

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
(ФГАОУ ВО «МГТУ»)

«ММРК имени И.И. Месяцева» ФГАОУ ВО «МГТУ»



УТВЕРЖДАЮ

Начальник ММРК имени И.И. Месяцева  
ФГАОУ ВО «МГТУ»

И.В. Артеменко

«29» мая 2022 года



## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

профессионального модуля

ПМ. 01 Организация электроснабжения электрооборудования по отраслям

код, наименование УД

программы подготовки специалиста среднего звена (ППССЗ)

специальности 13.02.07 Электроснабжение (по отраслям)

код, наименование специальности(ей)

по программе \_\_\_\_\_ базовой \_\_\_\_\_ подготовки  
базовая/углубленная

Назначение: текущий контроль и промежуточная аттестация

Мурманск  
2022



**Рассмотрено и одобрено на заседании**  
Методического объединения профессиональных  
дисциплин по специальностям 13.02.07  
Электроснабжение (по отраслям) и 21.02.03  
Сооружение  
и эксплуатация газонефтепроводов и  
газонефтехранилищ  
наименование МКо (МО/ ЦК)

Председатель МКо (МО/ ЦК)  
Горшкевич Е.В.  
Протокол от «29»мая 2022 г.

---

Автор (составитель): Яров В.Н., преподаватель «ММРК имени И.И. Месяцева» ФГАОУ ВО «МГТУ»  
Ф.И.О. , ученая степень, звание, должность, квалиф. категория

## **1. Общие положения**

1.1. Фонд оценочных средств (ФОС) дисциплины ПМ. 01 Организация электроснабжения электрооборудования по отраслям является составной частью нормативно-методического обеспечения системы оценки качества освоения ППССЗ обучающимися СПО.

1.2. В соответствии с требованиями ФГОС СПО (ФОС) предназначен для аттестации обучающихся на соответствие их персональных достижений поэтапным требованиям соответствующей ППССЗ в форме текущего контроля результатов успеваемости и/или промежуточной аттестации.

1.3. ФОС разработан в соответствии с:

- Федеральным законом от 29.12.2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации»;
- федеральными государственными образовательными стандартами среднего профессионального образования (ФГОС) по специальности 21.02.03 Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ, утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 12 мая 2014г. № 484;
- Приказом Министерства образования и науки № 464 от 14.06.2013 «Об утверждении порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам среднего профессионального образования» (в редакции Приказа Министерства образования и науки Российской Федерации № 1580 от 15 января 2014 г. и № 31 от 22 января 2014 г.);
- Уставом ФГАОУ ВО «Мурманский государственный технический университет»;
- Положением о текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся ФГАОУ ВО «МГТУ» по образовательным программам СПО;
- Положением о фонде оценочных средств по образовательным программам среднего профессионального образования ФГАОУ ВО «МГТУ»;
- рабочим учебным планом по специальности 13.02.07 Электроснабжение (по отраслям);
- рабочей программой профессионального модуля ПМ.01 Организация электроснабжения электрооборудования по отраслям;
- методическими рекомендациями по выполнению практических (и/или) лабораторных работ по профессиональному модулю ПМ.01 Организация электроснабжения электрооборудования по отраслям;
- методическими рекомендациями по организации и контролю самостоятельной работы обучающихся по профессиональному модулю ПМ.01 Организация электроснабжения электрооборудования по отраслям.

## **2. Паспорт фонда оценочных средств профессионального модуля ПМ.01 Обслуживание и эксплуатация технологического оборудования**

**2.1** ФОС позволяет оценивать **ОК и ПК**:

- ОК 1 – Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам;
- ОК 2 – Осуществлять поиск, анализ и интерпретацию информации, необходимой для выполнения задач профессиональной деятельности;
- ОК 3 – Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие;
- ОК 4 – Работать в коллективе и команде, эффективно взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами;
- ОК 5 – Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке Российской Федерации с учетом особенностей социального и культурного контекста;
- ОК 9 – Использовать информационные технологии в профессиональной деятельности;
- ОК 10 – Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном

- языках;
- ПК 1.1 – Выполнять основные виды работ по проектированию электроснабжения электротехнического и электротехнологического оборудования;
- ПК 1.2 – Читать и составлять электрические схемы электроснабжения электротехнического и электротехнологического оборудования.

## **2.2 ФОС позволяет оценивать освоение умений:**

- У1 – разрабатывать электрические схемы электроснабжения электротехнического и электротехнологического оборудования по отраслям;
- У2 – заполнять дефектные ведомости, ведомости объема работ с перечнем необходимых запасных частей и материалов, маршрутную карту, другую техническую документацию;
- У3 – читать схемы распределительных сетей 35 кВ, находящихся в зоне эксплуатационной ответственности;
- У4 – читать простые эскизы и схемы на несложные детали и узлы;
- У5 – пользоваться навыками чтения схем первичных соединений электрооборудования электрических станций и подстанций;
- У6 – читать схемы первичных соединений электрооборудования электрических станций и подстанций;
- У7 – осваивать новые устройства (по мере их внедрения);
- У8 – организовывать разработку и пересмотр должностных инструкций подчиненных работников более высокой квалификации;
- У9 – читать схемы питания и секционирования контактной сети и воздушных линий электропередачи в объеме, необходимом для выполнения простых работ по техническому обслуживанию и текущему ремонту контактной сети, воздушных линий электропередачи под напряжением и вблизи частей, находящихся под напряжением;
- У10 – читать схемы питания и секционирования контактной сети в объеме, необходимом для выполнения работы в опасных местах на участках с высокоскоростным движением;
- У11 – читать принципиальные схемы устройств и оборудования электроснабжения в объеме, необходимом для контроля выполнения работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования тяговых и трансформаторных подстанций, линейных устройств системы тягового электроснабжения.

## **иметь практический опыт:**

- П1 – составлении электрических схем электроснабжения электротехнического и электротехнологического оборудования по отраслям;
- П2 – заполнении необходимой технической документации;
- П3 – выполнении работ по чертежам, эскизам с применением соответствующего такелажа, необходимых приспособлений, специальных инструментов и аппаратуры;
- П4 – внесении на действующие планы изменений и дополнений, произошедших в электрических сетях;
- П5 – разработке должностных и производственных инструкций, технологических карт, положений и регламентов деятельности в области
- П6 – эксплуатационно-технического обслуживания и ремонта кабельных линий электропередачи;
- П7 – разработке технических условий проектирования строительства, реконструкции и модернизации кабельных линий электропередачи;
- П8 – организации разработки и согласования технических условий, технических заданий в части обеспечения технического обслуживания и ремонта кабельных линий электропередачи;
- П9 – изучении схем питания и секционирования контактной сети и линий напряжением

- выше 1000 В;
- П10 – изучении схем питания и секционирования контактной сети и воздушных линий электропередачи в пределах дистанции электроснабжения;
- П11 – изучении принципиальных схем защит электрооборудования, электронных устройств, автоматики и телемеханики;
- П12 – изучении устройства и характеристик, отличительных особенностей оборудования нового типа, принципа работы сложных устройств автоматики оборудования нового типа.

### 2.3 ФОС позволяет оценивать усвоение знаний:

- 31 – устройство электротехнического и электротехнологического оборудования по отраслям;
- 32 – устройство и принцип действия трансформатора;
- 33 – правила устройства электроустановок;
- 34 – устройство и назначение неактивных (вспомогательных) частей трансформатора;
- 35 – принцип работы основного и вспомогательного оборудования распределительных устройств средней сложности напряжением до 35 кВ;
- 36 – конструктивное выполнение распределительных устройств;
- 37 – конструкцию и принцип работы сухих, масляных, двухобмоточных силовых трансформаторов мощностью до 10 000 кВА напряжением до 35 кВ;
- 38 – устройство, назначение различных типов оборудования (подвесной, натяжной изоляции, шинопроводов, молниезащиты, контуров заземляющих устройств), области их применения;
- 39 – элементы конструкции закрытых и открытых распределительных устройств напряжением до 110 кВ, минимальные допускаемые расстояния между оборудованием;
- 310– устройство проводок для прогрева кабеля;
- 311– устройство освещения рабочего места;
- 312– назначение и устройство отдельных элементов контактной сети и трансформаторных подстанций;
- 313– назначение устройств контактной сети, воздушных линий электропередачи;
- 314– назначение и расположение основного и вспомогательного оборудования на тяговых подстанциях и линейных устройствах тягового электроснабжения;
- 315– порядок контроля соответствия проверяемого устройства проектной документации и взаимодействия элементов проверяемого устройства между собой и с другими устройствами защит;
- 316– устройство и способы регулировки вакуумных выключателей и элегазового оборудования;
- 317– порядок изучения устройства и характеристик, отличительных особенностей оборудования нового типа, принципа работы сложных устройств автоматики оборудования нового типа интеллектуальной основе;
- 318– однолинейные схемы тяговых подстанций.

### 2.4 Кодификатор оценочных средств

Код ОС	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в КОС
1	2	3	4
1.	Собеседование	Средство контроля, организованное как специальная беседа преподавателя с	Вопросы по темам/разделам дисциплины

		обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по определенному разделу, теме, проблеме и т.п.	
2.	Тест	Система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося.	Фонд тестовых заданий
3.	Практическая работа	Решение практических задач в письменном виде и устном виде	Методические указания по практическим работам
4.	Сообщение /Доклад	Продукт самостоятельной работы обучающегося, представляющий собой публичное выступление по представлению полученных результатов решения определенной учебно-практической, учебно-исследовательской или научной темы.	Темы докладов, сообщений.
5.	Аттестационный лист по учебной/производственной практике	Оценочное средство, позволяющее оценить качество выполнения работ по учебной/производственной практике в рамках приобретения практического опыта в соответствии с технологией и требованиями организации, в которых проходила практика, содержащее сведения об уровне освоения обучающимся ПК.	Программа практики; Перечень тем индивидуальных заданий; дневник практики; Отчет по практике
6.	Характеристика на обучающегося по освоению ПК в период практики	Оценочное средство, позволяющее оценить качество освоения профессиональных компетенций в период практики	Характеристика на обучающегося от предприятия

**2.5** Распределение оценочных средств по элементам освоенных умений, усвоенных знаний и их использование в практической деятельности для контроля сформированности компетенций в рамках тем/разделов ПМ по видам аттестации

	Компетенции	Текущий контроль																		Промежуточная аттестация		
		Результаты обучения																				
		Освоенные умения:					Усвоенные знания															
		У1	У2	У3	У4	У5	З1	З2	З3	З4	З5	З6	З7	З8	З9	З10	З11	ПО1	ПО2		ПО3	ПО4
<b>МДК 01.01</b>																		5,6	5,6	5,6	5,6	5
<b>Раздел 1.</b>	ОК 1-5; ОК.9-10; ПК 1.1-;1.2	1		1	2	3		1			3		1			1			1			Квалификационный экзамен
<b>Раздел 3.</b>	ОК 1-5; ОК.9-10; ПК 1.1-;1.2			1				4	1	2	3		1	4		1	3		1		3	
<b>Раздел 4.</b>	ОК 1-5; ОК.9-10; ПК 1.1-;1.2					1					3	1		2	3		1,3		3			
<b>Раздел 5.</b>	ОК 1-5; ОК.9-10; ПК 1.1-;1.2		3	1	3	3			1	3	4	2		4		1			3	3		
<b>Раздел 6.</b>	ОК 1-5; ОК.9-10; ПК 1.1-;1.2		3	1	3		2		3	1		3			1				3		3	
<b>Раздел 7.</b>	ОК 1-5; ОК.9-10; ПК 1.1-;1.2			3		3		1			4		4	1			2	3		3	3	
<b>Раздел 8.</b>	ОК 1-5; ОК.9-10; ПК 1.1-;1.2		3		1	3		2		3		1			2			3		3		
<b>Раздел 9.</b>	ОК 1-5; ОК.9-10; ПК 1.1-;1.2		3	2	3	1,2	3		2		4			1	4	1		2	3	1	3	
<b>Раздел 10.</b>	ОК 1-5;			1						1							1					



	ОК.9-10; ПК 1.1-;1.2																				
<b>Раздел 11.</b>	ОК 1-5; ОК.9-10; ПК 1.1-;1.2		1	3	3				1			4	2		4	1			3	1,3	1
<b>Раздел 12.</b>	ОК 1-5; ОК.9-10; ПК 1.1-;1.2						2						4				4	2	3	3	1,3
<b>Раздел 13.</b>	ОК 1-5; ОК.9-10; ПК 1.1-;1.2		1	3	1	3		1						4	1		4				
<b>Раздел 14.</b>	ОК 1-5; ОК.9-10; ПК 1.1-;1.2		3	1	3		2			1		2		1					3	1	1,3
<b>Раздел 15.</b>	ОК 1-5; ОК.9-10; ПК 1.1-;1.2	1	3	3	2					1		2			4	1	4		3	3	1
<b>Раздел 16.</b>	ОК 1-5; ОК.9-10; ПК 1.1-;1.2		3	1	3			2		1			4	1	3	3	2		1	3	1
<b>Раздел 17.</b>	ОК 1-5; ОК.9-10; ПК 1.1-;1.2	1	3		2	3	1					1	4	2		3	1		3		1
<b>Раздел 18.</b>	ОК 1-5; ОК.9-10; ПК 1.1-;1.2	3	3	1			2	1				4	1		2	1		3	1	3	3
<b>Раздел 19.</b>	ОК 1-5; ОК.9-10; ПК 1.1-;1.2	3	1	3	2	1	3				2			1	4			1	3	3	3
<b>Раздел 20.</b>	ОК 1-5; ОК.9-		3	1	3						1		4						3		3

	10; ПК 1.1-;1.2																			
<b>МДК.01.02</b>																	5,6	5,6	5,6	5,6
<b>Раздел 1</b>	ОК 1-5; ОК.9- 10; ПК 1.1-;1.2	1	3	3			2	1					2	4			1		3	3
<b>Раздел 1</b>	ОК 1-5; ОК.9- 10; ПК 1.1-;1.2		3	3	2		1			2	3	3		1		4		1	3	3

### 3. Комплекты контрольно - оценочных средства по видам аттестации

#### 3.1 Примерное наполнение КОС/КИМ для текущего контроля

<b>Оценочные средства</b>	<b>Комплекты контрольных заданий или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта практической деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций</b>
Собеседование	Вопросы по темам/разделам дисциплины, критерии и шкала оценивания.
Тест	Фонд тестовых заданий, критерии и шкала оценивания.
Практическая работа	Методические указания по практическим работам, критерии и шкала оценивания.
Сообщение /Доклад	Темы докладов, сообщений, критерии и шкала оценивания.
Дифференцированный зачет	Вопросы и билеты к дифференцированному зачету, критерии и шкала оценивания.

#### 3.2 Примерное наполнение КОС/КИМ для промежуточной аттестации

<b>Форма проведения</b>	<b>Комплекты контрольных заданий или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта практической деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций</b>
Дифференцированный зачет.	Вопросы и билеты к дифференцированному зачету,
Защита отчета по практике	Аттестационный лист, характеристика
Комплексный экзамен	критерии и шкала оценивания ответа обучающегося.

**Комплект контрольно-оценочных средств для текущего контроля**

## Практическая работа № 1: Вычисление и сравнение погонных параметров воздушных линий с разными типами опор.

### Раздел 3. Конструктивное выполнение электрических сетей

#### Тема 3.2. Воздушные линии

**Цель занятия:** закрепить понятие ВЛЭП, параметры ВЛЭП, длина пролета, стрела провеса, габарит; марки проводов для ВЛЭП. Погонные параметры проводов: погонное сопротивление, погонная индуктивность, погонная емкость. Сформировать навыки самостоятельной работы при отработке методов решения задач по указанной тематике, пользуясь известными теоретическими положениями, математическим аппаратом, графическими средствами, вычислительной техникой.

#### Оснащение:

1. Справочные таблицы.
2. Формулы, необходимые для расчета.

#### Задание:

Вычислить и сравнить погонные параметры воздушных линий с разными типами опор.

#### Порядок выполнения задания:

1. Проработайте теоретический материал и ответьте на контрольные вопросы.
2. Ознакомьтесь с заданием и выполните его.
3. Оформите результаты работы.

#### Методические указания:

Вопросы теории, рассматриваемые в практической работе: 1. Назначение ВЛЭП. 2. Геометрические параметры ВЛЭП. 3. Длина пролета. 4. Стрела провеса. 5. Погонные параметры проводов.

#### Пример 1:

В связи с реконструкцией распределительной сети на участке длиной 10,0 км планируется замена воздушной линии с номинальным напряжением 6 кВ, выполненной проводом А 50, на ВЛ 10 кВ с проводом АС 50/8. Демонтируемая ВЛ 6 кВ сооружена на одностоечных цельных деревянных опорах с расположением проводов по вершинам равнобедренного треугольника (см.рис.), новая ВЛ 10 кВ спроектирована на одностоечных деревянных опорах с железобетонными приставками и металлическими траверсами, с расположением проводов по вершинам равностороннего треугольника (см.рис.). Требуется сопоставить погонные параметры ВЛ 6 кВ и 10 кВ и их допустимые мощности.

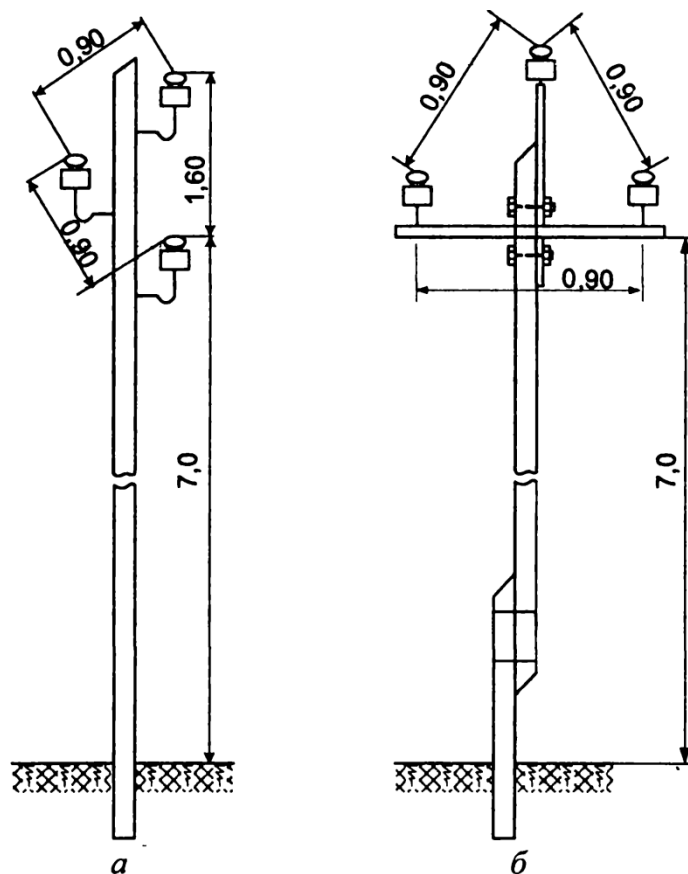
#### Решение

Определим параметры схемы замещения линий, руководствуясь физическими характеристиками проводов и данными конструкции ВЛ. Расчетные параметры сопоставим с табличными.

Примем среднее значение удельного активного сопротивления для алюминиевой проволоки  $\rho = 30 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{км}$  из диапазона 29,0—31,5 с. Тогда погонное активное сопротивление приблизительно можно определить по формуле

$$R_0 = \rho / F = 30 / 50 = 0,600 \text{ Ом}/\text{км}$$

Это значение равнопригодно для проводов А 50 и АС 50/8, так как сопротивление стального троса ( $\rho \approx 130 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{км}$ ) значительно больше алюминиевой части провода, несущей подавляющую токовую нагрузку. Для меньших сечений, например А25 и АС25, различие  $R_0$  более ощутимо.



Промежуточные одностоечные опоры ВЛ на напряжение 6–10 кВ (размеры в метрах)

Уточним значение  $R_0$  по известной марке электротехнической проволоки. Например, для проволоки марки АПТ (полутвердая) имеем  $\rho \approx 29,3 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{км}$ .

Отметим, что фактическая площадь сечения многопроволочных проводов составляет около 98—99% от номинальной. В данном случае для проводов А50 и АС50/8 имеем  $F_{\text{факт}} = 48,2 \text{ мм}^2$ . Тогда с учетом увеличения фактической длины многопроволочных проводов на 2—3 % из-за скрутки и удлинения на 0,1—0,2 % вследствие провеса имеем

$$R_0 = (1,03 - 1,05) \rho / F_{\text{факт}} \approx 1,04 \cdot 29,3 / 48,2 = 0,632 \text{ Ом/км}$$

что незначительно отличается от расчетного значения, полученного по усредненным и номинальным данным.

Из сопоставления расчетного значения  $R_0 = 0,600 \text{ Ом/км}$  с табличными значениями различных источников, лежащих в пределах  $R_0 = 0,592 - 0,65$ , видно, что изменение расчетного значения  $R_0$  находится в пределах погрешности исходных данных о ВЛ, а его величина может быть принята в качестве фактического значения погонного активного сопротивления.

Определим реактивные параметры ВЛ.

Среднегеометрическое расстояние между фазами для ВЛ 6 кВ (рис. 1, а)

$$D_{\text{ср}} = (1,60 \cdot 0,90 \cdot 0,90)^{1/3} = 1,09 \text{ м}$$

для ВЛ 10 кВ (см.рис.)

$$D_{\text{ср}} = (0,90 \cdot 0,90 \cdot 0,90)^{1/3} = 0,90 \text{ м}$$

Не используя справочных данных, фактический радиус многопроволочных проводов можно определить непосредственно по суммарной площади алюминиевой и стальной части проводов, увеличив ее (из-за скрутки многопроволочных проводов) на 10–15 %, для АС 50/8 получим

$$r_{\text{пр}} = 1,15 \cdot \sqrt{\frac{50 + 8}{3,14}} = 4,94 \text{ мм}$$

что соответствует фактическим данным провода

$$r_{\text{пр}} = 9,6 / 2 = 4,8 \text{ мм}$$

Для провода А50 имеем

$$r_{\text{пр}} = 1,15 \cdot \sqrt{\frac{50}{3,14}} = 4,59 \text{ мм}$$

а фактические данные  $r_{\text{пр}} = 4,5 \text{ мм}$  (табл. П 1.9).

С учетом найденных расчетных значений  $D_{\text{ср}}$  и  $r_{\text{пр}}$ , определим погонные индуктивные сопротивления:

для ВЛ 6 кВ

$$X_0 = 0,1441 \cdot \lg \frac{1,09 \cdot 10^3}{4,59} + 0,016 = 0,358 \text{ мм}$$

для ВЛ 10 кВ

$$X_0 = 0,1441 \cdot \lg \frac{0,90 \cdot 10^3}{4,94} + 0,016 = 0,342 \text{ мм}$$

С достаточной точностью для обеих ВЛ можно принять  $X_0=0,35 \text{ Ом/км}$ . Из сопоставления этого результата с табличными значениями для наиболее часто используемых сечений алюминиевых и сталеалюминевых проводов сечением 35, 50, 70 мм<sup>2</sup> для различных конструкций ВЛ 6 и 10 кВ ( $D_{\text{ср}} \approx 1 \text{ м}$ ) видно, что реактивное сопротивление линии  $X_0$  можно рассматривать как константу, характерное значение которой можно принять около 0,35—0,36 Ом/км, не выполняя расчетов, требующих часто оперативно недоступных данных о конструкции конкретной ВЛ, а главное, не дающих для практики значимых уточнений результатов.

Дадим оценку емкостной проводимости линий.

для ВЛ 6 кВ

$$b_0 = \frac{7,58}{\lg \frac{1,09 \cdot 10^3}{4,59}} \cdot 10^{-6} = 3,19 \cdot 10^{-6} \text{ мм}$$

Для ВЛ 10 кВ

$$b_0 = \frac{7,58}{\lg \frac{0,90 \cdot 10^3}{4,94}} \cdot 10^{-6} = 3,35 \cdot 10^{-6} \text{ мм}$$

Примем среднее значение  $b_0 \approx 3,27 \cdot 10^{-6} \text{ См/км}$ . Найденная емкостная проработанность в  $86/3,35 = 25,7$  раза меньше емкостной проводимости кабельной линии того же номинального напряжения.

Зарядная мощность ВЛ будет также в 25,7 раза меньше зарядной мощности кабельной линии того же класса напряжения, влияние которой на режим этой линии оценивается как незначительное. Следовательно, в схеме замещения воздушных линий этим влиянием с еще большим основанием можно пренебречь. Этот вывод с достаточным основанием может быть распространен на ВЛ до 35 кВ включительно.

Индуктивное сопротивление как в данном случае

$$X_0/R_0 = 0,35 / 0,60 \cdot 100\% = 58,3 \%$$

так и для всего диапазона сечений проводов (25—95 мм<sup>2</sup>), применяемых для ВЛ 6, 10 кВ, соизмеримо с активным сопротивлением

$$X_0/R_0 = 0,35 / (0,35 - 1,38) \cdot 100\% = 25 - 100 \%$$

поэтому оно должно быть учтено в схеме замещения, которая представляется в рассматриваемых условиях (рис. 2) продольными активным и индуктивным сопротивлениями:

$$Z = (0,60 + j0,35) \cdot 10,0 = 6,00 + j3,50 \text{ Ом}$$

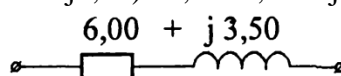


Схема замещения ВЛ 6—10 кВ

Рассматриваемые ВЛ 6кВ и 10кВ характеризуются практически одинаковыми параметрами схемы замещения и предельным током по условиям нагрева, равным 210—215 А, определяемый по табл. П 1.9. Этому току соответствует полная мощность

$$\text{для ВЛ 6 кВ } S_{\text{Max}} = \sqrt{3} \cdot 6,0 \cdot 210 \cdot 1.0^{-3} = 2,18 \text{ МВ}\cdot\text{А},$$

$$\text{для ВЛ 10 кВ } S_{\text{Max}} = \sqrt{3} \cdot 10,0 \cdot 210 \cdot 1.0^{-3} = 2,18 \text{ МВ}\cdot\text{А}.$$

Таким образом, в данном случае перевод ВЛ с 6 кВ на 10 кВ при неизменном сечении проводов увеличивает на две трети предельную мощность электропередачи.

**Форма контроля** – защита практической работы.

**Вопросы для самоконтроля:**

1. Что такое габарит, стрела провеса, длина пролета ВЛ?
2. Какие типы опор применяют и каково их назначение?
3. Для чего заземляются опоры?
4. Что такой анкерный пролет?
5. Как выбирается сечение проводов линии электропередачи?
6. В чём отличие ВЛИ от ВЛЗ?
7. Какие типы изоляторов применяются в сетях до и выше 1000 В?
8. Для чего применяют специальную арматуру?
9. Как соединяются провода воздушной линии?
10. Как расшифровывается марка провода, А-35, АС-70?
11. Приведите пример марки провода СИП2 и расшифруйте его?

**Рекомендуемая литература:**

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для сред.проф.образования /Изд. 2-е.,М. Издательский центр «Академия», 2014.- 320 с.
2. Аркуша А.И. Техническая «Электроснабжение электротехнического оборудования» [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 268 с. — 978-985-503-590-0. <http://www.iprbookshop.ru/67634.html>
3. Аркуша А.И.. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие /А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 88 с. — 978-985-503-582-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67633.html>

## Практическая работа № 2: Определение погонных параметров кабельной линии и вычисление параметров ее схемы замещения

### Раздел 3. Конструктивное выполнение электрических сетей

#### Тема 3.3. Кабельные линии

**Цель занятия:** закрепить понятие кабельных линий электропередачи, погонных параметров кабельной линии, марки кабелей и их особенности, методы прокладки кабельных линий. Сформировать навыки самостоятельной работы при отработке методов решения задач по указанной тематике, пользуясь известными теоретическими положениями, математическим аппаратом, графическими средствами, вычислительной техникой.

**Оснащение:**

1. Таблицы с результатами измерений и вычислений.
2. Формулы, необходимые для расчета.

**Задание:**

Определить погонные параметры кабельной линии и вычислить параметры ее схемы замещения

**Порядок выполнения задания:**

1. Проработайте теоретический материал и ответьте на контрольные вопросы.
2. Ознакомьтесь с заданием и выполните его.
3. Оформите результаты работы.

**Методические указания:**

Вопросы теории, рассматриваемые в практической работе: 1. Понятие кабельных линий электропередачи. 2. Погонные параметры кабельной линии. 3. Марки кабелей и их особенности. 4. Методы прокладки кабельных линий.

**Пример 1:**

Определить погонные параметры кабельной линии длиной 5,0 км с номинальным напряжением 10 кВ, прокладываемой в земле и выполненной кабелем марки СБ 10–3х25, и вычислить параметры схемы замещения этой линии.

**Решение**

Погонные параметры кабеля СБ 10–3х25 с медными жилами сечением 25 мм<sup>2</sup> и номинальным напряжением 10 кВ находим по табл. П1.4.  $R_0 = 0,740$  Ом/км,  $X_0 = 0,099$  Ом/км,  $q_0 = 8,6$  квар/км.

Принимая среднее значение удельного сопротивления для электротехнической меди  $\rho = 17,5—18,5$  Ом мм<sup>2</sup>/км, рассчитываем погонное активное сопротивление кабеля по формуле

$$R_0 = \rho / F = 18,0 / 25 = 0,720 \text{ Ом/км}$$

Используя табличные данные для всей линии, имеем:

$$R = 0,740 \cdot 5,0 = 3,70 \text{ Ом}$$

$$X = 0,099 \cdot 5,0 = 0,50 \text{ Ом}$$

$$Q = 8,6 \cdot 5,0 = 43,0 \text{ квар}$$

Для оценки целесообразности учета емкостной проводимости в схеме замещения

$$B_c = 43,0 / 10^2 \cdot 10^{-3} = 4,3 \cdot 10^{-6} \text{ См}$$

сопоставим зарядную мощность, определяемую этой проводимостью, с длительно допустимой нагрузкой.

Длительно допустимый ток по нагреву для рассматриваемого кабеля равен 120 А .

Этому току соответствует полная мощность:



$$S_{\text{Max}} = \sqrt{3} \cdot 10,0 \cdot 120 = 2078 \text{ кВ}\cdot\text{А},$$

Следовательно,

$$Q_c / S_{\text{Max}} = 43,0 / 2078 \cdot 100\% = 2,07 \%$$

Полученная величина зарядной мощности не может оказать заметного влияния на результаты расчетов электрических режимов распределительной сети 10 кВ, хотя и соизмерима с мощностью небольших потребителей этих сетей. Поэтому можно эту мощность не учитывать и исключить из схемы замещения емкостную проводимость.

Для индуктивного сопротивления имеем:

$$X/R = 0,50 / 3,70 \cdot 100\% = 13,5 \text{ 100 \%}$$

Индуктивное сопротивление представляет заметную величину, поэтому должно быть учтено в схеме замещения (см.рис.), содержащей продольные активное и индуктивное сопротивления.

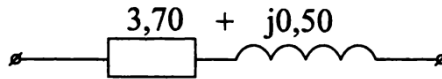


Схема замещения кабельной линии 10 кВ

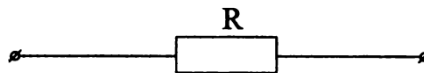


Схема замещения кабельной линии с жилами относительно небольшого сечения

**Форма контроля** – защита практической работы.

#### Вопросы для самоконтроля:

1. Для каких целей используют схемы замещения?
2. При решении каких задач целесообразно применение П- или Т-образных схем замещения? В чем состоят преимущества и недостатки этих схем?
3. Какова физическая сущность активного сопротивления ЛЭП? Как и в каком случае следует учитывать температуру провода?
4. Каков физический смысл индуктивного сопротивления воздушных и кабельных линий? Почему для линий одного исполнения и класса напряжения индуктивные сопротивления практически одинаковые, незначительно зависящие от сечения проводов и жил фаз? Какие характерные значения этих сопротивлений для ЛЭП различных напряжений?
5. Как определить удельные (на 1 км) активное и индуктивное сопротивления ВЛ, не используя справочников? Что для этого нужно знать? Приведите примеры графических зависимостей этих сопротивлений от площади сечения провода.

#### Рекомендуемая литература:

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для сред.проф.образования /Изд. 2-е.,М. Издательский центр «Академия», 2014.- 320 с.
2. Аркуша А.И. Техническая «Электроснабжение электротехнического оборудования» [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 268 с. — 978-985-503-590-0. <http://www.iprbookshop.ru/67634.html>
3. Аркуша А.И.. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие /А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 88 с. — 978-985-503-582-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67633.html>

## Практическая работа № 3: Расчет влияния мощности трансформатора и класса его напряжения на сопротивление обмоток.

### Раздел 4. Основное электрооборудование электрических подстанций

#### Тема 4.1. Силовые трансформаторы, автотрансформаторы и преобразовательные агрегаты

**Цель занятия:** закрепить понятие полной мощности трансформатора, способа соединения его обмоток, вида изолирующей среды. Сформировать навыки самостоятельной работы при отработке методов решения задач по указанной тематике, пользуясь известными теоретическими положениями, математическим аппаратом, графическими средствами, вычислительной техникой.

#### Оснащение:

1. Таблицы с результатами измерений и вычислений.
2. Формулы, необходимые для расчета.

#### Задание:

Произвести расчет зависимости сопротивления обмоток трансформатора от его мощности.

#### Порядок выполнения задания:

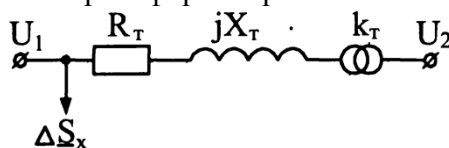
1. Проработайте теоретический материал и ответьте на контрольные вопросы.
2. Ознакомьтесь с заданием и выполните его.
3. Оформите результаты работы.

#### Методические указания:

Вопросы теории, рассматриваемые в практической работе: 1. Понятие полной мощности трансформатора. 2. Способы соединения обмоток трансформатора. 3. Виды изолирующей среды. 4. Применение понижающих и повышающих трансформаторов.

#### Пример 1:

Трехфазный двухобмоточный трансформатор типа ТМ выпускают на два класса напряжения (10 кВ и 6 кВ). Определить параметры схем замещения трансформаторов ТМ-100/10 (см. рис.) и проанализировать, как влияет при одинаковой номинальной мощности класс напряжения обмотки ВН на сопротивление и проводимость трансформатора.



#### Решение

Паспортные данные для трансформатора ТМ-100/10 :

$$S_{\text{ном}} = 100 \text{ кВА}, U_{\text{вн}} = 10 \text{ кВ}, U_{\text{нн}} = 0,4 \text{ кВ}, \\ \Delta P_k = 1,97 \text{ кВт}, \Delta P_x = 0,36 \text{ кВт}, u_k = 4,5 \%, I_x = 2,6 \%$$

Определим параметры продольной ветви схемы замещения. Активное сопротивление трансформатора, приведенное к напряжению высшей обмотки,

$$R = \frac{\Delta P_x U_H^2}{S_{\text{ном}}^2} \cdot 10^{-3} = \frac{1,97 \cdot 10^2}{100^2} \cdot 10^3 = 19,7 \text{ Ом} \quad (1)$$

Полное сопротивление

$$Z = \frac{u_k U_H^2 \cdot 10^3}{100 \cdot S_{\text{ном}}} = \frac{4,5 \cdot 10^2}{100^2} \cdot 10^3 = 45,0 \text{ Ом} \quad (2)$$

Реактивное сопротивление

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{45,0^2 - 19,7^2} = 40,5 \text{ Ом}$$

Идеальный трансформатор в схеме замещения характеризуется коэффициентом трансформации, принимающим номинальное значение в центральном положении переключателя (ПБВ  $\pm 2 \times 2,5 \%$ ):

$$k_{\text{ном}}^T = U_{\text{вн}} / U_{\text{нн}} = 10 / 0,4 = 25$$

и изменяющимся в трансформаторе с ответвлениями:

$$U_{\text{отб}}^{\text{min}} = 9,5 \text{ кВ и } U_{\text{отб}}^{\text{max}} = 10,5 \text{ кВ}$$

в интервале

$$k_{\text{min}}^T - k_{\text{max}}^T = 9,5/0,4 - 10,5/0,4 = 23,75 - 26,25$$

При расчете электрических режимов на ЭВМ номинальная трансформация задается в виде

$$k_{\text{ном}}^T = U_{\text{нн}} / U_{\text{вн}} = 0,4 / 10 = 0,04$$

Смена положения ПБВ, выполняемая, как правило, посезонно, изменяет количество рабочих витков обмотки ВН и, следовательно, значения сопротивлений  $R$ ,  $X$  трансформатора. С учетом выражений (1) и (2) наибольшее изменение сопротивлений составит

$$\delta Z_T = (1,05^2 - 0,95^2) Z_T \approx 0,2 Z_T,$$

т.е. каждое переключение на одно ответвление изменяет сопротивления трансформатора примерно на 5% и может оказать существенное влияние на режим в низковольтных сетях.

Параметры поперечной ветви:

активная проводимость, См

$$R = \frac{\Delta P_x}{U_H^2} \cdot 10^{-3} = \frac{0,36}{10^2} \cdot 10^{-3} = 3,6 \cdot 10^{-6}$$

реактивные потери холостого хода, квар

$$\Delta Q_x = \frac{I_x \cdot S_{\text{ном}}}{100} = \frac{2,6 \cdot 100}{100} = 2,6$$

реактивная (индуктивная) проводимость, См

$$B = \frac{\Delta Q_{xx}}{U_H^2} \cdot 10^{-3} = \frac{2,60}{10^2} \cdot 10^{-3} = 26,0 \cdot 10^{-6}$$

Потери холостого хода трансформатора при номинальном питающем напряжении, кВ·А

$$\Delta S_x = \Delta P_x + j \Delta Q_x = 0,36 + j2,60$$

**Форма контроля – защита практической работы.**

**Вопросы для самоконтроля:**

1. Каково назначение повышающих и понижающих трансформаторов? Для чего в электроэнергетических системах осуществляется трансформация электрического напряжения?
2. Какие используют условные изображения двух-, трехобмоточных силовых трансформаторов и автотрансформаторов? Как при изображении указываются схемы соединений обмоток?
3. Чем определяется возможность регулирования или изменения напряжения?
4. Каким образом в схемах замещения двухобмоточных трансформаторов учитываются сопротивления отдельных обмоток?
5. В каких случаях используются упрощенные схемы замещения трансформаторов? В чем суть этих упрощений?

**Рекомендуемая литература:**

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для сред.проф.образования /Изд. 2-е., М. Издательский центр «Академия», 2014.- 320 с.
2. Аркуша А.И. Техническая «Электроснабжение электротехнического оборудования» [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. —

Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 268 с. — 978-985-503-590-0. <http://www.iprbookshop.ru/67634.html>

3. Аркуша А.И.. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие /А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 88 с. — 978-985-503-582-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67633.html>

## **Практическая работа № 4: Определение параметров схем замещения трансформатора.**

### **Раздел 4. Основное электрооборудование электрических подстанций**

#### **Тема 4.1. Силовые трансформаторы, автотрансформаторы и преобразовательные агрегаты**

**Цель занятия:** закрепить понятие схемы замещения трансформатора, освоить методику составления схемы замещения трансформатора и алгоритм ее расчета. Сформировать навыки самостоятельной работы при отработке методов решения задач по указанной тематике, пользуясь известными теоретическими положениями, математическим аппаратом, графическими средствами, вычислительной техникой.

#### **Оснащение:**

1. Таблицы с результатами измерений и вычислений.
2. Формулы, необходимые для расчета.

#### **Задание:**

Составить схему замещения трансформатора и определить его параметры.

#### **Порядок выполнения задания:**

1. Проработайте теоретический материал и ответьте на контрольные вопросы.
2. Ознакомьтесь с заданием и выполните его.
3. Оформите результаты работы.

#### **Методические указания:**

Вопросы теории, рассматриваемые в практической работе: 1.Схемы замещения трансформатора. 2. Методика составления схемы замещения трансформатора. 3.Алгоритм расчета схемы замещения трансформатора.

#### **Пример 1:**

Определить параметры схемы замещения с учетом трансформации трансформатора ТМЗ-1000/10 со следующими паспортными данными:

$$S_{\text{НОМ}} = 1000 \text{ кВ}\cdot\text{А}, \quad U_{\text{ВН}} = 10 \text{ кВ}, \quad U_{\text{НН}} = 0,4 \text{ кВ}, \\ \Delta P_{\text{К}} = 12,2 \text{ кВт}, \quad \Delta P_{\text{Х}} = 2,45 \text{ кВт}, \quad U_{\text{Х}} = 5,5 \%, \quad I_{\text{Х}} = 1,4\%.$$

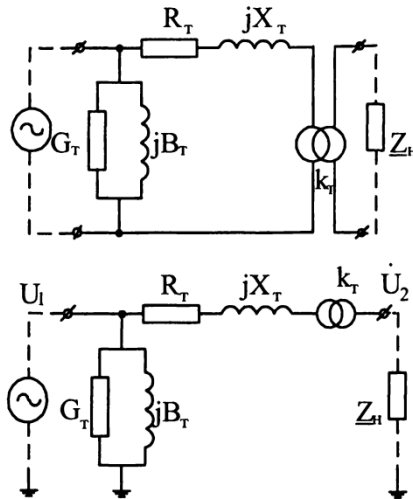


Схема замещения трансформатора.

### Решение

Активное сопротивление

$$R = \frac{\Delta P_k U_H^2}{S_{\text{ном}}^2} \cdot 10^3 = \frac{12,2 \cdot 10^2}{1000^2} \cdot 10^3 = 1,22 \text{ Ом}$$

Полное сопротивление

$$Z = \frac{U_k U_H^2 \cdot 10^3}{100 \cdot S_{\text{ном}}} = \frac{5,5 \cdot 10^2}{100 \cdot 1000} \cdot 10^3 = 5,50 \text{ Ом}$$

Реактивное сопротивление

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{5,05^2 - 1,22^2} = 5,36 \text{ Ом}$$

незначительно отличается от полного сопротивления

$$Z = R + jX = 1,22 + j5,36 \text{ Ом}$$

Активная проводимость

$$G = \frac{\Delta P_x}{U_H^2} = \frac{2,45 \cdot 10^2}{10^2} \cdot 10^{-3} = 24,5 \text{ См}$$

Реактивная проводимость, См

$$B = \frac{\Delta Q_x}{U_H^2} = \frac{I_x \cdot S_{\text{ном}} \cdot 10^{-3}}{100 \cdot U_H^2} = \frac{1,4 \cdot 1000}{100 \cdot 10^2} \cdot 10^{-3} = 140 \cdot 10^{-6}$$

Полная проводимость трансформатора

$$Y = G - jB = (24,5 - j140) \cdot 10^{-6} \text{ См}$$

Номинальный коэффициент трансформации

$$k = U_{\text{вн}} / U_{\text{нн}} = 10 / 0,4 = 25$$

Найденные параметры схемы замещения приведены к ВН. Со стороны НН параметры можно определить путем их пересчета через коэффициент трансформации:

$$Z' = Z \frac{1}{k_{\text{ном}}^2} = (1,22 + j5,36) \frac{1}{25^2} = (1,25 + j8,58) \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$$

$$Y' = Y \cdot k_{\text{ном}}^2 = (24,5 - j140) \cdot 25^2 = (15,3 - j87,5) \cdot 10^{-3} \text{ См}$$

или непосредственно по вышеприведенным выражениям, используя вместо номинального напряжение обмотки НН.

В данной задаче рассматривался трансформатор того же класса напряжения, что и в предыдущей, только более мощный. С увеличением номинальной мощности трансформаторов возрастает (в данном случае до 4,5 раз) соотношение между индуктивным и активным сопротивлениями и для трансформаторов мощностью более 1000 кВА с приемлемой погрешностью можно принять  $X \approx Z$ .

**Форма контроля** – защита практической работы.

**Вопросы для самоконтроля:**

1. Что относится к паспортным (каталожным) данным двухобмоточных трансформаторов?
2. Какими схемами замещения моделируется двухобмоточный трансформатор? Как в них учитывается магнитная связь обмоток?
3. Как в схемах замещения двухобмоточных трансформаторов показывается трансформация? В каком интервале она может изменяться в трансформаторах с ПБВ и РПН?
4. Каким образом в схемах замещения двухобмоточных трансформаторов учитываются сопротивления отдельных обмоток?
5. В каких случаях используются упрощенные схемы замещения трансформаторов? В чем суть этих упрощений?

**Рекомендуемая литература:**

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для сред.проф.образования /Изд. 2-е., М. Издательский центр «Академия», 2014.- 320 с.
2. Аркуша А.И. Техническая «Электроснабжение электротехнического оборудования» [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 268 с. — 978-985-503-590-0. <http://www.iprbookshop.ru/67634.html>
3. Аркуша А.И.. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие /А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 88 с. — 978-985-503-582-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67633.html>

**Практическая работа № 5: Определение параметров эквивалентной схемы замещения двух параллельно работающих трансформаторов.**

**Раздел 4. Основное электрооборудование электрических подстанций**

**Тема 4.1. Силовые трансформаторы, автотрансформаторы и преобразовательные агрегаты**

**Цель занятия:** закрепить понятие условий и режимов двух трансформаторов, работающих параллельно на одну нагрузку (примерное равенство мощностей трансформаторов, примерное равенство выходных напряжений, полное равенство фаз выходных напряжений). Сформировать навыки самостоятельной работы при отработке методов решения задач по указанной тематике, пользуясь известными теоретическими положениями, математическим аппаратом, графическими средствами, вычислительной техникой.

**Оснащение:**

1.таблицы технических параметров трансформаторов.

**Задание:**

Составить эквивалентную схему замещения двух параллельно работающих трансформаторов и определить параметры системы.

**Порядок выполнения задания:**

1. Проработайте теоретический материал и ответьте на контрольные вопросы.
2. Ознакомьтесь с заданием и выполните его.
3. Оформите результаты работы.

**Методические указания:**

Вопросы теории, рассматриваемые в практической работе: 1. Максимально возможные величины отличий трансформаторов по мощности, при которых допускается их параллельная работа. 2. Максимально возможные величины отличий трансформаторов по выходному напряжению. 3. Максимально возможные величины отличий трансформаторов по фазе выходных напряжений, при которых возможна параллельная работа.

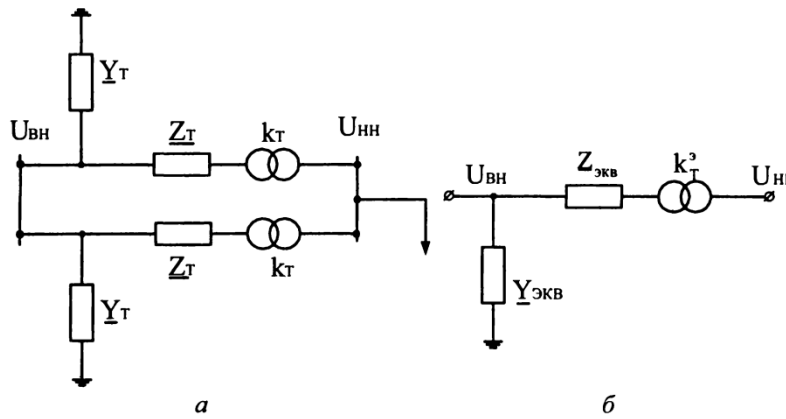
**Пример 1:**

На подстанции установлены два понижающих двухобмоточных трансформатора типа ТДН-16000/110, которые имеют следующие паспортные данные:

$$S_{НОМ} = 16000 \text{ кВ}\cdot\text{А}, \quad U_{ВН} = 110 \text{ кВ}, \quad U_{НН} = 6,6 \text{ кВ},$$

$$\Delta P_K = 85 \text{ кВт}, \quad \Delta P_X = 19 \text{ кВт}, \quad U_K = 10,5 \%, \quad I_x = 0,7\%.$$

Определить параметры эквивалентной схемы замещения двух параллельно работающих трансформаторов:



Исходная (а) и эквивалентная (б) схемы замещения двух понижающих трансформаторов.

**Решение**

Определим сопротивления трансформаторов по параметрам опыта короткого замыкания:

$$R = \frac{\Delta P_x U_H^2}{S_{НОМ}^2} \cdot 10^3 = \frac{85 \cdot 110^2}{16000^2} \cdot 10^3 = 4,02 \text{ Ом}$$

$$Z = \frac{U_K U_H^2 \cdot 10^3}{100 \cdot S_{НОМ}} = \frac{10,5 \cdot 110^2}{16000^2} \cdot 10^3 = 79,41 \text{ Ом}$$

Номинальный коэффициент трансформации

$$k_{НОМ} = U_{ВН} / U_{НН} = 110 / 6,6 = 16,67$$

Проводимость определяется по результатам опыта холостого хода.

Активная проводимость

$$G = \frac{\Delta P_x}{U_H^2} = \frac{19}{110^2} \cdot 10^{-3} = 1,57 \cdot 10^{-6} \text{ См}$$

Реактивная проводимость

$$B = \frac{\Delta Q_{xx}}{U_H^2} = \frac{I_x \cdot S_{НОМ} \cdot 10^{-3}}{100 \cdot U_H^2} = \frac{0,7 \cdot 16000}{100 \cdot 110^2} \cdot 10^{-3} = 9,26 \cdot 10^{-6} \text{ См}$$

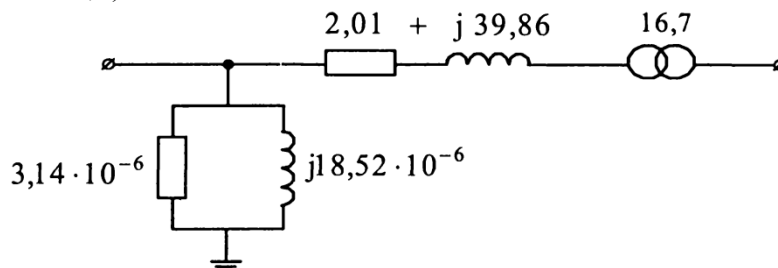
Определим полное эквивалентное сопротивление для двух параллельно работающих трансформаторов:

$$Z = \frac{Z}{n} = \frac{R + jX}{2} = \frac{4,02 + j79,71}{2} = 2,01 + j39,86 \text{ Ом}$$

Эквивалентная проводимость

$$\underline{Y}_{\text{эkv}} = n_{\tau} \cdot \underline{Y} = 2(1,57 - j9,26) \cdot 10^{-6} = (3,14 - j18,52) \cdot 10^{-6} \text{ См}$$

На параллельную работу включаются трансформаторы с одинаковыми коэффициентами трансформации ( $k_{\tau}^{\text{э}} = k = 16,7$ ).



Эквивалентная схема замещения двух параллельно включенных двухобмоточных трансформаторов

Из полученных результатов видно, что с увеличением напряжения и мощности трансформаторов возрастает соотношение между реактивным и активным сопротивлениями, и в данном случае оно составляет уже 19,8 раза. Увеличение различия между значениями активной и реактивной проводимостей с ростом номинальной мощности и напряжения не столь существенно.

**Форма контроля** – защита практической работы.

#### Вопросы для самоконтроля:

1. В сетях каких напряжений применяют автотрансформаторы? Почему?
2. На какие номинальные напряжения и мощности изготавливают в настоящее время трансформаторы?
3. При каких соотношениях напряжений применение трансформаторов становится наиболее выгодным? Почему? Что характеризует коэффициент выгодности?
4. Что понимается под номинальной и типовой мощностями трансформатора? Что они характеризуют?

#### Рекомендуемая литература:

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для сред. проф. образования /Изд. 2-е., М. Издательский центр «Академия», 2014.- 320 с.
2. Аркуша А.И. Техническая «Электроснабжение электротехнического оборудования» [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 268 с. — 978-985-503-590-0. <http://www.iprbookshop.ru/67634.html>
3. Аркуша А.И.. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие /А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 88 с. — 978-985-503-582-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67633.html>



## Практическая работа № 6: Определение годового потребления электроэнергии, значения средней нагрузки и показателя плотности электропотребления по годовому графику электрических нагрузок.

### Раздел 8. Характеристики графиков нагрузки элементов систем электроснабжения

#### Тема 8.3. Математическое описание электрических нагрузок

**Цель занятия:** закрепить понятие годового потребления электроэнергии, значение средней нагрузки, показателя плотности электропотребления. Сформировать навыки самостоятельной работы при отработке методов решения задач по указанной тематике, пользуясь известными теоретическими положениями, математическим аппаратом, графическими средствами, вычислительной техникой.

#### Оснащение:

1.Справочные таблицы электропотребления типовых электроприемников.

#### Задание:

Определить годовое потребление электроэнергии, значение средней нагрузки и показателя плотности электропотребления по годовому графику электрических нагрузок.

#### Порядок выполнения задания:

1. Проработайте теоретический материал и ответьте на контрольные вопросы.
2. Ознакомьтесь с заданием и выполните его.
3. Оформите результаты работы.

#### Методические указания:

Вопросы теории, рассматриваемые в практической работе: 1.Понятие годового потребления электроэнергии. 2.Значение средней нагрузки. 3.Показатель плотности электропотребления.

#### Пример 1:

К двухцепной линии электропередачи напряжением  $U=110$  кВ длиной  $L=40$  км, выполненной маркой провода АС 120/19, подключена нагрузка, режим работы которой характеризуется годовым графиком нагрузки по продолжительности, приведенным в табл. 1. Наибольшая передаваемая активная мощность  $P_{нб} = 60$  МВт.

Таблица 1. Характеристика годового графика нагрузки по продолжительности

Номера ступеней графика	1	2	3	4
Величина нагрузки в долях от наибольшей передаваемой активной мощности	1,0	0,80	0,60	0,40
Длительность ступеней, ч	1000	2000	3000	2760
Коэффициент мощности	0,90	0,85	0,82	0,79

Определить годовые нагрузочные потери электроэнергии следующими методами:

- характерных режимов;
- среднеквадратичных параметров.

Вычислить различия в потерях энергии (в процентах) по различным методам, приняв за эталонный метод характерных режимов.

#### Решение

Для заданной марки провода найдем из справочника удельное активное сопротивление  $r_0 = 0,27$  Ом/км. Сопротивление одной цепи

$$R_1 = r_0 L = 0,27 \cdot 40 = 10,8 \text{ Ом},$$

а двух параллельных цепей  $R = 0,5 R_1 = 0,5 \cdot 10,8 = 5,4 \text{ Ом}.$

Для вычисления потерь электроэнергии по методу характерных режимов воспользуемся формулой (1), приняв в качестве характерных режимов каждую из ступеней заданного годового графика нагрузки по продолжительности

$$\Delta W = \sum_{j=1}^4 \Delta P_j \Delta t_j$$

где  $\Delta P_j$  — потери мощности при нагрузке  $P_j$   $j$ -й ступени графика нагрузки по продолжительности;  $\Delta t_j$  — длительность  $j$ -й ступени.

На каждой ступени графика потери мощности найдем по формуле:

$$\Delta P_j = \frac{P_j^2}{U^2 \cos^2 \varphi_j} \cdot R$$

В результате получим:

$$\begin{aligned} \Delta W = & \frac{60^2}{110^2 \cdot 0,90^2} \cdot 5,4 \cdot 1000 + \frac{(60 \cdot 0,80)^2}{110^2 \cdot 0,85^2} \cdot 5,4 \cdot 2000 + \frac{(60 \cdot 0,60)^2}{110^2 \cdot 0,82^2} \cdot 5,4 \cdot 3000 + \\ & + \frac{(60 \cdot 0,40)^2}{110^2 \cdot 0,79^2} \cdot 5,4 \cdot 2760 = 8547 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \end{aligned} \quad \text{На}$$

основании графика нагрузки по продолжительности определим энергию, переданную по линии

$$W_a = \sum_{j=1}^4 P_j \Delta t_j = 60 \cdot 1000 + 60 \cdot 0,80 \cdot 2000 + 60 \cdot 0,60 \cdot 3000 + 60 \cdot 0,40 \cdot 2760 = 330240 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Тогда потери электроэнергии в процентах от передаваемой мощности составят

$$\Delta W = \frac{8547}{330240} \cdot 100\% = 2,6\%$$

Из графика нагрузки по продолжительности определим время использования наибольшей активной мощности и наибольшей полной мощности

$$T_{\text{нб}} = \frac{\sum_{j=1}^4 \frac{P_j \Delta t_j}{\cos \varphi_j}}{P_{\text{нб}} / \cos \varphi_{\text{нб}}} = \frac{\frac{60}{0,90} 1000 + \frac{60 \cdot 0,80}{0,85} 2000 + \frac{60 \cdot 0,60}{0,82} 3000 + \frac{60 \cdot 0,40}{0,79} 2760}{60} = 5924 \text{ ч}$$

Для определения потерь электроэнергии по методу среднеквадратичных параметров сначала из графика нагрузки по продолжительности найдем среднеквадратичную мощность:

$$\begin{aligned} S_{\text{ск}} &= \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^4 S_j^2 \Delta t_j}{T}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^4 \frac{P_j^2 \Delta t_j}{\cos^2 \varphi_j}}{T}} = \\ &= \sqrt{\frac{\left(\frac{60}{0,90}\right)^2 3000 + \left(\frac{60 \cdot 0,80}{0,85}\right)^2 2000 + \left(\frac{60 \cdot 0,60}{0,82}\right)^2 3000 + \left(\frac{60 \cdot 0,40}{0,79}\right)^2 2760}{}} = 46,7 \text{ МВ} \cdot \text{А} \end{aligned}$$

Среднеквадратичный ток

$$I_{\text{нб}} = \frac{S_{\text{нб}}}{\sqrt{3}U} = \frac{46,7 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 110} = 246 \text{ А}$$

Тогда годовые потери электроэнергии по формуле

$$\Delta W_1 = 3I_{\text{ск}}^2 RT = 3 \cdot 246^2 \cdot 5,4 \cdot 8760 \cdot 10^{-6} = 8588 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Погрешность относительно результата по методу характерных режимов составляет:

$$\delta \Delta W_1 = \frac{8588 - 8547}{8547} 100\% = 0,48\%$$

Найдем значение тока в режиме наибольших нагрузок

$$I_{\text{fá}} = \frac{S_{\text{fá}}}{\sqrt{3}U} = \frac{60}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 0,90} = 350 \text{ A}$$

Определим среднеквадратичный ток по формуле

$$I_{\text{ск2}} = 350(0,12 + 5924 \cdot 10^{-4}) = 249 \text{ A.}$$

Тогда потери электроэнергии

$$\Delta W_2 = 3 \cdot 249^2 \cdot 5,4 \cdot 8760 \cdot 10^{-6} = 8799 \text{ МВт}\cdot\text{ч}$$

а погрешность

$$\delta \Delta W_2 = \frac{8799 - 8547}{8547} 100\% = 2,9\%$$

Таким образом, использование эмпирической формулы приводит к большей погрешности, чем при вычислении среднеквадратичного тока по графику нагрузки.

**Форма контроля** – защита практической работы.

**Вопросы для самоконтроля:**

1. Как определить коэффициент полезного действия электрической сети?
2. С чем связаны коммерческие потери электроэнергии?
3. Какие потери электроэнергии относятся к техническим?
4. Какие факторы выступают в качестве конкурирующих при выборе путей рационального построения электрической сети?
5. В чем заключается структурный анализ потерь электроэнергии?

**Рекомендуемая литература:**

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для сред. проф. образования /Изд. 2-е., М. Издательский центр «Академия», 2014.- 320 с.
2. Аркуша А.И. Техническая «Электроснабжение электротехнического оборудования» [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 268 с. — 978-985-503-590-0. <http://www.iprbookshop.ru/67634.html>
3. Аркуша А.И.. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие /А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 88 с. — 978-985-503-582-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67633.html>

## **Практическая работа № 7: Построение суточного графика электрической нагрузки многоквартирного дома по показаниям трехфазного счетчика электроэнергии**

### **Раздел 10. Расчетные электрические нагрузки городских электрических сетей**

#### **Тема 10.1. Расчетные электрические нагрузки жилых зданий**

**Цель занятия:** освоить методику построения суточного графика электрической нагрузки многоквартирного дома. Сформировать навыки самостоятельной работы при отработке методов решения задач по указанной тематике, пользуясь известными теоретическими положениями, математическим аппаратом, графическими средствами, вычислительной техникой.

**Оснащение:**

1. Методические материалы по расчету электрической нагрузки многоквартирных жилых домов.

**Задание:**

Построить суточный график электрической нагрузки многоквартирного дома по показаниям трехфазного счетчика электроэнергии

**Порядок выполнения задания:**

1. Проработайте теоретический материал и ответьте на контрольные вопросы.
2. Ознакомьтесь с заданием и выполните его.
3. Оформите результаты работы.

**Методические указания:**

Вопросы теории, рассматриваемые в практической работе: 1. Электрическая нагрузка. 2. Методика построения суточного графика электрической нагрузки многоквартирного дома.

**Пример 1:**

По показаниям трехфазного счетчика электроэнергии (табл. 1), установленного на вводе многоквартирного дома, построить суточный график электрической нагрузки здания. Определить характеристики неравномерности электропотребления. Пересчетный коэффициент счетчика равен 40 (полукошвенное включение через трансформаторы тока с трансформацией 200/5).

Показания счетчика электроэнергии

Время замеров, ч	0	4	8	12	16	20	24
Показания счетчика, кВт ч	2013,0	2016,7	2021,5	2031,7	2037,1	2051,2	2062,5

**Решение;**

Суточный график нагрузки многоквартирного дома по данным замеров (табл. 1), представлен на рис. 7 шестью 4-часовыми интервалами осреднения. Средняя мощность на каждом j-м интервале

$$P_j = \frac{W_{j+1} - W_j}{\Delta t} \cdot k_n, j = 0,6$$

определена с учетом пересчетного коэффициента  $k_n$  счетчика.

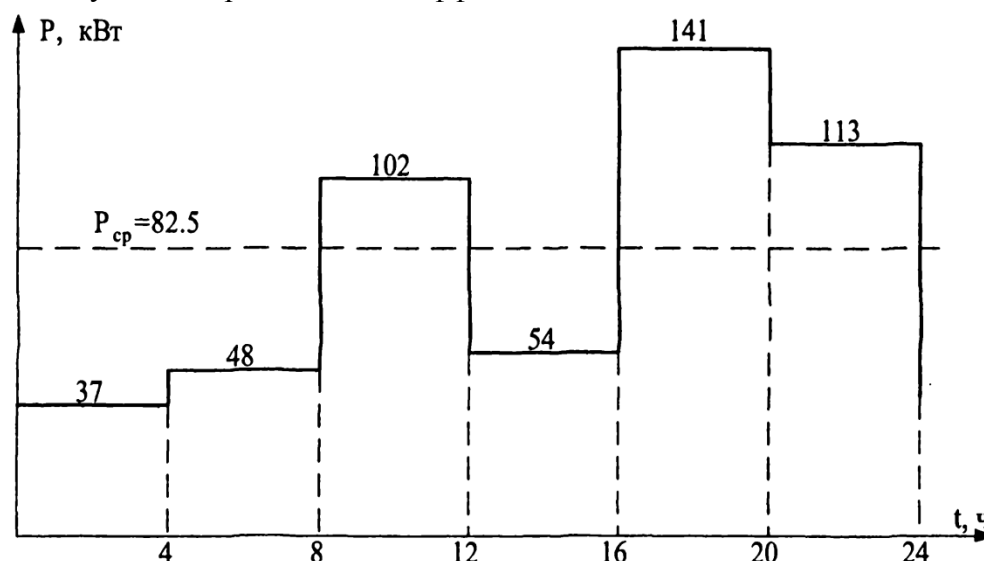


График нагрузки, построенный по показаниям счетчика электроэнергии

Электроэнергия, потребленная домом за сутки, определяется разностью первого и последнего показаний счетчика ЭЭ с учетом пересчетного коэффициента (коэффициента

трансформации)

$$W = (W_6 - W_0) \cdot k_n = (2062,5 - 2013,0) \cdot 40 = 1980 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

или непосредственным суммированием мощностей по графику электрической нагрузки (рис. 7)

$$W = \Delta t \sum_{j=1}^6 P_j = 4,0 \cdot (37 + 48 + 102 + 54 + 141 + 113) = 1980 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Определим показатели, характеризующие неравномерность электропотребления.

Время использования максимума

$$T_{\text{ис}} = \frac{W}{P_{\text{макс}}} = \frac{1980}{141} = 14,0 \text{ ч}$$

Значения средней нагрузки

$$P_{\text{ср}} = \frac{W}{T} = \frac{1980}{24} = 82,5 \text{ кВт}$$

и среднеквадратичной мощности

$$P_{\text{скв}} = \sqrt{\frac{\Delta t}{T} \sum_{j=1}^6 P_j^2} = \sqrt{\frac{4,0}{24} (37^2 + 48^2 + 102^2 + 54^2 + 141^2 + 113^2)} = 91,0 \text{ кВт}$$

позволяет определить коэффициент формы

$$k_{\text{ф}} = P_{\text{скв}} / P_{\text{ср}} = 91,0 / 82,5 = 1,10$$

и коэффициент заполнения суточного графика

Значение последнего можно также определить с помощью времени использования максимума нагрузки

$$K_3 = T_{\text{ис}} / T = 14,0 / 24 = 0,585$$

Коэффициент неравномерности электропотребления

$$K_{\text{нр}} = P_{\text{макс}} / P_{\text{ис}} = 141 / 113 = 1,248$$

Полученные показатели отражают значительную неравномерность и малую плотность электропотребления в многоквартирном доме в течение суток.

**Форма контроля** – защита практической работы.

### Вопросы для самоконтроля:

1. Какими способами можно определить средние нагрузки сети?
2. Что учитывает коэффициент формы графика нагрузки?
3. Что понимается под среднеквадратичным током и среднеквадратичной мощностью?
4. Какие имеются связи между среднеквадратичным током и параметрами графиков нагрузки?

### Рекомендуемая литература:

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для сред. проф. образования / Изд. 2-е., М. Издательский центр «Академия», 2014.- 320 с.
2. Аркуша А.И. Техническая «Электроснабжение электротехнического оборудования» [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И. Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 268 с. — 978-985-503-590-0. <http://www.iprbookshop.ru/67634.html>
3. Аркуша А.И.. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И. Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 88 с. — 978-985-503-582-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67633.html>

## Практическая работа № 8: Определение потерь мощности и годовых потерь электроэнергии на ВЛЭП.

### Раздел 11. Определение расхода и потерь электроэнергии

#### Тема 11.2. Потери активной электроэнергии на передачу в электрических сетях

**Цель занятия:** закрепить понятие потерь мощности и потерь электроэнергии. Сформировать навыки самостоятельной работы при отработке методов решения задач по указанной тематике пользуясь известными теоретическими положениями, математическим аппаратом, графическими средствами, вычислительной техникой.

#### Оснащение:

1. Таблицы с результатами измерений и вычислений.
2. Формулы, необходимые для расчета.

#### Задание:

Определить потери мощности и годовые потери электроэнергии на ВЛЭП.

#### Порядок выполнения задания:

1. Проработайте теоретический материал и ответьте на контрольные вопросы.
2. Ознакомьтесь с заданием и выполните его.
3. Оформите результаты работы.

#### Методические указания:

Вопросы теории, рассматриваемые в практической работе: 1. Потери мощности. 2. Годовые потери электроэнергии.

#### Пример 1:

Определить потери мощности и годовые потери электроэнергии для сети, показанной на рис, методом характерных режимов и по времени максимальных потерь. ВЛЭП длиной 150 км выполнена проводом сечением АС-330х3 на стальных опорах, в узле 2 установлена группа однофазных автотрансформаторов 3хАОДЦТН-167000/500/220. Напряжение в питающем узле 515 кВ. Нагрузки, показанные на схеме, соответствуют максимальному режиму, суточные графики нагрузок узлов 4 и 5 совпадают по конфигурации и неизменны в течение года. Графики нагрузок приведены на рис.

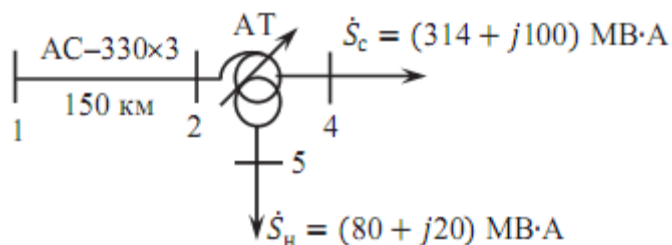


Схема сети

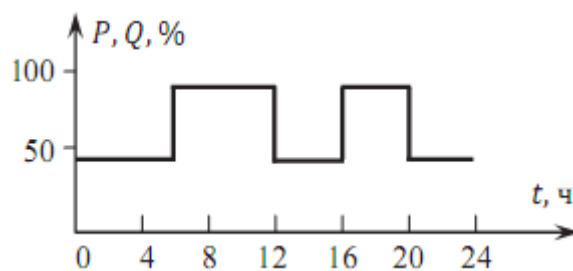


График нагрузки

**Решение.**

Расчет параметров схемы замещения сети (рис. 2.3).

Параметры линии АС-330и3 выбраны по табл. 1.3.17–1.3.19 [2, с. 29–31]:

$$R_0 = 0,029 \text{ Ом/км}; \quad X_0 = 0,308 \text{ Ом/км}; \quad B_0 = 3,6 \cdot 10^{-6} \text{ См/км}$$

$$\Delta P_{\text{ик.о}} = (2,7; 10,0; 33,0) \text{ кВт/км}; \quad \Delta P_{\text{вт.о}} = (0,156; 1,44; 2,40) \text{ кВт/км};$$

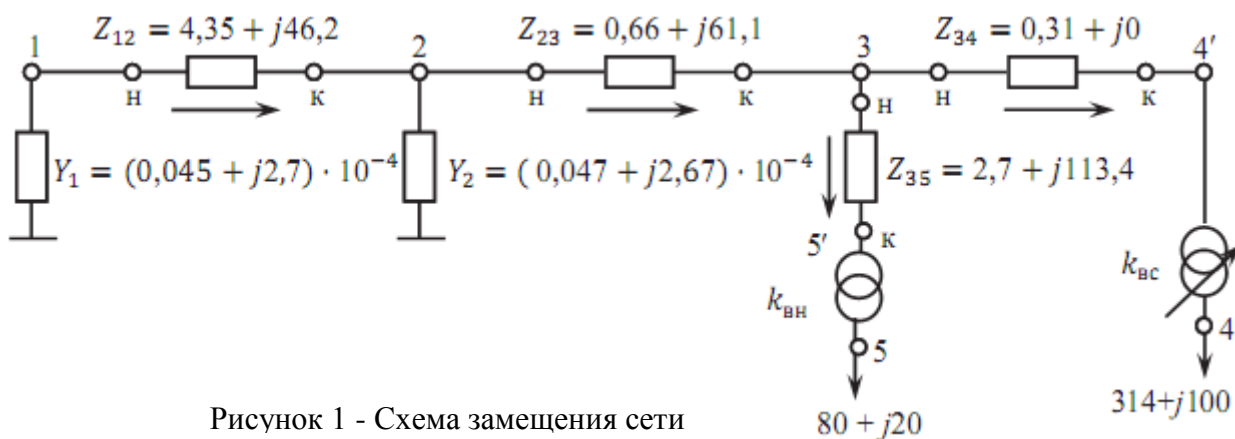


Рисунок 1 - Схема замещения сети

В таком случае

$$Z_{12} = (0,029 + j0,308) \cdot 150 = (4,35 + j46,2) \text{ Ом};$$

$$B_{12} = (3,6 \cdot 10^{-6} \cdot 150) = 5,4 \cdot 10^{-4} \text{ См};$$

$$\Delta P_{\text{к.о}} = \sum_i^m \frac{\Delta P_{\text{ик.о}}}{m} = \frac{2,7 + 10,0 + 33,0}{3} = 15,23 \text{ кВт/км}$$

$$\Delta P_{\text{вт.о}} = \sum_i^m \frac{\Delta P_{\text{вт.о}}}{m} = \frac{0,156 + 1,440 + 2,400}{3} = 1,33 \text{ кВт/км}$$

$$G_0 = \frac{\Delta P_{\text{к.о}} + \Delta P_{\text{вт.о}}}{U_{\text{НОМ}}^2} = \frac{(15,23 + 1,33) \cdot 10^3}{525^2 \cdot 10^6} = 0,06 \cdot 10^{-6} \text{ См/км}$$

$$G_{12} = 0,06 \cdot 10^{-6} \cdot 150 = 0,09 \cdot 10^{-4} \text{ См}$$

$$Y_{12} = (0,09 + j5,4) \cdot 10^{-4} \text{ См}$$

Автотрансформатор АОДЦН-167000/500/220, параметры выбраны по источнику [2, с. 46]:

$$U_{\text{ВН}} = 500/\sqrt{3} \text{ кВ}; \quad U_{\text{СН}} = 230/\sqrt{3} \text{ кВ}; \quad U_{\text{ВН}} = 11 \text{ кВ}; \quad \Delta P_{\text{xx}} = 125 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{\text{xx}} = 2004 \text{ квар}; \quad R_{\text{ВН}} = 0,66 \text{ Ом}; \quad R'_{\text{СН}} = 0,66 \text{ Ом}; \quad R'_{\text{НН}} = 2,7 \text{ Ом};$$

$$X_{\text{ВН}} = 61,1 \text{ Ом}; \quad X'_{\text{СН}} = 0 \text{ Ом}; \quad X'_{\text{НН}} = 113,4 \text{ Ом};$$

Все параметры автотрансформатора АОДЦН-167000/500/220 приведены к номинальному напряжению высшей обмотки.

$$Z_{23} = (0,66 + j61,1) \text{ Ом}; \quad Z_{34} = (0,31 + j0) \text{ Ом}; \quad Z_{35} = (2,7 + j113,4) \text{ Ом};$$

$$G_T = \frac{\Delta P_{\text{xx}}}{U_{\text{ВН}}^2} = \frac{125 \cdot 10^3}{(500 \cdot \sqrt{3})^2 \cdot 10^6} = 0,16 \cdot 10^{-6} \text{ См}$$

$$B_T = \frac{\Delta Q_{\text{xx}}}{U_{\text{ВН}}^2} = \frac{2004 \cdot 10^3}{(500 \cdot \sqrt{3})^2 \cdot 10^6} = 2,67 \cdot 10^{-6} \text{ См}$$

$$Y_T = (0,16 - j2,67) \cdot 10^{-6} \text{ См};$$

При расчете шунта автотрансформатора учтено, что автотрансформатор однофазный, поэтому для расчета фазной поперечной проводимости используются фазные потери в режиме холостого хода и фазное напряжение.

Поперечная проводимость узла 1 ( $Y_1$ ) равна половине проводимости линии 1-2 и носит активно-емкостный характер.

$$Y_1 = Y_{12}/2 = (0,045 - j2,7) \cdot 10^{-4} \text{ См};$$

Поперечная проводимость узла 2 ( $Y_2$ ) является алгебраической суммой проводимости автотрансформатора и половины проводимости линии 1-2

$$Y_2 = Y_{12}/2 = (0,002 - j0,03 + 0,045 + j2,7) \cdot 10^{-4} = (0,047 + j2,67) \cdot 10^{-4} \text{ См};$$

Эквивалентный шунт узла 2 имеет активно-емкостной характер.

Для расчета годовых переменных потерь электроэнергии методом характерных режимов необходимо определить потери мощности в продольных элементах сети во всех характерных режимах (в данной задаче в максимальном и минимальном).

Поскольку напряжения в точках 2, 3, 4' и 5' неизвестны, они приняты равными напряжению в точке 1, т. е. 515 кВ. При этом допущении определяются потери мощности во всех элементах схемы.

Мощность, потребляемая из питающего данную сеть узла:

$$\dot{S} = \dot{S}_{12}^H + \Delta \dot{S}_{III} = 398 + j120,17 + 1,19 - j71,6 = (399,19 + j48,57) \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

Суммарные потери активной мощности в режиме максимальных нагрузок в продольных элементах сети

$$\Delta P_{\max} = \Delta P_{12} + \Delta P_{23} + \Delta P_{34} + \Delta P_{35} = 2,7 + 0,42 + 0,13 + 0,07 = 3,32 \text{ МВт}$$

Суммарные потери активной мощности в режиме максимальных нагрузок в поперечных элементах сети

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{III1} + \Delta P_{III2} = 1,19 + 1,25 = 2,44 \text{ МВт}$$

Определение потерь мощности в сети в минимальном режиме выполняется аналогично. При этом значение нагрузок на стороне СН и на стороне НН автотрансформатора составляют 50 % от мощностей в максимальном режиме. Таким образом

$$\dot{S}_{34}^K = (157 + j50) \text{ МВ} \cdot \text{А}, \text{ а } \dot{S}_{35}^K = (40 + j10) \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

Напряжения в точках 2, 3, 4' и 5' приняты равными 515 кВ.

Расчет потерь в минимальном режиме, МВ·А:

$$\dot{S}_{34}^K = 157 + j50; \quad \dot{S}_{34}^H = \dot{S}_{34}^K + \Delta \dot{S}_{34} = 157,03 + j50;$$

$$\Delta \dot{S}_{35}^K = \frac{157^2 + 50^2}{515^2} \cdot 0,31 = 0,03$$

$$\dot{S}_{35}^K = 40 + j10; \quad \dot{S}_{35}^H = \dot{S}_{35}^K + \Delta \dot{S}_{35} = 40,02 + j10,68;$$

$$\Delta \dot{S}_{35}^H = \frac{40^2 + 10^2}{515^2} \cdot (2,7 + j113,4) = 0,02 + j0,68;$$

$$\dot{S}_{23}^K = \dot{S}_{34}^H + \Delta \dot{S}_{35}^H = 157,03 + j50 + 40,02 + j10,68 = 197,05 + j60,68;$$

$$\Delta \dot{S}_{23}^K = \frac{197,05^2 + 60,68^2}{515^2} \cdot (0,66 + j61,1) = 0,106 + j9,79;$$

$$\dot{S}_{23}^H = \dot{S}_{23}^K + \Delta \dot{S}_{23}^K = 197,05 + j60,68 + 0,106 + j9,79 = 197,16 + j70,47;$$

$$\Delta \dot{S}_{III2} = \tilde{Y}_2 U_2^2 = (0,047 - j2,67) \cdot 10^{-4} \cdot 515^2 = 1,25 + j70,8;$$

$$\dot{S}_{12}^K = \dot{S}_{23}^H + \Delta \dot{S}_{III2} = 197,16 + j70,47 + 1,25 - j70,8 = 198,41 - j0,33;$$

$$\Delta \dot{S}_{12}^K = \frac{198,41^2 + 0,33^2}{515^2} \cdot (4,35 + j46,2) = 0,65 + j6,86;$$

$$\dot{S}_{12}^H = \dot{S}_{12}^K + \Delta \dot{S}_{12}^K = 198,41 - j0,33 + 0,65 + j6,86 = 199,06 + j6,53;$$

$$\Delta \dot{S}_{\emptyset 1} = \tilde{Y}_1 U_1^2 = (0,045 - j2,7) \cdot 10^{-4} \cdot 515^2 = 1,19 + j71,6;$$



Мощность, потребляемая из питающего данную сеть узла, МВ·А,

$$\dot{S} = \dot{S}_{12}^H + \Delta \dot{S}_{\sigma,1} = 199,06 + j6,53 + 1,19 - j71,6 = 200,25 - j65,07;$$

Суммарные потери активной мощности в режиме минимальных нагрузок в продольных элементах сети

$$\Delta P_{\max} = \Delta P_{12} + \Delta P_{23} + \Delta P_{34} + \Delta P_{35} = 0,65 + 0,106 + 0,03 + 0,02 = 0,806 \text{ МВт}$$

Суммарные потери активной мощности в режиме минимальных нагрузок в поперечных элементах сети

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{\text{ш}1} + \Delta P_{\text{ш}2} = 1,19 + 1,25 = 2,44 \text{ МВт}$$

Как видно из расчетов, активные потери мощности в поперечных элементах сети в максимальном и минимальном режимах одинаковы, т. е. постоянны. Величина постоянных потерь активной энергии в сети за год

$$\Delta W_{\text{пост.год}} = \Delta P_{\Sigma} \cdot T_{\Gamma} = 2,44 \cdot 8760 = 21374,4 \text{ МВт}\cdot\text{ч.}$$

Что касается переменных потерь активной энергии в сети, то их значение меняется при изменении нагрузки, т.е. они являются переменными. Оценка переменных потерь электроэнергии методом характерных режимов. Продолжительность существования характерных режимов определяется согласно графику нагрузки (см. рис. 2.2): режим максимальных нагрузок в течение суток продолжается  $t_{\max} = 10$  ч; режим минимальных нагрузок  $t_{\min} = 14$  ч; поэтому величина переменных потерь активной энергии за одни сутки составит

$$\Delta W_{\text{пер}} = 3,32 \cdot 10 + 0,806 = 21374,4 \cdot 14 = 44,84 \text{ МВт}\cdot\text{ч.}$$

В течение всего года суточный график нагрузки не меняется, тогда переменные потери активной энергии

$$\Delta W_{\text{пер.год}} = \Delta W_{\text{пер}} \cdot 365 = 44,84 \cdot 365 = 16236,7 \text{ МВт}\cdot\text{ч.}$$

Оценка переменных потерь электроэнергии по числу часов максимальной мощности нагрузки за сутки найдено по графику часов использования максимальной мощности нагрузки за сутки

$$\dot{O}_{\max} = \frac{P_{\max} \cdot t_{\max} + P_{\min} \cdot t_{\min}}{P_{\max}} = \frac{1 \cdot 10 + 0,5 \cdot 14}{1} = 17 \div.$$

Годовое число часов использования максимальной мощности нагрузки  $T_{\max, \text{год}}$  и числа часов максимальных потерь  $\tau_{\Gamma}$  составит

$$T_{\max, \text{год}} = T_{\max} \cdot 365 = 17 \cdot 365 = 6205 \text{ ч.}$$

$$\tau_{\text{аа}} = \left( 0,124 + \frac{\dot{O}_{\max, \text{а}}}{10000} \right)^2 = \left( 0,124 + \frac{6205}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 4855 \div.$$

Оценка переменных потерь активной энергии, найденная при допущении о неизменности в течение года суточного графика нагрузки,

$$\Delta W_{\text{пер.год}} = \Delta P_{\max} \cdot \tau_{\text{год}} = 3,32 \cdot 4855 = 16118,6 \text{ МВт}\cdot\text{ч.}$$

Суммарные потери электроэнергии за год (переменные найдены по методу характерных режимов)

$$\Delta W_{\text{год}} = \Delta W_{\text{пер.год}} + \Delta W_{\text{пост.год}} = 16236,7 + 21374,4 = 37611,1 \text{ МВт}\cdot\text{ч.}$$

Суммарные потери электроэнергии за год (переменные найдены по времени максимальных потерь)

$$\Delta W_{\text{год}} = \Delta W_{\text{пер.год}} + \Delta W_{\text{пост.год}} = 16118,6 + 21374,4 = 37493 \text{ МВт}\cdot\text{ч.}$$

**Форма контроля** – защита практической работы.

**Вопросы для самоконтроля:**

1. Какими причинами вызваны потери мощности в ЛЭП?
2. Какие причины потерь мощности являются основными?
3. Какое влияние на величину потерь мощности оказывает активное сопротивление проводов?
4. Какое влияние на величину потерь мощности оказывает величина нагрузки?

### Рекомендуемая литература:

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для сред.проф.образования /Изд. 2-е.,М. Издательский центр «Академия», 2014.- 320 с.
2. Аркуша А.И. Техническая «Электроснабжение электротехнического оборудования» [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 268 с. — 978-985-503-590-0. <http://www.iprbookshop.ru/67634.html>
3. Аркуша А.И.. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие /А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 88 с. — 978-985-503-582-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67633.html>

### Практическая работа № 9: Определение годовых нагрузочных потерь электроэнергии методом характерных режимов.

## Раздел 12. Параметры электрических сетей и их нормальных режимов

### Тема 12.8. Параметры элементов электрических сетей системы электроснабжения промышленных предприятий

**Цель занятия:** закрепить понятие годовых нагрузочных потерь электроэнергии и причин, которыми они обусловлены. Сформировать навыки самостоятельной работы при отработке методов решения задач по указанной тематике пользуясь известными теоретическими положениями, математическим аппаратом, графическими средствами, вычислительной техникой.

#### Оснащение:

1. Справочные данные по расчетам электрических потерь.

#### Задание:

Определить годовые нагрузочные потери электроэнергии методом характерных режимов.

#### Порядок выполнения задания:

1. Проработайте теоретический материал и ответьте на контрольные вопросы.
2. Ознакомьтесь с заданием и выполните его.
3. Оформите результаты работы.

#### Методические указания:

Вопросы теории, рассматриваемые в практической работе: 1.Понятие годовых нагрузочных потерь электроэнергии. 2.Причины возникновения нагрузочных потерь.

#### Пример 1:

Определить годовые потери электроэнергии в трехфазной сети напряжением 0,38 кВ длиной  $L = 0,30$  км с симметричной нагрузкой по фазам. Нагрузка равномерно распределена вдоль длины линии и в режиме наибольших нагрузок составляет  $p = 0,06$  кВт/м с  $\cos\varphi = 0,90$ . Линия выполнена маркой провода А 35. Время использования наибольшей нагрузки составляет  $T_{Нб} = 3000$ ч.

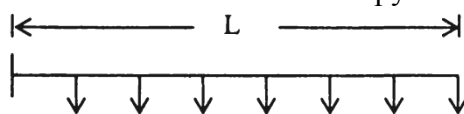


Схема сети с равномерно распределенной нагрузкой

#### Решение

Для марки провода А35 удельные сопротивления равны  $r_0 = 0,84$  Ом/км и  $x_0 = 0,31$  Ом/км. Тогда сопротивления всей линии  $R = 0,84 \cdot 0,30 = 0,25$  Ом,  $X = 0,31 \cdot 0,30 = 0,09$  Ом.

Ток, приходящийся на 1 км линии,

$$I_{\text{л\ddot{a}}} = \frac{D}{\sqrt{3}U \cos \varphi} = \frac{0,06 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,90} = 101,4 \text{ A} / \text{км}$$

всей заданной нагрузки  $I_{\text{нб}} = I_{\text{л\ddot{a}}} \cdot L = 101,4 \cdot 0,30 = 30,4 \text{ A}$ .

Потери мощности в линии с распределенной нагрузкой равны потерям мощности от такой же сосредоточенной нагрузки, но подключенной на расстоянии  $1/3 L$  от начала линии:

$$\Delta D_{\text{л\ddot{a}}} = 3I_{\text{л\ddot{a}}}^2 \frac{R}{3} = 30,4^2 \cdot 0,25 = 231 \text{ Вт}$$

Потери мощности в процентах от передаваемой мощности

$$\Delta D_{\text{л\ddot{a}}} \% = \frac{\Delta D_{\text{л\ddot{a}}}}{D} \cdot 100 = \frac{231}{0,06 \cdot 0,30} \cdot 100 = 1,28\%$$

Время наибольших потерь определим по формуле

$$\tau = (0,124 + T_{\text{нб}} \cdot 10^{-4}) 8760 = (0,124 + 3000 \cdot 10^{-4}) 8760 = 1575 \text{ ч.}$$

Тогда потери электроэнергии по методу времени наибольших потерь

$$\Delta W = \Delta P_{\text{нб}} \cdot \tau = 231 \cdot 1575 \cdot 10^{-3} = 364 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$$

Переданная энергия (при  $T_{\text{нба}} = T_{\text{нб}}$ )

$$W = \Delta P_{\text{нб}} \cdot T_{\text{нба}} = p L T_{\text{нба}} = 0,06 \cdot 0,30 \cdot 10^3 \cdot 3000 = 54,0 \cdot 10^3 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$$

Потери энергии в процентах от переданной энергии

$$\Delta W = \frac{364}{54,0 \cdot 10^3} \cdot 100\% = 0,67\%$$

Определим теперь потери энергии через потери напряжения, которые для линии с распределенной нагрузкой равны потерям напряжения от такой же сосредоточенной нагрузки, но подключенной на расстоянии  $1/2$  от начала линии

$$\Delta U_{\text{л\ddot{a}}} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{л\ddot{a}}} (R \cos \varphi + X \sin \varphi)}{2U_{\text{л\ddot{а}}}} \cdot 100 = \frac{\sqrt{3} \cdot 30,4 (0,25 \cdot 0,90 + 0,09 \cdot 0,44)}{2 \cdot 0,38 \cdot 10^3} \cdot 100\% = 1,8\%$$

найдем коэффициент перехода от потерь напряжения к потерям мощности:

$$k_{\text{нм}} = \frac{2 \cdot 0,25}{3(0,25 \cdot 0,90 + 0,09 \cdot 0,44)0,90} = 0,70$$

определим потери мощности в процентах от передаваемой мощности:

$$\Delta P_{\text{нб}} = k_{\text{нм}} \Delta U_{\text{нб}} \% = 0,70 \cdot 1,8 = 1,26 \%$$

что практически соответствует найденным ранее потерям мощности.

Потери электроэнергии в процентах относительно переданной энергии

$$\Delta W = k_{\text{н}} \Delta U_{\text{л\ddot{а}}} \% \frac{\tau}{T_{\text{л\ddot{а}}}} = 0,70 \cdot 1,8 \cdot \frac{1575}{3000} = 0,66\%$$

что практически соответствует найденным ранее потерям энергии.

Обратим внимание на то, что потери мощности в процентах от передаваемой мощности в режиме наибольших нагрузок оказываются больше потерь энергии в процентах от передаваемой энергии

$$\Delta P_{\text{нб}} \% > \Delta W \%.$$

**Форма контроля – защита практической работы.**

**Вопросы для самоконтроля:**

1. От чего и как зависят потери электроэнергии в линиях электропередачи на корону?
2. Какие параметры влияют на потери электроэнергии в сопротивлениях линии?
3. От чего зависит активное сопротивление провода линии, находящейся под нагрузкой?
4. В чем сущность метода характерных суточных режимов? Какие сутки принимают в качестве характерных?

5. Как определяются нагрузочные потери электроэнергии по методу средних нагрузок?
6. Какими способами можно определить средние нагрузки сети?
7. Что учитывает коэффициент формы графика нагрузки?

**Рекомендуемая литература:**

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для сред.проф.образования /Изд. 2-е.,М. Издательский центр «Академия», 2014.- 320 с.
2. Аркуша А.И. Техническая «Электроснабжение электротехнического оборудования» [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 268 с. — 978-985-503-590-0. <http://www.iprbookshop.ru/67634.html>
3. Аркуша А.И.. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие /А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 88 с. — 978-985-503-582-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67633.html>

**Практическая работа № 10: Определение годовых нагрузочных потерь электроэнергии методом среднеквадратичных параметров.**

**Раздел 12. Параметры электрических сетей и их нормальных режимов**

**Тема 12.8. Параметры элементов электрических сетей системы электроснабжения промышленных предприятий**

**Цель занятия:** закрепить понятие годовых нагрузочных потерь электроэнергии, освоить метод среднеквадратичных параметров. Сформировать навыки самостоятельной работы при отработке методов решения задач по указанной тематике пользуясь известными теоретическими положениями, математическим аппаратом, графическими средствами, вычислительной техникой.

**Оснащение:**

1. Справочные данные по расчетам электрических потерь

**Задание:**

Определить годовые нагрузочные потери электроэнергии методом среднеквадратичных параметров

**Порядок выполнения задания:**

1. Проработайте теоретический материал и ответьте на контрольные вопросы.
2. Ознакомьтесь с заданием и выполните его.
3. Оформите результаты работы.

**Методические указания:**

Вопросы теории, рассматриваемые в практической работе: 1.Понятие годовых нагрузочных потерь электроэнергии. 2.Метод среднеквадратичных параметров.

**Пример 1:**

К двухцепной линии электропередачи напряжением  $U=110$  кВ длиной  $L=40$  км, выполненной маркой провода АС 120/19, подключена нагрузка, режим работы которой характеризуется годовым графиком нагрузки по продолжительности, приведенным в табл. 1. Наибольшая передаваемая активная мощность  $P_6 = 60$  МВт.

Таблица 1. Характеристика годового графика нагрузки по продолжительности

Номера ступеней графика	1	2	3	4
Величина нагрузки в долях от наибольшей передаваемой активной мощности	1,0	0,80	0,60	0,40
Длительность ступеней, ч	1000	2000	3000	2760
Коэффициент мощности	0,90	0,85	0,82	0,79

Определить годовые нагрузочные потери электроэнергии следующими методами:

- характерных режимов;
- среднеквадратичных параметров.

Вычислить различия в потерях энергии (в процентах) по различным методам, приняв за эталонный метод характерных режимов.

**Решение:**

Для заданной марки провода найдем из справочника удельное активное сопротивление  $r_0 = 0,27$  Ом/км. Сопротивление одной цепи

$$R_1 = r_0 L = 0,27 \cdot 40 = 10,8 \text{ Ом,}$$

а двух параллельных цепей  $R = 0,5 R_1 = 0,5 \cdot 10,8 = 5,4 \text{ Ом.}$

Для вычисления потерь электроэнергии по методу характерных режимов воспользуемся формулой (1), приняв в качестве характерных режимов каждую из ступеней заданного годового графика нагрузки по продолжительности

$$\Delta W = \sum_{j=1}^4 P_j \Delta t_j$$

где  $\Delta P_j$  — потери мощности при нагрузке  $P_j$   $j$ -й ступени графика нагрузки по продолжительности;  $\Delta t_j$  — длительность  $j$ -й ступени.

На каждой ступени графика потери мощности найдем по формуле:

$$\Delta P_j = \frac{P_j^2}{U^2 \cos^2 \varphi_j} R$$

В результате получим:

$$\begin{aligned} \Delta W &= \frac{60^2}{110^2 \cdot 0,90^2} \cdot 5,4 \cdot 1000 + \frac{(60 \cdot 0,80)^2}{110^2 \cdot 0,85^2} \cdot 5,4 \cdot 2000 + \frac{(60 \cdot 0,60)^2}{110^2 \cdot 0,82^2} \cdot 5,4 \cdot 3000 + \\ &+ \frac{(60 \cdot 0,40)^2}{110^2 \cdot 0,79^2} \cdot 5,4 \cdot 2760 = 8547 \text{ Вт} \cdot \text{ч} \end{aligned}$$

На основании графика нагрузки по продолжительности определим энергию, переданную по линии

$$W_a = \sum_{j=1}^4 P_j \Delta t_j = 60 \cdot 1000 + 60 \cdot 0,80 \cdot 2000 + 60 \cdot 0,60 \cdot 3000 + 60 \cdot 0,40 \cdot 2760 = 330240 \text{ Вт} \cdot \text{ч}$$

Тогда потери электроэнергии в процентах от передаваемой мощности составят

$$\Delta W = \frac{8547}{330240} \cdot 100\% = 2,6 \%$$

Из графика нагрузки по продолжительности определим время использования наибольшей активной мощности и наибольшей полной мощности

$$\dot{O}_{\text{íá}} = \frac{W}{P_{\text{íá}}} = \frac{\sum_{j=1}^4 P_j \Delta t_j}{P_{\text{íá}}} = \frac{330240}{60} = 5504 \text{ ч}$$

$$\dot{Q}_{\dot{I}_{\dot{a}}} = \frac{\sum_{j=1}^4 \frac{P_j \Delta t_j}{\cos \varphi_j}}{P_{\dot{I}_{\dot{a}}} / \cos \varphi_{\dot{I}_{\dot{a}}}} = \frac{\frac{60}{0,90} 1000 + \frac{60 \cdot 0,80}{0,85} 2000 + \frac{60 \cdot 0,60}{0,82} 3000 + \frac{60 \cdot 0,40}{0,79} 2760}{60} = 5924 \text{ ч}$$

Для определения потерь электроэнергии по методу среднеквадратичных параметров сначала из графика нагрузки по продолжительности найдем среднеквадратичную мощность:

$$S_{\dot{n}\dot{e}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^4 S_j^2 \Delta t_j}{T}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^4 \frac{P_j^2 \Delta t_j}{\cos^2 \varphi_j}}{T}} =$$

$$= \sqrt{\frac{\left(\frac{60}{0,90}\right)^2 3000 + \left(\frac{60 \cdot 0,80}{0,85}\right)^2 2000 + \left(\frac{60 \cdot 0,60}{0,82}\right)^2 3000 + \left(\frac{60 \cdot 0,40}{0,79}\right)^2 2760}{T}} = 46,7 \text{ kVA} \cdot \text{ч}$$

Среднеквадратичный ток

$$I_{\dot{n}\dot{e}} = \frac{S_{\dot{n}\dot{e}}}{\sqrt{3}U} = \frac{46,7 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 110} = 246 \text{ A}$$

Тогда годовые потери электроэнергии по формуле

$$\Delta W_1 = 3I_{\dot{c}k}^2 RT = 3 \cdot 246^2 \cdot 5,4 \cdot 8760 \cdot 10^{-6} = 8588 \text{ МВт}\cdot\text{ч}$$

Погрешность относительно результата по методу характерных режимов составляет:

$$\delta \Delta W_1 = \frac{8588 - 8547}{8547} 100\% = 0,48\%$$

Найдем значение тока в режиме наибольших нагрузок

$$I_{\dot{I}_{\dot{a}}} = \frac{S_{\dot{I}_{\dot{a}}}}{\sqrt{3}U} = \frac{60}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 0,90} = 350 \text{ A}$$

Определим среднеквадратичный ток по формуле

$$I_{\dot{c}k2} = 350(0,12 + 5924 \cdot 10^{-4}) = 249 \text{ A}$$

Тогда потери электроэнергии

$$\Delta W_2 = 3 \cdot 249^2 \cdot 5,4 \cdot 8760 \cdot 10^{-6} = 8799 \text{ МВт}\cdot\text{ч}$$

а погрешность

$$\delta \Delta W_1 = \frac{8588 - 8547}{8547} 100\% = 0,48\%$$

Таким образом, использование эмпирической формулы приводит к большей погрешности, чем при вычислении среднеквадратичного тока по графику нагрузки.

**Форма контроля** – защита практической работы.

**Вопросы для самоконтроля:**

1. Что понимается под среднеквадратичным током и среднеквадратичной мощностью?
2. Какие имеются связи между среднеквадратичным током и параметрами графиков нагрузки?
3. Как определяются потери электроэнергии по методу среднеквадратичных параметров?

**Рекомендуемая литература:**

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для сред.проф.образования /Изд. 2-е.,М. Издательский центр «Академия», 2014.- 320 с.
2. Аркуша А.И. Техническая «Электроснабжение электротехнического оборудования»

[Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 268 с. — 978-985-503-590-0. <http://www.iprbookshop.ru/67634.html>

3. Аркуша А.И.. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 88 с. — 978-985-503-582-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67633.html>

## **Практическая работа № 11: Определение годовых нагрузочных потерь электроэнергии на корону в линии электропередачи сверхвысокого напряжения.**

### **Раздел 12. Параметры электрических сетей и их нормальных режимов**

#### **Тема 12.8. Параметры элементов электрических сетей системы электроснабжения промышленных предприятий**

**Цель занятия:** освоить методику определения годовых нагрузочных потерь электроэнергии на корону в линии электропередачи сверхвысокого напряжения. Сформировать навыки определения годовых нагрузочных потерь электроэнергии на корону в линии электропередачи сверхвысокого напряжения, пользуясь известными теоретическими положениями, математическим аппаратом, графическими средствами, вычислительной техникой.

#### **Оснащение:**

1. Методические материалы по данной тематике.

#### **Задание:**

Определить годовые нагрузочные потери электроэнергии на корону в линии электропередачи сверхвысокого напряжения

#### **Порядок выполнения задания:**

1. Проработайте теоретический материал и ответьте на контрольные вопросы.
2. Ознакомьтесь с заданием и выполните его.
3. Оформите результаты работы.

#### **Методические указания:**

Вопросы теории, рассматриваемые в практической работе: 1. Годовые нагрузочные потери. 2. Физические причины возникновения короны на линиях электропередачи сверхвысокого напряжения. 3. Методы борьбы с коронированием.

#### **Пример 1:**

Определить годовые потери электроэнергии на корону в линии электропередачи длиной 200 км напряжением 330 кВ, выполненной с числом проводов в фазе, равном 2, площадью сечения каждого провода 400 мм<sup>2</sup> и проходящей по территории Смоленской области. Построить зависимость изменения потерь электроэнергии на корону от среднеэксплуатационного напряжения в пределах от 0,95 до 1,1 U<sub>ном</sub>.

#### **Решение**

### Удельные потери электроэнергии на корону (на одну цепь)

Номинальное напряжение линии, кВ	Число цепей	Число проводов в фазе и площадь сечения провода, мм <sup>2</sup>	Удельные потери электроэнергии на корону, кВт·ч/км в год, в регионе		
			1	2	3
750	1	4 x 600	167,2	189,8	177,3
750	1	5 x 240	144,6	163,8	153,6
500	1	3 x 400	93,2	106,0	103,4
330	1	2 x 400	35,2	39,9	39,8
220 (ст)	1	1 x 300	13,3	14,8	15,3
220 (жб)	1	1 x 300	19,3	21,5	22,2
220 (ст)	2	1 x 300	24,7	27,5	28,5
220 (жб)	2	1 x 300	32,9	36,6	37,9
110 (ст)	1	1 x 120	0,72	0,80	0,85
110 (жб)	1	1 x 120	1,15	1,28	1,36
110 (ст)	2	1 x 120	0,96	1,07	1,13
110 (жб)	2	1 x 120	1,25	1,39	1,47

Примечание: ст — стальные опоры; жб — железобетонные опоры.

Из табл. для региона 1, соответствующего Смоленской области, находим удельные потери  $\Delta W_{\text{к.табл}} = 35,2$  кВт·ч/(км·год). Тогда при длине линии  $L = 200$  км получим

$$\Delta W = \Delta W_{\text{к.табл}} L = 35,2 \cdot 200 = 7040 \text{ кВт·ч.}$$

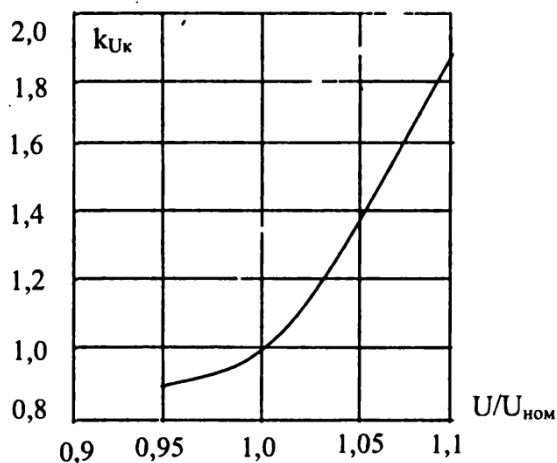
Потери электроэнергии при реальном напряжении равны потерям, взятым из табл. и умноженным на поправочный коэффициент  $k_{Uк}$ . Поэтому для построения зависимости изменения потерь на корону от напряжения достаточно вычислить этот коэффициент по формуле

$$k_{Uк} = 6,88 \left( \frac{U}{U_{\text{н}}} \right)^2 - 5,88 \frac{U}{U_{\text{н}}}$$

Задаваясь различным значением напряжения, получим:

Напряжение $U/U_{\text{ном}}$	0,95	1,0	1,05	1,10
Коэффициент $k_{Uк}$	0,91	1,0	1,41	1,83

Результаты представлены на рис. Из результатов расчета видно, что потери мощности и энергии на корону сильно зависят от напряжения. При повышении напряжения на 10% относительно номинального они увеличиваются в 1,83 раза.



Зависимость  $k_{Uк}$  от напряжения

**Форма контроля** – защита практической работы.

#### Вопросы для самоконтроля:

1. Методы расчета годовых нагрузочных потерь на корону.
2. Физические процессы, вызывающие корону на линиях электропередачи сверхвысокого



напряжения.

3. Какие эффективные методы борьбы с короной применяются на линиях электропередачи сверхвысокого напряжения.

#### **Рекомендуемая литература:**

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для сред.проф.образования /Изд. 2-е.,М. Издательский центр «Академия», 2014.- 320 с.
2. Аркуша А.И. Техническая «Электроснабжение электротехнического оборудования» [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 268 с. — 978-985-503-590-0. <http://www.iprbookshop.ru/67634.html>
3. Аркуша А.И.. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие /А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 88 с. — 978-985-503-582-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67633.html>

#### **Практическая работа № 12: Определение параметров тока распределения в кольцевой сети, выполненной комбинированным способом.**

### **Раздел 13. Компенсация реактивных мощностей в системе электроснабжения**

#### **Тема 13.1. Параметры режимов электрических систем**

**Цель занятия:** закрепить понятие кольцевой сети. Сформировать навыки вычисления параметров тока распределения в кольцевой сети, выполненной комбинированным способом.

#### **Оснащение:**

1. Методические материалы по данной тематике.

#### **Задание:**

Определить параметры тока распределения в кольцевой сети, выполненной комбинированным способом.

#### **Порядок выполнения задания:**

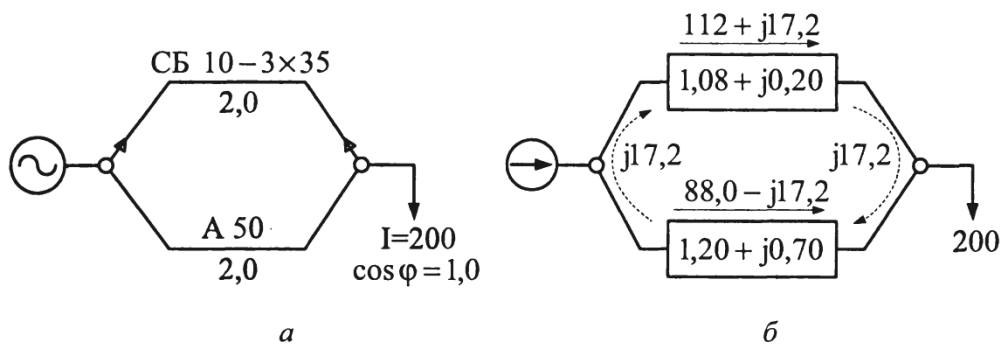
1. Проработайте теоретический материал и ответьте на контрольные вопросы.
2. Ознакомьтесь с заданием и выполните его.
3. Оформите результаты работы.

#### **Пример 1:**

Найти токораспределение в кольцевой сети 10 кВ (см.рис.), выполненной кабелем СБ10— 3х35 с сечением медных жил  $35 \text{ мм}^2$  и воздушной линией с проводами А50. Нагрузка в амперах и длины участков сети в километрах приведены на схеме.

Погонные параметры участков сети приняты усредненными при удельном активном сопротивлении меди  $19 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{км}$ , алюминия  $30 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{км}$ .

#### **Решение:**



а б  
Схема кольцевой сети

Полное сопротивление кабельной линии

$$Z_{\text{квл}} = (0,54 + j0,10) \cdot 2,0 = 1,08 + j0,20 \text{ Ом}$$

Полное сопротивление воздушной линии

$$Z_{\text{вкл}} = (0,60 + j0,35) \cdot 2,0 = 1,20 + j0,70 \text{ Ом}$$

Токи на кабельной и воздушной линиях сети:

$$I_{\text{вкл}} = I \frac{Z_{\text{квл}}}{Z_{\text{квл}} + Z_{\text{вкл}}} = 200 \frac{1,20 + j0,70}{1,20 + j0,70 + 1,08 + j0,20} =$$

$$= 200 \frac{(1,20 + j0,70)(2,28 - j0,90)}{2,28^2 + 0,90^2} = 112 + j17,2 \text{ А}$$

$$I_{\text{квл}} = I \frac{Z_{\text{вкл}}}{Z_{\text{квл}} + Z_{\text{вкл}}} = 200 \frac{1,08 + j0,20}{1,08 + j0,20 + 1,20 + j0,70} =$$

$$= 200 \frac{(1,08 + j0,20)(2,28 - j0,90)}{2,28^2 + 0,90^2} = 88,0 - j17,2 \text{ А}$$

Проверка:  $I_{\text{квл}} + I_{\text{вкл}} = 112 + j17,2 + 88,0 - j17,2 = 200 \text{ А}$ .

Найденное распределение токов нанесено на схеме. Обратим внимание на то, что при чисто активной нагрузке по сети протекает не только активный, но и реактивный ток. Круговой (уравнительный) ток  $j 17,2 \text{ А}$  циркулирует в замкнутой сети.

Полученный результат объясняется следующим:

1. Замкнутая сеть обладает высокой неоднородностью.
2. Так как индуктивное сопротивление воздушной линии значительно превышает индуктивное сопротивление кабельной линии, то в контуре имеется неуравновешенная ЭДС самоиндукции ВЛ, которая вызывает круговой ток, в результате чего падение напряжения на обоих участках сети становится одинаковым:

$$\Delta U_{\text{квл}} = \Delta U_{\text{вкл}} = \sqrt{3} \cdot I_{\text{квл}} \cdot Z_{\text{квл}} = \sqrt{3} \cdot I_{\text{вкл}} \cdot Z_{\text{вкл}} = \sqrt{3} \cdot (118 + j0,41) \text{ В}$$

**Форма контроля** – защита практической работы.

**Вопросы для самоконтроля:**

1. Пояснить понятие кольцевой сети.
2. Пояснить методику составления схем замещения для кольцевой сети.
3. Перечислите основные параметры режимов электрических сетей.

**Рекомендуемая литература:**

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для сред.проф.образования /Изд. 2-е., М. Издательский центр «Академия», 2014.- 320 с.
2. Аркуша А.И. Техническая «Электроснабжение электротехнического оборудования» [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 268 с. — 978-985-503-590-0. <http://www.iprbookshop.ru/67634.html>
3. Аркуша А.И.. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие /А.И.Аркуша— Электрон.

## Практическая работа № 13: Расчет параметров установившегося режима методом моментов мощностей.

### Раздел 13. Компенсация реактивных мощностей в системе электроснабжения

#### Тема 13.1. Параметры режимов электрических систем

**Цель занятия:** закрепить понятие установившегося режима сети. Сформировать навыки самостоятельной работы при отработке методов решения задач по указанной тематике пользуясь известными теоретическими положениями, математическим аппаратом, графическими средствами, вычислительной техникой.

#### Оснащение:

1. Таблицы с результатами измерений и вычислений.
2. Формулы, необходимые для расчета.

#### Задание:

Рассчитать параметры установившегося режима методом моментов мощностей.

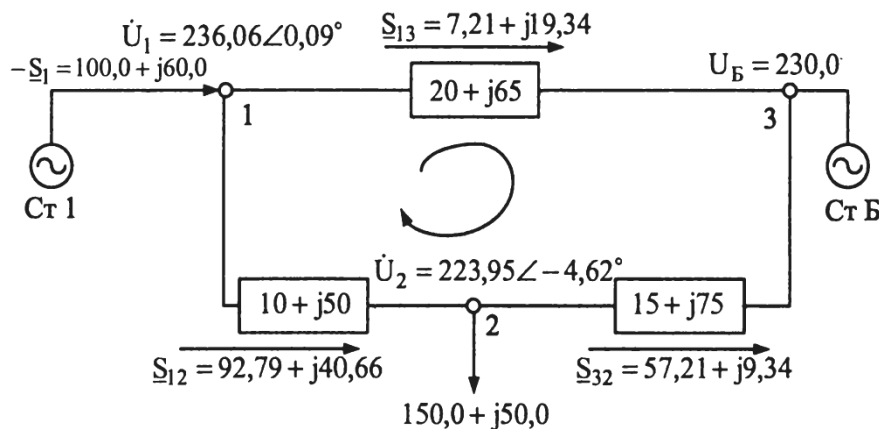
#### Порядок выполнения задания:

1. Проработайте теоретический материал и ответьте на контрольные вопросы.
2. Ознакомьтесь с заданием и выполните его.
3. Оформите результаты работы.

#### Пример 1:

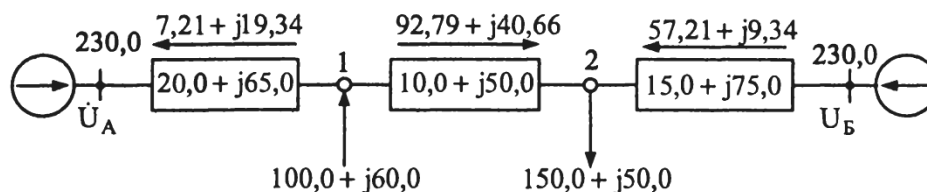
Для сети (рис.), выполнить расчет параметров установившегося режима методом моментов мощностей. Нагрузки в узлах принять расчетными (см. рис. 10).

Абсолютная погрешность мощности  $\Delta S = 0,1 \text{ МВт}$ , напряжения  $\Delta U = 0,1 \text{ кВ}$ , сопротивлений  $\Delta z = 0,1 \text{ Ом}$ .



Потокораспределение без учета потерь

Преобразуем кольцевую сеть, разомкнув ее по балансирующему источнику, в сеть с двусторонним питанием (рис.).



Рассмотрим случай  $U_A = U_B = 230,0$  кВ.

Потоки на головных участках определяем по правилу моментов для мощностей, т. е. без учета потерь мощности в ветвях.

$$S_A = \frac{\sum S_i \dot{Z}_{iB}}{\dot{Z}_{AB}} = \frac{(-100,0 - j60,0)(25,0 - j125,0) + (150,0 + j50,0)(15,0 - j15,0)}{45,0 - j190,0} = -7,21 - j19,34 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

$$S_B = \frac{\sum S_i \dot{Z}_{iA}}{\dot{Z}_{AB}} = \frac{(-100,0 - j60,0)(20,0 - j60,0) + (150,0 + j50,0)(30,0 - j15,0)}{45,0 - j190,0} = 57,21 + j9,34 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

Проверка результатов расчета:

Суммарная генерация в сеть

$$S_A + S_B = -7,21 - j19,34 + 57,21 + j9,34 = 50,00 - j10,00 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

равна суммарной мощности в узлах

$$S_1 + S_2 = -100,0 - j60,0 + 150,0 + j50,0 = 50,00 - j10,00 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

действительные направления мощностей:

$$S_{12} = S_2 - S_B = 150,0 + j50,0 - 57,21 - j9,34 = 92,79 + j40,66 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

**Форма контроля** – защита практической работы.

### Вопросы для самоконтроля:

Что такое установившийся режим сети?

Перечислите электрические параметры установившегося режима.

В чем заключается основной принцип метода моментов мощностей?

### Рекомендуемая литература:

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для сред. проф. образования / Изд. 2-е., М. Издательский центр «Академия», 2014.- 320 с.
2. Аркуша А.И. Техническая «Электроснабжение электротехнического оборудования» [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И. Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 268 с. — 978-985-503-590-0. <http://www.iprbookshop.ru/67634.html>
3. Аркуша А.И.. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И. Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 88 с. — 978-985-503-582-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67633.html>

## Практическая работа № 14: Расчет компенсации реактивной мощности с помощью конденсаторной установки

### Раздел 13. Компенсация реактивных мощностей в системе электроснабжения

#### Тема 13.4. Исходные положения по компенсации реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий

**Цель занятия:** закрепить понятие реактивной мощности и методов ее компенсации. Сформировать навыки самостоятельной работы при отработке методов решения задач по указанной тематике пользуясь известными теоретическими положениями, математическим аппаратом, графическими средствами, вычислительной техникой.

#### Оснащение:

1. Справочные данные по параметрам промышленных конденсаторных установок.

#### Задание:

Выполнить расчет компенсации реактивной мощности с помощью конденсаторной установки.

#### Порядок выполнения задания:

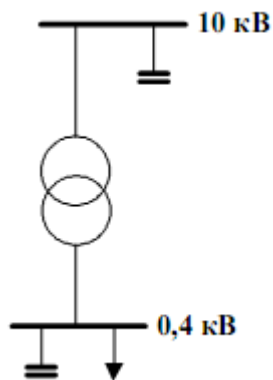
1. Проработайте теоретический материал и ответьте на контрольные вопросы.
2. Ознакомьтесь с заданием и выполните его.
3. Оформите результаты работы.

#### Методические указания:

Вопросы теории, рассматриваемые в практической работе: 1. Активная мощность. 2. Реактивная мощность. 3. Полная мощность. 4. Причины возникновения реактивной мощности в электрических системах.

#### Пример 1:

К шинам РП напряжением 6 кВ промышленного предприятия присоединяют один трансформатор 6/0,4 кВ для питания нагрузки:  $P=0,9$  МВт,  $Q = 0,8$  МВАр, коэффициент загрузки  $\beta_T = 1$ . Компенсация реактивной мощности может быть осуществлена установкой БК на 6 кВ или 0,4 кВ для повышения  $\cos \varphi = 1$ . Определить оптимальные мощности трансформатора и КБ на 6 и 0,4 кВ.



### Схема компенсации реактивной мощности

Расчетные данные и обозначения:

для КБ на 6 кВ стоимость вводного устройства  $Z_0=670$  о.е., стоимость компенсирующих устройств  $Z_{11} = 1600$  о.е./МВАр на 6 кВ,  $Z_{10} = 3000$  о.е./МВАр на 0,4 кВ.

ТП мощностью  $S_T = 1,6$  МВА дороже ТП мощностью  $S_T = 1$  МВА на  $K = 5000$  о.е.

Решение.

Минимальная мощность трансформатора:

$$S_0 = P/(\beta_T \cdot \cos\varphi) = 0,9/(1 \cdot 1) = 0,9 \text{ МВА.}$$

Первый вариант. Установка БК на 6 кВ и 0,4 кВ;  $S_T = 1000$  кВА.

Реактивная мощность БК на 6 кВ:

$$Q_1 = \sqrt{(N_0 \cdot \beta_T \cdot S_{н.тр})^2 - P^2} = \sqrt{1^2 - 0,9^2} = 0,44 \text{ МВАр}$$

Дополнительная реактивная мощность КБ на 0,38 кВ для полной компенсации  $Q_0 = Q - Q_1 = 0,8 - 0,44 = 0,36$  МВАр при  $\cos\varphi = 1$ .

Расчетные затраты:

$$Z_1 = Z_0 + Z_{11} \cdot Q_1 + Z_{10} \cdot Q_2 = 670 + 1600 \cdot 0,44 + 3000 \cdot 36 = 2450 \text{ о.е.}$$

Второй вариант. Установка трансформатора мощностью 1600 кВА и БК на 6 кВ;

$$Q_1 = \sqrt{1,6^2 - 0,9^2} = 1,4 \text{ МВАр}$$

что больше требуемой мощности для полной компенсации, поэтому принимаем  $Q_1 = Q = 0,8$  МВАр;  $Z_{10} = 0$ .

Расчетные затраты:

$$Z_2 = Z_0 + Z_{11} \cdot Q_1 + r_n \cdot K = 670 + 1600 \cdot 0,8 + 0,223 \cdot 5000 = 3060 \text{ о.е.}$$

где:  $r_n = 0,223$  – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений.

Третий вариант. Полная компенсация реактивной мощности  $Q=0,8$  МВАр в сети 0,4 кВ при минимально возможной мощности трансформатора 1000 кВА,  $Z_{10} = 3000$  о.е./МВАр.

Расчетные затраты:

$$Z_3 = Z_{10} Q = 3000 \cdot 0,8 = 2400 \text{ о.е.}$$

Таким образом, наименьшие затраты на компенсацию реактивной мощности будут при третьем варианте, который является оптимальным.

**Форма контроля** – защита практической работы.

### Вопросы для самоконтроля:

1. Зарисуйте схемы соединения конденсаторов в конденсаторной установке.
2. Поясните преимущества использования той или иной схемы.
3. Изобразите схему подключения конденсаторной установки к электрической системе.
4. Что такое продольная и поперечная компенсация?

### Рекомендуемая литература:

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для сред. проф. образования /Изд. 2-е., М. Издательский центр «Академия», 2014.- 320 с.
2. Аркуша А.И. Техническая «Электроснабжение электротехнического оборудования» [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 268 с. — 978-985-503-590-0. <http://www.iprbookshop.ru/67634.html>
3. Аркуша А.И.. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие /А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 88 с. — 978-985-503-582-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67633.html>

## Практическая работа №: 15. Выбор и проверка трансформатора тока на термическую и динамическую устойчивость, ток КЗ и 10%-ую погрешность.

### Раздел 14. Выбор аппаратов и проводников системы электроснабжения объектов напряжением выше 1 кВ

#### Тема 14.6. Выбор и проверка трансформаторов тока

**Цель работы:** сформировать знания об электрических параметрах, устройстве и схемах подключения трансформаторов тока. Сформировать навыки самостоятельной работы при отработке методов решения задач по указанной тематике пользуясь известными теоретическими положениями, математическим аппаратом, графическими средствами, вычислительной техникой.

#### Оснащение:

1. Таблицы с результатами измерений и вычислений.
2. Формулы, необходимые для расчета.

#### Задание:

Выполнить выбор и проверку трансформатора тока на термическую и динамическую устойчивость, ток КЗ и 10%-ую погрешность.

#### Порядок выполнения задания:

1. Проработайте теоретический материал и ответьте на контрольные вопросы.
2. Ознакомьтесь с заданием и выполните его.
3. Оформите результаты работы.

#### Пример 1:

Выбрать и проверить трансформатор тока для линии электропередачи, питающей потребитель максимальным током в рабочем режиме 200А при напряжении 10кВ. Данные по режиму к.з.: ударный ток  $i_y = 20\text{кА}$ ; тепловой импульс  $B_k=100\text{кА}^2\cdot\text{с}$ . К трансформатору тока подключаются: амперметр, счетчики активной и реактивной энергии, токовые реле РТ–40/10 и РТ–40/50. Расстояние между трансформаторами тока и приборами  $l = 5$  м. Ток срабатывания защиты  $I_{c.з} = 900$  А.

#### Решение

Выбираем трансформатор тока типа ТПЛ-10-0,5/Р-200/5-УХЛЗ. Условие выбора выполняется:

$$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ} = U_{\text{раб}} = 10 \text{ кВ};$$
$$I_{1\text{ном}} = 200 \text{ А} = I_{\text{раб.макс}} = 200 \text{ А}.$$

Проверка выбранного трансформатора по току к.з.:

– на динамическую стойкость

$$\sqrt{2} \cdot I_{1\text{ном}} \cdot K_{\text{дин}} = 2 \cdot 0,2 \cdot 250 = 71 \text{ кА} > I_y = 20 \text{ кА};$$

– на термическую стойкость

$$(I_{1\text{ном}} \cdot K_{\text{тер}})^2 t_T = (0,2 \cdot 90)^2 \cdot 1 = 326 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > B_k = 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

$K_{\text{дин}}=250$  и  $K_{\text{тер}}=90$  – коэффициенты динамической и термической стойкости трансформатора взяты из справочника. Выбранный трансформатор динамически и термически

устойчив.

Проверка ТПЛ%10 на соответствие классу точности производится на основе расчетной схемы. Наиболее загруженной является обмотка класса 0,5 трансформатора фазы А, к которой подключены: амперметр, счетчики активной и реактивной энергии.

$$Z_{\text{приб}} = Z_{\text{рА}} + Z_{\text{рI}} + Z_{\text{рК}} = 0,02 + 0,1 + 0,1 = 0,22 \text{ Ом.}$$

Сопротивления амперметра  $Z_{\text{рА}}$ , счетчика активной энергии  $Z_{\text{рI}}$  и счетчика реактивной энергии  $Z_{\text{рК}}$  взяты из табл.

$$Z_{\text{иди}} = \frac{I_{\text{дан}}}{\gamma_{\text{а}} q_{\text{иди}}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 5}{32 \cdot 4} = 0,07 \hat{\text{н}}$$

$L_{\text{расч}} = 31$  — для схемы соединения обмоток трансформаторов неполная звезда;

$Z_{\text{конт}} = 0,1$  Ом — сопротивление контактов.

$$Z_{2\text{расч}} = Z_{\text{приб}} + Z_{\text{пров}} + Z_{\text{конт}} = 0,22 + 0,07 + 0,1 = 0,39 \text{ Ом.}$$

$Z_{2\text{ном}} = 0,4$  Ом — номинальная вторичная нагрузка для сердечника трансформатора с обмоткой класса точности 0,5.

Условие проверки выполняется:

$$Z_{2\text{ном}} = 0,4 \text{ Ом} > Z_{2\text{расч}} = 0,39 \text{ Ом.}$$

Проверка ТПЛ-10 на десятипроцентную погрешность производится для обмотки сердечника Р.

Расчетная кратность тока

$$m = \frac{I_{\text{дан}}}{i_{1\text{н}}} = \frac{990}{200} = 5$$

где  $I_{\text{расч}} = 1,1 I_{\text{с.з}} = 1,1 \cdot 900 = 990$  А — расчетный ток.

По расчетной кривой (см.рис.) находим  $Z_{2\text{доп}} = 1$  Ом.

По табл. выбираем расчетную формулу и рассчитываем  $Z_{2\text{расч}}$  в соответствии с расчетной схемой (рис. 3.16) для режима трехфазного к.з.

$$Z_{2\text{доп}} = Z_{\text{рт1}} + Z_{\text{рт2}} + 3 Z_{\text{пров}} + Z_{\text{конт}} = 0,08 + 0,005 + 0,07 + 0,1 = 0,255 \text{ Ом.}$$

Сопротивления реле РТ1 и РТ2 взяты из табл., сопротивление проводов  $\sqrt{3} \cdot Z_{\text{пров}}$  рассчитано при проверке трансформатора по классу точности.

Условие проверки выполняется:

$$Z_{2\text{доп}} = 1 \text{ Ом} > Z_{2\text{расч}} = 0,255 \text{ Ом.}$$

Таким образом, выбранный трансформатор тока удовлетворяет условиям всех проверок: по току к.з., классу точности и десятипроцентной погрешности. Примечание. В примере 3.2 выбран и проверен трансформатор тока с двумя вторичными обмотками, из которых одна с классом точности 0,5 использована для подключения измерительных приборов и проверена на соответствие классу точности, другая — с сердечником типа Р для подключения релейной защиты проверена по десятипроцентной погрешности. Если же к одной вторичной обмотке трансформатора тока подключены как измерительные приборы, так и реле защиты, то такую обмотку следует проверять как на соответствие классу точности, так и на десятипроцентную погрешность.

**Форма контроля** – защита практической работы.

#### Вопросы для самоконтроля:

1. Каково назначение трансформатора тока?
2. Назовите области применения трансформаторов тока с одной вторичной обмоткой.
3. Назовите области применения трансформаторов тока с двумя вторичными обмотками.
4. Какова допустимая погрешность при использовании трансформатора тока в релейной защите?

#### Рекомендуемая литература:

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для



- сред. проф. образования /Изд. 2-е., М. Издательский центр «Академия», 2014.- 320 с.
2. Аркуша А.И. Техническая «Электроснабжение электротехнического оборудования» [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 268 с. — 978-985-503-590-0. <http://www.iprbookshop.ru/67634.html>
  3. Аркуша А.И. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие /А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 88 с. — 978-985-503-582-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67633.html>

### **Практическая работа № 16. Выбор и проверка трансформатора напряжения для распределительного устройства напряжением 10 кВ**

#### **Раздел 14. Выбор аппаратов и проводников системы электроснабжения объектов напряжением выше 1 кВ**

##### **Тема 14.7. Выбор трансформаторов напряжения**

**Цель работы:** сформировать знания об устройстве трансформаторов тока и схемах их включения в электрические цепи. Сформировать навыки самостоятельной работы при отработке методов решения задач по указанной тематике пользуясь известными теоретическими положениями, математическим аппаратом, графическими средствами, вычислительной техникой.

##### **Оснащение:**

1. Таблицы с результатами измерений и вычислений.
2. Формулы, необходимые для расчета.

##### **Задание:**

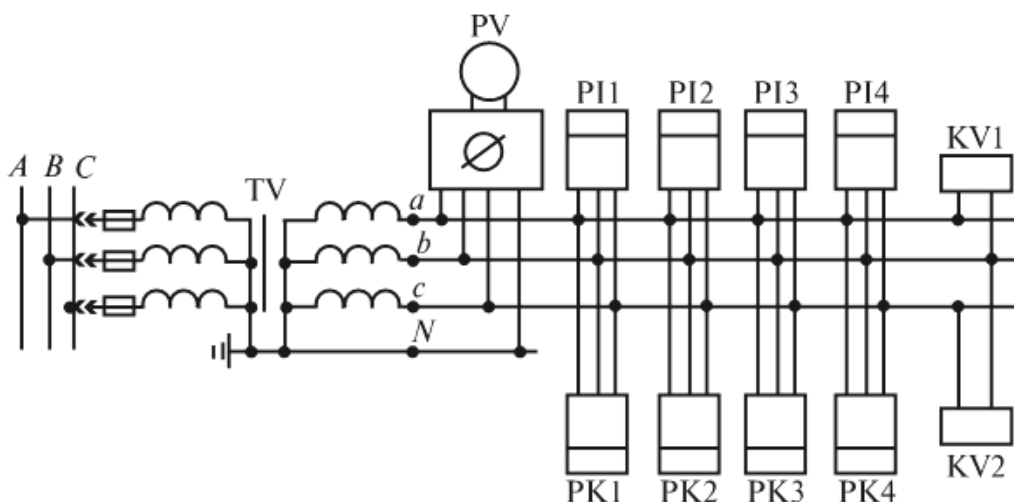
Выполнить выбор и проверку трансформатора напряжения для распределительного устройства напряжением 10 кВ.

##### **Порядок выполнения задания:**

1. Проработайте теоретический материал и ответьте на контрольные вопросы.
2. Ознакомьтесь с заданием и выполните его.
3. Оформите результаты работы.

##### **Пример 1:**

Выбрать и проверить трансформатор напряжения для распределительного устройства напряжением 10 кВ, который должен обеспечить контроль изоляции фаз распределительного устройства и питание приборов, указанных на рис. 3.8: вольтметра PV с переключателем для измерения любого фазного и линейного напряжения; счетчиков активной PI и реактивной PK энергии, установленных для учета энергии четырех потребителей; двух реле напряжения KV1 и KV2.



Расчетная схема для проверки трансформатора напряжения

Выбираем трансформатор напряжения НТМИ-10, который имеет обмотку для контроля изоляции (на рис. не показана) и удовлетворяет условию

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{раб}}: 10 \text{ кВ} = 10 \text{ кВ.}$$

Выбранный трансформатор проверяется по классу точности согласно условию

$$S_{2\text{ном}} \geq S_{2\text{расч.}}$$

В классе точности 0,5, который необходим для нормальной работы счетчиков коммерческого расчета,  $S_{2\text{ном}} = 120 \text{ В}\cdot\text{А}$ .

Расчет  $S_{2\text{расч}}$  производим в соответствии со схемой рис.

Расчетная вторичная мощность определяется по выражению:

$$S_{2\text{д\ddot{a}н\ddot{a}}} = \sqrt{(\sum P_{\text{ид\ddot{e}а}})^2 - (\sum Q_{\text{ид\ddot{e}а}})^2}$$

где  $\sum P_{\text{приб}}$  — сумма активных мощностей приборов и реле, Вт;

$\sum Q_{\text{приб}}$  — сумма реактивных мощностей приборов и реле, вар.

$$S_{2\text{д\ddot{a}н\ddot{a}}} = \sqrt{34,4^2 + 74,^2} = 81 \text{ В}\cdot\text{А}$$

Условие проверки трансформатора напряжения по классу точности выполняется, так как

$$S_{2\text{ном}} = 120 \text{ В}\cdot\text{А} > S_{2\text{расч}} = 81 \text{ В}\cdot\text{А}.$$

**Форма контроля** – защита практической работы.

**Вопросы для самоконтроля:**

1. Изобразите схему включения трансформатора тока в электрическую цепь.
2. Перечислите основные отличия трансформатора тока от трансформатора напряжения.
3. Какой максимальный ток является допустимым для вторичной обмотки трансформатора тока?

**Рекомендуемая литература:**

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для сред.проф.образования /Изд. 2-е.,М. Издательский центр «Академия», 2014.- 320 с.
2. Аркуша А.И. Техническая «Электроснабжение электротехнического оборудования» [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 268 с. — 978-985-503-590-0. <http://www.iprbookshop.ru/67634.html>
3. Аркуша А.И.. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие /А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 88 с. — 978-985-503-582-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67633.html>

## Практическая работа № 17 Расчет токов КЗ в абсолютных единицах в система высокого напряжения

### Раздел 16. Короткие замыкания в системах электроснабжения

#### Тема 16.1. Методы расчетов токов КЗ

**Цель занятия:** закрепить понятие короткого замыкания, научиться рассчитывать токи КЗ в абсолютных единицах. Сформировать навыки самостоятельной работы при отработке методов решения задач по указанной тематике пользуясь известными теоретическими положениями, математическим аппаратом, графическими средствами, вычислительной техникой.

**Оснащение:**

1. Типовая схема электроустановки напряжением выше 1 кВ.

**Задание:**

Выполнить расчет токов КЗ в абсолютных единицах в системах высокого напряжения.

**Порядок выполнения задания:**

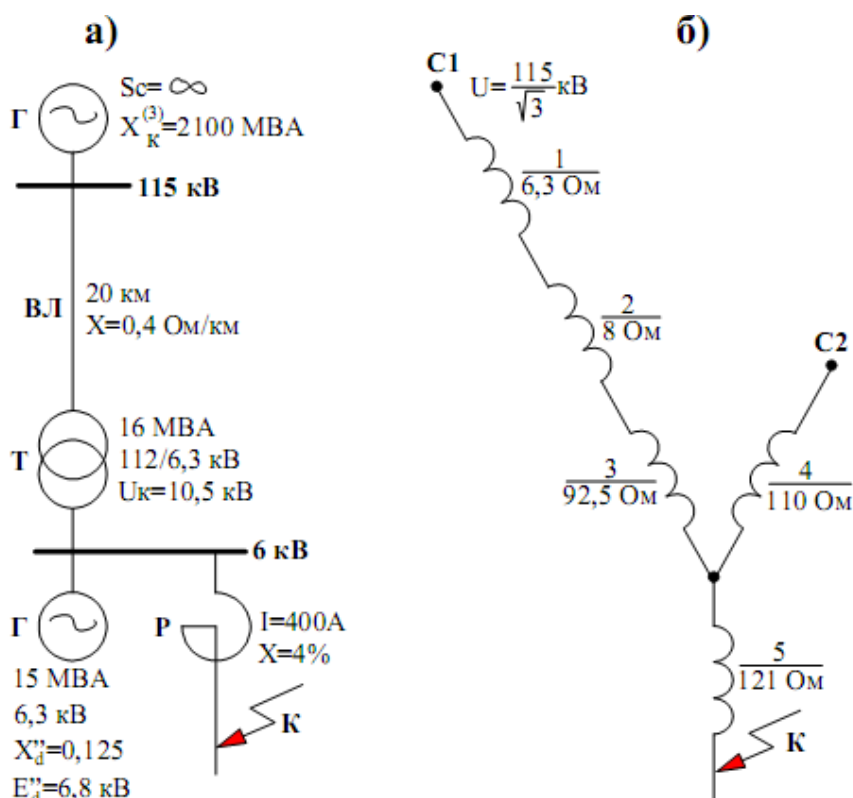
1. Проработайте теоретический материал и ответьте на контрольные вопросы.
2. Ознакомьтесь с заданием и выполните его.
3. Оформите результаты работы.

**Пример 1:**

Определить токи короткого замыкания в точке К (за реактором) при наличии двух источников питания – системы неограниченной мощности и ТЭЦ. Расчетные данные приведены на рисунке.

**Решение.**

Рассчитываем в именованных единицах, пользуясь коэффициентами распределения. За основную (расчетную) ступень трансформации принимаем напряжение ( $U_6 = 115\text{кВ}$ ). Обозначения сопротивлений схемы замещения указаны: порядковыми номерами. Получим:



- для электрической системы

$$x_1 = 115^2 / 2100 = 6,3 \text{ Ом};$$

- для ЛЭП 110 кВ:

$$x_2 = 0,4 \cdot 20 = 8 \text{ Ом};$$

- для трансформатора и генератора:

$$x_3 = 0,105 \cdot 115^2 / 16 = 92,5 \text{ Ом}$$

$$x_4 = 0,125 \cdot 115^2 / 15 = 110 \text{ Ом}$$

- для реактора:

$$x_5 = [0,04 \cdot 6,3 / (\sqrt{3} \cdot 0,4)] (115/6,3)^2 = 121 \text{ Ом}$$

Сопротивление цепи короткого замыкания от электрической системы до точки А:

$$x_1 = x_1 + x_2 + x_3 = 6,3 + 8 + 92,5 = 106,8 \text{ Ом}$$

То же, от генератора:

$$x_{II} = x_4 = 110 \text{ Ом}$$

Коэффициент распределения для системы:

$$c_1 = 110 / (106,8 + 110) = 0,508.$$

То же, от генератора:

$$c_{II} = 1 - c_1 = 1 - 0,508 = 0,492.$$

Эквивалентная ЭДС от двух источников:

$$\dot{A}_{y\hat{e}a} = \frac{115 \cdot 1 / 106,8 + 124 \cdot 1 / 110}{1 / 106,8 + 1 / 110} = 119 \hat{e} \hat{A}$$

Результирующее сопротивление и эквивалентные сопротивления ветвей:

$$x_{\Sigma} = 106,8 \cdot 110 / (106 + 110) + 121 = 175,2 \text{ Ом}$$

$$x_{\text{экв1}} = 175,2 / 0,508 = 345 \text{ Ом}$$

$$x_{\text{экв2}} = 175,2 / 0,492 = 356 \text{ Ом}$$

Суммарный ток короткого замыкания  $I_{\Sigma}$  в точке К, приведенный к расчетной ступени при 115кВ:

$$I_{\Sigma} = 119 / (\sqrt{3} \cdot 175,2) = 392 \text{ А}$$

Ток от системы и генератора соответственно:

$$I_1^1 = 119 / (\sqrt{3} \cdot 345) = 119 \text{ А}$$

$$I_{11}^1 = 119 / (\sqrt{3} \cdot 356) = 193 \text{ A}$$

Приведем указанные токи к ступени точки К короткого замыкания при 6,3 кВ:

$$I_1 = 119 \cdot 115 / 6,3 = 3640 \text{ A}$$

$$I_{11} 193 \cdot 115 / 6,3 = 3520 \text{ A}$$

Суммарный ток:

$$I_K = I_1 = I_{11} = 3640 + 3520 = 7160 \text{ A}$$

**Форма контроля** – защита практической работы.

**Вопросы для самоконтроля:**

1. В чем заключается метод расчетов токов КЗ в абсолютных единицах?
2. В каких случаях удобно использовать этот метод?
3. Каков принцип составления эквивалентной схемы реальной электрической системы?

**Рекомендуемая литература:**

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для сред.проф.образования /Изд. 2-е.,М. Издательский центр «Академия», 2014.- 320 с.
2. Аркуша А.И. Техническая «Электроснабжение электротехнического оборудования» [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 268 с. — 978-985-503-590-0. <http://www.iprbookshop.ru/67634.html>
3. Аркуша А.И.. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие /А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 88 с. — 978-985-503-582-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67633.html>

## **Практическая работа № 18: Расчет токов КЗ в абсолютных единицах в системах низкого напряжения**

### **Раздел 16. Короткие замыкания в системах электроснабжения**

#### **Тема 16.1. Методы расчетов токов КЗ**

**Цель занятия:** закрепить понятие короткого замыкания в системах низкого напряжения. Сформировать навыки самостоятельной работы при отработке методов решения задач по указанной тематике пользуясь известными теоретическими положениями, математическим аппаратом, графическими средствами, вычислительной техникой.

**Оснащение:**

1. Таблицы с результатами измерений и вычислений.
2. Формулы, необходимые для расчета.

**Задание:**

Выполнить расчет токов КЗ в абсолютных единицах в системах низкого напряжения.

**Порядок выполнения задания:**

1. Проработайте теоретический материал и ответьте на контрольные вопросы.
2. Ознакомьтесь с заданием и выполните его.
3. Оформите результаты работы.

**Пример 1:**

Определить ток короткого замыкания на шинах напряжением  $U_{ном}=0,4$  кВ. В питающей сети на 6 кВ установлен выключатель нагрузки типа ВНП-10 с номинальной мощностью отключения  $S_{откл}=200$  МВА. Трансформатор присоединен к щиту  $U_{н.ном} = 0,4$  кВ алюминиевыми шинами толщиной  $80 \times 8$  мм<sup>2</sup> и длиной 5 м через автомат АВМ-15. Расстояние между фазами шин  $L = 250$  мм.

Данные трансформатора:  $S_{ном.т} = 630$  кВА,  $U = 6/0,4$  кВ,  $U_k = 5,5\%$ ,  $\Delta P = 8,5$  кВт.  
К шинам присоединены два асинхронных электродвигателя  $P = 150$  кВт,  $\eta = 0,92$ ,  $\cos\varphi = 0,84$ .

**Решение.**

Сопротивление системы:

$$X_0 = U_{ном}^2 / S_{откл} = 400^2 / (200 \cdot 10^6) = 0,8 \text{ МОм}$$

Сопротивления трансформатора в относительных единицах:

$$r_T = \Delta P / S_{ном} = 8,5 / 630 = 0,0135$$

$$\delta = \sqrt{u_k^2 - r_T^2} = \sqrt{0,055^2 - 0,0135^2} = 0,053$$

Сопротивления трансформатора, приведенные к напряжению 0,4 кВ

$$r_T = 0,0135 \cdot 400^2 / (630 \cdot 10^3) = 3,4 \text{ МОм}$$

$$x_T = 0,053 \cdot 400^2 / (630 \cdot 10^3) = 13,5 \text{ МОм}$$

Сопротивления шин при  $L=250$  мм и удельных сопротивлениях  $x_0 = 0,179$  Ом/м,  $r_0 = 0,06$  Ом/м, будет

$$r_{ш} = 0,06 \cdot 5 = 0,3 \text{ МОм};$$

$$x_{ш} = 0,179 \cdot 5 = 0,9 \text{ МОм}.$$

Переходное сопротивление контактов автомата принимаем равным 0,08 МОм, автомата – 0,3 МОм; переходное сопротивление в местах присоединения шин и в месте короткого замыкания – 15 МОм. Тогда результирующее сопротивление цепи короткого замыкания (без учета сопротивления кабеля до 1000 В)

$$r_{\Sigma} = 3,4 + 0,3 + 15 = 18,7 \text{ МОм}$$

$$x_{\Sigma} = 0,8 + 13,5 + 0,9 = 15,2 \text{ МОм}$$

$$z = \sqrt{18,7^2 + 15,2^2} = 24,1 \hat{=} \hat{\Pi}$$

Ток короткого замыкания

$$I_k = 400 / (\sqrt{3} \cdot 24,1 \cdot 10^{-3}) = 9,6 \text{ кА}$$

Ударный ток при  $x_{\Sigma} / r_{\Sigma} = 15,2 / 18,7 = 0,81$ ;  $k_v = 1,03$ :

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,03 \cdot 9,6 = 13,9 \text{ кА}$$

$$I_y = \sqrt{2} \cdot 1,03 \cdot 9,6 = 13,9 \text{ кА}$$

Без учета сопротивлений в местах контакта шин значения токов короткого замыкания были бы значительно больше и составляли  $I_k = 14,6$  кА;  $k_v = 1,42$ ;  $i_y = 29,3$  кА.

Номинальный ток двух асинхронных двигателей

$$I_{ном} = n \cdot P_{ном} / (\sqrt{3} \cdot \eta \cdot \cos\varphi) = 2 \cdot 150 \cdot 10^3 / (1,73 \cdot 0,92 \cdot 0,84) = 0,59 \text{ кА}$$

Действующее значение тока КЗ от электродвигателей

$$I_k = 4,5 \cdot 0,59 = 2,7 \text{ кА}.$$

Ударный ток от двигателей

$$i_y = 6,5 \cdot 0,59 = 3,8 \text{ кА}.$$

Действующее значение тока КЗ от системы и электродвигателей

$$I' = 9,6 + 2,7 = 12,3 \text{ кА}.$$

Полное значение ударного тока от системы и двигателей

$$i'_y = 13,9 + 3,8 = 17,7 \text{ кА}.$$

**Форма контроля** – защита практической работы.

**Вопросы для самоконтроля:**

1. В чем заключается метод расчетов токов КЗ в абсолютных единицах?

2. В каких случаях удобно использовать этот метод?
3. Каков принцип составления эквивалентной схемы реальной электрической системы?

**Рекомендуемая литература:**

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для сред.проф.образования /Изд. 2-е.,М. Издательский центр «Академия», 2014.- 320 с.
2. Аркуша А.И. Техническая «Электроснабжение электротехнического оборудования» [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 268 с. — 978-985-503-590-0. <http://www.iprbookshop.ru/67634.html>
3. Аркуша А.И.. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие /А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 88 с. — 978-985-503-582-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67633.html>

**Практическая работа № 19 Определение сопротивлений в относительных единицах в электрических системах**

**Раздел 16. Короткие замыкания в системах электроснабжения**

**Тема 16.1. Методы расчетов токов КЗ**

**Цель занятия:** закрепить понятие и методику расчета относительных сопротивлений по эквивалентной электрической схеме. Сформировать навыки самостоятельной работы при отработке методов решения задач по указанной тематике пользуясь известными теоретическими положениями, математическим аппаратом, графическими средствами, вычислительной техникой.

**Оснащение:**

1. Справочные таблицы.

**Задание:**

Определить сопротивления в относительных единицах в электрических системах.

**Порядок выполнения задания:**

1. Проработайте теоретический материал и ответьте на контрольные вопросы.
2. Ознакомьтесь с заданием и выполните его.
3. Оформите результаты работы.

**Методические указания:**

Вопросы теории, рассматриваемые в практической работе: 1. Эквивалентная электрическая схема. 2. Метод последовательных упрощений. 3. Преобразование «треугольника» в «звезду» и «звезды» в «треугольник».

**Пример 1:**

Определить относительные результирующие сопротивления  $X_{\text{БК1}}^*$ ,  $X_{\text{БК2}}^*$  и  $X_{\text{БК3}}^*$  до точек К1, К2 и К3 расчетной схемы на рис., на которой указаны все необходимые расчетные величины.

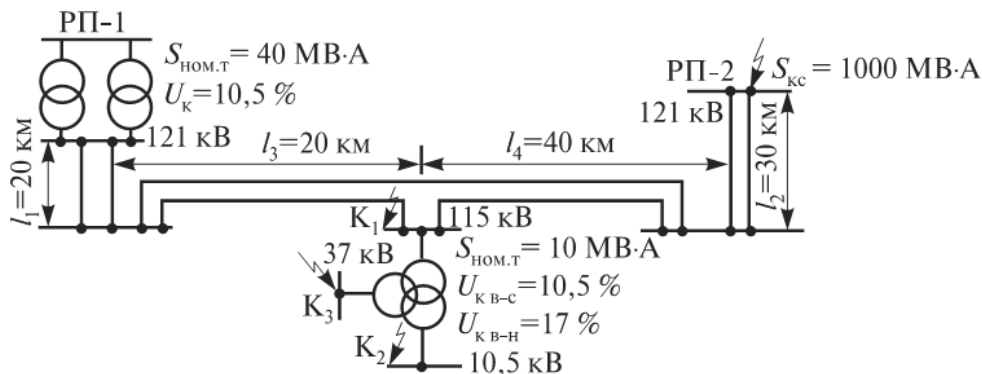
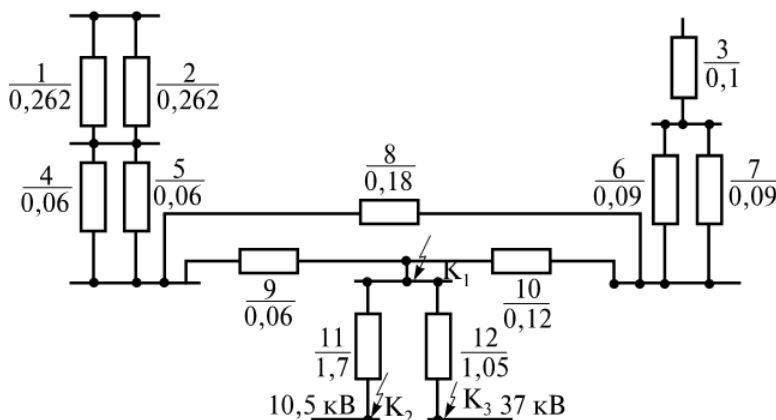


Схема электрической системы для расчета относительных сопротивлений

Активные сопротивления не учитывать, так как они значительно меньше индуктивных. Номинальные напряжения всех элементов считать равными средним напряжениям соответствующих ступеней, указанным на расчетной схеме.



Эквивалентная схема электрической системы для расчета относительных сопротивлений.

Принимаем  $S_{\text{б}} = 100 \text{ МВ}\cdot\text{А}$  и рассчитываем все сопротивления схемы замещения при этой базисной мощности.

Сопротивление трансформаторов расчетной и районной подстанции РП–1 определяем по формуле:

$$X_1 = X_2 = \frac{U_k}{100} \frac{S_{\text{а}}}{S_{\text{нн.д}}} = \frac{10,5}{100} \frac{100}{40} = 0,262;$$

$$X_{11} = \frac{U_{\text{ЕА-і}}}{100} \frac{S_{\text{а}}}{S_{\text{нн.д}}} = \frac{17}{100} \frac{100}{10} = 1,7;$$

$$X_{12} = \frac{U_{\text{ЕА-н}}}{100} \frac{S_{\text{а}}}{S_{\text{нн.д}}} = \frac{10,5}{100} \frac{100}{10} = 1,05;$$

Сопротивление системы до шин районной подстанции РП–2:

$$X_3 = \frac{S_{\text{а}}}{S_{\text{ЕН}}} = \frac{100}{100} = 0,1;$$

Сопротивления линий при напряжении 115 кВ:



$$X_4 = X_5 = \tilde{O}_0 l_1 \frac{S_{\dot{a}}}{U_{\text{CP}}^2} = 0,4 \cdot 20 \frac{100}{115^2} = 0,06;$$

$$X_6 = X_7 = \tilde{O}_0 l_2 \frac{S_{\dot{a}}}{U_{\text{CP}}^2} = 0,4 \cdot 30 \frac{100}{115^2} = 0,09;$$

$$X_8 = \tilde{O}_0 (l_3 + l_4) \frac{S_{\dot{a}}}{U_{\text{CP}}^2} = 0,4 \cdot (20 + 40) \frac{100}{115^2} = 0,18;$$

$$X_9 = \tilde{O}_0 l_3 \frac{S_{\dot{a}}}{U_{\text{CP}}^2} = 0,4 \cdot 20 \frac{100}{115^2} = 0,06;$$

$$X_{10} = \tilde{O}_0 l_4 \frac{S_{\dot{a}}}{U_{\text{CP}}^2} = 0,4 \cdot 40 \frac{100}{115^2} = 0,12;$$

Результаты расчетов проставляем на схеме замещения.

Пользуясь формулами преобразования табл., заменяем как параллельные  $X_1$  и  $X_2$  на  $X_{13}$ ,  $X_4$  и  $X_5$  на  $X_{14}$ ,  $X_6$  и  $X_7$  на  $X_{15}$ , а  $X_8$ ,  $X_9$  и  $X_{10}$ , соединенные в треугольник, заменяем на  $X_{16}$ ,  $X_{17}$  и  $X_{18}$ , соединенные в звезду:

$$\tilde{O}_{13} = \frac{\tilde{O}_1}{2} = \frac{0,262}{2} = 0,131;$$

$$\tilde{O}_{14} = \frac{\tilde{O}_4}{2} = \frac{0,06}{2} = 0,03;$$

$$\tilde{O}_{15} = \frac{\tilde{O}_6}{2} = \frac{0,09}{2} = 0,045;$$

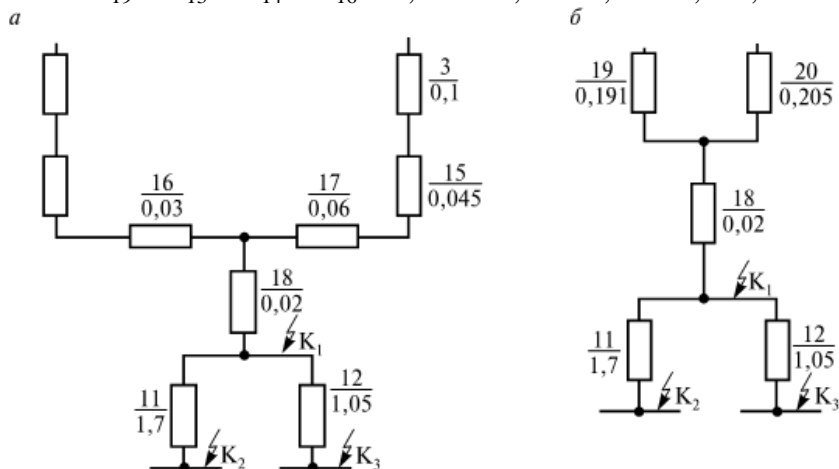
$$\tilde{O}_{16} = \frac{\tilde{O}_8 \tilde{O}_9}{\tilde{O}_8 + \tilde{O}_9 + \tilde{O}_{10}} = \frac{0,18 \cdot 0,06}{0,18 + 0,06 + 0,12} = 0,03;$$

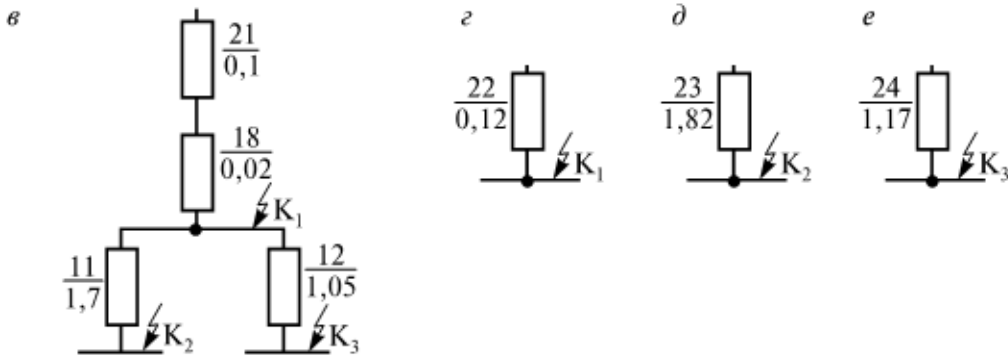
$$\tilde{O}_{17} = \frac{\tilde{O}_8 \tilde{O}_{10}}{\tilde{O}_8 + \tilde{O}_9 + \tilde{O}_{10}} = \frac{0,18 \cdot 0,12}{0,18 + 0,06 + 0,12} = 0,06;$$

$$\tilde{O}_{18} = \frac{\tilde{O}_9 \tilde{O}_{10}}{\tilde{O}_8 + \tilde{O}_9 + \tilde{O}_{10}} = \frac{0,06 \cdot 0,12}{0,18 + 0,06 + 0,12} = 0,02;$$

Полученные результаты проставляем на схеме преобразования, сопротивления  $X_3$ ,  $X_{11}$  и  $X_{12}$  переносим на схему без изменений. Упрощаем полученную схему, заменив сопротивления  $X_{13}$ ,  $X_{14}$  и  $X_{16}$  на  $X_{19}$  и сопротивления  $X_7$ ,  $X_{15}$  и  $X_{17}$  на  $X_{20}$  как последовательные:

$$X_{19} = X_{13} + X_{14} + X_{16} = 0,131 + 0,03 + 0,03 = 0,191;$$





Последовательность упрощения схемы замещения

$$X_{20} = X_3 + X_{15} + X_{17} = 0,1 + 0,045 + 0,006 = 0,205;$$

$$\tilde{O}_{21} = \frac{\tilde{O}_{19} \tilde{O}_{20}}{\tilde{O}_{19} + \tilde{O}_{20}} = \frac{0,191 \cdot 0,205}{0,191 + 0,205} = 0,1;$$

результат проставляем на схему,  $X_{11}$ ,  $X_{12}$  и  $X_{18}$  и переносим без изменения.

Определяем относительное базисное сопротивление до точки  $K_1$ :

$$X_{\text{бк1}} = X_{22} = X_{21} + X_{18} = 0,1 + 0,02 = 0,12 \text{ (рис. г).}$$

Определяем относительное базисное сопротивление до точки  $K_2$ :

$$X_{\text{бк2}} = X_{23} = X_{22} + X_{11} = 0,12 + 1,7 = 1,82 \text{ (рис. д).}$$

Определяем относительное базисное сопротивление до точки  $K_3$ :

$$X_{\text{бк3}} = X_{24} = X_{22} + X_{12} = 0,12 + 1,05 = 1,17 \text{ (рис. е).}$$

**Форма контроля** – защита практической работы.

#### Вопросы для самоконтроля:

1. Что такое эквивалентная электрическая схема?
2. В чем заключается метод последовательных упрощений?
3. Как реализуется преобразование «треугольника» в «звезду» и «звезды» в «треугольник»?
4. Что такое относительное сопротивление?

#### Рекомендуемая литература:

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для сред. проф. образования /Изд. 2-е., М. Издательский центр «Академия», 2014.- 320 с.
2. Аркуша А.И. Техническая «Электроснабжение электротехнического оборудования» [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 268 с. — 978-985-503-590-0. <http://www.iprbookshop.ru/67634.html>
3. Аркуша А.И.. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие /А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 88 с. — 978-985-503-582-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67633.html>

**Практическая работа №: 20. Выбор трансформаторов, расчет мощности подстанции и расчет максимальных рабочих токов подстанции.**

#### Раздел 17. Выбор силовых трансформаторов

##### Тема 17.2. Выбор трансформаторов главной понижающей подстанции

**Цель занятия:** закрепить понятие полной мощности трансформатора. Сформировать навыки расчета максимальных рабочих токов подстанции. Сформировать навыки самостоятельной работы

при отработке методов решения задач по указанной тематике пользуясь известными теоретическими положениями, математическим аппаратом, графическими средствами, вычислительной техникой.

**Оснащение:**

1. Таблицы с результатами измерений и вычислений.
2. Формулы, необходимые для расчета.

**Задание:**

Выполнить выбор трансформаторов, расчет мощности подстанции и расчет максимальных рабочих токов подстанции.

**Порядок выполнения задания:**

1. Проработайте теоретический материал и ответьте на контрольные вопросы.
2. Ознакомьтесь с заданием и выполните его.
3. Оформите результаты работы.

**Пример 1:**

Рассчитать мощность подстанции, выбрать трансформаторы (схема подстанции приведена на рис.12). От подстанции питаются три потребителя со следующими данными:

$$P_{уст1} = 10\,000 \text{ кВт}, K_{с1} = 0,27, \cos \varphi_1 = 0,93;$$

$$P_{уст2} = 3000 \text{ кВт}, K_{с2} = 0,3, \cos \varphi_2 = 0,92;$$

$$P_{уст3} = 5500 \text{ кВт}, K_{с3} = 0,26, \cos \varphi_3 = 0,93;$$

70% мощности потребителей относится к 1-й и 2-й категории и 30% — к 3-й. Коэффициент одновременности максимумов нагрузок потребителей  $K_{рм} = 0,92$ , мощность трансформатора собственных нужд ТСН  $S_{ном.тсн} = 100 \text{ кВ}\cdot\text{А}$ .

1. Расчет максимальных активных мощностей потребителей — по формуле

$$P_{\text{макс}} = P_{\text{уст}} K_{с},$$

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

$K_{с}$  — коэффициент спроса, учитывающий режим работы потребителя, загрузку и КПД оборудования, а также одновременность его включения.

Порядок расчета.

$$P_{\text{макс1}} = 10\,000 \cdot 0,27 = 2700 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{макс2}} = 3000 \cdot 0,3 = 900 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{макс3}} = 5500 \cdot 0,26 = 1430 \text{ кВт};$$

$$\sum_1^n P_{\text{макс}} = 2700 + 900 + 1430 = 5030 \text{ кВт}.$$

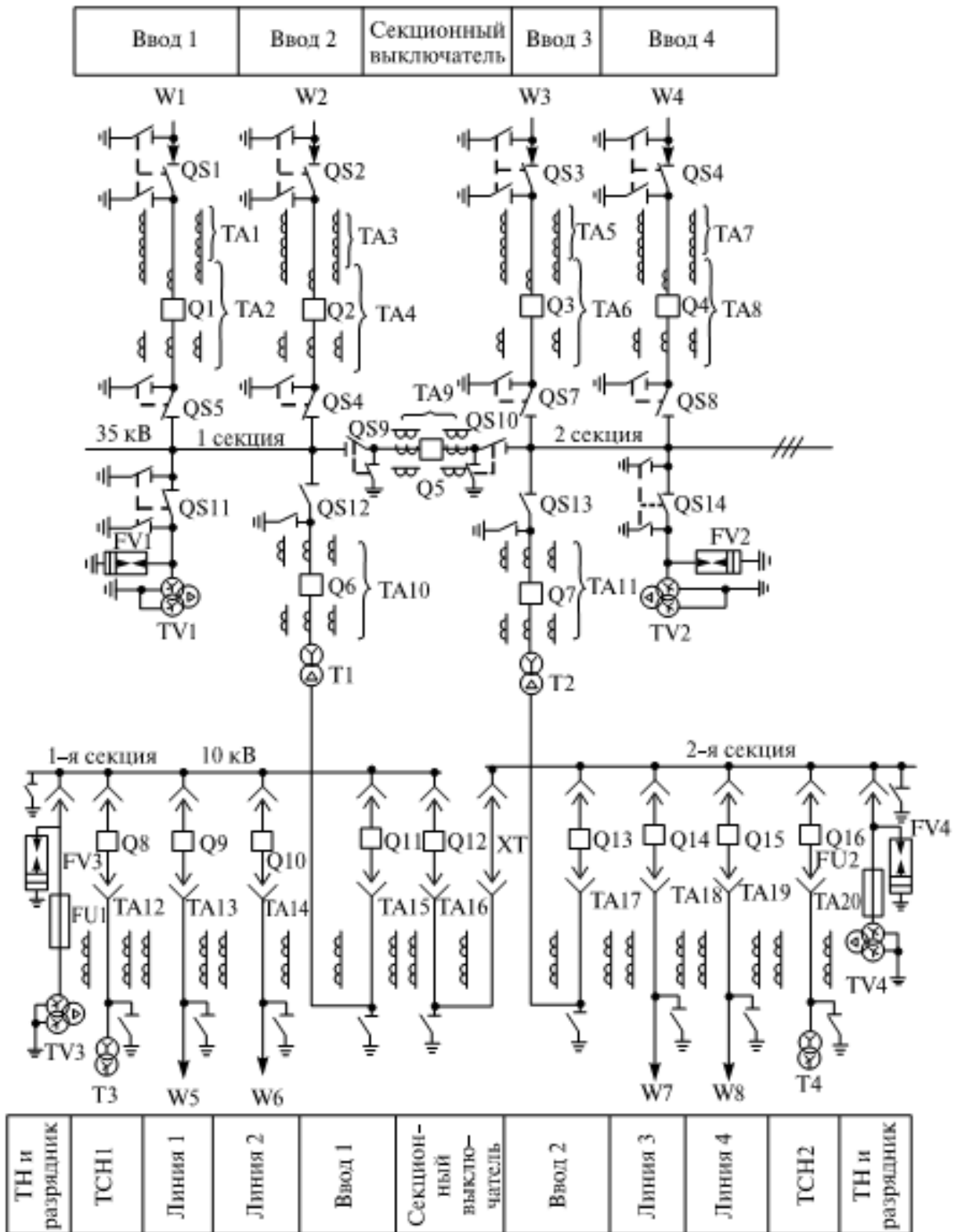


Схема двухтрансформаторной подстанции с первичным напряжением 35 кВ

2. Расчет максимальных реактивных мощностей потребителей — по формуле:

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

где  $\operatorname{tg} \varphi$  — тангенс угла диэлектрических потерь, определяется по заданному  $\cos \varphi$ .

$$Q_{\text{макс}1} = 2700 \cdot 0,394 = 1064 \text{ квар};$$

$$Q_{\text{макс}2} = 900 \cdot 0,424 = 382 \text{ квар};$$

$$Q_{\text{макс}3} = 1430 \cdot 0,394 = 563 \text{ квар};$$

$$\sum_1^n Q_{\text{наб}} = 1064 + 382 + 563 = 2009 \text{ кВт}$$

3. Максимальная полная мощность всех потребителей — по формуле:

$$S_{\text{наб}} = K_{\text{дл}} \left( 1 + \frac{P_{\text{пост}} + P_{\text{пер}}}{100} \right) \sqrt{\left( \sum_1^n P_{\text{наб}} \right)^2 + \left( \sum_1^n Q_{\text{наб}} \right)^2}$$

где  $K_{\text{р.м}}$  — коэффициент одновременности максимумов нагрузок подстанции, определяемый по формуле (6.8);

$$\hat{E}_{\text{дл}} = \frac{\sum_1^n D_{\text{наб}} \cdot \Delta t}{\sum_1^n D_{\text{наб}}}$$

$P_{\text{пост}}$  — постоянные потери, принимаемые 1—2 %;

$P_{\text{пер}}$  — переменные потери, принимаемые 5—8 %.

$$S_{\text{наб}} = 0,92 \left( 1 + \frac{2+8}{100} \right) \sqrt{5030^2 + 2009^2} = 5460 \text{ кВт} \cdot \text{А}$$

4. Расчет мощности на шинах — по формуле:

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

$$S_{\text{макс ш}} = 5460 + 100 = 5560 \text{ кВт} \cdot \text{А.}$$

5. Расчет мощности трансформатора — по (6.13):

$$S_{\text{шт}} \cdot n \geq \frac{S_{\text{наб}}}{1,4(n-1)}$$

где 1,4 — коэффициент допустимой перегрузки трансформатора;

$n$  — количество устанавливаемых трансформаторов.

$$S_{\text{шт}} \cdot n \geq \frac{5560}{1,4(2-1)} = 3970 \text{ кВт} \cdot \text{А}$$

По результатам расчета выбирается трансформатор типа ТМН–4000/35.

6. Мощность тупиковой подстанции, питающейся транзитом от шин проектируемой — по считаем, что на ней установлены 2 трансформатора ТМН–4000/35:

$$S_{\text{тп}} = 2 \cdot 4000 = 8000 \text{ кВт} \cdot \text{А.}$$

7. Мощность проектируемой подстанции с учетом транзита — по формуле:

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

где  $\sum S_{\text{транз}}$  — суммарная мощность подстанций, питающихся транзитом через РУ проектируемой;

$K''_{\text{р.м}}$  — коэффициент одновременности максимумов нагрузок проектируемой и смежных подстанций, питающихся транзитом через РУ проектируемой, принимаемый 0,6–0,8.

$$S_{\text{тп}} = (2 \cdot 4000 + 8000) 0,8 = 12\,800 \text{ кВт} \cdot \text{А.}$$

**Форма контроля** – защита практической работы.

**Вопросы для самоконтроля:**

1. Поясните принцип выбора числа трансформаторов на подстанции.
2. Поясните принцип выбора типов трансформаторов, применяемых на подстанции.
3. Каким образом производится расчет коэффициента загрузки трансформаторов на подстанции?

**Рекомендуемая литература:**

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для сред.проф.образования /Изд. 2-е.,М. Издательский центр «Академия», 2014.- 320 с.
2. Аркуша А.И. Техническая «Электроснабжение электротехнического оборудования» [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 268 с. — 978-985-503-590-0. <http://www.iprbookshop.ru/67634.html>
3. Аркуша А.И.. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие /А.И.Аркуша— Электрон.

текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 88 с. — 978-985-503-582-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67633.html>

## Практическая работа № 21: Расчет максимальных рабочих токов подстанции.

### Раздел 17. Выбор силовых трансформаторов

#### Тема 17.2. Выбор трансформаторов главной понижающей подстанции

**Цель занятия:** закрепить знания о методике выбора количества трансформаторов и их мощности. Сформировать навыки самостоятельной работы при отработке методов решения задач по указанной тематике пользуясь известными теоретическими положениями, математическим аппаратом, графическими средствами, вычислительной техникой.

#### Оснащение:

1. Таблицы с результатами измерений и вычислений.
2. Формулы, необходимые для расчета.

#### Задание:

Выполнить расчет максимальных рабочих токов подстанции.

#### Порядок выполнения задания:

1. Проработайте теоретический материал и ответьте на контрольные вопросы.
2. Ознакомьтесь с заданием и выполните его.
3. Оформите результаты работы.

#### Методические указания:

Изучить связь между мощностью электропотребителей, их категориями по надежности электроснабжения и количеством и мощностью подстанционных трансформаторов по рекомендованной литературе.

#### Пример 1:

Рассчитать максимальные рабочие токи подстанции, схема которой приведена на рис.12. От подстанции питаются три потребителя со следующими данными:

$$P_{\text{уст1}} = 10\,000 \text{ кВт}, K_{\text{с1}} = 0,27, \cos \varphi_1 = 0,93;$$

$$P_{\text{уст2}} = 3000 \text{ кВт}, K_{\text{с2}} = 0,3, \cos \varphi_2 = 0,92;$$

$$P_{\text{уст3}} = 5500 \text{ кВт}, K_{\text{с3}} = 0,26, \cos \varphi_3 = 0,93;$$

70% мощности потребителей относится к 1-й и 2-й категории и 30% — к 3-й. Коэффициент разновременности максимумов нагрузок потребителей  $K_{\text{рм}} = 0,92$ , мощность трансформатора собственных нужд ТСН  $S_{\text{ном.тсн}} = 100 \text{ кВ}\cdot\text{А}$ .

#### Решение

Максимальные рабочие токи сборных шин и присоединений подстанции — по формулам табл.:  
– вводы подстанций

$$I_{\text{раб.макс}} = \frac{K_{\text{пр}} S_{\text{тп}}}{\sqrt{3} U_{\text{ном}}}$$
$$I_{\text{раб.макс}} = \frac{1,3 \cdot 12800}{\sqrt{3} \cdot 35} = 275 \text{ А}$$

– сборные шины РУ–35 кВ

$$I_{\text{раб.макс}} = \frac{K_{\text{пр}} K_{\text{рн}} S_{\text{тп}}}{\sqrt{3} U_{\text{ном}}}$$
$$I_{\text{раб.макс}} = \frac{1,3 \cdot 0,6 \cdot 12800}{\sqrt{3} \cdot 35} = 165 \text{ А}$$

– первичная обмотка трансформатора

$$I_{\text{раб.макс}} = \frac{K_{\text{пер}} S_{\text{НОМ.Т}}}{\sqrt{3} U_{\text{НОМ1}}}$$

$$I_{\text{раб.макс}} = \frac{1,5 \cdot 4000}{\sqrt{3} \cdot 35} = 100 \text{ А}$$

– вторичная обмотка трансформатора

$$I_{\text{раб.макс}} = \frac{K_{\text{пер}} S_{\text{НОМ.Т}}}{\sqrt{3} U_{\text{НОМ2}}}$$

$$I_{\text{раб.макс}} = \frac{1,5 \cdot 4000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 346 \text{ А}$$

– сборные шины РУ–10 кВ

$$I_{\text{раб.макс}} = \frac{K_{\text{р.н.}} \cdot 5 \cdot S_{\text{НОМ.Т}}}{\sqrt{3} U_{\text{НОМ2}}}$$

$$I_{\text{раб.макс}} = \frac{0,6 \cdot 2 \cdot 4000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 276 \text{ А}$$

– первичная обмотка ТСН

$$I_{\text{раб.макс}} = \frac{K_{\text{пер}} S_{\text{НОМ.Т}}}{\sqrt{3} U_{\text{НОМ1}}}$$

$$I_{\text{раб.макс}} = \frac{1,5 \cdot 100}{\sqrt{3} \cdot 10} = 8,5 \text{ А}$$

– линии потребителей

$$I_{\text{раб.макс}} = \frac{K_{\text{п.р}} P_{\text{макс}}}{\sqrt{3} U_{\text{НОМ}} \cos \varphi}$$

$$I_{\text{раб.макс}1} = \frac{1,3 \cdot 2700}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,93} = 217 \text{ А}$$

$$I_{\text{раб.макс}2} = \frac{1,3 \cdot 900}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,92} = 74 \text{ А}$$

$$I_{\text{раб.макс}3} = \frac{1,3 \cdot 1430}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,93} = 110 \text{ А}$$

**Форма контроля** – защита практической работы.

**Вопросы для самоконтроля:**

1. Поясните методику расчета максимальных рабочих токов подстанции.
2. Какая связь существует между мощностью потребителей и рабочими токами подстанции?
3. Перечислите подстанционное оборудование, параметры которого непосредственно связаны с рабочими токами подстанции.

**Рекомендуемая литература:**

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для сред.проф.образования /Изд. 2-е.,М. Издательский центр «Академия», 2014.- 320 с.
2. Аркуша А.И. Техническая «Электроснабжение электротехнического оборудования» [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 268 с. — 978-985-503-590-0. <http://www.iprbookshop.ru/67634.html>
3. АркушаА.И.. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие /А.И.Аркуша— Электрон.

текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 88 с. — 978-985-503-582-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67633.html>

## **Практическая работа № 22: Выбор числа и мощности цеховых трансформаторов**

### **Раздел 17. Выбор силовых трансформаторов**

#### **Тема 17.3. Принципы выбора единичной мощности трансформаторов цеховых подстанций**

**Цель занятия:** закрепить понятие о структуре и типовых электрических схемах цеховых подстанций. Сформировать навыки самостоятельной работы при отработке методов решения задач по указанной тематике пользуясь известными теоретическими положениями, математическим аппаратом, графическими средствами, вычислительной техникой.

#### **Оснащение:**

1. Таблицы с результатами измерений и вычислений.
2. Формулы, необходимые для расчета.

#### **Задание:**

Выполнить выбор числа и мощности цеховых трансформаторов.

#### **Порядок выполнения задания:**

1. Проработайте теоретический материал и ответьте на контрольные вопросы.
2. Ознакомьтесь с заданием и выполните его.
3. Оформите результаты работы.

#### **Методические указания:**

Проработать методику определения плотности электрических нагрузок в цехе и принцип определения количества цеховых ТП по рекомендованной литературе.

#### **Пример 1:**

Для штамповочного цеха, имеющего расчетную нагрузку  $S_p=3800$  кВ·А и производственную площадь  $F = 14\,400$  м<sup>2</sup>, определите мощность и число трансформаторов цеховых подстанций, устанавливаемых открыто, при условии полного резервирования электроснабжения потребителей.

#### **Решение.**

Находим плотность нагрузки по формуле:

$$S_y = \frac{S_p}{F}$$

где  $S_p$  — расчетная полная мощность нагрузки объекта (корпуса, цеха, отделения и т.д.);  $F$  — производственная площадь объекта.

$$S_y = \frac{3800}{14400} = 0,26 \text{ кВ} \cdot \text{А} / \text{м}^2$$

При  $s_y = 0,26$  кВ·А/м<sup>2</sup> рекомендуется принимать  $S_{ном} = 1600$  кВ·А.

С целью снижения пожароопасности цеха выбираем КТП с сухими трансформаторами типа ТСЗЛ. Для сухих трансформаторов двухтрансформаторных подстанций наибольшее значение  $\beta_{та} = 1,2$ . По табл. при  $\beta_{та} = 1,2$  принимаем  $\beta_{та} = 0,6$ .



### Зависимость $\beta_T$ от $\beta_{T,a}$

$\beta_{T,a}$	$\beta_T$	
	Двухтрансформаторная подстанция	Трехтрансформаторная подстанция
1	0,5	0,666
1,1	0,55	0,735
1,2	0,6	0,8
1,3	0,65	0,86
1,4	0,7	0,93

Определяем число трансформаторов:

$$N_T = \frac{3800}{0,6 \cdot 1600} = 3,96; \quad N_T = 4.$$

Имеем две двухтрансформаторные подстанции с трансформаторами мощностью 1600кВ·А.

**Форма контроля** – защита практической работы.

**Вопросы для самоконтроля:**

- Опишите методику определения плотности электрических нагрузок в цехе.
- Опишите методику выбора и размещения цеховых ТП.
- Опишите методику расчета мощности цеховых ТП.

**Рекомендуемая литература:**

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для сред.проф.образования /Изд. 2-е.,М. Издательский центр «Академия», 2014.- 320 с.
2. Аркуша А.И. Техническая «Электроснабжение электротехнического оборудования» [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 268 с. — 978-985-503-590-0. <http://www.iprbookshop.ru/67634.html>
3. Аркуша А.И.. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие /А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 88 с. — 978-985-503-582-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67633.html>

**Практическая работа № 23: Выбор сечения шин на подстанциях**

**Раздел 18. Выбор электрооборудования на напряжении до 1 кВ**

**Тема 18.2. Выбор шинопроводов**

**Цель занятия:** закрепить понятие сборных шин и методики их выбора. Сформировать навыки самостоятельной работы при отработке методов решения задач по указанной тематике пользуясь известными теоретическими положениями, математическим аппаратом, графическими средствами, вычислительной техникой.

**Оснащение:**

1. Таблицы с результатами измерений и вычислений.
2. Формулы, необходимые для расчета.

**Задание:**

Выполнить выбор сечения шин на подстанциях.

**Порядок выполнения задания:**

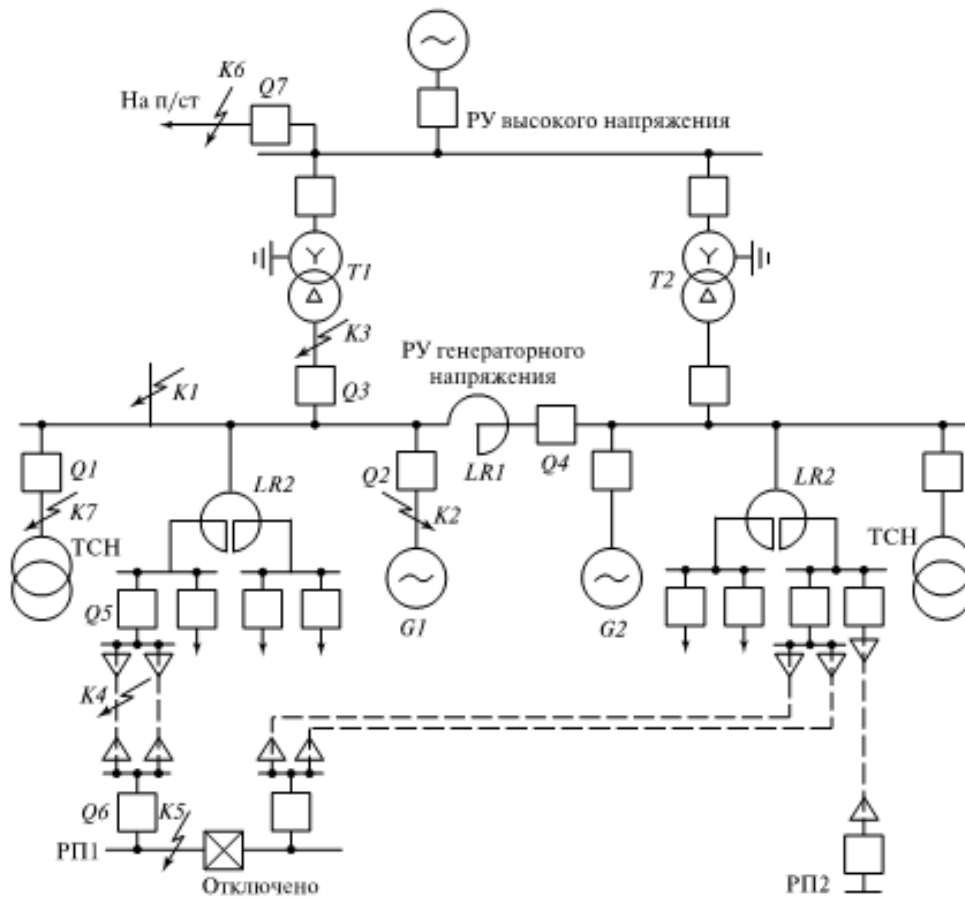
1. Проработайте теоретический материал и ответьте на контрольные вопросы.
2. Ознакомьтесь с заданием и выполните его.
3. Оформите результаты работы.

**Методические указания:**

Изучить методику выбора сборных шин и их проверки на электродинамическую и тепловую устойчивость к токам КЗ по рекомендованной литературе.

**Пример 1:**

Выбрать сечение алюминиевых шин в цепи трансформатора собственных нужд ТДНС-10000/10 (см.рис.) на стороне высшего напряжения. Продолжительность использования максимальной нагрузки  $T_{max} = 7500$  ч. Максимальная температура воздуха в распредустройстве  $35^{\circ}C$ . При повреждении рабочего трансформатора потребители собственных нужд получают питание от резервного трансформатора.



Принципиальная схема ТЭЦ

**Решение**

Расчетный ток нормального режима трансформатора

$$I_{норм.расч} = S_{ном.Т} / (\sqrt{3} \cdot U_{ном}) = 10\,000 / (\sqrt{3} \cdot 10) = 577 \text{ А.}$$

Для алюминиевых шин при  $T_{max} = 7500$   $J=0,8 \text{ А/мм}^2$ , поэтому

$$S_{расч} = 578 / 0,8 = 722,5 \text{ мм}^2.$$

В цепях с небольшими рабочими токами применяют шины прямоугольного сечения. Использование других профилей (коробчатого, трубы квадратной или круглой) нецелесообразно, так как площадь сечения намного больше требуемого расчетного сечения, а допустимые токи продолжительного режима выше 2000А. Следовательно шины прямоугольного сечения

$$s = 100 \times 6 = 600 \text{ мм}^2.$$

Допустимый ток продолжительного режима шин;  $I_{прод.доп} = 1425 \text{ А}$ . Учитывая разницу между температурой окружающей среды и нормированной, находим поправочный коэффициент на температуру окружающей среды

$$\hat{E}_g = \sqrt{(70 - 35)/(70 - 25)} = 0,88$$

При наличии явного резерва в системе собственных нужд проверку шин на нагрев проводят по току нормального режима. Поэтому

$$I_{утж} = 577 \text{ А} < K_{ав.п} K_g I_{прод.доп} = 1 \cdot 0,88 \cdot 1425 = 1254 \text{ А}.$$

**Форма контроля** – защита практической работы.

**Вопросы для самоконтроля:**

1. Что такое сборные шины?
2. В каких случаях необходимо разделение сборных шин на секции?
3. Какова методика определения площади и формы сечения сборных шин в зависимости от рабочих токов и токов КЗ?

**Рекомендуемая литература:**

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для сред.проф.образования /Изд. 2-е., М. Издательский центр «Академия», 2014.- 320 с.
2. Аркуша А.И. Техническая «Электроснабжение электротехнического оборудования» [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 268 с. — 978-985-503-590-0. <http://www.iprbookshop.ru/67634.html>
3. Аркуша А.И.. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие /А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 88 с. — 978-985-503-582-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67633.html>

## Практическая работа № 24: Выбор выключателя в цепи кабельной линии

### Раздел 20. Конструкции заземлителей

#### Тема 20.2. Защита автоматическими выключателями

**Цель занятия:** закрепить понятие выключателя нагрузки и мощного выключателя. Сформировать навыки самостоятельной работы при отработке методов решения задач по указанной тематике пользуясь известными теоретическими положениями, математическим аппаратом, графическими средствами, вычислительной техникой.

**Оснащение:**

1. Таблицы с результатами измерений и вычислений.
2. Формулы, необходимые для расчета.

**Задание:**

Выбрать выключатель в цепи кабельной линии.

**Порядок выполнения задания:**

1. Проработайте теоретический материал и ответьте на контрольные вопросы.
2. Ознакомьтесь с заданием и выполните его.
3. Оформите результаты работы.

**Методические указания:**

Получить теоретические знания о назначении и устройстве выключателей нагрузки и мощных выключателей, а также об особенностях их приводов и принципах дугогашения по рекомендованной литературе.

**Пример 1:**

Выбрать выключатель в цепи кабельной линии с реактором РБ-10-1000-0,35 к которому подключены РП с  $P_{нрРП} = 7 \text{ МВт}$  и  $t_{р.з} = 0,8 \text{ с}$ .

Расчетный продолжительный ток кабелей питающих РП определяется по формуле

$$I_{\text{о\ddot{a}e}} = \frac{D}{\sqrt{3} U_{\text{нн}} \cos \varphi_{\text{нн}}} = \frac{7 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 0,8} = 505,2 \text{ А}$$

Расчетной точкой короткого замыкания является точка КЗ,

$$I_{п0} = 15,6 \text{ кА}; \quad T_{a.эк} = 0,20 \text{ с};$$

$$I_{\text{о\ddot{a}}} = \sqrt{2} I_{\text{н}} (1 + e^{-0,01/T_{a.эк}}) = \sqrt{2} \cdot 15,6(1 + e^{-0,01/0,2}) = 42,9 \text{ \AA}$$

По условиям номинального напряжения, расчетного продолжительного тока и периодической составляющей тока КЗ в начальный момент времени подходит вакуумный выключатель ВВЭ-М-10-20, устанавливаемый в КРУ К-104 М. Параметры выключателя следующие

$$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}; I_{\text{ном}} = 630 \text{ А}; I_{\text{откл.ном}} = 20 \text{ кА}; I_{\text{вкл.ном}} = 20 \text{ кА}; i_{\text{вкл.ном}} = 51 \text{ кА};$$

$$I_{\text{пр.скв}} = 20 \text{ кА}; i_{\text{пр.скв}} = 51 \text{ кА}; \beta_{\text{норм}} = 50 \%; I_{\text{тер}} = 20 \text{ кА}; t_{\text{тер}} = 3 \text{ с}; t_{\text{св.откл}} = 0,02 \text{ с}.$$

Проверим выбранный выключатель по включающей способности:

$$I_{\text{вкл.ном}} = 20 \text{ кА} > I_{п0} = 15,6 \text{ кА};$$

$$i_{\text{вкл.ном}} = 51 \text{ кА} > i_{\text{уд}} = 42,9 \text{ кА}.$$

Проверим выбранный выключатель по отключающей способности. Расчетное время отключения

$$\tau = t_{\text{откл}} = t_{\text{р.з}} + t_{\text{св.откл}} = 0,8 + 0,02 = 0,82 \text{ с}.$$

Для произвольного момента времени из Примера 6.5.3 известно, что

$$I_{\text{пт}} = I_{п0} = 15,6 \text{ кА};$$

и по условию проверки на симметричный ток отключения

$$I_{\text{откл.ном}} = 20 \text{ кА} > I_{\text{пт}} = 15,6 \text{ кА}.$$

Определим аperiodическую составляющую тока КЗ в момент начала расхождения контактов выключателя

Определим аperiodическую составляющую тока КЗ в момент начала расхождения контактов выключателя

$$i_{\text{ат}} = i_{\text{атГ1}} = \sqrt{2} I_{\text{н}} e^{\tau/T_{a.эк}} = \sqrt{2} \cdot 15,6 \cdot e^{-0,82/0,2} = 14,64 \text{ \AA}$$

$$i_{a.\text{ном}} = I_{\text{откл.ном}} \beta_{\text{норм}} / 100 = \sqrt{2} \cdot 20 \cdot 50 / 100 = 14,12 \text{ кА} < i_{\text{ат}} = 14,64 \text{ кА}.$$

Так как  $I_{\text{откл.ном}} = 20 \text{ кА} > I_{\text{пт}} = 15,6 \text{ кА}$ , а  $i_{a.\text{ном}} = 14,12 \text{ кА} < i_{\text{ат}} = 14,64 \text{ кА}$ , то проверку по отключающей способности проводим по условному полному току КЗ. Полный ток отключения

$$\sqrt{2} \cdot I_{\text{откл.ном}} (1 + \beta_{\text{норм}} / 100) \geq I_{\text{пт}} + i_{\text{ат}};$$

$$\sqrt{2} \cdot 20 (1 + 50 / 100) = 42,43 \text{ кА} > \sqrt{2} \cdot I_{\text{пт}} + i_{\text{ат}} = \sqrt{2} \cdot 15,6 + 19 = 36,7 \text{ кА}.$$

Таким образом, намеченный к установке в цепи кабельной линии выключатель ВВЭ-М-10-20 удовлетворяет условию проверки по отключающей способности. Проверим выбранный выключатель на электродинамическую стойкость при КЗ

$$I_{\text{пр.скв}} = 20,0 \text{ кА}; I_{п0} = 15,6 \text{ кА};$$

$$i_{\text{пр.скв}} = 51 \text{ кА}; i_{\text{уд}} = 42,9 \text{ кА}.$$

Так как  $t_{\text{откл}} = 0,82 \text{ с} < t_{\text{тер}} = 3 \text{ с}$ , то проверку на термическую стойкость проведем по условию

$$I_{\text{тер}}^2 t_{\text{откл}} = 20^2 \cdot 0,82 = 324 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > I_{п0}^2 (t_{\text{откл}} + T_a) = 15,6^2 \cdot (0,82 + 0,2) = 248,23 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Выключатель удовлетворяет условию термической стойкости. В присоединении кабельной линии устанавливается выключатель ВВЭ-М-10-20. Разъединитель в присоединении кабельной линии не выбираем, так как используем втычные контакты в КРУ.

**Форма контроля – защита практической работы.**

**Вопросы для самоконтроля:**

1. Какова методика выбора выключателя для отключения максимального рабочего тока нагрузки?
2. Какова методика выбора выключателя для отключения тока КЗ?

**Рекомендуемая литература:**

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для сред.проф.образования /Изд. 2-е.,М. Издательский центр «Академия», 2014.- 320 с.
2. Аркуша А.И. Техническая «Электроснабжение электротехнического оборудования» [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 268 с. — 978-985-503-590-0. <http://www.iprbookshop.ru/67634.html>
3. Аркуша А.И.. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие /А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования

## **Практическая работа № 25: Расчет системы заземления подстанции.**

### **Раздел 20. Конструкции заземлителей**

#### **Тема 20.3. Системы заземления подстанций**

**Цель занятия:** закрепить понятие токов растекания и входного сопротивления заземлителя. Сформировать навыки самостоятельной работы при расчете искусственных заземлителей.

#### **Оснащение:**

1. Таблицы с результатами измерений и вычислений.
2. Формулы, необходимые для расчета.

#### **Задание:**

Рассчитать систему заземления подстанции.

#### **Порядок выполнения задания:**

1. Проработайте теоретический материал и ответьте на контрольные вопросы.
2. Ознакомьтесь с заданием и выполните его.
3. Оформите результаты работы.

#### **Методические указания:**

Вопросы теории, рассматриваемые в практической работе: 1. Назначение заземлителей. 2. Естественные и искусственные заземлители. 3. Токи растекания. 4. Входные сопротивления заземлителей.

#### **Пример 1:**

Требуется рассчитать заземление подстанции с двумя трансформаторами 10/0,4 кВ мощностью 630 кВ·А со следующими данными: наибольший ток через заземление при замыкании на землю на стороне 10 кВ 18 А; грунт в месте сооружения - глина; климатическая зона 3.

#### **Решение.**

Предполагается сооружение заземлителя с внешней стороны здания, к которому примыкает подстанция, с расположением вертикальных электродов в один ряд; материал - круглая сталь диаметром 20 мм, метод погружения — ввертывание; верхние концы вертикальных стержней, погруженные на глубину 0,7 м, приварены к горизонтальному электроду из той же стали.

1. Для стороны 10 кВ требуется сопротивление заземления, определяемое формулой:

$$r_{з\text{м}} = 125 / 18 = 6,95 \text{ Ом}$$

где расчетное напряжение на заземляющем устройстве принято равным 125 В, так как заземляющее устройство выполняется общим для сторон 10 и 0,4 кВ. Сопротивление заземления не должно превышать 4 Ом. Таким образом, расчетным является сопротивление заземления  $r_{з\text{м}} = 4 \text{ Ом}$ .

2. Сопротивление искусственного заземлителя

$$R_{и} = 4 \text{ Ом.}$$

3. Рекомендованное для расчетов сопротивление грунта в месте сооружения заземления (глина) составляет 70 Ом·м. Повышающие коэффициенты  $k$  для 3-й климатической зоны по табл. принимаются равными 2,2 для горизонтальных электродов при глубине заложения 0,7 м и 1,5 для вертикальных электродов длиной 2 - 3 м при глубине заложения их верхнего конца 0,5 - 0,8 м.

Расчетные удельные сопротивления грунта:

- для горизонтальных электродов  $\rho_{\text{расч.г}} = 2,2 \cdot 70 = 154 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ;

- для вертикальных электродов,  $\rho_{\text{расч.в}} = 1,5 \cdot 70 = 105 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ;

4. Определяется сопротивление растеканию одного стержня диаметром 20 мм, длиной 2 м при погружении ниже уровня земли на 0,7 м по формуле

$$R_{\hat{A}i} = \frac{\rho_{\text{сталь}}}{2\pi l} \left( \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right) = \frac{105}{2\pi \cdot 2} \left( \ln \frac{2 \cdot 2}{0,02} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 1,7 + 2}{4 \cdot 1,7 - 2} \right) = 46,7 \hat{\Omega}$$

5. Определяется теоретическое число вертикальных электродов по выражению

$$n_T = \frac{R_{B,O}}{R_{\hat{E}}} = \frac{46,7}{4} = 11,68 \approx 12$$

6. Определяется число вертикальных заземлителей с учетом коэффициента использования  $\eta_{B,P} = 0,70$ , который определен по табл. При  $n_T = 12$  и  $a/l = 2$

$$n_T = \frac{46,7}{0,70 \cdot 4} = 16,7$$

7. Определяется сопротивление растеканию горизонтального электрода из круглой стали диаметром 20 мм, приваренного к верхним концам вертикальных стержней, с учетом коэффициента использования горизонтального электрода.

Коэффициент использования горизонтального электрода в ряду из стержней при числе их примерно 17 и отношении расстояния между стержнями к длине стержня  $a/l = 2$  в соответствии с табл. принимается равным 0,52.

Сопротивление растеканию горизонтального электрода без учета коэффициента использования горизонтального электрода определяется по формуле

$$R_{\hat{a}} = \frac{\rho_{\text{сталь}}}{2\pi l_{\hat{a}}} \cdot \ln \frac{2l_{\hat{a}}^2}{bt} = \frac{154}{2\pi \cdot 64} \cdot \ln \frac{2 \cdot 64^2}{2 \cdot 0,02 \cdot 0,7} = 4,82 \hat{\Omega}$$

Сопротивление растеканию горизонтального электрода с учетом коэффициента использования горизонтального электрода

$$R_{\hat{A}} = \frac{R_{\hat{A}i}}{R_{\hat{A}D}} = \frac{4,82}{0,52} = 9,27 \hat{\Omega}$$

8. Уточненное сопротивление растеканию вертикальных электродов с учетом горизонтальных электродов

$$R_B = \frac{9,27 \cdot 4}{9,27 - 4} = 7,04 \hat{\Omega}$$

9. Уточненное число вертикальных электродов определяется при коэффициенте использования в.р 0,67  $h =$ , принятом из табл. 3.5 при  $16/2$  и  $a/l = 2$  ( $n = 16$  вместо 17 принято из условия уменьшения числа

$$n = \frac{46,7}{0,67 \cdot 7,04} \approx 10$$

10. Производится проверка выполнения условия

$$R_{\hat{E}} = \frac{R_{\hat{A}i} R_1}{R_{\hat{A}} \eta_{\hat{A}} + R_{\hat{A}i} \eta_{\hat{A}}} = \frac{46,7 \cdot 4,82}{4,82 \cdot 10 \cdot 0,72 + 46,7 \cdot 0,75} = 3,22 < 4 \hat{\Omega}$$

Условие выполняется.

Окончательно принимается десять вертикальных стержней, при этом сопротивление растеканию несколько меньше расчетного.

**Форма контроля** – защита практической работы.

**Вопросы для самоконтроля:**

1. Каково назначение заземлителей?
2. Что такое естественные и искусственные заземлители?
3. Что такое токи растекания?
4. Как определяются сопротивления заземлителей току растекания и импульсному току растекания?

**Рекомендуемая литература:**

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для сред. проф. образования /Изд. 2-е., М. Издательский центр «Академия», 2014.- 320 с.
2. Аркуша А.И. Техническая «Электроснабжение электротехнического оборудования»

[Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 268 с. — 978-985-503-590-0. <http://www.iprbookshop.ru/67634.html>

3. Аркуша А.И.. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие /А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 88 с. — 978-985-503-582-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67633.html>

### Критерии и шкала оценивания

Оценка	Критерии оценки
Отлично	студент обнаруживает систематическое и глубокое знание программного материала по дисциплине, умеет свободно ориентироваться в вопросе. Ответ полный и правильный на основании изученного материала. Выдвинутые положения аргументированы и иллюстрированы примерами. Материал изложен в определенной логической последовательности, осознанно, литературным языком, с использованием современных научных терминов; ответ самостоятельный. Студент уверенно отвечает на дополнительные вопросы.
Хорошо	студент обнаруживает полное знание учебного материала, демонстрирует систематический характер знаний по дисциплине. Ответ полный и правильный, подтвержден примерами; но их обоснование не аргументировано, отсутствует собственная точка зрения. Материал изложен в определенной логической последовательности, при этом допущены 2-3 несущественные погрешности, исправленные по требованию экзаменатора. Студент испытывает незначительные трудности в ответах на дополнительные вопросы. Материал изложен осознанно, самостоятельно, с использованием современных научных терминов, литературным языком.
Удовлетворительно	студент обнаруживает знание основного программного материала по дисциплине, но допускает погрешности в ответе. Ответ недостаточно логически выстроен, самостоятелен. Основные понятия употреблены правильно, но обнаруживается недостаточное раскрытие теоретического материала. Выдвигаемые положения недостаточно аргументированы и не подтверждены примерами; ответ носит преимущественно описательный характер. Студент испытывает достаточные трудности в ответах на вопросы. Научная терминология используется недостаточно.
Неудовлетворительно	выставляется студенту, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебного материала по дисциплине. При ответе обнаружено непонимание студентом основного содержания теоретического материала или допущен ряд существенных ошибок, которые студент не может исправить при наводящих вопросах экзаменатора, затрудняется в ответах на вопросы. Студент подменил научное обоснование проблем рассуждением бытового плана. Ответ носит поверхностный характер; наблюдаются неточности в использовании научной терминологии.

### Тематический план видов самостоятельной работы обучающихся

Наименование разделов и тем	Содержание практической работы обучающихся
1	2
Раздел 5.	Схемы электрических соединений в системе электроснабжения

Тема 5.6.	Схемы цеховых электрических сетей напряжением до 1кВ
	<b>Самостоятельная работа:</b>
	Подготовить конспект по теме: «Особенности сетей освещения и их типовые схемы»
<b>Раздел 6.</b>	<b>Схемы электрических соединений подстанций</b>
Тема 6.4.	Схемы трансформаторных подстанций напряжением 6... 10/0,4...0,66 кВ
	<b>Самостоятельная работа:</b>
	Подготовить конспект по теме: «Основные требования к схемам распределительных подстанций на напряжении до 1 кВ. Примеры выполнения типовых схем подстанций на напряжении до 1 кВ».
<b>Раздел 7.</b>	<b>Схемы трансформаторных и распределительных подстанций</b>
Тема 7.3.	Внутренние распределительные устройства
	<b>Самостоятельная работа:</b>
	Подготовить конспект по теме: «Открытые распределительные устройства напряжением до 220 кВ»
<b>Раздел 8.</b>	<b>Характеристики графиков нагрузки элементов систем электроснабжения</b>
Тема 8.2.	Групповые графики электрических нагрузок
	<b>Самостоятельная работа:</b>
	Подготовить конспект по теме: «Определение основных параметров нагрузки по графикам»
<b>Раздел 9.</b>	<b>Расчетные электрические нагрузки промышленных электрических сетей</b>
Тема 9.3.	Расчет электрической нагрузки жилых домов
	<b>Самостоятельная работа:</b>
	Подготовить конспект по теме: «Расчет электрической нагрузки предприятия».
<b>Раздел 11.</b>	<b>Определение расхода и потерь электроэнергии</b>
Тема 11.3.	Расчет нагрузочных потерь электроэнергии в линиях
	<b>Самостоятельная работа:</b>
	Подготовить конспект по теме: Потери активной электроэнергии в трансформаторах. КПД трансформатора
<b>Раздел 12.</b>	<b>Параметры электрических сетей и их нормальных режимов</b>
Тема 12.6.	Сопротивления и проводимости трансформаторов
	<b>Самостоятельная работа:</b>
	Подготовить конспект по теме: «Потери активной мощности в трансформаторе при холостом ходе».
Тема 12.8.	Параметры элементов электрических сетей системы электроснабжения промышленных предприятий
	<b>Самостоятельная работа:</b>
	Подготовить конспект по теме: «Потери напряжения в элементах электрической сети предприятия с учетом статических характеристик нагрузки»
<b>Раздел 13.</b>	<b>Компенсация реактивных мощностей в системе электроснабжения</b>
Тема 13.4.	Исходные положения по компенсации реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий
	<b>Самостоятельная работа:</b>
	Подготовить конспект по теме: «Особенности применения тиристорных компенсаторов»
Тема 13.6.	Источники реактивной мощности (компенсирующие устройства)
	<b>Самостоятельная работа:</b>
	Подготовить конспект по теме: «Силовые конденсаторы»
<b>Раздел 16.</b>	<b>Короткие замыкания в системах электроснабжения</b>
Тема 16.4.	Сопротивления элементов цепи трехфазного КЗ в установках напряжением до 1 кВ



	<b>Самостоятельная работа:</b>
	Подготовить конспект по теме: «Порядок расчета токов однофазного КЗ в конечной точке шинпровода напряжением 0,38 кВ»
<b>Раздел 18.</b>	<b>Выбор электрооборудования на напряжении до 1 кВ</b>
Тема 18.1.	Выбор электрооборудования на напряжении до 1 кВ
	<b>Самостоятельная работа:</b>
	Подготовить конспект по теме: «Выбор автоматических выключателей».
<b>Раздел 19.</b>	<b>Качество электроэнергии в системах электроснабжения объектов</b>
Тема 19.2	Влияние качества электроэнергии на работу электроприемников
	<b>Самостоятельная работа:</b>
	Подготовить конспект по теме: «Выбор схем электроснабжения для улучшения качества электроэнергии»

## Порядок выполнения самостоятельной работы обучающимся

### Раздел 5. Схемы электрических соединений в системе электроснабжения

#### Тема 5.6. Схемы цеховых электрических сетей напряжением до 1кВ

##### Цели:

- закрепление, углубление, расширение и систематизация знаний, полученных во время аудиторных занятий, самостоятельное овладение новым учебным материалом;
- формирование умений и навыков самостоятельного умственного труда;
- формирование навыков самостоятельной работы с учебником, классическими первоисточниками и современной научной литературой.

##### Оснащение:

- рекомендуемая литература; данные методические указания.

##### Задание:

Подготовить конспект по теме: «Особенности сетей освещения и их типовые схемы»

Обучающиеся должны владеть учебным материалом в объеме, указанном в рабочей программе дисциплины, и быть готовыми отвечать по всем вопросам, приведенным ниже.

##### Порядок выполнения задания:

1. Прочитать материал по учебнику [1] гл. 5, стр.70.
2. Ответить на вопросы:
  - Какие особенности технологии производства влияют на выбор системы цехового электроснабжения?
  - Что такое магистральная система электроснабжения?
  - Привести примеры схем магистральной системы.
  - В каких случаях обосновано применение магистральной системы электроснабжения?
  - Что такое радиальная система электроснабжения?
  - Привести примеры схем радиальной системы.
  - В каких случаях обосновано применение радиальной системы электроснабжения?
  - Привести примеры применения смешанной системы электроснабжения, включающей элементы магистральной и радиальной.
3. Отобрать материал для составления конспекта, опираясь на указанные вопросы.

**Форма контроля** – текущий опрос на аудиторных занятиях.

##### Вопросы для самоконтроля.

1. Почему необходимо передавать (транспортировать) электроэнергию?
2. Какие элементы входят в систему передачи и распределения электроэнергии?
3. Что общего в понятиях «электропередача» и «электрическая сеть» и чем они отличаются?
4. Чем отличаются понятия «система электроснабжения» и «электроэнергетическая система»?
5. Каким требованиям должна удовлетворять система передачи и распределения ЭЭ?

##### Рекомендуемая литература.

4. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для сред.проф.образования /Изд. 2-е.,М. Издательский центр «Академия», 2014.- 320 с.
5. Аркуша А.И. Техническая «Электроснабжение электротехнического оборудования» [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 268 с. — 978-985-503-590-0. <http://www.iprbookshop.ru/67634.html>
6. Аркуша А.И.. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие /А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 88 с. — 978-985-503-582-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67633.html>

## Раздел 6. Схемы электрических соединений подстанций

### Тема 6.4. Схемы трансформаторных подстанций напряжением 6... 10/0,4...0,66 кВ

#### Цели:

- закрепление, углубление, расширение и систематизация знаний, полученных во время аудиторных занятий, самостоятельное овладение новым учебным материалом;
- формирование умений и навыков самостоятельного умственного труда;
- формирование навыков самостоятельной работы с учебником, классическими первоисточниками и современной научной литературой.

#### Оснащение:

- рекомендуемая литература; данные методические указания.

#### Задание:

Подготовить конспект по теме: «Основные требования к схемам распределительных подстанций на напряжении до 1 кВ. Примеры выполнения типовых схем подстанций на напряжении до 1 кВ».

Обучающиеся должны владеть учебным материалом в объеме, указанном в рабочей программе дисциплины, и быть готовыми отвечать по всем вопросам, приведенным ниже.

#### Порядок выполнения задания:

1. Прочитать материал по учебнику [1] гл. 6 стр.89.
2. Ответить на вопросы:
  - На основании каких факторов выбираются схемы электроподстанций?
  - Сформулируйте преимущества применения одной системы сборных шин с разделением ее на секции.
  - Сформулируйте преимущества раздельной работы линий и раздельной работы трансформаторов.
  - В каких случаях обосновано применение бесшинных подстанций?
  - Чем вызвана необходимость применения системы АВР на шинах подстанций?
3. Отобрать материал для составления конспекта, опираясь на указанные вопросы.

**Форма контроля** – текущий опрос на аудиторных занятиях.

#### Вопросы для самоконтроля.

1. В чем заключается назначение разъединителей и каковы правила операций с разъединителями?
2. В чем заключается назначение короткозамыкателей и каковы правила операций с короткозамыкателей?
3. В чем заключается назначение отделителей и каковы правила операций с отделителями?
4. Какими преимуществами обладают трансформаторы с расщепленными вторичными обмотками?

#### Рекомендуемая литература.

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для сред.проф.образования /Изд. 2-е.,М. Издательский центр «Академия», 2014.- 320 с.
2. Аркуша А.И. Техническая «Электроснабжение электротехнического оборудования» [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 268 с. — 978-985-503-590-0. <http://www.iprbookshop.ru/67634.html>
3. Аркуша А.И.. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие /А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 88 с. — 978-985-503-582-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67633.html>

## Раздел 7. Схемы трансформаторных и распределительных подстанций

### Тема 7.3. Внутренние распределительные устройства

#### Цели:

- закрепление, углубление, расширение и систематизация знаний, полученных во время аудиторных занятий, самостоятельное овладение новым учебным материалом;
- формирование умений и навыков самостоятельного умственного труда;
- формирование навыков самостоятельной работы с учебником, классическими первоисточниками и современной научной литературой.

#### Оснащение:

- рекомендуемая литература; данные методические указания.

#### Задание:

Подготовить конспект по теме: «Открытые распределительные устройства напряжением до 220 кВ».

Обучающиеся должны владеть учебным материалом в объеме, указанном в рабочей программе дисциплины, и быть готовыми отвечать по всем вопросам, приведенным ниже.

#### Порядок выполнения задания:

1. Прочитать материал по учебнику [1] §7 стр.100.
2. Ответить на вопросы:
  - Какие преимущества дает компоновка оборудования в одной плоскости?
  - Какие конструкции опор под ошиновку и оборудование целесообразно применять на ОРУ?
  - Какие преимущества дают порталные конструкции опор?
  - В чем отличие блочной и мостовой схем?
3. Отобрать материал для составления конспекта, опираясь на указанные вопросы.

**Форма контроля** – текущий опрос на аудиторных занятиях.

#### Вопросы для самоконтроля.

1. Что такое открытые распределительные устройства?
2. Какие преимущества имеют ОРУ по сравнению с ЗРУ?

#### Рекомендуемая литература.

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для сред.проф.образования /Изд. 2-е.,М. Издательский центр «Академия», 2014.- 320 с.
2. Аркуша А.И. Техническая «Электроснабжение электротехнического оборудования» [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 268 с. — 978-985-503-590-0. <http://www.iprbookshop.ru/67634.html>
3. Аркуша А.И.. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие /А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 88 с. — 978-985-503-582-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67633.html>

## Раздел 8. Характеристики графиков нагрузки элементов систем электроснабжения

### Тема 8.2. Групповые графики электрических нагрузок

#### Цели:

- закрепление, углубление, расширение и систематизация знаний, полученных во время аудиторных занятий, самостоятельное овладение новым учебным материалом;
- формирование умений и навыков самостоятельного умственного труда;
- формирование навыков самостоятельной работы с учебником, классическими первоисточниками и современной научной литературой.

#### Оснащение:

- рекомендуемая литература; данные методические указания.

#### Задание:

Подготовить конспект по теме: «Определение основных параметров нагрузки по графикам».

Обучающиеся должны владеть учебным материалом в объеме, указанном в рабочей программе дисциплины, и быть готовыми отвечать по всем вопросам, приведенным ниже.

#### Порядок выполнения задания:

1. Прочитать материал по учебнику [1] гл. 8 стр.120.
2. Ответить на вопросы стр. 83
  - Как снимаются и строятся графики нагрузки предприятия в условиях эксплуатации?
  - Как определяется максимальная нагрузка предприятия при проектировании в условиях эксплуатации?
  - Как определяется коэффициент спроса и какие факторы он учитывает? Область применения КС.
  - Что характеризует коэффициент формы графика? Как он определяется? Область применения КФ
  - Как определяется коэффициент максимума? Как и когда он используется?
  - Как определяется средневзвешенное значение коэффициента мощности?
3. Отобрать материал для составления конспекта, опираясь на указанные вопросы.

**Форма контроля** – текущий опрос на аудиторных занятиях.

#### Вопросы для самоконтроля

6. Как определить коэффициент полезного действия электрической сети?
7. С чем связаны коммерческие потери электроэнергии?
8. Какие потери электроэнергии относятся к техническим?
9. Какие факторы выступают в качестве конкурирующих при выборе путей рационального построения электрической сети?
10. В чем заключается структурный анализ потерь электроэнергии?

#### Рекомендуемая литература

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для сред.проф.образования /Изд. 2-е.,М. Издательский центр «Академия», 2014.- 320 с.
2. Аркуша А.И. Техническая «Электроснабжение электротехнического оборудования» [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 268 с. — 978-985-503-590-0. <http://www.iprbookshop.ru/67634.html>
3. Аркуша А.И.. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие /А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 88 с. — 978-985-503-582-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67633.html>

## Раздел 9. Расчетные электрические нагрузки промышленных электрических сетей

### Тема 9.3. Расчет электрической нагрузки жилых домов

#### Цели:

- закрепление, углубление, расширение и систематизация знаний, полученных во время аудиторных занятий, самостоятельное овладение новым учебным материалом;
- формирование умений и навыков самостоятельного умственного труда;
- формирование навыков самостоятельной работы с учебником, классическими первоисточниками и современной научной литературой.

#### Оснащение:

- рекомендуемая литература; данные методические указания.

#### Задание:

Подготовить конспект по теме: «Расчет электрической нагрузки предприятия».

Обучающиеся должны владеть учебным материалом в объеме, указанном в рабочей программе дисциплины, и быть готовыми отвечать по всем вопросам, приведенным ниже.

#### Порядок выполнения задания:

1. Прочитать материал по учебнику [1] гл. 9 стр.140.
2. Ответить на вопросы:
  - В чем заключается метод коэффициента максимума при определении электрических нагрузок предприятия?
  - Как определяется максимальная активная нагрузка?
  - Как определяется максимальная реактивная нагрузка?
  - Что такое коэффициент максимума активной нагрузки?
  - Что такое коэффициент максимума реактивной нагрузки?
3. Отобрать материал для составления конспекта, опираясь на указанные вопросы.

**Форма контроля** – текущий опрос на аудиторных занятиях.

#### Вопросы для самоконтроля.

1. Какова методология определения электрической нагрузки жилых домов?
2. Учитывается ли осветительная нагрузка жилого дома при определении полной электрической нагрузки?

#### Рекомендуемая литература.

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для сред.проф.образования /Изд. 2-е.,М. Издательский центр «Академия», 2014.- 320 с.
2. Аркуша А.И. Техническая «Электроснабжение электротехнического оборудования» [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 268 с. — 978-985-503-590-0. <http://www.iprbookshop.ru/67634.html>
3. АркушаА.И.. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие /А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 88 с. — 978-985-503-582-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67633.html>

## Раздел 11. Определение расхода и потерь электроэнергии

### Тема 11.3. Расчет нагрузочных потерь электроэнергии в линиях

#### Цели:

- закрепление, углубление, расширение и систематизация знаний, полученных во время аудиторных занятий, самостоятельное овладение новым учебным материалом;
- формирование умений и навыков самостоятельного умственного труда;
- формирование навыков самостоятельной работы с учебником, классическими первоисточниками и современной научной литературой.

#### Оснащение:

- рекомендуемая литература; данные методические указания.

#### Задание:

Подготовить конспект по теме: «Потери активной электроэнергии в трансформаторах. КПД трансформатора».

Обучающиеся должны владеть учебным материалом в объеме, указанном в рабочей программе дисциплины, и быть готовыми отвечать по всем вопросам, приведенным ниже.

#### Порядок выполнения задания:

1. Прочитать материал по учебнику [1] гл. 11 стр.151.
2. Ответить на вопросы:
  - Каковы причины потерь активной электроэнергии в трансформаторах?
  - В чем заключается физический смысл потери мощности короткого замыкания трансформатора?
3. Отобрать материал для составления конспекта, опираясь на указанные вопросы.

**Форма контроля** – текущий опрос на аудиторных занятиях.

#### Вопросы для самоконтроля:

5. Какими причинами вызваны потери мощности в трансформаторах?
6. Какие причины потерь мощности являются основными?
7. Какое влияние на величину потерь мощности оказывает активное сопротивление проводов?

#### Рекомендуемая литература.

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для сред.проф.образования /Изд. 2-е.,М. Издательский центр «Академия», 2014.- 320 с.
2. Аркуша А.И. Техническая «Электроснабжение электротехнического оборудования» [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 268 с. — 978-985-503-590-0. <http://www.iprbookshop.ru/67634.html>
3. Аркуша А.И.. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие /А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 88 с. — 978-985-503-582-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67633.html>

## Раздел 12. Параметры электрических сетей и их нормальных режимов

### Тема 12.6. Сопротивления и проводимости трансформаторов

#### Цели:

- закрепление, углубление, расширение и систематизация знаний, полученных во время аудиторных занятий, самостоятельное овладение новым учебным материалом;
- формирование умений и навыков самостоятельного умственного труда;
- формирование навыков самостоятельной работы с учебником, классическими первоисточниками и современной научной литературой.

#### Оснащение:

- рекомендуемая литература; данные методические указания.

#### Задание:

Подготовить конспект по теме: «Потери активной мощности в трансформаторе при холостом ходе».

Обучающиеся должны владеть учебным материалом в объеме, указанном в рабочей программе дисциплины, и быть готовыми отвечать по всем вопросам, приведенным ниже.

#### Порядок выполнения задания:

1. Прочитать материал по учебнику [1] гл. 12 стр.159.
2. Ответить на вопросы:
  - Что такое холостой ход трансформатора?
  - В чем заключается физический смысл потери мощности холостого хода трансформатора?
  - В чем причины потери активной мощности в трансформаторе?
3. Отобрать материал для составления конспекта, опираясь на указанные вопросы.

**Форма контроля** – текущий опрос на аудиторных занятиях.

#### Вопросы для самоконтроля.

1. В чём заключается опыт короткого замыкания? Какие паспортные данные определяются из этого опыта?
2. Что и как определяют из опыта холостого хода?

#### Рекомендуемая литература.

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для сред.проф.образования /Изд. 2-е.,М. Издательский центр «Академия», 2014.- 320 с.
2. Аркуша А.И. Техническая «Электроснабжение электротехнического оборудования» [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 268 с. — 978-985-503-590-0. <http://www.iprbookshop.ru/67634.html>
3. Аркуша А.И.. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие /А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 88 с. — 978-985-503-582-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67633.html>



## Тема 12.8. Параметры элементов электрических сетей системы электроснабжения промышленных предприятий

### Цели:

- закрепление, углубление, расширение и систематизация знаний, полученных во время аудиторных занятий, самостоятельное овладение новым учебным материалом;
- формирование умений и навыков самостоятельного умственного труда;
- формирование навыков самостоятельной работы с учебником, классическими первоисточниками и современной научной литературой.

### Оснащение:

- рекомендуемая литература; данные методические указания.

### Задание:

Подготовить конспект по теме: «Потери напряжения в элементах электрической сети предприятия с учетом статических характеристик нагрузки».

Обучающиеся должны владеть учебным материалом в объеме, указанном в рабочей программе дисциплины, и быть готовыми отвечать по всем вопросам, приведенным ниже.

### Порядок выполнения задания:

1. Прочитать материал по учебнику [1] гл. 12 стр.164.
2. Ответить на вопросы:
3. Отобрать материал для составления конспекта, опираясь на следующие вопросы:
  - Что понимается под среднеквадратичным током?
  - Что понимается под среднеквадратичной мощностью?
  - Какие имеются связи между среднеквадратичным током и параметрами графиков нагрузки?
  - Как определяются потери электроэнергии по методу среднеквадратичных параметров?

**Форма контроля** – текущий опрос на аудиторных занятиях.

### Вопросы для самоконтроля:

8. От чего и как зависят потери электроэнергии в линиях электропередачи на корону?
9. Какие параметры влияют на потери электроэнергии в сопротивлениях линии?
10. От чего зависит активное сопротивление провода линии, находящейся под нагрузкой?
11. В чем сущность метода характерных суточных режимов? Какие сутки принимают в качестве характерных?
12. Как определяются нагрузочные потери электроэнергии по методу средних нагрузок?
13. Какими способами можно определить средние нагрузки сети?
14. Что учитывает коэффициент формы графика нагрузки?

### Рекомендуемая литература.

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для сред.проф.образования /Изд. 2-е.,М. Издательский центр «Академия», 2014.- 320 с.
2. Аркуша А.И. Техническая «Электроснабжение электротехнического оборудования» [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 268 с. — 978-985-503-590-0. <http://www.iprbookshop.ru/67634.html>
3. Аркуша А.И.. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие /А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 88 с. — 978-985-503-582-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67633.html>

**Раздел 13. Компенсация реактивных мощностей в системе электроснабжения.**  
**Тема 13.4. Исходные положения по компенсации реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий**

**Цели:**

- закрепление, углубление, расширение и систематизация знаний, полученных во время аудиторных занятий, самостоятельное овладение новым учебным материалом;
- формирование умений и навыков самостоятельного умственного труда;
- формирование навыков самостоятельной работы с учебником, классическими первоисточниками и современной научной литературой.

**Оснащение:**

- рекомендуемая литература; данные методические указания.

**Задание:**

Подготовить конспект по теме: «Особенности применения тиристорных компенсаторов».

Обучающиеся должны владеть учебным материалом в объеме, указанном в рабочей программе дисциплины, и быть готовыми отвечать по всем вопросам, приведенным ниже.

**Порядок выполнения задания:**

1. Прочитать материал по учебнику [1] гл. 13 стр.176.
2. Ответить на вопросы:
  - Какие типы компенсаторов реактивной мощности применяются в электроэнергетических системах?
  - В чем недостатки конденсаторных батарей?
  - В чем заключается принцип действия тиристорных компенсаторов реактивной мощности?
  - Какие преимущества имеют тиристорные компенсаторы по сравнению с другими типами компенсаторов?
  - В чем заключается принцип действия синхронного компенсатора?
  - В чем заключается принцип действия тиристорного компенсатора?
  - Начертите схему тиристорного компенсатора реактивной мощности.
3. Отобрать материал для составления конспекта, опираясь на указанные вопросы.

**Форма контроля** – текущий опрос на аудиторных занятиях.

**Вопросы для самоконтроля.**

1. Каковы причины появления реактивной мощности в электрических системах?
2. Каковы физические принципы компенсации реактивной мощности?
3. Какие устройства используются для компенсации реактивной мощности?
4. В чем преимущества и недостатки конденсаторных батарей?

**Рекомендуемая литература.**

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для сред.проф.образования /Изд. 2-е., М. Издательский центр «Академия», 2014.- 320 с.
2. Аркуша А.И. Техническая «Электроснабжение электротехнического оборудования» [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 268 с. — 978-985-503-590-0. <http://www.iprbookshop.ru/67634.html>
3. Аркуша А.И.. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие /А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 88 с. — 978-985-503-582-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67633.html>

## Тема 13.6. Источники реактивной мощности (компенсирующие устройства)

### Цели:

- закрепление, углубление, расширение и систематизация знаний, полученных во время аудиторных занятий, самостоятельное овладение новым учебным материалом;
- формирование умений и навыков самостоятельного умственного труда;
- формирование навыков самостоятельной работы с учебником, классическими первоисточниками и современной научной литературой.

### Оснащение:

- рекомендуемая литература; данные методические указания.

### Задание:

Подготовить конспект по теме: «Силовые конденсаторы».

Обучающиеся должны владеть учебным материалом в объеме, указанном в рабочей программе дисциплины, и быть готовыми отвечать по всем вопросам, приведенным ниже.

### Порядок выполнения задания:

1. Прочитать материал по учебнику [1] гл. 13 стр.180.
2. Ответить на вопросы:
  - Опишите конструкцию маслонаполненного силового конденсатора.
  - Какие схемы используются для соединения конденсаторов в батарее?
  - Какие преимущества дает последовательное соединение конденсаторов?
  - Какие преимущества дает параллельное соединение конденсаторов?
  - Запишите формулы для расчета емкости и максимального рабочего напряжения при последовательном соединении конденсаторов.
  - Запишите формулы для расчета емкости и максимального рабочего напряжения при параллельном соединении конденсаторов.
  - Укажите преимущества смешанного соединения конденсаторов.
3. Отобрать материал для составления конспекта, опираясь на указанные вопросы.

**Форма контроля** – текущий опрос на аудиторных занятиях.

### Вопросы для самоконтроля.

1. Каковы преимущества маслонаполненных конденсаторов перед конденсатором с воздушным диэлектриком?
2. Запишите формулу расчета емкости конденсатора в зависимости от геометрических размеров его конструктивных элементов.

### Рекомендуемая литература.

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для сред.проф.образования /Изд. 2-е.,М. Издательский центр «Академия», 2014.- 320 с.
2. Аркуша А.И. Техническая «Электроснабжение электротехнического оборудования» [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 268 с. — 978-985-503-590-0. <http://www.iprbookshop.ru/67634.html>
3. Аркуша А.И.. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие /А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 88 с. — 978-985-503-582-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67633.html>

## Раздел 16. Короткие замыкания в системах электроснабжения

### Тема 16.4. Сопротивления элементов цепи трехфазного КЗ в установках напряжением до 1 кВ

#### Цели:

- закрепление, углубление, расширение и систематизация знаний, полученных во время аудиторных занятий, самостоятельное овладение новым учебным материалом;
- формирование умений и навыков самостоятельного умственного труда;
- формирование навыков самостоятельной работы с учебником, классическими первоисточниками и современной научной литературой.

#### Оснащение:

- рекомендуемая литература; данные методические указания.

#### Задание:

Подготовить конспект по теме: «Порядок расчета токов однофазного КЗ в конечной точке шинпровода напряжением 0,38 кВ».

Обучающиеся должны владеть учебным материалом в объеме, указанном в рабочей программе дисциплины, и быть готовыми отвечать по всем вопросам, приведенным ниже.

#### Порядок выполнения задания:

1. Прочитать материал по учебнику [1] гл. 16 стр.243.
2. Ответить на вопросы:
  - В чем целесообразность расчета токов КЗ в конечной точке электрической линии?
  - Какова методика составления схемы замещения цепи для расчета однофазного КЗ?
  - Как определяются активные и реактивные сопротивления в схеме замещения?
  - Как рассчитывается сумма активных и реактивных сопротивлений цепи при однофазном КЗ?
  - Какова формула расчета значения периодической составляющей тока однофазного КЗ?
3. Отобрать материал для составления конспекта, опираясь на указанные вопросы.

**Форма контроля** – текущий опрос на аудиторных занятиях.

#### Вопросы для самоконтроля.

1. С какой целью производится расчет токов КЗ в конечной точке шинпровода?
2. Какова методика расчета электродинамических усилий в шинпроводе с учетом известного тока КЗ?
3. Какова методика расчета тепловых напряжений при известном токе КЗ?

#### Рекомендуемая литература.

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для сред.проф.образования /Изд. 2-е.,М. Издательский центр «Академия», 2014.- 320 с.
2. Аркуша А.И. Техническая «Электроснабжение электротехнического оборудования» [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 268 с. — 978-985-503-590-0. <http://www.iprbookshop.ru/67634.html>
3. Аркуша А.И.. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие /А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 88 с. — 978-985-503-582-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67633.html>

## Раздел 18. Выбор электрооборудования на напряжении до 1 кВ

### Тема 18.1. Выбор электрооборудования на напряжении до 1 кВ

#### Цели:

- закрепление, углубление, расширение и систематизация знаний, полученных во время аудиторных занятий, самостоятельное овладение новым учебным материалом;
- формирование умений и навыков самостоятельного умственного труда;
- формирование навыков самостоятельной работы с учебником, классическими первоисточниками и современной научной литературой.

#### Оснащение:

- рекомендуемая литература; данные методические указания.

#### Задание:

Подготовить конспект по теме: «Выбор автоматических выключателей».

Обучающиеся должны владеть учебным материалом в объеме, указанном в рабочей программе дисциплины, и быть готовыми отвечать по всем вопросам, приведенным ниже.

#### Порядок выполнения задания:

1. Прочитать материал по учебнику [1] гл. 4 стр.56.

2. Ответить на вопросы:

- Приведите защитную характеристику теплового реле, теплового расцепителя. Какими параметрами они характеризуются?
- Какие расцепители защищают от коротких замыканий? Приведите их защитные характеристики с указанием соответствующих уставок.
- Приведите защитную характеристику электромагнитного расцепителя. Каким параметром характеризуется выключатель с таким расцепителем?
- Перечислите виды расцепителей автоматических выключателей, указав функциональное назначение.
- Сравните защитные характеристики плавкого предохранителя и автоматического выключателя с тепловым и электромагнитным расцепителем. Оцените их достоинства

3. Отобрать материал для составления конспекта, опираясь на указанные вопросы.

**Форма контроля** – текущий опрос на аудиторных занятиях.

#### Вопросы для самоконтроля:

- Что называется номинальным током расцепителя?
- Что называется током уставки расцепителя?
- Как зависит ток срабатывания теплового реле и теплового расцепителя от температуры?
- Как проводятся испытания тепловых расцепителей?
- От каких режимов защищает тепловой расцепитель автоматического выключателя? Как выглядит его защитная характеристика?

#### Рекомендуемая литература.

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для сред.проф.образования /Изд. 2-е., М. Издательский центр «Академия», 2014.- 320 с.
2. Аркуша А.И. Техническая «Электроснабжение электротехнического оборудования» [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 268 с. — 978-985-503-590-0. <http://www.iprbookshop.ru/67634.html>
3. Аркуша А.И.. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие /А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 88 с. — 978-985-503-582-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67633.html>

## Раздел 19. Качество электроэнергии в системах электроснабжения объектов

### Тема 19.2 Влияние качества электроэнергии на работу электроприемников

#### Цели:

- закрепление, углубление, расширение и систематизация знаний, полученных во время аудиторных занятий, самостоятельное овладение новым учебным материалом;
- формирование умений и навыков самостоятельного умственного труда;
- формирование навыков самостоятельной работы с учебником, классическими первоисточниками и современной научной литературой.

#### Оснащение:

- рекомендуемая литература; данные методические указания.

#### Задание:

Подготовить конспект по теме: «Выбор схем электроснабжения для улучшения качества электроэнергии».

Обучающиеся должны владеть учебным материалом в объеме, указанном в рабочей программе дисциплины, и быть готовыми отвечать по всем вопросам, приведенным ниже.

#### Порядок выполнения задания:

1. Прочитать материал по учебнику [1] гл. 19 стр.257.
2. Ответить на вопросы:
  - Перечислите основные параметры, определяющие качество электроэнергии.
  - Укажите допустимое отклонение частоты от номинала согласно ПУЭ.
  - Укажите допустимое отклонение напряжение от номинала согласно ПУЭ.
  - Дайте определение коэффициента формы.
  - Что такое коэффициент несимметрии напряжения по нулевой последовательности?
3. Отобрать материал для составления конспекта, опираясь на указанные вопросы.

**Форма контроля** – текущий опрос на аудиторных занятиях.

#### Вопросы для самоконтроля.

1. Какое влияние на работу электроприемников оказывает отклонение частоты от номинала?
2. Какое влияние на работу электроприемников оказывает уменьшение напряжения?
3. Какое влияние на работу электроприемников оказывает увеличение напряжения?

#### Рекомендуемая литература.

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для сред.проф.образования /Изд. 2-е., М. Издательский центр «Академия», 2014.- 320 с.
2. Аркуша А.И. Техническая «Электроснабжение электротехнического оборудования» [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 268 с. — 978-985-503-590-0. <http://www.iprbookshop.ru/67634.html>
3. Аркуша А.И.. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие /А.И.Аркуша— Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. — 88 с. — 978-985-503-582-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67633.html>

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
 Федеральное государственное АВТОНОМНОЕ образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«Мурманский государственный технический университет»**  
 структурное подразделение  
 «Мурманский морской рыбопромышленный колледж имени И.И. Месяцева»

Рассмотрено методической комиссией преподавателей дисциплин профессионального цикла по специальностям 13.02.07 Электроснабжение (по отраслям) и 21.02.03 Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ  Председатель МКо (МО/ ЦК) Порубова В.А	<b>Экзаменационный билет                  № 1</b>  Группы Курс Специальность 13.02.07 Электроснабжение (по отраслям)	УТВЕРЖДАЮ Начальник ММРК им. И.И. Месяцева ФГБОУ ВО «МГТУ»  И.В. Артеменко (подпись) «31» августа 2019 г.
№	Квалификационный экзамен по Профессиональному модулю ПМ.01 Организация электроснабжения электрооборудования по отраслям	
1	<b>ЗАДАНИЕ ДЛЯ ЭКЗАМЕНУЮЩЕГОСЯ</b>	

**Задание 1**

Коды проверяемых профессиональных и общих компетенций:  
 ПК 1.1; ПК 1.2;; ОК 1-5; ОК.9-10

**Инструкция**

Внимательно прочитайте задание.

Вы можете воспользоваться: отчетом по практике; справочными таблицами; нормативной информацией и документами, используя Интернет-ресурсы.

Время выполнения задания – 30 мин.

**Задание 2**

Коды проверяемых профессиональных и общих компетенций:  
 ПК 1.1; ПК 1.2;; ОК 1-5; ОК.9-10

**Инструкция**

Внимательно прочитайте задание.

Вы можете воспользоваться: отчетом по практике; справочными таблицами; нормативной информацией и документами, используя Интернет-ресурсы.

Время выполнения задания – 30 мин.

Преподаватель \_\_\_\_\_

## Комплект контрольно-оценочных средств по освоению ПК в период практики

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное АВТОНОМНОЕ образовательное учреждение  
высшего образования  
«Мурманский государственный технический университет»  
структурное подразделение  
«Мурманский морской рыбопромышленный колледж имени И.И. Месяцева»

### АТТЕСТАЦИОННЫЙ ЛИСТ ПО ПРАКТИКЕ

\_\_\_\_\_,  
ФИО

обучающийся(аяся) на III курсе по профессии специальности СПО  
13.02.07 Электроснабжение (по отраслям)

*код и наименование*

успешно прошел(ла) производственную практику

в объеме 72 часов с «  » \_\_\_\_\_ 201   г. по «  » \_\_\_\_\_ 201   г.

в организации \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
*наименование организации, юридический адрес*

#### Виды и качество выполнения работ

Проверяемые результаты обучения: Профессиональные компетенции ПК, Общие компетенции ОК, МК, Умения, практический опыт		Уровень освоения результатов 1. – ознакомительный (узнавание ранее изученных объектов, свойств) 2. – репродуктивный (выполнение деятельности по образцу, инструкции или под руководством) 3. – продуктивный (планирование и самостоятельное выполнение деятельности, решение проблемных задач) освоен/ не освоен
	<b>Умения</b>	
ПК 1.1, ОК 1-11	разрабатывать электрические схемы устройств электрических подстанций и сетей;	
ПК 1.2 ОК 1-11	вносить изменения в принципиальные схемы при замене приборов аппаратуры распределительных устройств обеспечивать выполнение работ по обслуживанию трансформаторов и	



	преобразователей электрической энергии;	
ПК 1.3 ОК 1-11	обеспечивать проведение работ по обслуживанию оборудования распределительных устройств электроустановок;	
ПК 1.4, ОК 1-11	контролировать состояние воздушных и кабельных линий, организовывать и проводить работы по их техническому обслуживанию;	
ПК 1.5 ОК 1-11	использовать нормативную техническую документацию и инструкции; выполнять расчеты рабочих и аварийных режимов действующих электроустановок и выбирать оборудование; оформлять отчеты о проделанной работе;	
	<b>Практический опыт</b>	
ПК 1.1, ОК 1-11	составления электрических схем устройств электрических подстанций и сетей;	
ПК 1.2 ОК 1-11	модернизации схем электрических устройств подстанций;	
ПК 1.3 ОК 1-11	технического обслуживания трансформаторов и преобразователей электрической энергии;	
ПК 1.4, ОК 1-11	обслуживания оборудования распределительных устройств электроустановок; эксплуатации воздушных и кабельных линий электропередачи;	
ПК 1.5 ОК 1-11	применения инструкций и нормативных правил при составлении отчетов и разработке технологических документов;	

**Характеристика деятельности обучающегося во время производственной практики**  
(дополнительно используются произвольные критерии по выбору ОУ)

Дата «\_\_» \_\_\_\_\_ 201\_\_

Подпись ответственного  
лица организации (базы практики) \_\_\_\_\_ / ФИО, должность/

Подпись руководителя  
практики: \_\_\_\_\_ Яров В.Н. преподаватель

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное АВТОНОМНОЕ образовательное учреждение  
высшего образования  
«Мурманский государственный технический университет»  
структурное подразделение  
«Мурманский морской рыбопромышленный колледж имени И.И. Месяцева»

### ХАРАКТЕРИСТИКА

на обучающегося по освоению профессиональных компетенций в период производственной практики

Студент (ка) \_\_\_\_\_,  
прошел (ла) \_\_\_\_\_ практику  
(вид практики)  
по профессиональному модулю ПМ. 01 Техническое обслуживание оборудования  
электрических подстанций и сетей  
по специальности 13.02.07 Электроснабжение (по отраслям)  
на (в) \_\_\_\_\_

(полное наименование предприятия, организации)

в период с «\_\_» \_\_\_\_\_ 201\_\_ г. по «\_\_» \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

### Результаты прохождения практики

1. Программа практики выполнена:  в полном объеме  частично  не выполнена

2. Характеристика на практиканта

Уровень теоретических знаний:  удов-но  хорошо  отлично

Уровень практических навыков:  удов-но  хорошо  отлично

Уровень освоения профессиональных компетенций:  удов-но  хорошо  отлично

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

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

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

ПК 1.5. Разрабатывать и оформлять технологическую и отчетную документацию.

Готовность к профессиональной деятельности:  удов-но  хорошо  отлично

Качество выполнения производственных заданий:  удов-но  хорошо  отлично

Степень самостоятельности при выполнении заданий:  удов-но  хорошо  отлично

- Уровень ответственности:*  *удов-но*  *хорошо*  *отлично*
- Пунктуальность:*  *удов-но*  *хорошо*  *отлично*
- Вежливость и субординация:*  *удов-но*  *хорошо*  *отлично*
- Рациональное использование рабочего времени:*  *удов-но*  *хорошо*  *отлично*
- Продуктивность выполнения заданий:*  *удов-но*  *хорошо*  *отлично*
- Исполнительность:*  *удов-но*  *хорошо*  *отлично*
- Соблюдение трудовой дисциплины:*  *удов-но*  *хорошо*  *отлично*
- Наибольшую сложность у студента вызвало* \_\_\_\_\_
- 

*В процессе обучения больше уделить внимание на* \_\_\_\_\_

---

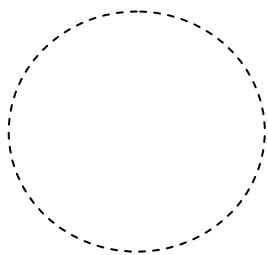
3. Оценка за выполнение заданий:  *отлично*  *хорошо*  *удовлетворительно*  
 *неудовлетворительно*
4. Участие в общественной жизни предприятия (организации):  *активное*  *пассивное*

5. Руководитель практики

---

---

(Ф. И. О., должность)



М. П.

---

## Анкета «Мониторинг удовлетворенности обучающихся»

### Уважаемый обучающийся!

Просим Вас заполнить предложенную анкету – определить значимость представленных критериев образовательной услуги. Оцените следующие критерии по 5-балльной шкале, поставив любой знак в нужную графу.

Анкета анонимная. Результаты опроса будут использоваться только в обобщенном виде.

Курс \_\_\_\_\_ Группа \_\_\_\_\_ Институт/Факультет \_\_\_\_\_ Форма обучения \_\_\_\_\_

№ п	Критерий оценки	Оценка критерия, балл					Значимость/ важность критерия, балл					
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	Удовлетворенность уровнем образования, предоставляемого в Университете											
2	Уровень учебно-методического обеспечения											
3	Состояние материально-технической базы Университета (состояние аудиторного фонда, обеспеченность занятий оборудованием)											
4	Удовлетворенность работой профессорско-преподавательского состава											
5	Удовлетворенность работой учебно-вспомогательного персонала											
6	Отношение к обучающимся (внимательность, тактичность, дружелюбность, равнодушие)											
7	Организация научно-исследовательской деятельности обучающихся (конференции, семинары, т.п.)											
8	Соблюдение законодательных и нормативных требований											
9	Оперативность и результативность реагирования на Ваши запросы											
11	Информированность – доступность, полнота, достоверность текущей информации об образовательной услуге											
12	Удовлетворенность деятельностью библиотеки											
13	Возможности творческого самовыражения и развития (спортивные, культурно-массовые и др. мероприятия, кружки, секции)											
14	Состояние сферы питания											
15	Удовлетворенность в выбранной специальности и интерес к будущей профессии.											
16	Удовлетворенность организацией и проведением практик											
Примечание		Оценка критерия: 5 – отлично 4 – хорошо 3- удовлетворительно 2- неумдовлетворительно 1 – очень плохо					Оценка степени значимости: 5 – высшая (очень важно) 4 – высокая 3 – средняя 2 – низкая 1 – очень низкая					

Ваши предложения по совершенствованию деятельности Университета: \_\_\_\_\_

---



---



---

Благодарим Вас за участие в анкетировании!

## Анкета «Мониторинг удовлетворённости работодателей»

(наименование организации, подразделения)

Просим Вас оценить качество подготовки молодых специалистов – выпускников МГТУ. Оцените следующие критерии по 5-балльной шкале, поставив любой знак в нужную графу, и соответствующим образом оцените степень значимости этих критериев для Вас.

№ п	Критерий оценки	Оценка критерия, балл					Значимость/ важность критерия, балл				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	Профессионализм и компетентность выпускника										
2	Уровень теоретической подготовки										
3	Уровень практической подготовки										
4	Уровень компетентности профессорско-преподавательского состава										
5	Актуальность знаний выпускника										
6	Готовность к коллективной работе										
7	Трудовая дисциплина и культура общения										
8	Способность к принятию самостоятельных решений										
Примечание		Оценка критерия: 5 – отлично 4 – хорошо 3 – удовлетворительно 2 – неудовлетворительно 1 – очень плохо					Оценка степени значимости: 5 – высшая (очень важно) 4 – высокая 3 – средняя 2 – низкая 1 – очень низкая				

Какие основные источники Вы используете для привлечения молодых специалистов:

- ярмарки вакансий
- стажировка молодых специалистов
- преддипломная практика обучающихся
- иное \_\_\_\_\_

Критерий доступности и полноты информации об МГТУ (информативность сайта, информация о реализуемых образовательных программах и т.п.) оценивается на:

- хорошо
- удовлетворительно
- неудовлетворительно

Благодарим Вас за участие в анкетировании!

### Критерии и шкала оценивания

Оценка	Критерии оценки
Отлично	обучающийся обнаруживает систематическое и глубокое знание программного материала по дисциплине, умеет свободно ориентироваться в вопросе. Ответ полный и правильный на основании изученного материала. Выдвинутые положения аргументированы и иллюстрированы примерами. Материал изложен в определенной логической последовательности, осознанно, литературным языком, с использованием современных научных терминов; ответ самостоятельный. Обучающийся уверенно отвечает на дополнительные вопросы.
Хорошо	обучающийся обнаруживает полное знание учебного материала, демонстрирует систематический характер знаний по дисциплине. Ответ полный и правильный, подтвержден примерами; но их обоснование не аргументировано, отсутствует собственная точка зрения. Материал изложен в определенной логической последовательности, при этом допущены 2-3 несущественные погрешности, исправленные по требованию экзаменатора. Обучающийся испытывает незначительные трудности в ответах на дополнительные вопросы. Материал изложен осознанно, самостоятельно, с использованием современных научных терминов, литературным языком.
Удовлетворительно	обучающийся обнаруживает знание основного программного материала по дисциплине, но допускает погрешности в ответе. Ответ недостаточно логически выстроен, самостоятелен. Основные понятия употреблены правильно, но обнаруживается недостаточное раскрытие теоретического материала. Выдвигаемые положения недостаточно аргументированы и не подтверждены примерами; ответ носит преимущественно описательный характер. Обучающийся испытывает достаточные трудности в ответах на вопросы. Научная терминология используется недостаточно.
Неудовлетворительно	выставляется студенту, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебного материала по дисциплине. При ответе обнаружено непонимание студентом основного содержания теоретического материала или допущен ряд существенных ошибок, которые студент не может исправить при наводящих вопросах экзаменатора, затрудняется в ответах на вопросы. Обучающийся подменил научное обоснование проблем рассуждением бытового плана. Ответ носит поверхностный характер; наблюдаются неточности в использовании научной терминологии.