

**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 однократными, 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].

Номер варианта	U_0 , В	I_0 , А	Ток пере- грузки 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. *Малогабаритные 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.