

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Направление подготовки: 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Наименование образовательной программы: Эксплуатация и управление режимами электроэнергетических систем

Уровень образования: магистратура

Форма обучения: очная

Рабочая программа дисциплины
ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ (2)

Блок:	Блок 1.Дисциплины (модули)
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
Индекс дисциплины по учебному плану:	Б1.В.05
Трудоемкость в зачетных единицах:	3 семестр - 3
Часов (всего) по учебному плану:	108
Лекции	3 семестр - 16 часов
Практические занятия	3 семестр - 16 часов
Лабораторные работы	Учебным планом не предусмотрены
Аудиторные консультации по курсовым проектам (работам)	Учебным планом не предусмотрены
Самостоятельная работа	3 семестр - 58 часов
включая: РГР	учебным планом не предусмотрена
Промежуточная аттестация:	
зачет с оценкой	3 семестр - 0,3 часа
Контроль: зачет с оценкой	3 семестр - 17,7 часа

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Доцент кафедры Энергетики, к.т.н.
(должность, ученая степень, ученое звание)


(подпись)

А.В. Стрижиченко
(расшифровка подписи)

Заведующий кафедрой Энергетики
(название кафедры)


(подпись)

Е.Г. Зенина
(расшифровка подписи)

Руководитель образовательной программы: Эксплуатация и управление режимами
электроэнергетических систем

Заведующий кафедрой Энергетики,
к.т.н., доцент
(должность, ученая степень, ученое звание)


(подпись)

Е.Г. Зенина
(расшифровка подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий кафедрой Энергетики
(название кафедры)


(подпись)

Е.Г. Зенина
(расшифровка подписи)

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является изучение принципов измерения параметров электроэнергии и причин искажения качества электроэнергии.

Задачами дисциплины является:

- приобретение навыков выбора средств измерений и расчета их погрешностей;
- приобретение навыков определения значений показателей качества электроэнергии.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-1. Способен участвовать в сборе и анализе исходных данных для проектирования энергообъектов, проведении расчетов и экспериментов в соответствии с типовыми методиками и средствами автоматизации, обработкой полученных результатов, соблюдении производственной и экологической безопасности, управлении, эксплуатации, обслуживании, доводке процессов и ремонте технологического оборудования	ПК-1.1. Осуществляет сбор и анализ исходных данных для исследования энергообъектов	знать: – причины искажения качества электроэнергии уметь: – обрабатывать и анализировать результаты измерений
	ПК-1.2. Проводит расчеты и эксперименты в соответствии с типовыми методиками и средствами автоматизации и обрабатывает полученные результаты, формирует предложения по их практическому использованию	знать: – методы и средства обеспечения качества электроэнергии; уметь: – определять значения показателей качества электроэнергии; – производить выбор технических средств для улучшения качества электроэнергии.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина базируется на знании дисциплин программы бакалавриата.

Результаты образования, полученные при освоении дисциплины, могут быть применены для выполнения выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

№ п/п	Раздел дисциплины. Форма промежуточной аттестации (по семестрам)	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы								Содержание самостоятельной работы
				Контактная						СР	Конт- роль	
				Лек	Пр	Лаб	КПР	ИККП	ПА			
1	Измерение параметров электроэнергии	31	3	4	4	-	-	-	-	23	-	[3], с 10-102, [6], с 30-95, [7] с. 27-72.
2	Управление качеством электроэнергии	59	3	12	12	-	-	-	-	35	-	[1], с 50-87, 105-129, [2], с 3-102
	Зачет с оценкой	18	3	-	-	-	-	-	0,3	-	17,7	Оценка по зачету формируется на основании учебного рейтинга студента по модулю
	Итого:	108		16	16	-	-	-	0,3	58	17,7	

3.2 Краткое содержание разделов

1. Измерение параметров электроэнергии

Основы учета электроэнергии. Погрешность измерительного комплекса системы учета электроэнергии. Погрешности трансформаторов тока. Погрешности трансформаторов напряжения. Погрешности счетчиков. Допустимые небалансы электроэнергии.

2. Управление качеством электроэнергии

Качество электроэнергии. Показатели качества электроэнергии и их характеристики. Влияние качества электроэнергии на работу электроприёмников. Средства измерений показателей качества электроэнергии. Контроль качества электроэнергии и его задачи. Анализ системы электроснабжения по качеству электроэнергии. Мероприятия по обеспечению качества электроэнергии. Технические средства обеспечения качества электроэнергии. Основные принципы построения систем контроля, анализа и управления качеством электроэнергии.

3.3 Темы практических занятий

1. Расчет погрешностей измерительных трансформаторов тока и напряжения (2 часа)
2. Расчет погрешностей учета (2 часа)
3. Расчет медленных изменений напряжения и выбор регулировочных ответвлений РПН трансформаторов (2 часа)
4. Определение коэффициентов несимметрии напряжений в трехфазной сети 0,4 кВ (2 часа)
5. Расчет высших гармонических составляющих напряжений и токов в системе электроснабжения (4 часа)
6. Оценка влияния показателей качества электроэнергии на потери в сетях и оборудовании (2 часа)
7. Оценка влияния параметров электроэнергии на сроки службы оборудования (2 часа)

3.4 Лабораторные работы учебным планом не предусмотрены.

3.5 РГР учебным планом не предусмотрена.

3.6 Курсовой проект (курсовая работа) учебным планом не предусмотрены.

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Номер и наименование результатов образования по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды компетенции и индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)		Формы контроля
		1	2	
Знать:				
– причины искажения качества электроэнергии;	ПК-1.1	X		Тест 1, Тест 2, зачет с оценкой
– методы и средства обеспечения качества электроэнергии;	ПК-1.2		X	Тест 3, Тест 4, зачет с оценкой
Уметь:				
– определять значения показателей качества электроэнергии;	ПК-1.2	X	X	Контрольная работа 1, Контрольная работа 2, зачет с оценкой
– производить выбор технических средств для улучшения качества электроэнергии.	ПК-1.2		X	Контрольная работа 3, Контрольная работа 4, зачет с оценкой
<i>Всего часов на раздел дисциплины (в соответствии с п. 3.1)</i>		31	59	

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

4.1. Текущий контроль успеваемости по дисциплине:

– тесты:

Тест № 1 Классификация, методические основы и особенности метрологического обеспечения измерений электрической энергии;

Тест № 2 Технические средства интеллектуальных измерений электрической энергии;

Тест № 3 Качество электроэнергии. Показатели качества электроэнергии;

Тест № 4 Влияние параметров электроэнергии на потери в сетях и оборудовании.

– контрольные работы:

КР № 1 Расчет коэффициентов несимметрии напряжений в трехфазной системе;

КР № 2 Расчет коэффициентов искажения синусоидальной формы кривой напряжения;

КР № 3 Выбор регулировочных отпаек РПН трансформаторов для обеспечения качества электроэнергии;

КР № 4 Расчет дополнительных потерь мощности в электрических машинах из-за несимметрии и несинусоидальности напряжений.

Балльно-рейтинговая структура дисциплины приведена в приложении А.

4.2. Промежуточная аттестация по дисциплине (части дисциплины):

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины (модуля) – зачет с оценкой;

В приложение к диплому выносятся оценка за освоение дисциплины.

Оценка за освоение дисциплины, определяется на основании учебного рейтинга студента по модулю:

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Печатные и электронные издания:

1. Карташев, И. И., Тульский, В. Н., Шамонов, Р. Г., Шаров, Ю. В., Насыров, Р. Р. Управление качеством электроэнергии. - 3-е изд., перераб. и доп. : учеб.пособие для студентов вузов по направлению подготовки 140200 Электроэнергетика / И. И. Карташев [и др.] ; под ред. Ю. В. Шарова. - М. :Издат. дом МЭИ, 2017. - 347 с. : ил. - Библиогр.: в конце гл.. - ISBN 978-5-383-01074-7 : 500-00.

2. Стрижиченко, А. В., Зенина, Е. Г. Качество электрической энергии и технические средства его обеспечения : учеб.пособие / А. В. Стрижиченко, Е. Г. Зенина. - Волжский : Филиал ФГБОУ ВО НИУ МЭИ в г. Волжском, 2017. - 108 с. - Библиогр.: с. 107 (14 назв.).

3. Лыкин, А.В. Учет и контроль электроэнергии : [16+] / А.В. Лыкин ; Новосибирский государственный технический университет. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2019. – 171 с. : ил., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=574834> – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-7782-3797-1. – Текст : электронный.

4. Железко, Ю. С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии : руководство / Ю. С. Железко. — Москва : ЭНАС, 2016. — 456 с. — ISBN 978-5-93196-958-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/104575>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.
5. Попов, Н. М. Измерения в электрических сетях 0,4...10 кВ : учебное пособие / Н. М. Попов. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 228 с. — ISBN 978-5-8114-3598-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/118629> — Режим доступа: для авториз. пользователей.
6. Электротехника и электроника. Кн. 3. Электрические измерения и основы электроники : учебник для вузов / под ред. В. Г. Герасимова. - М. : Энергоатомиздат, 1998. - 432 с.
7. Клаассен, К. Основы измерений. Датчики и электронные приборы : учеб. пособие / К. Клаассен. - 3-е изд. - Долгопрудный : Интеллект, 2008. - 352 с.
8. Немцов, М. В. Электротехника и электроника : учебник для вузов / М. В. Немцов. - М. : Изд-во МЭИ, 2003. - 616 с.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

MicrosoftOfficeWord, ExcelиPowerPoint.

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

Университетская информационная система «РОССИЯ» <https://uisrussia.msu.ru>
 Справочно-правовая система «Консультант+» <http://www.consultant-urist.ru>
 Справочно-правовая система «Гарант» <http://www.garant.ru>
 Базаданных Web of Science <https://apps.webofknowledge.com/>
 База данных Scopus<https://www.scopus.com>
 Портал открытых данных Российской Федерации <https://data.gov.ru>
 База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ
<https://rosmintrud.ru/opendata>
 База данных Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU <https://elibrary.ru/>
 База данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной
 защиты РФ <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
 Базы данных Министерства экономического развития РФ <http://www.economy.gov.ru>
 База открытых данных Росфинмониторинга <http://www.fedsfm.ru/opendata>
 Электронная база данных «Издательство Лань» <https://e.lanbook.com>
 Федеральная государственная информационная система «Национальная электронная
 библиотека» <https://нэб.рф>
 Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» <https://openedu.ru>
 Электронная база данных «Polpred.com Обзор СМИ» <https://www.polpred.com>
 Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и
 метрологии <http://protect.gost.ru/>

5.4 Лицензионное программное обеспечение:

- 1.Mathcad 15
2. RastrWin 3
3. Пакет MicrosoftOffice

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Лекции проводятся в учебных аудиториях, снабженных мультимедийными средствами для интерактивного обучения, оборудованных наглядными пособиями, оборудованием для показа обучающих материалов (телевизор, видеоэкран), средствами звуковоспроизведения, доской аудиторной, оборудованием для представления презентаций (плазменная панель, персональный компьютер).

Практические занятия проводятся в компьютерном классе. Необходимое программное обеспечение: MicrosoftOffice, Mathcad 15.

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

(название дисциплины)

3 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 **Тест № 1** Классификация, методические основы и особенности метрологического обеспечения измерений электрической энергии;
- КМ-2 **Тест № 2** Технические средства интеллектуальных измерений электрической энергии;
- КМ-3 **Тест № 3** Качество электроэнергии. Показатели качества электроэнергии;
- КМ-4 **Тест № 4** Влияние параметров электроэнергии на потери в сетях и оборудовании.
- КМ-5 **КР № 1** Расчет коэффициентов несимметрии напряжений в трехфазной системе;
- КМ-6 **КР № 2** Расчет коэффициентов искажения синусоидальной формы кривой напряжения;
- КМ-7 **КР № 3** Выбор регулировочных отпаек РПН трансформаторов для обеспечения качества электроэнергии
- КМ-8 **КР № 4** Расчет дополнительных потерь мощности в электрических машинах из-за несимметрии и несинусоидальности напряжений.

Вид промежуточной аттестации – зачет с оценкой.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6	КМ-7	КМ-8
1	Измерение параметров электроэнергии		+	+	+	+	+			
2	Управление качеством электроэнергии		+	+	+	+		+	+	+
	Минимальный балл за КМ		5	5	5	5	10	10	10	10
	Максимальный балл за КМ		10	10	10	10	15	15	15	15

**Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском**

**Направление подготовки: 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника
Программа магистратуры: Эксплуатация и управление режимами
электроэнергетических систем
Квалификация (степень) выпускника: магистр
Форма обучения: очная**

Оценочные материалы по дисциплине

**Б1.В.05 ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ(2)**

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.

Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Коды индикаторов достижения компетенции	Оценочное средство (тип и наименование)
Знать:		
причины искажения качества электроэнергии;	ПК-1.1	Тест 1, тест 2, зачет с оценкой
методы и средства обеспечения качества электроэнергии;	ПК-1.2	Тест 3, тест 4, зачет с оценкой
Уметь:		
определять значения показателей качества электроэнергии;	ПК-1.2	Контрольная работа 1, Контрольная работа 2, зачет с оценкой
производить выбор технических средств для улучшения качества электроэнергии.	ПК-1.2	Контрольная работа 3, Контрольная работа 4, зачет с оценкой

Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

Тест №1 «Классификация, методические основы и особенности метрологического обеспечения измерений электрической энергии»

1. Простейшими измерительными преобразователями тока и напряжения являются:
 - 1) промежуточный преобразователь;
 - 2) шунты и добавочные сопротивления;
 - 3) выходной преобразователь;
 - 4) правильного ответа нет.
2. К какому виду погрешностей относится величина, равная разности между измеренным x и истинным $x_{\text{изн}}$ значениями измеряемой величины?
 - 1) относительная погрешность;
 - 2) погрешность отсчитывания;
 - 3) методическая погрешность;
 - 4) абсолютная погрешность.
3. Принцип действия каких приборов основан на взаимодействии магнитных потоков, создаваемых электромагнитами и вихревыми токами, индуцируемыми в подвижном алюминиевом диске.
 - 1) электромагнитной системы;
 - 2) магнитоэлектрической системы;
 - 3) индукционной системы;
 - 4) электродинамической системы.
4. Какие средства измерений относятся к устройствам для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для передачи, преобразования, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем?
 - 1) информационные измерительные системы;
 - 2) измерительные приборы;
 - 3) измерительные преобразователи;
 - 4) измерительные установки.
5. Работа каких измерительных приборов основана на принципе взаимодействия катушки с током и магнитного потока постоянного магнита?
 - 1) электромагнитной системы;
 - 2) электростатической системы;
 - 3) магнитоэлектрической системы;
 - 4) термоэлектронной системы.
6. Какой измерительный прибор представляет собой сочетание измерительного преобразователя на микросхемах и магнитоэлектрического измерителя?
 - 1) аналоговый электронный вольтметр;
 - 2) характериограф;
 - 3) аналоговый электронный ваттметр;
 - 4) частотомер.
7. Приведённая погрешность амперметра равна 0,1%. Номинальный ток 100 мА. Сколько делений должна иметь вся шкала прибора?
 - 1) 2000;
 - 2) 200;

- 3) 100;
- 4) 1000.

8. Мощность определяется косвенным методом через прямые измерения напряжения и сопротивления. При этом погрешность вольтметра составляет 2 %, а погрешность омметра 3 %. Какова будет максимальная погрешность измерения мощности (результат округлить до целого числа)?

- 1) 1%;
- 2) 7%;
- 3) 3%;
- 4) 5%.

9. Ставится задача измерить напряжение с наибольшей точностью. Каким методом можно воспользоваться?

- 1) косвенным;
- 2) прямым;
- 3) замещения;
- 4) нулевым.

10. По какой формуле определяется приведённая погрешность измерения?

x – текущее значение измеряемой величины; x_n – номинальное значение;

A – абсолютная погрешность.

- 1) A/x_n ;
- 2) A/x ;
- 3) x/A ;
- 4) $1/A$.

По результатам контрольной работы выставляется:

- 10 баллов, если правильно выполнено 100% задания.
- 7 баллов, если правильно выполнено не менее 85% задания;
- 5 баллов, если правильно выполнено не менее 75% задания.

Тест № 2 «Технические средства интеллектуальных измерений электрической энергии»

1. Какой класс точности для приборов измерения ЭЭ если точки присоединения сетей напряжения от 6 до 35 кВ.?

- А) 1.0S;
- Б) 0.5;
- В) 1.0.

2. На какие группы делятся счетчики в настоящее время на рынке электроэнергии?

- А) интеллектуальные, микропроцессорные, долговечные;
- Б) электронные, статически аналоговые, бытовые;
- В) микропроцессорные, индукционные, статически аналоговые.

3. Назовите недостатки встроенных трансформатора тока

- А) малая вторичная мощность;
- Б) большие значения вторичных токов;
- В) невозможность применения фарфоровой изоляции.

4. В каком году начат серийный выпуск отечественный систем типа ИИСЭ-1-48?

- А) 1975 г.;
- Б) 1976 г.;

- В) 1980 г.
5. Когда был создан первый стандарт измерения МЭК?
А) 1931 г.;
Б) 1947 г.;
В) 1978 г.
6. По какому ГОСТу счетчик ЭЭ измеряет активную мощность?
А) ГОСТ Р 52323-2005;
Б) ГОСТ Р 52425-2005;
В) ГОСТ 1983-2001.
7. Какой класс точности должен быть у трансформатора тока при модернизации?
А) не больше 0.9;
Б) не больше 1.0;
В) не больше 0.5
8. Какой класс точности должен быть у трансформатора напряжения при напряжении линии 220 кВ и мощностью 100 МВт и более?
А) 0.5;
Б) 0.2;
В) 0.2S.
9. Каков одноставочный тариф на электроэнергию в Волгоградской области?
А) 5.22 кВт·ч;
Б) 3.21 кВт·ч;
В) 4.02 кВт·ч.

Тест № 3 «Качество электроэнергии. Показатели качества электроэнергии»

1. Какой из нижеперечисленных ГОСТов устанавливает нормы ПКЭ?
а) ГОСТ Р 53905-2010
б) ГОСТ 13109-97
в) ГОСТ Р 51749-2001
г) ГОСТ 32144-2013
2. Медленные изменения напряжения электропитания не должны превышать
а) 5% в течении 95% времени интервала в одну неделю
б) 10% в течении 100% времени интервала в одну неделю
в) 5% в течении 100% времени интервала в одну неделю
г) 10% в течении 95% времени интервала в одну неделю
3. Фликер – это ...
а) ощущение неустойчивости зрительного восприятия, вызванное световым источником, яркость или спектральный состав которого изменяются во времени
б) нетепловое свечение вещества, происходящее после поглощения им энергии возбуждения
в) резкое изменение напряжения в точке электрической сети, за которым следует восстановление напряжения до первоначального или близкого к нему уровня
г) временное возрастание напряжения в конкретной точке электрической системы выше установленного порогового значения
4. Кто является виновником отклонения напряжения?

- а) потребитель
- б) энергоснабжающая организация
- в) природные катаклизмы
- г) все верны

5. Что является основным показателем в провале напряжения?

- а) величина провала напряжения
- б) длительность провала напряжения
- в) частота провала напряжения
- г) коэффициент несимметрии

6. На какой ПКЭ влияет удар молнии по ЛЭП?

- а) колебания напряжения и фликер
- б) несимметрия напряжений в трехфазных системах
- в) импульсные напряжения
- г) провалы напряжения и перенапряжения

7. Отклонение частоты в синхронизированных системах электроснабжения не должно превышать

- а) $\pm 0,2$ Гц в течение 95% времени интервала в одну неделю и $\pm 0,4$ Гц в течение 100% времени интервала в одну неделю
- б) $\pm 0,1$ Гц в течение 95% времени интервала в одну неделю и $\pm 0,2$ Гц в течение 100% времени интервала в одну неделю
- в) $\pm 0,3$ Гц в течение 95% времени интервала в одну неделю и $\pm 0,5$ Гц в течение 100% времени интервала в одну неделю
- г) $\pm 0,2$ Гц в течение 95% времени интервала в одну неделю и $\pm 0,5$ Гц в течение 100% времени интервала в одну неделю

8. Какой ПКЭ обозначается P_{st} и P_{it} ?

- а) активная и реактивная мощность
- б) доза фликера
- в) коэффициент несимметрии напряжения
- г) коэффициент мощности по обратной и нулевой последовательности

9. Что из нижеперечисленного не является основным ПКЭ?

- а) глубина провала напряжения
- б) отклонение частоты
- в) доза фликера
- г) коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения

10. Какие параметры не учитываются при анализе качества электроэнергии?

- а) коэффициент искажения синусоидальности кривой тока
- б) коэффициент n-ой гармонической составляющей тока для n от 2 до 40
- в) интервал между изменениями напряжения
- г) полная, активная и реактивная мощность искажений

По результатам контрольной работы выставляется:

- 10 баллов, если правильно выполнено 100% задания.
- 7 баллов, если правильно выполнено не менее 85% задания;
- 5 баллов, если правильно выполнено не менее 75% задания.

Тест № 4 «Влияние параметров электроэнергии на потери в сетях и оборудовании»

1. Как влияют параметры электроэнергии на приборы учёта электроэнергии?

- а) уменьшается срок службы приборов
- б) увеличивается погрешность приборов
- в) выход из строя приборов
- г) возникают дополнительные потери мощности в приборах

2. По какой формуле можно определить дополнительные потери мощности в линии электропередачи?

а) $\delta P = (3I_1^2 + 3I_2^2 + 1,14 \sum_{v=2}^{\infty} I_v^2 \sqrt{v})R - \Delta P_c$

б) $\delta P = \left(k_2 U_2 + k_z \sum_{v=2}^{\infty} I_v^2 \frac{U_v^2}{v\sqrt{v}} \right) \frac{P_{ном}}{10^{-4}}$

в) $\delta P = (3I_1^2 + 3I_2^2 + 1,14 \sum_{v=2}^{\infty} I_v^2 \sqrt{v})R + \Delta P_c$

г) $\delta P = \left(k_2 U_2 - k_z \sum_{v=2}^{\infty} I_v^2 \frac{U_v^2}{v\sqrt{v}} \right) \frac{P_{ном}}{10^{-4}}$

3. Какие последствия технологического характера возникают при снижении качества электроэнергии?

- а) увеличение потерь активной и реактивной мощности
- б) сокращение срока службы электрооборудования
- в) увеличение капитальных вложений в СЭС
- г) нарушение условий нормального функционирования электроприемников и потребителей в целом
- д) нанесение вреда окружающей среде и здоровью человека

4. Что указывается в заключение протокола испытаний качества электрической энергии?

- а) предлагаемые способы устранения замечаний
- б) сроки устранения замечаний
- в) «соответствует» или «не соответствует» установленным требованиям
- г) пункты и выписки из ГОСТ, по которым замечены отклонения

5. Какие мероприятия направленные на обеспечение КЭ в системах электроснабжения в пределах установленных норм и правил не относятся к методическим?

- а) управление нормальными, аварийными и послеаварийными режимами путем регулирования частоты и напряжения
- б) контроль и анализ КЭ
- в) автоматизированное измерение показателей КЭ и вспомогательных параметров электрической энергии
- г) систематический контроль КЭ

6. Какими качествами должны обладать средства измерения параметров качества электроэнергии?

- а) высокая точность
- б) сохранение данных в оперативную память
- в) наличие преобразователей электроэнергии
- г) устойчивость к критическим климатическим условиям

7. Технологический контроль – это ...

- а) контроль КЭ с длительностью и (или) погрешностью измерений, которые могут быть снижены по сравнению с требованиями ГОСТ 32144-2013.
- б) анализ причин ухудшения КЭ, определение виновника снижения КЭ, при проверке выполнения технических условий на присоединение потребителя к электрической сети и договорных условий на электроснабжение.
- в) проверка СИ параметров КЭ, а так же их настройка в соответствии ГОСТ 32144-2013
- г) проведение измерений, испытаний и проверки оборудования, определения их соответствия установленным нормам, указанных производителем

8. Что возможно определить с помощью напряжения прямой и обратной последовательности?

- а) величину колебания напряжения
- б) коэффициент несимметрии напряжения
- в) значение импульсного напряжения
- г) длительная доза фликера

9. Что из перечисленного НЕ является основным средством измерения электрической энергии?

- а) анализатор электроэнергии Энергомонитор 3.3-Т1
- б) счётчик электроэнергии ЦЭ6803ВМ
- в) ваттметр Ц301
- г) трансформатор тока ТПЛ 10

10. В каких случаях для измерений параметров электроэнергии используются ТТ и ТН одновременно?

- а) напряжение выше 0,4 кВ
- б) напряжение ниже 0,4 кВ
- в) напряжение выше 1 кВ
- г) всегда

По результатам контрольной работы выставляется:

- 10 баллов, если правильно выполнено 100% задания.
- 7 баллов, если правильно выполнено не менее 85% задания;
- 5 баллов, если правильно выполнено не менее 75% задания.

Контрольная работа №1. Расчет коэффициентов несимметрии напряжений в трехфазной системе.

Известны фазные напряжения на зажимах электроприёмника:

Известны фазные напряжения на зажимах электроприёмника:

$$U_A = 220e^{j2} \text{ В}$$

$$U_B = 221e^{j241} \text{ В}$$

$$U_C = 220e^{j121} \text{ В}$$

Требуется найти значение коэффициента несимметрии по обратной последовательности.

Сделать вывод о соответствии его значения ГОСТ 32144-2013.

$a=e^{j120}$ – фазный множитель

Прямая последовательность:

$$\begin{aligned} U_1 &= \frac{1}{3} (U_a + aU_b + a^2U_c) = \\ &= \frac{1}{3} (219,86 + j7,67 + a(-107,14 - j193,29) + a^2(-113,31 + j188,57)) = \\ &= 220,268 + j5,124 = 220,32e^{j1,33} \text{ В} \end{aligned}$$

Обратная последовательность:

$$U_2 = \frac{1}{3} (U_a + a^2 U_b + a U_c) =$$

$$= \frac{1}{3} (219,86 + j7,67 + a^2 (-107,14 - j193,29) + a (-113,31 + j188,57)) =$$

$$= -0,205 + j1,562 = 1,57 e^{j97,47} \text{ В}$$

Коэффициент несимметрии по обратной последовательности:

$$K_{2U} = \frac{U_{2(1)}}{U_{1(1)}} 100\% = \frac{1,576}{220,32} 100\% = 0,715 \%$$

Коэффициент несимметрии по обратной последовательности $K_{2U}=0,715\%$ не превышает 2% согласно ГОСТ 32144-2013.

По результатам контрольной работы выставляется:

- 15 баллов, если правильно выполнено 100% задания.
- 12 баллов, если правильно выполнено не менее 85% задания;
- 10 баллов, если правильно выполнено не менее 75% задания.

Контрольная работа №2. Расчет коэффициентов искажения синусоидальной формы кривой напряжения.

Требуется провести расчет токов и напряжений высших гармоник на сборных шинах 10 кВ промышленного предприятия

Исходные данные:

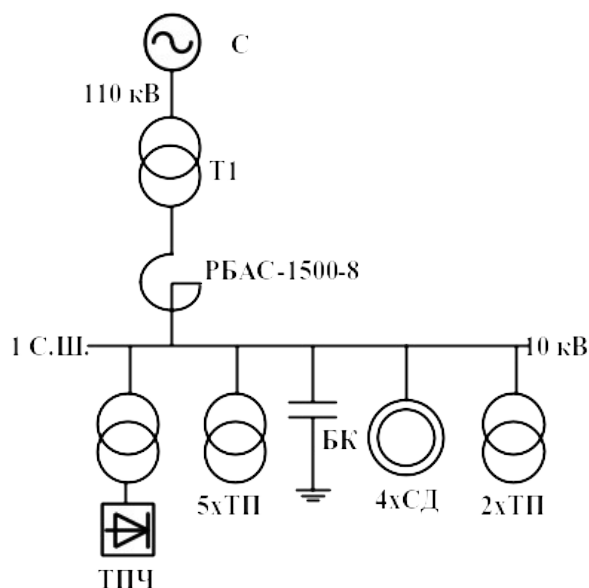
Схема представлена на рисунке

Предприятие питается от энергосистемы через понижающий трансформатор T_1 ($S_{T,ном}=25$ МВА; $u_k=10,5 \%$).

Мощность системы $S_k=5000$ МВА.

Трансформатор T_1 соединен со сборными шинами через токоограничивающий реактор ($I_{р,ном}=2500$ А, $X_p=8\%$).

К сборным шинам подключены 5 цеховых ТП ($S_{T,ном}=630$ кВА; $u_k=5,5 \%$), 2 цеховых ТП ($S_{T,ном}=1000$ кВА; $u_k=5,5 \%$), 4 синхронных двигателя ($P_{с.д,ном}=400$ кВт; $Q_{с.д,ном}=184$ кВар), тиристорный преобразователь частоты ТПЧ ($U_d=800$ В; $I_d=1550$ А; $\cos\phi=0,95$). Расчетная активная нагрузка $P_p=9,2$ МВт, реактивная $Q_p=8$ Мвар. Для компенсации реактивной мощности дополнительно подключена конденсаторная батарея $Q_k=7,5$ Мвар.



Расчетная схема

Решение:

Составляем схему замещения:

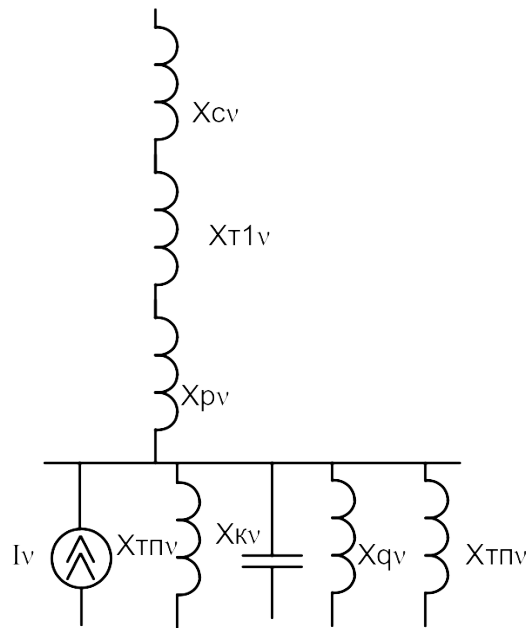


Схема замещения

Рассчитаем сопротивления элементов схемы замещения v -й гармоники.

Энергосистема:

$$X_{cv} = 0,65 \frac{U_{ct}^2}{S_k} v = 0,65 \frac{10^2}{5000} v = 0,013v \text{ Ом.}$$

Реактор:

$$X_{pv} = \frac{X_p}{100\% \sqrt{3} I_{p,ном} U_{p,ном}} \frac{U_{ct}^2 v}{100 \sqrt{3} \cdot 2,5 \cdot 10} = \frac{8}{100 \sqrt{3} \cdot 2,5 \cdot 10} \frac{10^2 \cdot v}{100 \sqrt{3} \cdot 2,5 \cdot 10} = 0,185v \text{ Ом.}$$

Трансформатор:

$$X_{T1v} = \frac{u_k}{100\% S_{T,ном}} \frac{U_{ct}^2 K_x v}{100 \frac{10^2 \cdot 0,88 \cdot v}{25}} = \frac{10,5}{100} \frac{10^2 \cdot 0,88 \cdot v}{25} = 0,370v \text{ Ом.}$$

Трансформаторы цеховых ТП:

5 штук:

$$X_{тп1v} = \frac{u_k}{100\% S_{т.ном}} \frac{U_{ct}^2 v}{100 \frac{10^2 \cdot v}{5 \cdot 0,63}} = \frac{5,5}{100} \frac{10^2 \cdot v}{5 \cdot 0,63} = 1,746v \text{ Ом.}$$

2 штуки:

$$X_{тп2v} = \frac{u_k}{100\% S_{т.ном}} \frac{U_{ct}^2 v}{100 \frac{10^2 \cdot v}{2 \cdot 1}} = \frac{5,5}{100} \frac{10^2 \cdot v}{2 \cdot 1} = 2,750v \text{ Ом.}$$

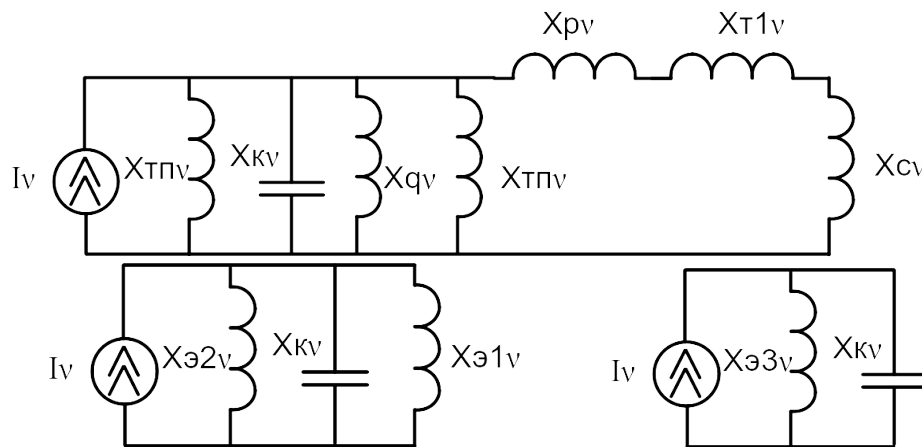
Синхронные двигатели:

$$X_{qv} = X_d'' \frac{U_{ct}^2}{S_{CD}} K_x v = 0,2 \frac{10^2}{4 \sqrt{0,4^2 + 0,184^2}} 0,71v = 8,063v \text{ Ом.}$$

Конденсаторная батарея:

$$X_{kv} = -\frac{U_{ct}^2}{Q_k v} = -\frac{10^2}{7,5 \cdot v} = -13,333v \text{ Ом.}$$

Затем произведем свертывание схемы относительно секций сборных шин 10 кВ, для которых проводим расчет напряжений и токов высших гармоник.



Свертка схемы

Суммарное сопротивление системы, трансформатора ГПП и реактора:

$$X_{э1v} = X_{cv} + X_{T1v} + X_{pv} = 0,013v + 0,370v + 0,185v = 0,568v \text{ Ом.}$$

Суммарное сопротивление трансформаторов ТП:

$$\frac{1,746v \cdot 2,750v}{1,746v + 2,750v}$$

$$X_{Tnv\Sigma} = X_{Tn1v} // X_{Tn2v} = 1,068v \text{ Ом.}$$

Суммарное сопротивление трансформаторов ТП и СД:

$$\frac{1,068v \cdot 8,063v}{1,068v + 8,063v}$$

$$X_{э2v} = X_{Tnv\Sigma} // X_{qv} = 0,943v \text{ Ом.}$$

Суммарное индуктивное сопротивление всей схемы:

$$\frac{0,568v \cdot 0,943v}{0,568v + 0,943v}$$

$$X_{э3v} = X_{э1v} // X_{э2v} = 0,355v \text{ Ом.}$$

Величины гармоник тока, генерируемых одним тиристорным преобразователем частоты:

$$I_v = \frac{I_1}{1,11(v \pm 1)}; \quad I_1 = \frac{0,9U_d I_d}{\sqrt{3}U_{CT} \cos \varphi};$$

$$I_1 = \frac{0,9 \cdot 800 \cdot 1550}{\sqrt{3} \cdot 10000 \cdot 0,95} = 67,823 \text{ А;}$$

$$I_5 = \frac{67,823}{1,11(5+1)} = 10,184 \text{ А;}$$

$$I_7 = \frac{67,823}{1,11(7-1)} = 10,184 \text{ А;}$$

$$I_{11} = \frac{67,823}{1,11(11-1)} = 6,11 \text{ А;}$$

$$I_{13} = \frac{67,823}{1,11(13+1)} = 4,364 \text{ А;}$$

Коэффициент (доля) распределения токов гармоник, протекающих по конденсаторной батарее:

$$K_{kv} = \frac{X_{э3v}}{X_{э3v} + X_{kv}} = \frac{0,355v}{0,355v + 13,333/v}.$$

Токи гармоник, протекающие по конденсаторной батарее:

$$I_{kv} = K_{kv} I_v;$$

$$I_5 = \frac{10,184 \cdot 0,355 \cdot 5}{0,355 \cdot 5 - 13,333/5} = -20,274 \text{ А};$$

$$I_7 = \frac{10,184 \cdot 0,355 \cdot 7}{0,355 \cdot 7 - 13,333/7} = 43,612 \text{ А};$$

$$I_{11} = \frac{6,11 \cdot 0,355 \cdot 11}{0,355 \cdot 11 - 13,333/11} = 8,860 \text{ А};$$

$$I_{13} = \frac{4,364 \cdot 0,355 \cdot 13}{0,355 \cdot 13 - 13,333/13} = 5,611 \text{ А}.$$

Номинальный ток 1-й гармоники конденсаторной батареи:

$$I_1 = \frac{Q_k}{\sqrt{3} U_{ном}} = \frac{7500}{\sqrt{3} \cdot 10} = 433,013 \text{ А}.$$

Полный ток конденсаторных батарей с учетом высших гармоник:

$$I_{\Sigma} = \sqrt{I_1^2 + \sum_{v < 1}^{13} I_v^2} = \sqrt{433,013^2 + 20,274^2 + 43,612^2 + 8,860^2 + 5,611^2} = 435,802$$

Определим напряжения высших гармоник на сборных шинах 10 кВ:

$$U_v = I_{kv} X_{kv};$$

$$U_5 = (-20,274) \cdot \frac{-13,333}{5} = 54,063 \text{ В};$$

$$U_7 = 43,612 \cdot \frac{-13,333}{7} = -83,068 \text{ В};$$

$$U_{11} = 8,860 \cdot \frac{-13,333}{11} = -10,739 \text{ В};$$

$$U_{13} = 5,611 \cdot \frac{-13,333}{13} = -5,755 \text{ В}.$$

Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения:

$$K_u = \frac{100\% \sqrt{\sum U_v^2}}{U_n / \sqrt{3}} = \frac{100\% \sqrt{54,063^2 + 83,068^2 + 10,739^2 + 5,755^2}}{10000 / \sqrt{3}} = 1,73\% < 5\%$$

Таким образом, токовая нагрузка конденсаторной батареи имеет запас до предельно допустимой, коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения на сборных шинах 10 кВ не превышает допустимого значения.

Резонансная гармоника схемы равна:

$$\nu_p = \sqrt{\frac{X_k}{X_{\Sigma\Sigma}}} = \sqrt{\frac{13,333}{0,355}} = 6,128$$

и близка к 7-й гармонике сети.

В данном случае устанавливать дополнительное оборудование нет необходимости.

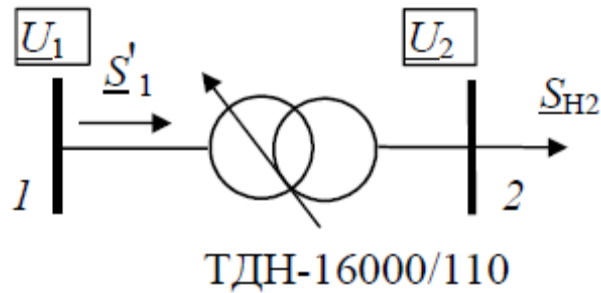
По результатам контрольной работы выставляется:

- 15 баллов, если правильно выполнено 100% задания.
- 12 баллов, если правильно выполнено не менее 85% задания;
- 10 баллов, если правильно выполнено не менее 75% задания.

Контрольная работа №3. Выбор регулировочных отпаяк РПН трансформаторов для обеспечения качества электроэнергии.

На понижающей подстанции напряжением 110/10 кВ установлен трансформатор ТДН-16000/110 с пределами регулирования коэффициента трансформации $\pm 9 \times 1,78\%$, рис.1. $U_{1\text{ном}} = 115$ кВ; $U_{2\text{ном}} = 11$ кВ. Сопротивления трансформатора: $R_T = 4,38$ Ом; $X_T = 86,7$ Ом. Поток мощности в начале линии изменяется в течение суток. В режиме максимальных нагрузок $\underline{S}_{1\text{max}} = 10 + j4$ МВ·А, в режиме минимальных нагрузок $\underline{S}_{1\text{min}} = 4 + j2$ МВ·А. Напряжение в точке 1 $U_1 = 105$ кВ.

Выбрать ответвления РПН для соответствующих режимов и определить действительные напряжения на выводах вторичной обмотки в точке 2 с учетом положения РПН.



Расчетная схема

Схема замещения двухобмоточного трансформатора (с учетом идеального трансформатора ИТ);

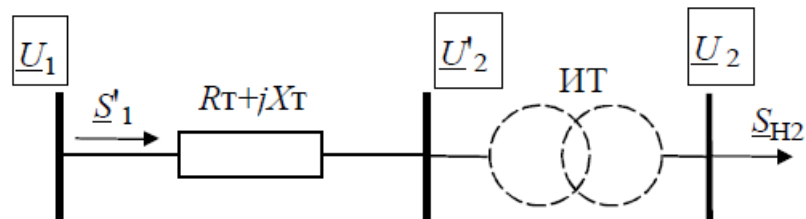


Схема замещения

Режим максимальных нагрузок. Определим напряжение в точке 2 расчетной схемы, приведенное к стороне ВН трансформатора, не учитывая при этом поперечную составляющую падения напряжения:

$$\begin{aligned} \underline{U}'_2 &= \underline{U}_1 - \Delta U' = \underline{U}_1 - \frac{P' \cdot R + Q' \cdot X}{U_1} = \\ &= 105 - \frac{10 \cdot 4,38 + 4 \cdot 86,7}{105} = 101,28 \text{ кВ} \end{aligned}$$

Желаемое напряжение в точке 2 для этого режима определим как

$$U_{2\text{ж}} = k U_{\text{ном.сети}} = 1,05 \times 10 = 10,5 \text{ кВ.}$$

Номер необходимого ответвления найдем по выражению

$$n = \frac{100 \% \cdot \left(\frac{U'_2 \cdot U_{2\text{ном}}}{U_{2\text{жс}} \cdot U_{1\text{ном}}} - 1 \right)}{\Delta K \%} = \frac{100 \% \cdot \left(\frac{101,28 \cdot 11}{10,5 \cdot 115} - 1 \right)}{1,78 \%} = -4,3$$

Округляем номер ответвления до ближайшего числа: $n = -4$.

Напряжение в точке 2 при выбранном номере ответвления РПН вычисляем по

формуле

$$U_2^{(-4)} = \frac{U'_2 \cdot U_{2,ном}}{U_{1ном} \left(1 + \frac{\Delta K \% \cdot n}{100 \%} \right)} = \frac{101,28 \cdot 11}{115 \cdot \left(1 + \frac{1,78 \% \cdot (-4)}{100 \%} \right)} = 10,44 \quad \text{кВ}$$

Рассчитанное значение напряжения U_2 меньше желаемого напряжения ($10,44 < 10,5$ кВ), поэтому для выполнения требований ПУЭ принимаем ответвление с номером (-5). В этом случае напряжение в точке 2 принимает значение

$$U_2^{(-5)} = \frac{101,28 \cdot 11}{115 \cdot \left(1 + \frac{1,78 \% \cdot (-5)}{100 \%} \right)} = 10,63 \quad \text{кВ}$$

Требование ПУЭ выполнено: $10,63 > 10,5$ кВ.

Режим минимальных нагрузок. Приведенное напряжение в точке 2

$$\begin{aligned} \underline{U}'_2 &= \underline{U}_1 - \Delta U' = \underline{U}_1 - \frac{P' \cdot R + Q' \cdot X}{U_1} = \\ &= 105 - \frac{4 \cdot 4,38 + 2 \cdot 86,7}{105} = 103,18 \quad \text{кВ} \end{aligned}$$

Желаемое напряжение для режима минимальных нагрузок

$$U_{2 \text{ ж}} = k U_{\text{ном.сети}} = 1,00 \times 10 = 10,0 \text{ кВ.}$$

Номер необходимого ответвления найдем по выражению:

$$n = \frac{100 \% \cdot \left(\frac{U'_2 \cdot U_{2,ном}}{U_{2,ж} \cdot U_{1ном}} - 1 \right)}{\Delta K \%} = \frac{100 \% \cdot \left(\frac{103,18 \cdot 11}{10 \cdot 115} - 1 \right)}{1,78 \%} = -0,73$$

Округляем номер ответвления до ближайшего числа: $n = -1$. Напряжение в точке 2 при выбранном номере ответвления РПН определяется по формуле

$$U_2^{(-1)} = \frac{U'_2 \cdot U_{2,ном}}{U_{1ном} \left(1 + \frac{\Delta K \% \cdot n}{100 \%} \right)} = \frac{103,18 \cdot 11}{115 \cdot \left(1 + \frac{1,78 \% \cdot (-1)}{100 \%} \right)} = 10,05 \quad \text{кВ}$$

Полученное значение предельно близко $U_{ном} = 10$ кВ.

По результатам контрольной работы выставляется:

- 15 баллов, если правильно выполнено 100 % задания.
- 12 баллов, если правильно выполнено не менее 85 % задания;
- 10 баллов, если правильно выполнено не менее 75 % задания.

Контрольная работа №4. Расчет дополнительных потерь мощности в электрических машинах из-за несимметрии и несинусоидальности напряжений.

Рассчитать снижение потерь мощности в трансформаторах 6-10 кВ, асинхронных и синхронных двигателях (без демпферной обмотки) и батареях конденсаторов, происходящее при проведении мероприятий, в результате которых коэффициент обратной последовательности напряжения снижается с $U_{2н}$ до $U_{2к}$ (по вариантам), напряжение пятой гармоники с $U_{вн5}$ до $U_{вк5}$, седьмой с $U_{вн7}$ до $U_{вк7}$. Суммарная мощность каждого вида оборудования равна $S_{ном}$ кВ·А (кВт, квар). Средняя мощность асинхронных двигателей

составляет $P_{\delta, \text{ном}}$ кВт. Сделать выводы по результатам решения.

Таблица 1

Вид оборудования	k_2	k_z
Турбогенераторы	1,86	1,77
Гидрогенераторы и синхронные двигатели с демпферной обмоткой	0,68	1,12
То же, без демпферной обмотки	0,27	0,40
Синхронные компенсаторы	1,31	1,95
Трансформаторы 35-220 кВ	0,5	0,3
То же, 6-10 кВ	2,67	1,62
Батареи конденсаторов	0,003	0,003

Таблица 2

Номер гармоники	α_v	b_v		
		Трансформаторы	Вращающиеся машины	Батареи конденсаторов
2	2	0,44	0,350	2
4	2,8	0,23	0,125	4
5	3,2	0,19	0,089	5
7	3,7	0,19	0,054	7
11	4,7	0,19	0,027	11

Пример решения.

Для асинхронных двигателей определяем k_2 и k_z по формулам

$$k_2 = 2,41k_{\delta}, \quad k_z = 2k_{\delta}$$

где k_{δ} – коэффициент, зависящий от мощности двигателя

$$\begin{aligned} \text{при } P_{\delta, \text{ном}} < 5 \text{ кВт,} & \quad k_{\delta} = 3 + 0,3(5 - P_{\delta, \text{ном}}) \\ \text{при } 5 < P_{\delta, \text{ном}} < 100 \text{ кВт,} & \quad k_{\delta} = 1 + 0,02(100 - P_{\delta, \text{ном}}) \\ \text{при } 100 < P_{\delta, \text{ном}} < 1000 \text{ кВт,} & \quad k_{\delta} = 0,4 + 0,0007(1000 - P_{\delta, \text{ном}}) \\ \text{при } P_{\delta, \text{ном}} > 1000 \text{ кВт,} & \quad k_{\delta} = 0,4 \end{aligned}$$

$$k_{\delta} = 1 + 0,02(100 - 20) = 2,6$$

$$k_2 = 2,41 \cdot 2,6 = 6,3$$

$$k_z = 2 \cdot 2,6 = 5,2$$

Снижение потерь мощности за счёт снижения коэффициента обратной последовательности напряжения определяем по формуле и Таблице 1

$$\delta P_{U2} = \frac{S_{\text{ном}}}{10^4} k_2 (U_{2н}^2 - U_{2к}^2)$$

в трансформаторах

$$\delta P_{U2} = \frac{1000}{10^4} 2,67 (3^2 - 1^2) = 2,14 \text{ кВт;}$$

в асинхронных двигателях

$$\delta P_{U2} = \frac{1000}{10^4} 6,3 (3^2 - 1^2) = 5 \text{ кВт;}$$

в синхронных двигателях

$$\delta P_{U2} = \frac{1000}{10^4} 0,27 (3^2 - 1^2) = 0,22 \text{ кВт};$$

в конденсаторных батареях

$$\delta P_{U2} = \frac{1000}{10^4} 0,03 (3^2 - 1^2) = 0,003 \text{ кВт}.$$

Снижение потерь мощности за счёт снижения уровней высших гармоник, определяем по формуле и Таблицам 1 и 2

$$\delta P_{\sigma v} = \frac{S_{ном}}{10^4} k_z \sum_{v=2}^{\infty} b_v (U_{vн}^2 - U_{vк}^2)$$

в трансформаторах

$$\delta P_{mv} = \frac{1000}{10^4} 1,62 [0,19 (6^2 - 2^2) + 0,19 (4^2 - 1^2)] = 1,44 \text{ кВт};$$

Варианты заданий для самостоятельного решения:

№ варианта	$U_{2н},$ %	$U_{2к},$ %	$U_{vн5},$ %	$U_{vк5},$ %	$U_{vн7},$ %	$U_{vк7},$ %	$S_{ном},$ кВ·А	$P_{д.ном},$ кВт
0	3	1	6	2	4	1	1000	20
1	4	1	7	2	4	2	1100	120
2	2	1	7	2	5	1	1000	520
3	3	1	5	1	5	1	1200	35
4	3	1	5	1	5	1	2000	1500
5	5	2	7	3	4	2	1900	820
6	4	2	6	2	4	2	1800	750
7	3	1	8	3	6	1	1500	610
8	5	2	5	1	5	1	1200	80
9	5	2	5	1	5	2	1000	40
10	4	1	6	2	6	2	1000	15
11	2	1	7	2	4	1	1000	95
12	2	1	7	2	4	1	1100	270
13	3	2	8	3	5	1	1000	4
14	4	1	6	1	4	1	1100	350
15	5	1	7	2	5	2	1100	510

По результатам контрольной работы выставляется:

- 15 баллов, если правильно выполнено 100% задания.
- 12 баллов, если правильно выполнено не менее 85% задания;
- 10 баллов, если правильно выполнено не менее 75% задания.

Критерии выставления оценки на зачете:

Оценка «отлично» - от 90 до 100 баллов.

Студент обнаружил всестороннее, систематическое и глубокое знание материалов изученного модуля, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоивший основную, и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной программой. В процессе обучения студент проявил творческие способности в понимании, изложении и использовании материалов изученного модуля (дисциплины), в полном объеме выполнил все виды предусмотренного программой контроля, безупречно ответил не только на все тесты, но и выполнил контрольные работы в рамках основной программы модуля, правильно выполнил расчетное задание.

Оценка «хорошо» - от 76 до 89 баллов.

Студент обнаружил полное знание материалов изученного модуля, успешно выполнил предусмотренные программой задания, усвоил основную литературу, предусмотренную программой. Студент показал систематический характер знаний по модулю, выполнил более половины видов предусмотренного программой контроля, ответил на все тесты, правильно выполнил контрольные работы, но допустил при этом не принципиальные ошибки.

Оценка «удовлетворительно» - от 60 до 75 баллов.

Студент обнаружил знание материала изученного модуля в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справился с выполнением заданий, предусмотренных программой, знакомый с основной литературой, рекомендованной программой. Студент выполнил не менее половины видов предусмотренного программой контроля, допустил погрешность в ответе на теоретические тесты, контрольные работы, но обладает необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя.

Оценка «неудовлетворительно» - менее 60 баллов.

Студент обнаружил серьезные пробелы в знаниях основного материала изученного модуля, допустил принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий. Студент выполнил менее половины видов предусмотренного программой контроля, не ответил на все тесты, и неправильно выполнил контрольные работы.