



А. И. Паньчев, С. С. Гарматюк  
А. А. Ваганова, К. В. Марков

# Устройства электропитания радиоэлектронных средств

учебное пособие



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерно-технологическая академия

**А. И. ПАНЫЧЕВ**  
**С. С. ГАРМАТЮК**  
**А. А. ВАГАНОВА**  
**К. В. МАРКОВ**

## **УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ**

*Учебное пособие*

Ростов-на-Дону – Таганрог  
Издательство Южного федерального университета  
2021

УДК 621.396.6(075.8)+621.311.6(075.8)

ББК 32.844я73

П168

*Печатается по решению кафедры антенн и радиопередающих устройств  
Института радиотехнических систем и управления  
Южного федерального университета  
(протокол № 16 от 19 апреля 2021 г.)*

**Рецензенты:**

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры встраиваемых и радиоприемных систем Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета *В. С. Плаксиенко*

кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник АО «Научно-конструкторское бюро вычислительных систем» *С. Г. Грищенко*

**Паньчев, А. И.**

П168      Устройства электропитания радиоэлектронных средств : учебное пособие / А. И. Паньчев, С. С. Гарматюк, А. А. Ваганова, К. В. Марков ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2021. – 383 с.

ISBN 978-5-9275-3991-8

Рассмотрены физические принципы работы, свойства, параметры и характеристики основных функциональных узлов, входящих в состав устройств электропитания радиоэлектронных средств и систем: дросселей, трансформаторов, выпрямителей, сглаживающих фильтров, регуляторов, преобразователей напряжения, первичных источников электрической энергии, электрических машин, а также вопросы электропитания объектов телекоммуникаций, электромагнитной совместимости и защиты устройств электропитания.

Учебное пособие содержит описание цикла компьютерных лабораторных работ по имитационному схемотехническому моделированию источников вторичного электропитания в Multisim. Список литературы способствует повышению эффективности самостоятельной работы студентов.

Пособие соответствует образовательным программам высшего образования: программам бакалавриата 11.03.01 Радиотехника, 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи и программам специалитета 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы, 11.05.02 Специальные радиотехнические системы, 11.05.04 Инфокоммуникационные технологии и системы специальной связи.

УДК 621.396.6(075.8)+621.311.6(075.8)

ББК 32.844я73

ISBN 978-5-9275-3991-8

© Южный федеральный университет, 2021

© Паньчев А. И., Гарматюк С. С.,  
Ваганова А. А., Марков К. В., 2021

© Оформление. Макет. Издательство  
Южного федерального университета, 2021

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	8
ВВЕДЕНИЕ .....	11
1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ .....	13
1.1. Основные определения .....	13
1.2. Основные отличия электропреобразовательных и радиоэлектронных устройств .....	17
1.3. Состав электропреобразовательных устройств .....	19
1.4. Виды преобразования электрической энергии .....	21
1.5. Классификация ИВЭП .....	23
2. ФЕРРОМАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ .....	25
2.1. Свойства ферромагнитных материалов .....	25
2.2. Потери энергии в ферромагнитном материале .....	28
2.3. Выбор материала магнитопровода дросселей и трансформаторов .....	30
3. ДРОССЕЛИ .....	32
3.1. Назначение, классификация и устройство дросселей .....	32
3.2. Расчет тока и индуктивности дросселя .....	35
3.3. Индуктивность дросселя с зазором в сердечнике .....	44
3.4. Индуктивность дросселя при подмагничивании сердечника ...	45
3.5. Эквивалентные схемы дросселей .....	47
3.6. Принцип действия магнитных усилителей .....	49
4. ТРАНСФОРМАТОРЫ .....	51
4.1. Назначение и классификация трансформаторов .....	51
4.2. Устройство и принцип действия обмоточных трансформаторов .....	52
4.3. Электрический расчет трансформатора .....	54
4.4. Эквивалентные схемы и правила пересчета параметров трансформатора .....	60
4.5. Режимы работы сердечника трансформатора .....	65

---

4.6. Характеристики трансформатора .....	68
4.7. Оценка параметров эквивалентной схемы трансформатора ....	71
4.8. Трансформаторы специальных типов .....	75
4.9. Проектирование и расчет трансформаторов .....	81
5. ВЫПРЯМИТЕЛИ .....	83
5.1. Назначение, структурная схема и классификация выпрямителей .....	83
5.2. Параметры выпрямителей .....	84
5.3. Характеристики и параметры электрических вентилях .....	85
5.4. Схемы и свойства неуправляемых выпрямителей без фильтра	88
5.5. Выпрямители напряжения прямоугольной формы .....	96
5.6. Выпрямители с умножением напряжения .....	100
6. СГЛАЖИВАЮЩИЕ ФИЛЬТРЫ .....	102
6.1. Назначение, параметры и классификация сглаживающих фильтров .....	102
6.2. Пассивные сглаживающие фильтры .....	103
6.3. Активные сглаживающие фильтры .....	106
6.4. Схемы и свойства неуправляемых выпрямителей с емкостным фильтром .....	109
6.5. Схемы и свойства неуправляемых выпрямителей с индуктивным фильтром .....	116
6.6. Расчет параметров простых пассивных сглаживающих фильтров .....	121
6.7. Электрический расчет выпрямителя с емкостным сглаживающим фильтром .....	124
6.8. Переходные процессы в выпрямителе с фильтром .....	128
7. РЕГУЛЯТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ И ТОКА .....	129
7.1. Назначение и классификация регулирующих устройств .....	129
7.2. Управляемые электрические вентилях .....	130
7.3. Регуляторы на стороне переменного тока .....	135
7.4. Регуляторы на стороне постоянного тока .....	141
7.5. Управляемые выпрямители .....	142
8. СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ И ТОКА .....	156

---

8.1. Назначение, параметры и классификация стабилизаторов .....	156
8.2. Параметрические стабилизаторы .....	160
8.3. Структурные схемы компенсационных стабилизаторов напряжения .....	172
8.4. Компенсационные линейные стабилизаторы .....	175
8.5. Компенсационные импульсные стабилизаторы .....	184
9. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ .....	202
9.1. Классификация и параметры преобразователей .....	202
9.2. Назначение и принцип действия инверторов .....	203
9.3. Транзисторные инверторы .....	204
9.4. Тиристорные инверторы .....	215
9.5. Конверторы .....	217
9.6. Преобразователи частоты .....	220
9.7. Способы снижения уровня помех преобразователей .....	221
9.8. Защита элементов преобразователей от перенапряжений .....	223
10. СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ И ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА ИСТОЧНИКОВ ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ .....	226
10.1. Типовые структурные схемы ИВЭП .....	226
10.2. Корректор коэффициента мощности .....	229
10.3. Элементная база источников электропитания .....	230
11. ПЕРВИЧНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ .....	238
11.1. Назначение и классификация первичных источников энергии .....	238
11.2. Химические источники тока .....	238
11.3. Преобразователи неэлектрических видов энергии в электрическую .....	248
12. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ .....	254
12.1. Назначение и классификация электрических машин .....	254
12.2. Электрические машины постоянного тока .....	255
12.3. Электрические машины переменного тока .....	256
12.4. Включение трехфазного электродвигателя в однофазную сеть .....	258
12.5. Специальные электрические машины .....	258

---

12.6. Микродвигатели и информационные микромашины .....	259
13. ИСТОЧНИКИ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ .....	262
13.1. Назначение, классификация и параметры источников бесперебойного электропитания .....	262
13.2. Сравнительная оценка источников бесперебойного электропитания .....	263
14. ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ СИСТЕМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ .....	267
14.1. Общие вопросы электропитания систем телекоммуникаций .....	267
14.2. Системы первичного электропитания систем телекоммуникаций .....	270
14.3. Системы вторичного электропитания систем телекоммуникаций .....	274
14.4. Электропитание систем спутниковой связи и вещания .....	283
14.5. Электропитание абонентского оборудования систем телекоммуникаций .....	286
15. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ .....	289
15.1. Проблема электромагнитной совместимости .....	289
15.2. Источники и классификация электромагнитных помех .....	290
15.3. Средства подавления электромагнитных помех .....	292
16. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ .....	298
16.1. Правила выполнения имитационных лабораторных работ в Multisim .....	298
16.2. Лабораторная работа № 1. Широкополосный трансформатор .....	309
16.3. Лабораторная работа № 2. Неуправляемые выпрямители .....	322
16.4. Лабораторная работа № 3. Управляемые выпрямители .....	336
16.5. Лабораторная работа № 4. Стабилизаторы постоянного напряжения и тока с непрерывным регулированием .....	345
16.6. Лабораторная работа № 5. Импульсные преобразователи и стабилизаторы постоянного напряжения .....	356

*Оглавление*

---

ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	371
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ .....	372
СПИСОК ЛИТРЕРАТУРЫ .....	375