

**Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

**Направление подготовки/специальность: 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника**

**Наименование образовательной программы: Распределительные электрические сети**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Заочная**


**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Электроэнергетические системы и сети**

**Москва  
2023**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Королев В.М.
	Идентификатор	R364c8003-KorolevVM-ef29d230

(подпись)


В.М. Королев

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Валянский А.В.
	Идентификатор	R98c29a50-ValianskyAV-a927df5b


(подпись)

А.В.  
Валянский

(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Шаров Ю.В.
	Идентификатор	R324da3b6-SharovYurV-0bb905bf

(подпись)

Ю.В. Шаров

(расшифровка  
подписи)

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-2 Способен применять знание способов производства, транспорта и использования электроэнергии

ИД-1 Демонстрирует знание способов производства, передачи, распределения электроэнергии и электроснабжения потребителей

ИД-2 Демонстрирует знание основ управления процессами производства, транспорта и использования электроэнергии

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Выполнение задания

1. Выполнение п.1 расчетного задания (Расчетно-графическая работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа «Расчет режима» (Контрольная работа)

Форма реализации: Соблюдение графика выполнения задания

1. Выполнение п. 2 и 3 расчетного задания (Расчетно-графическая работа)

2. Выполнение п.п. 4 и 5 расчетного задания (Расчетно-графическая работа)

Форма реализации: Устная форма

1. Защита лабораторной работы № 1 (Лабораторная работа)

2. Защита лабораторной работы № 2 (Лабораторная работа)

3. Защита лабораторной работы № 3 (Лабораторная работа)

4. Защита расчетного задания (Расчетно-графическая работа)

## БРС дисциплины

7 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %								
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6	КМ-7	КМ-8
	Срок КМ:	8	10	13	14	13	13	14	15
Общие сведения об электроэнергетических системах и электрических сетях									
Общие сведения об электроэнергетических системах и электрических сетях						+			+
Модели, параметры и характеристики элементов электроэнергетических систем и электрических сетей									

Модели, параметры и характеристики элементов электроэнергетических систем и электрических сетей	+							
Расчет режимов работы электрических сетей различной конфигурации								
Расчет режимов работы электрических сетей различной конфигурации		+		+		+	+	
Балансы мощностей в электроэнергетической системе								
Балансы мощностей в электроэнергетической системе			+		+			+
Основы регулирования напряжения и частоты в электроэнергетической системе								
Основы регулирования напряжения и частоты в электроэнергетической системе			+		+			+
Потери мощности и электроэнергии в электрических сетях электроэнергетических систем								
Потери мощности и электроэнергии в электрических сетях электроэнергетических систем			+		+			+
Вес КМ:	10	15	10	20	15	10	10	10

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

### I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ПК-2	ИД-1 <sub>ПК-2</sub> Демонстрирует знание способов производства, передачи, распределения электроэнергии и электроснабжения потребителей	Знать: принципы процесса производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии Уметь: определять параметры схемы замещения основных элементов электроэнергетических систем и сетей, используя справочную литературу	Выполнение п.1 расчетного задания (Расчетно-графическая работа) Защита расчетного задания (Расчетно-графическая работа) Защита лабораторной работы № 3 (Лабораторная работа)
ПК-2	ИД-2 <sub>ПК-2</sub> Демонстрирует знание основ управления процессами производства, транспорта и использования электроэнергии	Знать: методы расчета режимов работы электроэнергетических систем и сетей различной конфигурации Уметь: анализировать установившиеся режимы электроэнергетических систем и сетей рассчитывать	Выполнение п. 2 и 3 расчетного задания (Расчетно-графическая работа) Выполнение п.п. 4 и 5 расчетного задания (Расчетно-графическая работа) Контрольная работа «Расчет режима» (Контрольная работа) Защита лабораторной работы № 1 (Лабораторная работа) Защита лабораторной работы № 2 (Лабораторная работа) Защита лабораторной работы № 3 (Лабораторная работа)

		установившиеся режимы электроэнергетических систем и сетей различной конфигурации	
--	--	--	--

## II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

### КМ-1. Выполнение п.1 расчетного задания

**Формы реализации:** Выполнение задания

**Тип контрольного мероприятия:** Расчетно-графическая работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС: 10**

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Обучающемуся выдается индивидуальное расчетное задание с указанием номера варианта, номинального напряжения сети, марки проводов и длины линии от ИП до ПС, трансформаторов, установленных на ПС. Студент в срок, указанный преподавателем, готовит и оформляет пункт 1 расчетного задания в расчетно-пояснительной записке в формате Word. Преподаватель на основе критериев оценивает работу студента и выставляет оценку в БАРС.

#### **Краткое содержание задания:**

Составить схему замещения сети и определить ее параметры.

#### **Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: определять параметры схемы замещения основных элементов электроэнергетических систем и сетей, используя справочную литературу	<ol style="list-style-type: none"><li>1.Привести схему замещения линии.</li><li>2.Привести схему замещения трансформатора.</li><li>3.Привести схему замещения автотрансформатора.</li><li>4.Как производится расчет параметров схемы замещения линий электропередачи?</li><li>5.Как производится расчет параметров схемы замещения трансформаторного оборудования?</li></ol>
--	--

#### **Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*Описание характеристики выполнения знания: оценка 5 («отлично»), если пункт сделан полностью верно с опозданием не более чем на 2 недели и не более чем со второй попытки*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания: оценка 4 («хорошо»), если либо в расчете присутствуют ошибки в заключительных действиях, которые не влияют на последующие расчеты в данном пункте; либо неверно указаны размерности величин; либо размерности величин не указаны; либо пункт сделан полностью верно с опозданием не более чем на 4 недели и не более чем с третьей попытки*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: оценка 3 («удовлетворительно»), если пункт сделан полностью верно с опозданием более чем на 4 недели или более чем с третьей попытки*

### КМ-2. Выполнение п. 2 и 3 расчетного задания

**Формы реализации:** Соблюдение графика выполнения задания

**Тип контрольного мероприятия:** Расчетно-графическая работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС: 15**

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Обучающемуся выдается индивидуальное расчетное задание с указанием номера варианта, номинального напряжения сети, марки проводов и длины линии от ИП до ПС, трансформаторов, установленных на ПС. Студент в срок, указанный преподавателем, готовит и оформляет пункт 2 расчетного задания в расчетно-пояснительной записке в формате Word. Преподаватель на основе критериев оценивает работу студента и выставляет оценку в БАРС.

**Краткое содержание задания:**

Выполнить расчеты потокораспределения и напряжений в узлах сети в нормальном режиме наибольших нагрузок.

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Уметь: рассчитывать установленные режимы электроэнергетических систем и сетей различной конфигурации</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Особенности расчета режимов в режиме наибольших нагрузок.</li> <li>2. Особенности расчета режимов в режиме наименьших нагрузок.</li> <li>3. Как производится расчет потокораспределения трансформатора?</li> <li>4. Как производится расчет потокораспределения автотрансформатора?</li> <li>5. Как определяется продольная составляющая вектора падения напряжения на сопротивлении линии?</li> <li>6. Как определяется поперечная составляющая вектора падения напряжения на сопротивлении линии?</li> <li>7. Особенности расчета режимов в послеаварийном режиме.</li> </ol>
---	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*Описание характеристики выполнения знания: оценка 5 («отлично»), если пункт сделан полностью верно с опозданием не более чем на 2 недели и не более чем со второй попытки*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания: оценка 4 («хорошо»), если либо в расчете присутствуют ошибки в заключительных действиях, которые не влияют на последующие расчеты в данном пункте; либо неверно указаны размерности величин; либо размерности величин не указаны; либо пункт сделан полностью верно с опозданием не более чем на 4 недели и не более чем с третьей попытки*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: оценка 3 («удовлетворительно»), если пункт сделан полностью верно с опозданием более чем на 4 недели или более чем с третьей попытки*

**КМ-3. Выполнение п.п. 4 и 5 расчетного задания**

**Формы реализации:** Соблюдение графика выполнения задания

**Тип контрольного мероприятия:** Расчетно-графическая работа

### Вес контрольного мероприятия в БРС: 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Обучающемуся выдается индивидуальное расчетное задание с указанием номера варианта, номинального напряжения сети, марки проводов и длины линии от ИП до ПС, трансформаторов, установленных на ПС. Студент в срок, указанный преподавателем, готовит и оформляет пункты 3 и 4 расчетного задания в расчетно-пояснительной записке в формате Word. Преподаватель на основе критериев оценивает работу студента и выставляет оценку в БАРС.

### Краткое содержание задания:

Оценить достаточность регулировочных диапазонов устройств РПН трансформаторов на подстанции. Рассчитать потери активной мощности и годовые потери электроэнергии в сети.

### Контрольные вопросы/задания:

<p>Уметь: анализировать установленные режимы электроэнергетических систем и сетей</p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Как оценивается достаточность регулировочных диапазонов устройств РПН трансформаторов на подстанции в режиме наибольших нагрузок?</li><li>2. Как оценивается достаточность регулировочных диапазонов устройств РПН трансформаторов на подстанции в режиме наименьших нагрузок?</li><li>3. Как оценивается достаточность регулировочных диапазонов устройств РПН трансформаторов на подстанции в послеаварийном режиме?</li><li>4. Как рассчитываются потери активной мощности в режиме наибольших нагрузок?</li><li>5. Как рассчитываются потери активной мощности в режиме наименьших нагрузок?</li><li>6. Как рассчитываются потери активной мощности в послеаварийном режиме?</li><li>7. Как определяются годовые потери электроэнергии в сети?</li></ol>
---	---

### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*Описание характеристики выполнения знания: оценка 5 («отлично»), если пункт сделан полностью верно с опозданием не более чем на 2 недели и не более чем со второй попытки*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания: оценка 4 («хорошо»), если либо в расчете присутствуют ошибки в заключительных действиях, которые не влияют на последующие расчеты в данном пункте; либо неверно указаны размерности величин; либо размерности величин не указаны; либо пункт сделан полностью верно с опозданием не более чем на 4 недели и не более чем с третьей попытки*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: оценка 3 («удовлетворительно»), если пункт сделан полностью верно с опозданием более чем на 4 недели или более чем с третьей попытки*

## КМ-4. Контрольная работа «Расчет режима»

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Контрольная работа содержит одну задачу. Время выполнения 40 минут. Преподаватель на основе критериев оценивает работу студента и выставляет оценку в БАРС.

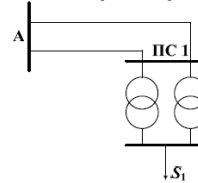
**Краткое содержание задания:**

Произвести расчет режима.

**Контрольные вопросы/задания:**

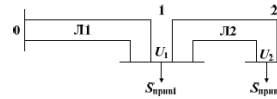
Знать: методы расчета режимов работы электроэнергетических систем и сетей различной конфигурации

Параметры двухцепной электропередачи 220 кВ (см. рис.): провод АС 400/51 ( $R_0 = 0,073$  Ом/км,  $d_{np} = 27,5$  мм) длина линии 73 км; трансформатор ТРДНС-63000/220 (каталожные данные  $\Delta P_k = 300$  кВт,  $u_k = 11,5\%$ ,  $\Delta P_k = 82$  кВт,  $I_k = 0,8\%$ ,  $U_{нн} = 230$  кВ,  $U_{нн} = 11,0$  кВ).  
Мощность, выдаваемая в сеть с шин источника питания: 60 МВт при коэффициенте мощности (cosφ) 0,88. Напряжение до идеального трансформатора (за сопротивлением обмоток трансформатора в схеме замещения) 222 кВ. Произвести расчет режима.



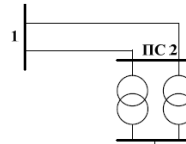
1.

Параметры двухцепной электропередачи 220 кВ (см. рис.): линия Л1 – провод АС 240/32 ( $R_0 = 0,118$  Ом/км,  $d_{np} = 21,6$  мм) длина 30 км; линия Л2 – провод АС 185/29 ( $R_0 = 0,159$  Ом/км,  $d_{np} = 18,8$  мм) длина 22 км. Мощность, выдаваемая в сеть с шин источника питания,  $P_0 = 100$  МВт,  $Q_0 = 44$  Мвар; значение нагрузки  $P_{прив1} = 55$  МВт,  $Q_{прив1} = 23$  Мвар; напряжение  $U_2 = 228$  кВ. Произвести расчет режима.



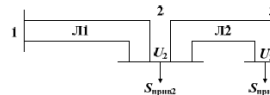
2.

Параметры двухцепной электропередачи 220 кВ (см. рис.): провод АС 300/39 ( $R_0 = 0,096$  Ом/км,  $d_{np} = 24$  мм) длина линии 88 км; трансформатор ТРДН-40000/220 (каталожные данные  $\Delta P_k = 170$  кВт,  $u_k = 11,5\%$ ,  $\Delta P_k = 50$  кВт,  $I_k = 0,9\%$ ,  $U_{нн} = 230$  кВ,  $U_{нн} = 11$  кВ).  
Мощность, выдаваемая в сеть с шин источника питания:  $40 + j 26$  МВА. Напряжение до идеального трансформатора (за сопротивлением обмоток трансформатора в схеме замещения) 217 кВ. Произвести расчет режима.



3.

Параметры двухцепной электропередачи 220 кВ (см. рис.): линия Л1 – провод АС 300/39 ( $R_0 = 0,096$  Ом/км,  $d_{np} = 24$  мм) длина 88 км; линия Л2 – провод АС 150/24 ( $R_0 = 0,204$  Ом/км,  $d_{np} = 17,1$  мм) длина 16 км. Мощность, выдаваемая в сеть с шин источника питания,  $P_1 = 99$  МВт,  $Q_1 = 35$  Мвар; значение нагрузки  $P_{прив2} = 66$  МВт,  $Q_{прив2} = 21$  Мвар; напряжение  $U_3 = 214$  кВ. Произвести расчет режима.



4.

**Описание шкалы оценивания:**

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 85

Описание характеристики выполнения знания: оценка 5 («отлично»), если задача решена полностью и верно, без недочетов; у всех величин указана размерность.

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 75

Описание характеристики выполнения знания: оценка 4 («хорошо»), если задача решена в целом верно: либо не доделано не более 20 % задачи, либо не более двух параметров определены по справочным данным не верно; либо присутствуют арифметические ошибки в вычислениях, искажающие результат не более чем в два раза; не у всех величин указана размерность.

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: оценка 3 («удовлетворительно»), если либо правильно решено не менее 50 % задачи, либо использованы правильные формулы, но при подстановке значений допущены ошибки, либо присутствующие арифметические ошибки, искажающие результат более чем в два раза.

### КМ-5. Защита расчетного задания

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Расчетно-графическая работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС: 15**

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Обучающемуся задается ряд устных вопросов по индивидуальному расчетному заданию, направленных на определение знаний, полученных в ходе изучения дисциплины. Время опроса 15 минут. Преподаватель на основе критериев оценивает ответ студента и выставляет оценку в БАРС.

**Краткое содержание задания:**

Вопросы со свободным ответом.

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: принципы процесса производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии	<ol style="list-style-type: none"><li>1.Что входит в состав поперечных пассивных элементов схем замещения?</li><li>2.Что входит в состав продольных пассивных элементов схем замещения?</li><li>3.Для чего необходимо рассчитывать режим наибольшей и наименьшей нагрузки?</li><li>4.Что такое нормальный режим потребителя электрической энергии?</li><li>5.Как задаются нагрузки при расчете сложных сетей?</li><li>6.В каких элементах электрической сети преобладают нагрузочные потери?</li></ol>
---	--

**Описание шкалы оценивания:**

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 85

Описание характеристики выполнения знания: оценка 5 («отлично»), если на все вопросы даны правильные ответы, без недочетов

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 75

Описание характеристики выполнения знания: оценка 4 («хорошо»), если на все вопросы даны ответы, при этом суммарно допущено не более двух ошибок

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: оценка 3 («удовлетворительно»), если не менее чем на половину вопросов даны правильные ответы либо при ответе часто допускались ошибки

## КМ-6. Защита лабораторной работы № 1

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Обучающемуся задается ряд устных вопросов по выполненному отчету, направленных на определение знаний, полученных в ходе выполнения лабораторной работы. Время опроса 15 минут. Преподаватель на основе критериев оценивает ответ студента и выставляет оценку в БАРС.

**Краткое содержание задания:**

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Исследование установившихся режимов двухцепной воздушной линии 220 кВ с одним источником питания.

### 1. Цель и

*содержание работы.*

Целью настоящей работы является ознакомление с расчетной универсальной моделью переменного тока, ее элементами, составлением расчетной схемы замещения линии электропередачи и схемы набора элементов модели, определение параметров передачи (в единицах оригинала и модели), расчетом на модели режимов электропередачи с одним источником питания.

Содержанием работы является определение режимных параметров (напряжений в узлах, потоков активной и реактивной мощности в начале и конце передачи) в четырех режимах работы и анализ результатов исследования.

### 2. Исходные данные.

2.1 Принципиальная схема исследуемой электропередачи представлена на рис.2.1

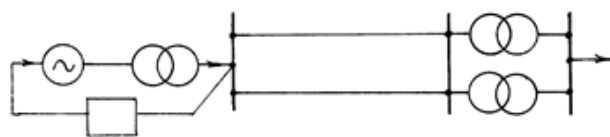


Figure 1 Рис.2.1

Электрическая станция (ЭС), изображенная на принципиальной схеме в виде эквивалентного генератора, повышающего трансформатора и автоматического регулятора возбуждения (АРВ), вводится на модели источником бесконечной мощности (ИБМ) – шинами высшего напряжения, на которых поддерживается действием АРВ неизменное заданное напряжение  $U_{эс}$ .

Таблица 1.1

Параметры ВЛ 220 кВ

Вариант	1	2	3	4	5	6
Марка провода АС	240/32	300/39	400/51	500/64	300/39	400/51
$r_0$ , Ом/км	0,121	0,098	0,075	0,060	0,098	0,075
$x_0$ , Ом/км	0,435	0,429	0,420	0,413	0,429	0,420
$b_0 \cdot 10^{-6}$ , См/км	2,60	2,64	2,70	2,74	2,64	2,70

Длина линии, км	200	190	180	210	180	170
-----------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Таблица 1.2

Параметры нагрузки

Вариант	1	2	3	4	5	6
$P_{\text{нагр}}$ , нб, МВт	190	240	280	330	220	300
$\cos \varphi$ нагр	0,92	0,91	0,93	0,94	0,92	0,93
$a_n = P_{\text{нм}} / P_{\text{нб}}$	0,5	0,4	0,45	0,5	0,4	0,45
$U_{\text{эс}}$ , кВ	242	230	242	230	242	230

2.2 От шин 220кВ ЭС отходит двухцепная воздушная линия электропередачи. Длина линии, марка проводов и погонные параметры линии приведены в табл. 2.1

2.3 На понижающей подстанции установлены два трансформатора типа ТРДЦН-160000/220, ( $S_{\text{ном}}=160\text{МВ.А}$ ,  $U_k=12\%$ ,  $K_T=230/11/11$ ). Активными потерями в трансформаторах можно пренебречь.

2.4 В табл. 2.2 приведены величины наибольших нагрузок, выдаваемых потребителю, коэффициент неравномерности нагрузки  $a_n$ ,  $\cos \varphi$  нагр = const, значения напряжения на шинах высшего напряжения электростанции,  $U_n=10$  кВ.

2.5 Исследования проводятся для четырех установившихся режимов: наибольших нагрузок, наименьших нагрузок, послеаварийного (вывод в ремонт одной цепи электропередачи в режиме наибольших нагрузок) и режимов холостого хода с включением на шинах ЭС двух и одной цепи.

2.6 При пересчете параметров к модельным значениям принять масштабные коэффициенты равными  $m_i = 4$  кВ ор./ В мод.,  $m_z = 0,16$  Ом ор./ Ом мод.

### 3. Задание на подготовительную работу.

3.1. Ознакомиться с описанием и методикой работы на лабораторных стендах, имеющих в основе расчетные столы переменного тока, в соответствии с настоящим пособием. Ответить на контрольные вопросы этого раздела.

3.2. Составить схемы замещения электропередачи для нормального и послеаварийного режимов и определить параметры схем замещения (в размерностях оригинала).

3.3. Рассчитать параметры элементов модели согласно заданным масштабным коэффициентам  $m_i$  и  $m_z$ .

3.4. Составить расчетные схемы для исследования заданных режимов и набора на модели. При выполнении пунктов 3.2, 3.3 и 3.4 следует руководствоваться п.2.3 «Пример составления расчетной схемы и определения параметров ее элементов», который приведен во втором разделе данного пособия.

3.5. Подготовить таблицы для записи результатов экспериментов и их пересчета через масштабы в величины реальной электропередачи. В таблицы должны быть записаны для каждого режима значения активной и реактивной мощности и напряжения в начале и конце линии и за трансформаторами (в узле нагрузки).

3.6. Ответить на контрольные вопросы (п.7).

### 4. Порядок выполнения работы.

4.1. Собрать на стенде расчетную схему для исследования нормальных режимов системы, установить рассчитанные и приведенные к модели параметры всех элементов. Электрическую станцию ЭС моделировать одной из генераторных станций, установив на ней нулевое сопротивление. На нагрузочном элементе установить максимальные значения активного и индуктивного сопротивлений при параллельном их соединении.

4.2. После проверки преподавателем правильности набора схемы на модели получить разрешение на включение стенда.

- 4.3. Установить режим наибольших нагрузок, установив на шинах генераторной станции заданное напряжение  $U_{эс}$  и значения сопротивлений нагрузки, соответствующих ее заданным активной и реактивной мощностям и напряжению на ней, равному  $U_{ном}$ . (режим нагрузки устанавливается в соответствии с п. 5.1 раздела 5 описания 1-ой лабораторной работы). После включения схемы в работу, сопротивления нагрузочного элемента необходимо подрегулировать, т.к. на нагрузке установится напряжение  $U_{нагр.}$ , отличное от номинального.
- 4.4. Замерить значения активной и реактивной мощностей, напряжения в начале и конце линии и за трансформаторами (на нагрузке). Записать результаты в подготовленную таблицу.
- 4.5. Установить режим наименьших нагрузок, заменив в схеме нагрузочный элемент, и повторить операции п. 4.3 и 4.4.
- 4.6. Установить послеаварийный режим, изменив значения параметров линейного элемента, имитирующего линию электропередачи и восстановив наибольшее значение нагрузки. Повторить операции по п.4.3, 4.4.
- 4.7. Повторить операции по п. 4.4 для режимов холостого хода (при отключении нагрузочного элемента), подключая к шинам генераторной станции поочередно две и одну цепи ЛЭП.
- 4.8. Выполнить пересчет замеренных значений режимных параметров к величинам реальной системы (оригинала) для всех исследованных режимов, и внести их в те же подготовленные таблицы.
- 4.9. Определить потери активной и реактивной мощности и потери напряжения в линии и трансформаторах, а также *к.п.д.* электропередачи во всех режимах.
- 4.10. Проанализировать полученные результаты.
- 4.11. Нарисовать векторные диаграммы напряжений токов во всех режимах.
- 4.12. Оформить отчет по проделанной работе.

### **5. Методические указания.**

- 5.1. Установка режима на стенде начинается с установки заданной величины нагрузки на шинах 10 кВ потребителя. Режим нагрузки устанавливается в данной работе по номинальному напряжению  $U_{ном}$ . на ее шинах и заданным значениям активной  $P_{нагр.}$  и реактивной  $Q_{нагр.}$  мощностей. С этой целью нагрузочный элемент отсоединяется от основной схемы и подключается к независимому источнику бесконечной мощности, на шинах которого устанавливается напряжение  $U_{ном}$ . Затем штеккер измерительного шнура включается в ветвь нагрузочного элемента и изменением величин активного  $R_{нагр.}$  и индуктивного  $X_{нагр.}$  сопротивлений нагрузки необходимо добиться заданных значений мощностей, потребляемых нагрузкой ( $P_{нагр.}$  и  $Q_{нагр.}$ ), на соответствующих приборах. Первоначально необходимо установить максимальные значения этих сопротивлений. Далее нагрузочный элемент подключается к моделируемой схеме и в исследуемом режиме при этом необходима дополнительная регулировка  $R_{нагр.}$  и  $X_{нагр.}$ , т.к. напряжение на нагрузке может отличаться от номинального значения. Т.к. в работе необходимо проводить исследования при двух значениях нагрузки, то для удобства рекомендуется использовать соответственно два нагрузочных элемента.
- 5.2. Для моделирования линии электропередачи как двухцепной в нормальном режиме, так и одноцепной в послеаварийном режиме, также удобно использовать два линейных элемента.
- 5.3. Определение потерь мощности и напряжения в линии и трансформаторах необходимо выполнять как в именованных, так и в относительных единицах (или в процентах). *К.п.д.* электропередачи определяется по формуле:  $h = P_{нагр.} / P_{эс}$ .

### **6. Анализ результатов.**

В заключение необходимо провести анализ результатов, сделать выводы и изложить их в отчете по работе. На основе этого анализа должны быть сделаны выводы по следующим вопросам: как изменяются параметры режима, потери мощности и напряжения, к.п.д. электропередачи при переходе от режима наибольших нагрузок к режиму наименьших нагрузок; какие изменения в указанных параметрах возникают при переходе от режима наибольших нагрузок к послеаварийному режиму при неизменных значениях напряжения на питающей электростанции и мощности нагрузки.

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: методы расчета режимов работы электроэнергетических систем и сетей различной конфигурации</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Как устроена статическая модель переменного тока, из каких элементов она состоит?</li> <li>2. Каково устройство отдельных элементов этой модели?</li> <li>3. Каким образом выбираются масштабные коэффициенты при работе на статической модели переменного тока?</li> <li>4. Каким образом устанавливается нормальный режим исследуемой системы?</li> <li>5. Какие схемы замещения линий и трансформаторов применяются при исследовании установившихся режимов сети?</li> </ol>
<p>Уметь: рассчитывать установившиеся режимы электроэнергетических систем и сетей различной конфигурации</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Как меняются параметры схемы замещения линии при отключении одной цепи двухцепной линии?</li> <li>2. К каким изменениям в параметрах режима сети, в потерях мощности и напряжения в элементах сети приводит уменьшение мощности нагрузки на подстанции?</li> <li>3. Как изменяются параметры режима сети и потери мощности и напряжения в элементах сети в послеаварийном режиме при отключении одной цепи двухцепной линии?</li> <li>4. С какой целью исследуются четыре режима: наибольших и наименьших нагрузок, послеаварийный режим, режим холостого хода? Определите конкретно, что именно интересует исследователя в каждом из режимов и почему интересует.</li> </ol>

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*Описание характеристики выполнения знания: оценка 5 («отлично»), если на все вопросы даны правильные ответы, без недочетов*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания: оценка 4 («хорошо»), если на все вопросы даны ответы, при этом суммарно допущено не более двух ошибок*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: оценка 3 («удовлетворительно»), если не менее чем на половину вопросов даны правильные ответы либо при ответе часто допускались ошибки*

### **КМ-7. Защита лабораторной работы № 2**

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Обучающемуся задается ряд устных вопросов по выполненному отчету, направленных на определение знаний, полученных в ходе выполнения лабораторной работы. Время опроса 15 минут. Преподаватель на основе критериев оценивает ответ студента и выставляет оценку в БАРС.

**Краткое содержание задания:**

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2**  
**Анализ режимов кольцевой сети 110 кВ**

**1. Цель и содержание работы.**

Цель работы состоит в определении параметров установившихся режимов кольцевой сети с одним источником питания и двумя узлами нагрузки.

Источниками питания являются шины 110 кВ подстанции электрической системы, которая на схеме рис. 2.1. условно изображена в виде эквивалентного генератора.

Нагрузочные узлы 1 и 2 представляют собой двухтрансформаторные понижающие подстанции 110/10 кВ с соответствующими  $P_i$  и  $\cos \varphi_i$  для режимов наибольших нагрузок на шинах 10 кВ.

Все линии одноцепные и выполнены сталеалюминиевыми проводами, марки проводов заданы.

Исследованию подлежат 2 нормальных режима (наибольших и наименьших нагрузок), и три послеаварийных режима, возникающих после отключения одной из линий в режиме наибольших нагрузок.

В каждом из исследуемых режимов необходимо определить:

1. Значения активной и реактивной мощностей в начале ( $P_i'$  и  $Q_i'$ ) и в конце ( $P_i''$  и  $Q_i''$ ) каждого участка сети.
2. Напряжение на шинах высшего напряжения подстанций 1 и 2 ( $U_i$ ).
3. Потери активной и реактивной мощностей в линиях сети ( $\Delta P_i$  и  $\Delta Q_i$ ).

По результатам определения указанных параметров выполняется анализ изменения параметров режима в зависимости от режима работы сети:

- напряжений  $U_i$  в нагрузочных узлах;
- суммарных потерь активной мощностей  $\Delta P_{\Sigma}$  в линиях сети;
- наибольших потерь напряжения в сети.

## 2. Исходные данные

- 2.1. Длина  $L$  и марка провода каждой из линий электропередачи и соответствующие погонные значения активного ( $r_0$ ), индуктивного ( $x_0$ ) сопротивлений и емкостной проводимости ( $b_0$ ) представлены в табл. 2.1.
- 2.2. Тип, номинальная мощность ( $S_{\text{ном}}$ ), напряжение короткого замыкания ( $u_k, \%$ ), потери мощности короткого замыкания ( $\Delta P_k$ ), потери холостого хода ( $\Delta P_x$ ), ток холостого хода ( $I_x, \%$ ) трансформаторов подстанций 1 и 2 представлены в табл. 2.2.
- 2.3. Мощности нагрузок узлов для режима наибольших нагрузок ( $P_i$ ) и соответствующие  $\cos \varphi_i$  представлены табл. 2.3.
- 2.4. Напряжение на шинах 110 кВ источника питания следует принимать следующим:
  - $U_{\text{ип}} = 1,08 U_{\text{ном}}$  – для режимов наибольших нагрузок и послеаварийного;
  - $U_{\text{ип}} = 1,02 U_{\text{ном}}$  – для режимов наименьших нагрузок.
- 2.5. Величина мощности нагрузок всех узлов для режима наименьших нагрузок определяется коэффициентом  $\alpha = P_{\text{нм}}/P_{\text{нб}} = 0,4$  при  $\cos \varphi = \text{const}$ .

Схема исследуемой сети.

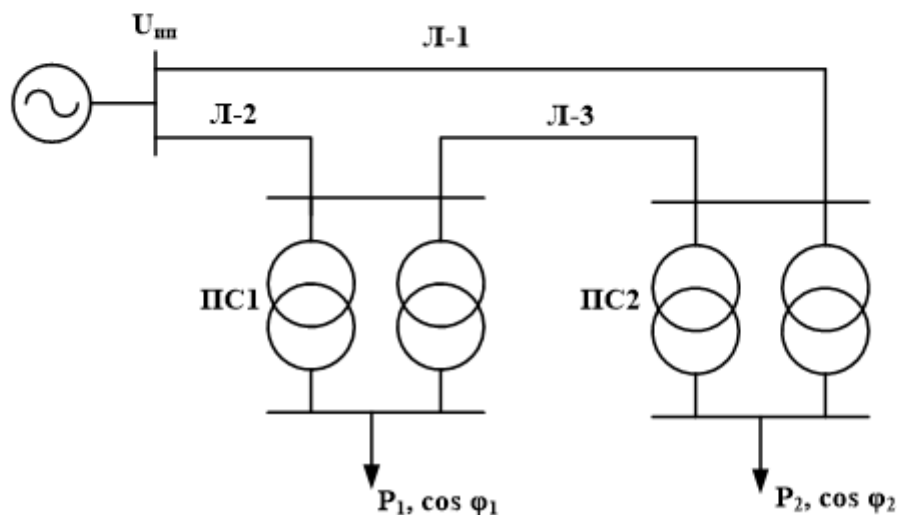


Таблица 2.1. Параметры линий электропередач.

Вариант	Линия	Марка провода	$L$ , км	$r_0$ , Ом/км	$x_0$ , Ом/км	$b_0 \cdot 10^6$ , см/км
1	Л-1	АС-95/16	40	0,31	0,434	2,61
	Л-2	АС-95/16	20	0,31	0,434	2,61
	Л-3	АС-95/16	30	0,31	0,434	2,61
2	Л-1	АС-185/29	30	0,162	0,413	2,75
	Л-2	АС-185/29	45	0,162	0,413	2,75
	Л-3	АС-120/19	35	0,250	0,430	2,66
3	Л-1	АС-120/19	40	0,250	0,430	2,66
	Л-2	АС-95/16	20	0,31	0,434	2,61
	Л-3	АС-95/16	30	0,31	0,434	2,61
4	Л-1	АС-120/19	50	0,250	0,430	2,66
	Л-2	АС-120/19	30	0,250	0,430	2,66
	Л-3	АС-70/11	20	0,428	0,444	2,55
5	Л-1	АС-95/16	20	0,31	0,434	2,61
	Л-2	АС-95/16	50	0,31	0,434	2,61
	Л-3	АС-95/16	30	0,31	0,434	2,61
6	Л-1	АС-95/16	45	0,31	0,434	2,61
	Л-2	АС-95/16	20	0,31	0,434	2,61
	Л-3	АС-70/11	35	0,428	0,444	2,55

Таблица 2.2. Параметры трансформаторных подстанций.

Вариант	№ п/ст.	Тип трансформатора	$S_{ном}$ , МВА	$u_k$ , %	$\Delta P_k$ , кВт	$\Delta P_x$ , кВт	$\Delta Q_x$ , квар
1	1	ТРДН-25000/110	25	10,5	120	27	175
	2	ТДН-16000/110	16	10,5	85	19	112
2	1	ТДН-16000/110	16	10,5	85	19	112
	2	ТРДН-25000/110	25	10,5	120	27	175
3	1	ТРДН-25000/110	25	10,5	120	27	175
	2	ТДН-16000/110	16	10,5	85	19	112
4	1	ТРДН-25000/110	25	10,5	120	27	175
	2	ТДН-16000/110	16	10,5	85	19	112
5	1	ТДН-16000/110	16	10,5	85	19	112
	2	ТДН-16000/110	16	10,5	85	19	112
6	1	ТРДН-25000/110	25	10,5	120	27	175
	2	ТДН-16000/110	16	10,5	85	19	112

Таблица 2.3. Параметры нагрузок.

Вариант	№ п/ст.	$P$ , МВт	$Q$ , Мвар
1	1	45	40
	2	38	30
2	1	26	25
	2	55	54
3	1	45	44
	2	30	28
4	1	55	54
	2	26	25
5	1	35	33
	2	35	33
6	1	45	44
	2	30	28

### 3. Задание на подготовительную работу.

- 3.1. В соответствии с заданием на лабораторную работу составить расчетную схему замещения и схему набора на расчетном столе.
- 3.2. Определить параметры элементов схемы замещения: активные и индуктивные сопротивления линий, расчетные нагрузки в узлах сети.
- 3.3. В соответствии с заданными масштабными моделирования  $m_u = 2$  кВ ор./В мод.;  $m_z = 0,16$  Ом ор./Ом мод. найти  $m_p$  и  $m_l$  и определить параметры элементов модели,  $U_{ип}^{(мод.)}$  и расчетные нагрузки в узлах для рассматриваемых режимов.
- 3.4. Составить расчетную схему для набора на модели и указать на ней номера элементов и значения, определенных в п.3.3 параметров. Для представления линий используются линейные элементы соответствующие П-образной схеме замещения.
- 3.5. Подготовить таблицы для записи результатов экспериментов для всех исследуемых режимов и их пересчета в величины оригинала.
- 3.6. Подготовить рисунки расчетных схем замещения для записи величин и направлений потоков мощностей в начале и конце каждой ветви схемы и заполняются соответствующие таблицы (в масштабах модели и оригинала).
- 3.7. Проводится анализ результата эксперимента.

#### 4. Порядок выполнения работы.

- 4.1. В соответствии с расчетными схемами выбрать на стенде необходимые элементы, указать их номера на схемах набора.
- 4.2. На коммутационной панели стенда выбрать шины для соединения элементов и указать их номера на расчетных схемах.
- 4.3. Собрать на стенде схему для исследования нормальных режимов сети.
- 4.4. Установить на линейных элементах значения активных и индуктивных сопротивлений линий. На нагрузочных элементах установить максимальное значение  $R_n$  и  $X_n$  при их параллельном соединении.
- 4.5. Установить заданное значение напряжения на источнике питания.
- 4.6. После проверки преподавателем правильности набора всей схемы на модели, отсоединить от схемы нагрузочные элементы Н1 и Н2.
- 4.7. Подключить нагрузочный элемент Н1 к ИБМ (независимой генераторной станции). Установить на этой станции нулевое индуктивное сопротивление и привести все потенциометры в нулевое положение. Включить питание стенда и выбранную генераторную станцию. Установить на шинах станции желаемое напряжение по условию встречного регулирования равное  $U_{ИП} = 1,05 U_{ном}$ , приведя его к высшему напряжению трансформатора. При этом напряжении, с помощью переключателей, установить значения активного и индуктивного сопротивлений нагрузочного элемента, соответствующих активной и реактивной мощности нагрузки 1-ой подстанции в режиме наибольших нагрузок. Мощности при этом контролируются по приборам
- 4.8. Повторить операции приведенные в п.п.4.7 для нагрузочного элемента Н2.
- 4.9. Восстановить схему, присоединив к ней нагрузочные элементы Н1 и Н2.
- 4.10. Включить питающую генераторную станцию и установить на ее шинах  $U_{ИП} = 1,05 U_{ном}$ . Отрегулировать величины потребляемой мощности нагрузок Н1 и Н2 путем изменения значения активного и индуктивного сопротивлений нагрузочных элементов.
- 4.11. Включить станцию Г1, установить  $U_{ИП}^{(мод)}$ , поддерживать это значения неизменным.
- 4.12. Замерить необходимые режимные параметры и записать их в соответствующую таблицу.
- 4.13. Повторить замер для всех послеаварийных режимов. Для моделирования послеаварийного режима в схеме исключается один из элементов линии электропередач.
- 4.14. Повторить п.п.4.7 – 4.12 для режима наименьших нагрузок.
- 4.15. Выполнить пересчет замеренных величин режимных параметров к оригинальным для всех исследованных режимов с записью полученных значений в подготовленные таблицы и нанесением их на рисунки схем замещения.
- 4.16. Определить суммарные потери активной и реактивной мощности в линиях системы и оценить эти потери.
- 4.17. Провести анализ результатов экспериментов.
- 4.18. Оформить отчет по проделанной работе.

### 5. Методические указания.

В расчетах различаются приведенные нагрузки и расчетные нагрузки. Приведенная нагрузка узлов  $S_{прив}$  отличается от мощности нагрузок на величину потерь мощности в обмотках трансформаторов и потерь холостого хода трансформаторов

$$S_{прив.i} = S_{н.i} + \Delta P_{т.i} + j \cdot \Delta Q_{т.i},$$

где потери мощности в  $n_T$  параллельно работающих двухобмоточных трансформаторах:

$$\Delta P_{т.i} = \frac{S_{н.i}^2}{U_{вн ном}^2} R_{тр} + n_T \cdot \Delta P_x, \quad \Delta Q_{т.i} = \frac{S_{н.i}^2}{U_{вн ном}^2} X_{тр} + n_T \cdot \Delta Q_x$$

Значение сопротивления трансформаторов можно найти в соответствии со следующими выражениями:

$$R_{тр} = \frac{1}{n_T} \cdot \frac{\Delta P_k \cdot U_{вн ном}^2}{S_{т ном}^2}, \quad X_{тр} = \frac{1}{n_T} \cdot \frac{U_k}{100} \cdot \frac{U_{вн ном}^2}{S_{т ном}}$$

Расчетная нагрузка узлов  $S_{расч}$ . Определяется как алгебраическая сумма приведенной нагрузки и половины зарядных мощностей всех линий, связанных с данным узлом.

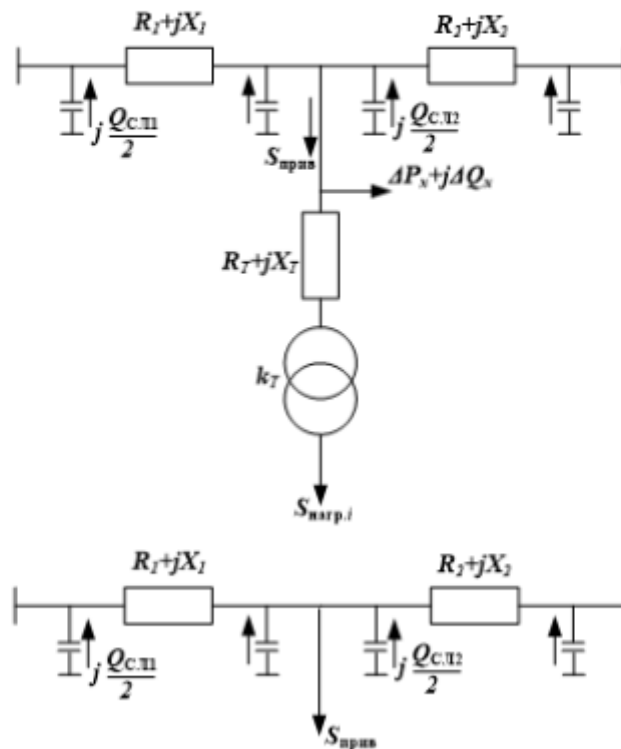
$$S_{расч.i} = S_{прив.i} - j \cdot \frac{\Delta Q_{с.л1}}{2} - j \cdot \frac{\Delta Q_{с.л2}}{2}$$

или в общем виде:

$$S_{расч.i} = S_{прив.i} - j \cdot \sum_{j=1}^{n_j} \frac{Q_{сij}}{2}.$$

При выполнении работы на стенде, нагрузка задается в приведенных мощностях. Т.е. в схеме сети не используются трансформаторы.

Схема сети:



**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: методы расчета режимов работы электроэнергетических систем и сетей различной конфигурации	1. Как определяется расчетная нагрузка подстанции и чем она отличается от приведенной нагрузки? 2. Что такое точка потокораздела и как она определяется? 3. Алгоритм расчета кольцевых сетей 110–220 кВ в случае совпадения точки потокораздела по активной и реактивной мощности. 4. Алгоритм расчета кольцевых сетей 110–220 кВ в случае несовпадения точки потокораздела по активной и реактивной мощности.
Уметь: рассчитывать установившиеся режимы электроэнергетических систем и сетей различной конфигурации	1. Особенности послеаварийных режимов в замкнутых сетях (в сравнении с разомкнутыми сетями). 2. Какой самый тяжелый послеаварийный режим в кольцевой сети и почему?

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Описание характеристики выполнения знания: оценка 5 («отлично»), если на все вопросы даны правильные ответы, без недочетов*

*Оценка: 4*

*Описание характеристики выполнения знания: оценка 4 («хорошо»), если на все вопросы даны ответы, при этом суммарно допущено не более двух ошибок*

*Оценка: 3*

*Описание характеристики выполнения знания: оценка 3 («удовлетворительно»), если не менее чем на половину вопросов даны правильные ответы либо при ответе часто допускались ошибки*

**КМ-8. Защита лабораторной работы № 3**

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Обучающемуся задается ряд устных вопросов по выполненному отчету, направленных на определение знаний, полученных в ходе выполнения лабораторной работы. Время опроса 15 минут. Преподаватель на основе критериев оценивает ответ студента и выставляет оценку в БАРС.

**Краткое содержание задания:****ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3****Регулирование напряжения в районной электрической сети 110 кВ****1. Цель и содержание работы.**

Целью настоящей работы является исследование возможностей регулирования напряжения в нормальном и послеаварийном режимах на шинах 10 кВ подстанций сети 110 кВ (рис.3.1).

В процессе выполнения работы следует рассмотреть регулирование напряжения средствами РПН трансформаторов, установленных на понижающих подстанциях, и

компенсации реактивной мощности, потребляемой на шинах 10 кВ, с помощью батарей конденсаторов.

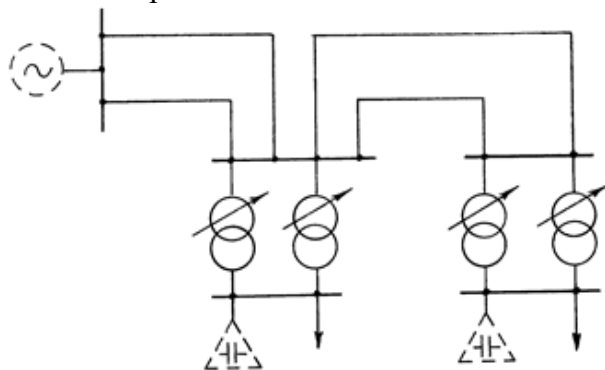


Figure 2 Рис. 3.1

В качестве источника питания рассматриваются шины 110 кВ мощной подстанции системы, на которых поддерживается заданное напряжение. Линии Л1 и Л2 – двухцепные. На каждой подстанции установлены два трансформатора. Схемы подстанций предусматривают отключение линий и трансформаторов независимо.

Исследуются режимы наибольших и наименьших нагрузок и один послеаварийный режим – отключение одной цепи на головном участке сети.

Рассматриваются два исходных варианта:

- а) во всех режимах  $\cos \varphi_{\text{нагр.}} = 0,8$  ;
- б) во всех режимах  $\cos \varphi_{\text{нагр.}} = 0,94$  .

Напряжение на шинах подстанции ЭЭС в режиме наибольших нагрузок и в послеаварийном режиме – 115 кВ, в режиме наименьших нагрузок – 110 кВ.

На шинах 10 кВ обеспечивается принцип встречного регулирования напряжения [1].0

## 2. Исходные данные.

2.1 Длины линий ( $L$ ) приведены в табл.3.1.

Таблица 3.1

Линии электропередачи

Вариант		1	2	3	4	5	6
Л1	$L$ , км	30	35	40	45	50	55
Л2	$L$ , км	50	45	40	35	30	25

Линия Л1 выполнена проводом марки АС 240/32  $r_0 = 0,12$  Ом/км;  $x_0 = 0,405$  Ом/км ;  $b_0 = 2,81 \times 10^{-6}$  См/км.

Линия Л2 выполнена проводом марки АС 120/19  $r_0 = 0,229$  Ом/км;  $x_0 = 0,427$  Ом/км ;  $b_0 = 2,66 \times 10^{-6}$  См/км.

2.2 В таблице 3.2 приведены значения наибольших нагрузок подстанций.

Таблица 3.2

Нагрузки подстанций

Вариант	1	2	3	4	5	6
$P_1$ нб, МВт	70	68	66	64	62	60
$P_2$ нб, МВт	45	44	43	42	41	40

$$\text{Коэффициент неравномерности } a_n = P_{\text{нм}}/P_{\text{нб}} = 0,5$$

2.3 Данные трансформаторов на подстанциях приведены в табл.3.3.

Таблица 3.3

Данные трансформаторов на подстанциях

	Тип	$S_{ном.}$ , МВА	$U_B$ ном., кВ	$U_H$ ном., кВ	$X_T$ , Ом	$DU_{раб.}$
T1	ТРДЦН 63000/110	63	115	10,5	22,0	$\pm 9'1,78\%U_{BH}$
T2		ТРДЦН 40000/110	40	115	10,5	36,7

2.4 Принять масштабные коэффициенты равными:

$$mU = 2 \text{ кВ ор./В мод.}, mZ = 0,16 \text{ Ом ор./Ом мод.}$$

### 3. Задание на подготовительную работу.

3.1 Составить схему замещения сети, используя П-образные схемы замещения для линий. Активными сопротивлениями и  $D\phi Sk$  трансформаторов пренебречь, т.е. понижающие трансформаторы вводятся ХТС .

3.2 Определить параметры схем замещения линий для нормального режима и заданного послеаварийного режима.

3.3 Определить параметры схем замещения трансформаторов

3.4 По заданным масштабам моделирования определить параметры элементов модели, значения напряжений  $U_{эс}$  и мощностей нагрузок для двух режимов.

3.5 Составить расчетную схему для набора на модели с указанием на ней значений параметров элементов.

3.6 Подготовить таблицы для записи результатов экспериментов и их пересчета через масштабы в величины оригинала.

3.7 Подготовить схему замещения для фиксации параметров исследованных режимов (напряжений в узлах и потоков мощности в ветвях), пересчитанных в величины оригинала.

3.8 Ответить на контрольные вопросы.

### 4. Порядок выполнения работы.

4.1 В соответствии с подготовленной расчетной схемой, выбрать на модели необходимые элементы и указать их номера на схеме.

4.2 На коммутационной панели выбрать шины для соединения элементов и указать их номера на расчетной схеме.

4.3 Собрать на модели схему для исследования нормальных режимов.

4.4 Установить на всех элементах схемы рассчитанные значения сопротивлений и емкостей. На нагрузочных элементах установить максимальные значения активного и индуктивного сопротивлений при параллельном их соединении.

4.5 После проверки преподавателем правильности набора всей схемы на модели, отсоединить от схемы нагрузочные элементы Н1 и Н2.

4.6 Подключить нагрузочный элемент Н1 к ИБМ (независимой генераторной станции). Установить на этой станции нулевое индуктивное сопротивление и привести все потенциометры в нулевое положение. Включить питание стенда и выбранную генераторную станцию. Установить на шинах станции желаемое напряжение по условию встречного регулирования равно  $1,05U_{ном.} = 10,5 \text{ кВ}$ , приведя его к высшему напряжению трансформатора Т1. При этом напряжении, с помощью переключателей, установить значения активного и индуктивного сопротивлений нагрузочного элемента, соответствующих активной и реактивной мощности нагрузки 1-ой подстанции в режиме наибольших нагрузок при  $\cos\phi_{нагр.} = 0,8$  и послеаварийном режиме. Мощности при этом контролируются по приборам.

4.7 Операции по п.4.6 повторить для нагрузочного элемента Н2.

- 4.8 Восстановить схему, подсоединив к ней нагрузочные элементы Н1 и Н2. Конденсаторные батареи С-11 и С-31 пока не включать.
- 4.9 Включить питающую генераторную станцию и установить на ее шинах  $U_{эс} = 1,05U_{ном.} = 115$  кВ. В полученном режиме замерить мощности в начале и конце каждой линии и напряжения за трансформаторами Т1 и Т2, т.е. на шинах нагрузок. В том случае, когда напряжение на одной из подстанций или на обеих подстанциях не равно  $1,05U_{ном.}$  по условию встречного регулирования, на этих подстанциях должно быть выполнено регулирование напряжения – выполнить п.4.10.
- 4.10 Произвести регулирование напряжения на шинах нагрузки изменением коэффициента трансформации трансформаторов Т1 и Т2, добиваясь значения напряжения, соответствующего требованию встречного регулирования  $1,05U_{ном.}$ . В том случае, когда регулировочный диапазон РПН оказывается недостаточным, для компенсации реактивной мощности на шины нагрузки включаются емкостные элементы С-11 и С-31, и с их помощью повышают напряжение до желаемого значения. Результаты измерений мощностей в начале и конце каждой линии и напряжений в узлах записать в таблицу и нанести на схему. Записать также выбранные ответвления на ВН и НН трансформаторов и значения емкостей С-11 и С-31.
- 4.11 Установить послеаварийный режим, изменив параметры схемы замещения линии Л1 при отключении ее одной цепи. Повторить операции по п.п.4.9 и 4.10.
- 4.12 Для реализации нормального режима наименьших нагрузок восстановить параметры схемы замещения двухцепной линии Л1 и повторить операции по п.п.4.5 – 4.10, но при этом мощности нагрузок должны быть приняты равными  $P_i$  нм и  $Q_i$  нм,  $U_{эс} = U_{ном.} = 110$  кВ, а желаемое напряжение, по условию встречного регулирования, равным  $U_{ном.} = 10$  кВ.
- 4.13 Повторить операции по п.п.4.5 – 4.12, приняв значение  $\cos \varphi_{нагр.} = 0,94 = \text{пост.}$  С этой целью должны быть изменены только реактивные мощности нагрузок.
- 4.14 Выполнить пересчет замеренных значений режимных параметров к величинам реальной системы (оригинала) для всех исследованных режимов и внести результаты в те же подготовленные таблицы.
- 4.15 Произвести анализ результатов экспериментов.
- 4.16 Оформить отчет по выполненной работе.

### **5. Методические указания.**

- 5.1 Для расчетов параметров схем замещения линий и трансформаторов возможно пользоваться формулами, приведенными в п.2.3 2-го раздела данного пособия.
- 5.2 На трансформаторных элементах первоначально устанавливается основной коэффициент трансформации, т.е. штеккер вставляется в гнездо "0" на ВН и на НН трансформатора.
- 5.3 Для компенсации реактивной мощности используются конденсаторы С-11 и С-31, выведенные на лицевую панель стенда. При этом верхним выводом конденсаторы подключаются к шинам низшего напряжения трансформаторов на подстанциях, а нижний вывод необходимо заземлить с помощью перемычки.

### **6. Анализ результатов.**

В заключение необходимо проанализировать результаты и сделать выводы в письменном виде по следующим вопросам:

- как влияет режим работы потребителей на подстанциях на параметры режима сети и на условия регулирования напряжения на шинах НН подстанций;
- как влияет изменение структуры нагрузок (изменение  $\cos \varphi_{нагр.}$ ) на параметры режима сети и на условия регулирования напряжения на шинах нагрузок;

- как влияет изменение коэффициента трансформации трансформаторов на напряжение на шинах НН;
- как влияет компенсация реактивной мощности с помощью конденсаторов на напряжение на шинах НН подстанций; приведите в качестве доказательства влияния соответствующие формулы;
- как изменяются параметры режима и условия регулирования напряжения при отключении одной цепи питающей линии в послеаварийном режиме;
- в чем принципиальное отличие регулирования напряжения с помощью РПН и КУ.

### Контрольные вопросы/задания:

<p>Знать: принципы процесса производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Каковы допускаемые отклонения напряжения для основных типов электроприемников и в чем заключаются основные причины необходимости ограничений отклонений напряжения?</li> <li>2. В чем содержание и смысл закона встречного регулирования напряжения на шинах 6 – 10 кВ понижающих подстанций? Каковы при этом желаемые отклонения напряжения?</li> <li>3. Перечислите основные типы средств регулирования напряжения на понижающих подстанциях 35 – 220/6 – 10 кВ. Каковы технические возможности регулирования напряжения с применением этих средств и каковы их основные технико-экономические характеристики?</li> <li>4. Какие средства регулирования напряжения используются в данной работе?</li> </ol>
<p>Уметь: анализировать установившиеся режимы электроэнергетических систем и сетей</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Каким образом влияет включение конденсаторной батареи на параметры режима сети, в частности на уровень напряжения на шинах НН подстанций?</li> <li>2. Как влияет изменение коэффициента трансформации понижающего трансформатора на уровень напряжения на шинах НН?</li> <li>3. Каковы условия баланса реактивной мощности в электрической сети, и при каких уровнях рабочего напряжения этот баланс должен анализироваться?</li> <li>4. Каковы средства поддержания баланса реактивной мощности в сети? Каково влияние применения этих средств на регулирование напряжения в сети?</li> </ol>

### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*Описание характеристики выполнения знания: оценка 5 («отлично»), если на все вопросы даны правильные ответы, без недочетов*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания: оценка 4 («хорошо»), если на все вопросы даны ответы, при этом суммарно допущено не более двух ошибок*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: оценка 3 («удовлетворительно»), если не менее чем на половину вопросов даны правильные ответы либо при ответе часто допускались ошибки*

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

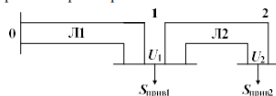
7 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

1. Основные элементы электроэнергетических систем.
2. Определение потерь мощности и электроэнергии в электрических линиях и трансформаторах (автотрансформаторах).
3. Решить задачу:

Параметры двухцепной электропередачи 110 кВ (см. рис.): линия Л1 – провод АС 240/32 ( $R_0 = 0,118$  Ом/км,  $d_{np} = 21,6$  мм,  $D_{cr} = 5$  м) длина 20 км; линия Л2 – провод АС 150/24 ( $R_0 = 0,204$  Ом/км,  $d_{np} = 17,1$  мм,  $D_{cr} = 4,5$  м) длина 15 км. Мощность, выдаваемая в сеть с шин источника питания,  $P_0 = 80$  МВт,  $Q_0 = 25$  Мвар; значение нагрузки  $P_{прп1} = 40$  МВт,  $Q_{прп1} = 15$  Мвар; напряжение  $U_2 = 111$  кВ. Произвести расчет режима.



\*расчёты производить с точностью до 0,001 кВ и 0,001 МВА, аналогично для параметров линии.

## Процедура проведения

Промежуточный контроль проводится в виде экзамена, по билетам, ответы даются в письменном виде и защищаются при собеседовании с преподавателем. В билете два теоретических вопроса и одна задача. Время подготовки ответа - 60 минут.

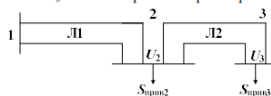
## I. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-1ПК-2 Демонстрирует знание способов производства, передачи, распределения электроэнергии и электроснабжения потребителей

### Вопросы, задания

- 1.1. Полные и упрощенные схемы замещения электрических линий и их параметры.
2. Составляющие балансов активной и реактивной мощности в электрических сетях.
3. Решить задачу:

Параметры двухцепной электропередачи 110 кВ (см. рис.): линия Л1 – провод АС 240/56 ( $R_0 = 0,120$  Ом/км,  $d_{np} = 22,4$  мм,  $D_{cr} = 6$  м) длина 30 км; линия Л2 – провод АС 185/43 ( $R_0 = 0,156$  Ом/км,  $d_{np} = 19,6$  мм,  $D_{cr} = 5$  м) длина 17 км. Мощность, выдаваемая в сеть с шин источника питания,  $P_1 = 75$  МВт,  $Q_1 = 18$  Мвар; значение нагрузки  $P_{прп2} = 38$  МВт,  $Q_{прп2} = 9$  Мвар; напряжение  $U_3 = 112$  кВ. Произвести расчет режима.



\*расчёты производить с точностью до 0,001 кВ и 0,001 МВА, аналогично для параметров линии.

## Материалы для проверки остаточных знаний

1. В сетях какого класса напряжения наблюдается наибольшая поперечная составляющая падения напряжения:

Ответы:

- 1) 150 кВ;
- 2) 35 кВ;
- 3) 220 кВ;
- 4) 110 кВ.

Верный ответ: 3

2. Падение напряжения – это:

Ответы:

- 1) модуль от геометрической разности между векторами напряжений;
- 2) алгебраическая разность модулей напряжений;
- 3) разность между проекциями векторов напряжений на ось исходного напряжения;
- 4) геометрическая разность между векторами напряжений.

Верный ответ: 4

3. Электрическая часть энергосистемы это:

Ответы:

- 1) совокупность электрических станций, электрических и тепловых сетей, соединенных между собой и связанных общностью режимов в непрерывном процессе производства, преобразования, передачи и распределения электрической и тепловой энергии при общем управлении этим режимом;
- 2) совокупность электрических станций, объединенных межсистемными связями;
- 3) совокупность электроустановок электрических станций и электрических сетей энергосистемы;
- 4) электрические станции, электрические и тепловые сети и потребители электроэнергии, связанные между собой.

Верный ответ: 3

4. Послеаварийный режим потребителя электрической энергии это:

Ответы:

- 1) режим, в котором находится потребитель электрической энергии в результате нарушения в системе его электроснабжения до установления нормального режима после локализации отказа;
- 2) режим, при котором не в полном объеме обеспечиваются заданные значения параметров его работы;
- 3) когда происходит его временное отключение;
- 4) режим, при котором происходит ограничение в электроснабжении.

Верный ответ: 1

5. Распределительные сети:

Ответы:

- 1) предназначены для передачи электроэнергии от подстанций системообразующей сети и частично от шин 110-220 кВ электрических станций к центрам питания распределительных сетей — районным подстанциям;
- 2) это сети напряжением 330 кВ и выше, выполняющие функции формирования энергосистем, объединяя мощные ЭС и обеспечивая их функционирование как единого объекта управления;
- 3) объединяют электрические станции и крупные узлы нагрузки;
- 4) осуществляют передачу мощности от шин низшего напряжения районных ПС конечным потребителям.

Верный ответ: 4

6. Какое номинальное напряжение электрической сети не характерно для сетей России:

Ответы:

- 1) 6 кВ;
- 2) 10 кВ;
- 3) 25 кВ;
- 4) 35 кВ.

Верный ответ: 3

7. Под условно-постоянными потерями электрической энергии подразумевают

Ответы:

- 1) потери в продольных элементах схемы замещения, связанные с нагревом;
- 2) потери в поперечных элементах схемы замещения, потери холостого хода, потери на «корону»;

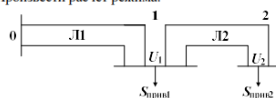
- 3) потери в продольных и поперечных элементах схемы замещения;
  - 4) технологический расход электроэнергии на ее транспорт по электрическим сетям.
- Верный ответ: 2

**2. Компетенция/Индикатор:** ИД-2ПК-2 Демонстрирует знание основ управления процессами производства, транспорта и использования электроэнергии

### Вопросы, задания

- 1.1. Расчет магистральных и разветвленных сетей.
2. Регулирующие устройства в электрических сетях.
3. Решить задачу:

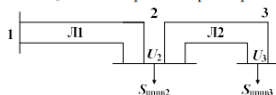
Параметры двухцепной электропередачи 110 кВ (см. рис.): линия Л1 – провод АС 185/29 ( $R_0 = 0,159$  Ом/км,  $d_{пр} = 18,8$  мм,  $D_{ст} = 5,5$  м) длина 25 км; линия Л2 – провод АС 120/19 ( $R_0 = 0,244$  Ом/км,  $d_{пр} = 15,2$  мм,  $D_{ст} = 4$  м) длина 10 км. Мощность, выдаваемая в сеть с шин источника питания,  $P_0 = 85$  МВт,  $Q_0 = 25$  Мвар; значение нагрузки  $P_{прив1} = 30$  МВт,  $Q_{прив1} = 6$  Мвар; напряжение  $U_2 = 114$  кВ. Произвести расчет режима.



\*расчёты производить с точностью до 0,001 кВ и 0,001 МВА, аналогично для параметров линии.

- 2.1. Компенсация реактивной мощности.
2. Задание нагрузок при расчетах режимов электрических сетей.
3. Решить задачу:

Параметры двухцепной электропередачи 110 кВ (см. рис.): линия Л1 – провод 185/43 ( $R_0 = 0,156$  Ом/км,  $d_{пр} = 19,6$  мм,  $D_{ст} = 5,5$  м) длина 25 км; линия Л2 – провод АС 120/19 ( $R_0 = 0,244$  Ом/км,  $d_{пр} = 15,2$  мм,  $D_{ст} = 5$  м) длина 27 км. Мощность, выдаваемая в сеть с шин источника питания,  $P_1 = 60$  МВт,  $Q_1 = 11$  Мвар; значение нагрузки  $P_{прив2} = 32$  МВт,  $Q_{прив2} = 7$  Мвар; напряжение  $U_3 = 115$  кВ. Произвести расчет режима.



\*расчёты производить с точностью до 0,001 кВ и 0,001 МВА, аналогично для параметров линии.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Какой метод расчета необходимо применить для расчета сетей 110-220 кВ при известном напряжении источника питания, выдаваемой мощности с источника питания и известных мощностях нагрузок:

Ответы:

- 1) «по данным конца»;
- 2) «по данным начала»;
- 3) метод в «2 этапа»;
- 4) метод систематизированного подбора;

Верный ответ: 2

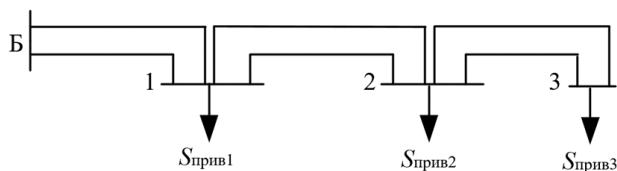
2. К прямым методам расчета сетей 110-220 кВ относят:

Ответы:

- 1) метод «по данным конца»;
- 2) метод «по данным начала»;
- 3) метод в «2 этапа»;
- 4) метод систематизированного подбора
- 5) метод Ньютона.

Верный ответ: 1, 2

3. Для проведения расчета сети при известных параметрах схемы замещения, изображенной на рисунке, методом «по данным начала» необходимо минимально знать:



Ответы:

- 1) мощность источника питания «Б»;
- 2) приведенную мощность узла 1;
- 3) приведенную мощность узла 2;
- 4) приведенную мощность узла 3;
- 5) напряжение узла «Б»;
- 6) напряжение узла 3;
- 7) напряжение узла 2;
- 8) напряжение узла 1.

Верный ответ: 1, 2, 3, 5

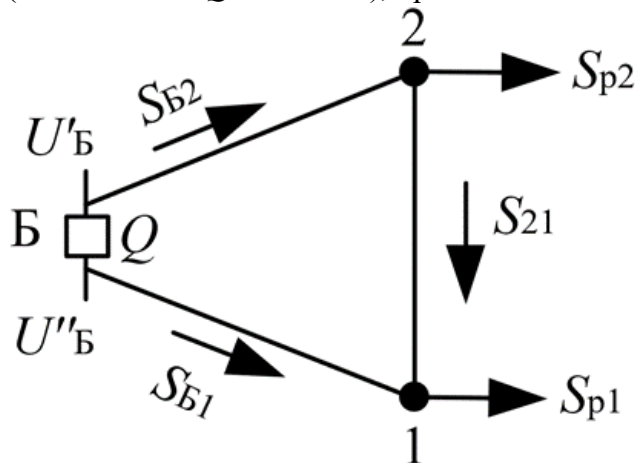
4. Допущениями при определении предварительного потокораспределения в замкнутой сети являются:

Ответы:

- 1) пренебрежение потерями мощности в сопротивлениях линий;
- 2) расчет проводится по длинам линий;
- 3) расчет проводится с помощью комплексных сопротивлений линий;
- 4) напряжение во всех узлах принимается номинальным;
- 5) расчет проводится с помощью комплексно-сопряженных сопротивлений линий;

Верный ответ: 1, 4

5. Согласно схеме кольцевой сети, опирающейся на два независимых источника питания (выключатель  $Q$  отключен), при  $U'Б > U''Б$  мощность на участке Б-2:



Ответы:

- 1) увеличится;
- 2) уменьшится;
- 3) не изменится;
- 4) зависит от мощностей нагрузок;

Верный ответ: 1

6. При расчете сетей 110 кВ не определяется поперечная составляющая вектора падения напряжения из-за того, что:

Ответы:

- 1) напряжения в узлах сети принимаются равными номинальному значению;
- 2) углы между векторами напряжений в начале и в конце линии малы;

- 3) длины линий электропередачи и передаваемая по ним мощности малы;
- 4) погонные активное и реактивное сопротивление линий близки по значению друг к другу.

Верный ответ: 4

7. При практических расчетах для линий 110 кВ характерно следующее соотношение:

Ответы:

- 1) падение напряжения больше потерь напряжения;
- 2) падение напряжения меньше потерь напряжения;
- 3) падение напряжения численно равно потерям напряжения;
- 4) потери напряжения численно равны продольной составляющей падения напряжения.

Верный ответ: 4

8. Выберите верные утверждения, касающиеся потерь напряжения на участке линии:

Ответы:

- 1) потери напряжения больше продольной составляющей вектора падения напряжения**
- 2) потери напряжения меньше продольной составляющей вектора падения напряжения
- 3) потери напряжения могут быть, как больше, так и меньше продольной составляющей вектора падения напряжения
- 4) потери напряжения больше поперечной составляющей вектора падения напряжения
- 5) потери напряжения меньше поперечной составляющей вектора падения напряжения
- 6) потери напряжения могут быть, как больше, так и меньше поперечной составляющей вектора падения напряжения**
- 7) модуль вектора падения напряжения больше потерь напряжения на том же участке**
- 8) модуль вектора падения напряжения меньше потерь напряжения на том же участке
- 9) модуль вектора падения напряжения может быть, как больше, так и меньше потерь напряжения на том же участке

Верный ответ: 1, 6, 7

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*Описание характеристики выполнения знания: оценка 5 («отлично»), если правильно выполнено практическое задание и при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы обучающийся показал, что владеет материалом изученной дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных процессов и явлений или решения задач;*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания: оценка 4 («хорошо»), если правильно выполнено практическое задание или в нем допущено не более одной ошибки, которая была самостоятельно исправлена обучающимся, и при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы обучающийся допускает негрубые ошибки*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: оценка 3 («удовлетворительно»), если в выполненном практическом задании допущены грубые ошибки, которые затем исправлены обучающимся при участии экзаменатора или практическое задание не выполнено в полном объеме, но обучающийся смог довести решение до конца при участии экзаменатора, и в ответах на вопросы экзаменационного билета допущены ошибки*

### ***III. Правила выставления итоговой оценки по курсу***

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и экзаменационной составляющих.