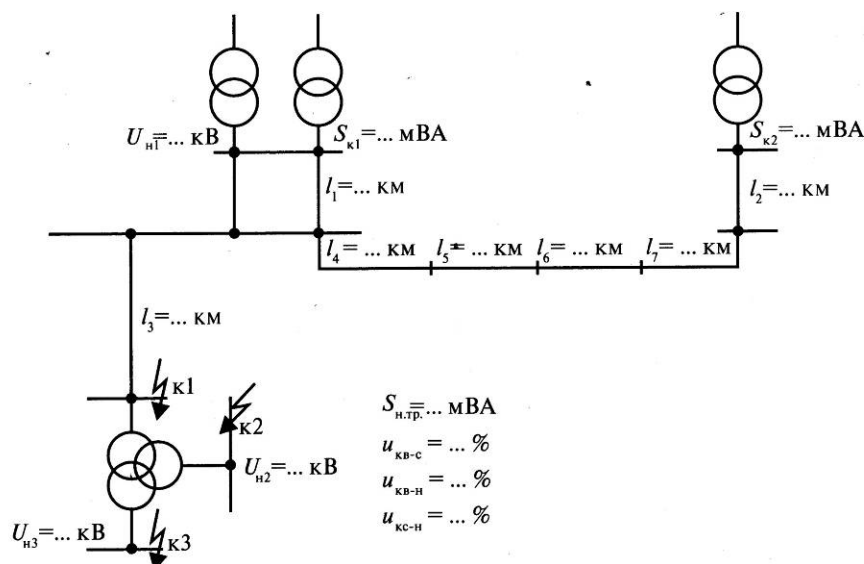


Рисунок 1.8.1. Расчетная схема для определения токов короткого замыкания

2. По расчетной схеме составить схему замещения, на которой все элементы расчетной схемы заменить на индуктивные сопротивления. Сопротивления пронумеровать и указать их значения. Значения относительных сопротивлений берутся из практической работы № 7, в которой они указаны на рисунке 1.7.3. На расчетной схеме, схеме замещения и схемах преобразования отметить точки короткого замыкания.

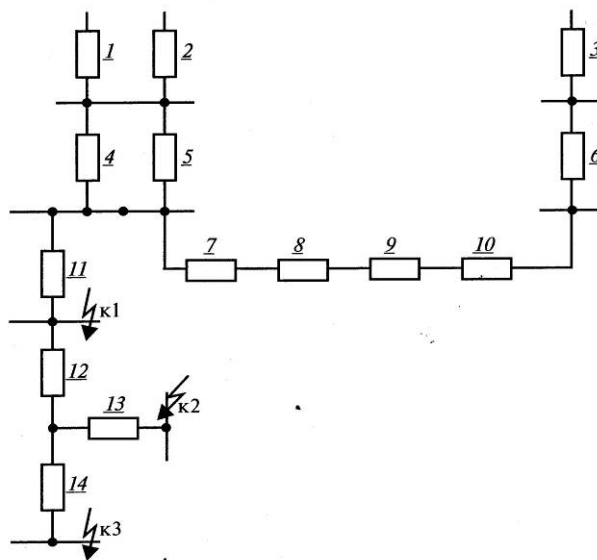


Рисунок 1.8.2. Схема замещения для определения токов короткого замыкания

3. Преобразование схемы замещения.

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

Эквивалентное относительное сопротивление группы последовательно соединенных сопротивлений определяют их суммой. Например, относительные сопротивления X_{*63} , X_{*67} , X_{*612} , X_{*611} , X_{*610} , X_{*69} соединены

последовательно, их эквивалентное сопротивление $X_{*617} = X_{*63} + X_{*67} + X_{*612} + X_{*611} + X_{*610} + X_{*6}$.

Эквивалентное сопротивление при параллельном соединении определяется по формуле $X_{*615} = (X_{*61} \cdot X_{*62}) / (X_{*61} + X_{*62})$. Если сопротивления имеют одинаковые значения $X_{*61} = X_{*62}$, то их эквивалентное находится по формуле $X_{*615} = X_{*61} / 2$. Этой формулой необходимо воспользоваться, объединяя X_{*61} и X_{*62} , X_{*65} и X_{*66} сопротивления.

4. Расчет токов и мощности короткого замыкания.

4.1. Расчет базисного тока.

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{cp}}, \quad (8.1)$$

где U_{cp} – среднее напряжение в точке короткого замыкания, кВ.

4.2. Расчет установившегося значения тока короткого замыкания.

$$I_k = \frac{I_6}{X_{*6k}}, \quad (8.2)$$

где X_{*6k} – относительное сопротивление в точке короткого замыкания.

4.3. Расчет ударного тока короткого замыкания.

$$i_y = 2,55 I_k, \quad (8.3)$$

4.4. Расчет мощности короткого замыкания.

$$S_{кз} = \frac{S_6}{X_{*6k}}, \quad (8.4)$$

Контрольные вопросы.

1. Назовите причины возникновения коротких замыканий.
2. Назовите методы расчета токов короткого замыкания.
3. Какую электрическую систему называют системой неограниченной мощности?

Содержание отчета

1. Расчетная схема для определения токов короткого замыкания.

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

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 9

Тема: Расчет токов короткого замыкания в электроустановках напряжением до 1000 В

Цель работы: научиться практически рассчитывать токи короткого замыкания в электроустановках напряжением до 1000 В.

Краткие теоретические сведения

К электроустановкам напряжением до 1000 В на электрических подстанциях относятся распределительные устройства собственных нужд, т. е. РУ-0,4 кВ.

Расчет токов короткого замыкания в электроустановках напряжением до 1000 В производят методом именованных единиц. При выполнении расчетов используют следующие именованные единицы: сопротивление в мОм (миллиомах), напряжение в В (вольтах), сила тока в кА (килоамперах). Расчет токов короткого замыкания проводят для проверки аппаратуры и токоведущих частей на термическую и динамическую стойкости к токам КЗ.

Для расчета токов КЗ необходимо составить расчетную схему и схему замещения. На схеме замещения указываются активные и индуктивные сопротивления элементов расчетной схемы: вторичной обмотки трансформатора собственных нужд (ТСН), кабеля, трансформаторов тока, катушек автоматических воздушных выключателей и переходные сопротивления их контактов, рубильников. Активные и индуктивные сопротивления трансформаторов тока, катушек автоматических воздушных выключателей и переходные сопротивления их контактов, рубильников малы, в расчетах ими можно пренебречь. Таким образом, при расчете токов КЗ учитывают активные и индуктивные сопротивления обмотки ТСН и кабеля.

Исходные данные

1. Марка трансформатора.
2. $U_{н2}$ – номинальное напряжение вторичной обмотки ТСН, В.
3. u_k – напряжение короткого замыкания трансформатора, %.
4. ΔP_k – активные потери при коротком замыкании в трансформаторе, кВт.
5. l_k – длина кабеля, м.
6. q_k – площадь поперечного сечения жил кабеля, мм².
7. Материал жил кабеля.

Данные для расчета выдаются преподавателем.

Порядок выполнения работы

1. Начертить расчетную схему и по ней составить схему замещения для определения активного и индуктивного сопротивлений цепи короткого замыкания.

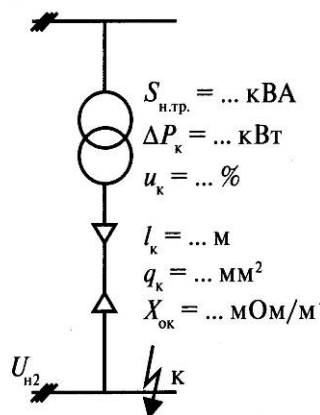


Рисунок 1.9.1. Расчетная схема

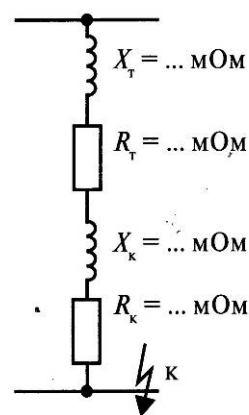


Рисунок 1.9.2. Схема замещения

2. Выполнить расчеты сопротивлений.

- 2.1. Расчет активного сопротивления трансформатора:

$$R_T = \frac{\Delta P_k \cdot U_{cp}^2}{S_{н.тр}^2}, \quad (9.1)$$

где U_{cp} – среднее напряжение во вторичной обмотке трансформатора, В.

Среднее напряжение на 5% больше номинального, при

$$U_n = 220 \text{ В} \quad U_{cp} = 230 \text{ В}$$

$$U_n = 380 \text{ В} \quad U_{cp} = 400 \text{ В};$$

$S_{н.тр}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА (определяется по марке трансформатора);

ΔP_k – активные потери при коротком замыкании в трансформаторе, кВт.

2.2. Расчет полного сопротивления трансформатора.

$$Z_T = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_{cp}^2}{S_{н.тр}}, \quad (9.2)$$

где u_k – напряжение короткого замыкания трансформатора, %.

2.3. Расчет индуктивного сопротивления трансформатора:

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}, \quad (9.3)$$

2.4. Расчет активного сопротивления кабеля:

$$R_k = R_{0k} \cdot l_k, \quad (9.4)$$

где R_{0k} – активное удельное сопротивление фазы кабеля, мОм/м;

l_k – длина кабеля, м.

$$R_0 = \frac{1000}{\gamma \cdot q_k}, \quad (9.5)$$

где γ – удельная проводимость материала фазы,

$\gamma = 53$ МСм/м для меди,

$\gamma = 32$ МСм/м для алюминия;

q_k – площадь поперечного сечения жилы кабеля, мм²;

1000 – переводной коэффициент в миллиомы.

2.5. Расчет индуктивного сопротивления кабеля:

$$X_k = X_{0k} \cdot l_k, \quad (9.6)$$

где X_{0k} – удельное индуктивное сопротивление фазы кабеля, мОм/м.

Для кабельных ЛЭП до 1000 В $X_{0k} = 0,07$ мОм/м.

Результаты расчетов сопротивлений нанести на схему замещения.

2.6. Расчет суммарных сопротивлений:

$$R_\Sigma = R_T + R_k, \quad (9.7)$$

$$X_{\Sigma} = X_T + X_K, \quad (9.8)$$

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2} \quad (9.9)$$

3. Расчет токов короткого замыкания:

3.1. Расчет действующего значения тока короткого замыкания.

$$I_{\kappa} = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}}, \quad (9.10)$$

где U_{cp} – среднее напряжение в точке короткого замыкания, В;

Z_{Σ} – полное сопротивление цепи короткого замыкания, мОм.

3.2. Расчет ударного коэффициента.

$$K_y = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_a}}, \quad (9.11)$$

где T_a – постоянная затухания апериодической составляющей тока короткого замыкания, с.

$$T_a = \frac{X_{\Sigma}}{314 \cdot R_{\Sigma}}, \quad (9.12)$$

3.3. Расчет ударного тока короткого замыкания:

$$i_y = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\kappa}, \quad (9.13)$$

Контрольные вопросы.

1. В каких случаях применяется метод именованных единиц при расчете токов короткого замыкания?

2. Какие сопротивления учитываются при расчете токов короткого замыкания методом именованных единиц?

3. От каких параметров цепи короткого замыкания зависит величина постоянной затухания апериодической составляющей тока КЗ?

Содержание отчета

1. Расчетная схема для определения токов короткого замыкания.
2. Схема замещения для определения токов короткого замыкания
3. Расчеты именованных сопротивлений цепи короткого замыкания, тока короткого замыкания.
4. Ответы на контрольные вопросы
5. Вывод.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 10

Тема: Исследование конструкции силового маслонаполненного трансформатора

Цель работы: изучить основные элементы силового маслонаполненного трансформатора, его номинальные параметры, схемы соединения обмоток.

Оборудование и приборы:

Натурный образец силового маслонаполненного трансформатора, рулетка.

Краткие теоретические сведения

Трансформаторы широко применяются в системах передачи и распределения электрической энергии. Электроэнергия передается на дальние расстояния осуществляется высоким напряжением с целью уменьшения электрических потерь в линии электропередачи.

На электростанциях в генераторах высокое напряжение получить невозможно, поэтому после генератора электроэнергия подается на **повышающий трансформатор**. В местах распределения электроэнергии между потребителями устанавливаются **понижающие трансформаторы**, которые понижают напряжение до требуемого значения. В местах потребления электроэнергии напряжение еще раз понижается до 380/220 В. При таком напряжении электроэнергию получают потребители – электробытовая нагрузка, рабочие места на предприятиях.

Трансформаторы, с помощью которых осуществляется понижение или повышение напряжения в электросистеме, называют силовыми.

Трансформатор – статическое электромагнитное устройство, имеющее две (или более) индуктивно связанные обмотки, и предназначенное

для преобразования электрической энергии одного напряжения в электрическую энергию другого напряжения. Обмотки электрически не соединены друг с другом и изолированы от магнитопровода.

Принцип действия трансформатора основан на явлении взаимной индукции. Если первичную обмотку включить в сеть переменного тока с напряжением U_1 , то в витках обмотки потечет переменный ток I_1 , который создаст в магнитопроводе переменный магнитный поток Φ . Этот поток, замыкаясь по магнитопроводу, пронизывает витки вторичной обмотки и наводит в них ЭДС. Если $U_1 > U_2$, то трансформатор понижающий; если $U_1 < U_2$, то трансформатор повышающий.

Порядок выполнения работы

1. Указать назначение исследуемого трансформатора, записать и расшифровать его полную маркировку.
2. Изучить номинальные параметры трансформатора и записать их значения в Таблицу 1.10.1.

Таблица 1.10.1 – Номинальные параметры трансформатора

№	Наименование параметра	Значение параметра
1	Номинальная мощность S_n , кВА	
2	Номинальное напряжение первичной обмотки U_{n1} , кВ	
3	Номинальное напряжение вторичной обмотки U_{n2} , кВ	
4	Напряжение короткого замыкания u_k , %	
5	Коэффициент трансформации K_T	
6	Схемы и группа соединения обмоток	
7	Масса, кг	

3. Изучить конструкцию трансформатора и указать название его основных элементов.

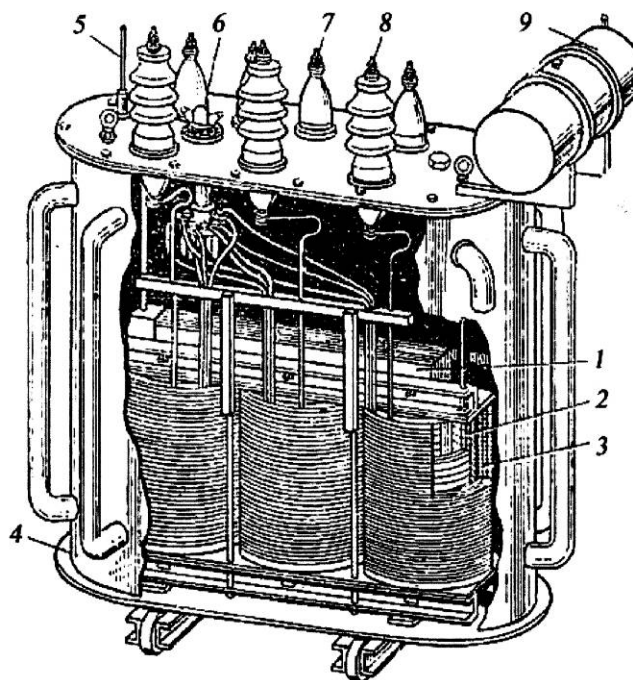


Рисунок 1.10.1. Конструкция силового трансформатора

4. Определить основные размеры трансформатора. Результаты измерений записать в таблицу 1.10.2.

Таблица 1.10.2 - Габаритные размеры трансформатора

Обозначение габарита	Значение габарита, мм
A-расстояние между роликами трансформатора	
A1-расстояние между фазами первичного напряжения	
A2-расстояние между фазами вторичного напряжения	
H1-высота основного бака трансформатора	
H2-высота трансформатора с расширительным баком	

Контрольные вопросы.

1. Назначение масла в силовом трансформаторе.
2. Укажите особенность конструктивного выполнения магнитопровода трансформатора.
3. Назначение расширительного бака трансформатора.
4. Назначение радиаторов.
5. Назовите режимы работы трансформаторов.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Марка трансформатора, ее расшифровка.
3. Таблица с номинальными параметрами трансформатора.
4. Рисунок с указанием основных узлов трансформатора.
5. Таблица с габаритными размерами трансформатора.
6. Ответы на контрольные вопросы.
7. Вывод.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 11

Тема: Исследование конструкции силового трансформатора с сухой изоляцией

Цель работы: изучить основные элементы силового сухого трансформатора, его номинальные параметры, схемы соединения обмоток.

Оборудование и приборы: сухой трансформатор марки – (например, ТС-100/10 У2), рулетка.

Краткие теоретические сведения

Силовые трансформаторы марки ТС или ТСЗ общего назначения на напряжения до 10 кВ включительно имеют естественное воздушное охлаждение. Активная часть трансформаторов не защищена у трансформаторов ТС и находится в защитном кожухе у трансформаторов ТСЗ. Трансформаторы предназначены для внутренней установки при длительном режиме работы в следующих условиях:

- высота над уровнем моря до 1000 м;
- температура окружающего воздуха от минус 45 до плюс 40 °С;
- относительная влажность воздуха не более 80% при 20 °С.

Преимущества сухих трансформаторов перед масляными:

- отпадает необходимость в испытаниях, замене масла;
- взрыво- и пожаробезопасны;
- экологически чистые.

Порядок выполнения работы

1. Указать назначение исследуемого трансформатора, записать и расшифровать его полную маркировку.

2. Изучить номинальные параметры трансформатора и записать их значения в таблицу 1.11.1.

Таблица 1.11.1 - Номинальные параметры трансформатора

№	Наименование параметра	Значение параметра
1	Номинальная мощность S_n , кВА	
2	Номинальное напряжение первичной обмотки $U_{н1}$, кВ	
3	Номинальное напряжение вторичной обмотки $U_{н2}$, кВ	
4	Напряжение короткого замыкания u_k , %	
5	Коэффициент трансформации K_T	
6	Схемы и группа соединения обмоток	
7	Масса, кг	

3. Изучить конструкцию трансформатора и указать название его основных элементов.

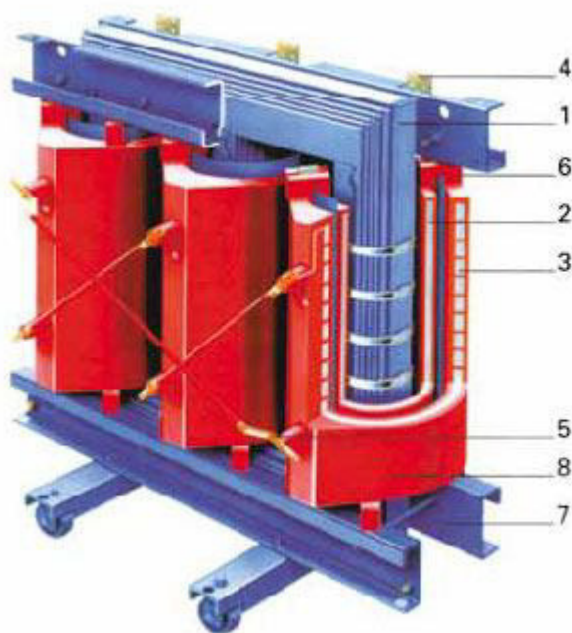


Рисунок 1.11.1. Конструкция сухого трансформатора

4. Определить основные размеры трансформатора, используя рисунок 1.11.2.

Результаты измерений записать в таблицу 1.11.2

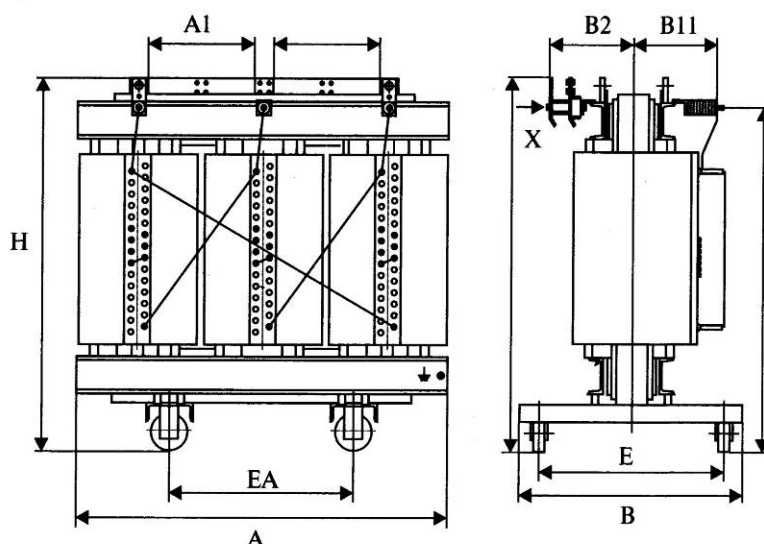


Рисунок 1.11.2. Габаритные размеры сухого трансформатора

Таблица 1.11.2 - Габаритные размеры трансформатора

Обозначение габарита	Значение габарита
H-высота трансформатора, мм	
A-длина трансформатора, мм	
B-ширина трансформатора, мм	
A1- расстояние между фазами первичного напряжения, мм	
A2-расстояние между фазами вторичного напряжения, мм	
EA-расстояние между осями роликов (колес), мм	
E-расстояние между роликами (колесами) по ширине трансформатора, мм	

Контрольные вопросы.

1. Почему трансформатор называют сухим?
2. С какой целью у трансформатора ТСЗ устанавливают защитный кожух?
3. Назовите схему соединения обмоток изученного трансформатора.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Марка трансформатора, ее расшифровка.
3. Таблица с номинальными параметрами трансформатора.
4. Рисунок с указанием основных узлов трансформатора.
5. Таблица с габаритными размерами трансформатора.
6. Ответы на контрольные вопросы.
7. Вывод.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 12

Тема: Выбор и проверка измерительных трансформаторов тока на термическую и динамическую стойкости к токам короткого замыкания

Цель работы: научиться выбирать измерительные трансформаторы тока для распределительных устройств открытого и закрытого типа, проверять их на термическую и динамическую стойкости.

Краткие теоретические сведения

Измерительные трансформаторы тока предназначены для расширения пределов измерения электроизмерительных приборов (амперметров), для подключения обмоток по току счетчиков электрической энергии, устройств релейной защиты. Измерительные трансформаторы тока изолируют измерительные приборы и реле от высокого первичного напряжения, обеспечивают безопасность персонала, обслуживающего электроустановки.

Номинальный ток вторичной обмотки $I_{H2} = 5\text{A}$ при любом первичном токе.

При выборе трансформаторов тока необходимо учитывать, что маслонаполненные трансформаторы являются пожаро- и взрывоопасными. Поэтому, желательно, к установке принимать трансформаторы тока с литой изоляцией или элегазовые.

Режимы работы трансформатора тока под нагрузкой и короткого замыкания являются нормальными режимами работы, режим холостого хода – аварийным режимом работы.

Номинальный ток первичной обмотки измерительного трансформатора тока должен быть как можно ближе к рабочему току присоединения.

По степени точности измерений трансформаторы напряжения имеют следующие классы точности: 0,2; 0,5; 1; 3; 10. Современные трансформаторы тока имеют классы точности 0,2; 0,2S; 0,5; 0,5S; 5P; 10P.

Исходные данные

1. Однолинейная схема трансформаторной подстанции (см. приложение 1).

2. ТА2 и ТА4 – трансформаторы тока, которые необходимо выбрать и проверить (номера ТА задаются преподавателем).

3. $U_{н1}$ – номинальное напряжение открытого распределительного устройства, кВ.

4. $U_{н2}$ – номинальное напряжение закрытого распределительного устройства, кВ;

5. $I_{раб1}$ – рабочий ток присоединения, на котором установлен ТА1, А;

6. $I_{раб2}$ – рабочий ток присоединения, на котором установлен ТА2, А;

7. $I_{к1}$ – ток короткого замыкания в точке К1, кА; $I_{к2}$ – ток короткого замыкания в точке К2, кА;

8. $t_{откл1}$ – время отключения тока короткого замыкания в точке К1, с;

9. $t_{откл2}$ – время отключения тока короткого замыкания в точке К2, с.

К1 – точка короткого замыкания в распределительном устройстве первичного напряжения;

К2 – точка короткого замыкания в распределительном устройстве вторичного напряжения.

Данные для расчета выдаются преподавателем.

Порядок выполнения работы

1. Выбор измерительных трансформаторов тока.

Условия выбора:

$$U_{н1} \geq U_{раб},$$

$$I_{н1} \geq I_{раб}, \quad (12.1)$$

где $U_{н1}$ – номинальное напряжение первичной обмотки измерительного трансформатора тока, кВ;

$U_{раб}$ – рабочее напряжение присоединения, на котором установлен трансформатор тока, кВ;

$I_{н1}$ – номинальный ток первичной обмотки трансформатора тока, А;

$I_{раб}$ – рабочий ток присоединения, на котором установлен трансформатор тока, А.

2. Проверка измерительных трансформаторов тока на термическую и электродинамическую стойкости.

Условия проверки:

$$\begin{aligned} I_{д} &\geq i_{у}, \\ I_{т}^2 \cdot t_{т} &\geq B_{к}, \end{aligned} \quad (12.2)$$

где $I_{д}$ – ток электродинамической стойкости, кА;

$i_{у}$ – ударный ток, кА;

$I_{т}$ – ток термической стойкости, кА;

$t_{т}$ – время действия тока термической стойкости, $t_{т} = 1$ с;

$B_{к}$ – тепловой импульс, $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$.

Выбор и проверка трансформаторов тока сводится в таблицу 1.12.1. Паспортные данные записываются над чертой, расчетные параметры – под чертой. Паспортные данные берутся из таблиц 1.12.2, 1.12.3, 1.12.4, 1.12.5 данной практической работы.

Расчет ударного тока производится по формуле:

$$\begin{aligned} i_{у} &= 2,55 \cdot I_{к}, \\ i_{у1} &= 2,55 \cdot I_{к1}, \quad i_{у2} = 2,55 \cdot I_{к2} \end{aligned} \quad (12.3)$$

Расчет теплового импульса производится по формуле:

$$B_{к} = I_{к}^2 \cdot (t_{откл} + T_{а}), \quad (12.4)$$

где $T_{а}$ – постоянная затухания апериодической составляющей тока короткого замыкания $T_{а} = 0,05$ с.

$$B_{к1} = I_{к1}^2 \cdot (t_{откл1} + T_{а}), \quad B_{к2} = I_{к2}^2 \cdot (t_{откл2} + T_{а}).$$

Таблица 1.12.1- Характеристики трансформаторов тока

Наименование присоединения	Марка ТА	Ток термической стойкости I_T , кА	Ток электродинамической стойкости I_d , кА	Номинальная мощность вторичной обмотки в классе точности 0,5S $S_{н2}$, ВА	Номинальная мощность вторичной обмотки в классе точности 10P $S_{н2}$, ВА	$\frac{U_{н1}, \text{кВ}}{U_{раб}, \text{кВ}}$	$\frac{I_{н1}, \text{А}}{I_{раб}, \text{А}}$	$\frac{I_T^2 \cdot t_T, \text{кА}^2\text{с}}{B_k, \text{кА}^2\text{с}}$	$\frac{I_d, \text{кА}}{i_y, \text{кА}}$
Ввод $U_{н1}$ кВ									
Ввод $U_{н2}$ кВ									

Если в результате проверки на термическую и электродинамическую стойкость оказалось, что выбранный трансформатор тока не удовлетворяет одному из указанных условий, то выбирается следующий, ближайший по первичному номинальному току.

Таблица 1.12.2 - Электрические характеристики элегазовых трансформаторов тока ТОГФ-110 УХЛ1, ТГОФ-220УХЛ1

Наименование параметра	Значение параметра трансформатора ТГОФ-110	Значение параметра трансформатора ТГОФ-220
Номинальное напряжение первичной обмотки $U_{н1}$, кВ	110	220
Номинальный ток первичной обмотки $I_{н1}$, А: -с возможностью изменения числа	50-100-200 75-150-300 100-200-400 200-400-800 300-600-1200 400-800-1600 500-1000-2000 750-1500-3000	200-400-800 300-600-1200 400-800-1600 500-1000-2000 750-1500-3000
- без возможности изменения числа витков	800; 1000; 2000 1500;2000;3000;4000	800; 1000; 2000 1500;2000;3000;4000
Номинальный ток вторичной обмотки $I_{н2}$, А	1 или 5	1 или 5
Классы точности вторичных обмоток: -для измерений	0,2; 0,2S; 0,5; 0,5S	0,2; 0,2S; 0,5; 0,5S
-для защиты	5P; 10P	5P; 10P
Номинальная вторичная нагрузка - для измерений при $\cos\varphi=0,8$ $S_{н2}$, ВА	3;5;10;15;20;30;50;60; 75;100	3;5;10;15;20;30;50;60; 75;100
- для защиты	20	20
Ток термической стойкости I_T , кА	до 63	до 63
Время протекания тока термической стойкости t_T , с	1	1
Ток электродинамической стойкости I_d , кА	до 160	160

Таблица 1.12.3- Электрические характеристики трансформатора тока с литой изоляцией ТОЛ-110

Наименование параметра	Значение параметра																																																																
Номинальное напряжение первичной обмотки $U_{н1}$, кВ	110																																																																
Номинальный ток первичной обмотки $I_{н1}$, А:	50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 750, 800, 1000, 1200, 1500, 2000																																																																
Номинальный ток вторичной обмотки $I_{н2}$, А	1 или 5																																																																
Классы точности вторичных обмоток - для измерения - для защиты	0,2S или 0,5 10P																																																																
Номинальная вторичная нагрузка - для измерений при $\cos\varphi=0,8$ $S_{н2}$, ВА - для защиты	30 20 или 30																																																																
Односекундный ток термической стойкости I_T , кА при номинальном первичном токе $I_{н1}$, А:	Ток электродинамической стойкости I_d , кА при номинальном первичном токе $I_{н1}$, А:																																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">$I_{н1}$, А</th> <th style="text-align: center;">I_T, кА</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center;">50</td><td style="text-align: center;">2</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">75</td><td style="text-align: center;">3</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">100</td><td style="text-align: center;">4</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">150</td><td style="text-align: center;">6</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">200</td><td style="text-align: center;">8</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">300</td><td style="text-align: center;">12</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">400</td><td style="text-align: center;">16</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">500</td><td style="text-align: center;">20</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">600</td><td style="text-align: center;">24</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">750</td><td style="text-align: center;">28</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">800</td><td style="text-align: center;">28</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">1000</td><td style="text-align: center;">30</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">1200</td><td style="text-align: center;">36</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">1500</td><td style="text-align: center;">45</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2000</td><td style="text-align: center;">60</td></tr> </tbody> </table>	$I_{н1}$, А	I_T , кА	50	2	75	3	100	4	150	6	200	8	300	12	400	16	500	20	600	24	750	28	800	28	1000	30	1200	36	1500	45	2000	60	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">$I_{н1}$, кА</th> <th style="text-align: center;">I_d, кА</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center;">50</td><td style="text-align: center;">10</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">75</td><td style="text-align: center;">15</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">100</td><td style="text-align: center;">20</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">150</td><td style="text-align: center;">30</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">200</td><td style="text-align: center;">42</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">300</td><td style="text-align: center;">62</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">400</td><td style="text-align: center;">84</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">500</td><td style="text-align: center;">100</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">600</td><td style="text-align: center;">120</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">750</td><td style="text-align: center;">124</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">800</td><td style="text-align: center;">124</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">1000</td><td style="text-align: center;">130</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">1200</td><td style="text-align: center;">140</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">1500</td><td style="text-align: center;">200</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2000</td><td style="text-align: center;">200</td></tr> </tbody> </table>	$I_{н1}$, кА	I_d , кА	50	10	75	15	100	20	150	30	200	42	300	62	400	84	500	100	600	120	750	124	800	124	1000	130	1200	140	1500	200	2000	200
$I_{н1}$, А	I_T , кА																																																																
50	2																																																																
75	3																																																																
100	4																																																																
150	6																																																																
200	8																																																																
300	12																																																																
400	16																																																																
500	20																																																																
600	24																																																																
750	28																																																																
800	28																																																																
1000	30																																																																
1200	36																																																																
1500	45																																																																
2000	60																																																																
$I_{н1}$, кА	I_d , кА																																																																
50	10																																																																
75	15																																																																
100	20																																																																
150	30																																																																
200	42																																																																
300	62																																																																
400	84																																																																
500	100																																																																
600	120																																																																
750	124																																																																
800	124																																																																
1000	130																																																																
1200	140																																																																
1500	200																																																																
2000	200																																																																

Таблица 1.12.4 - Электрические характеристики трансформатора тока с литой изоляцией ТОЛ-35 УХЛ1

Наименование параметра	ТОЛ-35 III-II	ТОЛ-35 III-III	ТОЛ-35III-V-4	ТОЛ-35III-V-5
Номинальное напряжение первичной обмотки $U_{н1}$, кВ	35	35	35	35
Номинальный ток первичной обмотки $I_{н1}$, А:	15, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 600, 800, 1000, 1500, 2000	500, 1000, 1500, 2000, 3000	15, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 600, 800, 1000, 1500, 2000, 3000	15, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 600, 800, 1000, 1500, 2000, 3000
Номинальный ток вторичной обмотки $I_{н2}$, А	5 или 1	5 или 1	5 или 1	5 или 1
Классы точности вторичных обмоток - для измерения	0,2S, 0,5S	0,2S, 0,5S	0,2S, 0,5S	0,2S, 0,5S
-для защиты	5P, 10P	5P, 10P	5P, 10P	5P, 10P
Номинальная вторичная нагрузка - для измерений при $\cos\varphi=0,8$ $S_{н2}$, ВА	30	30	30	15
- для защиты	30	50	30	20
Трехсекундный ток термической стойкости I_T , кА при номинальном первичном токе $I_{н1}$, А:				
15	0,7	-	0,7	0,7
20	1	-	1	1
30	1,5	-	1,5	1,5
40	2.1	-	2.1	2.1
50	2,3	-	2,3	2,3
75	3,5	-	3,5	3,5
100	4,7	-	4,7	4,7
150	7	-	7	7
200	10,5	-	10,5	10,5
300	15	-	15	15
400	21	-	21	21
600	31	$I_{н1}=500A -49$	31	31
800	30	-	30	30
1000	37	-	37	37
1500	41	49	41	41
2000	57	49	57	57
3000	-	57	57	57

Продолжение таблицы 1.12.4

Наименование параметра	ТОЛ-35 III-II	ТОЛ-35 III-III	ТОЛ- 35III-V-4	ТОЛ-35III- V-5
Ток электродинамической стойкости $I_{д}$, кА при номинальном первичном токе $I_{н1}$, А:				
15	3	-	3	3
20	4	-	4	4
30	6	-	6	6
40	8	-	8	8
50	10	-	10	10
75	15	-	15	15
100	21	-	21	21
150	31	-	31	31
200	42	-	42	42
300	63	-	63	63
400	84	-	84	84
600	127	$I_{н1}=500A -125$	127	127
800	107	125	107	107
1000	134	125	134	134
1500	106	125	106	106
2000	220	145	220	220
3000	-	145	220	220

Таблица 1.12.5 - Электрические характеристики трансформатора тока с литой изоляцией ТОЛ-10 УХЛ2

Наименование параметра	ТОЛ-10 УХЛ2
Номинальное напряжение первичной обмотки $U_{н1}$, кВ	10
Номинальный ток первичной обмотки $I_{н1}$, А:	10, 20, 30, 40, 50, 100, 150, 200, 300, 400, 600, 800, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000
Номинальный ток вторичной обмотки $I_{н2}$, А	5 или 1
Классы точности вторичных обмоток - для измерения - для защиты	0,2; 0,2S; 0,5; 0,5S 5P, 10P
Номинальная вторичная нагрузка - для измерений при $\cos\varphi=0,8$ $S_{н2}$, ВА - для защиты	30 15
Односекундный ток термической стойкости I_T , кА при номинальном первичном токе $I_{н1}$, А:	
10	0,78
20	1,56
30	2,5
40	3
50	4,9
100	9,7
150	12,5
200	17,5
300 - 2000	31,5
2500, 3000	61
Ток электродинамической стойкости I_d , кА при номинальном первичном токе $I_{н1}$, А:	
10	1,97
20	3,93
30	6,25
40	7,56
50	17,5
100 - 200	52
300 - 2000	100
2500, 3000	152,5

Контрольные вопросы.

1. Определите коэффициенты трансформации выбранных в практическом занятии измерительных трансформаторов тока.
2. Расшифруйте марки выбранных трансформаторов тока.
3. Назовите схемы соединения измерительных трансформаторов тока.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Условия выбора трансформаторов тока.
3. Расчеты тепловых импульсов и ударных токов.
4. Таблица с характеристиками выбранных трансформаторов тока.
5. Ответы на контрольные вопросы.
6. Вывод.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 13

Тема: Проверка измерительных трансформаторов тока на соответствие классу точности

Цель работы: научиться практически проверять измерительные трансформаторы тока для распределительных устройств открытого и закрытого типа на соответствие классу точности.

Краткие теоретические сведения

Класс точности измерительного трансформатора тока представляет погрешность, выраженную в процентах. В зависимости от нагрузки вторичной обмотки класс точности меняется. При номинальной нагрузке погрешность не превышает установленного значения для этого класса. Присоединяя приборы, не допускается, чтобы суммарная потребляемая ими мощность превышала номинальную мощность вторичной обмотки трансформатора тока при рассматриваемом классе точности.

Исходные данные

На соответствие классу точности проверяется измерительный трансформатор тока, установленный в распределительном устройстве вторичного напряжения (например, ТА4).

1. $S_{H2\ 0,5S}$ – номинальная мощность вторичной обмотки трансформатора тока в классе точности 0,5S, ВА;
2. $S_{y2\ 10P}$ – номинальная мощность вторичной обмотки трансформатора тока в классе точности 10P (мощности $S_{H2\ 0,5S}$ и $S_{H2\ 10P}$ берутся из таблицы практической работы № 12 для выбранного трансформатора тока), ВА;
3. ℓ - длина соединительных проводов, м;
4. материал соединительных проводов;

5. схема соединения трансформаторов тока (полная или неполная звезда, полный или неполный треугольник – задается преподавателем).

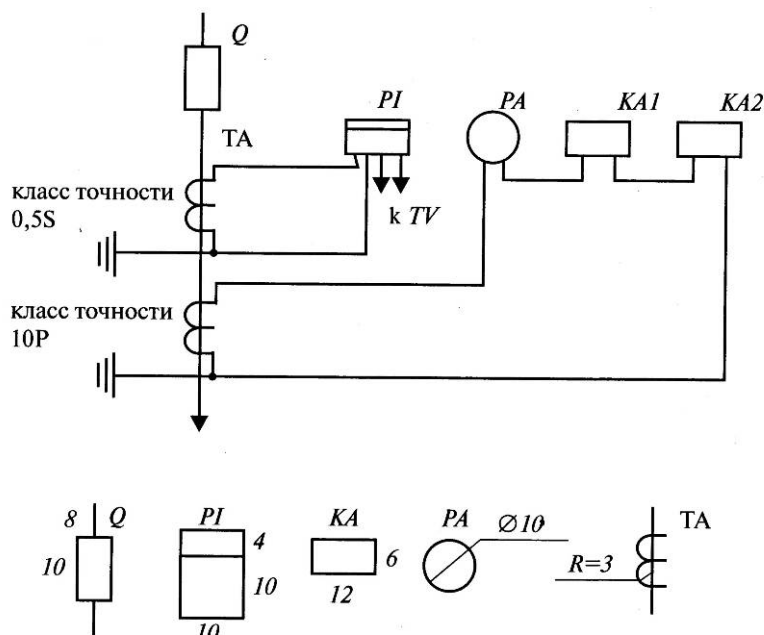


Рисунок 1.13.1. Расчетная схема для проверки измерительного трансформатора тока на соответствие классу точности

Порядок выполнения работы

1. Проверка измерительного трансформатора тока на соответствие классу точности 0,5S.

Условие проверки:

$$S_{н20,5S} \geq S_{расч2}, \quad (13.1)$$

где $S_{расч2}$ – мощность, потребляемая приборами в классе точности 0,5S, ВА.

1.1. Расчет мощности приборов:

$$S_{расч2} = S_{PI} + S_{пров} + S_{конт}, \quad (13.2)$$

где S_{PI} – мощность, потребляемая токовой цепью счетчика электрической энергии, $S_{PI} = 0,12$ ВА для счетчика «Альфа»;

$S_{пров}$ – мощность, теряемая в соединительных проводах, ВА;

$S_{конт}$ – мощность, теряемая в контактных соединениях, ВА.

1.2. Расчет мощности соединительных проводов:

$$S_{\text{пров}} = I_{\text{н2}}^2 \cdot \frac{l_{\text{расч}} \cdot \rho}{q}, \quad (13.3)$$

где $I_{\text{н2}}$ – номинальный ток вторичной обмотки трансформатора тока, $I_{\text{н2}} = 5\text{А}$;

$l_{\text{расч}}$ – длина соединительных проводов, м ($l_{\text{расч}} = \ell$ при схеме соединения трансформаторов тока «полная звезда»,

$l_{\text{расч}} = \sqrt{3} \cdot \ell$ при схеме соединения трансформаторов тока «неполная звезда»);

ρ – удельное сопротивление материала соединительных проводов, ($\rho = 0,0172 \cdot 10^{-6}$ Ом·м для медных проводов; $\rho = 0,028 \cdot 10^{-6}$ Ом·м для алюминиевых проводов);

q – площадь поперечного сечения соединительных проводов, ($q = 1,5 \text{ мм}^2 = 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ для медных проводов, $q = 2,5 \text{ мм}^2 = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ для алюминиевых проводов).

1.3. Расчет мощности контактных соединений:

$$S_{\text{конт}} = I_{\text{н2}}^2 \cdot Z_{\text{конт}}, \quad (13.4)$$

где $Z_{\text{конт}}$ – сопротивление контактных соединений, $Z_{\text{конт}} = 0,1$ Ом.

Проверка выполнения условия 13.1:

$$S_{\text{н2 } 0,5\text{S}} = \dots\dots \text{ВА} > S_{\text{расч2}} = \dots\dots \text{ВА}.$$

Условие проверки выполняется, выбранный трансформатор напряжения соответствует классу точности 0,5S (если условие проверки не выполняется, $S_{\text{расч2}}$ можно снизить, увеличив сечение соединительных проводов).

2. Проверка измерительного трансформатора тока на соответствие классу точности 0,5S.

Условие проверки:

$$S_{\text{н2 } 10\text{P}} \geq S_{\text{расч2}}, \quad (13.5)$$

где $S_{\text{расч2}}$ – мощность, потребляемая приборами в классе точности 10P, ВА.

2.1. Расчет мощности приборов:

$$S_{\text{расч2}} = S_{\text{РА}} + S_{\text{КА}} + S_{\text{пров}} + S_{\text{конт}}, \quad (13.6)$$

где $S_{\text{РА}}$ -мощность, потребляемая амперметром, ВА;

$S_{\text{КА}}$ – мощность, потребляемая реле тока, $S_{\text{КА}} = S_{\text{КА1}} + S_{\text{КА2}}$, ВА.

Мощности $S_{\text{РА}}$ и $S_{\text{КА}}$ берутся из таблицы 1.13.1. Мощности, теряемые в контактных соединениях и соединительных проводах, необходимо взять из предыдущих расчетов (формулы 13.3 и 13.4).

Таблица 1.13.1 - Потребляемая мощность приборов

Наименование приборов	Марки приборов	Потребляемая мощность прибором S , ВА
Амперметры	Э377	0,5
	Э378	0,5
	Э8021	1,5
	Э140	1,2
Реле тока	РТ-40/2	0,2
	РТ-40/6	0,5
	РТ-40/50	0,8
	РТ-40/100	1,8

Проверка выполнения условия 13.5:

$$S_{\text{н2 10P}} = \dots\dots \text{ВА} > S_{\text{расч2}} = \dots\dots \text{ВА}$$

Условие проверки выполняется, выбранный трансформатор тока соответствует классу точности 10P (если условие проверки не выполняется, $S_{\text{расч2}}$ можно снизить, увеличив сечение соединительных проводов).

Контрольные вопросы.

1. Укажите графическое обозначение измерительного трансформатора тока ТОЛ-10-1000-0,5S/10P.
2. Чем определяется класс точности измерительного трансформатора тока?
3. Как изменяется угловая погрешность с увеличением нагрузки вторичной обмотки измерительного трансформатора тока?

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Расчетная схема для проверки измерительного трансформатора тока на соответствие классу точности.
3. Условия проверки трансформаторов тока в классах точности $0,5S$ и $10P$.
4. Расчеты мощностей вторичных обмоток трансформаторов тока в классах точности $0,5S$ и $10P$.
5. Ответы на контрольные вопросы.
6. Вывод.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 14

Тема: Выбор и проверка измерительных трансформаторов напряжения

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

Краткие теоретические сведения

Измерительные трансформаторы напряжения предназначены для расширения пределов измерения электроизмерительных приборов (вольтметров), для подключения обмоток по напряжению счетчиков электрической энергии, устройств релейной защиты. Измерительные трансформаторы напряжения изолируют измерительные приборы и реле от высокого первичного напряжения, обеспечивают безопасность персонала, обслуживающего электроустановки.

Трансформаторы напряжения понижают напряжение до величины, удобной для питания приборов. Номинальное напряжение вторичной обмотки U_{H2} при любом первичном напряжении.

При выборе трансформаторов напряжения необходимо учитывать, что маслонаполненные трансформаторы являются пожаро- и взрывоопасными. Поэтому, желательно, к установке принимать трансформаторы напряжения с литой изоляцией или элегазовые.

Режимы работы трансформатора напряжения под нагрузкой и холостого хода являются нормальными режимами работы, режим короткого замыкания – аварийным режимом работы.

По степени точности измерений трансформаторы напряжения имеют следующие **классы точности**: 0,2; 0,5; 1; 3; 3Р. Чаще всего используются: класс точности 0,5 для подключения обмоток по напряжению счетчиков электроэнергии, 1 и 3 – вольтметров, 3Р – устройств релейной защиты.

Названные требования необходимо учесть при составлении расчетной схемы для проверки трансформаторов напряжения на соответствие классу точности.

Исходные данные

1. Однолинейная схема трансформаторной подстанции (см. приложение 1).
2. TV1 и TV3 – трансформаторы напряжения, которые необходимо выбрать и проверить.
3. $U_{н1}$ – номинальное напряжение открытого распределительного устройства, кВ.
4. $U_{н2}$ – номинальное напряжение закрытого распределительного устройства, кВ.
5. Количество и категория районных потребителей.
6. l – длина соединительных проводов, м.
7. q – сечение соединительных проводов, мм²; материал соединительных проводов.

Порядок выполнения работы

1. Выбор трансформаторов напряжения.

Условие выбора:

$$U_{н1} \geq U_{раб}, \quad (14.1)$$

где $U_{н1}$ – номинальное напряжение первичной обмотки измерительного трансформатора напряжения, кВ;

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

Характеристики выбранных трансформаторов напряжения взять из таблицы 1.14.2 и занести в таблицу 1.14.1.

Таблица 1.14.1 - Электрические характеристики трансформаторов напряжения

Марка трансформатора	Номинальное напряжение первичной обмотки $U_{н1}$, кВ	Номинальное напряжение вторичной основной обмотки $U_{н2}$, кВ	Номинальное напряжение вторичной дополнительной обмотки $U_{н3}$, кВ	Номинальная мощность вторичной основной обмотки в классе точности 0,2 $S_{н2}$, ВА	Номинальная мощность вторичной основной обмотки в классе точности 0,5 $S_{н2}$, ВА	Номинальная мощность вторичной основной обмотки в классе точности 1 $S_{н2}$, ВА	Номинальная мощность вторичной основной обмотки в классе точности 3 $S_{н2}$, ВА	Номинальная мощность вторичной основной обмотки в классе точности 3Р $S_{н2}$, ВА
РУ- $U_{н1}$ кВ								
РУ- $U_{н2}$ кВ								

Таблица 1.14.2 – Электрические характеристики трансформаторов напряжения

Марка трансформатора	Номинальное напряжение первичной обмотки $U_{н1}$, кВ	Номинальное напряжение вторичной основной обмотки $U_{н2}$, кВ	Номинальное напряжение вторичной дополнительной обмотки $U_{н3}$, кВ	Номинальная мощность вторичной основной обмотки в классе точности 0,2	Номинальная мощность вторичной основной обмотки в классе точности 0,5	Номинальная мощность вторичной основной обмотки в классе точности 1	Номинальная мощность вторичной основной обмотки в классе точности 3	Номинальная мощность вторичной основной обмотки в классе точности 3Р
ЗНОГ-М-110-1 УХЛ4	$110:\sqrt{3}$	$100:\sqrt{3}$	100	150	400	600	-	1200
ЗНОГ-М-220-1 УХЛ4	$2200:\sqrt{3}$	$100:\sqrt{3}$	100	150	400	600	-	1200
ЗНОЛ-35Ш-УХЛ1	$35:\sqrt{3}$	$100:\sqrt{3}$	100/3	15	60	120	-	-
ЗНОЛ-10Ш-УХЛ1	$10:\sqrt{3}$	$100:\sqrt{3}$	100	50	75	150	300	-

2. Проверка измерительных трансформаторов напряжения на соответствие классу точности.

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

Условие проверки:

$$S_{н2} \geq S_{расч2}, \quad (14.2)$$

где $S_{н2}$ – номинальная мощность вторичной обмотки трансформатора напряжения в соответствующем классе точности, ВА (чаще всего используется класс точности 0,5);

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

$$S_{расч} = S_{приб} + S_{пров} + S_{конт}, \quad (14.3)$$

где $S_{приб}$ – мощность, потребляемая приборами, ВА;

$S_{пров}$ – мощность, теряемая в соединительных проводах, ВА;

$S_{конт}$ – мощность, теряемая в контактных соединениях, ВА.

2.1. Расчет мощности, потребляемой приборами.

Для определения $S_{приб}$ составляется расчетная схема, на которой указываются все приборы. На основании расчетной схемы заполняется таблица 1.14.3 с мощностями приборов, подключенных к вторичной обмотке трансформатора напряжения.

При составлении расчетной схемы необходимо учитывать, что счетчики электрической энергии устанавливаются на каждом вводе в распределительное устройство вторичного напряжения, на вводах в трансформаторы собственных нужд, на фидерах районных потребителей. Число фидеров районных потребителей, подключенных к каждой секции шин вторичного напряжения, определяется их категорией. Потребители первой категории должны иметь фидер и на первой секции шин, и на второй, потребители второй категории – на одной из секций.

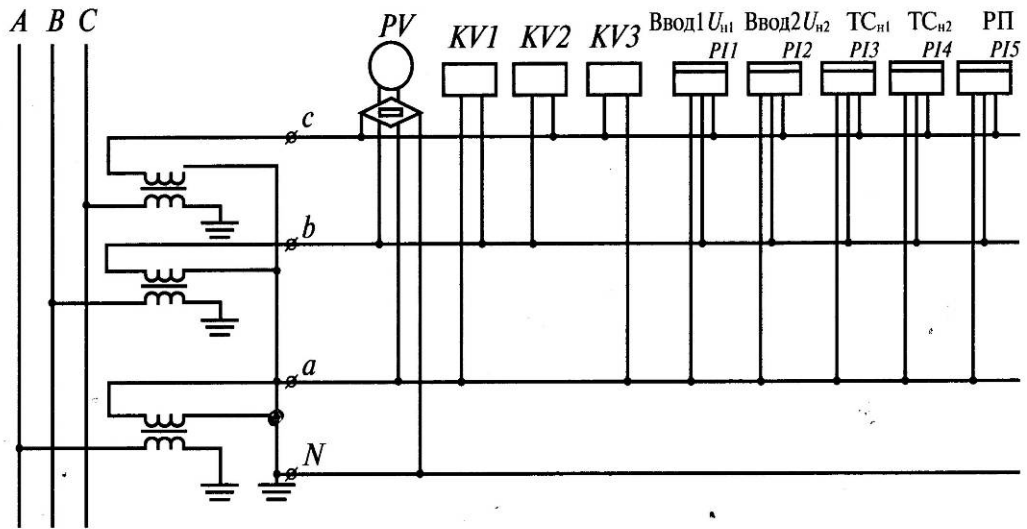


Рисунок 1.14.1. Расчетная схема для проверки трансформатора напряжения на соответствие классу точности

Таблица 1.14.3- Мощности приборов

Наименование приборов	Марка прибора	Количество приборов	Мощность, потребляемая одним прибором, ВА	Мощность, потребляемая приборами, ВА	$\cos\varphi_{\text{приб}}$	$\sin\varphi_{\text{приб}}$	Активная мощность приборов, $\Sigma P_{\text{приб}}$, Вт	Реактивная мощность приборов, $\Sigma Q_{\text{приб}}$, вар
Счетчик электрической энергии	«Альфа»	0,5	0,87
Вольтметр	Э378	1	2	2	1	0	2	-
Реле напряжения	РН-54	3	1	3	1	0	3	-
Итого								

$$S_{\text{приб}} = \sqrt{(\Sigma P_{\text{приб}})^2 + (\Sigma Q_{\text{приб}})^2}, \quad (14.4)$$

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

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

2.1. Расчет мощности, теряемой в соединительных проводах.

$$S_{\text{пров}} = I_{\text{н2}}^2 \cdot \frac{l_{\text{расч}} \cdot \rho}{q}, \quad (14.5)$$

где $I_{\text{н2}}$ – номинальный ток цепи напряжения трансформатора напряжения, А (расчет по формуле 14.6);

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

ρ – удельное сопротивление материала соединительных проводов ($\rho = 0,0172 \cdot 10^{-6}$ Ом·м для медных проводов; $\rho = 0,028 \cdot 10^{-6}$ Ом·м для алюминиевых проводов);

q – площадь поперечного сечения соединительных проводов,

$q = 1,5 \text{ мм}^2 = 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ для медных проводов, $q = 2,5 \text{ мм}^2 = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ для алюминиевых проводов).

$$I_{\text{н2}} = \frac{S_{\text{н2}}}{U_{\text{н2}}}, \quad (14.6)$$

где $S_{\text{н2}}$ – номинальная мощность вторичной основной обмотки в классе точности 0,5;

$U_{\text{н2}}$ – номинальное напряжение вторичной обмотки трансформатора напряжения, $U_{\text{н2}} = 100 \text{ В}$.

2.2. Расчет мощности, теряемой в контактных соединениях.

$$S_{\text{конт}} = I_{\text{н2}}^2 \cdot Z_{\text{конт}}, \quad (14.7)$$

Где $Z_{\text{конт}}$ – сопротивление контактных соединений, $Z_{\text{конт}} = 0,1 \text{ Ом}$.

Проверка выполнения условия 14.2:

$$S_{\text{н2}} = \dots\dots \text{ ВА} \succ S_{\text{расч2}} = \dots\dots\dots \text{ ВА}$$

Условие проверки выполняется, выбранный трансформатор напряжения соответствует классу точности 0,5 (если условие проверки не выполняется, $S_{\text{расч2}}$ можно снизить, увеличив сечение соединительных проводов).

Контрольные вопросы.

1. Определите коэффициенты трансформации выбранных в практическом занятии измерительных трансформаторов напряжения.
2. Расшифруйте марки выбранных трансформаторов напряжения.
3. Что происходит с классом точности трансформатора напряжения при увеличении нагрузки в его вторичной обмотке?

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Расчетная схема для проверки измерительного трансформатора напряжения на соответствие классу точности.
3. Условие проверки трансформатора напряжения в классе точности 0,5.
4. Таблица с мощностями приборов.
5. Расчеты мощностей вторичной обмотки трансформатора напряжения в классе точности 0,5.
6. Ответы на контрольные вопросы.
7. Вывод.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 15-16

Тема: Выбор и проверка токоведущих частей и изоляторов для открытого распределительного устройства

Цель работы: приобрести практические умения выбора и проверки токоведущих частей в открытом распределительном устройстве, проверки выбранных токоведущих частей на термическую стойкость к токам короткого замыкания и на образование короны.

Краткие теоретические сведения

К токоведущим частям распределительных устройств электрических подстанций относятся неизолированные и изолированные металлические проводники, предназначенные для соединения источников с приемниками электрической энергии через различные переключающие аппараты.

Токоведущие части открытых распределительных устройств выполняются сталеалюминиевыми многопроволочными проводами марки АС. В закрытых распределительных устройствах напряжением 10 и 35 кВ токоведущие части – жесткие алюминиевые полосы марки А.

Выбор токоведущих частей заключается в сравнении рабочего максимального тока с допустимым током. Выбранные токоведущие части должны быть проверены на термическую и электродинамическую стойкости к токам короткого замыкания, а также на образование короны.

Для механического крепления токоведущих частей и их изоляции от заземленных конструкций в распределительных устройствах применяются подвесные тарельчатые, опорные, проходные изоляторы. Выбор и проверка изоляторов проводится для ОРУ и ЗРУ.

В открытых распределительных устройствах напряжением 35 (110, 220) кВ применяются гибкие токоведущие части – сталеалюминиевые многопроволочные провода марки АС. Выбор проводов производится по услови-

ям нагрева, проверка – на термическую стойкости к токам КЗ и по условию отсутствия коронирования. **На электродинамическую стойкость гибкие токоведущие части не проверяются.**

Исходные данные

1. Однолинейная схема электрической подстанции (см. приложение 1).
2. $S_{н.тр}$ – номинальная мощность главного понижающего трансформатора (Т1, Т2), кВА;
3. $U_{н1}$ – номинальное напряжение первичной обмотки главного понижающего трансформатора (Т1, Т2), кВ;
4. $I_{к1}$ – ток трехфазного короткого замыкания на первичной стороне трансформатора, кА;
5. $t_{откл1}$ – время отключения тока КЗ релейной защитой выключателя Q2 (Q3), с.

Расчетные данные задаются преподавателем.

Порядок выполнения работы

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

$$I_1 = \frac{K_n \cdot S_{н.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{н1}}, \quad (15.1)$$

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

2. Выбор токоведущих частей по условию нагрева.

Условие выбора:

$$I_{доп} \geq I_{раб. \max}, \quad (15.2)$$

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

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

Характеристики выбранных токоведущих частей занести в таблицу 1.15.1.

Выбор проводов марки АС производится по таблице 1.15.2.

Таблица 1.15.1 - Характеристика токоведущих частей

Наименование присоединения	Максимальный рабочий ток $I_{\text{раб. max}}, \text{ A}$	Допустимый ток $I_{\text{доп}}, \text{ A}$	Материал и сечение токоведущей части, мм^2
Ввод $U_{\text{нп}}$ кВ			АС -

Таблица 1.15.2 - Допустимые токи на неизолированные провода

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

3. Проверка токоведущих частей на термическую стойкость.

Условие проверки:

$$q_{\text{min}} \leq q_{\text{расч}}, \quad (15.3)$$

где q_{min} – минимальное сечение токоведущей части, мм^2 ;

$q_{\text{расч}}$ – расчетное сечение токоведущей части, мм^2 (расчетное сечение берется из маркировки выбранного провода, например, для провода АС-150 $q_{\text{расч}} = 150 \text{ мм}^2$).

$$q_{\text{min}} = \frac{\sqrt{B_{\kappa}}}{C}, \quad (15.4)$$

где B_k – тепловой импульс, $\text{kA}^2 \cdot \text{с}$;

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

$$C = 0,0171 \frac{\text{kA} \cdot \text{с}^{1/2}}{\text{мм}^2} \text{ – для медных проводов};$$

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

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

$$B_k = I_{\text{к1}}^2 \cdot (t_{\text{откл1}} + T_a), \quad (15.5)$$

где T_a – постоянная затухания аperiodической составляющей тока короткого замыкания, $T_a = 0,05 \text{ с}$.

Проверка выполнения условия 15.3:

$$q_{\text{min}} = \dots \text{ мм}^2 < q_{\text{расч}} = \dots \text{ мм}^2$$

Условие проверки выполняется, токоведущая часть термически устойчива к току короткого замыкания (если условие 15.3 не выполняется, то необходимо выбрать токоведущую часть большего сечения или из другого материала).

4. Проверка токоведущих частей на отсутствие короны.

Условие проверки:

$$E_0 \geq 1,07 E, \quad (15.6)$$

где E_0 – максимальное значение начальной критической напряженности электрического поля, при которой возникает коронный разряд, $\frac{\text{kB}}{\text{см}}$;

E – напряженность электрического поля около поверхности провода,

$$\frac{\text{kB}}{\text{см}}.$$

$$E_0 = 30,3m \left[1 + \frac{0,299}{\sqrt{r_{np}}} \right], \quad (15.7)$$

где r_{np} – радиус провода, см (определяется по сечению выбранного провода

$$r_{np} = \frac{\sqrt{\frac{q_{расч}}{\pi}}}{10};$$

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

$$E = \frac{0,354U}{r_{np} \cdot \lg \frac{D_{cp}}{r_{np}}}, \quad (15.8)$$

где U – линейное напряжение, кВ;

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

При горизонтальном расположении проводов фаз расстояние между соседними фазами:

$$D = 150 \text{ см при напряжении } 35 \text{ кВ};$$

$$D = 300 \text{ см при напряжении } 110 \text{ кВ};$$

$$D = 400 \text{ см при напряжении } 220 \text{ кВ}.$$

$$D_{cp} = 1,26 D \quad (15.9)$$

Проверка выполнения условия 15.6:

$$E_0 = \dots \frac{\text{кВ}}{\text{см}} > E = \dots \frac{\text{кВ}}{\text{см}}$$

Условие проверки выполняется, коронирование отсутствует (если условие 15.6 не выполняется, то необходимо выбрать токоведущую часть большего сечения).

5. Выбор подвесных тарельчатых изоляторов.

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

Выбор подвесных изоляторов свести в таблицу 1.15.3. Характеристики выбранных изоляторов взять из таблицы 1.15.4. Количество изоляторов в гирлянде на разный уровень напряжения приведено в таблице 1.15.5.

Контрольные вопросы.

1. Как располагают в сталеалюминиевом проводе материалы (сталь и алюминий) и почему так?
2. Как проявляется термическое действие тока короткого замыкания на токоведущей части?
3. В чем преимущество стеклянных изоляторов перед фарфоровыми?

Содержание отчета

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

Таблица 1.15.3- Характеристики подвесного изолятора ПС-70Е (или ПФ-70А)

Марка изолятора	Минимальная механическая разрушающая нагрузка $F_{\text{разр}}$, кН	Длина пути утечки тока, мм	Выдерживаемое напряжение 50 Гц В сухом состоянии, кВ	Выдерживаемое напряжение 50 Гц В под дождем, кВ	Выдерживаемое импульсное напряжение, кВ	Нормированное напряжение при допустимом уровне радиопомех, кВ	Масса, кг	Количество изоляторов в гирлянде

Таблица 1.15.4 Характеристики подвесных тарельчатых изоляторов

Марка изолятора	Минимальная механическая разрушающая нагрузка $F_{\text{разр}}$, кН	Длина пути утечки тока, мм	Выдерживаемое напряжение 50 Гц В сухом состоянии, кВ	Выдерживаемое напряжение 50 Гц В под дождем, кВ	Выдерживаемое импульсное напряжение, кВ	Нормированное напряжение при допустимом уровне радиопомех, кВ	Масса, кг
ПС-70Е	70	303	70	40	100	20	3,4
ПФ-70А	70	303	70	40	110	25	4,6

Таблица 1.15.5- Количество изоляторов в гирлянде

Марка изолятора	U = 35 кВ	U = 110 кВ	U = 220 кВ
ПС-70	3	9	16
ПФ-70	3	8	14

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 17-18

Тема: Выбор и проверка токоведущих частей и изоляторов для закрытого распределительного устройства

Цель работы: приобрести практические умения выбора токоведущих частей и изоляторов в закрытом распределительном устройстве, проверки выбранных токоведущих частей на термическую и электродинамическую стойкости к токам короткого замыкания.

Краткие теоретические сведения

В закрытых распределительных устройствах напряжением 35 и 10 кВ применяются жесткие токоведущие части – алюминиевые полосы марки А. Выбор производится по условиям нагрева, проверка – на термическую и электродинамическую стойкости к токам КЗ. Проверка на термическую стойкость для жестких шин проводится аналогично проверке для гибких токоведущих частей. Проверка на электродинамическую стойкость производится сравнением механического напряжения в шине с допустимым для выбранного материала. Для механического крепления шин применяются опорные изоляторы. Для пропуска токоведущих частей через стены здания, модулей устанавливаются проходные изоляторы.

Исходные данные

1. Однолинейная схема электрической подстанции (см. приложение 1).
2. $S_{н.мп}$ – номинальная мощность главного понижающего трансформатора (Т1, Т2), кВА;
3. $U_{н2}$ – номинальное напряжение вторичной обмотки главного понижающего трансформатора (Т1, Т2), кВ;

4. $I_{к2}$ – ток трехфазного короткого замыкания на вторичной стороне трансформатора, кА;

5. $t_{откл2}$ – время отключения тока КЗ релейной защитой выключателя Q4 (Q5), с.

Порядок выполнения работы

1. Расчет рабочего тока на вводе в РУ вторичного напряжения.

$$I_{\text{раб.мах}} = \frac{K_{н.у} \cdot S_{н.мп}}{\sqrt{3} \cdot U_{н2}}, \quad (17.1)$$

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

2. Выбор токоведущих частей по условию нагрева.

Условие выбора:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{раб.мах}}, \quad (17.2)$$

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

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

Выбор шин марки А производится по таблице 1.17.2.

Характеристики выбранных токоведущих частей занести в таблицу 1.17.1.

Таблица 1.17.1 - Характеристика токоведущих частей

Наименование присоединения	Максимальный рабочий ток $I_{\text{раб.мах}}$, А	Допустимый ток $I_{\text{доп}}$, А	Материал и сечение токоведущей части, мм ²
Ввод $U_{н2}$ кВ			А -

3. Проверка токоведущих частей на термическую стойкость.

Условие проверки:

$$q_{\text{min}} \leq q_{\text{расч}}, \quad (17.3)$$

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

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

Таблица 1.17.2 - Допустимые токи на алюминиевые полосы (шины)

Размер шины, мм	Допустимый ток при одной полосе на фазу $I_{\text{доп}}$, А	Допустимый ток при двух полосах на фазу $I_{\text{доп}}$, А	Допустимый ток при трех полосах на фазу $I_{\text{доп}}$, А
15x3	165	-	-
20x3	215	-	-
25x3	256	-	-
30x4	365	-	-
40x4	480	-	-
40x5	540	-	-
50x5	665	-	-
50x6	740	-	-
60x6	870	1350	1720
80x6	1150	1630	2100
100x6	1425	1935	2500
60x8	1025	1680	2180
80x8	1320	2040	2620
100x8	1625	2390	3050
120x8	1900	2650	3380
60x10	1155	2010	2650
80x10	1480	2410	3100
100x10	1820	2860	3650
120x10	2070	3200	4100

Минимальное сечение токоведущей части:

$$q_{\text{min}} = \frac{\sqrt{B_{\kappa}}}{C}, \quad (17.4)$$

где B_{κ} – тепловой импульс, $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$;

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

$$C = 0,0171 \frac{\text{кА} \cdot \text{с}^{1/2}}{\text{мм}^2} \text{ – для медных шин};$$

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

$$C = 0,06 \frac{\kappa A \cdot c^{1/2}}{\text{мм}^2} - \text{для стальных шин.}$$

$$B_k = I_{k2}^2 \cdot (t_{\text{откл}2} + T_a), \quad (17.5)$$

где T_a – постоянная затухания аperiodической составляющей тока короткого замыкания, $T_a = 0,05$ с.

Проверка выполнения условия 17.3:

$$q_{\min} = \dots \text{мм}^2 < q_{\text{расч}} = \dots \text{мм}^2$$

Условие проверки выполняется, токоведущая часть термически устойчива к току короткого замыкания (если условие 17.3 не выполняется, то необходимо выбрать токоведущую часть большего сечения или из другого материала).

4. Проверка токоведущих частей на электродинамическую стойкость.

Условия выбора:

$$\sigma_{\text{доп}} \geq \sigma_{\text{расч}}, \quad (17.6)$$

где $\sigma_{\text{расч}}$ – допустимое механическое напряжение материала токоведущих частей, МПа;

$\sigma_{\text{доп}} = 80$ МПа для алюминиевых шин;

$\sigma_{\text{доп}} = 170$ МПа для медных шин;

$\sigma_{\text{доп}} = 190$ МПа для стальных шин.

$\sigma_{\text{расч}}$ – расчетное механическое напряжение в выбранной токоведущей части, МПа.

$$\sigma_{\text{расч}} = \frac{M}{W \cdot 10^{-6}}, \quad (17.7)$$

где M – изгибающий момент, действующий на шину, Н·м;

W – момент сопротивления шины относительно главной оси инерции, перпендикулярной плоскости расположения шины, см³.

$$M = \frac{\sqrt{3} \cdot i_y^2 \cdot l^2}{100a}, \quad (17.8)$$

где i_y – ударный ток, кА ($i_y = 2,55 \cdot I_{k2}$);

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

a – расстояние между осями шин соседних фаз, м.

для РУ-10 кВ: $l = 1,25 \text{ м}$, $a = 0,3 - 0,35 \text{ м}$;

для РУ-35 кВ: $l = 4 \text{ м}$, $a = 1 \text{ м}$.

Для шин, расположенных плашмя на опорных изоляторах, момент сопротивления определяется по формуле:

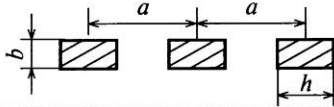


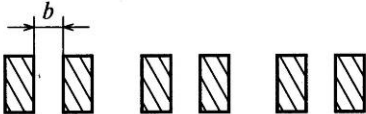
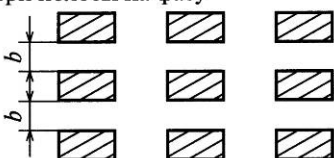

$$W = 0,167 \cdot b \cdot h^2, \quad (17.9)$$

где b - толщина шины, см;

h – ширина шины, см (для выбранной шины А-50х5 $b = 0,5 \text{ см}$, $h = 5 \text{ см}$).

Формулы для расчета моментов сопротивления шин W при различных способах крепления и разном числе полос на фазу берут из таблицы 1.17.3.

Таблица 1.17.3 - Расчет момента сопротивления шин

№	Эскиз расположения шин и форма их сечения	Формула для определения момента сопротивления шин W , см ³
1	2	3
1	Плашмя одна полоса на фазу 	$W = 0,167bh^2$
2	На ребро одна полоса на фазу 	$W = 0,167b^2h$
3	Плашмя две полосы на фазу 	$W = 0,333bh^2$
4	На ребро две полосы на фазу 	$W = 1,44b^2h$
5	Плашмя три полосы на фазу 	$W = 0,5bh^2$
6	На ребро три полосы на фазу 	$W = 3,3b^2h$

Проверка выполнения условия 17.6:

$$\sigma_{\text{доп}} = \dots \text{ МПа} > \sigma_{\text{расч}} = \dots \text{ МПа}$$

Условие проверки выполняется, токоведущая часть электродинамически устойчива к току короткого замыкания (если условие 17.6 не выполняется, то необходимо выбрать токоведущую часть большего сечения или из другого материала).

5. Выбор и проверка опорных изоляторов.

Условия выбора и проверки:

$$\begin{aligned} U_{\text{н}} &\geq U_{\text{раб}}, \\ F &\leq 0,6F_{\text{разр}}, \end{aligned} \quad (17.10)$$

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

$U_{\text{раб}}$ – рабочее напряжение распределительного устройства, кВ;

F – сила, действующая на изолятор при коротком замыкании, Н;

$F_{\text{разр}}$ – разрушающая нагрузка на изгиб изолятора, Н (определяется по справочнику для выбранного изолятора).

$$F_{\text{разр}} = \frac{\sqrt{3} \cdot i_y^2 \cdot l}{10a}, \quad (17.11)$$

Значения i_y , l и a берутся из формулы 17.8.

К установке принимается опорный изолятор марки ОФ-....

Характеристики выбранного опорного изолятора занести в таблицу

1.17.4.

Технические характеристики опорных изоляторов приведены в таблице

1.17.5.

Таблица 1.17.4 - Характеристики опорного изолятора

Марка изолятора	Номинальное напряжение $U_{\text{н}}$, кВ	Разрушающая нагрузка на изгиб изолятора $F_{\text{разр}}$, Н	Масса, кг

Таблица 1.17.5- Характеристики опорных изоляторов

Марка изолятора	Номинальное напряжение U_n , кВ	Разрушающая нагрузка на изгиб изолятора $F_{разр}$, Н	Масса, кг
ОФ-10-375	10	3680	1,5
ОФ-10-750	10	7358	2,1
ИОР-10-375	10	3680	2,87
ИОР-10-750	10	7358	4,47
ОФ-35-375	35	3680	7,1
ОФ-35-750	35	7358	10,6

Проверка выполнения условия 17.10:

$$F = \dots \text{ Н} < 0,6F_{разр} = \dots \text{ Н}$$

6. Выбор и проверка проходных изоляторов.

Условия выбора и проверки:

$$\begin{aligned} U_n &\geq U_{раб}, \\ F &\leq 0,6F_{разр}, \\ I_n &\geq I_{раб}, \end{aligned} \quad (17.12)$$

Где U_n – номинальное напряжение изолятора, кВ;

$U_{раб}$ – рабочее напряжение распределительного устройства, кВ;

F – сила, действующая на изолятор при коротком замыкании, Н;

$F_{разр}$ – разрушающая нагрузка на изгиб изолятора, Н (определяется по справочнику для выбранного изолятора);

I_n – номинальный ток изолятора, А;

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

$$F_{разр} = \frac{\sqrt{3} \cdot i_y^2 \cdot l}{10a}, \quad (17.13)$$

Значения i_y , l и a берутся из формулы 17.8.

К установке принимается проходной изолятор марки (указать марку).

Характеристики выбранного проходного изолятора занести в таблицу 1.17.6.

Технические характеристики опорных изоляторов приведены в таблице 1.17.7.

Таблица 1.17.6 - Характеристики проходного изолятора

Марка изолятора	Номинальное напряжение U_n , кВ	Разрушающая нагрузка на изгиб изолятора $F_{разр}$, Н	Номинальный ток изолятора I_n , А	Масса, кг

Таблица 1.17.7 - Характеристики проходных изоляторов

Марка изолятора	Номинальное напряжение U_n , кВ	Разрушающая нагрузка на изгиб изолятора $F_{разр}$, Н	Номинальный ток изолятора I_n , А	Масса, кг
ИП-10-630-750 УХЛ1	10	7358	630	7
ИП-10-1000-750 УХЛ1	10	7358	1000	7,4
ИП-10-1600-1250 УХЛ1	10	12263	1600	14,6
ИП-10-2000-1250 УХЛ1	10	12263	2000	15
ИП-10-5000-4250 УХЛ1	10	41693	5000	83
ИПЛ-10-III-УХЛ1	10	8000	50;75;80;100;150;	7
			200;250;300;400;	7
			500;600;750;800;	7
			1000;	7
			1250;	8
			1600;	10
2000	11			
ИП-35-630-750УХЛ1	35	7358	630	35,4
ИП-35-1000-750УХЛ1	35	7358	1000	39
ИП-35-1600-750УХЛ1	35	7358	1600	40
ИП-35-3150-2000УХЛ1	35	19629	3150	85
ИПЛ-35/1000УХЛ2	35	7500	1000	35

Проверка выполнения условий 17.12:

$$F = \dots N < 0,6F_{разр} = \dots N$$

$$I_n = \dots A > I_{раб} = \dots A$$

Контрольные вопросы.

1. В каком случае шины располагают на ребро?
2. Как проявляется электродинамическое действие тока короткого замыкания на токоведущей части?
3. Расшифруйте маркировки выбранных опорных и проходных изоляторов.

Содержание отчета

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

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 19

Тема: Изучение конструкции высоковольтных (масляных) выключателей переменного тока

Цель работы: изучить конструкцию масляного малообъемного выключателя ВМТ-110.

Оборудование и приборы:

Мультимедийный проектор, электронные материалы по конструкции масляного выключателя ВМТ-110.

Краткие теоретические сведения

Масляные выключатели предназначены для оперативного включения и отключения электрических цепей переменного тока под нагрузкой, а также для их автоматического отключения в аварийном режиме.

Масляные выключатели бывают малообъемные и многообъемные. В малообъемных выключателях масло является дугогасящей средой. В многообъемных выключателях масло и дугогасящая, и изолирующая среда.

Принцип гашения электрической дуги: при расхождении контактов выключателя образуется дуга, обладающая высокой температурой. Под действием температуры масло разлагается на газы: водород (70%), этилен(20%), метан (10%). Газ образует газовый пузырь, окружающий дугу. Наличие водородной среды, высокое давление в газовом пузыре, охлаждение газового пузыря маслом, дробление и вытягивание электрической дуги в дугогасительных камерах способствуют эффективной деионизации (гашению) дуги.

Порядок выполнения работы

1. Указать назначение масляных выключателей, записать полную маркировку изучаемого выключателя, привести ее расшифровку.
2. Записать номинальные параметры выключателя в таблицу 1.19.1.

Таблица 1.19.1- Параметры выключателя ВМТ-110

№	Наименование параметров	Значение параметров
1	Номинальное напряжение, кВ	
2	Номинальный ток, А	
3	Номинальный ток отключения, кА	
4	Номинальная мощность отключения, МВА	
5	Собственное время отключения, с	
7	Напряжение в цепях управления, В	
8	Масса выключателя, кг	

3. Указать основные узлы выключателя ВМТ-110 и его полюса

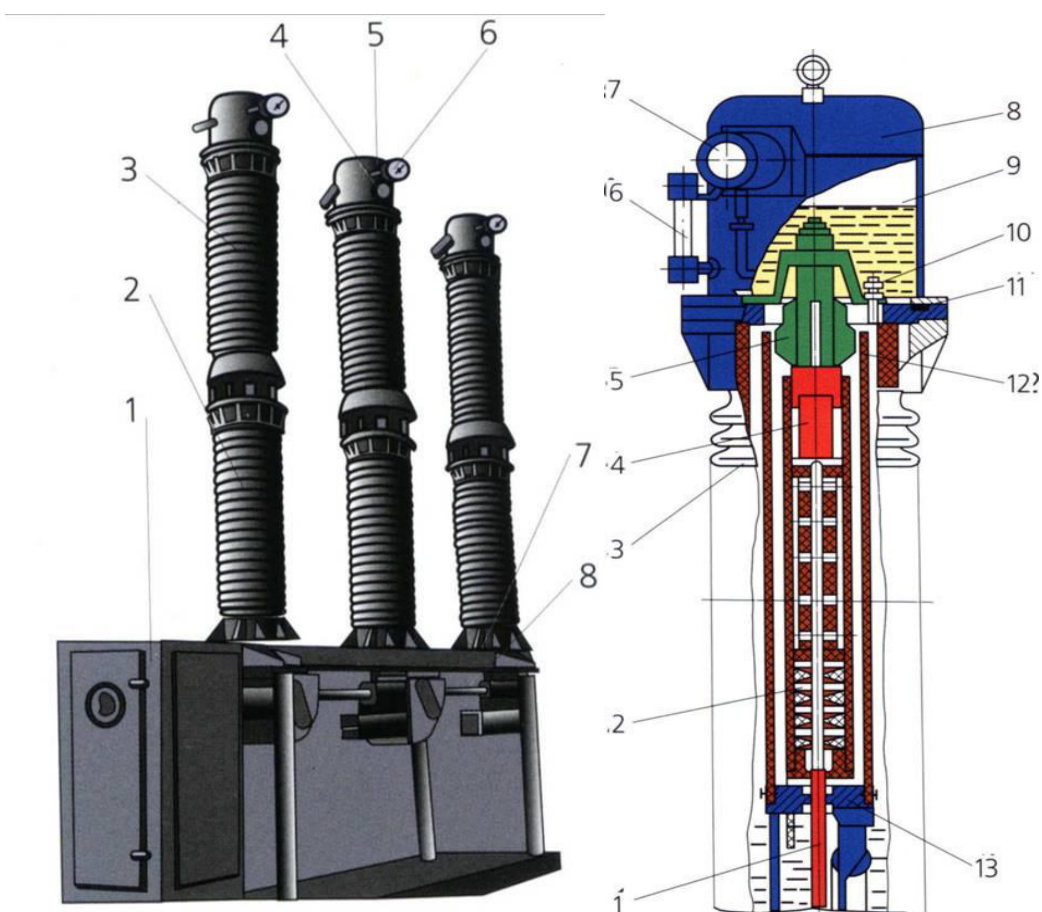


Рисунок 1.19. 1 Основные элементы выключателя ВМТ-110 и его полюса

4. Изучить электронные материалы по выключателю.

5. Дать характеристику дугогасительной камере, изучив ее конструкцию.

Контрольные вопросы.

1. Что такое буферное пространство масляных выключателей?
2. Собственное время отключения выключателя – дайте определение.
3. Укажите недостатки масляных выключателей.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Назначение выключателя.
3. Расшифровка маркировки выключателя.
4. Таблица с номинальными параметрами выключателя.
5. Рисунок с указанием основных элементов выключателя (внешний вид выключателя).
6. Рисунок с указанием основных элементов полюса выключателя (разрез полюса).
7. Характеристика дугогасительной камеры.
8. Ответы на контрольные вопросы.
9. Вывод.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 20

Тема: Изучение конструкции высоковольтных (вакуумных) выключателей переменного тока

Цель работы: изучить конструкцию вакуумного выключателя ВВ/TEL-10.

Оборудование и приборы:

вакуумный выключатель ВВ/TEL-10.

Краткие теоретические сведения

Вакуумные выключатели предназначены для оперативного включения и отключения электрических цепей переменного тока под нагрузкой, а также для их автоматического отключения в аварийном режиме.

В вакуумных выключателях отсутствует среда, проводящая электрический ток. Основой выключателя является вакуумная дугогасительная камера, внутри которой создан вакуум $1,33 \cdot 10^{-4}$ Па. Поэтому при размыкании контактов не образуется мощная электрическая дуга. Горение дуги в вакуумных выключателях не превышает 0,01 с., т. е. дуга гаснет при первом переходе тока через ноль. Высокое быстродействие, малые габариты и масса, отсутствие необходимости в замене масла, отсутствие загрязнения окружающей среды являются основными достоинствами вакуумных выключателей.

Порядок выполнения работы

1. Указать назначение вакуумных выключателей, записать полную маркировку изучаемого выключателя, привести ее расшифровку.
2. Записать номинальные параметры выключателя в таблицу 1.20.1.

Таблица 1.20.1 - Параметры выключателя ВВ/TEL-10

№	Наименование параметров	Значение параметров
1	Номинальное напряжение, кВ	
2	Номинальный ток, А	
3	Номинальный ток отключения, кА	
4	Номинальная мощность отключения, МВА	
5	Собственное время отключения, с	
7	Напряжение в цепях управления, В	
8	Масса выключателя, кг	

3. Указать условия эксплуатации выключателя ВВ/TEL-10:

- верхнее значение температуры окружающего воздуха;
- нижнее значение температуры окружающего воздуха;
- верхнее значение относительной влажности воздуха;
- наибольшая высота над уровнем моря;
- срок службы.

4. Указать основные элементы выключателя

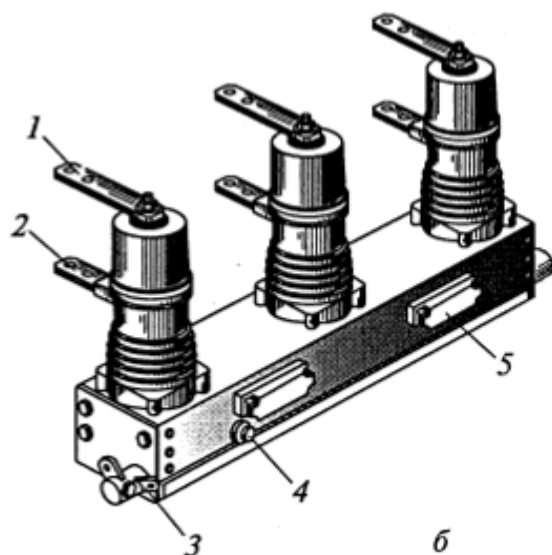


Рисунок 1.20.1. Основные элементы выключателя

5. Указать основные узлы полюса выключателя.

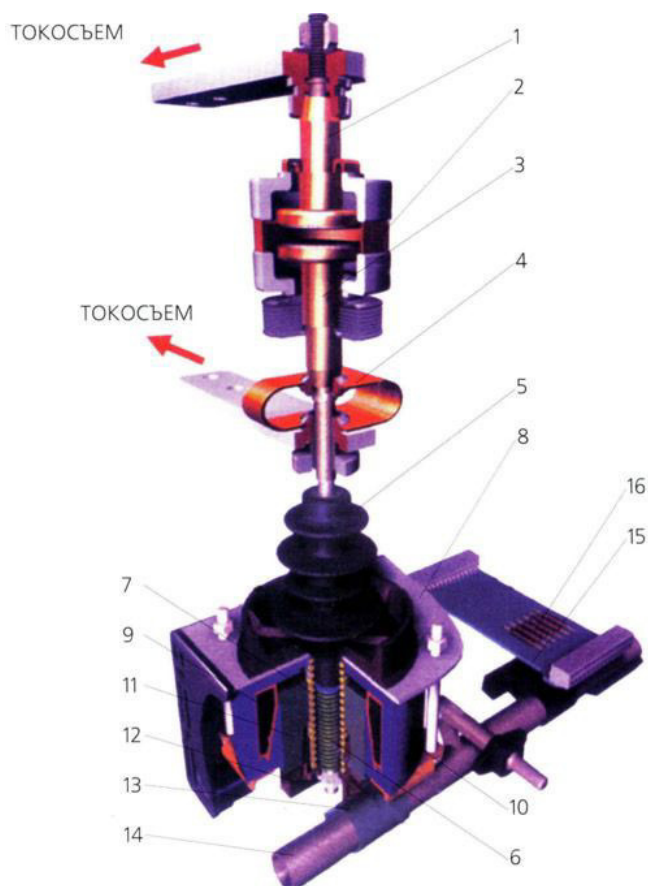


Рисунок 1.20.2. Конструкция полюса выключателя

6. Пояснить принцип работы выключателя при:

- оперативном включении;
- при оперативном отключении.

Контрольные вопросы.

1. Какие явления образуют электрическую дугу при размыкании контактов вакуумного выключателя?

2. В каком положении могут быть установлены полюсы вакуумного выключателя?

3. Укажите недостатки вакуумных выключателей.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.

2. Назначение выключателя.
3. Расшифровка маркировки выключателя.
4. Таблица с номинальными параметрами выключателя.
5. Условия эксплуатации выключателя.
6. Рисунок с указанием основных элементов полюса выключателя
(разрез полюса выключателя).
7. Ответы на контрольные вопросы.
8. Вывод.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 21

Тема: Изучение конструкции высоковольтных (элегазовых) выключателей переменного тока

Цель работы: изучить конструкцию элегазового выключателя ВГТ-110.

Оборудование и приборы:

Мультимедийный проектор, электронные материалы по ВГТ-110.

Краткие теоретические сведения

Элегазовые выключатели предназначены для оперативного включения и отключения электрических цепей переменного тока под нагрузкой, а также для их автоматического отключения в аварийном режиме.

В элегазовых выключателях гашение электрической дуги происходит в среде шестифтористой серы SF_6 . *Элегаз* обладает ничтожно малой проводимостью, хорошей дугогасящей и теплоотводящей способностью, нетоксичен, химически нейтрален к материалам дугогасительного устройства. Электрическая прочность элегаза в 2-3 раза выше прочности воздуха. Элегазовые выключатели взрыво- и пожаробезопасны.. При низких температурах воздуха выключатели не подогреваются. Практическое изучение конструкции элегазового выключателя возможно непосредственно на производстве с использованием технической литературы.

Порядок выполнения работы

1. Указать назначение элегазовых выключателей, записать полную маркировку изучаемого выключателя, привести ее расшифровку.
2. Записать номинальные параметры выключателя в таблицу 1.21.1.

Таблица 1.21.1 - Параметры выключателя ВГТ-110

№	Наименование параметров	Значение параметров
1	Номинальное напряжение, кВ	
2	Номинальный ток, А	
3	Номинальный ток отключения, кА	
4	Номинальная мощность отключения, МВА	
5	Собственное время отключения, с	
7	Напряжение в цепях управления, В	
8	Масса выключателя, кг	

3. Указать условия эксплуатации выключателя ВГТ-110:

- верхнее значение температуры окружающего воздуха;
- нижнее значение температуры окружающего воздуха;
- верхнее значение относительной влажности воздуха;
- наибольшая высота над уровнем моря;
- срок службы.

4. Указать основные узлы полюса выключателя.

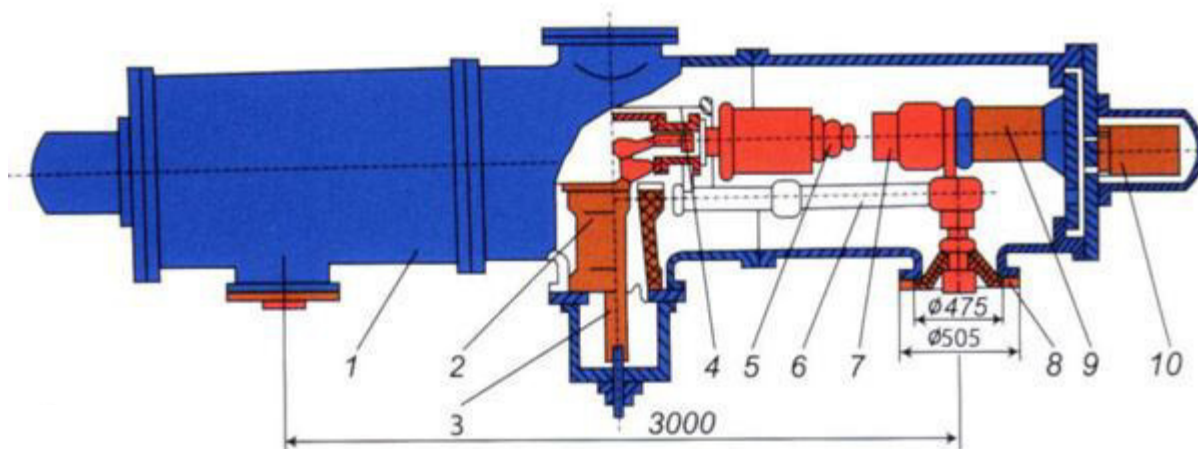


Рисунок 1.21.1 Конструкция полюса выключателя

5. На рисунке 1.21.2 выполнить соединение выключателя с трансформатором тока на каждой фазе, также показать подключение проводов со стороны ЛЭП к выключателю и трансформатору тока.

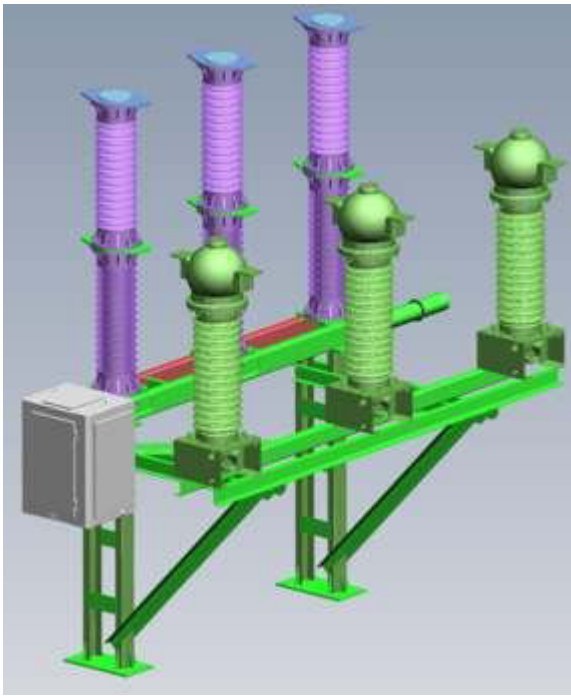


Рисунок 1.21.1. Установка выключателя ВГТ-110 и трансформатора тока ТОГФ-110

Контрольные вопросы.

1. Какой тип привода используется у выключателя ВГТ-110?
2. Сколько приводов имеет выключатель ВГТ-110?
3. Укажите недостатки элегазовых выключателей.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Назначение выключателя.
3. Расшифровка маркировки выключателя.
4. Таблица с номинальными параметрами выключателя.
5. Условия эксплуатации выключателя.
6. Рисунок с указанием основных элементов выключателя.
7. Рисунок с подключением элегазового выключателя к трансформаторам тока и к ЛЭП.
8. Ответы на контрольные вопросы.
9. Вывод.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 22

Тема: Выбор и проверка высоковольтных выключателей переменного тока

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

Краткие теоретические сведения

Выбор высоковольтных выключателей переменного тока производится в зависимости от места установки, условий работы по напряжению и току. В распределительном устройстве одного напряжения для удобства в эксплуатации и ремонтах рекомендуется устанавливать однотипные выключатели. После выбора выключателей его паспортные данные сравнивают с расчетными параметрами. Выбор и проверку целесообразно свести в таблицу. Паспортные характеристики выключателей указываются в числителе дроби, расчетные параметры – в знаменателе. Паспортные данные должны быть больше расчетных параметров.

При выполнении практической работы необходимо учитывать, что к установке принимаются только элегазовые и вакуумные выключатели. Масляные выключатели из выбора исключить. Паспортные параметры выключателей приведены в таблицах 1.22.2, 1.22.3, 1.22.4.

Исходные данные

1. Однолинейная схема электрической подстанции (см. приложение 1).
2. $S_{н.тр}$ – номинальная мощность главного понижающего трансформатора

3. (Т1, Т2), кВА;
4. $U_{н1}$ – номинальное напряжение первичной обмотки главного понижающего трансформатора (Т1, Т2), кВ;
5. $I_{к1}$ – ток трехфазного короткого замыкания на первичной стороне трансформатора, кА;
6. $t_{откл1}$ – время отключения тока КЗ релейной защитой выключателя Q2 (Q3), с.
7. $U_{н2}$ – номинальное напряжение вторичной обмотки главного понижающего трансформатора (Т1, Т2), кВ;
8. $I_{к2}$ – ток трехфазного короткого замыкания на вторичной стороне трансформатора, кА;
9. $t_{откл2}$ – время отключения тока КЗ релейной защитой выключателя Q4 (Q5), с.

Расчетные данные задаются преподавателем.

Порядок выполнения работы

1. Расчет рабочего тока на вводе в РУ первичного напряжения:

$$I_1 = \frac{K_n \cdot S_{н.тп}}{\sqrt{3} \cdot U_{н1}}, \quad (22.1)$$

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

2. Расчет рабочего тока на вводе в РУ вторичного напряжения:

$$I_2 = \frac{K_n \cdot S_{н.тп}}{\sqrt{3} \cdot U_{н2}}, \quad (22.2)$$

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

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

Условия выбора:

$$\begin{aligned} U_n &\geq U_{\text{раб}}, \\ I_n &\geq I_{\text{раб}}, \end{aligned} \quad (22.3)$$

где U_n и I_n – номинальные напряжение и ток выбираемого выключателя, кВ и А соответственно;

$U_{\text{раб}}$ и $I_{\text{раб}}$ – рабочее напряжение и максимальный рабочий ток присоединения, на котором устанавливается выключатель, кВ и А соответственно ($I_{\text{раб}} = I_1$ для ввода первичного напряжения, $I_{\text{раб}} = I_2$ для ввода вторичного напряжения).

4. Проверка выключателей на электродинамическую стойкость.

Условие проверки:

$$i_{\text{пр.с}} \geq i_y, \quad (22.4)$$

где $i_{\text{пр.с}}$ – амплитудное значение предельного сквозного тока, кА;

i_y – ударный ток, кА ($i_{y1} = 2,55 \cdot I_{к1}$, $i_{y2} = 2,55 \cdot I_{к2}$).

5. Проверка выключателей на термическую стойкость.

Условие проверки:

$$I_T^2 \cdot t_T \geq B_k, \quad (22.5)$$

где I_T – ток термической стойкости, кА;

t_T – время протекания тока термической стойкости, с;

B_k – тепловой импульс, $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$.

$$B_k = I_k^2 \cdot (t_{\text{откл}} + T_a), \quad (22.6)$$

где T_a – постоянная затухания апериодической составляющей тока короткого замыкания, $T_a = 0,05$ с.

$$B_{к1} = I_{к1}^2 \cdot (t_{\text{откл}1} + T_a);$$

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

6. Проверка выключателей по отключающей способности.

Условия проверки:

$$I_{\text{н.откл}} \geq I_k,$$

$$S_{\text{н.откл}} \geq S_k, \quad (22.7)$$

где $I_{\text{н.откл}}$ – номинальный ток отключения выключателя, кА;

$S_{\text{н.откл}}$ – номинальная мощность отключения выключателя, МВА

$$(S_{\text{н.откл}1} = \sqrt{3} \cdot U_{н1} \cdot I_{\text{н.откл}1}, S_{\text{н.откл}2} = \sqrt{3} \cdot U_{н2} \cdot I_{\text{н.откл}2});$$

I_k – ток короткого замыкания, кА

($I_k = I_{k1}$ в распределительном устройстве первичного напряжения,
 $I_k = I_{k2}$ в распределительном устройстве вторичного напряжения).
 S_k – мощность короткого замыкания, МВА.

Для расчета мощности короткого замыкания необходимо:

- определить базисный ток:

$$I_{б1} = \frac{S_{б}}{\sqrt{3} \cdot U_{cp1}}, \quad I_{б2} = \frac{S_{б}}{\sqrt{3} \cdot U_{cp2}}, \quad (22.8)$$

где $S_{б}$ – базисная мощность, $S_{б} = 100$ МВА;

U_{cp} – среднее напряжение электроустановки, кВ.

- относительное сопротивление в точках короткого замыкания:

$$X_{*б1} = \frac{I_{б1}}{I_{k1}}, \quad X_{*б2} = \frac{I_{б2}}{I_{k2}}, \quad (22.9)$$

- мощность короткого замыкания:

$$S_{k1} = \frac{S_{б}}{X_{*б1}}, \quad S_{k1} = \frac{S_{б}}{X_{*б2}}, \quad (22.10)$$

Результаты выбора и проверки выключателей свести в таблицу 1.22.1.

Таблица 1.22.1- Результаты выбора и проверки выключателей переменного тока

Соотношение паспортных и расчетных параметров								
Наименование присоединения	Марка выключателя	Тип привода	$\frac{U_n, \text{кВ}}{U_{\text{раб}}, \text{кВ}}$	$\frac{I_n, \text{А}}{I_{\text{раб}}, \text{А}}$	$\frac{I_{\text{н.откл}}, \text{кА}}{I_k, \text{А}}$	$\frac{i_{\text{пр.с}}, \text{кА}}{i_y, \text{кА}}$	$\frac{I_T^2 \cdot t_T, \text{кА}^2\text{с}}{B_k, \text{кА}^2\text{с}}$	$\frac{S_{\text{н.откл}}, \text{МВА}}{S_k, \text{МВА}}$
Ввод в РУ $U_{н1}$, кВ								
Ввод в РУ $U_{н2}$, кВ								

Таблица 1.22.2 - Паспортные параметры вакуумных выключателей на 10 кВ

Марка выключателя	U _н , кВ	I _н , А	I _{н.откл.} , кА	i _{пр.с.} , кА	I _т , кА	t _т ,с	t _{св} , с	Тип привода
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ВВ/TEL-10-630-12,5У2	10	630	12,5	32	12,5	3	0,015	встроенный электромагнитный
ВВ/TEL-10-1000-20У2	10	1000	20	52	20	3	0,015	встроенный электромагнитный
ВВ/TEL-10-1600-20У2	10	1600	20	20	81	3	0,015	встроенный электромагнитный
ВР0-10-630-12,5	10	630	12,5	32	12,5	3	0,042	моторно-пружинный
ВР0-10-1000-16	10	1000	16	41	16	3	0,042	моторно-пружинный
ВР0-10-1250-20	10	1250	20	52	20	3	0,042	моторно-пружинный
ВР1-10-1600-20	10	1600	20	52	20	3	0,05	моторно-пружинный
ВР2-10-2000-31,5	10	2000	31,5	80	31,5	3	0,05	моторно-пружинный
ВР3-10-3150-40	10	3150	40	102	40	3	0,05	моторно-пружинный
ВРС-10-4000-40	10	4000	40	102	40	3	0,05	моторно-пружинный
ВВЭ-10-630-20У3	10	630	20	52	20	3	0,055	встроенный электромагнитный
ВВЭ-10-1000-20У3	10	1000	20	52	20	3	0,055	встроенный электромагнитный
ВВЭ-10-1600-20У3	10	1600	20	52	20	3	0,055	встроенный электромагнитный
ВВЭ-10-630-31,5У3	10	630	31,5	80	31,5	3	0,055	встроенный электромагнитный
ВВЭ-10-1000-31,5У3	10	1000	31,5	80	31,5	3	0,055	встроенный электромагнитный
ВВЭ-10-1600-31,5У3	10	1600	31,5	80	31,5	3	0,055	встроенный электромагнитный
ВВЭ-10-2000-31,5У3	10	2000	31,5	80	31,5	3	0,055	встроенный электромагнитный

Окончание таблицы 1.22.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ВВЭ-10-3150-31,5У3	10	3150	31,5	80	31,5	3	0,055	встроенный электромагнитный
ВБУЭ-10-1000-20У2	10	1000	20	52	20	3	0,03	встроенный электромагнитный
ВБУЭ-10-1600-20У2	10	1600	20	52	20	3	0,03	встроенный электромагнитный

Таблица 1.22.3 - Паспортные параметры вакуумных выключателей на 35, 110 кВ

Марка выключателя	U_n , кВ	I_n , А	$I_{н.откл}$, кА	$i_{пр.с}$, кА	I_T , кА	t_T , с	$t_{св}$, с	Тип привода
ВВ/TEL-35-630-12,5УХЛ1	35	630	12,5	32	12,5	3	0,015	встроенный электромагнитный
ВР-35-630-20УХЛ1	35	630	20	52	20	3	0,05	встроенный электромагнитный
ВР-35-800-20УХЛ1	35	800	20	52	20	3	0,05	встроенный электромагнитный
ВР-35-1000-20УХЛ1	35	1000	20	52	20	3	0,05	встроенный электромагнитный
ВР-35-1250-20УХЛ1	35	1250	20	52	20	3	0,05	встроенный электромагнитный
ВР-35-1600-20УХЛ1	35	1600	20	52	20	3	0,05	встроенный электромагнитный
ВР-35-2000-20УХЛ1	35	2000	20	52	20	3	0,05	встроенный электромагнитный
ВБЦ-35-1600-20УХЛ2	35	1600	20	80	20	3	0,06	встроенный электромагнитный
ВРС-110-2500-31,5	110	2500	31,5	81	31,5	3	0,045	пружинный

Таблица 1.22.4 - Паспортные параметры элегазовых выключателей на 35, 110, 220 кВ

Марка выключателя	U_n , кВ	I_n А	$I_{н.откл.}$, кА	$i_{пр.с.}$, кА	I_T , кА	t_T , с	$t_{св.}$, с	Тип привода
ВГБЭ-35-630-12,5УХЛ1	35	630	12,5	32	12,5	3	0,04	встроенный электромагнитный
ВГТ-35-3150-50УХЛ1	35	3150	50	127,5	50	3	0,035	пружинный
ВГТ-110-2500-40УХЛ1	110	2500	40	102	40	3	0,035	пружинный
ВГТ-220-2500-40УХЛ1	220	2500	40	102	40	3	0,035	пружинный

Контрольные вопросы.

1. С какой целью проводят проверку выключателей переменного тока по отключающей способности?
2. Где указывают номинальные параметры выключателей?
3. Почему в настоящее время требуют устанавливать вакуумные и элегазовые выключатели и не рекомендовано устанавливать масляные?

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Условия проверки и выбора выключателей.
3. Таблица с результатами выбора и проверки выключателей.
4. Ответы на контрольные вопросы.
5. Вывод.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 23

Тема: Изучение конструкции разъединителей

Цель работы: практически изучить конструкцию разъединителя РВЗ-10.

Оборудование и приборы:
разъединитель РВЗ – 10, рулетка.

Краткие теоретические сведения

Разъединители предназначены для оперативного включения и отключения предварительно обесточенных электрических цепей переменного и постоянного тока, а также для создания видимого разрыва в электрических цепях при выполнении ремонтных работ. Разъединители не имеют устройств для гашения электрической дуги.

Разъединители бывают внутренней и наружной установки, с контактами вертикально-рубящего и горизонтально-поворотного типа.

Порядок выполнения работы

1. Указать назначение изучаемого разъединителя. Записать его полную маркировку и расшифровать ее.
2. Записать номинальные параметры разъединителя в таблицу 1.23.1.

Таблица 1.23.1 - Параметры разъединителя РВЗ – 10

№	Наименование параметров	Значение параметров
1	Номинальное напряжение, кВ	
2	Номинальный ток, А	
3	Ток термической стойкости, кА	
4	Время протекания тока термической стойкости, с	
5	Ток электродинамической стойкости, кА	
6	Масса разъединителя, кг	

3. На представленных в задании рисунках указать основные элементы полюса разъединителя РВЗ – 10 (рисунки 1.23.1, 1.23.2, 1.23.3).

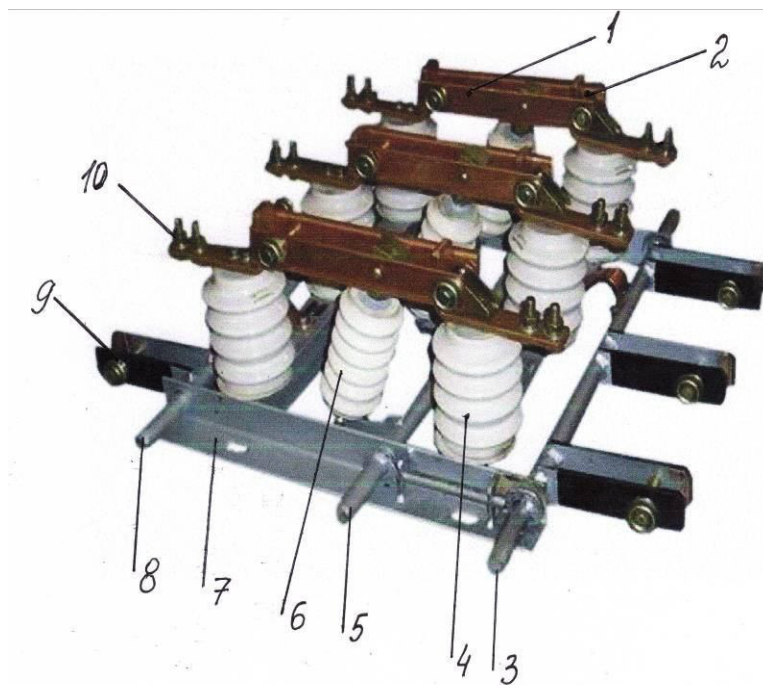


Рисунок 1.23.1. Внешний вид разъединителя РВЗ – 10

4. Выполнить замеры параметров, указанных на представленных в задании рисунках 1.23.2 и 1.23.3.

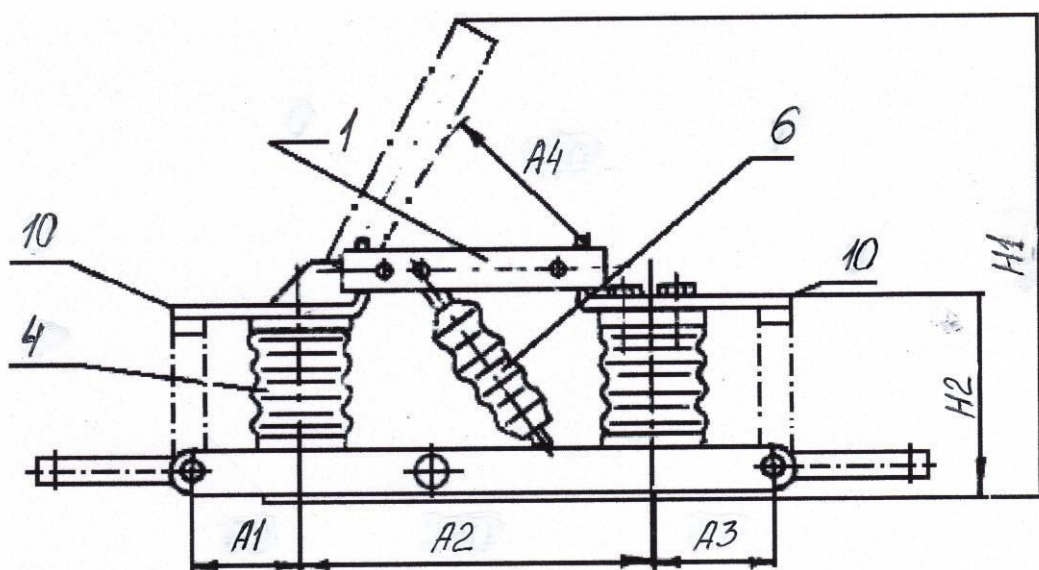


Рисунок. 1.23.2. Разъединитель РВЗ – 10-630 (вид сбоку).

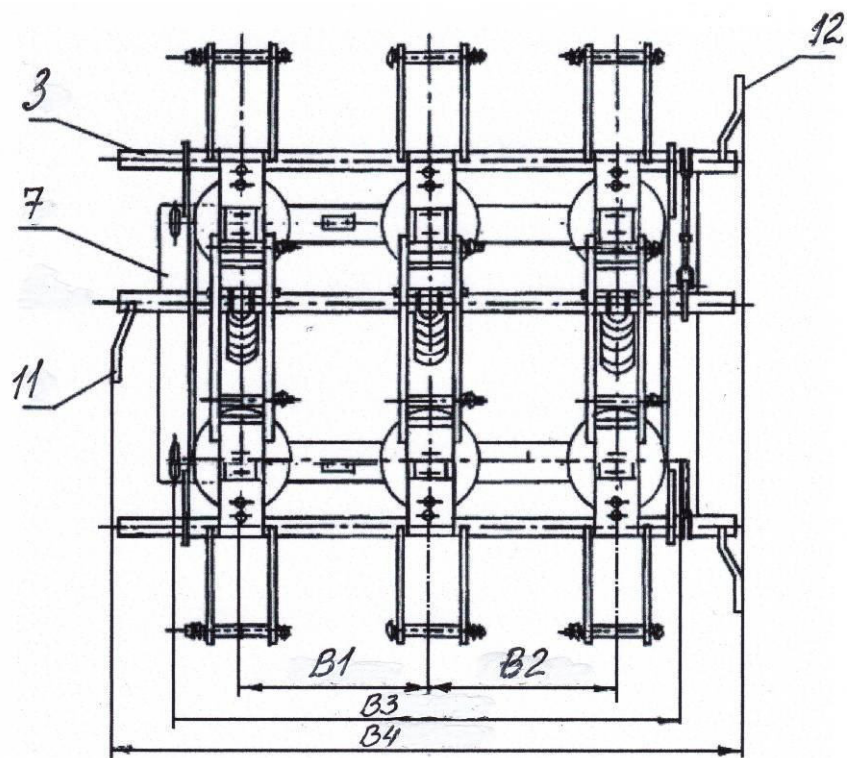


Рисунок. 1.23.3. Разъединитель РВЗ – 10 (вид сверху)

Результаты измерений занести в таблицу. 1.23.2.

Таблица 1.23.2 - Результаты измерений

Измеряемый параметр	Значение измеряемого параметра, мм
A2- расстояние между осями опорных изоляторов фазы	
A4- высота подъема главного ножа разъединителя	
H1- высота разъединителя с поднятым главным ножом	
H2- высота опорного изолятора разъединителя с рамой	
B1- расстояние между осями фаз А и В разъединителя	
B2- расстояние между осями фаз В и С разъединителя	
B3- ширина разъединителя	
B4- расстояние между рукоятками приводов главных и заземляющих ножей	

5. Изучить основные элементы ручного привода разъединителя.

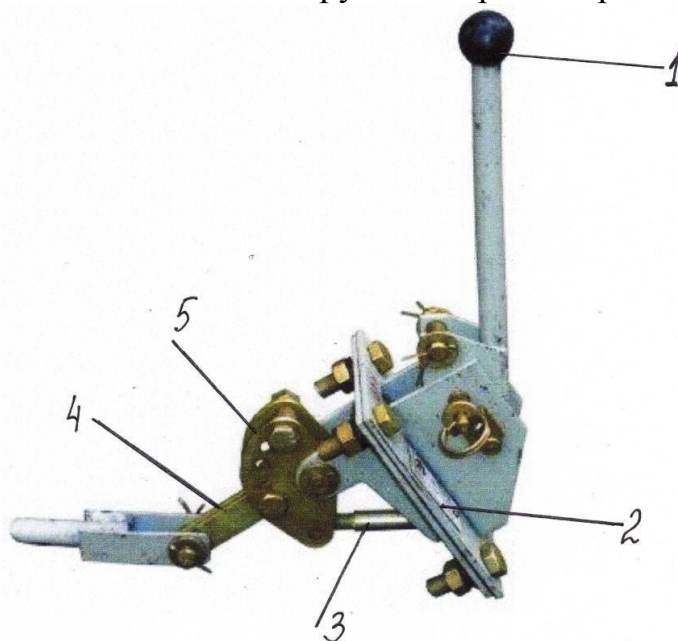


Рисунок 1.23.4. Привод разъединителя РВЗ – 10

Контрольные вопросы.

1. В каких случаях допускается отключать разъединителем электрические цепи под нагрузкой?
2. Укажите графическое обозначение на схемах разъединителя, конструкция которого изучена.
3. Какое конструктивное различие разъединителей РВ-10 и РВЗ-10?

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Назначение, расшифровка марки разъединителя.
3. Таблица с номинальными параметрами разъединителя.
4. Рисунки разъединителя с указанием основных элементов конструкции.
5. Рисунок ручного привода разъединителя с указанием основных элементов.
6. Таблица с результатами замеров параметров разъединителя.
7. Ответы на контрольные вопросы.
8. Вывод.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 24

Тема: Выбор и проверка разъединителей

Цель работы: научиться выбирать разъединители для распределительных устройств электрических подстанций, проверять их на термическую и электродинамическую стойкости.

Краткие теоретические сведения

Выбор разъединителей производится в зависимости от места установки, условий работы по напряжению и току. В настоящее время распределительные устройства напряжением 10 и 35 кВ выполняются модульными, выключатели переменного тока на выкатных тележках, функцию разъединителей выполняют штепсельные разъемы. В результате отпадает необходимость в выборе разъединителей на указанные напряжения. Между главным понижающим трансформатором и модулем на 10 или 35 кВ требуется установить разъединитель. После выбора разъединителя, его паспортные данные сравнивают с расчетными параметрами. Выбор и проверку целесообразно свести в таблицу. Паспортные характеристики разъединителей указываются в числителе дроби, расчетные параметры – в знаменателе. Паспортные данные должны быть больше расчетных параметров.

Паспортные параметры разъединителей приведены в таблице. 1.24.2.

Исходные данные

1. Однолинейная схема электрической подстанции (см. приложение 1).
2. $S_{н.тр}$ – номинальная мощность главного понижающего трансформатора (Т1, Т2), кВА;

3. $U_{н1}$ – номинальное напряжение первичной обмотки главного понижающего трансформатора (Т1, Т2), кВ;

4. $I_{к1}$ – ток трехфазного короткого замыкания на первичной стороне трансформатора, кА;

5. $t_{откл1}$ – время отключения тока КЗ релейной защитой выключателя Q2 (Q3), с.

6. $U_{н2}$ – номинальное напряжение вторичной обмотки главного понижающего трансформатора (Т1, Т2), кВ;

7. $I_{к2}$ – ток трехфазного короткого замыкания на вторичной стороне трансформатора, кА;

8. $t_{откл2}$ – время отключения тока КЗ релейной защитой выключателя Q4 (Q5), с.

Данные для расчета задаются преподавателем.

Порядок выполнения работы

1. Расчет рабочего тока на вводе в РУ первичного напряжения:

$$I_{раб1} = \frac{K_H \cdot S_{н-мп}}{\sqrt{3} \cdot U_{н1}}, \quad (24.1)$$

где K_H – коэффициент нагрузки, $K_H = 1,4$.

2. Расчет рабочего тока на вводе в РУ вторичного напряжения:

$$I_{раб2} = \frac{K_H \cdot S_{н-мп}}{\sqrt{3} \cdot U_{н2}}, \quad (24.2)$$

где K_H – коэффициент нагрузки, $K_H = 1,4$.

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

Условия выбора:

$$\begin{aligned} U_H &\geq U_{раб}, \\ I_H &\geq I_{раб}, \end{aligned} \quad (24.3)$$

где U_H и I_H – номинальные напряжение и ток выбираемого разъединителя, кВ и А соответственно;

$U_{\text{раб}}$ и $I_{\text{раб}}$ – рабочее напряжение и максимальный рабочий ток присоединения, на котором устанавливается разъединитель, кВ и А соответственно ($I_{\text{раб1}}$ для ввода первичного напряжения, $I_{\text{раб2}}$ для ввода вторичного напряжения).

4. Проверка разъединителей на электродинамическую стойкость.

Условие проверки:

$$i_{\text{пр.с}} \geq i_y, \quad (24.4)$$

где $i_{\text{пр.с}}$ – амплитудное значение предельного сквозного тока, кА;

i_y – ударный ток, кА ($i_{y1} = 2,55 \cdot I_{\text{к1}}$, $i_{y2} = 2,55 \cdot I_{\text{к2}}$).

5. Проверка разъединителей на термическую стойкость.

Условие проверки:

$$I_T^2 \cdot t_T \geq B_K, \quad (24.5)$$

где I_T – ток термической стойкости, кА;

t_T – время протекания тока термической стойкости, с;

B_K – тепловой импульс, $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$.

$$B_K = I_{\text{к}}^2 \cdot (t_{\text{откл}} + T_a), \quad (24.6)$$

где T_a – постоянная затухания апериодической составляющей тока короткого замыкания, $T_a = 0,05$ с.

$$B_{\text{к1}} = I_{\text{к1}}^2 \cdot (t_{\text{откл1}} + T_a);$$

$$B_{\text{к2}} = I_{\text{к2}}^2 \cdot (t_{\text{откл2}} + T_a).$$

Выбор и проверку разъединителей свести в таблицу 1.24.1.

Выбор разъединителей произвести по таблице 1.24.2.

Таблица 1.24.1 - Результаты выбора и проверки разъединителей

			Соотношение паспортных и расчетных параметров			
Наименование присоединения	Марка разъединителя	Тип привода	$\frac{U_{\text{п}}, \text{кВ}}{U_{\text{раб}}, \text{кВ}}$	$\frac{I_{\text{п}}, \text{А}}{I_{\text{раб}}, \text{А}}$	$\frac{i_{\text{пр.с}}, \text{кА}}{i_y, \text{кА}}$	$\frac{I_T^2 \cdot t_T, \text{кА}^2 \cdot \text{с}}{B_K, \text{кА}^2 \cdot \text{с}}$
			Ввод $U_{\text{н1}}$ кВ			
Ввод $U_{\text{н2}}$ кВ						

Таблица 1.24.2 - Характеристики разъединителей

Марка разъединителя	Тип привода	U_n , кВ	I_n , А	$i_{пр.с}$, кА	I_T , А	t_T , с
РВЗ-10-400	ПР-2	10	400	40	16	4
РВЗ-10-630	ПР-2	10	630	50	20	4
РВЗ-10-1000	ПР-2	10	1000	80	31,5	4
РЛН(З)-10-400У1	ПР-2	10	400	20	8	3
РЛН(З)-10-630У1	ПР-2	10	630	51	20	3
РВРЗ-10-2000-1	ПР-2	10	2000	85	31,5	4
РВК-10-3000	ПР-2	10	3000	200	60	4
РДЗ-35-400	ПРГ-2/ ПДГ-9	35	400	31,5	12,5	3
РДЗ-35-1000	ПРГ-2/ ПДГ-9	35	1000	40	16	3
РДЗ-35-2000	ПРГ-2/ ПДГ-9	35	2000	80	31,5	3
РДЗ-110-1000	ПР2Б/ ПДГ-5	110	1000	63	25	3
РДЗ-110-2000	ПР2Б/ ПДГ-5	110	2000	80	31,5	3
РДЗ-220-1000	ПДГ-5	220	1000	63	25	3
РДЗ-220-2000	ПДГ-5	220	2000	80	31,5	3

U_n – номинальное напряжение, кВ;

I_n – номинальный ток, А;

$i_{пр.с}$ – предельный сквозной ток, амплитудное значение, кА;

I_T – ток термической стойкости, кА;

t_T – время прохождения тока термической стойкости, с;

Контрольные вопросы.

1. Почему у разъединителей отсутствуют параметры номинальный ток отключения $I_{н.откл}$ и номинальная мощность отключения $S_{н.откл}$?

2. Где указывают номинальные параметры разъединителей?

3. С какими приводами бывают разъединители?

Содержание отчета

1. Название и цель работы.

2. Расчеты рабочих токов и условия выбора разъединителей.

3. Таблица с характеристиками выбранных разъединителей.

4. Ответы на контрольные вопросы.

5. Вывод.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 25

Тема: Изучение конструкции магнитного пускателя

Цель работы: изучить конструкцию магнитного пускателя марки ПАЕ.

Оборудование и приборы:

магнитный пускатель серии ПАЕ.

Краткие теоретические сведения

Магнитные пускатели предназначены для дистанционного управления электродвигателями и другими электроустановками мощностью до 75 кВт. Они обеспечивают нулевую защиту, т. е. при исчезновении напряжения или его снижении до 50-60% от номинального катушка не удерживает магнитную систему пускателя, и силовые контакты размыкаются. При восстановлении напряжения приемник электроэнергии остается отключенным. Это исключает возможность аварий, связанных с самопроизвольным пуском электродвигателя или другой электроустановки. Пускатели с тепловыми реле осуществляют защиту электродвигателя от длительных перегрузок.

Магнитные пускатели изготавливаются в открытом, защищенном, пылеводозащищенном и пылебрызгонепроницаемом исполнении на напряжения 220, 380 В. Они могут быть реверсивными и нереверсивными. Реверсивные магнитные пускатели изменяют направление вращения электродвигателя.

Изучение конструкции магнитного пускателя допускается на любой другой серии.

Порядок выполнения работы

1. Указать назначение магнитного пускателя, записать и расшифровать его полную маркировку.

Пример расшифровки маркировки магнитного пускателя ПАЕ-311:

ПАЕ – *серия*;

Первая цифра – номинальный ток пускателя, А:

3 – 40 А,

4 – 63 А,

5 – 100 А,

6 – 160 А.

Вторая цифра – обозначение исполнения:

1 – *открытое*,

2 – защищенное,

3 – пылезащищенное,

4 – пылебрызгонепроницаемое.

Третья цифра – дополнительные признаки:

1 – *без теплового реле, нереверсивные*,

2 – с тепловым реле, нереверсивные;

3 – без теплового реле, реверсивные;

4 – с тепловым реле, реверсивные;

5 – без теплового реле, со встроенными кнопками «Пуск» и «Стоп»;

6 – с тепловым реле, со встроенными кнопками «Пуск» и «Стоп».

2. Записать номинальные параметры магнитного пускателя в таблицу

1.25.1.

Таблица 1.25.1 - Основные технические данные магнитного пускателя серии ПАЕ

Наименование параметра	Значение параметра
Номинальный ток, А	
Номинальное напряжение коммутируемой цепи, В:	
Исполнение	
Наличие тепловых реле	
Реверсивность	

3. Изучить конструкцию магнитного пускателя. На рисунке 1.25.1 указать названия основных элементов.

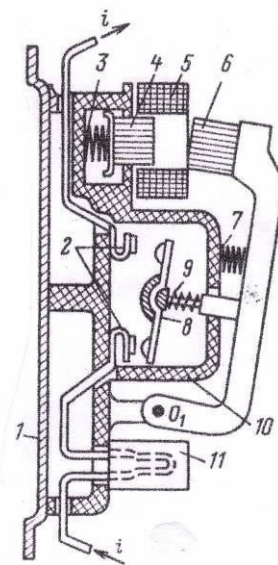


Рисунок 1.25.1. Внешний вид и конструктивная схема магнитного пускателя серии ПАЕ.

4. Пояснить принцип работы магнитного пускателя, используя представленную в задании электрическую схему (см. рисунок 1.25.2):

- при нажатии кнопки SB1;
- при нажатии кнопки SB2.

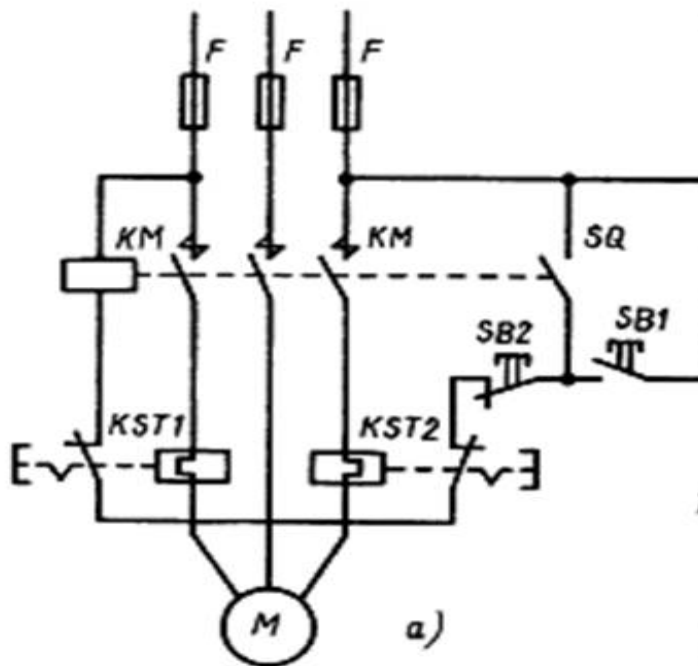


Рисунок 1.25.2. Электрическая схема магнитного пускателя серии ПАЕ

Контрольные вопросы.

1. Почему для защиты электродвигателя от токов короткого замыкания предусмотрены предохранители, а не достаточно термореле?
2. Какое напряжение в катушке магнитного пускателя и в обмотках электродвигателя?
3. Укажите принцип работы магнитного пускателя при перегрузке в электродвигателе.

Содержание отчета

2. Название и цель работы.
3. Назначение, расшифровка марки магнитного пускателя.
4. Таблица с номинальными параметрами магнитного пускателя.
5. Рисунок магнитного пускателя с указанием основных элементов конструкции.
6. Электрическая схема магнитного пускателя.
7. Описание принципа работы магнитного пускателя.
8. Ответы на контрольные вопросы.
9. Вывод.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 26

Тема: Изучение конструкции контактора

Цель работы: изучить конструкцию контактора серии МК.

Оборудование и приборы:

контактор серии МК.

Краткие теоретические сведения

Контакторы серии МК предназначены для дистанционного управления электромагнитными приводами выключателей переменного тока, электрическими цепями постоянного и переменного тока напряжением до 1000 В, быстродействующими выключателями постоянного тока при частых включениях и отключениях.

Контакторы допускают установку на изоляционных или металлических заземленных панелях, а также на рейках.

Изучение конструкции контактора допускается на других сериях.

Порядок выполнения работы

1. Указать назначение контактора, записать и расшифровать его полную маркировку.
2. Записать номинальные параметры контактора в таблицу 1.26.1.

Таблица 1.26.1- Основные технические данные контактора серии КМ

Наименование параметра	Значение параметра
Номинальный ток, А	
Номинальное напряжение коммутируемой цепи, В: - постоянного тока - переменного тока	
Номинальное напряжение постоянного тока катушки, В	
Номинальное напряжение контактов вспомогательной цепи, В: - постоянного тока - переменного тока	
Номинальный ток вспомогательных контактов, А	
Климатическое исполнение	

3. Изучить конструкцию контактора. На рисунке 1.26.1 указать названия его основных элементов.

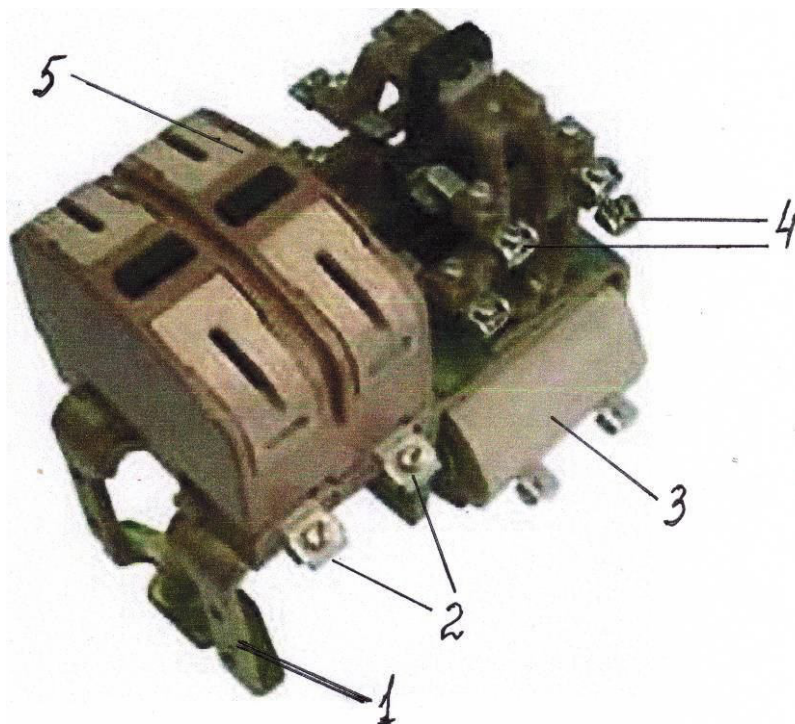


Рисунок 1.26.1. Внешний вид контактора серии МК с двумя главными контактами

4. Пояснить принцип работы контактора при подаче тока на его катушку (см. рисунок 1.26.2).

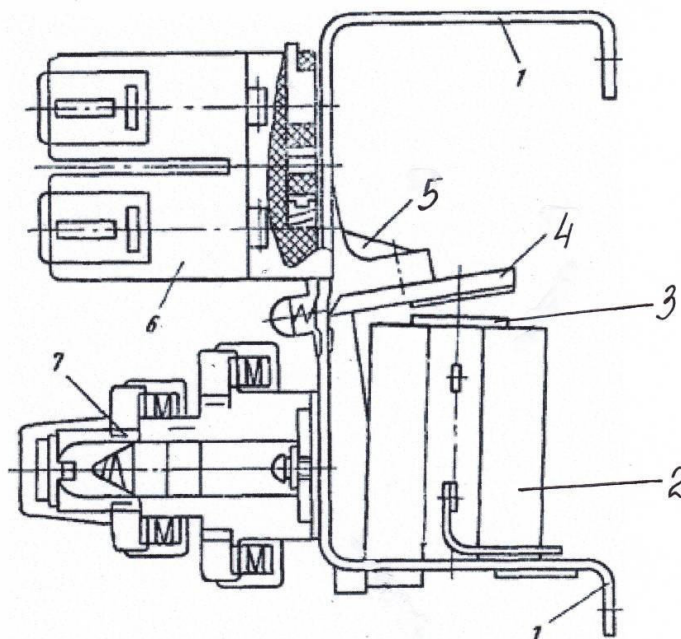


Рисунок 1.26.2. Конструкция контактора серии КМ

Контрольные вопросы.

1. Приведите примеры электрических цепей, в которых основным коммутационным аппаратом являются контакторы.
2. Какие бывают контакторы по числу полюсов?
3. Для каких режимов работы пригодны контакторы?

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Назначение, расшифровка марки контактора
3. Таблица с номинальными параметрами контактора.
4. Рисунок контактора с указанием основных элементов конструкции.
5. Описание принципа работы контактора.
6. Ответы на контрольные вопросы.
7. Вывод.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 27

Тема: Изучение конструкции автоматического воздушного выключателя

Цель работы: изучить конструкцию автоматического воздушного выключателя серии ВА-63.

Оборудование и приборы:

автоматический воздушный выключатель серии ВА-63.

Краткие теоретические сведения

Автоматические воздушные выключатели предназначены для оперативного включения и отключения низковольтных электрических цепей, а также для их защиты от токов короткого замыкания и длительных перегрузок.

Главной частью автоматического воздушного выключателя является *тепловой расцепитель* – биметаллическая пластина, изгибающаяся под действием больших токов. При включении и отключении в выключателе взводятся отключающие пружины, создаются условия для автоматического отключения при возникновении аварийного режима. При достижении тока уставки расцепителя развивают усилие, достаточное для приведения в действие механизма свободного расцепления. Механизм свободного расцепления отсоединяет рукоятку управления от контактной системы для исключения повторного включения автоматического выключателя. Для возврата выключателя в рабочее состояние необходимо перевести ручку взвода в крайнее нижнее положение.

По числу полюсов автоматические воздушные выключатели бывают одно-, двух-, трех- и четырехполюсные.

Изучение конструкции автоматического воздушного выключателя допускается на любой другой серии.

Порядок выполнения работы

1. Указать назначение автоматического воздушного выключателя, записать и расшифровать его полную маркировку.
2. Записать номинальные параметры автоматического воздушного выключателя в таблицу 1.27.1.

Таблица 1.27.1 - Основные технические данные автоматического воздушного выключателя серии ВА-63

Наименование параметра	Значение параметра
Номинальный ток, А	
Номинальное напряжение, В:	
Предельная коммутационная способность, А	
Число полюсов	
Климатическое исполнение	

3. Изучить конструкцию автоматического воздушного выключателя. На рисунке 2.27.1 указать названия его основных элементов.

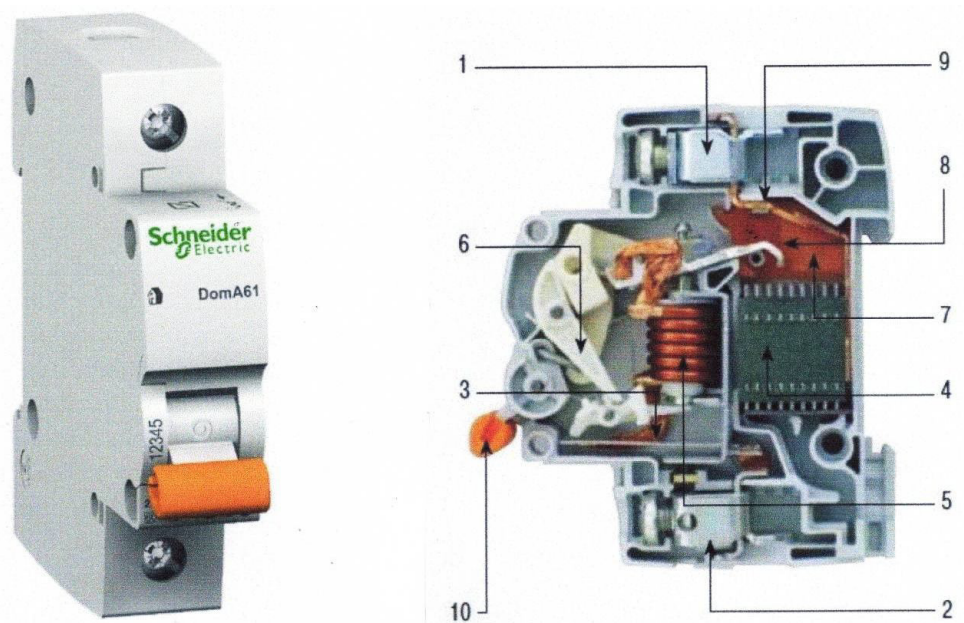


Рисунок 1.27.1. Внешний вид и конструктивная схема автоматического воздушного выключателя ВА-63.

4. Пояснить принцип работы токового расцепителя автоматического воздушного выключателя (автоматическое отключение выключателя) при коротком замыкании в защищаемой цепи.

Контрольные вопросы.

1. На изменение каких параметров реагируют автоматические воздушные выключатели (классификация выключателей в зависимости от токовых расцепителей)?

2. Приведите примеры электрических цепей, где устанавливают автоматические воздушные выключатели?

3. Условное графическое и буквенное обозначение автоматических воздушных выключателей в электрических схемах.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.

2. Назначение, расшифровка марки автоматического воздушного выключателя.

3. Таблица с номинальными параметрами автоматического воздушного выключателя.

4. Рисунок автоматического воздушного выключателя с указанием основных элементов конструкции.

5. Описание принципа работы автоматического воздушного выключателя.

6. Ответы на контрольные вопросы.

7. Вывод.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 28

Тема: Изучение конструкции вентильных разрядников

Цель работы: практически изучить конструкцию вентильного разрядника РВО-10, его номинальные параметры.

Оборудование и приборы:

вентильный разрядник РВО-10.

Краткие теоретические сведения

Вентильные разрядники предназначены для защиты изоляции электрооборудования электрических подстанций от перенапряжений.

В конструктивном плане вентильный разрядник состоит из двух основных элементов – **искрового промежутка** (многократного, состоящего из набора соединенных однократных искровых промежутков) и **нелинейного сопротивления** (набора вилитовых дисков). Нелинейные сопротивления и искровые промежутки соединяются последовательно. В связи с тем, что вилит меняет характеристики при увлажнении, диски нелинейных сопротивлений, а также и искровые промежутки находятся в герметичном фарфоровом корпусе.

При нарастании напряжения искровой промежуток пробивается. В результате сопровождающий ток проходит через нелинейное сопротивление на землю. Он должен быть отключен при первом переходе амплитуды через ноль. Отключение производится путем гашения дуги в искровом промежутке.

Порядок выполнения работы

1. Указать назначение вентильного разрядника, записать и расшифровать его полную маркировку.

2. Записать номинальные параметры вентильного разрядника в таблице 1.28.1.

Таблица 1.28.1- Основные технические данные вентильного разрядника РВО-10

Наименование параметра	Значение параметра
Номинальное напряжение сети, кВ	
Максимально допустимое напряжение разрядника, кВ	
Пробивное напряжение в сухую погоду и в дождь, кВ - не менее - не более	
Импульсное пробивное напряжение, кВ	
Остаточное напряжение, кВ	
Ток утечки, мкА	
Масса, кг	
Высота H, мм	
Диаметр D, мм	

3. Изучить конструкцию вентильного разрядника.

На рисунке 1.28.1 указать названия его основных элементов.

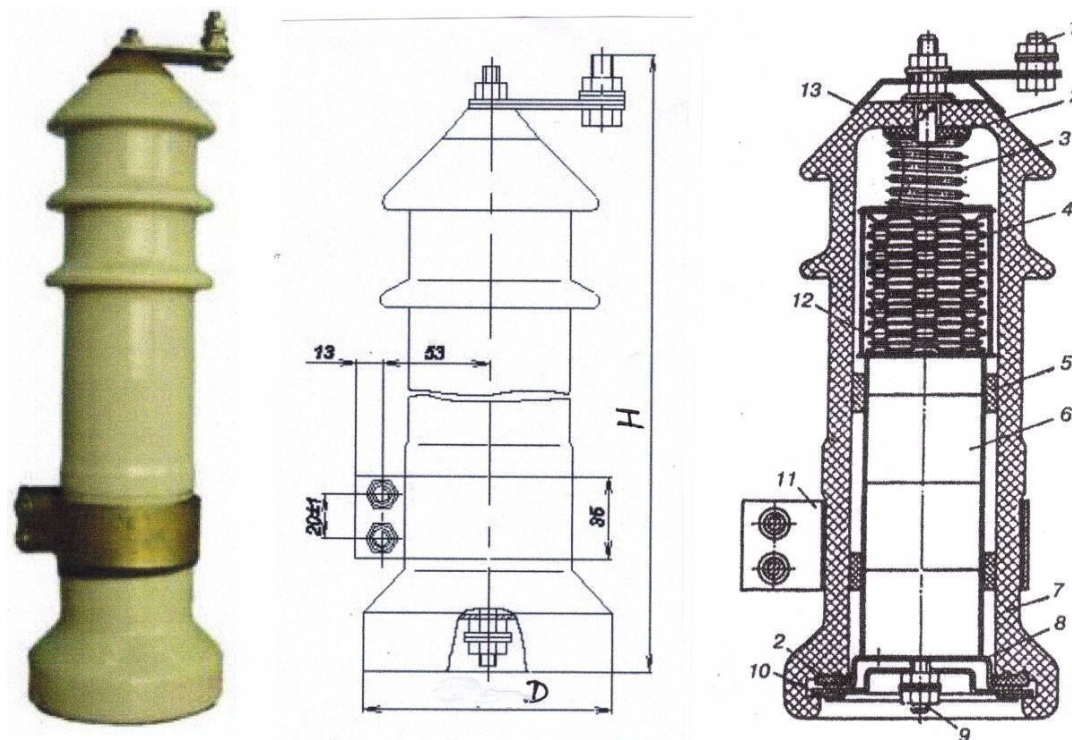


Рисунок 1.28.1. Внешний вид и конструктивная схема вентильного разрядника РВО-10

4. Выполнить эскиз искрового промежутка и пояснить его конструкцию.

5. Выполнить эскиз вилитового диска, указать материал и технологию его изготовления.

Контрольные вопросы.

1. Что такое перенапряжение?
2. Назовите виды перенапряжений.
3. Назовите типы разрядников.
4. Условное графическое и буквенное обозначения вентильных разрядников в электрических схемах.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Назначение, расшифровка марки вентильного разрядника.
3. Таблица с номинальными параметрами вентильного разрядника.
4. Рисунок вентильного разрядника с указанием основных элементов конструкции.
5. Эскиз искрового промежутка.
6. Эскиз вилитового диска. Пояснить технологию изготовления вилитового диска.
7. Ответы на контрольные вопросы.
8. Вывод.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 29

Тема: Изучение конструкции ограничителей перенапряжений

Цель работы: практически изучить конструкцию ограничителя перенапряжения на примере ОПН-10, его номинальные параметры.

Оборудование и приборы:

Ограничитель перенапряжения ОПН-10.

Краткие теоретические сведения

Ограничители перенапряжений предназначены для защиты изоляции оборудования распределительных устройств электрических подстанций от коммутационных и атмосферных перенапряжений.

Основное отличие материала нелинейных резисторов ограничителей перенапряжений от материала резисторов вентильных разрядников состоит в резко нелинейной вольт-амперной характеристике и повышенной пропускной способности. Применение в ОПН высоконелинейных резисторов позволило исключить из конструкции аппарата искровые промежутки.

Основные элементы ОПН- нелинейные сопротивления, внешняя изоляция, верхний и нижний фланцы.

Порядок выполнения работы

1. Указать назначение ограничителя перенапряжений, записать и расшифровать его полную маркировку.
2. Записать номинальные параметры ОПН-10 в таблицу 1.29.1.

Таблица 1.29.1 - Основные технические данные ограничителя перенапряжений ОПН-10

Наименование параметра	Значение параметра
Номинальное напряжение сети, кВ	
Максимально допустимое напряжение ОПН, кВ	
Номинальное напряжение ОПН, кВ	
Номинальный разрядный ток, кА	
Ток пропускной способности, А	
Масса, кг	
Климатическое исполнение	

3. Изучить конструкцию ОПН. На рисунке 1.29.1 указать названия его основных элементов.

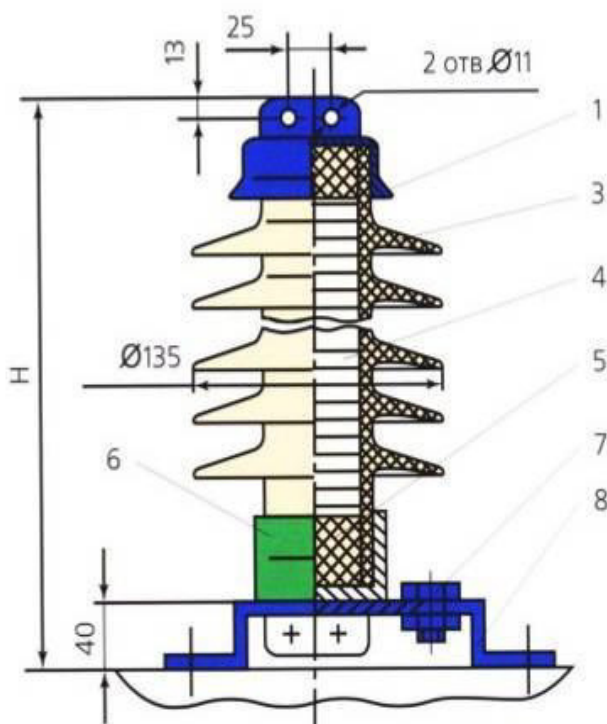


Рисунок 1.29.1. Конструкция ОПН

4. Выполнить эскиз диска нелинейного сопротивления, указать его геометрические размеры.

5. Пояснить принцип действия нелинейного сопротивления.

Контрольные вопросы.

1. Укажите преимущества ОПН перед вентильными разрядниками.
2. С какой целью ОПН на напряжения 110, 220 кВ имеют защитный экран в виде кольца, закрепленный на верхнем фланце?
3. Условное графическое и буквенное обозначения ОПН в электрических схемах.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Назначение, расшифровка марки ОПН.
3. Таблица с номинальными параметрами ОПН.
4. Рисунок ОПН с указанием основных элементов конструкции.
5. Эскиз диска нелинейного сопротивления с указанием его геометрических размеров.
6. Описание принципа действия нелинейного сопротивления.
7. Ответы на контрольные вопросы.
8. Вывод.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 30-31

Тема: Исследование схемы опорной подстанции

Цель работы: научиться вычерчивать однолинейную схему опорной трансформаторной подстанции по описанию подстанции, указывать марки и назначение основного оборудования распределительных устройств подстанции.

Краткие теоретические сведения

Главная схема электрических соединений трансформаторной подстанции – это чертеж, на котором условно графически показана совокупность основного оборудования и токоведущих частей со всеми выполненными между ними соединениями. На чертежах схемы изображаются в однолинейном виде при отключенных коммутационных аппаратах. При выборе схемы электроустановки учитываются положение, роль и значение подстанции в электрической системе, количество и категория потребителей, получающих электроснабжение от шин рассматриваемой подстанции.

Основными требованиями к схемам являются:

- надежность электроснабжения потребителей;
- приспособленность к проведению ремонтных работ;
- оперативная гибкость;
- экономическая целесообразность.

В схеме внешнего электроснабжения трансформаторные подстанции бывают опорными, транзитными, отпаечными, тупиковыми. **Опорная подстанция** имеет от трех до восьми вводов первичного напряжения, что является отличительной особенностью от другого типа подстанций.

Исходные данные

Выполнить однолинейную схему опорной подстанции № 1 или № 5 (см. приложение 2), при условии, что подстанция имеет два распределительных устройства: 1) напряжением 110 кВ (или 220 кВ) открытого типа; 2) 10 кВ (или 35 кВ) закрытого типа. На подстанции установлены два понижающих двухобмоточных трансформатора. Шины распределительного устройства вторичного напряжения секционированы выключателем на две секции. Распределительное устройство вторичного напряжения выполнено ячейками выкатного типа. К каждой секции шин подключены трансформаторы собственных нужд, измерительные трансформаторы напряжения, районные потребители (количество районных потребителей и их категории задаются преподавателем).

Порядок выполнения работы

1. На листе миллиметровой бумаги формата А4 выполнить однолинейную схему опорной подстанции в соответствии с требованиями ГОСТ. Образец однолинейной схемы распределительного устройства первичного напряжения 110 (220) кВ опорной подстанции представлен в приложении 3. Образец однолинейной схемы распределительного устройства вторичного напряжения 10 (35) кВ представлен в приложении 4.

2. Указать марки и назначение оборудования распределительных устройств. Условное буквенное обозначение, марки оборудования и его назначение свести в таблицы: 1.30.1. и 1.30.2.

Таблица 1.30.1 - Основное оборудование ОРУ опорной подстанции

Условное буквенное обозначение оборудования	Наименование оборудования	Марки оборудования	Назначение оборудования
T1, T2			
TV1-TV...			
TA1-TA...			
Q1-Q...			
QS1-QS...			
RV1-RV...			

Таблица 1.30.2 - Основное оборудование ЗРУ опорной подстанции

Условное буквенное обозначение оборудования	Наименование оборудования	Марки оборудования	Назначение оборудования
T3, T4			
TV3, TV4			
TA1-TA...			
Q1-Q...			
FU1, FU2			
RV3,RV4			

3. Указать алгоритм оперативных переключений при выводе в ремонт:

- главного понижающего трансформатора T1 (T2);
- трансформатора собственных нужд T3 (T4);

Контрольные вопросы.

1. Какие токоведущие части применяются в ОРУ и ЗРУ?
2. В чем преимущество ячеек выкатного типа перед сборными стационарными?
3. Почему на подстанции установлены два трансформатора собственных нужд?

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Однолинейная схема опорной трансформаторной подстанции на листе миллиметровой бумаги формата А 4.
3. Таблица с названием, марками и назначением оборудования ОРУ первичного напряжения.
4. Таблица с названием, марками и назначением оборудования ЗРУ вторичного напряжения.
5. Описание алгоритма оперативных переключений при выводе в ремонт оборудования.
6. Ответы на контрольные вопросы.
7. Вывод.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 32-33

Тема: Исследование схемы транзитной подстанции

Цель работы: научиться вычерчивать однолинейную схему транзитной трансформаторной подстанции по описанию подстанции, указывать марки и назначение основного оборудования распределительных устройств подстанции.

Краткие теоретические сведения

Главная схема электрических соединений трансформаторной подстанции – это чертеж, на котором условно графически показана совокупность основного оборудования и токоведущих частей со всеми выполненными между ними соединениями. На чертежах схемы изображаются в однолинейном виде при отключенных коммутационных аппаратах. При выборе схемы электроустановки учитываются положение, роль и значение подстанции в электрической системе, количество и категория потребителей, получающих электроснабжение от шин рассматриваемой подстанции.

Основными требованиями к схемам являются:

- надежность электроснабжения потребителей;
- приспособленность к проведению ремонтных работ;
- оперативная гибкость;
- экономическая целесообразность.

В схеме внешнего электроснабжения трансформаторные подстанции бывают опорными, транзитными, отпаечными, тупиковыми. **Транзитная подстанция** получает, преобразует, распределяет электрическую энергию по районным потребителям, а также обеспечивает транзит электроэнергии к другим подстанциям.

Исходные данные

Выполнить однолинейную схему транзитной подстанции № 2 (№ 4) (см. приложение 2), при условии, что подстанция имеет два распределительных устройства: 1) напряжением 110 кВ (или 220 кВ) открытого типа; 2) 10 кВ (или 35 кВ) закрытого типа. На вводах основными коммутационными аппаратами являются выключатели переменного тока. На подстанции установлены два понижающих двухобмоточных трансформатора. Шины распределительного устройства вторичного напряжения секционированы выключателем на две секции. Распределительное устройство вторичного напряжения выполнено ячейками выкатного типа. К каждой секции шин подключены трансформаторы собственных нужд, измерительные трансформаторы напряжения, районные потребители (количество районных потребителей и их категории задаются преподавателем).

Порядок выполнения работы

1. На листе миллиметровой бумаги формата А4 выполнить однолинейную схему транзитной подстанции в соответствии с требованиями ГОСТ. Образец однолинейной схемы распределительного устройства первичного напряжения 110 (220) кВ транзитной подстанции представлен в прил. 4. Образец однолинейной схемы распределительного устройства вторичного напряжения 10 (35) кВ представлен в приложении 4.

2. Указать марки и назначение оборудования распределительных устройств. Условное буквенное обозначение, марки оборудования и его назначение свести в таблицы 1.32.1 и 1.32.2.

Таблица 1.32.1 - Основное оборудование ОРУ транзитной подстанции

Условное буквенное обозначение оборудования	Наименование оборудования	Марки оборудования	Назначение оборудования
T1, T2			
TV1, TV2			
TA1, TA3			
Q1-Q3			
QS1-QS8			
RV1-RV2			

Таблица 1.32.2 - Основное оборудование ЗРУ транзитной подстанции

Условное буквенное обозначение оборудования	Наименование оборудования	Марки оборудования	Назначение оборудования
T3, T4			
TV3, TV4			
TA1-TA...			
Q1-Q...			
FU1, FU2			
RV3,RV4			

3. Указать алгоритм оперативных переключений при выводе в ремонт:

- главного понижающего трансформатора T1 (T2);
- трансформатора собственных нужд T3 (T4);
- выключателя Q1 в транзитной перемычке.

Контрольные вопросы.

1. Укажите отличительную особенность транзитной подстанции от подстанций другого типа.
2. Допускается ли разъединителем отключать электрическую цепь под нагрузкой?
3. С какой целью токоведущие части вторичного напряжения секционированы?
4. Как называются перемычки в ОРУ первичного напряжения?

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Однолинейная схема транзитной трансформаторной подстанции на листе миллиметровой бумаги формата А4.
3. Таблица с названием, марками и назначением оборудования ОРУ первичного напряжения.
4. Таблица с названием, марками и назначением оборудования ЗРУ вторичного напряжения.
5. Описание алгоритма оперативных переключений при выводе в ремонт оборудования.
6. Ответы на контрольные вопросы.
7. Вывод.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 34-35

Тема: Исследование схемы отпаечной подстанции

Цель работы: научиться вычерчивать однолинейную схему отпаечной трансформаторной подстанции по описанию подстанции, указывать марки и назначение основного оборудования распределительных устройств подстанции.

Краткие теоретические сведения

Главная схема электрических соединений трансформаторной подстанции – это чертеж, на котором условно графически показана совокупность основного оборудования и токоведущих частей со всеми выполненными между ними соединениями. На чертежах схемы изображаются в однолинейном виде при отключенных коммутационных аппаратах. При выборе схемы электроустановки учитываются положение, роль и значение подстанции в электрической системе, количество и категория потребителей, получающих электроснабжение от шин рассматриваемой подстанции.

Основными требованиями к схемам являются:

- надежность электроснабжения потребителей;
- приспособленность к проведению ремонтных работ;
- оперативная гибкость;
- экономическая целесообразность.

В схеме внешнего электроснабжения трансформаторные подстанции бывают опорными, транзитными, отпаечными, тупиковыми. **Отпаечная подстанция** получает, преобразует и распределяет электрическую энергию по районным потребителям.

Исходные данные

Выполнить однолинейную схему отпаечной подстанции № 3 (см. приложение 2), при условии, что подстанция имеет два распределительных устройства: 1) напряжением 110 кВ (или 220 кВ) открытого типа; 2) 10 кВ (или 35 кВ) закрытого типа. На вводах основными коммутационными аппаратами являются выключатели переменного тока. На подстанции установлены два понижающих трехобмоточных трансформатора. Шины распределительных устройств вторичного напряжения секционированы выключателями на две секции. Распределительные устройства вторичного напряжения выполнены ячейками выкатного типа. К каждой секции шин подключены измерительные трансформаторы напряжения, районные потребители (количество районных потребителей и их категории задаются преподавателем). Трансформаторы собственных нужд установлены в ЗРУ-10 кВ.

Порядок выполнения работы

1. На листе миллиметровой бумаги формата А4 выполнить однолинейную схему отпаечной подстанции в соответствии с требованиями ГОСТ. Образец однолинейной схемы распределительного устройства первичного напряжения 110 (220) кВ отпаечной подстанции представлен в приложении 6. Образец однолинейной схемы распределительных устройств вторичного напряжения 10 и 35 кВ представлен в приложении 4.

2. Указать марки и назначение оборудования распределительных устройств. Условное буквенное обозначение, марки оборудования и его назначение свести в таблицы 1.34.1, 1.34.2 и 1.34.3.

Таблица 1.34.1 - Основное оборудование ОРУ отпаечной подстанции

Условное буквенное обозначение оборудования	Наименование оборудования	Марки оборудования	Назначение оборудования
T1, T2			
TV1, TV2			
TA1, TA2			
Q1-Q2			
QS1-QS6			
RV1-RV2			

Таблица 1.34.2 - Основное оборудование ЗРУ -10 кВ отпаечной подстанции

Условное буквенное обозначение оборудования	Наименование оборудования	Марки оборудования	Назначение оборудования
T3, T4			
TV3, TV4			
T1-TA...			
Q1-Q...			
FU1, FU2			
RV3,RV4			

Таблица 1.34.3- Основное оборудование ЗРУ -35 кВ отпаечной подстанции

Условное буквенное обозначение оборудования	Наименование оборудования	Марки оборудования	Назначение оборудования
TV5, TV6			
TA...-TA...			
Q...-Q...			
FU3, FU4			
RV5,RV6			

3. Указать алгоритм оперативных переключений при выводе в ремонт:

- главного понижающего трансформатора T1 (Т);
- трансформатора собственных нужд T3 (Т4);
- выключателя Q1 на вводе 1 (2) первичного напряжения.

Контрольные вопросы.

1. Укажите отличительную особенность отпаечной подстанции от подстанций другого типа.
2. Почему на фидерах районных потребителей трансформаторы тока установлены только в фазах А и С, а на вводах в подстанцию во всех фазах?
3. На что указывают пунктирные линии в условном графическом обозначении разъединителей?

Содержание отчета

1. Название и цель работы.

2. Однолинейная схема отпаечной трансформаторной подстанции на листе миллиметровой бумаги формата А4.

3. Таблица с названием, марками и назначением оборудования ОРУ первичного напряжения.

4. Таблица с названием, марками и назначением оборудования ЗРУ-10 кВ.

5. Таблица с названием, марками и назначением оборудования ЗРУ-35 кВ.

6. Описание алгоритма оперативных переключений при выводе в ремонт оборудования.

7. Ответы на контрольные вопросы.

8. Вывод.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 36-37

Тема: Исследование схемы тупиковой подстанции

Цель работы: научиться вычерчивать однолинейную схему тупиковой трансформаторной подстанции по описанию подстанции, указывать марки и назначение основного оборудования распределительных устройств подстанции.

Краткие теоретические сведения

Главная схема электрических соединений трансформаторной подстанции – это чертеж, на котором условно графически показана совокупность основного оборудования и токоведущих частей со всеми выполненными между ними соединениями. На чертежах схемы изображаются в однолинейном виде при отключенных коммутационных аппаратах. При выборе схемы электроустановки учитываются положение, роль и значение подстанции в электрической системе, количество и категория потребителей, получающих электроснабжение от шин рассматриваемой подстанции.

Основными требованиями к схемам являются:

- надежность электроснабжения потребителей;
- приспособленность к проведению ремонтных работ;
- оперативная гибкость;
- экономическая целесообразность.

В схеме внешнего электроснабжения трансформаторные подстанции бывают опорными, транзитными, отпаечными, тупиковыми. **Тупиковая подстанция** получает, преобразует и распределяет электрическую энергию по районным потребителям.

Исходные данные

Выполнить однолинейную схему тупиковая подстанции № 6 (см. приложение 2), при условии, что подстанция имеет два распределительных устройства: 1) напряжением 110 кВ (или 220 кВ) открытого типа; 2) 10 кВ (или 35 кВ) закрытого типа. На вводах основными коммутационными аппаратами являются выключатели переменного тока. На подстанции установлены два понижающих двухобмоточных трансформатора. Шины распределительного устройства вторичного напряжения секционированы выключателем на две секции. Распределительное устройство вторичного напряжения выполнено ячейками выкатного типа. К каждой секции шин подключены измерительные трансформаторы напряжения, районные потребители (количество районных потребителей и их категории задаются преподавателем), трансформаторы собственных нужд.

Порядок выполнения работы

1. На листе миллиметровой бумаги формата А4 выполнить однолинейную схему тупиковой подстанции в соответствии с требованиями ГОСТ. Образец однолинейной схемы распределительного устройства первичного напряжения 110 (220) кВ тупиковой подстанции представлен в приложении 6. Образец однолинейной схемы распределительного устройства вторичного напряжения 10 (35) кВ представлен в приложении 4.

2. Указать марки и назначение оборудования распределительных устройств. Условное буквенное обозначение, марки оборудования и его назначение свести в таблицах 1.36.1 и 1.36.2.

Таблица 1.36.1 - Основное оборудование ОРУ тупиковой подстанции

Условное буквенное обозначение оборудования	Наименование оборудования	Марки оборудования	Назначение оборудования
T1, T2			
TV1, TV2			
TA1, TA2			
Q1-Q2			
QS1-QS6			
RV1-RV2			

Таблица 1.36.2 - Основное оборудование ЗРУ -10 кВ тупиковой подстанции

Условное буквенное обозначение оборудования	Наименование оборудования	Марки оборудования	Назначение оборудования
T3, T4			
TV3, TV4			
T1-TA...			
Q1-Q...			
FU1, FU2			
RV3,RV4			

3. Указать алгоритм оперативных переключений при выводе в ремонт:

- главного понижающего трансформатора T1 (T2);
- трансформатора собственных нужд T3 (T4);
- выключателя Q1 на вводе 1 (2) первичного напряжения.

Контрольные вопросы.

1. Укажите отличительную особенность тупиковой подстанции от подстанций другого типа.
2. Какие потребители получают питание от трансформаторов T3 и T4?
3. Назовите достоинства и недостатки открытых распределительных устройств.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Однолинейная схема тупиковой трансформаторной подстанции на листе миллиметровой бумаги формата А4.
3. Таблица с названием, марками и назначением оборудования ОРУ первичного напряжения.
4. Таблица с названием, марками и назначением оборудования вторичного напряжения.
5. Описание алгоритма оперативных переключений при выводе в ремонт оборудования.
6. Ответы на контрольные вопросы.
7. Вывод.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 38-39

Тема: Исследование схемы электрической подстанции 10/0,4 кВ

Цель работы: научиться вычерчивать однолинейную схему трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ по описанию подстанции, указывать марки и назначение основного оборудования распределительных устройств подстанции.

Краткие теоретические сведения

Главная схема электрических соединений трансформаторной подстанции – это чертеж, на котором условно графически показана совокупность основного оборудования и токоведущих частей со всеми выполненными между ними соединениями. На чертежах схемы изображаются в однолинейном виде при отключенных коммутационных аппаратах. При выборе схемы электроустановки учитываются положение, роль и значение подстанции в электрической системе, количество и категория потребителей, получающих электроснабжение от шин рассматриваемой подстанции.

Основными требованиями к схемам являются:

- надежность электроснабжения потребителей;
- приспособленность к проведению ремонтных работ;
- оперативная гибкость;
- экономическая целесообразность.

Исходные данные

Выполнить однолинейную схему трансформаторной подстанции ТП-10/0.4кВ при условии, что подстанция получает электроснабжение по двум кабельным вводам напряжением 10 кВ, имеет два распределительных устройства закрытого типа напряжением 10 и 0,4 кВ. В ру-10 кВ основными

коммутационными аппаратами являются выключатели нагрузки ВМП-16, в РУ-0,4 кВ – автоматические воздушные выключатели и рубильники. На подстанции установлены два понижающих двухобмоточных трансформатора. Шины распределительного устройства вторичного напряжения секционированы автоматическим воздушным выключателем и рубильниками на две секции. К каждой секции шин через рубильники подключены потребители электрической энергии. Их количество задается преподавателем.

Порядок выполнения работы

1. На листе миллиметровой бумаги формата А4 выполнить однолинейную схему трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ в соответствии с требованиями ГОСТ. Образец однолинейной схемы трансформаторной подстанции представлен в приложении 7. Указать марки и назначение оборудования распределительных устройств. Условное буквенное обозначение, марки оборудования и его назначение свести в таблицы 1.38.1 и 1.38.2.

Таблица 1.38.1 - Основное оборудование РУ-10 кВ подстанции

Условное буквенное обозначение оборудования	Наименование оборудования	Марки оборудования	Назначение оборудования
T1, T2			
TV1, TV2			
TA1, TA2			
QW1-QW...			
FU1-FU...			
RV1-RV2			
QS1-QS...			

Таблица 1.38.2 - Основное оборудование РУ -0,4 кВ подстанции

Условное буквенное обозначение оборудования	Наименование оборудования	Марки оборудования	Назначение оборудования
SF1-SF...			
S1-S...			
TA1-TA...			
FU... -FU...			
RV3-RV4			

2. Указать алгоритм оперативных переключений при выводе в ремонт:
- главного понижающего трансформатора Т1 (Т2);

Контрольные вопросы.

1. Назовите режим работы нейтрали в распределительном устройстве напряжением 0,4 кВ.
2. Какие приборы подключают к трансформаторам тока РУ-0,4 кВ?
3. Назовите конструктивное отличие выключателей нагрузки от разъединителей.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Однолинейная схема трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ на листе миллиметровой бумаги формата А4.
3. Таблица с названием, марками и назначением оборудования ЗРУ-10 кВ.
4. Таблица с названием, марками и назначением оборудования ЗРУ-0,4 кВ.
5. Описание алгоритма оперативных переключений при выводе в ремонт главного трансформатора Т1 (или Т2).
6. Ответы на контрольные вопросы.
7. Вывод.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 40-41

Тема: Расчет полной мощности трансформаторной подстанции

Цель работы: научиться рассчитывать мощность понижающей трансформаторной подстанции и производить выбор силовых трансформаторов.

Краткие теоретические сведения

Расчет мощности трансформаторной понижающей подстанции производится с целью выбора количества и мощности силовых трансформаторов – главного понижающего и трансформатора собственных нужд. При расчете полной мощности подстанции учитываются установленные мощности, коэффициенты мощности и спроса районных потребителей, которые получают электроэнергию от проектируемой подстанции, категории районных потребителей, напряжения в ЛЭП этих потребителей и типовые суточные графики активной мощности каждого потребителя. Расчет мощности произвести для подстанции, от шин вторичного напряжения которой питаются три районных потребителя 1 и 2 категорий. Трансформаторы мощностью до 1000 кВА желательно выбирать сухие, т. к. маслонаполненные являются взрыво- и пожароопасными.

Исходные данные

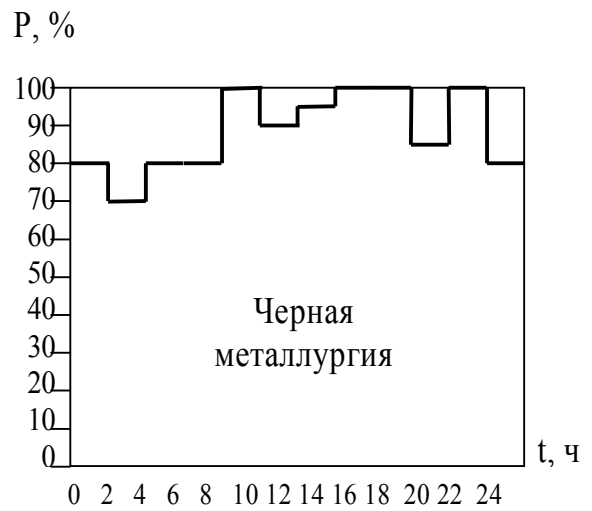
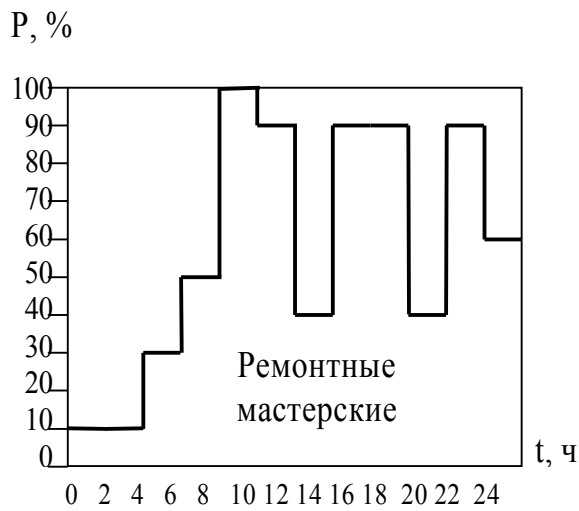
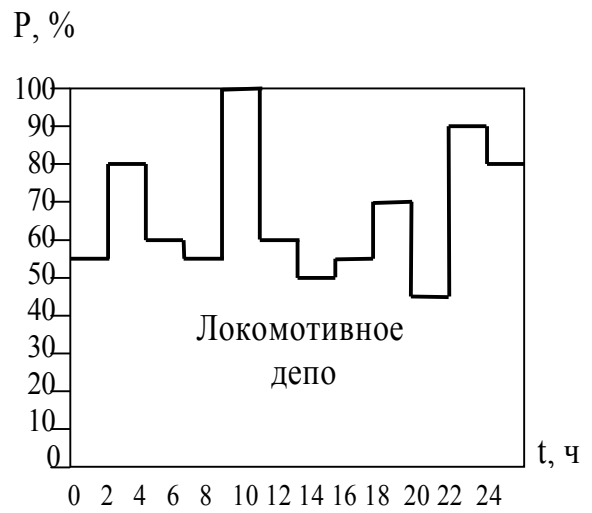
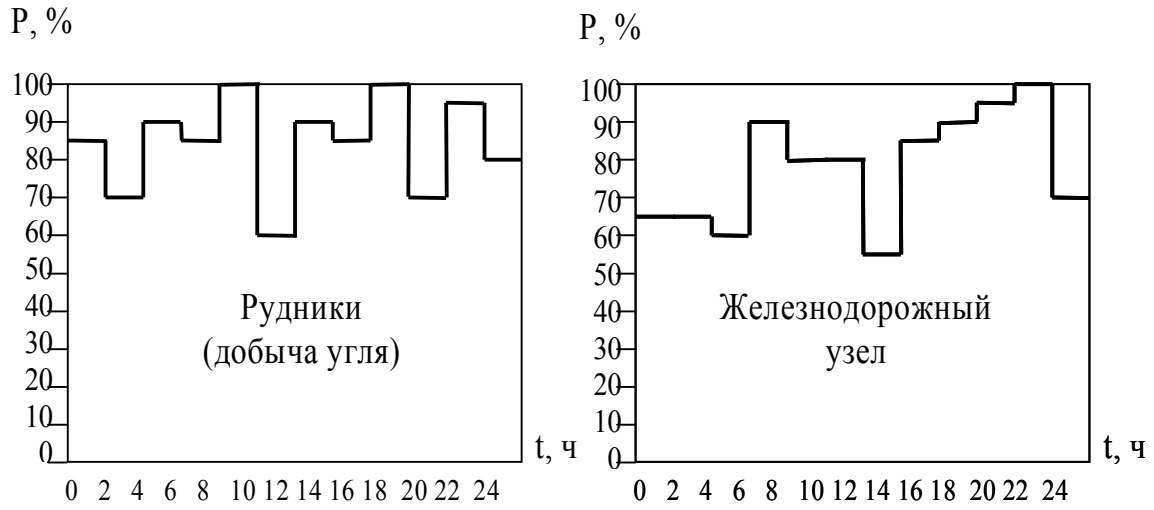
Таблица 1.40.1 - Характеристики потребителей

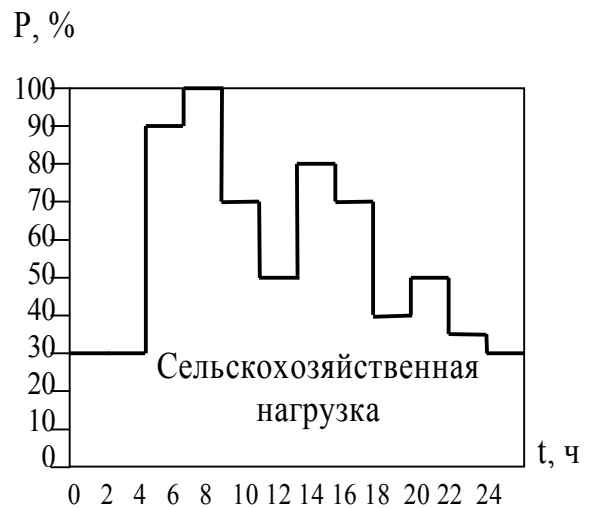
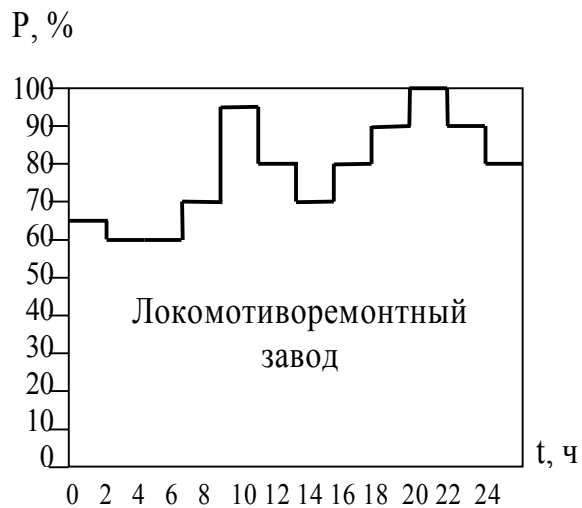
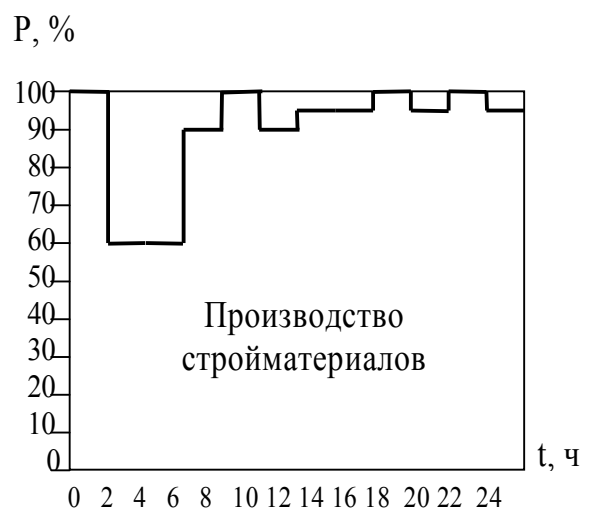
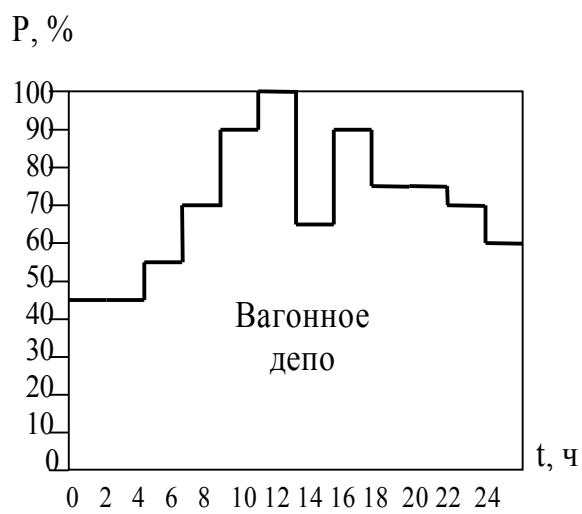
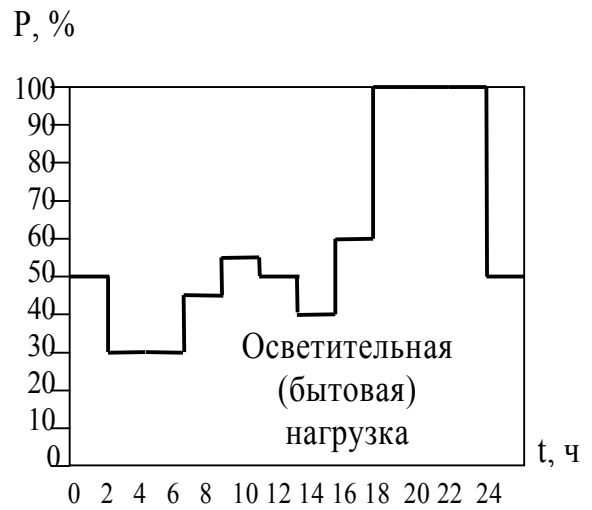
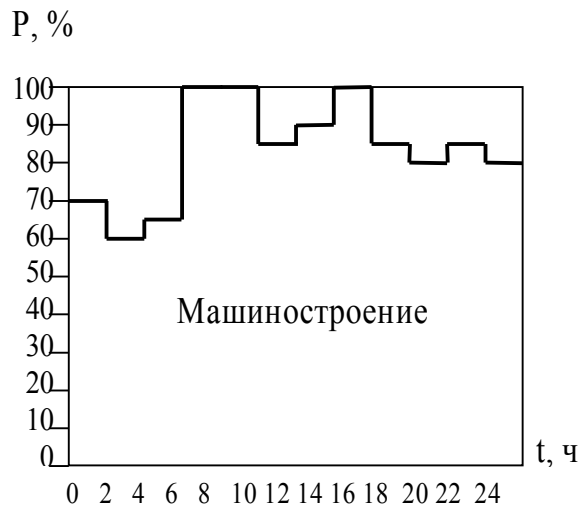
№	Наименование потребителя	Установленная мощность потребителя Р _{уст.} , кВт	Коэффициент спроса K _с	Коэффициент мощности, cosφ	Напряжение в ЛЭП потребителя, кВ
1					
2					
3					

Типовые суточные графики нагрузок потребителей (см. рисунок 1.40.1) задает преподаватель.

$U_{н1}$ – первичное напряжение трансформатора, кВ;

$U_{н2}$ – вторичное напряжение трансформатора, кВ.





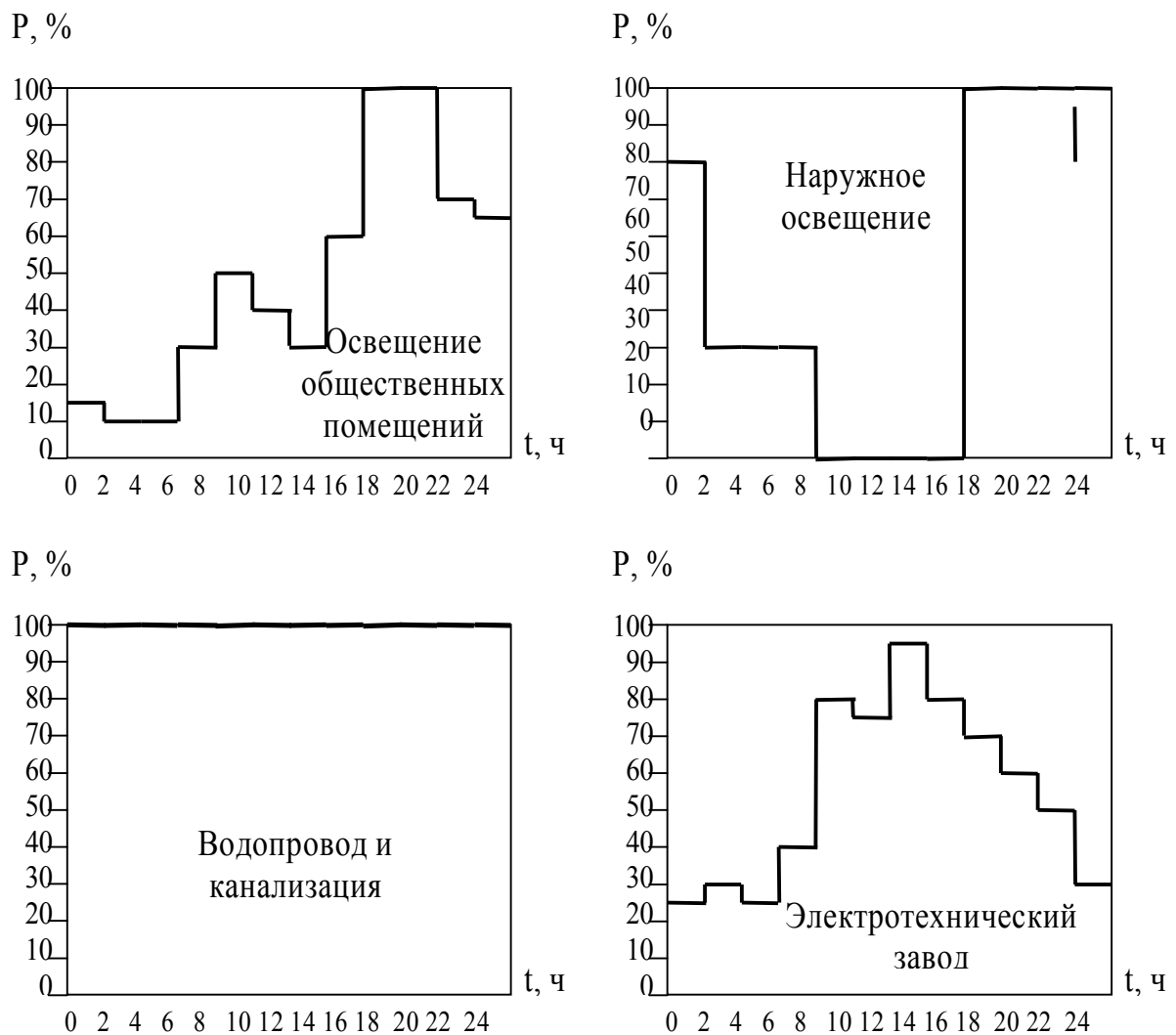


Рисунок. 1.40.1. Типовые суточные графики нагрузок потребителей

Порядок выполнения работы

1. Расчет максимальной активной мощности районных потребителей:

$$P_{\text{макс}} = K_c \cdot P_{\text{уст}} , \quad (40.1)$$

где, $P_{\text{уст}}$ – установленная мощность районного потребителя, кВт;

K_c – коэффициент спроса.

$$P_{\text{макс1}} = K_{c1} \cdot P_{\text{уст1}}$$

$$P_{\text{макс2}} = K_{c2} \cdot P_{\text{уст2}}$$

$$P_{\text{макс3}} = K_{c3} \cdot P_{\text{уст3}}$$

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

2. Определение активной нагрузки потребителей для каждого часа суток. Используя типовые графики нагрузок заполнить таблицу 1.40.2. Мощность потребителя, выраженная в процентах, записывается в графу «РП-..., %» для каждых двух часов с графика нагрузки потребителя. Мощность потребителя, выраженная в кВт, записывается в графу «РП-..., кВт». Процент берется от $P_{\text{макс}}$ соответствующего потребителя.

Таблица 1.40.2 - Активные суточные нагрузки потребителей

Время	РП-1, %	РП-1, кВт	РП-2, %	РП-2, кВт	РП-3, %	РП-3, кВт	$\Sigma P^*_{\text{макс}}$
0-2							
2-4							
4-6							
6-8							
8-10							
10-12							
12-14							
14-16							
16-18							
18-20							
20-22							
22-24							

В таблице 1.40.2 выделить строку с максимальным значением $\Sigma P^*_{\text{макс}}$

3. По результатам расчетов, занесенных в таблицу 1.40.2, в одной координатной системе и одном масштабе построить суточные графики активной мощности потребителей и суммарный график потребления активной мощности.

4. Расчет максимальной реактивной мощности районных потребителей:

$$Q_{\text{макс}} = \text{tg}\varphi \cdot P_{\text{макс}}, \quad (40.2)$$

где $P_{\text{уст}}$ – максимальная мощность районного потребителя, кВт;

$\text{tg}\varphi$ – тангенс угла, определяется по заданному коэффициенту мощности

$$\text{tg}\varphi = \frac{\sqrt{\cos^2 \varphi - 1}}{\cos \varphi}.$$

$$Q_{\text{макс}} = \text{tg}\varphi_1 \cdot P_{\text{макс}1}$$

$$Q_{\max 2} = \operatorname{tg} \varphi_2 \cdot P_{\max 2}$$

$$Q_{\max 3} = \operatorname{tg} \varphi_3 \cdot P_{\max 3}$$

$$\Sigma Q_{\max} = Q_{\max 1} + Q_{\max 2} + Q_{\max 3}$$

5. Расчет полной мощности районных потребителей:

$$S_{\text{рп}} = K_{\text{рм}} \cdot \left(1 + \frac{P_{\text{пост}} - P_{\text{пер}}}{100}\right) \cdot \sqrt{\Sigma P_{\max}^2 + \Sigma Q_{\max}^2}, \quad (40.3)$$

где $P_{\text{пост}}$ – постоянные потери в стали трансформатора, $P_{\text{пост}} = 1 - 2\%$ (в расчет $P_{\text{пост}} = 2\%$);

$P_{\text{пер}}$ – переменные потери в меди трансформатора, $P_{\text{пер}} = 6 - 10\%$ (в расчет $P_{\text{пер}} = 8\%$);

ΣP_{\max} – максимальная суммарная активная мощность районных потребителей, кВт;

ΣQ_{\max} – максимальная суммарная реактивная мощность районных потребителей, кВт;

$K_{\text{рм}}$ – коэффициент одновременного наступления максимумов нагрузок

$$K_{\text{рм}} = \frac{\Sigma P_{\max}^*}{\Sigma P_{\max}} \quad (40.4)$$

6. Расчет полной мощности трансформаторной подстанции:

$$S_{n/cm} = S_{\text{рп}} + S_{\text{сн}}, \quad (40.5)$$

где $S_{\text{сн}}$ – мощность собственных нужд подстанции, кВА.

Мощность собственных нужд подстанции составляет 0,5 - 0,8% от мощности районных потребителей

$$S_{\text{сн}} = \frac{\dots}{100} \cdot S_{\text{рп}}, \quad (40.6)$$

7. Выбор главного понижающего трансформатора.

Условие выбора:

$$S_{\text{н.тр}} \leq \frac{S_{n/cm}}{K_{ав} \cdot (n-1)}, \quad (40.7)$$

где $K_{ав}$ – коэффициент перегрузки трансформатора в аварийном режиме, $K_{ав} = 1,4$;

n – число трансформаторов, $n = 2$.

К установке принимается главный понижающий трансформатор (указывается марка трансформатора).

$$S_{н.тр} = \quad \text{кВА} > S_{расч.п/ст} = \quad \text{кВА}$$

Электрические характеристики главных понижающих трансформаторов приведены в таблицах 1.40.3 и 1.40.4.

Таблица 1.40.3 - Электрические характеристики силовых маслонаполненных трансформаторов с первичным напряжением 35 кВ

Марка трансформатора	Номинальная мощность трансформатора $S_{н.тр.}$, кВА	Номинальное напряжение первичной обмотки $U_{н1}$, кВ	Номинальное напряжение вторичной обмотки $U_{н2}$, кВ	Напряжение короткого замыкания u_k , %	Схема и группа соединения обмоток
ТМ-1000/35	1000	35	10,5	6,5	Y/Δ-11
ТМН-1000/35	1000	35	10,5	6,5	Y/Δ-11
ТМ-1600/35	1600	35	10,5	6,5	Y/Δ-11
ТМН-1600/35	1600	35	10,5	6,5	Y/Δ-11
ТМ-2500/35	2500	35	10,5	6,5	Y/Δ-11
ТМН-2500/35	2500	35	10,5	6,5	Y/Δ-11
ТМ-4000/35	4000	35	10,5	7,5	Y/Δ-11
ТМН-4000/35	4000	35	10,5	7,5	Y/Δ-11
ТМ-6300/35	6300	35	10,5	7,5	Y/Δ-11
ТМН-6300/35	6300	35	10,5	7,5	Y/Δ-11
ТД-10000/35	10000	35	10,5	7,5	Y/Δ-11
ТМ-16000/35	16000	35	10,5	8,0	Y/Δ-11

Таблица 1.40.4 - Электрические характеристики силовых маслонаполненных трансформаторов с первичным напряжением 110 кВ

Марка трансформатора	Номинальная мощность трансформатора $S_{н.тр.}$, кВА	Номинальное напряжение первичной обмотки $U_{н1}$, кВ	Номинальное напряжение вторичной обмотки $U_{н2}$, кВ	Напряжение короткого замыкания u_k , %	Схема и группа соединения обмоток
ТМН-6300/110	6300	115	11	10,5	Y*/Δ-11
ТМН-6300/110	6300	115	38,5	10,5	Y*/Δ-11
ТДН-10000/110	10000	115	11	10,5	Y*/Δ-11
ТМН-10000/110	10000	115	11	10,5	Y*/Δ-11
ТМН-25000/110	25000	115	38,5	10,5	Y*/Δ-11
ТДН-16000/110	16000	115	11	10,5	Y*/Δ-11
ТДН-16000/110	16000	115	38,5	10,5	Y*/Δ-11
ТДН-25000/110	25000	115	38,5	10,5	Y*/Δ-11
ТДН-31500/110	31500	115	11	10,5	Y*/Δ-11
ТДН-40000/110	40000	115	38,5	10,5	Y*/Δ-11
ТДН-63000/110	63000	115	38,5	10,5	Y*/Δ-11

8. Выбор трансформатора собственных нужд.

Условие выбора:

$$S_{н.тсн} \leq S_{сн} , \quad (40.8)$$

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

$S_{сн}$ – расчетная мощность собственных нужд подстанции, кВА.

К установке принимается трансформатор собственных нужд (указывается марка трансформатора).

Электрические характеристики трансформаторов собственных нужд приведены в таблицах 1.40.5 и 1.40.6.

Таблица 1.40.5 - Электрические характеристики силовых маслонаполненных трансформаторов с первичным напряжением 35, 10 кВ

Марка трансформатора	Номинальная мощность трансформатора $S_{н.тр}$, кВА	Номинальное напряжение первичной обмотки $U_{н1}$ кВ	Номинальное напряжение вторичной обмотки $U_{н2}$, кВ	Напряжение короткого замыкания u_k , %	Схема и группа соединения обмоток
ТМГ-63/10	63	10	0,4	4	Y/Y [*] -0
ТМГ-63/35	63	35	0,4	4,5	Y/Y [*] -0
ТМГ-100/10	100	10	0,4	4	Y/Y [*] -0
ТМГ-100/35	100	35	0,4	4,5	Y/Y [*] -0
ТМГ-160/10	160	10	0,4	4	Y/Y [*] -0
ТМГ-160/35	160	35	0,4	4,5	Y/Y [*] -0
ТМГ-250/10	250	10	0,4	4	Y/Y [*] -0
ТМГ-250/35	250	35	0,4	4,5	Y/Y [*] -0
ТМГ-400/10	400	10	0,4	4	Y/Y [*] -0
ТМГ-400/35	400	35	0,4	4,5	Y/Y [*] -0

Таблица 1.40.6 - Электрические характеристики силовых сухих трансформаторов с первичным напряжением 10 кВ

Марка трансформатора	Номинальная мощность трансформатора $S_{н.тр.}$, кВА	Номинальное напряжение первичной обмотки $U_{н1}$, кВ	Номинальное напряжение вторичной обмотки $U_{н2}$, кВ	Напряжение короткого замыкания u_k , %	Схема и группа соединения обмоток
ТС-63/10	63	10	0,4	4	Y/Y [*] -0
ТСЗ-63/10	63	10	0,4	4	Y/Y [*] -0
ТС-100/10	100	10	0,4	4	Y/Y [*] -0
ТСЗ-100/10	100	10	0,4	4	Y/Y [*] -0
ТС-160/10	160	10	0,4	4	Y/Y [*] -0
ТСЗ-160/10	160	10	0,4	4	Y/Y [*] -0
ТС-250/10	250	10	0,4	4	Y/Y [*] -0
ТСЗ-250/10	250	10	0,4	4	Y/Y [*] -0
ТС-400/10	400	10	0,4	4	Y/Y [*] -0
ТСЗ-400/10	400	10	0,4	4	Y/Y [*] -0

Контрольные вопросы.

1. Что учитывает коэффициент спроса?
2. Назовите виды графиков нагрузок потребителей.
3. С какой целью производят расчет мощности трансформаторной подстанции?

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Таблица с характеристиками районных потребителей.
3. Расчеты активной, реактивной и полной мощности районных потребителей, мощности собственных нужд подстанции, полной мощности подстанции.
4. Суточные графики активной мощности потребителей и суммарный график потребления активной мощности.
5. Выбор главного понижающего трансформатора и трансформатора собственных нужд.
6. Ответы на контрольные вопросы.
7. Вывод.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 42-43

Тема: Расчет рабочих токов основных присоединений распределительных устройств

Цель работы: научиться рассчитывать рабочие токи основных присоединений открытых и закрытых распределительных устройств трансформаторных понижающих подстанций.

Краткие теоретические сведения

Основными присоединениями трансформаторных подстанций являются вводы первичного и вторичного напряжений, транзитная и ремонтная переемычки, сборные шины вторичного напряжения, вводы в трансформаторы собственных нужд, отходящие линии районных потребителей. Максимальные рабочие токи этих присоединений необходимы для того, чтобы выбрать токоведущие части, коммутационную аппаратуру, измерительные трансформаторы тока. На величину рабочих токов влияет местоположение подстанции в схеме внешнего электроснабжения, а также мощности главных понижающих трансформаторов, установленных на подстанции, напряжения распределительных устройств. Схему внешнего электроснабжения подстанций можно использовать из практических занятий темы 1.2. Расчет рабочих токов выполняется с учетом перспективного развития подстанции и возможных аварийных перегрузок.

Исходные данные

1. Схема внешнего электроснабжения подстанций;
2. $S_{н.тр}$ – номинальная мощность главного понижающего трансформатора, кВА;
3. $S_{н.тсн}$ – номинальная мощность трансформатора собственных нужд, кВА;

4. $U_{н1}$ – номинальное напряжение первичной обмотки главного понижающего трансформатора, кВ;

5. $U_{н2}$ – номинальное напряжение вторичной обмотки главного понижающего трансформатора, кВ;

6. P_{max} – максимальная активная мощность районного потребителя, кВт;

7. $\cos\varphi$ – коэффициент мощности районного потребителя.

Количество потребителей, их активные мощности и коэффициенты мощности задаются преподавателем.

Порядок выполнения работы

1. Выполнить расчетную схему для определения рабочих токов (пример расчетной схемы для транзитной подстанции приведен на рисунке 1.42.1).

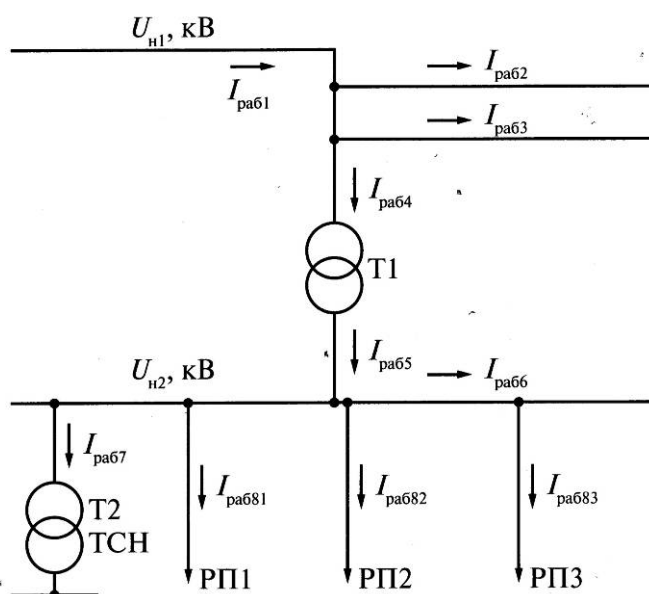


Рисунок 1.42.1. Расчетная схема для определения рабочих токов

Пример расчетной схемы для тупиковой (отпаечной) подстанции приведен на рисунке 1.42.2.

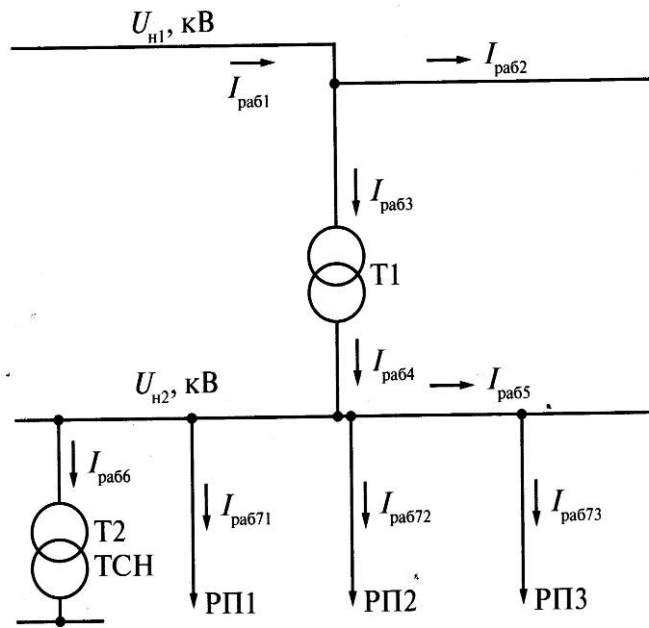


Рисунок 1.42.2. Расчетная схема для определения рабочих токов

2. Расчет рабочих токов.

2.1. Расчет полной мощности опорной (транзитной) трансформаторной подстанции:

$$S_{mn} = (n_{тр} \cdot S_{н.тр} + \sum S_{транз}) \cdot K_p, \quad (42.1)$$

где $S_{н.тр}$ – номинальная мощность главного понижающего трансформатора, кВА;

$\sum S_{транз}$ – сумма мощностей подстанций, питающихся через шины рассматриваемой подстанции, кВА (количество подстанций, питающихся транзитом от проектируемой, определяется по схеме внешнего электроснабжения. Число этих подстанций необходимо умножить на номинальную мощность главного понижающего трансформатора. Таким образом определяется сумма мощностей $\sum S_{транз}$);

$n_{тр}$ – число главных понижающих трансформаторов, установленных на подстанции (как правило, на подстанции устанавливают два трансформатора, т. е. в расчет принять $n_{тр}=2$);

K_p – коэффициент одновременности максимальных нагрузок, $K_p = 0,75$.

2.2. Расчет рабочих токов на вводах транзитной (опорной) подстанции:

$$I_{\text{раб1}} = \frac{K_{\text{нр}} \cdot S_{\text{мн}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н1}}}, \quad (42.2)$$

где $S_{\text{мн}}$ – полная мощность подстанции, кВА;

$U_{\text{н1}}$ – номинальное напряжение первичной обмотки главного понижающего трансформатора, кВ;

$K_{\text{нр}}$ – коэффициент перспективного развития подстанции, $K_{\text{нр}}=1,3$.

2.3. Расчет рабочего тока транзитной и ремонтной перемычек:

$$I_{\text{раб2}} = I_{\text{тр}} = I_{\text{рем}} = \frac{K_{\text{нр}} \cdot K_{\text{рн}} \cdot S_{\text{мн}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н1}}}, \quad (42.3)$$

где $K_{\text{рн}}$ – коэффициент распределения нагрузки, $K_{\text{рн}}=0,7$.

Расчет рабочих токов на вводах тупиковой (отпаечной) подстанции:

$$I_{\text{раб1}} = \frac{K_{\text{ав}} \cdot \Sigma S_{\text{н.мп}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н1}}}, \quad (42.4)$$

где $\Sigma S_{\text{н.мп}}$ – суммарная мощность главных понижающих трансформаторов проектируемой подстанции, кВА ($\Sigma S_{\text{н.мп}}=2 \cdot S_{\text{н.мп}}$);

$S_{\text{н.мп}}$ – номинальная мощность главного понижающего трансформатора, кВА;

$U_{\text{н1}}$ – номинальное напряжение первичной обмотки главного понижающего трансформатора, кВ;

$K_{\text{ав}}$ – коэффициент аварийной перегрузки трансформатора, $K_{\text{ав}}=1,4$.

2.2. Расчет полной мощности подстанции:

$$S_{\text{мн}} = n_{\text{тр}} \cdot S_{\text{н.мп}}, \quad (42.5)$$

где $n_{\text{тр}}$ – число главных понижающих трансформаторов, $n_{\text{тр}}=2$.

2.3. Расчет рабочего тока ремонтной перемычки:

$$I_{\text{раб2}} = I_{\text{рем}} = \frac{K_{\text{нр}} \cdot K_{\text{рн}} \cdot S_{\text{мн}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н1}}}, \quad (42.6)$$

где $K_{\text{рн}}$ – коэффициент распределения нагрузки, $K_{\text{рн}}=0,7$.

2.4. Расчет рабочего тока первичной обмотки главного понижающего трансформатора:

$$I_{\text{раб3}} = \frac{K_{ав} \cdot S_{н.мп}}{\sqrt{3} \cdot U_{н1}}, \quad (42.7)$$

где $K_{ав}$ – коэффициент аварийной перегрузки трансформатора, $K_{ав} = 1,4$.

2.5. Расчет рабочего тока на вводе в распределительное устройство вторичного напряжения:

$$I_{\text{раб4}} = \frac{K_{ав} \cdot S_{н.мп}}{\sqrt{3} \cdot U_{н2}}, \quad (42.8)$$

где $U_{н2}$ – номинальное напряжение вторичной обмотки главного понижающего трансформатора, кВ.

2.6. Расчет рабочего тока на сборных шинах распределительного устройства вторичного напряжения:

$$I_{\text{раб5}} = \frac{K_{рн} \cdot \Sigma S_{н.мп}}{\sqrt{3} \cdot U_{н2}}, \quad (42.9)$$

где $\Sigma S_{н.мп}$ – суммарная мощность главных понижающих трансформаторов проектируемой подстанции, кВА ($\Sigma S_{н.мп} = 2 \cdot S_{н.мп}$);

$K_{рн}$ – коэффициент распределения нагрузки на шинах, равный:

$K_{рн} = 0,5$ при пяти и более присоединениях к шинам;

$K_{рн} = 0,7$ при менее пяти присоединений к шинам.

2.7. Расчет рабочего тока на вводе в трансформатор собственных нужд:

$$I_{\text{раб6}} = \frac{K_{ав} \cdot S_{н.тсн}}{\sqrt{3} \cdot U_{н1.тсн}}, \quad (42.10)$$

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

$U_{н1.тсн}$ – номинальное напряжение первичной обмотки трансформатора собственных нужд, кВ.

2.8. Расчет рабочих токов питающих линий районных потребителей:

$$I_{\text{раб7}} = \frac{K_{пр} \cdot P_{\text{max}}}{\sqrt{3} \cdot U_{н2} \cdot \cos \varphi}, \quad (42.11)$$

где P_{max} – максимальная активная мощность районного потребителя, кВт;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности потребителя.

Контрольные вопросы.

1. С какой целью проводят расчет рабочих токов основных присоединений подстанции?
2. Какие параметры влияют на величину рабочих токов?
3. Какой ток называют номинальным? Сравните его с рабочим током и током короткого замыкания.
4. Назовите условие выбора токоведущих частей распределительных устройств трансформаторной подстанции.
5. С какой целью при расчете рабочих токов учитывают коэффициент перспективного развития подстанции?
6. Напишите формулу для расчета рабочего тока вторичной обмотки трансформатора собственных нужд.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Расчетная схема для определения рабочих токов.
3. Расчеты рабочих токов основных присоединений опорной (транзитной) тупиковой (отпаечной) подстанции.
4. Ответы на контрольные вопросы.
5. Вывод.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 44

Тема: Изучение конструкции аккумулятора

Цель работы: практически изучить конструкцию свинцово-кислотного аккумулятора, его номинальные параметры.

Оборудование и приборы:

свинцово-кислотный аккумулятор, измерительные инструменты (линейка, рулетка).

Краткие теоретические сведения

Аккумуляторная батарея комплектуется из свинцово-кислотных аккумуляторов. Аккумулятор является накопителем электрической энергии. *Аккумулятор* представляет собой электрохимический аппарат, в котором электрическая энергия накапливается в определенный запас химической энергии, затем химическая энергия преобразуется в электрическую. Свинцово-кислотный аккумулятор состоит из положительных и отрицательных пластин, помещенных в сосуд с электролитом. Отрицательных пластин в аккумуляторе на одну больше положительных. В качестве электролита применяется водный раствор серной кислоты. Для изучения конструкции и параметров аккумулятора следует использовать аккумуляторы, наиболее широко применяемые на электрических подстанциях. Такими аккумуляторами могут быть как отечественные, так и импортные.

Порядок выполнения работы

1. Записать полную маркировку изучаемого аккумулятора и привести ее расшифровку.

2. Изучить номинальные параметры аккумулятора, записать их в таблицу 1.44.1.

Таблица 1.44.1 - Номинальные параметры аккумулятора

Наименование параметра	Значение параметра
Номинальная емкость аккумулятора, А·ч	
Номинальное напряжение аккумулятора, В	
Плотность электролита, г/см ³	
Количество пар полюсов	
Масса аккумулятора, кг	
Максимальная длина, мм	
Максимальная ширина, мм	
Максимальная высота, мм	

Примечание: максимальные - длина, ширина, высота аккумулятора измеряются.

3. Изучить конструкцию аккумулятора, используя рисунок 1.44.1.

Указать название основных узлов аккумулятора:

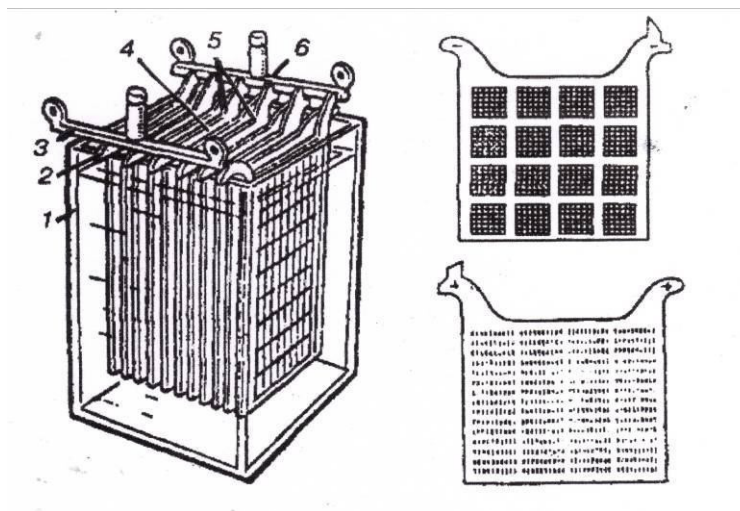


Рисунок 1.44.1. Конструкция аккумулятора

4. Изучить материалы основных элементов аккумулятора. Названия элементов аккумулятора записать в таблицу 1.44.2.

Таблица 1.44.2 - Материал основных элементов аккумулятора

Наименование элемента	Материал элемента
Положительная пластина	
Отрицательная пластина	
Сепаратор	
Корпус	
Электролит	

Контрольные вопросы.

1. Почему на подстанциях наиболее широкое применение получили свинцово-кислотные аккумуляторы, а не щелочные?
2. Какая из пластин, изображенных на рисунке 1.44.1, является положительной, какая – отрицательной?
3. Поясните конструкцию отрицательной пластины.
4. С какой целью между пакетом пластин и дном корпуса аккумулятора оставляют расстояние?
5. Укажите назначение сепараторов.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Марка изучаемого аккумулятора и ее полная расшифровка.
3. Таблица с номинальными параметрами аккумулятора.
4. Рисунок с указанием основных элементов единичного аккумулятора.
5. Таблица с названием элементов аккумулятора и указанием их материала.
6. Ответы на контрольные вопросы.
7. Вывод.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 45

Тема: Расчет и выбор аккумуляторной батареи

Цель работы: научиться рассчитывать и выбирать аккумуляторную батарею, определять число аккумуляторов, питающих шины включения и управления, рассчитывать и выбирать зарядно-подзарядный агрегат.

Краткие теоретические сведения

Источником оперативного постоянного тока на подстанциях является **аккумуляторная батарея**. К постоянной нагрузке аккумуляторной батареи относятся цепи управления, сигнализации, автоматики, телемеханики, блокировки безопасности. Кратковременно аккумуляторная батарея питает катушки включения и отключения выключателей переменного тока. Аварийной нагрузкой аккумуляторной батареи является аварийное освещение подстанции. Аккумуляторную батарею выбирают по емкости, напряжению на шинах постоянного оперативного тока.

Исходные данные

$I_{\text{пост}}$ – постоянная длительная нагрузка аккумуляторной батареи при номинальном режиме, А;

$I_{\text{ав}}$ – аварийная нагрузка аккумуляторной батареи, А;

$U_{\text{шуп}}$ – напряжение на шинах управления, В;

$U_{\text{шв}}$ – напряжение на шинах включения, В;

Марки выключателей переменного тока.

Данные для расчета задаются преподавателем.

Порядок выполнения работы

1. Расчет и выбор аккумуляторной батареи.

1.1. Определение расчетного тока длительного разряда в аварийном режиме:

$$I_{\text{дл.разр.}} = I_{\text{пост}} + I_{\text{ав}}, \quad (45.1)$$

1.2. Определение тока кратковременного разряда:

$$I_{\text{кр.разр}} = I_{\text{дл.разр}} + I_{\text{вкл}}, \quad (45.2)$$

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

Выписать токи включения для каждого из указанных в задании выключателей. Наибольший ток включения подставить в формулу 45.2.

1.3. Определение емкости аккумуляторной батареи:

$$Q_{\text{расч}} = I_{\text{дл.разр}} \cdot t_{\text{ав}}, \quad (45.3)$$

где $t_{\text{ав}}$ – длительность разряда при аварии, $t_{\text{ав}} = 2$ часа для аккумуляторов марки СК, $t_{\text{ав}} = 8$ часов для аккумуляторов марки OPzS.

1.4. Определение номера батареи по емкости, соответствующей току длительного разряда аварийного режима:

$$N_{\text{дл}} \geq \frac{1,1 \cdot Q_{\text{расч}}}{Q_{n=1}}, \quad (45.4)$$

где $Q_{n=1}$ – емкость единичного элемента аккумулятора при длительности разряда, равной длительности аварии. Для аккумулятора марки СК $Q_{n=1} = 22$ А·ч. Для аккумулятора марки OPzS $Q_{n=1} = 50$ А·ч;

1,1 – коэффициент, учитывающий уменьшение емкости батареи после нескольких лет эксплуатации.

Выбирая номер из отечественных аккумуляторов необходимо учесть, что они могут быть следующими:

СК-1, СК-2, СК-3, СК-4, СК-5, СК-6, СК-8, СК-10, СК-12, СК-14, СК-16, СК-18, СК-20...

Например, при расчетной емкости $Q_{\text{расч}} = 296$ А·ч $N_{\text{дл}} = \frac{1,1 \cdot 296}{22} = 14,8$.

К установке принимается аккумулятор марки СК-16, выполненный положительными пластинами марки И-1 (или СК-8, выполненный

положительными пластинами И-2, или СК-4 выполненный положительными пластинами И-4).

Для расчетной емкости $Q_{расч}=296$ А·ч импортный аккумулятор $N_{дл}=\frac{1,1 \cdot 296}{50}=6,51$ имеет номер 7 (6,51 округлено в большую сторону). Его полная маркировка будет следующая 7OPzS350 (7x50=350; 7 положительных пластин, каждая емкостью 50 А·ч).

1.5. Определение номера аккумуляторной батареи по току кратковременного разряда:

$$N_{кр} = \frac{I_{кр.разр}}{46}, \quad (45.5)$$

где $46 N_{кр}$ – кратковременно допускаемый разрядный ток аккумулятора.

Из двух значений, определенных по формулам 45.4 и 45.5, окончательно принимается наибольшее.

1.6. Определение числа элементов батареи (аккумуляторов), питающих шины включения в режиме постоянного подзаряда:

$$n_{шв} = \frac{U_{шв}}{U_{акк}}, \quad (45.6)$$

где $U_{акк}$ – напряжение на единичном элементе, $U_{акк} = 2,15$ В для аккумулятора марки СК, $U_{акк} = 2,23$ В для аккумулятора марки OPzS.

1.7. Определение числа элементов батареи (аккумуляторов), питающих шины управления в режиме постоянного подзаряда:

$$n_{шу} = \frac{U_{шу}}{U_{акк}}, \quad (45.7)$$

2. Расчет и выбор ЗПУ.

2.1. Определение величины зарядного тока:

$$\begin{aligned} I_{зар} &= 5,25 \cdot N \text{ для батарей, у которых номер } 1, 2, 3, 4, 5; \\ I_{зар} &= 3,75 \cdot N \text{ для батарей, у которых номер } 6 \text{ и выше,} \end{aligned} \quad (45.8)$$

2.2. Определение зарядного напряжения:

$$U_{зар} = n_{шв} \cdot U_{акк} + (2 - 3), \quad (45.9)$$

К результату $n_{шв} \cdot U_{акк}$ следует добавить число в пределах 2-3 такое, чтобы результирующее напряжение $U_{зар}$ было целое число.

2.3. Расчет мощности ЗПУ:

$$P_{расч.зпу} = U_{зар} \cdot (I_{зар} + I_{пост}), \quad (45.10)$$

Выбор ЗПУ следует выполнить, сравнивая его номинальные параметры с расчетными (см. таблицу 45.1).

Условия выбора:

$$\begin{aligned} I_n &\geq I_{зар} + I_{пост}; \\ U_n &\geq U_{зар}; \\ P_n &\geq P_{расч.зпу}, \end{aligned} \quad (45.11)$$

Таблица 45.1- Электрические характеристики ЗПУ

Марка ЗПУ	Номинальное выпрямленное напряжение U_n , В	Номинальный выпрямленный ток I_n , А	Номинальная мощность P_n , кВт
ВАЗП-380/260-40/80-15,2/20,8	380/260	40/80	15,2/20,8

Контрольные вопросы.

1. В каком режиме работает аккумуляторная батарея?
2. Что определяет количество последовательно соединенных аккумуляторов в батарее?
3. Сколько выключателей переменного тока допускается включать одновременно? Пояснить почему?

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Расчет и выбор аккумуляторной батареи.
3. Расчет и выбор зарядно-подзарядного устройства.
4. Ответы на контрольные вопросы.
5. Вывод.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Тема: Исследование работы магнитного пускателя

Цель работы: практически изучить принцип работы основных узлов магнитного пускателя, определить время срабатывания магнитного пускателя, исследовать работу тепловых реле.

Оборудование и приборы:

асинхронный электродвигатель; магнитный пускатель; измерительные приборы.

Краткие теоретические сведения

Магнитный пускатель представляет собой комплексное устройство, состоящее из контактора переменного тока, двух тепловых реле КК1 и КК2, кнопок управления (пуск и стоп). Магнитные пускатели предназначены для дистанционного управления трехфазными асинхронными электродвигателями. **Тепловые реле** магнитных пускателей КК1 и КК2 предназначены для защиты электродвигателей от перегрузок недопустимой продолжительности. Ток нагрузки, проходя через нагревательный элемент, нагревает биметаллическую пластину, состоящую из двух пластин с различными коэффициентами линейного расширения. В месте прилегания друг к другу пластины жестко скреплены. При нагреве пластина изгибается в сторону материала с меньшим коэффициентом линейного расширения, что приводит к размыканию контактов КК1 и КК2. Чтобы вновь включить реле, необходимо подождать, пока не остынет биметаллическая пластина, и нажать кнопку возврата.

Регулирование номинального тока уставки находится в пределах $0,7I_n - 1,3I_n$. Надежность и эффективность тепловой защиты достигается при совпадении временных характеристик по нагреву у реле и у двигателя. Одной из

основных характеристик теплового реле является время-токовая характеристика, выражающая зависимость времени срабатывания реле от тока, протекающего через это реле.

Порядок выполнения работы

1. Изучить характеристики магнитного пускателя и записать их в таблицу 2.1.1.

Таблица 2.1.1 - Параметры магнитного пускателя

Наименование параметра	Единица измерения	Значение параметра
1	2	3
Номинальное напряжение	В	
Номинальный ток	А	
Номинальный ток теплового реле	А	
Ток теплового элемента	А	
Пределы регулирования тока несрабатывания	%	
Максимальная мощность двигателя	кВт	
Коммутационная износостойкость при I_n	ВО	
Механическая износостойкость	ВО	

2. Собрать электрическую схему согласно рисунку 2.1.1.

3. Определить время срабатывания магнитного пускателя. Для этого необходимо включить автомат SF_1 , нажать кнопку SBC (Пуск), по электросекундомеру определить время срабатывания и записать его в таблицу 2.1.2. Отключить при помощи кнопки SBT (Стоп) электродвигатель и выставить стрелку секундомера на ноль. Повторить опыт (включение двигателя и его отключение) еще четыре раза. По результатам опытов вычислить среднее время срабатывания магнитного пускателя.

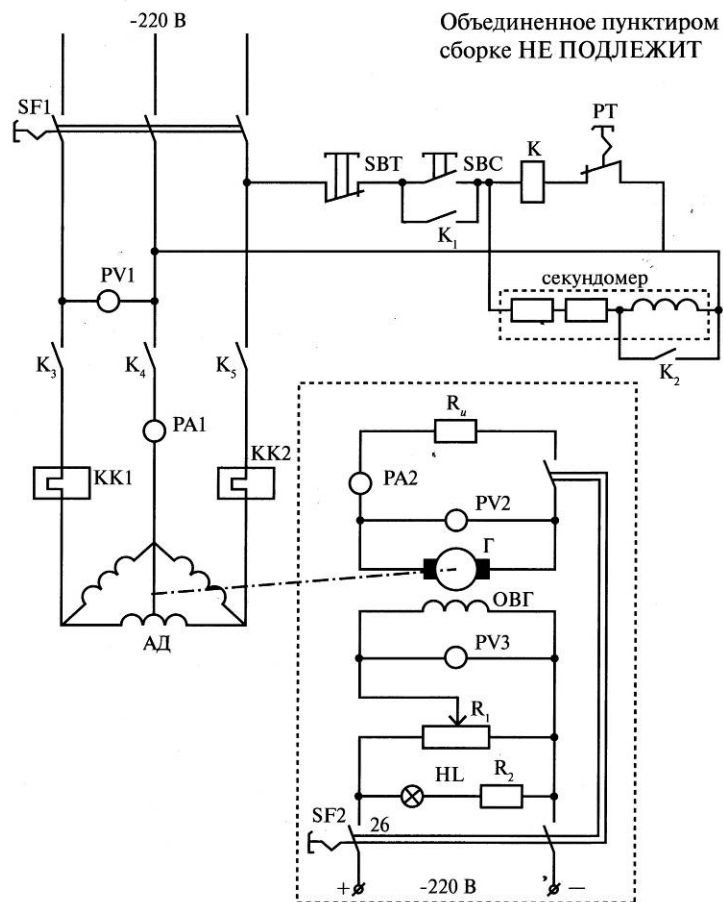


Рисунок 2.1.1. Принципиальная электрическая схема для испытания магнитного пускателя

Таблица 2.1.2 - Время срабатывания магнитного пускателя

Номер опыта	Время срабатывания магнитного пускателя t, c	Среднее время срабатывания магнитного пускателя t_{cp}, c
1		
2		
3		
4		
5		

4. Исследовать работу тепловых реле. Уставку теплового реле выставить на ноль и включить автомат SF₂. По вольтметру PV₃ выставить на обмотке возбуждения генератора минимальное напряжение. Включить автомат SF₁ и запустить двигатель. Постепенно увеличивая напряжение на обмотке возбуждения, нагрузить асинхронный электродвигатель до номинального то-

ка генератора I_H . По часам зафиксировать время до момента отключения магнитного пускателя. Повторить эксперимент для других уставок по току. Результаты опытов записать в таблицу 2.1.3. Построить зависимость $t_{откл} = f(I_{уст})$ по полученным данным и сравнить ее с графиком, изображенным на рисунке 2.1.2.

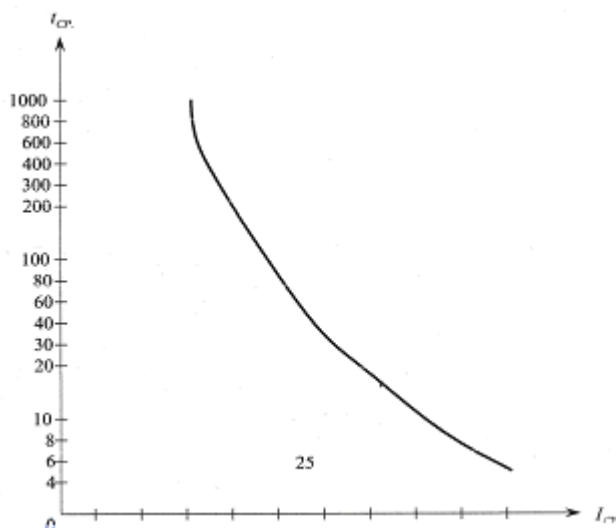


Рисунок 2.1.2. Время – токовая характеристика теплового реле магнитного пускателя

Таблица 2.1.3 - Время отключения магнитного пускателя

Ток уставки реле $I_{уст}$, А	Время отключения магнитного пускателя $t_{откл}$, с
$I_{уст1} = 0$ А	
$I_{уст2}$	
$I_{уст3}$	
$I_{уст4}$	

Контрольные вопросы.

1. Какую защиту осуществляет магнитный пускатель?
2. Назовите способы гашения электрической дуги в магнитном пускателе.
3. Объясните, почему для защиты электродвигателя от перегрузок достаточно двух тепловых реле?

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
 2. Таблица с параметрами магнитного пускателя.
 3. Электрическая схема для испытания магнитного пускателя.
 4. Таблицы с результатами испытаний.
 5. График зависимости $t_{\text{откл}} = f(I_{\text{уст}})$.
 6. Ответы на контрольные вопросы.
 7. Вывод.
-

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Тема: Исследование работы контактора

Цель работы: практически изучить принцип работы электромагнитного контактора, овладеть навыками экспериментального определения его основных характеристик.

Оборудование и приборы:

контактор постоянного тока; автотрансформатор (ЛАТР); измерительные приборы; выпрямительная установка.

Краткие теоретические сведения

Контактор представляет собой коммутационный электрический аппарат с дистанционным управлением, предназначенный для частых включений и отключений силовых электрических цепей при нормальных режимах работы.

Кратчайшее расстояние между контактными поверхностями подвижного и неподвижного контактов в их разомкнутом положении называется **зазором контакта**. Расстояние, на которое перемещается из замкнутого положения подвижный контакт, если удалить неподвижный, называется **провалом контакта**. Величина провала выбирается из условий допустимого износа контактов и обеспечивает соприкосновение контактов, несмотря на их постепенный износ при работе. Во включенном положении его контакты должны быть сжаты такой силой, которая обеспечивает достаточно малое переходное сопротивление и выполнение условий допустимого нагрева контактов при длительном режиме работы, а также их электродинамическую стойкость при сквозных токах короткого замыкания.

Важными параметрами контактора, характеризующими его быстродействие, являются собственное время включения и собственное время отключения. *Собственным временем включения* называется интервал времени от момента подачи питания на катушку до момента соприкосновения контактов. *Собственным временем отключения* называется интервал времени от момента прекращения питания катушки до момента прекращения соприкосновения контактов.

Порядок выполнения работы

1. Изучить характеристики контактора и записать их в таблицу 2.2.1.

Таблица 2.2.1- Параметры контактора

Наименование параметра	Единица измерения	Значение параметра
Номинальное напряжение	В	
Номинальный ток	А	
Номинальный ток	А	
Ток теплового элемента	А	
Величина провала контактов	мм	
Величина зазора контактов	мм	

2. Измерить с помощью динамометра величины начального и конечного нажатий на контакты.

Для измерения величины начального натяжения следует положить между подвижным контактом и его упором полоску тонкой бумаги и, оттянув динамометром контакт до освобождения бумаги, зафиксировать показание динамометра.

Для измерения величины конечного натяжения необходимо включить контактор, подав на его катушку напряжение. Затем, оттянув динамометром подвижный контакт до освобождения бумаги, следует зафиксировать показания динамометра.

При всех измерениях усилие динамометра должно прикладываться к подвижному контакту в месте его соприкосновения с неподвижным, а направление этого усилия должно быть перпендикулярно плоскости подвижного контакта.

Результаты измерений занести в таблицу 2.2.2.

Таблица 2.2.2 Измерения начального и конечного нажатий

Нажатие на контакт	Значение параметра, Н
начальное	
конечное	

3. Определить величину коэффициента возврата контактора. Собрать электрическую схему, изображенную на рисунке 2.2.1.

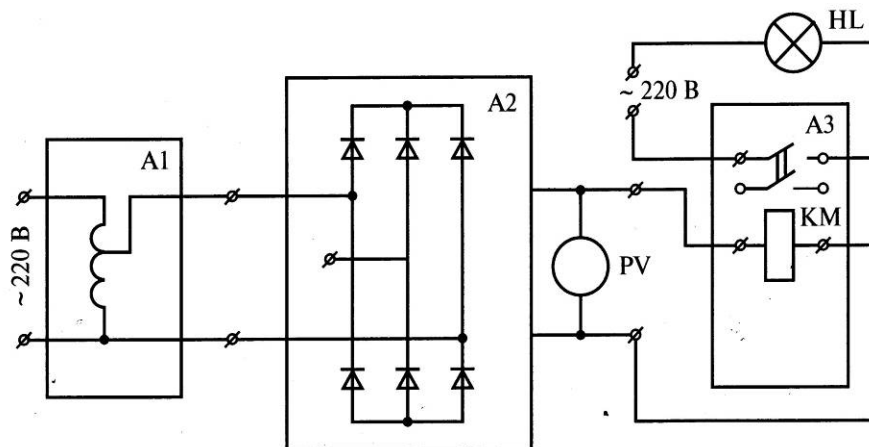


Рисунок 2.2.1. Схема для исследования контактора:

A1 – регулируемый автотрансформатор (ЛАТР); *A2* – выпрямитель;

A3 – контактор; *KM* – катушка контактора; *HL* – лампа сигнальная; *PV* – вольтметр

Для определения коэффициента возврата контактора необходимо:

- постепенно вращать регулировочную рукоятку автотрансформатора *A1* по часовой стрелке, увеличивая напряжение, прикладываемое к обмотке контактора *A3*. В момент срабатывания контактора (загорается лампа *HL*) зафиксировать с помощью вольтметра *PV* напряжение U_1 ;
- медленно вращать регулировочную рукоятку автотрансформатора *A1* против часовой стрелки, уменьшая напряжение, прикладываемое к обмотке

контактора АЗ. В момент размыкания контактов контактора (гаснет лампа НЛ) зафиксировать с помощью вольтметра РV напряжение U_2 .

Опыт необходимо проделать 4-5 раз, определить среднее арифметическое значение измеренных напряжений U_1 и U_2 . Вычислить коэффициент возврата электромагнитного контактора $K_B = U_{2cp} / U_{1cp}$. Результаты наблюдений и расчетов занести в таблицу 2.2.3.

Таблица 2.2.3 - Результаты измерений и расчетов

№ опыта	$U_1, В$	$U_2, В$	K_B
1			-
2			-
3			-
4			-
5			-
Среднее значение			

Контрольные вопросы.

1. Какие параметры характеризуют контактную систему контактора?
2. Какие параметры необходимо знать, чтобы определить коэффициент возврата контактора? Укажите нормируемые значения коэффициента возврата контактора.
3. Какие параметры контактора характеризуют его быстродействие?
4. Приведите примеры практического применения контакторов.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Таблица с параметрами контактора.
3. Электрическая схема для испытания контактора.
4. Таблица с измерениями начального и конечного нажатий контактора.
5. Таблица с результатами измерений для расчета коэффициента возврата контактора.
6. Ответы на контрольные вопросы.
7. Вывод.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Тема: Исследование работы автоматического воздушного выключателя

Цель работы: практически изучить принцип работы основных узлов автоматического воздушного выключателя, определить время его срабатывания.

Оборудование и приборы:

автоматический воздушный выключатель, ЛАТР, измерительный трансформатор напряжения, измерительный трансформатор тока, амперметр, электрический секундомер.

Краткие теоретические сведения

Автоматический воздушный выключатель (автомат) – коммутационный аппарат напряжением до 1000 В, предназначенный для нечастых включений и отключений электрической цепи при нормальной нагрузке, а также для автоматического отключения при коротких замыканиях, режимах перегрузки. Название «воздушный» получил потому, что электрическая дуга, возникающая между его контактами при отключении цепи, гасится в среде окружающего воздуха. Основными элементами выключателя являются: главная контактная система, дугогасительная система, привод, токовые расцепители, вспомогательные контакты. Токовые расцепители выполняют роль защитных элементов, реагирующих на отклонения тока от номинальных значений.

Зависимость полного времени отключения цепи от тока называют время-токовой характеристикой, или защитной характеристикой автомата. Объект будет защищен, если его рабочая характеристика располагается ниже защитной характеристики автомата при любом значении тока нагрузки в цепи. В этом случае автомат не будет отключаться в нагрузочном режиме.

Рабочая и защитная характеристика автоматического воздушного выключателя представлены на рисунке 2.3.1.

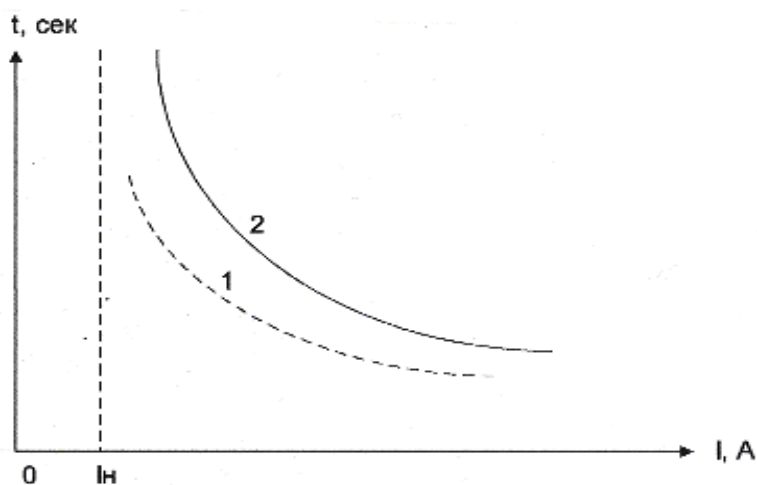


Рисунок 2.3.1. Рабочие и защитные характеристики автоматического воздушного выключателя:

1 – рабочая характеристика автомата; 2 – защитная характеристика автомата

Порядок выполнения работы

1. Изучить характеристики автоматического воздушного выключателя и записать их в таблицу 2.3.1.

Таблица 2.3.1 - Параметры автоматического воздушного выключателя

Наименование параметра	Значение параметра
Марка автомата	
Номинальное напряжение U_n , В	
Номинальный ток I_n , А	
Число полюсов	
Вид расцепителя	
Уставка срабатывания ($1,25I_n$), А	
Вид привода	

2. Собрать электрическую схему (см. рисунок 2.3.2). Движок ЛАТР поставить в нулевое положение, автоматический воздушный выключатель SF отключить. Проверить исправность измерительной цепи, для чего замкнуть контакты С1-С2, зафиксировать работу электрического секундомера.

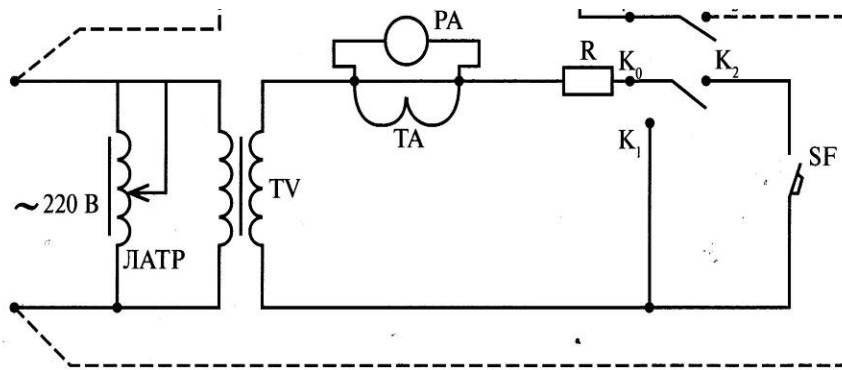


Рисунок 2.3.2. Принципиальная электрическая схема для исследования работы автоматического воздушного выключателя

3. Проверить силовую цепь измерительной схемы: замкнуть контакты K_0 и K_1 , увеличивая напряжение с помощью ЛАТР, убедиться, что стрелка амперметра отклоняется. Необходимо проверить возможность изменения тока в силовой цепи в диапазоне 0-50 А.

4. Возвратить движок реостата в нулевое положение. Контакты ключа K_0 и K_1 оставить замкнутыми. Включить в работу исследуемый автоматический воздушный выключатель.

5. Для снятия защитной характеристики исследуемого автоматического воздушного выключателя контакты ключа установить в положение K_0 и K_2 . Секундомер начинает работать. Необходимо быстро установить в цепи ток, равный $1,5I_n$.

6. В момент срабатывания автомата одновременно зафиксировать значение тока и времени срабатывания, перевести ключ в нейтральное положение. Для построения защитной характеристики автомата измерения повторить 4-5 раз, изменяя значения тока срабатывания в пределах $1,5-4 I_n$. Результаты измерений записать в таблицу 2.3.2.

Таблица 2.3.2 - Результаты измерений времени и тока срабатывания автомата

I, A					
t, c					

7. По результатам измерений построить защитные характеристики исследуемого автоматического воздушного выключателя.

Контрольные вопросы.

1. Каковы рабочие и защитные характеристики автоматических воздушных выключателей?
2. Что подразумевается под согласованием защитных и рабочих характеристик автоматов?
3. Каково назначение и принцип работы токовых расцепителей?

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Таблица с параметрами автоматического воздушного выключателя.
3. Электрическая схема для испытания автоматического воздушного выключателя.
4. Таблицы с результатами испытаний.
5. График зависимости $t = f(I)$.
6. Ответы на контрольные вопросы.
7. Вывод.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4-5

Тема: Разборка, замер параметров и сборка высоковольтного выключателя переменного тока

Цель работы: приобрести практические навыки в разборке и сборке высоковольтного выключателя переменного тока, произвести замер его параметров.

Оборудование и приборы:

высоковольтный выключатель переменного тока, гаечные ключи, динамометр, измерительная штанга, автотрансформатор (ЛАТР), сигнальные лампы, соединительные провода.

Краткие теоретические сведения

В качестве выключателя переменного тока, подлежащего разборке и сборке, можно использовать малообъемный масляный выключатель марки ВМП-10.

Малообъемные масляные выключатели ВМП-10 применяются в закрытых распределительных устройствах напряжением 10 кВ. Корпус выключателей крепится на фарфоровых изоляторах к общей раме для всех трех полюсов. Полюс выключателя представляет собой влагостойкий изоляционный цилиндр из стеклоэпоксидного пластика. Торцы полюса армированы металлическими фланцами. На верхнем фланце изоляционного цилиндра укреплен корпус из алюминиевого сплава, внутри которого расположены приводной выпрямляющий механизм, подвижный контактный стержень, роликовое токосъемное устройство и маслоотделитель. Нижний фланец из силумина закрывается крышкой, внутри которой вмонтирован розеточный контакт, снаружи – пробка для спуска масла. Внутри цилиндра

над неподвижным розеточным контактом имеется дугогасительная камера, собранная из изоляционных пластин с фигурными отверстиями.

Порядок выполнения работы

1. Повторить теоретический материал по конструкции и принципу действия выключателя ВМП-10.
2. Выполнить замер параметров выключателя, указанный на рисунке 2.4.1. Результаты замеров записать в таблицу 2.4.1.

Таблица 2.4.1 - Геометрические размеры выключателя ВМП-10

Название измеряемого параметра	Значение параметра
Высота колонки, мм	
Ширина выключателя, мм	
Расстояние между колонками, мм	
Высота выключателя с рамой, мм	
Ширина выключателя с рамой, мм	

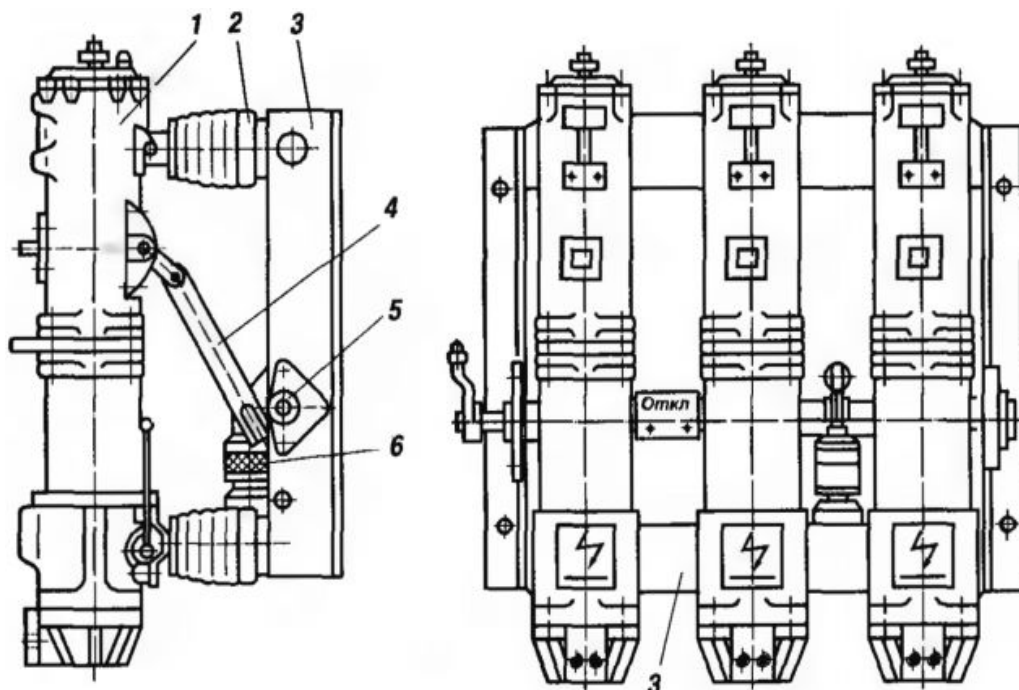


Рисунок 2.4.1. Общий вид выключателя ВМП-10

3. Произвести разборку выключателя:

- снять межполюсные перегородки;
- отсоединить нижние и верхние шины;

- слить масло из полюсов, если оно есть;
- отсоединить изоляционные тяги.

4. Разобрать фазу выключателя:

- разобрать нижний фланец;
- снять нижний неподвижный розеточный контакт;
- снять опорный цилиндр и дугогасительную камеру;
- разобрать средний фланец;
- снять верхний цилиндр с подвижной системой.

5. Произвести осмотр розеточного контакта, измерить его глубину. Зарисовать эскиз розеточного контакта.

6. Произвести осмотр подвижной системы выключателя, вывернуть пластмассовую пробку на маслоотделителе, вставить в отверстие измерительную штангу и ввернуть ее в отверстие на выступе подвижной системы. Определить вес подвижной системы, поднимая ее динамометром за кольцо измерительной штанги.

7. Осмотреть дугогасительную камеру. Разобрать ее с целью изучения конструкции изоляционных пластин. Зарисовать эскиз камеры, указать ее размеры (высоту, диаметр).

8. Собрать фазу выключателя:

- собрать нижний фланец, установив на него опорный цилиндр и дугогасительную камеру;
- установить верхнюю часть фазы;
- не собирая средний фланец, присоединить динамометр к кольцу измерительной штанги, вытягивая подвижный контакт из неподвижного, зафиксировать наибольшее усилие.

Давление в контактах определяется как разность этого усилия и веса подвижной системы. Результаты замеров записать в таблицу 2.4.2.

Таблица 2.4.2 - Результаты замеров

Измеряемые параметры	Измеренное значение параметра	Нормируемое значение параметра
Давление в контактах, даН		≥ 10
Ход контактного стержня, мм		208 ± 5
Величина входа в розетку («вжим»), мм		60 ± 5
Запасной ход стержня, мм		≥ 60
Разновременность замыкания контактов, мм		≤ 5

9. Присоединить изоляционные тяги.

10. Собрать схему для проверки одновременности замыкания контактов. Схема представлена на рисунке 2.4.2.

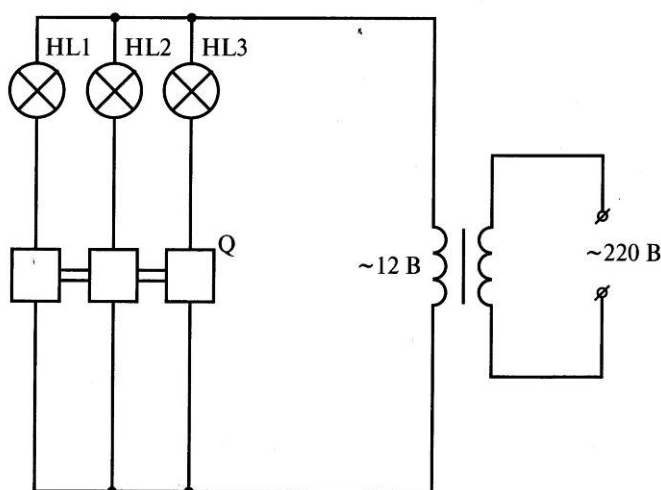


Рисунок 2.4.2. Схема для проверки одновременности замыкания контактов

11. Включить выключатель. Зафиксировать на измерительной штанге моменты касания подвижными контактами неподвижных, загорание ламп. определить разновременность замыкания контактов (ход штанги между загоранием первой и последней лампы). Результаты измерений занести в таблицу 2.4.2.

12. Определить величину входа подвижного контакта в розетку («вжим») и ход контактного стержня с помощью измерительной штанги. Результаты измерений занести в таблицу 2.4.2.

13. Определить запасной ход стержня как разность между глубиной розеточного контакта и «вжимом». Результат вычисления занести в таблицу 2.4.2.

14. Отключить испытательную установку. Разобрать схему. Привести в порядок рабочее место.

Контрольные вопросы.

1. Чем обеспечивается смягчение ударов при включении и отключении выключателя?
2. С какой целью проверяют одновременность замыкания контактов?
3. Какова роль масла в выключателе ВМП-10?

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Таблица с геометрическими размерами выключателя.
3. Электрическая схема для испытания магнитного пускателя.
4. Эскиз (чертеж) общего вида выключателя.
5. Эскиз розеточного контакта выключателя.
6. Эскиз дугогасительной камеры с указанием ее размеров.
7. Таблица с результатами замеров хода контактов выключателя
8. Схема одновременности замыкания контактов.
9. Ответы на контрольные вопросы.
10. Вывод.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6-7

Тема: Исследование работы привода высоковольтного выключателя

Цель работы: практически изучить основные узлы электромагнитного привода высоковольтного выключателя переменного тока, принцип работы привода.

Оборудование и приборы:

высоковольтный выключатель переменного тока, электромагнитный привод выключателя ПЭ-11, контактор включения выключателя, кнопки (ключи) включения и отключения выключателя, сигнальные лампы.

Краткие теоретические сведения

Приводы высоковольтных выключателей переменного тока предназначены для включения и отключения выключателей, удержания их во включенном положении. Приводы имеют механизмы включения и отключения, а также запирающий механизм. Наиболее широкое применение получили **электромагнитные приводы**, так как имеют простую конструкцию, надежны в работе, обладают высокой скоростью срабатывания. Источником питания электромагнитов включения и отключения привода является аккумуляторная батарея.

Порядок выполнения работы

1. Записать параметры привода ПЭ-11 в таблицу 2.6.1.

Таблица 2.6.1 - Параметры привода ПЭ-11

Марка привода	Номинальное напряжение катушки включения $U_H, В$	Номинальный ток катушки включения $I_H, А$	Номинальное напряжение катушки отключения $U_H, В$	Номинальный ток катушки отключения $I_H, А$	Число блок-контактов
ПЭ-11					

2. Изучить конструкцию электромагнитного привода ПЭ-11.

При изучении основных узлов привода ПЭ-11 необходимо использовать рисунок 2.6.1. Названия механизмов привода ПЭ-11 записать в таблицу.
2.6.2.

Таблица 2.6.2 - Основные узлы привода ПЭ-11

Номер элемента	Название элемента	Номер элемента	Название элемента
1		9	
2		10	
3		11	
4		12	
5		13	
6		14	
7		15	
8		16	

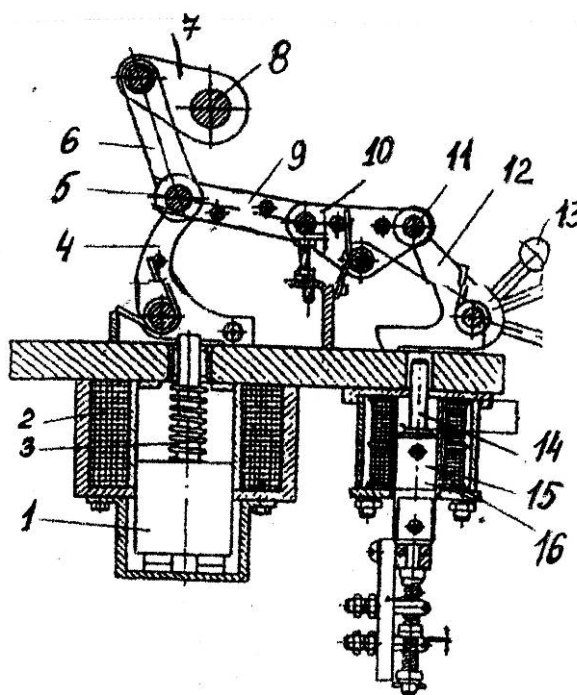


Рисунок 2.6.1. Кинематическая схема привода ПЭ-11

3. Произвести оперативное включение выключателя. Пронаблюдать работу механизмов привода при оперативном включении. Представить описание работы механизмов привода при оперативном включении.

4. Произвести оперативное отключение. Пронаблюдать работу механизмов привода при оперативном отключении. Представить описание работы механизмов привода при оперативном отключении (или при отключении вручную).

Контрольные вопросы.

1. Назовите элементы привода ПЭ-11, которые образуют механизм включения.
2. Назовите элементы привода ПЭ-11, которые образуют механизм отключения.
3. Какое напряжение по роду подается на электромагниты включения и отключения?
4. Назовите достоинства и недостатки электромагнитных приводов.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Таблица с параметрами привода ПЭ-11.
3. Таблица с основными узлами привода ПЭ-11.
4. Кинематическая схема привода ПЭ-11.
5. Описание работы механизмов привода при оперативном включении и отключении.
6. Ответы на контрольные вопросы.
7. Вывод.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

Тема: Исследование схемы управления высоковольтным выключателем переменного тока

Цель работы: практически изучить основные элементы схемы управления высоковольтным выключателем переменного тока, научиться определять неисправности в схеме управления и устранять их.

Оборудование и приборы:

высоковольтный выключатель переменного тока, электромагнитный привод выключателя, контактор включения выключателя, кнопки (ключи) включения и отключения выключателя, сигнальные лампы, тестер (мультиметр), электроинструмент.

Краткие теоретические сведения

Схема управления высоковольтным выключателем переменного тока относится к схемам вторичной коммутации. *Схемы вторичной коммутации* используются при составлении монтажных схем вторичной коммутации. Принципиальные схемы вторичной коммутации бывают совмещенными и разнесенными. При совмещенных схемах приборы, реле и другие аппараты показывают в собранном виде. В разнесенных схемах разделяют обмотки и контакты реле, катушек включения и отключения, контакторов. Каждый аппарат и контакт в схеме имеют условное графическое и буквенное обозначение. Положение контактов обозначают при невозбужденном состоянии реле или при отключенном положении аппаратов. Такое состояние называют нормальным.

В лабораторной работе следует изучить разнесенную схему управления выключателем, элементы схемы управления рассмотреть в реальной цепи управления.

Порядок выполнения работы

1. Начертить разнесенную схему управления выключателем переменного тока. В схемы одним цветом выполнить цепь включения, другим – цепи управления, третьим – цепи сигнализации (образец разнесенной схемы управления представлен на рисунке 2.8.1).

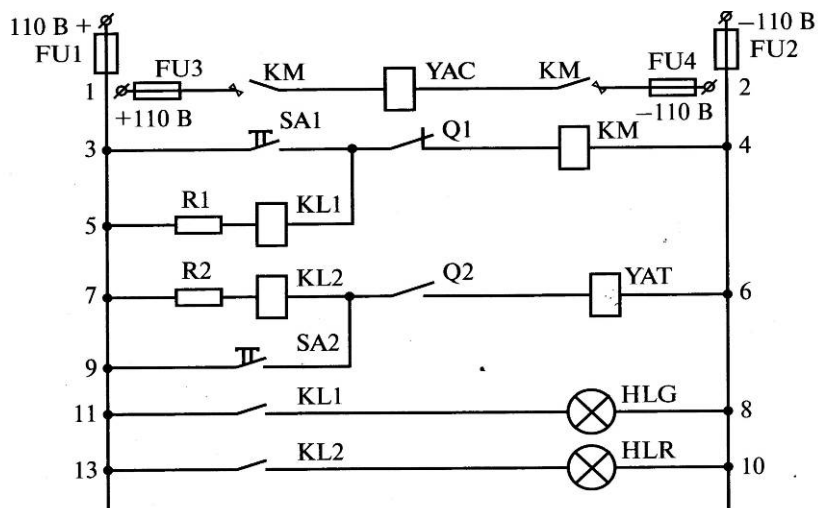


Рисунок 2.8.1. Разнесенная схема управления выключателем переменного тока

2. Изучить основные узлы схемы управления. Результаты занести в таблицу 2.8.1.

Таблица 2.8.1 - Основные элементы схемы управления

Условное буквенное обозначение элемента	Наименование элемента	Назначение элемента
YAC		
YAT		
KM		
KL1		
KL2		
HLG		
HLR		
SA1		
SA2		
FU1, FU2		
FU3, FU4		
Q1, Q2		

1. Произвести оперативное включение выключателя переменного тока. При оперативном включении наблюдать за работой контактора, привода выключателя, сигнальными лампами. Результаты наблюдений занести в таблицу 2.8.2.

2. Произвести оперативное отключение выключателя переменного тока. При оперативном отключении наблюдать за работой контактора, привода выключателя, сигнальными лампами. Результаты наблюдений занести в таблицу 2.8.2.

Таблица 2.8.2 - Состояние элементов схемы

Режим работы	Q	SA1	SA2	KM	YAC	YAT	Q1	Q2	KL1	KL2	HLR	HLG
Выключатель отключен	-											
Оперативное включение	+											
Выключатель включен	+											
Оперативное отключение	-											

3. Снять напряжение с цепей управления. Создать неисправность в цепи управления. Возможные неисправности:

- в цепи включения (управления) установить неисправный предохранитель;
- в цепи сигнализации установить неисправную сигнальную лампу;
- отогнуть контакты реле KL1 или KL2.

4. Выполнить пробное включение. Определить вид неисправности. С помощью тестера (мультиметра) прозвонить электрические цепи, определив место повреждения. Устранить неисправность. Повторно включить выключатель. Результаты исследований занести в таблицу 2.8.3.

Таблица 2.8.3 - Неисправности в схеме управления

Вид неисправности	Причина неисправности	Способ устранения

5. Отключить электроустановку.

Контрольные вопросы.

1. Укажите назначение контактора КМ.
2. В отключенном положении выключателя блок-контакт Q1 замкнут. При этом образована цепь 5-4 (см. рисунок 2.8.1). Катушка контактора получает питание. Почему выключатель не включается?
3. В чем различие между предохранителями FU1 и FU3?

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Разнесенная схема управления выключателем переменного тока.
3. Таблица с указанием основных узлов схемы управления.
4. Таблица с состоянием элементов схемы управления.
5. Таблица неисправностей в схеме управления.
6. Эскиз дугогасительной камеры с указанием ее размеров.
7. Ответы на контрольные вопросы.
8. Вывод.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Однолинейная схема электрической подстанции

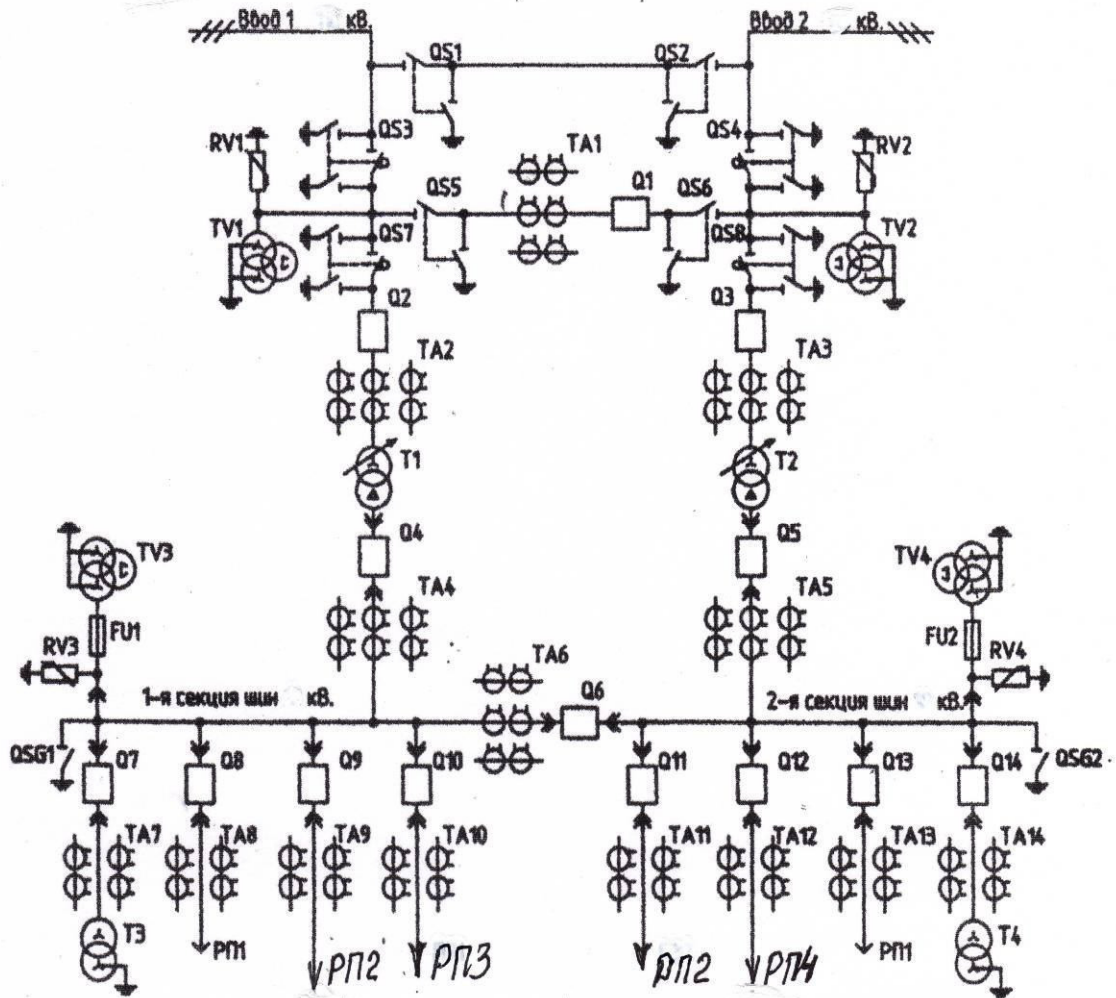
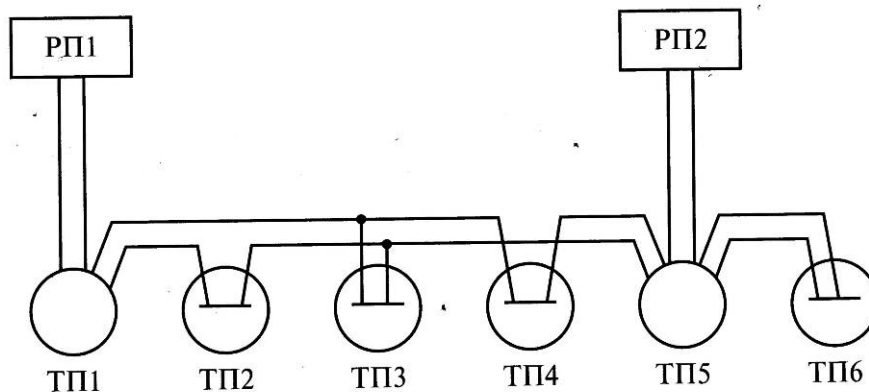
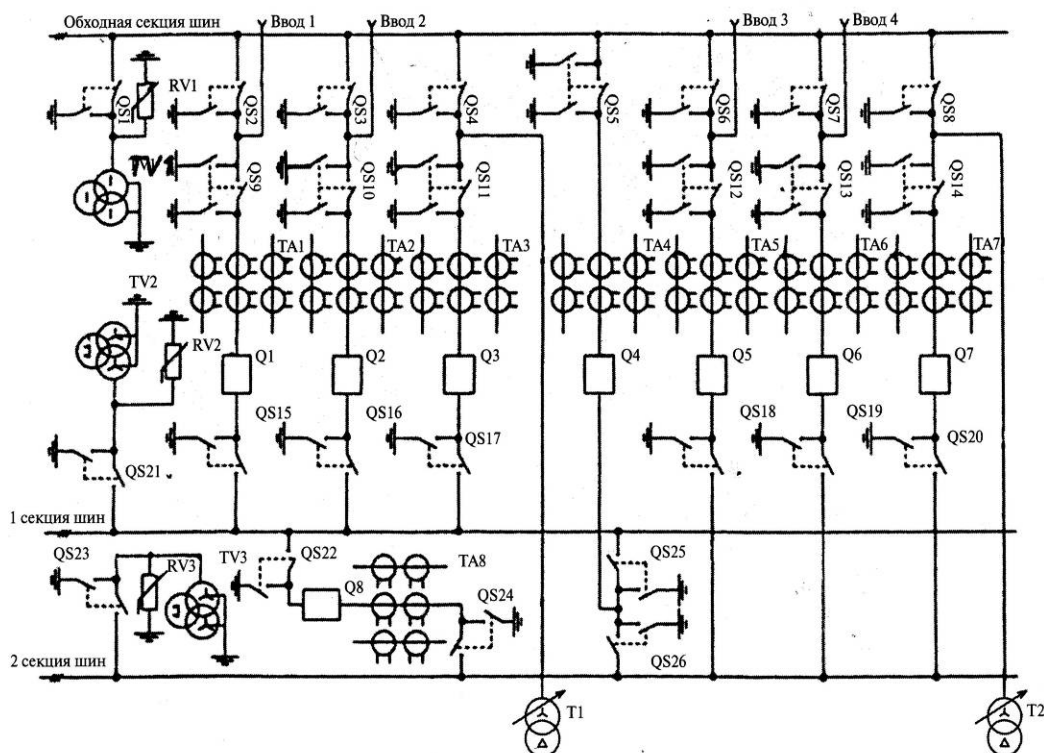


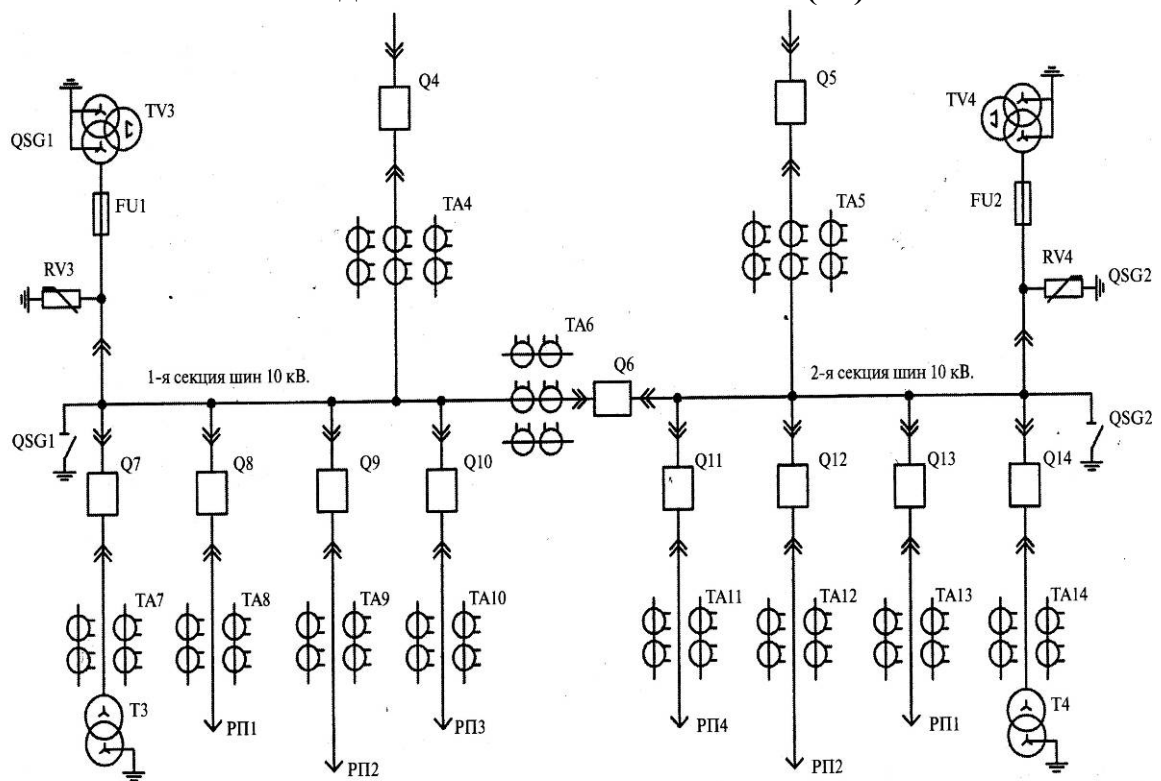
Схема внешнего электроснабжения подстанций



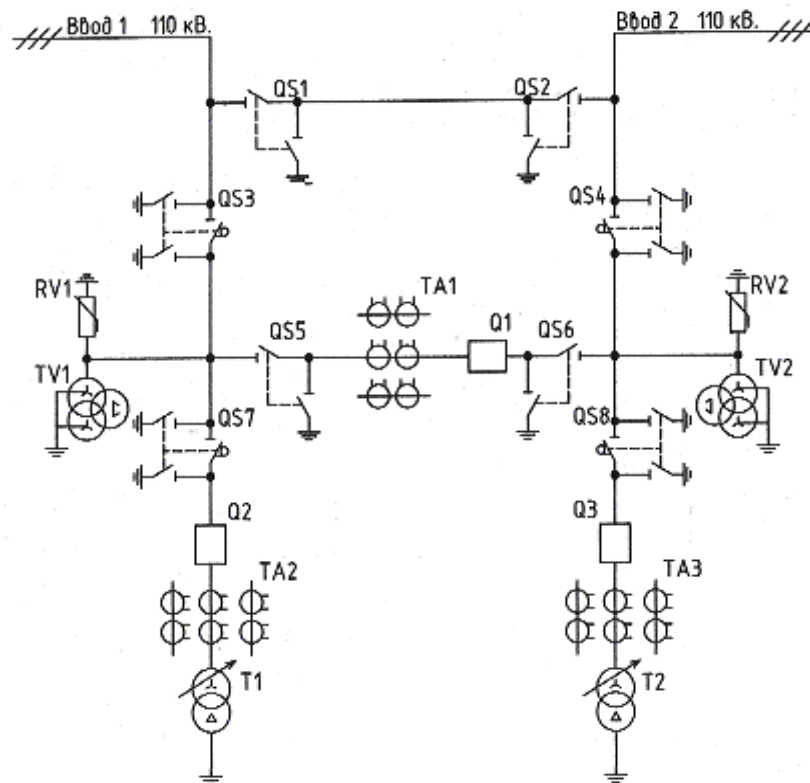
Однолинейная схема ОРУ-110 (220) кВ опорной подстанции



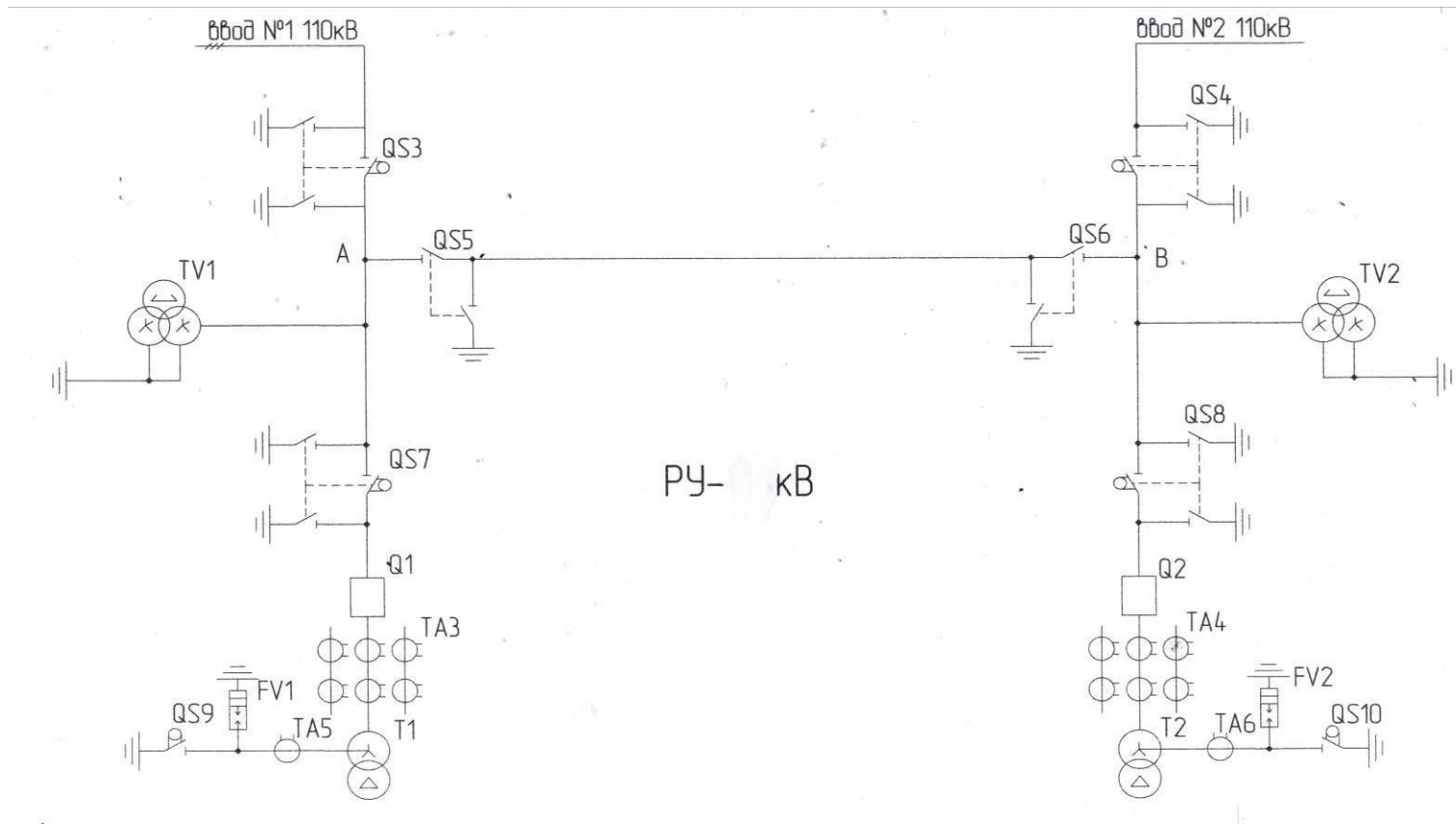
Однолинейная схема ЗРУ-10 (35) кВ



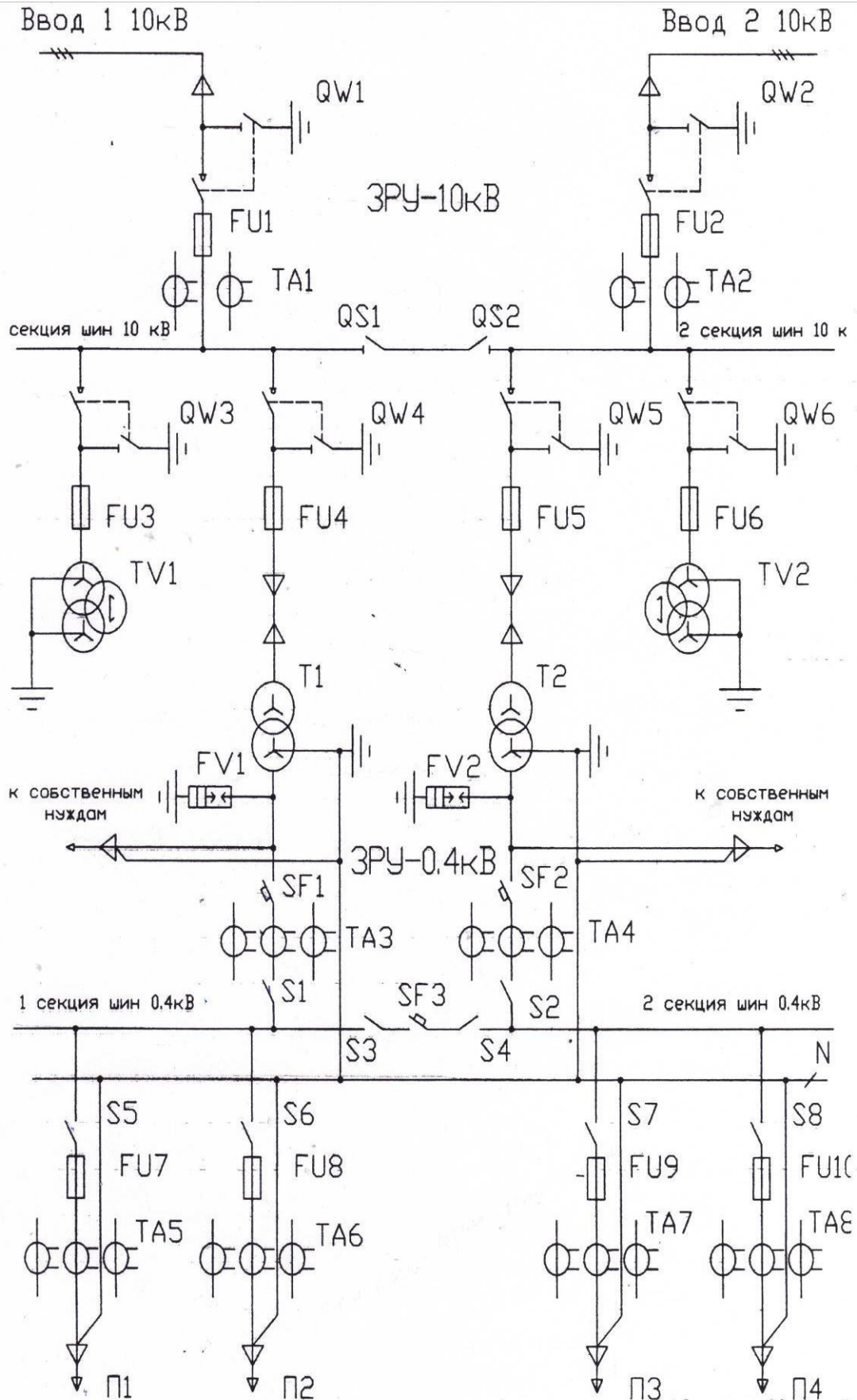
Однолинейная схема ОРУ-110 (220) кВ транзитной подстанции



Однолинейная схема ОРУ-110 (220) кВ отпаечной (тупиковой) подстанции



Однолинейная схема трансформаторной подстанции ТП-10/0.4 кВ



ПЕРЕЧЕНЬ ЛИТЕРАТУРЫ

Основные источники:

1. *Почаевец В.С.* Электрические подстанции [Текст]: учебник. – М.: ФБГОУ "Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте", 2012. – 491 с.
2. *Кожунов В.И.* Устройство электрических подстанций [Текст]: Учебное пособие. М.: ФБГОУ "Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте", 2016. – 401 с.

Дополнительные источники:

3. *Алексеев А.А.* МДК 01.01. Устройство и техническое обслуживание электрических подстанций. Раздел 1. Темы 1.2. – 1.5. Методическое пособие по проведению практических занятий профессионального модуля «Техническое обслуживание оборудования электрических подстанций и сетей» для специальности 140409 Электроснабжение (по отраслям). – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2013. – 114 с.
4. *Алексеев А.А.* МДК 01.01. Устройство и техническое обслуживание электрических подстанций. Раздел 1. Темы 1.5. – 1.6. Методическое пособие по проведению лабораторных и практических занятий профессионального модуля «Техническое обслуживание оборудования электрических подстанций и сетей» для специальности 140409 Электроснабжение (по отраслям). – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2013. – 74 с.
5. *Бурякова Е.А.* Электрические подстанции. Метод. указания и контрольные задания для студентов-заочников образовательных учреждений СПО. Специальность 1004 – 2014 г.
6. Правила устройства электроустановок. – М.: КНОРУС, 2011. – 488 с.
7. Инструкция от 18.03.2008 г. № 4054. «Инструкция по безопасности при эксплуатации электроустановок тяговых подстанций и районов электроснабжения железных дорог» (4054). М.: ОАО «РЖД», 2008.
8. Правила содержания тяговых подстанций, трансформаторных подстанций и линейных устройств системы тягового электроснабжения [Электронный ресурс]: Утв. Распоряжением ОАО «РЖД» № 1578р от 5.08.2016.
9. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. Утв. Пр. №328н от 24.07.2013г. – Новосибирск: Норматика, 2014. – 96 с.
10. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор Минэнерго России. СПб.: ООО «БАРС», 2003.