

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ**

---

**Электропреобразовательные устройства и системы**

**Методические указания  
и контрольные задания**

**Санкт-Петербург**

**2022**

Составитель: канд. техн. наук доц. Смирнов В.М.

Рецензент: д. т. н., профессор Петров П.Н.

Методические указания содержат программу курсов «Электропреобразовательные устройства и системы», «Электропитание устройств и систем». По каждому разделу и темам программы дана литература с указанием страниц и вопросы для самоконтроля.

Приводятся варианты контрольных заданий для самостоятельного решения по тематике основных разделов курса, краткие методические указания и литература. Приводится список лабораторных работ, выполняемых по разделам курса.

Предназначены для студентов заочной формы обучения по направлениям 25.05.03 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования», 11.03.01 «Радиотехника».

Методические указания подготовлены кафедрой №21 «Радиотехнических и оптоэлектронных комплексов» и рекомендованы к изданию редакционно-издательским центром Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Редактор  
Верстальщик

---

Подписано к печати	Формат 60x84 1/16.	Бумага офсетная.
Печать офсетная	Усл. печ. л.	Уч-изд. л.
Тираж 50 экз.	Заказ №	

---

Редакционно-издательский центр ГУАП  
190000, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 67

© Санкт-Петербургский государственный  
университет аэрокосмического  
приборостроения (ГУАП), 2022

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Дисциплины «Электропреобразовательные устройства и системы» и «Электропитание устройств и систем» изучается студентами по направлению подготовки 25.05.03 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования» и 11.03.01 «Радиотехника». Актуальность дисциплин объясняется бурным развитием радиотехники и электроники на основе элементной базы нового поколения. Увеличение быстродействия, надежности и точности, уменьшение энергопотребления, габаритов и стоимости радиоэлектронного оборудования с каждым годом ужесточают требования к электро- преобразовательным устройствам и источникам питания. Техника электропреобразования развивается исключительно быстрыми темпами, базируясь на последних достижениях микросхемотехники, что обязательно должно найти отражение в лекциях. Важной особенностью дисциплины является ее тесная связь с другими дисциплинами радиотехнического цикла и со многими разделами смежных областей науки и техники.

В процессе освоения дисциплин студенты изучают:

- назначение, структуру, параметры и элементную базу вторичных источников электропитания;
- принципы построения, конструкции и характеристики электромагнитных устройств электропитания;
- разновидности, принципы работы и методы расчета выпрямителей;
- сглаживающие фильтры и их разновидности;
- схемы и принципы работы стабилизаторов напряжения и тока;
- принципы построения и работы преобразователей постоянного напряжения;
- вопросы эксплуатации устройств электропитания.

Большое внимание при обучении уделяется ознакомлению студентов с методами измерения параметров питающих напряжений, практической работе с приборами, с принципами построения электронных схем различных блоков электропреобразовательной аппаратуры.

Общей задачей дисциплин является подготовка радиоинженеров широкого профиля, хорошо знающих как принципы электропреобразования и построения электропреобразовательных устройств, их современную элементную базу, так и способных разрабатывать и грамотно эксплуатировать аппаратуру электропитания.

Курс базируется на следующих дисциплинах:

- физика (электричество и магнетизм, физика твердого тела);
- высшая математика;
- электротехника и электроника;
- радиотехнические сигналы;
- радиотехнические цепи;
- электронные и полупроводниковые приборы.

В процессе изучения курса студенты должны выполнить две контрольные работы и две лабораторные работы из приведенного списка. Выполнение контрольных и лабораторных работ способствует закреплению теоретических знаний и подкреплению навыков работы с реальной измерительной аппаратурой. Каждая лабораторная работа защищается теоретически на основании оформленного отчета.

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина обеспечивает подготовку по важным разделам современной радиоэлектроники - принципам построения и эксплуатации устройств электропитания радиоаппаратуры. В соответствии с общими целями подготовки инженеров и научных работников, а также государственным образовательным стандартом по направлению подготовки 25.05.03 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования» и 11.03.01 «Радиотехника». изучение дисциплины должно заложить систему фундаментальных понятий, познакомить с физическими основами преобразования электрических величин, в том числе с выпрямлением, фильтрацией, стабилизацией и инверсией токов и напряжений, дать представление о способах построения и схемных решениях электропреобразовательных устройств.

В результате изучения дисциплины студент должен:

- знать основы теории, принципы функционирования и построения электропреобразовательных устройств;
- производить правильный выбор схемы выпрямительного устройства;
- производить энергетические расчеты всех звеньев источников электропитания;
- использовать современную элементную базу для проектирования источников электропитания.

## 2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Распределение времени по видам занятий приведено в табл. 1.

Таблица 1

25.05.03 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования»								
Номер семестра	Всего часов	Лекции, час	Лабор. работа, час	Практические занятия, час	Самостоятельная работа	Контрольная работа	Зачет	Экзамен
	41	8	6	6		2		Экз
11.03.01 «Радиотехника»								
	56	8	16	8		2	Дифф. зачет	

Раздел 1. Источники электропитания и их элементная база

Тема 1. Введение

Историческое развитие энергетики и преобразовательной техники. Основные понятия и определения устройств и систем электропитания, требования, предъявляемые к ним. Связь курса со смежными дисциплинами. Характеристика одно- и многофазных электросетей.

Объем в часах:

Лекционные занятия – 0,5

Самостоятельная работа - 2

Литература [2, сс. 4-9. 198-212]

*Вопросы для самопроверки*

1. Основные этапы развития электроэнергетики и систем электропитания.
2. Основные тенденции развития устройств электропитания.
3. Назначение основных функциональных блоков систем электропитания.

## Тема 2. Первичные источники электропитания

Структура, классификация, основные параметры и требования, предъявляемые к источникам электропитания на фотоэлементах, термоэлементах, атомных элементах. Аккумуляторы. Устройство, принцип действия, характеристики, область применения, вопросы эксплуатации первичных источников электропитания.

Объем в часах:

Лекционные занятия - 1

Самостоятельная работа - 4

Литература [2, сс. 9-19; 4, сс. 3-4]

### *Вопросы для самопроверки*

1. Принципы получения электрической энергии.
2. Разновидности первичных источников электропитания и области их применения.
3. Типы и параметры аккумуляторов.

## Тема 3. Вторичные источники электропитания

Общая характеристика и параметры. Типовые структуры вторичных источников электропитания, их классификация. Элементная база электропреобразовательных устройств: полупроводниковые диоды, тиристоры и транзисторы. Их параметры, разновидности, режимы работы и особенности применения.

Объем в часах:

Лекционные занятия - 1

Самостоятельные занятия - 6

Литература [2, сс. 46-69; 3, сс. 11-29; 4, сс.-12]

### *Вопросы для самопроверки*

1. Какие требования предъявляются к вторичным источникам электропитания?
2. Основные параметры вторичных источников электропитания.
3. Обобщенная структурная схема вторичного источника электропитания.
4. Типы применяемых вентилях и их особенности.
5. Особенности ключевого режима работы транзистора.

## Тема 4. Электромагнитные устройства электропитания

Трансформаторы: назначение, принцип действия и устройство. Классификация. Применяемые ферромагнитные материалы. Режимы работы: холостой ход, рабочий режим. Специальные типы трансформаторов: автотрансформаторы, трансформаторы статических преобразователей, трансформаторы тока. Основы расчета.

Объем в часах:

Лекционные занятия - 1

Самостоятельные занятия - 6

Литература [1, сс. 6-28; 2, сс. 19-40, 4, сс.12-16]

### *Вопросы для самопроверки*

1. Типы конструкций трансформаторов.
2. Что такое габаритная мощность трансформатора?
3. Основные виды потерь в трансформаторе.
4. Какие материалы применяются при изготовлении магнитопровода и в каких случаях?
5. Что трансформирует трансформатор?

## Раздел 2. Узлы устройств электропитания

### Тема 5. Выпрямители

Параметры управляемых и неуправляемых вентилях. Работа неуправляемого вентиля на активную, индуктивную, активно-емкостную нагрузку. Умножители напряжения. Однофазные и многофазные схемы выпрямления. Управляемые выпрямители. Основы расчета выпрямительных устройств.

Объем в часах:

Лекционные занятия - 1

Самостоятельные занятия - 6

Литература [1, сс. 65-107; 2, сс. 69-104; 4, сс.17-36]

#### *Вопросы для самопроверки*

1. Какие выпрямители называются одноктактными, а какие - двухтактными?
2. Как управляется тиристор?
3. Почему умножители напряжения на емкостях являются маломощными?
4. Как определяется частота пульсаций для любой схемы выпрямления?

### Тема 6. Сглаживающие фильтры

Назначение, параметры и разновидности, сглаживающих фильтров. Требования, предъявляемые к сглаживающим фильтрам, выбор элементов фильтра. Многозвенные фильтры. Активные фильтры.

Объем в часах:

Лекционные занятия - 1

Самостоятельные занятия - 4

Литература [1, сс. 108-116, 183-185; 2, сс. 107-123; 3, сс. 191-202; 4, 37-43]

#### *Вопросы для самопроверки*

5. Что такое коэффициент пульсаций?
6. Условия выбора индуктивности и конденсатора в LC-фильтрах.
7. Когда используются RC-фильтры и почему?
8. На чем основана работа компенсационных фильтров?

### Тема 7. Стабилизаторы напряжения и тока

Назначение, классификация, структурные схемы. Качественные и энергетические параметры. Параметрические стабилизаторы постоянного и переменного напряжения: параметры, расчетные соотношения, область применения. Компенсационные стабилизаторы постоянного напряжения с непрерывным регулированием: схемы с последовательным и параллельным включением регулирующего элемента. Компенсационные стабилизаторы с импульсным регулированием, компенсационные стабилизаторы с непрерывно-импульсным регулированием.

Объем в часах:

Лекционные занятия - 1

Самостоятельные занятия - 10

Литература [1, сс. 152-207; 2, сс. 130-162; 4, сс. 44-87]

#### *Вопросы для самопроверки*

1. Как определяются коэффициенты стабилизации по напряжению и току?
2. Перечислить основные и второстепенные дестабилизирующие факторы.

3. Методы температурной стабилизации.
4. Достоинства и недостатки стабилизаторов напряжения с непрерывным и импульсным регулированием.
5. Где и с какой целью применяется ШИМ?
6. Что такое релейный импульсный элемент?

#### Тема 8. Преобразователи постоянного напряжения

Назначение, классификация, область применения. Транзисторные преобразователи с самовозбуждением: схемы, принцип действия. Транзисторные преобразователи с внешним возбуждением. Резонансные преобразователи. Потери в элементах преобразователя, выбор оптимальной частоты. Стабилизирующие источники электропитания с бестрансформаторным входом.

Объем в часах:

Лекционные занятия - 1

Самостоятельные занятия - 8

Литература [1, сс. 208-260; 2, сс. 163-195; 4, сс. 88-95]

#### *Вопросы для самопроверки*

1. Что такое инвертор? Разновидности инверторов.
2. Какие требования предъявляются к ключам в преобразователях?
3. Принцип действия двухтактного преобразователя.
4. Особенности тиристорных инверторов.
5. Цепи запуска в бестрансформаторных источниках.

#### Тема 9. Эксплуатация устройств электропитания

Электромагнитная совместимость источников электропитания и радиоэлектронного оборудования. Методы подавления помех: экранирование и помехоподавляющие фильтры. Вопросы резервирования и надежности в системе электропитания. Техничко-экономическое сравнение различных систем электропитания. Обоснование и рекомендации по выбору структуры системы электропитания.

Объем в часах:

Лекционные занятия – 0,5

Самостоятельные занятия - 4

Литература (5, сс. 77-79; 14, сс. 446-530; 4, сс. 100-102]

#### *Вопросы для самопроверки*

1. Виды помех и способы их подавления.
2. Параметры и материалы экранов.
3. Что такое унификация и функционально-модульная структура?
4. Какие меры увеличивают надежность работы вторичных источников электропитания?
5. Перечислить факторы, определяющие тепловой режим аппаратуры.

### **3. ТЕМЫ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ.**

Практическое занятие является одной из основных форм организации учебного процесса, заключающаяся в выполнении обучающимися под руководством преподавателя комплекса учебных заданий с целью усвоения научно-теоретических основ учебной дисциплины, приобретения умений и навыков, опыта творческой деятельности.

Целью практического занятия для обучающегося является привитие обучающимся умений и навыков практической деятельности по изучаемой дисциплине.

Планируемые результаты при освоении обучающимся практических занятий:

- закрепление, углубление, расширение и детализация знаний при решении конкретных задач;
- развитие познавательных способностей, самостоятельности мышления, творческой активности;
- овладение новыми методами и методиками изучения конкретной учебной дисциплины;
- выработка способности логического осмысления полученных знаний для выполнения заданий;
- обеспечение рационального сочетания коллективной и индивидуальной форм обучения.

Темы семинарских занятий, предусмотренных учебным планом приведены в таблице 2.

Таблица 2

№ п/п	Наименование темы семинара	Трудоемкость, (час)	№ раздела дисциплины
1.	Трансформаторы	1	1
2.	Управляемые выпрямители	1	1
3.	Многозвенные фильтры	1	1
4.	Сетевые фильтры	1	1
5.	Бесперебойные источники электропитания	1	2
6.	Бестрансформаторные источники электропитания.	1	2
7.	Аккумуляторы	1	2
8.	Гальванические элементы	1	2
9.	Солнечные батареи	1	2
10.	Термоисточники напряжения, элемент Пельтье	1	2
11.			
12.			

#### 4. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Целью выполнения лабораторных работ (табл. 3) является закрепление у студентов знаний, полученных в результате прослушивания теоретического курса и является неотъемлемой частью изучения дисциплины, определяемой учебным планом.

Выполнение и оформление лабораторных работ обучающимися должно обеспечить решение следующих основных задач:

- приобретение навыков исследования процессов, явлений и объектов, изучаемых в рамках данной дисциплины;
- закрепление, развитие и детализация теоретических знаний, полученных на лекциях;
- получение новой информации по изучаемой дисциплине;
- приобретение навыков самостоятельной работы с лабораторным оборудованием и приборами.

Выполнение лабораторных работ состоит из экспериментально-практической и расчетно-аналитической частей. Наименование лабораторных работ, разделы дисциплин приведены в таблице 3.

Методические указания для подготовки к выполнению лабораторных работ приведены, требования к оформлению отчета приведены в [6] и изложены на сайте ГУАП <http://guap.ru/standart/doc>.

Таблица 3

№ п/п	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, (час)	№ раздела дисциплины
1	Исследование однофазных схем выпрямления и сглаживающих фильтров	2	1, 2
2	Исследование многофазных схем выпрямления	2	1, 2
3	Исследование параметрических стабилизаторов постоянного напряжения и тока	2	1, 2
4	Исследование автокомпенсационного стабилизатора постоянного напряжения с непрерывным регулированием	2	2
5	Исследование автокомпенсационного стабилизатора постоянного напряжения с импульсным регулированием	2	2
6	Исследование тиристорных преобразователей	2	1, 2

## 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

По курсу «Электропреобразовательные устройства и системы» необходимо выполнить две контрольные работы. Выбор варианта производится по последней цифре студенческого билета. Студенты с номером студенческого билета, оканчивающимся на 0, выполняют 10-й вариант задания. Оформление контрольных работ должно соответствовать требованиям университета в соответствии <http://guap.ru/standart/doc>.

### Контрольная работа №1

Расчёт схем выпрямления и сглаживающих фильтров

В контрольной работе необходимо ответить на теоретический вопрос и рассчитать электрическую схему. При ответе на теоретический вопрос необходимо, если это требуется, привести принципиальные схемы и временные диаграммы работы. При расчёте элементов схемы необходимо расшифровка обозначений в формулах.

Вариант 1

1. Описать работу однофазного двухтактного выпрямителя (мостовая схема) при работе на индуктивную нагрузку. Привести временные диаграммы работы схемы.

2. Нарисовать схему и рассчитать простейший однополупериодный выпрямитель без фильтра для выпрямления синусоидального напряжения  $U = 220$  В с помощью кремниевых диодов КД202Д.

Электрические параметры диодов.  $U_{пр} = 0,9$  В,  $I_{пр} = 5$  А,  $I_{обр} = 0,8$  мА (при  $U_{обр.max}$ ),  $U_{обр.max} = 140$  В. Коэффициент нагрузки диодов по напряжению принять равным  $K_H = 0,8$ .

#### Вариант 2

1. Описать работу однофазного двухтактного выпрямителя (мостовая схема) при работе на емкостную нагрузку. Привести временные диаграммы работы схемы.

2. Нарисовать схему и рассчитать простейший выпрямитель на диодах КД202Д, чтобы выпрямленный ток  $I_{\text{выпр}}$  был равен 10 А.

Электрические параметры диодов.  $U_{\text{пр}} = 0,9$  В,  $I_{\text{пр}} = 5$  А,  $I_{\text{обр}} = 0,8$  мА (при  $U_{\text{обр.мах}}$ ),  $U_{\text{обр.мах}} = 140$  В. Коэффициент нагрузки диодов по току принять равным  $K_{\text{н}} = 0,8$ .

#### Вариант 3

1. Объяснить работу параметрического стабилизатора постоянного тока. Причины температурной нестабильности и пути ее устранения.

2. Нарисовать схему и выбрать диоды для однофазного двухтактного мостового выпрямителя, если сопротивление нагрузочного резистора  $R_{\text{н}} = 110$  Ом, выпрямленный ток  $I_{\text{выпр}} = 1$  А. Рассчитать коэффициент трансформации и мощность трансформатора, подключенного к сети напряжением  $U_{\text{вк}} = 220$  В.

#### Вариант 4

1. Объяснить работу схемы параметрического стабилизатора напряжения.

2. Нарисовать схему однофазного двухтактного мостового выпрямителя. Определить среднее значение напряжения на нагрузке, обратное напряжение диодов и амплитуду пульсаций напряжения нагрузки, если напряжение на вторичной обмотке трансформатора  $U_2 = 10$  В. Входное напряжение синусоидальной формы, падением напряжения в диодах пренебречь.

#### Вариант 5

1. По функциональным схемам пояснить работу автокомпенсационного стабилизатора напряжения с последовательным и параллельным включением регулирующего элемента.

2. Выбрать, нарисовать схему и рассчитать простой сглаживающий фильтр (индуктивный или емкостный) для однофазного двухтактного мостового выпрямителя для получения коэффициента пульсаций напряжения нагрузки  $K_{\text{п.вых}} = 0,01$  при двух значениях сопротивления нагрузки:  $R_{\text{н}} = 10$  Ом и  $R_{\text{н}} = 1$  кОм. Рассчитать коэффициент сглаживания фильтра. Частота питающей сети  $f_c = 50$  Гц.

#### Вариант 6

1. Объяснить принцип работы защиты от перегрузки по току в автокомпенсационных стабилизаторах напряжения.

2. Нарисовать схему и рассчитать П-образный LC-фильтр для однофазного мостового выпрямителя с сопротивлением нагрузки  $R_{\text{н}} = 110$  Ом для обеспечения коэффициента пульсаций выходного напряжения  $K_{\text{п.вых}} = 0,01$ . Рассчитать коэффициент сглаживания фильтра. Частота питающей сети  $f_c = 50$  Гц.

#### Вариант 7

1. Нарисовать и описать работу схемы умножения напряжения на пять.

2. Нарисовать схему параметрического стабилизатора напряжения и рассчитать сопротивление балластного резистора  $R_6$ , выполненного на кремниевом стабилитроне КС210Ж. Входное напряжение изменяется от  $U_{\text{мин}} = 13$  В до  $U_{\text{мах}} = 19$  В. Сопротивление нагрузочного резистора  $R_{\text{н}} = 1,8$  кОм. Будет ли обеспечена стабилизация во всем диапазоне изменения входного напряжения? Рассчитать коэффициент стабилизации.

#### Вариант 8

1. Объяснить принцип работы импульсного стабилизатора постоянного напряжения. Работу пояснить временными диаграммами.

2. Нарисовать схему и определить средние значения выпрямленного напряжения однофазного двухтактного управляемого выпрямителя, если угол управления тиристором  $\alpha_1 = 45^\circ$ ,  $\alpha_2 = 90^\circ$ ,  $\alpha_3 = 135^\circ$ . Амплитуда входного напряжения  $U_m = 311$  В. Начертить временные диаграммы выпрямленного напряжения.

#### Вариант 9

1. Объяснить принцип работы транзисторных инверторов постоянного напряжения.

2. Нарисовать схему трехфазного мостового управляемого выпрямителя (схема Ларионова) и найти выходное напряжение при углах управления  $\alpha_1 = 15^\circ$  и  $\alpha_2 = 75^\circ$  для активной и индуктивной нагрузки, если линейное напряжение вторичной обмотки трансформатора  $U_2 = 100$  В, соединение вторичной обмотки - звезда. Начертить временные диаграммы выпрямленного напряжения.

#### Вариант 10

1. Объяснить работу параметрического стабилизатора постоянного напряжения с эмиттерным повторителем. Причины температурной неустойчивости и пути ее устранения.

2. Нарисовать схему однофазного однотактного регулируемого преобразователя переменного напряжения на симисторе и найти действующее значение напряжения на нагрузке  $U_n$ , если напряжение питающей сети  $U_1 = 220$  В, угол управления симистора  $\alpha = \pi/2$ . Нарисовать временные диаграммы.

### Контрольная работа №2

#### Расчет стабилизированного источника питания

Произвести электрический расчет всех элементов и начертить принципиальную схему стабилизированного источника питания. Источник работает от сети переменного тока с напряжением  $U_c = 220$  В и частотой 50 Гц. Изменения напряжения сети возможны в пределах  $\pm 10\%$  от номинального значения. Выходное напряжение  $U_0$ , ток нагрузки  $I_0$ , коэффициент неустойчивости по входному напряжению  $K_U$  и выходное сопротивление стабилизатора  $R_{вых}$  являются исходными данными для расчета и приведены в табл. 4. Неустойчивость  $U_0$  не более 5%. Рассчитать схему защиты от перегрузки и короткого замыкания. Значения максимально допустимого тока  $I_{max}$  приведены в таблице 4.

#### Рекомендации по выбору и расчету элементов схемы

За основу рекомендуется взять схему источника электропитания, в которую входят последовательно соединенные силовой трансформатор, мостовой выпрямитель, Г-образный LC-фильтр и линейный стабилизатор напряжения.

В качестве силового трансформатора целесообразно применить типовой трансформатор серии ТПП, удовлетворяющий заданным напряжению и мощности [13].

Методика расчета выпрямителя, сглаживающего фильтра и линейного стабилизатора может быть позаимствована из учебника [1]. В схеме мостового выпрямителя могут быть использованы как отдельные полупроводниковые диоды, так и диодные микросборки [14]. Линейный стабилизатор рациональнее выполнить на базе интегральных микросхем типа К142ЕН1, К142ЕН2 или К142ЕН4 [14, 15]. Расчет внешних цепей стабилизатора рассмотрен в [1].

Таблица 4

Номер варианта	$U_0$ , В	$I_0$ , А	Ток перегрузки $I_{max}$ , А	$K_U$ , %	$R_{вых}$ , Ом
1	+5	3	3,3	<1	< 0.025
2	+6	2	2,3	< 0.8	< 0.03
3	+9	1.5	1,8	< 1	< 0.025
4	+12	1.2	1,5	< 1	<0.025
5	+5	1,5	1,8	< 0.5	< 0.03
6	+6	1	1,2	<0.5	<0.04
7	+9	0.8	1,0	< 0.5	< 0.05
8	+12	0.8	1,1	<0.8	< 0.05
9	+24	0.8	1,0	< 0.5	< 0.03
10	+24	0.5	0,8	< 0.3	< 0.05

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

### *Основная*

1. *Иванов-Цыганов А. И.* Электропреобразовательные устройства РЭС. М.: Высшая школа, 1991. 272 с.
2. *Электропитание устройств связи: Учебник для вузов/ Под ред. Ю.Д. Козляева.* М.: Радио и связь, 1998. 328 с.
3. *Руденко В. С., Сенько В. И., Чиженко И. М.* Основы преобразовательной техники. М.: Высшая школа, 1980. 430 с.
4. *Филатов В.Н., Смирнов В.М.* Электропитание устройств и систем. Учебное пособие. СПб.: ГУАП. 2021. 105 с.
5. *Смирнов В. М., Федоренко В. Н.* Электропреобразовательные устройства РЭС: Учебное пособие. СПб.: ГУАП. 2004. 80 с.
6. *Смирнов В.М., Филатов В.Н.* Электропреобразовательные устройства РЭС: Методические указания к выполнению лабораторных работ 1-6. / СПб.: ГУАП. 2014. 38 с.
7. *Китаев В. Е., Бокуняев А.А., Колпаков М. Ф.* Расчет источников электропитания устройств связи. М.: Радио и связь, 1993. 260 с.
8. *Силовая электроника: учебник для вузов / Ю. К. Розанов и др.* М.: Издательский дом МЭИ, 2007. 632 с.

### *Дополнительная*

9. *Полянин К. И.* Интегральные стабилизаторы напряжения. М.: Энергия, 1979. 190 и.
10. *Электропитание устройств и систем телекоммуникаций: учебное пособие для вузов / В.М. Бушуев и др.* М.: Горячая линия-Телеком, 2011. 384 с.
11. *Костиков В. Г., Парфенов Е. А., Шахнов В. А.* Источники электропитания электронных средств. Схемотехника и конструирование: учебник для вузов . М.: Телеком, 2001. 388 с.
12. *Левинзон С. В.* Защита в источниках электропитания РЭА. М.: Радио и связь, 1990. 168 с.
13. *Малогобаритные трансформаторы и дроссели: Справочник/ И И Сидоров и др.* М.: Радио и ей язь, 1985. 414 о.
14. *Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры: Справочник / Под ред. Г.С. Найвельта.* М.: Радио и связь, 1985.576с.
15. *Аналоговые интегральные схемы: Справочник / Под ред. А. Л. Булычева:* Минск, 1993. 382 с.