

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

Б. Л. Геллер

СИЛОВАЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины
для студентов магистратуры по направлению подготовки
13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2023

УДК 621.314 (076)

Рецензент

кандидат технических наук, доцент кафедры энергетики ФГБОУ ВО
«Калининградский государственный технический университет»

И. Е. Кажекин

Геллер, Б. Л.

Силовая преобразовательная техника: учеб.-методич. пособие по изучению дисциплины для студ. магистратуры по направлению подгот. 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника, профиль «Электроснабжение» / **Б. Л. Геллер.** – Калининград: ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. – 25 с.

Учебно-методическое пособие содержит методические рекомендации по изучению дисциплины «Силовая преобразовательная техника» и указания по выполнению контрольной работы.

Список лит. – 4 наименования

Учебно-методическое пособие рекомендовано к изданию в качестве локального электронного методического материала для использования в учебном процессе методической комиссией Института морских технологий, энергетики и строительства 22.02.2023 г., протокол № 06

УДК 621.314 (076)

© Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Калининградский государственный
технический университет», 2023 г.
© Геллер Б. Л., 2023 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Содержание дисциплины.....	6
2. Указания по изучению дисциплины.....	8
3. Методические указания по выполнению самостоятельной работы	10
4. Методические указания по выполнению контрольной работы.....	13
5. Контроль освоения дисциплины.....	23
Заключение.....	24
Библиографический список	24

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Силовая преобразовательная техника» является составной частью модуля «Технологии преобразования и потребления электроэнергии» образовательной программы 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника».

Целью изучения дисциплины является формирование у обучающихся теоретических знаний о принципах действия, методах расчета и практическом использовании силовых полупроводниковых устройств в электроэнергетике.

Основные задачи дисциплины:

- формирование у обучающихся понятий о сущности физических процессов, лежащих в основе работы силовых полупроводниковых устройств;
- понимание роли и функций преобразовательной техники в процессах генерации и преобразования электрической энергии, в повышении качества электроэнергии, в энергосбережении;
- обучение методам анализа и расчета процессов в электротехнических системах и устройствах силовыми полупроводниковыми преобразователями.

При изложении дисциплины предполагается знание студентами теоретических основ электротехники и основ электроники.

В соответствии с требованиями основной профессиональной образовательной программы магистратуры по направлению подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника», обучаемые должны:

Знать:

- основные направления, тенденции и перспективы развития преобразовательных устройств;
- методы математического описания электромагнитных процессов в полупроводниковых преобразователях электроэнергии;
- характеристики, области применения, современные принципы построения, элементную базу и схемотехнические решения полупроводниковых преобразователей электроэнергии.

Уметь:

- ставить задачи исследования, анализа и разработки объектов силовой преобразовательной техники;
- проектировать электроэнергетические объекты с использованием полупроводниковых преобразователей электроэнергии.

Владеть:

- основными теоретическими и экспериментальными методами, используемыми в передовых направлениях силовой преобразовательной техники;
- методами расчета, моделирования и исследования электромагнитных процессов, протекающих в полупроводниковых преобразователях электроэнергии.

Дисциплина изучается в течение 5 семестра. Трудоемкость дисциплины 2 ЗЕТ (72 ч).

Контроль текущей успеваемости студентов осуществляется по результатам защиты отчетов по лабораторным работам.

Критерии оценки текущей успеваемости:

Оценка «зачтено» выставляется, если студент активно работает над выполнением задания на лабораторную работу, и показывает при этом глубокое овладение лекционным материалом, самостоятельно выполняет задания, знает расчетные соотношения, грамотно формирует отчет по лабораторной работе.

Оценка «не зачтено» выставляется в случае, когда студент не выполняет задания на лабораторную работу, не знает теоретический материал, не понимает постановки задачи, допускает грубые ошибки в расчетной части, существенно нарушает требования к содержанию отчета.

Форма аттестации по дисциплине – зачет.

В учебно-методическом пособии содержатся:

- перечень разделов и тем, изучаемых в дисциплине;
- указания по изучению дисциплины;
- методические указания по выполнению самостоятельной работы;

- методические указания по выполнению самостоятельной работы;
- библиографический список;
- сведения о контроле освоения дисциплины.

1. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1 Тематический план лекционных занятий:

Введение

Цели и задачи дисциплины, ее место и значение в подготовке квалифицированных технических кадров для электроэнергетики. Содержание дисциплины, источники информации. Области применения и задачи, решаемые средствами энергетической электроники.

Предусмотрены занятия лекционного типа (лекции).

Рекомендуемая литература: [1, с. 3–4], [2, с. 11–16].

Тема 1. Элементная база энергетической электроники

Общее понятие о силовых полупроводниковых приборах. Область безопасной работы, методы формирования траектории переключения. Основные разновидности силовых полупроводниковых приборов, их характеристики, параметры, конструктивное исполнение, особенности применения, современные тенденции развития.

Предусмотрены занятия лекционного типа (лекции).

Рекомендуемая литература: [1, с. 5–45], [2, с. 17–93, 119–146], [3, с. 7–36], [4, с. 416–429].

Тема 2. Выпрямители

Схемотехника неуправляемых и управляемых выпрямителей. Электромагнитные процессы при различных видах нагрузки. Коммутация в выпрямителях, внешние характеристики. Гармонический состав выпрямленного напряжения и тока сети. Энергетические показатели выпрямителей.

Предусмотрены занятия лекционного (лекции) и семинарского (лабораторные занятия) типов.

Рекомендуемая литература: [1, с. 46–89], [2, с. 211–261], [3, с. 36–164], [4, с. 430–435].

Тема 3. Ведомые инверторы

Принцип работы ведомого инвертора, типовые схемотехнические решения. Электромагнитные процессы в ведомых инверторах. Основные характеристики и режимы работы ведомого инвертора.

Предусмотрены занятия лекционного типа (лекции).

Рекомендуемая литература: [1, с. 90–99], [2, с. 261–277], [4, с. 430–438].

Тема 4. Реверсивные преобразователи

Режимы работы и схемотехника реверсивных преобразователей. Управление реверсивными преобразователями.

Предусмотрены занятия лекционного типа (лекции).

Рекомендуемая литература: [1, с. 100–103], [3, с. 165–177].

Тема 5. Автономные инверторы

Принципы работы автономных инверторов, их классификация. Схемотехника однофазных и трехфазных инверторов. Автономные инверторы с широтно-импульсной модуляцией.

Предусмотрены занятия лекционного (лекции) и семинарского (лабораторные занятия) типов.

Рекомендуемая литература: [1, с. 104–114], [2, с. 346–383].

Тема 6. Преобразователи частоты

Классификация и принципы построения преобразователей частоты. Непосредственные и двухзвенные преобразователи частоты.

Предусмотрены занятия лекционного типа (лекции).

Рекомендуемая литература: [1, с. 115–120], [2, с. 278–285, 393–414].

Тема 7. Применение устройств энергетической электроники в электроэнергетике.

Передача электроэнергии постоянным током. Управление мощностью в сетях переменного тока. Повышение качества электроэнергии. Полупроводниковые преобразователи электроэнергии в системах электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии.

Предусмотрены занятия лекционного типа (лекции).

Рекомендуемая литература: [1, с. 121–133], [2, с. 552–578], [4, с. 373–394, 402–415, 441–461].

1.2 Тематический план лабораторных работ

Лабораторные работы выполняются в аудитории, оснащенной персональными компьютерами. Форма проведения лабораторных работ – моделирование устройств энергетической электроники в среде программы Multisim.

Темы лабораторных работ:

Лабораторная работа 1. Исследование неуправляемых выпрямителей.

Лабораторная работа 2. Исследование управляемых выпрямителей.

Лабораторная работа 3. Исследование внешней характеристики выпрямителя.

Лабораторная работа 4. Исследование автономного инвертора.

2. УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

При изучении дисциплины студентам целесообразно выполнять следующие рекомендации.

1. Главным условием для успешного освоения дисциплины «Силовая преобразовательная техника» является хорошее знание теоретических основ электротехники. Особенное значение приобретают такие разделы как «Периодические несинусоидальные токи в линейных электрических цепях» и «Нелинейные электрические цепи переменного тока», так как работа силовых полупроводниковых ключей предопределяет несинусоидальные процессы и нелинейный характер нагрузки.

2. Для понимания процессов в устройствах энергетической электроники совершенно необходимо знание основных типов силовых полупроводниковых тиристоров. Помимо таких основных сведений как предельные параметры, входные, проходные и выходные характеристики, следует уяснить преимущественные области применения приборов, их частотные свойства, перегрузочную способность, методы защиты и схемы защитных цепей, влияние режимов эксплуатации на нагрев и методы охлаждения.

3. Особенность заочной формы обучения, проходящей в основном в режиме самоподготовки, без непосредственного участия преподавателя, предполагает самостоятельное изучение дисциплины, работу со справочной литературой, выполнение, оформление и защиту контрольной работы, подготовку ко всем видам текущего контроля и промежуточной аттестации. Для хорошего усвоения материала нужна систематическая работа с учебной и методической литературой. Нельзя приступать к изучению последующих разделов, не усвоив предыдущих. Для теоретической подготовки следует использовать только рекомендованные, проверенные временем и изданные в авторитетных издательствах учебники и учебные пособия.

4. Сложные разделы полезно законспектировать, при этом излагая материал своими словами, что способствует лучшему пониманию и запоминанию. Рекомендуется также самостоятельно проделать вывод основных соотношений, что не представит принципиальной проблемы, так как используются типовые математические преобразования.

5. При изучении теоретических вопросов и расчетных методов главное внимание следует уделять разбору физических процессов, происходящих в цепях преобразовательных устройств. Совершенно необходимо научиться правильно воспроизводить временные диаграммы напряжения и токов в характерных точках цепей базовых преобразовательных устройств.

6. Учитывая, что магистратура предполагает получение более углубленных знаний и навыков, чем программа бакалавриата, а также готовит студента к научно-исследовательской деятельности, не следует ограничиваться

только учебниками и учебными пособиями. Необходимо ознакомиться с современными достижениями науки и технологии в области силовой преобразовательной техники по журналам и научно-техническим сборникам. В качестве таковых рекомендуются журналы «Силовая электроника», «Практическая силовая электроника», «ЭЛЕКТРО. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность», отдельные тематические выпуски журнала «Электроника: наука, технологии, бизнес».

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

3.1 Общие положения о самостоятельной работе

Самостоятельная работа студентов – выполняемая студентами в аудиторное и внеаудиторное время учебная деятельность, методически организованная преподавателем, без его непосредственного участия. Самостоятельная работа студентов является обязательной неотъемлемой частью образовательного процесса.

Цели самостоятельной работы:

- систематизация, углубление, расширение и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений и навыков обучающихся;
- формирование умений использовать нормативную, справочную документацию, учебную и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности, творческой инициативы, самостоятельности, ответственности, организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, совершенствованию и самоорганизации;
- формирование профессиональных компетенций;
- развитие исследовательских умений.

Самостоятельная работа студентов в данной дисциплине реализуется в виде внеаудиторной самостоятельной работы – планируемой учебной

деятельности студентов, выполняемой ими вне аудиторных занятий, самостоятельно, по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия. Внеаудиторная самостоятельная работа включает следующие формы:

- подготовка к лекциям;
- подготовка к лабораторным занятиям;
- конспектирование источников;
- работа с электронными ресурсами;
- чтение учебной литературы, конспектов лекций;
- подготовка и написание контрольной работы;
- подготовка к промежуточной аттестации.

Задачи преподавателя по организации самостоятельной работы студента заключаются в следующем:

- информирование о разделах дисциплины, которые будут изучены самостоятельно;
- информирование о формах самостоятельной работы, сроках выполнения и формах контроля;
- разработка и выдача заданий для самостоятельной работы;
- проведение консультаций по вопросам выполнения заданий;
- контроль хода выполнения и результатов самостоятельной работы.

Контроль самостоятельной работы студентов осуществляется в процессе изучения дисциплины, а также в период проведения текущих консультаций. Используются следующие формы контроля самостоятельной работы:

- устные опросы;
- проверка отчетов по лабораторным работам;
- проверка контрольной работы;
- проведение промежуточной аттестации.

3.2 Методические рекомендации по отдельным формам самостоятельной работы

Самостоятельная работа с литературой

Самостоятельная работа с учебниками, книгами, статьями является частью познавательной деятельности. Ее цель – извлечение из текста необходимой информации. От того насколько осознана читающим собственная внутренняя установка при обращении к источнику (найти нужные сведения, усвоить информацию полностью или частично, критически проанализировать материал и т.п.) во многом зависит эффективность обучения.

Выделяют четыре основные установки в чтении специальной литературы:

- информационно-поисковая (найти, выделить искомую информацию);
- усваивающая (усилия читателя направлены на то, чтобы как можно полнее осознать и запомнить как сами сведения, излагаемые автором, так и всю логику его рассуждений);
- аналитико-критическая (читатель стремится критически осмыслить материал, проанализировав его, определив свое отношение к нему);
- творческая (создает готовность в том или ином виде использовать суждения автора, ход его мыслей, дополнить их, подвергнуть проверке).

Основным видом систематизированной записи прочитанного является конспектирование – краткое и последовательное изложение содержания прочитанного. Конспект позволяет всесторонне охватить содержание материала. Читая и конспектируя тот или иной раздел источника, необходимо твердо усвоить основные определения электрических величин и понятий, те закономерности, которыми определяется связь и зависимость одних величин от других. Формулировки основных законов и методику вывода их математических выражений надо знать на память.

Особенно настоятельно рекомендуется выполнять рукописное изложение пройденного материала ходе изучения сложных вопросов: записать в тетрадь определения, выводы формул, начертить схемы, графики. Хорошим методом контроля усвоения материала являются ответы на вопросы для самопроверки.

Подготовка к лабораторным занятиям

При подготовке к лабораторному занятию обучающемуся необходимо изучить лекционный материал по заданной теме, рекомендованные основную и

дополнительную литературу; запомнить определения базовых понятий по выполняемой работе; соотнести теоретический материал по осваиваемой теме с теоретическим материалом по ранее изученным темам изучаемой дисциплины; также выполнить задания, рекомендованные для самостоятельного решения при подготовке к занятию.

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

4.1 Задачи контрольной работы

Задачей контрольной работы является обучение студентов основным методам расчета характеристик силовых полупроводниковых преобразователей на примере наиболее характерного устройства – выпрямителя. При выполнении контрольной работы студенты закрепляют теоретические знания практическим выполнением расчетов, развивают навыки самостоятельной работы, формируют умение использовать техническую литературу, справочную и нормативную документацию.

4.2 Содержание контрольной работы

Тема контрольной работы – расчет управляемого выпрямителя, работающего на активно-индуктивную нагрузку. В задании на работу указываются следующие данные.

- схема выпрямления;
- линейное напряжение сети переменного тока U_1 ;
- номинальное выпрямленное напряжение U_n ;
- параметры нагрузки: активное сопротивление R_d и индуктивность L_d ;
- заданное значение угла управления α_3 для построения внешней характеристики, временных диаграмм и для расчета пульсаций;
- допустимый коэффициент пульсации тока нагрузки k_p ;

Контрольная работа должен включать следующие элементы:

- титульный лист;
- задание на контрольную работу;
- расчет параметров и выбор силового трансформатора;
- расчет и построение регулировочной характеристики;
- расчет и построение внешних характеристик выпрямителя для углов управления $\alpha = 0$ и $\alpha = \alpha_3$;
- построение временных диаграмм работы выпрямителя с учетом коммутации для углов управления $\alpha = 0$ и $\alpha = \alpha_3$;
- определение гармонического состава напряжения нагрузки, расчет и выбор сглаживающего дросселя, обеспечивающего заданный коэффициент пульсаций при $\alpha = \alpha_3$;
- расчет тока, потребляемого из сети;
- выбор тиристор.

4.3 Указания по выполнению работы

4.3.1. Выбор трансформатора и определение его параметров

По исходным данным определяется номинальная мощность нагрузки P_n , определяемая при угле отпирания тиристор $\alpha = 0$. По значению P_n с некоторым запасом, обусловленным потерями в тиристорах, соединительных проводах и контактных соединениях, выбирается номинальная мощность трансформатора из стандартного ряда, предусмотренного ГОСТ 9680-77. Далее по мощности выбирается конкретная модель трансформатора, и определяются его параметры: напряжение короткого замыкания и потери короткого замыкания. Может быть выбран любой соответствующий расчетам трансформатор по справочной литературе, каталогам фирм или иным источникам. При выборе трансформатора не следует ориентироваться на конкретные напряжения вторичных обмоток, так как трансформаторы для промышленного применения обычно изготавливаются под заказ на произвольные напряжения. для выбранного трансформатора

По номинальному выпрямленному напряжению определяется требуемое вторичное напряжение трансформатора. Рассчитанное значение увеличивается с учетом возможного снижения напряжения сети и потерь. Согласно ГОСТ 32144-2013, допускается снижение напряжения до уровня 90% от номинального. Запас на потери рекомендуется установить 5%.

Используя значения напряжения короткого замыкания трансформатора u_k , и мощности потерь короткого замыкания P_k , определяем активное и индуктивное сопротивления фазы трансформатора, приведенные к первичной обмотке. Для трехфазных трансформаторов следует учесть, что в справочных данных указывается суммарная мощность потерь трех фаз.

4.3.2. Построение регулировочной характеристики

Регулировочная характеристика строится для номинального напряжения сети. Необходимо задаться несколькими значениями угла управления α , для каждого из которых рассчитывается выпрямленное напряжение U_d . Диапазон углов α берется из условия регулирования выходного напряжения до нуля. Расчет ведется для режима, близкого к режиму холостого хода, т.е. не учитываются потери и явление коммутации. Далее строится зависимость $U_d = f(\alpha)$.

4.3.3. Построение внешних характеристик

Внешние характеристики $U_d = f(I_d)$ строятся по выражениям, представленным в разделе 2.8 издания [1]. Необходимое значение L_s определяется из индуктивного сопротивления фазы, приведенного к вторичной обмотке трансформатора. Внешняя характеристика выпрямителя при $\alpha = 0$ ограничивается значением тока I_d , при котором угол коммутации $\gamma = \pi/3$. Внешняя характеристика при $\alpha = \alpha_z$ строится в этом же диапазоне токов. Выражения, связывающие угол коммутации с током, приведены в том же разделе 2.8.

4.3.4 Построение временных диаграмм

Временные диаграммы напряжения на нагрузке строятся для номинального режима при $\alpha = 0$ и при $\alpha = \alpha_3$. Диаграммы строятся с учетом явления коммутации.

4.3.5 Расчет пульсации тока нагрузки и выбор сглаживающего дросселя

Пульсации тока нагрузки при ее активно-индуктивном характере определяются первой гармоникой выпрямленного напряжения. Поэтому вначале в соответствии с [3, п. 2.7] определяется амплитуда первой гармоники выпрямленного напряжения для заданного угла управления: α_3 . При этом явление коммутации не учитывается. Далее рассчитывается амплитуда пульсаций тока I_{1m} и определяется коэффициент пульсации тока как отношение I_{1m} / I_d . Если полученное значение коэффициента пульсации тока больше заданного, рассчитывается индуктивность дополнительного дросселя, включаемого между выпрямителем и нагрузкой.

4.3.6 Расчет тока, потребляемого из сети

Принимаем, что ток нагрузки выпрямителя идеально сглажен, а интервал коммутации достаточно мал. Необходимо привести временную диаграмму и определить действующее значение первичного тока трансформатора.

4.3.7 Выбор тиристоров

Выбор тиристоров следует проводить исходя из режима максимального тока нагрузки $I_{d, \max}$, то есть при максимально возможном входном напряжении $1,1U_1$ и $\alpha = 0$. Порядок выбора следующий:

1) По известному току $I_{d, \max}$ определяются среднее значение тока тиристора.

2) По среднему значению тока предварительно выбирается тиристор. Из технических справочников, промышленных каталогов или иной документации производителя выписываются его основные параметры, определяющие выбор данного прибора.

3) По максимальному обратному напряжению, которое может быть приложено к тиристорам в рассчитываемом выпрямителе, выбирается класс

тиристора по напряжению. Для повышения надежности работы тиристоров их обычно выбирают с некоторым запасом по напряжению.

4.3.8 Требования к изложению материала работы

Материал в контрольной работе следует излагать ясно, конкретно, технически и стилистически грамотно. Должны применяться стандартизованные или общепринятые научно-технические термины. Не допускается применять обороты разговорной речи, произвольные словообразования, технический жаргон. Необходимо стремиться к разумной краткости. Не допускается переписывание общеизвестных положений, воспроизведение больших объемов сведений теоретического или справочного характера с целью наращивания объема работы. В то же время изложение должно быть достаточно подробным для того, чтобы было понятно, какой вопрос рассматривается, откуда взята информация, какие параметры рассчитываются, какие получены результаты.

Все этапы работы должны быть четко обозначены в тексте. При проведении расчетов и выборе элементов рекомендуется предварять каждый очередной этап вступительными словами, например: "Рассмотрим ...", "Выполним расчет ...", "Произведем выбор ...".

Каждая структурная часть текста должна иметь заголовок, кратко и точно отражающий главное содержание раздела, подраздела. Часть текста, выделенная с помощью заголовка, должна быть достаточно содержательной. Не допускается выделять заголовком расчет одной величины или выбор отдельного элемента, занимающие несколько строк. Нельзя обособлять фрагменты текста с помощью неявных заголовков, выделяя их с помощью жирного шрифта, или подчеркивания, или вообще без выделения.

Следует избегать использования личных местоимений. Взамен выражений типа "Я выбрал ...", "Мною получено ..." необходимо использовать выражения "Выбираем ...", "Предлагается ...", "В результате ... получено ...".

4.3.9 Оформление контрольной работы

Работа выполняется в редакторе Microsoft Word на листах формата А4. Форматирование шрифта, абзацев, заголовков и прочих элементов текста должно быть одинаковым по всему документу. Опечатки и незначительные дефекты текста и изображений допускается исправлять вручную.

Первым листом работы является титульный. Номер на этом листе не ставится.

Заголовки разделов записывают прописными буквами с выравниванием по центру без абзацного отступа. Заголовки СОДЕРЖАНИЕ, СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ не нумеруют. Заголовки подразделов записывают строчными буквами с абзацным отступом и выравниванием по ширине или по левому краю.

Заголовки разделов нумеруют арабскими цифрами. Подразделы нумеруются в пределах раздела, их номер состоит из номеров раздела и подраздела, отделенных точкой. Размер и тип шрифта в заголовке должен быть таким же, как в обычном тексте. Полужирное начертание, курсив или подчеркивание заголовков не допускается. Заголовки не должны содержать переносов и сокращения слов. Точки после заголовка и номера не ставят.

Заголовки отделяются друг от друга и от обычного текста пустой строкой или интервалом соответствующего размера. После заголовка на этой же странице должно размещаться не менее двух строк обычного текста, в противном случае заголовки переносят на следующий лист. Для упрощения корректировки текста рекомендуется для всех заголовков установить флажок "Не отрывать от следующего" в диалоговом окне "Абзац" на вкладке "Положение на странице".

Целые числа от нуля до девяти, указывающие количество, должны записываться словами, в остальных случаях – цифрами. Целая часть числа отделяется от дробной только запятой.

Для указания диапазона чисел используют тире или оборот "от ... до ...". Тире не следует ставить, если оно может быть воспринято как знак минус.

При выборе точности представления результатов расчетов необходимо соблюдать общее правило: все цифры любого результата должны быть гарантированы, за исключением цифры младшего разряда, где допускается погрешность в единицу. Рекомендуется при представлении результатов технических расчетов использовать не более трех значащих цифр. Кроме того, необходимо учитывать цель расчета. Например, не следует приводить данные для построения графика с излишними значащими цифрами, если единицу младшего разряда невозможно различить на графике.

Все буквенные обозначения физических величин и параметров должны быть расшифрованы при первом упоминании либо в тексте (например: "выпрямленный ток I_d "), либо в пояснениях под формулой.

Единицы физических величин должны указываться только в системе СИ буквами русского алфавита. Написание единиц физических величин должно соответствовать ГОСТ 8.417. Обозначения единиц (В, кВт) допускается использовать только в сочетании с цифрами, в противном случае указывается наименование единицы (вольт, киловатт). Сокращать наименования единиц, употребляемых без цифр, не допускается. Обозначения единиц набирают прямым шрифтом, точку как знак сокращения не ставят. Между числом и обозначением единицы ставят пробел, за исключением обозначений, поднятых над строкой, например: 380 В; 17 %, 90°. Число и обозначение единицы должны быть в одной строке; чтобы это правило не нарушалось при редактировании текста, рекомендуется использовать неразрывный пробел.

При использовании дефисов (-) и тире (–) необходимо помнить главное правило: дефис ставится между частями одного слова, тире – между словами. Тире выделяется с двух сторон пробелом, за исключением случая, когда используется для обозначения числовых интервалов.

Тире применяется обычно в следующих целях:

– ставится перед словом "это", если сказуемое является существительным в именительном падеже и с помощью этих слов присоединяется к подлежащему;

- используется при расшифровке символов под формулами;
- отмечает пункты маркированного списка (использование дефиса здесь не допускается).

В технических текстах часто используются перечисления. Если позиции перечисления достаточно объемные, их необходимо оформлять в виде маркированного списка. В качестве маркера используется тире с абзацным отступом. Использование в качестве маркеров "красочных" символов вроде ●, ♦, ➤, ✓ не допускается. Каждая позиция начинается со строчной буквы и заканчивается точкой с запятой, последняя позиция заканчивается точкой.

Форматирование текста по всему тексту должно быть одинаковым. Используется шрифт черного цвета Times New Roman, размер 12–14, межзнаковый интервал обычный. Курсив и полужирное начертание обычного текста не допускаются, однако обозначения физических величин и параметров должны набираться курсивом. Вставка текста и формул из других программ не допускается.

Абзацы должны иметь междустрочный интервал 1,5; абзацный отступ 1,25 или 1,27 см (это не распространяется на содержимое таблиц). Необходимо установить в документе запрет висячих строк.

Рисунки должны иметь номер и наименование. Номер рисунка состоит из номера раздела и порядкового номера рисунка в разделе, отделенных точкой. Номер и наименование располагают под рисунком с выравниванием по центру и выполняют по следующей форме:

"Рисунок 2.1 – Внешние характеристики выпрямителя"

При необходимости рисунок поясняется с помощью подрисуночного текста, который располагается по центру между рисунком и его наименованием. Нельзя отрывать наименование рисунка от самого рисунка.

Изображение на рисунках должно быть четким. Линии должны быть хорошо различимы, символы – легко читаться.

На все рисунки должны быть даны ссылки в тексте. Ссылки даются в виде выражений вида: "На рис. 3.2 изображен ... ", "График зависимости ...

предоставлен на рис. 3.2 ... ". Рисунки следует располагать непосредственно после ссылки или на следующей странице.

Графики строят в прямоугольной системе координат, где по оси абсцисс откладывают аргумент, а по оси ординат – функцию. Масштаб графика определяется интервалом изменения величин. Принятая шкала будет легко читаться, если одна клетка масштабной сетки будет соответствовать удобному числу: 1; 2; 5; или этим же числам, умноженным на 10^n , где n – любое целое число, положительное или отрицательное. Масштабы по обеим осям выбираются независимо друг от друга. График получается более наглядным, если основная часть кривой имеет наклон, не слишком отличающийся от 45° . В этом случае наиболее удобно анализировать форму кривой. Кривые должны занимать практически всё поле графика (должно быть соответствие между протяжённостью кривой и размером графика).

Масштаб наносится на осях графика вне его поля в виде равноотстоящих чисел, например: 6; 8; 10 и т. д. Не следует расставлять эти числа слишком густо – достаточно нанести их через 2 или даже через 5 см. Около оси координат необходимо написать обозначение величины и единицу измерения.

Если на один и тот же график наносится несколько линий, то их нужно различать указанием символа величины. Допускается различать линии цветом, пунктиром или различными символами (крупные точки, кружки, треугольники, звёздочки и т. п.); в этом случае пояснение различий должно быть приведено в тексте или в подрисуночной надписи.

Таблицы применяют для наглядного представления больших объемов однотипных данных. В таблице материал располагается в горизонтальных строках и в вертикальных графах (столбцах). Верхняя часть таблицы, где расположены заголовки граф, называется головкой, левая графа, содержащая заголовки строк – боковиком. Рекомендуется ширину таблицы устанавливать равной ширине текста.

Таблица должна иметь номер и наименование, которые располагают над таблицей слева и выполняют по следующей форме:

"Таблица 2.1 – Параметры тиристора ..."

Наименование таблицы располагают на той же странице, что и сама таблица или ее начало. Наименование должно отражать содержание таблицы, быть точным и кратким.

На все таблицы необходимо сделать ссылки в тексте. При ссылке следует писать слово "табл." с указанием ее номера. Таблицу располагают непосредственно после ссылки или на следующей странице.

Данные в таблицу следует помещать так, чтобы избежать многократного повторения одних и тех же записей: обозначения измеряемой величины, единиц измерения и т. п. Если в таблице приводятся значения физических величин, то в заголовках граф указывают единицы измерения. Если все цифровые данные в строке выражены в одних и тех же единицах физических величин, то их указывают в соответствующей строке боковика таблицы.

Заголовки граф и строк таблицы следует писать с прописной буквы в единственном числе, а подзаголовки граф – со строчной буквы, если они составляют одно предложение с заголовком, или с прописной буквы, если они имеют самостоятельное значение. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точки не ставят.

Внешние границы таблицы должны быть показаны линиями. Головка таблицы также должна быть отделена линией. Внутренние границы, отделяющие строки таблицы, допускается не проводить, если их отсутствие не затрудняет пользование таблицей. Разделять заголовки и подзаголовки боковика и граф диагональными линиями не допускается.

Заголовки граф, как правило, записывают параллельно строкам таблицы. При необходимости допускается вертикальное расположение заголовков граф. Допускается применять размер шрифта в таблице меньший, чем в тексте.

Формулы должны располагаться в отдельных строках. Их следует вводить с помощью встроенного в Word средства набора формул. Допускается простые формулы набирать с клавиатуры как текст, если это не нарушает общепринятого начертания.

Формулы должны нумероваться в пределах раздела. Номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы, разделенных точкой, например, (3.1). Номер формулы указывается у правого края строки, а сама формула располагается посередине.

Ссылаться в тексте можно только на формулу, расположенную выше, при этом указывают ее номер в скобках, например: "расчет ведется по формуле (3.1)" или "подставляя значение ... в (3.1), получаем ...".

Пояснения символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, если они не указаны ранее в тексте, должны быть приведены под формулой в той последовательности, в какой они встречаются в формуле. Первая строка пояснения должна начинаться со слова "где" без двоеточия после него и без абзацного отступа. Пояснения каждого символа следует давать с новой строки. При отсутствии пояснений в конце формулы ставится точка.

Пример оформления формулы:

"Внешняя характеристика выпрямителя рассчитывается по выражению

$$U_d = U_{d0} \cos \alpha - \Delta U_x, \quad (3.3)$$

где U_{d0} – выпрямленное напряжение при $\alpha = 0$;

α – угол управления;

ΔU_x – индуктивное падение напряжения."

При использовании формул для расчетов рекомендуется показывать подстановку чисел взамен символов и приводить результат расчета, однако это следует делать не в одной строке с формулой через знак "=", а на отдельной строке под формулой. Такая запись не считается формулой и не нумеруется.

5. КОНТРОЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Аттестация по дисциплине в форме зачета проходит по результатам прохождения всех видов текущего контроля успеваемости. Учитываются результаты выполнения контрольной работы, лабораторных работ, а также тестовых заданий. По зачету выставляется оценка «зачтено» или «не зачтено».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение силовой преобразовательной техники оказывает существенное влияние на протекание электромагнитных процессов в электрических цепях силового промышленного оборудования, и, в результате, на характеристики этого оборудования. Появляется возможность значительного улучшения экономических характеристик нагрузок, качества электроэнергии, управляемости оборудования. Все рассматриваемые в ходе изучения дисциплины преобразовательные устройства имеют как самостоятельное применение в электроприводе, электротехнологии, энергетике, так и могут использоваться в составе сложных промышленных комплексов. В перспективе применение силовых преобразовательных устройств в энергетике будет возрастать, что обуславливает потребность в специалистах магистерского уровня, способных к анализу и исследованию сложных процессов в системах электроснабжения современного уровня.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Геллер, Б.Л. Энергетическая электроника: учебное пособие. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2020. – 137 с.
2. Розанов, Ю.К. Силовая электроника: учебник для вузов / Ю.К. Розанов, М.В. Рябчицкий, А.А. Кваснюк. 2е изд., стереотипное. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2009. – 632 с.
3. Полупроводниковые выпрямители. Под ред. Ф. И. Ковалева и Г. П. Мостковой. – Москва: Энергия, 1978. – 448 с.

4. Основы современной энергетики: учебник для вузов: в 2 т. / под общ. ред. Е.В. Аметистова. – 5-е изд., стер. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2010. Том 2. Современная электроэнергетика / под ред. А.П. Бурмистрова и В.А. Строева. – 362 с.

Локальный электронный методический материал

Борис Львович Геллер

СИЛОВАЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Редактор И. Голубева

Локальное электронное издание

Уч.-изд. л. 1,6. Печ. л. 1,6.

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