

**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: Очно-заочная

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

**Москва
2023**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Бурмейстер М.В.
	Идентификатор	R3f3a41a8-BurmeisterMV-3b7fa53

М.В.
Бурмейстер

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

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

А.В.
Валянский

Заведующий
выпускающей кафедрой

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

Ю.В. Шаров

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 _{ПК-2} 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 _{ПК-2} Демонстрирует знание основ управления процессами производства, транспорта и использования электроэнергии	Знать: методы расчета режимов работы электроэнергетических систем и сетей различной конфигурации Уметь: рассчитывать установившиеся режимы электроэнергетических систем и сетей различной конфигурации	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)

		анализировать установившиеся режимы электроэнергетических систем и сетей	
--	--	---	--

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	1.Привести схему замещения линии. 2.Привести схему замещения трансформатора. 3.Привести схему замещения автотрансформатора. 4.Как производится расчет параметров схемы замещения линий электропередачи? 5.Как производится расчет параметров схемы замещения трансформаторного оборудования?
--	--

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

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: оценка 2 («неудовлетворительно»), если в расчете присутствуют ошибки, влияющие на последующие расчеты в данном пункте

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:

Уметь: рассчитывать установившиеся режимы электроэнергетических систем и сетей различной конфигурации	1. Особенности расчета режимов в режиме наибольших нагрузок. 2. Особенности расчета режимов в режиме наименьших нагрузок. 3. Как производится расчет потокораспределения трансформатора? 4. Как производится расчет потокораспределения автотрансформатора? 5. Как определяется продольная составляющая вектора падения напряжения на сопротивлении линии? 6. Как определяется поперечная составляющая вектора падения напряжения на сопротивлении линии? 7. Особенности расчета режимов в послеаварийном режиме.
---	---

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

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: оценка 2 («неудовлетворительно»), если в расчете присутствуют ошибки, влияющие на последующие расчеты в данном пункте

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:

Уметь: анализировать установленные режимы электроэнергетических систем и сетей	1. Как оценивается достаточность регулировочных диапазонов устройств РПН трансформаторов на подстанции в режиме наибольших нагрузок? 2. Как оценивается достаточность регулировочных диапазонов устройств РПН трансформаторов на подстанции в режиме наименьших нагрузок? 3. Как оценивается достаточность регулировочных диапазонов устройств РПН трансформаторов на подстанции в послеаварийном режиме? 4. Как рассчитываются потери активной мощности в режиме наибольших нагрузок? 5. Как рассчитываются потери активной мощности в режиме наименьших нагрузок? 6. Как рассчитываются потери активной мощности в послеаварийном режиме? 7. Как определяются годовые потери электроэнергии в сети?
--	---

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

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: оценка 2 («неудовлетворительно»), если в расчете присутствуют ошибки, влияющие на последующие расчеты в данном пункте

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:

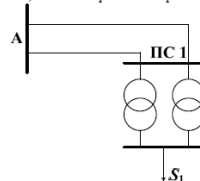
Произвести расчет режима.

Контрольные вопросы/задания:

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

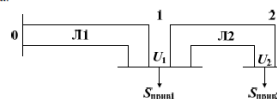
Параметры двухцепной электропередачи 220 кВ (см. рис.): провод АС 400/51 ($R_0 = 0,073$ Ом/км, $d_{\text{пр}} = 27,5$ мм) длина линии 73 км, трансформатор ТРДНС-63000/220 (каталожные данные $\Delta P_k = 300$ кВт, $u_k = 11,5\%$, $\Delta P_k = 82$ кВт, $I_k = 0,8\%$, $U_{\text{ан}} = 230$ кВ, $U_{\text{ан}} = 11,0$ кВ).

Мощность, выдаваемая в сеть с шин источника питания: 60 МВт при коэффициенте мощности ($\cos\varphi$) 0,88. Напряжение до идеального трансформатора (за сопротивлением обмоток трансформатора в схеме замещения) 222 кВ. Произвести расчет режима.



1.

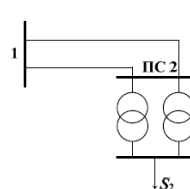
Параметры двухцепной электропередачи 220 кВ (см. рис.): линия Л1 – провод АС 240/32 ($R_0 = 0,118$ Ом/км, $d_{\text{пр}} = 21,6$ мм) длина 30 км; линия Л2 – провод АС 185/29 ($R_0 = 0,159$ Ом/км, $d_{\text{пр}} = 18,8$ мм) длина 22 км. Мощность, выдаваемая в сеть с шин источника питания, $P_0 = 100$ МВт, $Q_0 = 44$ Мвар; значение нагрузки $P_{\text{нагл1}} = 55$ МВт, $Q_{\text{нагл1}} = 23$ Мвар; напряжение $U_2 = 228$ кВ. Произвести расчет режима.



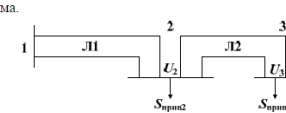
2.

Параметры двухцепной электропередачи 220 кВ (см. рис.): провод АС 300/39 ($R_0 = 0,096$ Ом/км, $d_{\text{пр}} = 24$ 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, $I_k = 0,9\%$, $U_{\text{ан}} = 230$ кВ, $U_{\text{ан}} = 11$ 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 ($R_0 = 0,096 \text{ Ом/км}$, $d_{\text{пр}} = 24 \text{ мм}$) длина 88 км; линия Л2 – провод АС 150/24 ($R_0 = 0,204 \text{ Ом/км}$, $d_{\text{пр}} = 17,1 \text{ мм}$) длина 16 км. Мощность, выдаваемая в сеть с шин источника питания, $P_1 = 99 \text{ МВт}$, $Q_1 = 35 \text{ Мвар}$; значение нагрузки $P_{\text{прим}2} = 66 \text{ МВт}$, $Q_{\text{прим}2} = 21 \text{ Мвар}$; напряжение $U_3 = 214 \text{ кВ}$. 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.

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: оценка 2 («неудовлетворительно»), если правильно решено менее 50 % задачи.

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	1. Что входит в состав поперечных пассивных элементов схем замещения? 2. Что входит в состав продольных пассивных элементов схем замещения? 3. Для чего необходимо рассчитывать режим наибольшей и наименьшей нагрузки? 4. Что такое нормальный режим потребителя
--	--

	электрической энергии? 5.Как задаются нагрузки при расчете сложных сетей? 6.В каких элементах электрической сети преобладают нагрузочные потери?
--	---

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

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: оценка 2 («неудовлетворительно»), если правильно даны ответы менее чем на половину вопросов

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

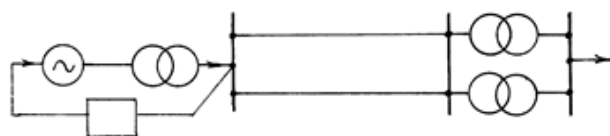


Figure 1 Рис.2.1

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
$P_{нагр}$, нб, МВт	190	240	280	330	220	300
$\cos \varphi_{нагр}$	0,92	0,91	0,93	0,94	0,92	0,93
$a_n = P_{нм} / P_{нб}$	0,5	0,4	0,45	0,5	0,4	0,45
$U_{эс}$, 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, ($S_{ном}=160\text{МВ.А}$, $U_k=12\%$, $K_t=230/11/11$). Активными потерями в трансформаторах можно пренебречь.

2.4 В табл. 2.2 приведены величины наибольших нагрузок, выдаваемых потребителю, коэффициент неравномерности нагрузки a_n , $\cos \varphi_{нагр} = \text{const}$, 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 $m_U = 4$ 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 $U_{\text{эс}}$ и значения сопротивлений нагрузки, соответствующих ее заданным активной и реактивной мощностям и напряжению на ней, равному $U_{\text{ном}}$. (режим нагрузки устанавливать 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 $U_{\text{нагр.}}$, 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 $\kappa.п.д.$ 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 $U_{\text{ном}}$ на ее шинах и заданным значениям активной $P_{\text{нагр.}}$ и реактивной $Q_{\text{нагр.}}$ 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 выполнить как в именованных, так и в относительных единицах (или в процентах). К.п.д. электропередачи определяется по формуле: $\eta = P_{нагр.} / P_{эс.}$

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:

Знать: методы расчета режимов работы электроэнергетических систем и сетей различной конфигурации	1. Как устроена статическая модель переменного тока, из каких элементов она состоит? 2. Каково устройство отдельных элементов этой модели? 3. Каким образом выбираются масштабные коэффициенты при работе на статической модели переменного тока? 4. Каким образом устанавливается нормальный режим исследуемой системы? 5. Какие схемы замещения линий и трансформаторов применяются при исследовании установившихся режимов сети?
Уметь: рассчитывать установившиеся режимы электроэнергетических систем и сетей различной конфигурации	1. Как меняются параметры схемы замещения линии при отключении одной цепи двухцепной линии? 2. К каким изменениям в параметрах режима сети, в потерях мощности и напряжения в элементах сети приводит уменьшение мощности нагрузки на подстанции? 3. Как изменяются параметры режима сети и потери мощности и напряжения в элементах сети в послеаварийном режиме при отключении одной цепи двухцепной линии? 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.
--	--

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

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: оценка 2 («неудовлетворительно»), если правильно даны ответы менее чем на половину вопросов

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 (ΔP_i и ΔQ_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 ΔP_{Σ} 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 (ΔP_k), потери холостого хода (ΔP_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.

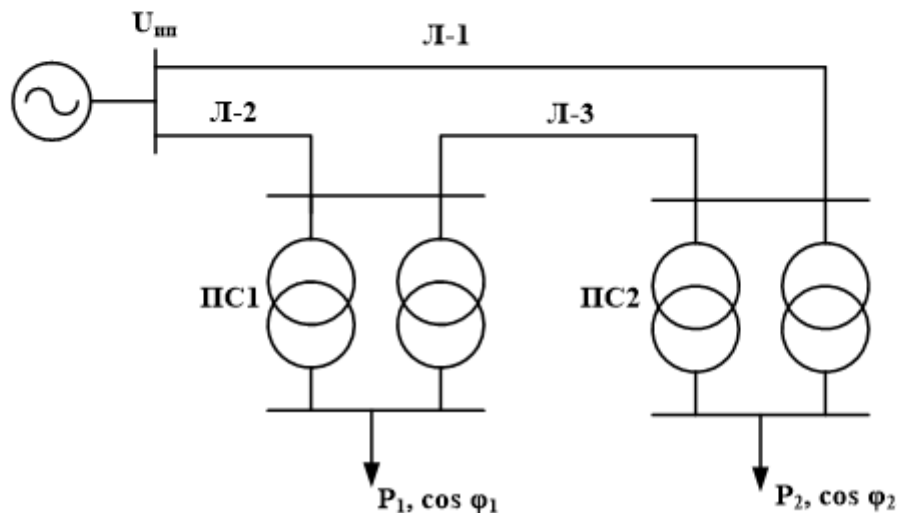


Таблица 2.1. Параметры линий электропередач.

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 , %	ΔP_k , кВт	ΔP_x , кВт	ΔQ_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_I и определить параметры элементов модели, $U_{\text{ип}}^{(\text{мод.})}$ 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 $S_{\text{прив}}$ отличается от мощности нагрузок на величину потерь мощности в обмотках трансформаторов и потерь холостого хода трансформаторов

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

где потери мощности в $n_{\text{т}}$ параллельно работающих двухобмоточных трансформаторах:

$$\Delta P_{\text{т},i} = \frac{S_{\text{н},i}^2}{U_{\text{ВН ном}}^2} R_{\text{тр}} + n_{\text{т}} \cdot \Delta P_{\text{х}}, \quad \Delta Q_{\text{т},i} = \frac{S_{\text{н},i}^2}{U_{\text{ВН ном}}^2} X_{\text{тр}} + n_{\text{т}} \cdot \Delta Q_{\text{х}}$$

Значение сопротивления трансформаторов можно найти в соответствии со следующими выражениями:

$$R_{\text{тр}} = \frac{1}{n_{\text{т}}} \cdot \frac{\Delta P_{\text{х}} \cdot U_{\text{ВН ном}}^2}{S_{\text{т ном}}^2}, \quad X_{\text{тр}} = \frac{1}{n_{\text{т}}} \cdot \frac{U_{\text{к}}}{100} \cdot \frac{U_{\text{ВН ном}}^2}{S_{\text{т ном}}}$$

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

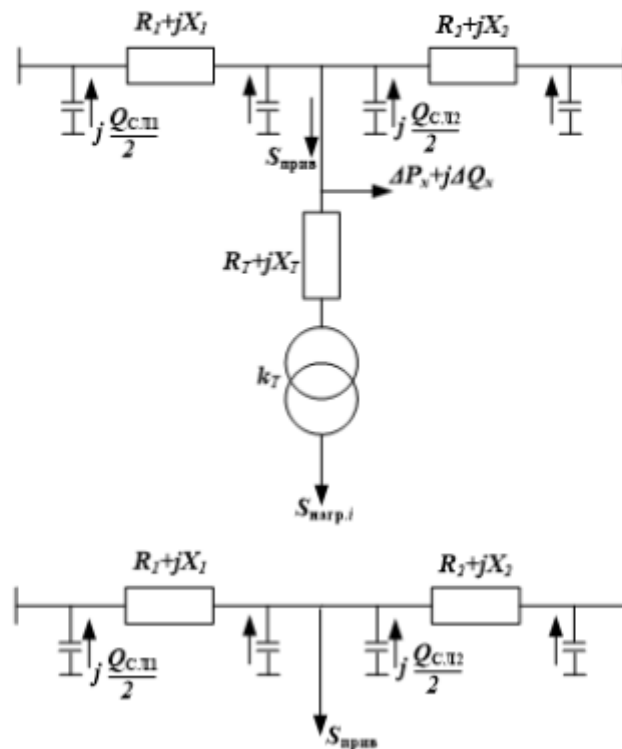
$$S_{\text{расч},i} = S_{\text{прив},i} - j \cdot \frac{\Delta Q_{\text{с.л1}}}{2} - j \cdot \frac{\Delta Q_{\text{с.л2}}}{2}$$

или в общем виде:

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

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

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: оценка 2 («неудовлетворительно»), если правильно даны ответы менее чем на половину вопросов

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.

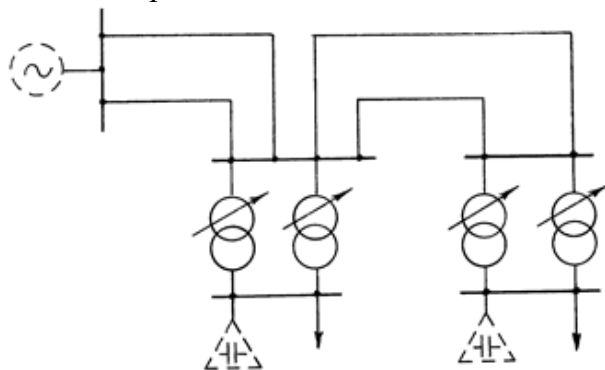


Figure 2 Рис. 3.1

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
Ом/км ; $b_0 = 2,81 \times 10^{-6}$ См/км.

$$r_0 = 0,12 \text{ Ом/км};$$

$$x_0 = 0,405$$

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

$$r_0 = 0,229 \text{ Ом/км};$$

$$x_0 =$$

2.2 В таблице 3.2 приведены значения наибольших нагрузок подстанций.

Таблица 3.2

Нагрузки подстанций

Вариант		1	2	3	4	5	6
P1 нБ, МВт		70	68	66	64	62	60
P2 нБ, МВт		45	44	43	42	41	40

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

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:

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

3. Задание на подготовительную работу.

3.1 Составить схему замещения сети, используя П-образные схемы замещения для линий. Активными сопротивлениями и $D\phi S_k$ 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 $\cos j_{\text{нагр.}} = 0,8$ 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 $U_{\text{эс}} = 1,05U_{\text{ном.}} = 115 \text{ кВ}$. 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 $1,05U_{\text{ном.}}$ 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 $1,05U_{\text{ном.}}$. 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 $P_{i \text{ нм}}$ и $Q_{i \text{ нм}}$, $U_{\text{эс}} = U_{\text{ном.}} = 110 \text{ кВ}$, а желаемое напряжение, по условию встречного регулирования, равным $U_{\text{ном.}} = 10 \text{ кВ}$.

4.13 Повторить операции по п.п.4.5 – 4.12, приняв значение $\cos j_{\text{нагр.}} = 0,94 = \text{пост.}$ 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 $\cos \varphi_{\text{нагр.}}$) 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:

Знать: принципы процесса производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии	1. Каковы допустимые отклонения напряжения для основных типов электроприемников и в чем заключаются основные причины необходимости ограничений отклонений напряжения? 2. В чем содержание и смысл закона встречного регулирования напряжения на шинах 6 – 10 кВ понижающих подстанций? Каковы при этом желаемые отклонения напряжения? 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? 4. Какие средства регулирования напряжения используются в данной работе?
Уметь: анализировать установившиеся режимы электроэнергетических систем и сетей	1. Каким образом влияет включение конденсаторной батареи на параметры режима сети, в частности на уровень напряжения на шинах НН подстанций? 2. Как влияет изменение коэффициента трансформации понижающего трансформатора на уровень напряжения на шинах НН? 3. Каковы условия баланса реактивной мощности в электрической сети, и при каких уровнях рабочего напряжения этот баланс должен анализироваться? 4. Каковы средства поддержания баланса реактивной мощности в сети? Каково влияние применения этих средств на регулирование напряжения в сети?

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

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: оценка 2 («неудовлетворительно»), если правильно даны ответы менее чем на половину вопросов

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

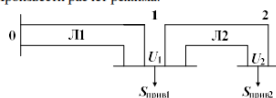
7 семестр

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, $d_{\text{пр}} = 21,6$ мм, $D_{\text{ст}} = 5$ м) длина 20 км; линия Л2 – провод АС 150/24 ($R_0 = 0,204$ Ом/км, $d_{\text{пр}} = 17,1$ мм, $D_{\text{ст}} = 4,5$ м) длина 15 км. Мощность, выдаваемая в сеть с шин источника питания, $P_0 = 80$ МВт, $Q_0 = 25$ Мвар; значение нагрузки $P_{\text{прм1}} = 40$ МВт, $Q_{\text{прм1}} = 15$ 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.

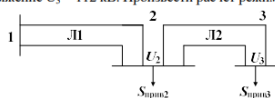
1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины

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, $d_{\text{пр}} = 22,4$ мм, $D_{\text{ст}} = 6$ м) длина 30 км; линия Л2 – провод АС 185/43 ($R_0 = 0,156$ Ом/км, $d_{\text{пр}} = 19,6$ мм, $D_{\text{ст}} = 5$ м) длина 17 км. Мощность, выдаваемая в сеть с шин источника питания, $P_1 = 75$ МВт, $Q_1 = 18$ Мвар; значение нагрузки $P_{\text{прм2}} = 38$ МВт, $Q_{\text{прм2}} = 9$ 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»;

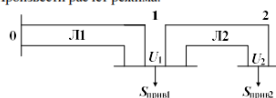
- 3) потери в продольных и поперечных элементах схемы замещения;
 - 4) технологический расход электроэнергии на ее транспорт по электрическим сетям.
- Верный ответ: 2

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:

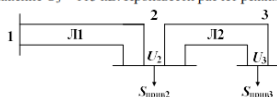
Параметры двухцепной электропередачи 110 кВ (см. рис.): линия Л1 – провод АС 185/29 ($R_0 = 0,159$ Ом/км, $d_{np} = 18,8$ мм, $D_{cr} = 5,5$ м) длина 25 км; линия Л2 – провод АС 120/19 ($R_0 = 0,244$ Ом/км, $d_{np} = 15,2$ мм, $D_{cr} = 4$ м) длина 10 км. Мощность, выдаваемая в сеть с шин источника питания, $P_0 = 85$ МВт, $Q_0 = 25$ Мвар; значение нагрузки $P_{пр1} = 30$ МВт, $Q_{пр1} = 6$ 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, $d_{np} = 19,6$ мм, $D_{cr} = 5,5$ м) длина 25 км; линия Л2 – провод АС 120/19 ($R_0 = 0,244$ Ом/км, $d_{np} = 15,2$ мм, $D_{cr} = 5$ м) длина 27 км. Мощность, выдаваемая в сеть с шин источника питания, $P_1 = 60$ МВт, $Q_1 = 11$ Мвар; значение нагрузки $P_{пр2} = 32$ МВт, $Q_{пр2} = 7$ 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

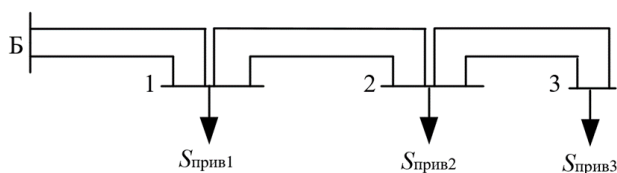
2.К прямым методам расчета сетей 110-220 кВ относят:

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

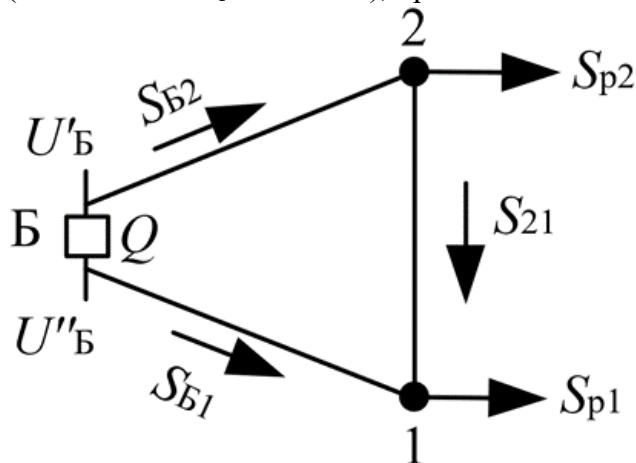
4. Допущениями при определении предварительного потокораспределения в замкнутой сети являются:

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

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: оценка 2 («неудовлетворительно»), если практическое задание не выполнено или не даны ответы на вопросы экзаменационного билета и не выполнены критерии для оценки 3 («удовлетворительно»)

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.