

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

**Б. Л. Геллер**

## **СИЛОВАЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА**

Учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ  
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 выполнению лаб. работ для студ. магистратуры по напр. подгот. 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника / **Б. Л. Геллер.** – Калининград: ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. – 17 с.

Учебно-методическое пособие является руководством по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Силовая преобразовательная техника» для студентов магистратуры по направлению подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

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 № 6

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
Лабораторная работа № 1. Исследование неуправляемых выпрямителей ...	7
Лабораторная работа № 2. Исследование управляемых выпрямителей .....	8
Лабораторная работа № 3. Исследование внешней характеристики выпрямителя .....	10
Лабораторная работа № 4. Исследование автономного инвертора .....	11
Приложение А Требования к отчету по лабораторному занятию.....	12

## ВВЕДЕНИЕ

Целью освоения дисциплины «Силовая преобразовательная техника» 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 с силовыми полупроводниковыми преобразователями.

Целью лабораторного практикума по дисциплине «Силовая преобразовательная техника» является закрепление теоретических знаний, полученных на лекциях при изучении основных видов силовых полупроводниковых преобразователей.

Задачи лабораторного практикума:

- изучение различных типов силовых преобразовательных устройств;
- овладение современными методами исследования электромагнитных процессов в силовых преобразовательных устройствах.

После выполнения лабораторных работ обучаемые должны овладеть следующими знаниями, умениями и навыками:

*Знать:*

- 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 и анализа 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.

Требования к отчету по лабораторной работе приведены в Приложении А.

Лабораторные работы выполняются в форме моделирования силовых преобразовательных устройств на персональных компьютерах. При работе в аудитории, оснащенной персональными компьютерами, необходимо выполнять следующие правила техники безопасности:

1. К работе на компьютерах допускаются студенты, не имеющие медицинских противопоказаний, прошедшие инструктаж по охране труда и технике безопасности, пожарной безопасности, ознакомленные с правилами работы в компьютерном классе.

2. Работа студентов на компьютерах разрешается под непосредственным руководством и наблюдением преподавателя.

3. При работе в компьютерном классе необходимо соблюдать и выполнять правила поведения в кабинете, техники безопасности, пожарной безопасности, охраны труда и требования преподавателя.

4. Работа со съемными носителями информации разрешается только с разрешения преподавателя.

5. Перед началом работы следует внимательно осмотреть свое рабочее место, убедиться в отсутствии видимых неисправностей компьютера, а в случае обнаружения их сообщить преподавателю, самостоятельно неисправности не устранять.

6. Не приступать к работе на компьютере без разрешения преподавателя.

7. После изучения алгоритма выполнения работы, приступить к выполнению задания.

8. Во время занятий нельзя прикасаться к металлическим конструкциям в кабинете (трубам, батареям отопления и т.д.), трогать разъемы соединительных проводов, прикасаться к проводам электропитания, касаться экрана монитора и его задней стенки, работать на клавиатуре влажными руками, класть посторонние вещи на клавиатуру и составные части компьютера.

9. При появлении запаха гари, искрения, посторонних звуков в работе компьютера, немедленно выключить компьютер и сообщить об этом преподавателю.

10. В случае возгорания монитора или электропроводки следует отключить компьютер, (если это невозможно – отключить автоматический выключатель электропитания или выдернуть шнур сетевого питания) и приступить к тушению очага возгорания с помощью имеющихся средств пожаротушения.

11. В случае отказа в работе компьютера, не выключая компьютер сообщить преподавателю.

12. По окончании работы необходимо соблюдать последовательность выключения компьютера:

- произвести закрытие всех активных задач и программ;
- удалить съемные носители информации;
- при наличии соответствующего указания преподавателя программно подготовить и завершить работу с ПК;
- привести в порядок свое рабочее место.

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

## ИССЛЕДОВАНИЕ НЕУПРАВЛЯЕМЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

Целью работы является формирование навыков анализа процессов в неуправляемых выпрямителях, расчета основных параметров выпрямителя и режима работы полупроводниковых ключей.

План проведения занятия:

1. Собрать модель неуправляемого выпрямителя по индивидуальному заданию в программной среде Multisim и запустить процесс моделирования.

Источники переменного напряжения устанавливаются из группы Sources, семейство POWER\_SOURCES. В качестве источника напряжения используется компонент AC\_POWER. Частота источника во всех вариантах устанавливается 50 Гц. Напряжение источника устанавливается таким, чтобы с учетом коэффициента трансформации обеспечить заданную величину  $U_2$ .

Трансформаторы устанавливаются из группы Basic, семейство TRANSFORMER. Имеется множество моделей трансформаторов, отвечающих требованиям задания.

Диоды устанавливаются из группы Diodes, семейство DIODES\_VIRTUAL, компонент DIODE.

Сопротивление нагрузки устанавливается из группы Basic, семейство RESISTOR. Из списка можно выбрать любой нужный номинал резистора, но проще установить номинал по умолчанию (1k – 1 кОм), а затем исправить сопротивление в окне свойств в поле Resistance (R). Величину сопротивления можно вводить в омах или использовать международные обозначения приставок для образования кратных и дольных единиц (M – мега, k – кило, m – милли, u – микро).

2. Зафиксировать с помощью виртуальных измерительных приборов основные параметры процесса: форму выпрямленного напряжения и тока сети, среднее выпрямленное напряжение, максимальный и средний ток диода, максимальное напряжение на запертом диоде.

3. Рассчитать измеренные величины и сравнить с экспериментальными данными.

4. Обобщить результаты эксперимента и дать сравнительную характеристику различных выпрямительных схем.

*Контрольные вопросы:*

1. Указать достоинства и недостатки различных выпрямительных схем.

2. Определить параметры пульсаций выпрямленного напряжения.

3. Провести анализ формы тока, потребляемого из сети.

4. Почему возникает подмагничивание трансформатора в выпрямителях, и каковы пути его устранения?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ УПРАВЛЯЕМЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ**

Целью работы является формирование навыков анализа процессов в управляемых выпрямителях и расчета основных характеристик процесса управления.

План проведения занятия:

1. Собрать модель выпрямителя по индивидуальному заданию в программной среде Multisim и запустить процесс моделирования.

Тиристоры устанавливаются из группы Diodes, семейство SCR. Модель тиристора либо задает преподаватель, либо обучающийся выбирает самостоятельно. В последнем случае необходимо по заданным величинам  $U_2$  и  $R_d$  рассчитать максимальный средний ток тиристора в открытом состоянии и максимальное напряжение в закрытом состоянии. Далее определяются предельные параметры тиристорov, имеющихся в базе данных Multisim, и с некоторым запасом выбирается подходящий прибор.

Для формирования отпирающих импульсов необходимо использовать генератор импульсов тока PULSE\_CURRENT, содержащийся в группе Sources, семейство SIGNAL\_CURRENT\_SOURCES. Для того чтобы генератор

правильно мог выполнять функцию включения тиристора, необходимо в окне его свойств установить следующие параметры: Pulsed value (величина импульса тока); Pulse width (длительность импульса); Period (период напряжения источника); Delay time (время задержки).

Период импульсов при частоте напряжения сети 50 Гц равен 20 мс. Импульсы тока величиной 0,3 А и длительностью 0,1 мс достаточны для включения практически любого тиристора в любой выпрямительной схеме.

Параметр Delay time используется для установки угла управления  $\alpha$ . Для его расчета необходимо следующее:

- выразить требуемое значение  $\alpha$  как интервал времени  $t_\alpha$ , памятуя, что период напряжения сети 20 мс соответствует  $360^\circ$ ;
- определить из анализа данной выпрямительной схемы, какой задержке  $t_{ек}$  относительно нуля соответствует момент естественной коммутации вентиля, который включается первым при  $t > 0$ ;
- рассчитать параметр Delay time как сумму  $t_{ек} + t_\alpha$ ;
- установить рассчитанный параметр для вентиля, который включается первым при  $t > 0$ ;
- анализируя последовательность включения вентиля данной выпрямительной схемы, установить параметр Delay time для всех остальных вентилях.

2. Снять экспериментально регулировочную характеристику, изменяя угол отпирания вентилях. Зафиксировать форму выпрямленного напряжения для ряда значений угла.

3. Рассчитать регулировочную характеристику выпрямителя по исходным данным. Построить экспериментальную и расчетную характеристики и сравнить их. Проанализировать возможные причины несовпадения характеристик.

#### *Контрольные вопросы*

1. Чем определяется диапазон регулирования угла отпирания вентилях?

2. Как зависит гармонический состав выпрямленного напряжения от угла отпирания вентилей?

3. Какие величины характеризуют степень несинусоидальности тока, потребляемого из сети?

4. Как рассчитываются моменты отпирания различных вентилей в многофазных выпрямителях?

### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3**

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВНЕШНЕЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫПРЯМИТЕЛЯ**

Целью работы является формирование навыков анализа процессов в выпрямителе под нагрузкой с учетом коммутации, расчета внешних характеристик выпрямителя.

План проведения занятия:

1. Собрать модель выпрямителя по индивидуальному заданию в программной среде Multisim и запустить процесс моделирования.

2. Зафиксировать и объяснить форму выпрямленного напряжения и тока вентилей.

3. Изменяя сопротивление нагрузки, снять экспериментальную внешнюю характеристику выпрямителя.

4. Рассчитать внешнюю характеристику по исходным данным и сравнить ее с экспериментальной.

*Контрольные вопросы*

1. Методы анализа процесса в выпрямителе на интервале коммутации.

2. От чего зависит длительность интервала коммутации?

3. Как влияет процесс коммутации на форму и величину выпрямленного напряжения?

4. Каковы особенности внешней характеристики для различных выпрямительных схем?

5. Каково влияние явления коммутации на форму тока, потребляемого из сети?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОНОМНОГО ИНВЕРТОРА**

Задание на выполнение работы:

1. Собрать модель автономного инвертора по индивидуальному заданию в программной среде Multisim и запустить процесс моделирования.

2. Зафиксировать и объяснить форму выходного напряжения и входного тока.

3. Определить экспериментально характер внешней характеристики инвертора.

*Контрольные вопросы:*

1. Отличительные особенности автономных инверторов тока и напряжения.

2. Влияние характера нагрузки на выбор типа автономного инвертора и на форму напряжения (тока) нагрузки.

3. Назначение вентилей обратного тока в автономных инверторах.

4. Пояснить способ формирования трехфазного напряжения в автономном инверторе.

5. Способы регулирования выходного напряжения автономных инверторов.

6. Что такое широтно-импульсное регулирование? Какие преимущества оно дает в автономных инверторах?

ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ ПО ЛАБОРАТОРНОМУ ЗАНЯТИЮ

**А.1 Форма отчета по лабораторному занятию**

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»  
Институт морских технологий, энергетики и строительства  
Кафедра энергетики

Лабораторная работа № \_\_\_\_  
по дисциплине «Силовая преобразовательная техника»

---

(название работы)

Выполнил

студент группы \_\_\_\_\_

---

(Фамилия И.О.)

---

(Подпись, дата)

Проверил

---

(должность, Фамилия И.О.)

Калининград, 20\_\_

Задание на лабораторную работу

.....

Содержание выполненных работ

.....

Выводы

.....

## **А.2 Требования к оформлению отчета**

Отчет о лабораторной работе – документ, который содержит данные о лабораторной работе, описывает ход лабораторной работы, расчеты и результаты, полученные при выполнении работы. Студент несет ответственность за достоверность данных, представленных в отчете. Отчет по лабораторной работе подлежит обязательной проверке, осуществляемой преподавателем кафедры энергетике, и проходит процедуру защиты.

Структурными элементами отчета по лабораторной работе являются:

- титульный лист, являющийся первой страницей отчета и служащий источником информации, необходимой для идентификации документа и автора работы;
- задание;
- содержательная часть, включающая описание процесса выполнения работы с указанием этапов и используемых средств, скриншоты схем моделей и показаний приборов, результаты расчетов, сравнение экспериментальных и расчетных данных;
- выводы по работе.

Отчет по лабораторной работе оформляется в виде файла Microsoft Word формата А4. Необходимость печати бумажного варианта отчета определяет преподаватель.

В отчете по лабораторной работе допускается междустрочный интервал от 1.0 до 1.5, кегль от 12 до 14, выравнивание по ширине, отступ первой строки абзаца 1.25. Цвет шрифта должен быть черным.

Страницы отчета следует нумеровать арабскими цифрами, соблюдая сквозную нумерацию по всему тексту отчета. Номер страницы проставляется внизу каждого листа по центру. Титульный лист включается в общую нумерацию страниц отчета, но номер страницы на титульном листе не проставляется.

Отчет может содержать разделы, которые нумеруются арабскими цифрами.

Текст отчета должен быть изложен кратко, ясно, технически грамотным языком. Из отчета должно быть ясно, какие эксперименты выполнялись на каждом этапе, какие средства использовались и какие получены результаты. Для этого в отчете делаются текстовые пояснения всех этапов, иллюстраций, расчетов и таблиц.

Иллюстрации должны иметь номер и подпись, например, «Рисунок 3 – Осциллограмма выпрямленного напряжения» Подпись располагается внизу рисунка по центру строки.

Изображение должно быть четким, все надписи – легко читаемы. Показания, считываемые с виртуальных приборов и внесенные в отчет, должны быть видны на рисунках. Если в одном и том же эксперименте фиксируется ряд данных (например, при снятии внешней характеристики выпрямителя), на рисунке отображается только одно измерение.

При оформлении графиков необходимо указывать обозначения координатных осей и самих графиков. Если кривые отражают сравнение двух экспериментов или экспериментальных и расчетных данных, их выполняют на одном графике. Масштаб графика отражается интервалом изменения величин. Одна клетка масштабной сетки должна соответствовать числу 1, 2 или 5 (или этим же числам, умноженным на  $10^n$ , где  $n$  – целое число, положительное или отрицательное). Основная часть кривой на графике должна иметь наклон, не

слишком отличающийся от  $45^\circ$ . В этом случае наиболее удобно анализировать форму кривой. Кривые должны занимать практически всё поле графика.

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

Каждая таблица должна иметь номер и название, которые помещаются над таблицей слева без абзацного отступа, например, «Таблица 2 – Внешняя характеристика выпрямителя». Наименование таблицы следует располагать на той же странице, что и сама таблица или ее начало. Наименование должно отражать содержание таблицы, быть точным и кратким.

Данные в таблицу следует помещать так, чтобы избежать многократного повторения одних и тех же записей: обозначения измеряемой величины, единиц измерения, используемых множителей и т. п. Если в таблице приводятся значения физических величин, то в заголовках граф после символьного обозначения физической величины через запятую приводят единицы измерения. Если все цифровые данные в столбце выражены в одних и тех же единицах физических величин, то их указывают в заголовке графы.

Если таблица не помещается на листе, ее допускается переносить на другой лист. В этом случае слово "Таблица", ее номер и наименование указывают один раз над первой частью таблицы, а над другими частями пишут слова "Продолжение таблицы" и указывают ее номер. При делении таблицы на части допускается заголовки граф в продолжении таблицы заменять соответственно номерами граф. При этом нумеруют и графы первой части таблицы.

Таблицы с небольшим количеством граф допускается делить на части и помещать одну часть рядом с другой на одной странице, при этом головку таблицы повторяют. Рекомендуется разделять части таблицы двойной линией или линией двойной толщины.

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.

Формулы следует вводить с помощью встроенных в Word средств. Допускается простые формулы набирать с клавиатуры как текст, если это не нарушает общепринятого начертания.

При использовании формул для расчетов следует показывать подстановку чисел взамен символов и приводить результат расчета. Допускается делать это в одной строке с формулой через знак "=".

Локальный электронный методический материал

Борис Львович Геллер

СИЛОВАЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

*Редактор И. Голубева*

Уч.-изд. л. 1,1. Печ. л. 1,1

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