

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

В. Ф. Белей

КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины для студентов,
обучающихся в магистратуре по направлению подготовки
13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2023

УДК 621.311

Рецензент

кандидат технических наук, доцент кафедры энергетики
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»
И. Е. Кажекин

Белей, В. Ф.

Качество электрической энергии: учеб.-методич. пособие по изучению дисциплины для студентов магистратуры по направлению подгот. 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника / **В. Ф. Белей.** – Калининград: ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. – 16 с.

Учебно-методическое пособие содержит методические материалы по изучению дисциплины, которые включают тематический план занятий, методические указания по выполнению студентами самостоятельной работы, вопросы для самостоятельного контроля по темам, оценочные средства и критерии оценивания.

Табл. 1, список литературы – 11 наименований.

Локальный электронный методический материал. Учебно-методическое пособие. Рекомендовано к использованию в учебном процессе методической комиссией института морских технологий, энергетики и строительства 22.02.2023 г.

УДК 621.311

© Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Калининградский государственный
технический университет», 2023 г.
© Белей В. Ф., 2023 г.

Содержание

Введение	4
Тематический план занятий	6
Тема 1. Определения, идеальное качество электроэнергии	6
Тема 2. Продолжительные изменения характеристик напряжения: отклонение частоты	7
Тема 3. Продолжительные изменения характеристик напряжения: медленные изменения напряжения	8
Тема 4. Продолжительные изменения характеристик напряжения: колебания напряжения и фликер.....	9
Тема 5. Продолжительные изменения характеристик напряжения: несинусоидальность напряжения	10
Тема 6. Продолжительные изменения характеристик напряжения: несимметрия в трехфазных сетях	11
Тема 7. Изменения характеристик напряжения электропитания: случайные события.....	12
Методические указания по выполнению самостоятельной работы студентов ..	13
Библиографический список.....	14
Приложение А. Контрольные вопросы по темам дисциплины.....	15

Введение

Дисциплина «Качество электрической энергии» входит в состав основной профессиональной образовательной программы магистраты по направлению подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника.

Целью дисциплины является формирование систематизированных знаний в области современных электроэнергетических систем, являющихся основой для решения профессиональных задач в этой области.

В результате освоения дисциплины студент должен:

- Знать: физические основы и нормативные требования, регламентирующие показатели качества электроэнергии в системах электроснабжения.

- Уметь: измерять и оценивать показатели качества электроэнергии в системах электроснабжения.

- Владеть: методами обеспечения показателей качества электроэнергии в системах электроснабжения, соответствующих требованиям стандартов.

Для оценки результатов освоения дисциплины используются:

- оценочные средства для текущего контроля успеваемости;

- оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине.

К оценочным средствам текущего контроля успеваемости относятся:

- тестовые задания открытого и закрытого типов;

- задания к практическим работам.

Тестовые задания по дисциплине используются для текущего контроля освоения дисциплины. Тестирование студентов проводится на практических занятиях. Каждый вариант теста включает в себя 10 вопросов, на каждый из которых приведены четыре варианта ответа. Оценивание осуществляется по следующим критериям: «зачтено» – 50-100 % правильных ответов на заданные вопросы; «не зачтено» – менее 50 % правильных ответов.

В соответствии с учебным планом по дисциплине «Качество электрической энергии» предусмотрено выполнение практических работ. Перед началом выполнения обучающиеся изучают задание и после методических указаний преподавателя приступают к его выполнению. Защита работы проводится либо на очередном практическом занятии, либо в часы индивидуальных или групповых консультаций преподавателя. Результаты защиты определяются по системе «зачтено / не зачтено» в соответствии с критериями, представленными в таблице 1.

Промежуточная аттестация в форме зачета проходит по результатам прохождения всех видов текущего контроля успеваемости. При необходимости (в случае не прохождения обучающимся всех видов текущего контроля) для промежуточной аттестации могут быть использованы контрольные вопросы по дисциплине. Результаты промежуточной аттестации определяются по системе «зачтено / не зачтено» в соответствии с критериями, представленными в таблице 1. Типовые контрольные вопросы представлены в приложении А.

Порядок и правила выставления оценки по дисциплине преподаватель сообщает обучающимся в начале учебного семестра.

Таблица 1 - Система и критерии оценивания

Система оценок Критерий	«не зачтено»	«зачтено»		
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может корректно связывать между собой (только некоторые из которых может связывать между собой)	обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый объект
Работа с информацией	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
Осмысление изучаемого явления, процесса, объекта	Не может делать корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задаче данные	В состоянии осуществлять систематический и корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи
Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

Тематический план занятий

Тема 1. Определения, идеальное качество электроэнергии

Предусмотрены занятия лекционного типа (лекции) и семинарского (практические занятия) типа.

Ключевые вопросы темы:

1. Качество электроэнергии как составляющая электромагнитной совместимости, характеризующей электромагнитную среду.
2. Электромагнитная совместимость: определение, полевые и кондуктивные помехи, уровни электромагнитной совместимости и нормы на помехоустойчивость и эмиссию помех.
3. Качество электрической энергии – определение.
4. Показатель и норма качества электрической энергии.
5. Две категории изменения характеристик напряжения: продолжительные и случайные события.
6. Идеальное качество электроэнергии: физические аспекты.

Вопросы для самоконтроля по теме:

1. Что понимается под электромагнитной совместимостью?
2. Пояснить соотношение уровней электромагнитной совместимости и норм на помехоустойчивость и эмиссию помех?
3. Дать определение понятия качества электрической энергии?
4. Показатели и нормы качества электрической энергии?
5. В чем заключается физические аспекты «Идеальное качество электроэнергии»?
6. К каким последствиям в системах электроснабжения приводит снижение показателей качества электрической энергии?

Тема практической работы: оценка идеальных показателей качества электроэнергии применительно к однофазным и трехфазным цепям переменного тока.

Задание: проанализируйте идеальные показатели качества электроэнергии на основе анализа построенных осциллограмм и векторных диаграмм напряжения для однофазных и трехфазных цепей переменного тока.

Исходные данные (учебные): осциллограммы и векторные диаграммы напряжений для однофазных и трехфазных цепей переменного тока.

Цель выполнения задания: освоение основных видов показателей качества электрической энергии.

Тема 2. Продолжительные изменения характеристик напряжения: отклонение частоты

Предусмотрены занятия лекционного типа (лекции) и семинарского (практические занятия) типа.

Ключевые вопросы темы:

1. Показатель - отклонение значения основной частоты напряжения электропитания от номинального значения.
2. Нормы отклонения частоты для синхронизированных и изолированных систем.
3. Частота – общесистемный показатель электроэнергетической системы.
4. Обеспечение частоты в электроэнергетической системе.
5. С какой целью линии постоянного тока связывают между собой синхронно функционирующие энергосистемы.

Вопросы для самоконтроля по теме:

1. Назовите нормы отклонения частоты для синхронизированных и изолированных систем.
2. Баланс активной мощности и его влияние на частоту электроэнергетической системы?
3. Какие электростанции в электроэнергетической системе используют для поддержания частоты в нормированных значениях?
4. Роль линий постоянного тока, связывающих между собой синхронно функционирующие энергосистемы, для поддержания частоты в нормированных значениях?
5. Влияет ли баланс реактивной мощности в электроэнергетической системе на частоту?

Тема практической работы: оценка перспектив использования накопителя электрической энергии на литий-ионных аккумуляторах для поддержания частоты в нормированных значениях Калининградской энергосистеме?

Задание: используя информацию из открытых источников, дать оценку перспектив использования накопителя электрической энергии на литий-ионных аккумуляторах для поддержания частоты в нормированных значениях в Калининградской энергосистеме?

Исходные данные (учебные): Схема и программа перспективного развития электроэнергетики Калининградской области.

Цель выполнения задания: изучение перспектив использования накопителя электрической энергии на литий-ионных аккумуляторах для поддержания частоты в нормированных значениях электроэнергетических системах.

Тема 3. Продолжительные изменения характеристик напряжения: медленные изменения напряжения

Предусмотрены занятия лекционного типа (лекции) и семинарского (практические занятия) типа.

Ключевые вопросы темы:

1. Показатели качества при медленных изменениях напряжения в точке передачи электрической энергии от номинального/согласованного значения.
2. Нормы показателей качества электроэнергии для медленных изменений напряжения.
3. Методика измерения медленных изменений напряжения.
4. Влияние отклонения напряжения на энергетические показатели электрооборудования.
5. Меры по обеспечению нормированных показателей качества при медленных изменениях напряжения в системах электроснабжения.

Вопросы для самоконтроля по теме:

1. Что понимается под медленным изменением напряжения и какие показатели качества электроэнергии его характеризуют?
2. Посредством каких измерительных приборов осуществляют измерения медленных изменений напряжения в электрической сети?
3. Как влияет отклонение напряжения на величину электромагнитного момента асинхронного электродвигателя?
4. Как влияет отклонение напряжения на величину реактивной мощности конденсаторной батареи?
5. Приведите меры для систем электроснабжения по обеспечению нормированных показателей качества при медленных изменениях напряжения?

Тема практической работы. Оценка отклонения напряжения при электроснабжении нагрузки (активно-индуктивной) использовании воздушной или кабельной линий электропередачи.

Задание: для заданной системы электроснабжения на основании мощности нагрузки ($P + \gamma Q$) и длины линии (L) электропередачи подобрать: напряжение, на котором будет передаваться энергии и сечение воздушной и кабельной линии электропередачи; построить векторные диаграммы напряжений для обоих вариантов и рассчитать отклонения напряжения.

Исходные данные (учебные): задаваемая преподавателем система электроснабжения, включающая: источник бесконечно большой мощности; два варианта - воздушная и кабельная линии электропередач (L – длина линии электропередачи); активно-индуктивная ($P + \gamma Q$) нагрузка.

Цель выполнения задания: формирование навыков использования сравнительного анализа отклонения напряжения для воздушных или кабельных линий электропередачи в системах электроснабжения.

Тема 4. Продолжительные изменения характеристик напряжения: колебания напряжения и фликер

Предусмотрены занятия лекционного типа (лекции) и семинарского (практические занятия) типа.

Ключевые вопросы темы:

1. Колебания напряжения.
2. Источники колебания напряжения.
3. Кратковременная и длительная доза фликера.
4. Измерение дозы фликера.
5. Негативное влияние на здоровье человека колебания напряжения.

Вопросы для самоконтроля по теме:

1. Что такое фликер?
2. Какие показатели качества электроэнергии относятся к колебаниям напряжения?
3. Приведите и поясните формулу, по которой может быть определен размах колебаний напряжений?
4. Назовите в приоритетном порядке электрооборудование по степени его влияния на колебания напряжения?
5. Какие меры рекомендуются для снижения колебаний напряжения?

Тема практической работы: оценка коэффициента пульсаций и эквивалентной дозы фликера светодиодной лампы.

Задание: рассчитать коэффициент пульсаций и эквивалентную дозу фликера светодиодной лампы.

Исходные данные (учебные): задаваемые преподавателем (желательно в ходе эксперимента) осциллограммы светового потока светодиодной лампы.

Цель выполнения задания: научиться оценивать коэффициент пульсаций и эквивалентную дозу фликера светодиодной лампы.

Тема 5. Продолжительные изменения характеристик напряжения: несинусоидальность напряжения

Предусмотрены занятия лекционного типа (лекции) и семинарского (практические занятия) типа.

Ключевые вопросы темы:

1. Показатели качества электроэнергии, относящиеся к гармоническим составляющим напряжения.
2. Нормирование показателей качества электроэнергии, относящиеся к гармоническим составляющим напряжения.
3. Методы измерения показателей качества электроэнергии, относящиеся к гармоническим составляющим.
4. Основные формы воздействия высших гармонических на элементы систем электроснабжения.
5. Способы снижения уровня гармонических составляющих в системах электроснабжения.

Вопросы для самоконтроля по теме:

1. В чем суть математического и энергетического подходов при объяснении природы возникновения высших гармонических?
2. Почему в РФ отдельно нормируются значения коэффициентов нечетных гармонических составляющих напряжения: не кратных трем и кратные третьей?
3. Почему стандарты ряда стран наравне с гармониками напряжения в системах электроснабжения нормируют гармоники тока?
4. К каким негативным последствиям высшие гармонические в системах электроснабжения?
5. Приведите и поясните схемные решения по снижению уровня гармоник в системах электроснабжения?

Тема практической работы: оценка коэффициентов гармонических составляющих напряжения.

Задание: рассчитайте значение коэффициентов гармонических составляющих и суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения.

Исходные данные (учебные): определяемые преподавателем. N и U_N - соответственно номер и величина гармоник.

Цель выполнения задания: научиться рассчитать и оценивать значение коэффициентов гармонических составляющих напряжения.

Тема 6. Продолжительные изменения характеристик напряжения: несимметрия в трехфазных сетях

Предусмотрены занятия лекционного типа (лекции) и семинарского (практические занятия) типа.

Ключевые вопросы темы:

1. Показатели качества электроэнергии, относящимися к несимметрии напряжений в трехфазных системах.
2. Основные источники несимметрии напряжения.
3. Методы измерения показателей качества электроэнергии, относящиеся к несимметрии напряжений в трехфазных системах.
4. Влияние несимметрии напряжений в трехфазных системах на работу электрооборудования.
5. Меры по снижению несимметрии напряжений в трехфазных системах.

Вопросы для самоконтроля по теме:

1. Что характеризует коэффициент обратной последовательности напряжений в трехфазных системах?
2. Что характеризует коэффициент нулевой последовательности напряжений в трехфазных системах?
3. Какое влияние оказывает напряжение обратной последовательности на электрические машины переменного тока?
4. Приведите основные меры по снижению несимметрии напряжений в трехфазных системах.
5. Эффективным средством снижения напряжения нулевой последовательности является трансформатор с группой соединения обмоток Y/Y_0 или Δ/Y_0 ?

Тема практической работы: симметрирующее устройство для обеспечения симметрии в трехфазных сетях.

Задание: разработать электрическую схему и выбрать элементы симметрирующего устройства для обеспечения симметрии в трехфазной сети при несимметричной нагрузке. Построить векторные диаграммы токов и напряжений.

Исходные данные (учебные): несимметричная нагрузка, определяемая преподавателем.

Цель выполнения задания: изучение обеспечения симметрии в трехфазной сети за счет применения симметрирующего устройства.

Тема 7. Изменения характеристик напряжения электропитания: случайные события

Предусмотрены занятия лекционного типа (лекции) и семинарского (практические занятия) типа.

Ключевые вопросы темы:

1. Прерывания напряжения: причины возникновения, параметры.
2. Провалы напряжения: причины возникновения, параметры.
3. Перенапряжения, причины возникновения.
4. Импульсные напряжения: вызванные молниевыми разрядами и импульсные напряжения, вызванные коммутационными процессами
5. Меры по снижению возможностей случайных событий

Вопросы для самоконтроля по теме:

1. Поясните параметры прерывания напряжения?
2. Поясните параметры провалов напряжения?
3. Как в соответствии с требованиями стандарта ГОСТ 32144-2013 рассматривается перенапряжение?
4. Поясните особенности значений значений коммутационных импульсных напряжений?
5. К каким последствиям приводят случайные события?

Тема практической работы: провалы напряжения в системах электроснабжения.

Задание: на основании анализа работ, выполненных в области провалов напряжения, оценить их влияние на работоспособность оборудования или прибора.

Исходные данные (учебные): по заданию преподавателя оценивается конкретное оборудование или прибор.

Цель выполнения задания: изучение провалов напряжения на работоспособность оборудования или прибора в системах электроснабжения.

Методические указания по выполнению самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов является обязательной частью образовательного процесса. Наряду с изучением лекционного материала необходимо самостоятельно более подробно рассмотреть указанные в данном пособии темы. Подготовка к практическим занятиям заключается в изучении теоретического материала с использованием учебно-методических пособий, нормативной документации. Только после этого можно приступать к выполнению практических заданий.

После проработки теоретического материала, выполнения практической работы нужно ответить на вопросы для самоконтроля. Ответы должны быть развернутыми, опираться на данные из нормативной документации, дополнительной литературы, материалов исследований и своего опыта.

При освоении данной дисциплины студент должен пройти тестирование. Тестирование проводится на практических занятиях, каждый вариант теста включает в себя 10 вопросов.

Библиографический список

1. Энергосберегающие технологии в системах электроснабжения: учебное пособие для вузов / В.Ф. Белей, А.Ю. Никишин, В.Ф. Паршина, Л. Д Шабалин. Под. ред. А.Ф. Белея. - Калининград: Издательство КГТУ, 2021. – 98с.
2. Управление качеством электроэнергии / И.И. Карташев, В. Н. Тульский, Р.Г. Шамонов т др.; под ред. Ю. В. Шарова. - Москва: Издательский дом МЭИ, 2006. - 320 с.; ил.
3. Жежеленко И.В, Саенко Ю.Л. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. - Москва: Энергоатомиздат, 2000 г. 362 с.
4. Дж. Арриллага, Д. Брэдли, П. Броджер. Гармоники в электрических системах. Москва: Энергоатомиздат, 1990. - 320 с.
5. Кудрин, Б. И. Электроснабжение промышленных предприятий: учеб. для студ. вузов, обучающихся по курсу "Электроснабжение промышленных предприятий"/ Б. И. Кудрин. - Москва: Интернет Инжиниринг, 2005. - 671 с.
6. Промышленная энергетика: ежемес. произв.- техн. журн. / учредитель: Минэнерго России, ОАО "Федеральная сетевая компания ЕЭС", Электроэнергетическая Ассоциация "Корпорация ЕЭЭК", научно-техническая фирма "Энергопрогресс", НП "Научно-технический Совет ЕЭС"; гл. ред.: Цырук Сергей Александрович. - Москва: НТФ "Энергопрогресс", издаётся с 1944.
7. Энергия единой сети: ежемесячный Научно-технический журнал. –Учредитель журнала ПАО «ФСК ЕЭС».
8. ГОСТ 13109-87. Электрическая энергия. Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения.
9. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
10. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. (Введен с 01.07.2014).
11. The standard BS EN50160:2010 “Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks - 34p.

Приложение А.

Типовые контрольные вопросы по темам дисциплины

1. Что понимается под электромагнитной совместимостью?
2. Дать определение понятия качества электрической энергии?
3. Показатели и нормы качества электрической энергии.
4. В чем заключается физические аспекты «Идеальное качество электроэнергии»?
5. Нормирование отклонения частоты.
6. Нормирование медленных изменений напряжения.
7. Колебания напряжения и фликер: показатели и их нормирование.
8. Несинусоидальность напряжения: показатели и их нормирование.
9. Несимметрия трехфазной системы: коэффициенты несимметрии напряжений по обратной последовательности и по нулевой последовательностям; их нормирование.
10. Случайные события в системах электроснабжения: прерывания напряжения, провалы напряжения и перенапряжения, импульсные напряжения
11. Влияние отклонения напряжения на работу сетей, электроприемников.
12. Влияние колебаний напряжения на работу сетей, электроприемников.
13. Влияние несинусоидальности напряжения на работу сетей, электроприемников.
14. Влияние несимметричной нагрузки на напряжения на работу сетей, трансформаторов.
15. Эксплуатационный контроль показателей качества электроэнергии.
16. Методы снижения медленных отклонений напряжения в системах электроснабжения.
17. Методы снижения колебаний напряжения в системах электроснабжения.
18. Методы снижения несинусоидальности напряжения в системах электроснабжения.
19. Методы снижения несимметрии напряжения в системах электроснабжения

Локальный электронный методический материал

Белей Валерий Феодосиевич

КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Редактор И. В. Голубева

Уч.-изд. л. 1,2. Печ. л. 1,0.

Издательство федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»
236022, Калининград, Советский проспект, 1