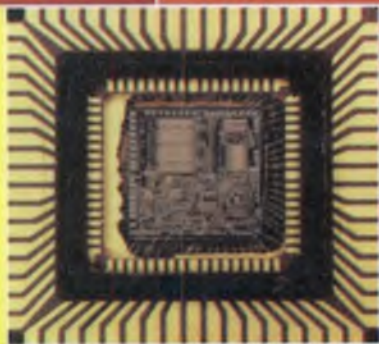


Высшее профессиональное образование

Ю. К. Розанов  
Е. М. Соколова

# ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Учебное пособие



Электротехника

Ю. К. РОЗАНОВ, Е. М. СОКОЛОВА

# **ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

*Допущено*

*Учебно-методическим объединением по образованию в области энергетики и электротехники в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям 551300, 654500 «Электромеханика, электротехника и электротехнологии»*

Москва



УДК 681.527.7  
ББК 65.304.15я73  
Р64

**Рецензенты:**

старший научный сотрудник ВЭИ им. В. И. Ленина,  
канд. техн. наук *Н. Г. Алферов*;  
зав. кафедрой «Электротехнические и электронные аппараты»  
ЧТУ им. И. Н. Ульянова, доц., канд. техн. наук *Е. Г. Егоров*

**Розанов Ю. К.**

**Р64**      **Электронные устройства электромеханических систем: Учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений / Ю. К. Розанов, Е. М. Соколова. — М.: Издательский центр «Академия», 2004. — 272 с.**

**ISBN 5-7695-1365-9**

Рассматриваются принцип действия, основные характеристики, области безопасной работы, способы управления и защиты силовых полупроводниковых приборов, особенности работы трансформаторов, реакторов и конденсаторов в силовых электронных устройствах, типовые узлы систем управления в силовой электронике. Излагаются современные методы управления параметрами электромеханических систем с электрическими машинами постоянного и переменного токов посредством силовых электронных преобразователей и регуляторов параметров электрической энергии.

Для студентов вузов электротехнических специальностей. Может быть полезно инженерно-техническим работникам в сфере силовой электроники и электротехники.

УДК 681.527.7  
ББК 65.304.15я73

**ISBN 5-7695-1365-9**

© ~~Розанов Ю. К.~~, Соколова Е. М., 2004  
© Издательский центр «Академия», 2004

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	3
-------------------	---

## ЧАСТЬ I

### СИЛОВЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА

<b>Глава 1. Основные элементы силовых электронных устройств .....</b>	<b>5</b>
1.1. Общие сведения об электронных ключах .....	5
1.1.1. Определения и классификация .....	5
1.1.2. Основные виды силовых электронных ключей .....	12
1.1.3. Модули и сравнение силовых электронных ключей ..	28
1.2. Элементная база и типовые узлы систем управления .....	33
1.2.1. Общие сведения о системах управления .....	33
1.2.2. Интегральные микросхемы .....	36
1.2.3. Формирователи импульсов управления .....	38
1.2.4. Микропроцессоры в системах управления .....	42
<b>Глава 2. Выпрямители .....</b>	<b>49</b>
2.1. Общие сведения .....	49
2.1.1. Принцип выпрямления .....	49
2.1.2. Основные параметры выпрямителей .....	52
2.1.3. Классификация выпрямителей .....	55
2.1.4. Регулирование выходного напряжения выпрямителей .....	56
2.2. Основные схемы выпрямления .....	58
2.2.1. Принимаемые допущения .....	58
2.2.2. Однофазные схемы .....	59
2.2.3. Трехфазная мостовая схема .....	64
2.2.4. Сравнение схем выпрямления .....	68
2.3. Характеристики выпрямителей и их связь с режимами работы .....	69
2.3.1. Гармонический состав выпрямленного напряжения и входных токов .....	69
2.3.2. Коммутация токов и внешние характеристики выпрямителей .....	73
2.3.3. Энергетические характеристики и способы их улучшения .....	77
<b>Глава 3. Инверторы и преобразователи частоты .....</b>	<b>82</b>
3.1. Инверторы, ведомые сетью .....	82

3.1.1. Общие сведения об инвертировании и принципах действия инвертора, ведомого сетью .....	82
3.1.2. Основные характеристики инверторов, ведомых сетью .....	88
3.2. Автономные инверторы .....	90
3.2.1. Общие сведения .....	90
3.2.2. Принцип действия и основные характеристики автономных инверторов .....	94
3.2.3. Регулирование и обеспечение синусоидальности выходного напряжения автономных инверторов .....	99
3.3. Преобразователи частоты .....	105
3.3.1. Общие сведения .....	105
3.3.2. Преобразователи частоты с непосредственной связью .....	106
3.3.3. Преобразователи частоты с промежуточным звеном постоянного тока .....	109
<b>Глава 4. Преобразователи постоянного тока .....</b>	<b>112</b>
4.1. Общие сведения .....	112
4.2. Импульсный преобразователь с прямой передачей энергии .....	115
4.3. Импульсные преобразователи с передачей накапливаемой энергии .....	123
4.3.1. Импульсный преобразователь с параллельным ключом .....	123
4.3.2. Импульсный преобразователь с параллельным индуктивным накопителем .....	126

## ЧАСТЬ II

### ПРИМЕНЕНИЕ СИЛОВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ В ЭЛЕКТРОМЕХАНИКЕ

<b>Глава 5. Управление двигателями постоянного тока .....</b>	<b>129</b>
5.1. Тиристорные преобразователи в электромеханических системах .....	129
5.2. Основные уравнения и режимы работы двигателей постоянного тока независимого возбуждения .....	130
5.3. Схемы однофазного преобразователя с двигателем постоянного тока независимого возбуждения .....	133
5.4. Трехфазный управляемый преобразователь с двигателем постоянного тока независимого возбуждения .....	141
5.5. Импульсные системы регулирования постоянного тока .....	147
<b>Глава 6. Управление асинхронными двигателями .....</b>	<b>156</b>
6.1. Асинхронный двигатель с тиристорным регулятором напряжения .....	156

6.2. Импульсное регулирование скорости асинхронных двигателей с применением тиристоров .....	163
6.3. Асинхронный вентильный каскад .....	170
6.4. Частотное управление асинхронными двигателями .....	179
6.4.1. Законы частотного управления .....	179
6.4.2. Преобразовательные устройства для частотно-регулируемых электромеханических систем .....	184
6.5. Векторное управление асинхронным двигателем .....	186
<b>Глава 7. Управление синхронными машинами .....</b>	<b>193</b>
7.1. Системы возбуждения синхронных машин .....	193
7.1.1. Общие сведения .....	193
7.1.2. Электромашинная система возбуждения с управляемыми статическими выпрямителями .....	193
7.1.3. Тиристорные системы самовозбуждения .....	195
7.1.4. Бесщеточный возбудитель .....	197
7.1.5. Система самовозбуждения синхронного генератора, использующая энергию третьей гармоники магнитного поля .....	199
7.2. Частотное регулирование угловой скорости синхронных двигателей .....	200
7.2.1. Законы регулирования .....	200
7.2.2. Электромеханические системы с синхронными двигателями .....	204
7.2.3. Области применения разновидностей синхронных двигателей для регулируемых систем .....	209
7.3. Шаговые двигатели .....	211
7.3.1. Принцип действия и основные свойства шагового двигателя .....	211
7.3.2. Конструкции шаговых двигателей .....	216
7.4. Вентильные электрические двигатели .....	219
7.4.1. Принцип действия .....	219
7.4.2. Основные уравнения и характеристики ВД .....	224
7.4.3. Области применения вентильных двигателей .....	225
7.4.4. Вентильные реактивные двигатели .....	227
7.4.5. Вентильные генераторы .....	228
<b>Глава 8. Работа двигателей переменного тока при несинусоидальном источнике питания .....</b>	<b>232</b>
8.1. Гармоники магнитодвижущей силы (МДС) в воздушном зазоре двигателя .....	232
8.2. Особенности работы двигателей при несинусоидальной форме кривой напряжения .....	236
8.3. Гармоники токов .....	238
8.4. Потери в обмотках статора и ротора при несинусоидальном питании .....	240

8.5. Потери в стали двигателя от высших гармоник .....	241
8.6. Гармонические составляющие момента двигателя .....	243
8.7. Особенности проектирования частотно-управляемых асинхронных двигателей .....	244
8.8. Особенности конструкции синхронных двигателей при питании от преобразователей частоты .....	250
8.9. Некоторые особенности расчета синхронных двигателей .....	251
<b>Глава 9. Исследование электромеханических систем с полупроводниковыми преобразователями .....</b>	<b>256</b>
9.1. Общие сведения .....	256
9.2. Моделирование системы тиристорный регулятор напряжения — асинхронный двигатель с использованием логических функций .....	257
9.3. Моделирование двигателя постоянного тока в программе MATLAB (Simulink) .....	260
Список литературы .....	265