

И.О. Тукалов, Т.Ю. Кунченко

ЭЛЕМЕНТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Часть первая

Управляемые преобразователи
электрической энергии для
электроприводов

Министерство образования и науки Украины

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

И. О. Тукалов,
Т. Ю. Кунченко

**ЭЛЕМЕНТЫ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

Учебно-методическое пособие

Часть первая:
УПРАВЛЯЕМЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ
ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Харьков
НТУ «ХПИ»
2019

Рекомендовано Ученым советом НТУ «ХПИ», протокол №6 от 24.05.2019 г.

Рецензенты:

Б. И Кузнецов, д-р техн. наук, проф зав. отделом проблем управления магнитным полем Института технических проблем магнетизма НАН Украины,
Д. Г. Колушко, к.т.н, ст.н.с. каф. автоматизированных электромеханических систем НТУ «ХПИ»

Коллектив авторов

Тукалов И. О., канд. техн наук, доцент кафедры автоматизированных электромеханических систем НТУ «ХПИ»;
Кунченко Т. Ю., канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизированных электромеханических систем НТУ «ХПИ»

Тукалов И. О.

Т 81 Элементы автоматизированного электропривода Часть первая: управляемые преобразователи энергии для электроприводов: учебно-методическое пособие / И. О. Тукалов, Т. Ю. Кунченко – Харьков: НТУ «ХПИ», 2019 – 204 с.

ISBN 978-966-303-733-2

ISBN 978-966-303-734-9

Рассмотрены общие принципы построения, элементная база, характеристики и параметры силовых преобразователей электрической энергии для современных систем автоматизированного электропривода. Описано их назначение и перспективы развития. Приведены схемо-технические решения силовых цепей и основных узлов внутренних систем управления преобразователей постоянного и переменного тока. Особое внимание уделено физическим процессам и математическому описанию преобразователей.

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов обучающихся по направлению «Электроэнергетика, электротехника и электромеханика», иностранных студентов и аспирантов высших учебных заведений, а так-же, может быть полезно инженерно-техническим работникам, занимающимся разработкой и эксплуатацией современных систем автоматизированного электропривода.

Розглянуто загальні принципи побудови, елементну базу, характеристики та параметри силових перетворювачів електричної енергії для сучасних систем автоматизованого електропривода. Описано їх призначення та перспективи розвитку. Наведено схемо-технічні рішення силових кіл та основних вузлів внутрішніх систем керування перетворювачів постійного та змінного струму. Особлива увага приділена фізичним процесам та математичному опису перетворювачів.

Навчально-методичний посібник призначено для студентів, що навчаються за напрямом «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», іноземних студентів та аспірантів вищих навчальних закладів, може бути корисним для інженерно-технічних працівників, які займаються створенням та застосуванням сучасних систем автоматизованого електропривода.

УДК 621.314.26

ISBN 978-966-303-733-2
ISBN 978-966-303-734-9

© И. О. Тукалов, Т. Ю. Кунченко, 2019.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
1. ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА.....	5
1.1 Понятие и классификация элементов.....	5
1.2 Понятие о координатах. Координаты электропривода. Основные координаты элементов.....	8
1.3 Входные и выходные сопротивления элемента.....	15
1.4 Формирование характеристик с помощью обратной связи по выходной координате.....	16
1.5 Классификация силовых управляемых преобразователей электрической энергии.....	20
2. ГЕНЕРАТОРЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА.....	23
2.1. Принцип работы, конструктивные особенности и основные характеристики генераторов.....	23
2.2. Учет нелинейности кривой намагничивания генератора.....	29
2.3. Форсировка возбуждения генератора.....	30
2.4. Дефорсирование переходных процессов в генераторе.....	37
3. ВЕНТИЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ.....	42
3.1 Принципы устройства управляемых вентильных преобразователей.....	43
3.2. Физика процесса выпрямления тока.....	56
3.3. Статические характеристики управляемого вентильного преобразователя.....	69
3.4. Уравнительные токи.....	83
3.5. Динамические характеристики силовой схемы преобразователя.....	94
3.6. Системы импульсно-фазового управления (СИФУ).....	97
3.7. Динамические свойства преобразователя в целом.....	109

3.8. Аварийные режимы вентильного преобразователя.....	111
3.9. Защита вентильных преобразователей.....	116
3.10. Энергетические показатели вентильных преобразователей.....	121
4. ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ (ШИП).....	131
4.1. Принцип устройства, законы коммутации и основные характеристики ШИП.....	131
4.2. Силовые схемы ШИП.....	137
4.3. Широтно-импульсный модулятор.....	143
4.4. Статические и динамические характеристики ШИП.....	144
5. ИНДУКТИВНО-ЕМКОСТНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ТОКА.....	148
6. ТИРИСТОРНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.....	155
7. ТИРИСТОРНЫЙ КОММУТАТОР.....	166
8. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ.....	168
8.1 Непосредственные преобразователи частоты.....	168
8.2 Преобразователи частоты со звеном постоянного тока.....	177
8.3 Преобразователи частоты с ШИМ модуляцией.....	190
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	197