

В.В. ПАНКРАТОВ

# АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

## Часть I

### Регулирование координат электроприводов постоянного тока

Утверждено Редакционно-издательским советом университета  
в качестве учебного пособия для студентов факультета мехатроники  
и автоматизации, обучающихся по направлению 140400 –  
«Электроэнергетика и электротехника» и профилю подготовки  
«Электропривод и автоматика промышленных установок  
и технологических комплексов»

НОВОСИБИРСК  
2013

УДК 621.34-52(075.8)  
П 164

Рецензенты:

*С.А. Харитонов*, д-р техн. наук, профессор  
*Б.М. Боченков*, канд. техн. наук, доцент

Работа подготовлена на кафедре электропривода и автоматизации  
промышленных установок

**Панкратов В.В.**

П 164 Автоматическое управление электроприводами: учеб. пособие /  
В.В. Панкратов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. – Часть I.  
Регулирование координат электроприводов постоянного тока. –  
200 с.

ISBN 978-5-7782-2223-6

Изложены базовые принципы построения и методы синтеза систем автоматического управления однодвигательных электроприводов постоянного тока. Рассмотрены вопросы математического моделирования и особенности квазинепрерывных алгоритмов управления регулируемыми электроприводами с тиристорными и транзисторными преобразователями, позиционных и следящих систем с одномассовой кинематической схемой.

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению 140400 – «Электроэнергетика и электротехника» и профилю подготовки «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов», а также может быть полезным инженерам, аспирантам и научным сотрудникам, специализирующимся в области автоматизированного электропривода или промышленной электроники.

УДК 621.34-52(075.8)

ISBN 978-5-7782-2223-6

© Панкратов В.В., 2013  
© Новосибирский государственный  
технический университет, 2013

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Перечень часто используемых аббревиатур .....	3
Предисловие .....	5
Глава 1. <b>ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ КУРСА</b> .....	7
1.1. Определение, классификация и функции электроприводов. Предмет изучения .....	7
1.2. Обобщенная структура автоматизированного электропривода .....	11
1.3. Основные показатели и характеристики систем регулирования скорости электропривода.....	13
Глава 2. <b>МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛОВОЙ ЧАСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА НА БАЗЕ ДВИГАТЕЛЯ НЕЗАВИСИМОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ</b> .....	16
2.1. Математическая модель двигателя постоянного тока с независимым возбуждением .....	16
2.2. Линеаризация уравнений ДПТНВ.....	21
2.3. Механическая и электромеханическая характеристики, способы регулирования скорости ДПТНВ .....	25
2.4. Обобщенный управляемый преобразователь электрической энергии .....	31
2.5. Математическая модель системы «обобщенный преобразователь – двигатель».....	32
Глава 3. <b>ВЛИЯНИЕ ОБРАТНЫХ СВЯЗЕЙ НА СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ «ОБОБЩЕННЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ – ДВИГАТЕЛЬ»</b> .....	37
3.1. Функциональная схема и уравнения системы «ОП–Д» с общим суммирующим усилителем.....	37
3.2. Анализ влияния обратной связи по напряжению .....	39
3.3. Анализ влияния обратной связи по скорости.....	40
3.4. Анализ влияния обратной связи по току, «токовая отсечка» .....	40

Глава 4. СИСТЕМЫ ПОДЧИНЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА .....	43
4.1. Принцип построения многоконтурных систем с подчиненным регулированием координат .....	44
4.2. Стандартные настройки контуров регулирования.....	46
4.2.1. Настройка на модульный оптимум.....	46
4.2.2. Настройка на симметричный оптимум .....	51
4.2.3. Синтез одноконтурной САР скорости микроэлектро- привода постоянного тока .....	55
4.3. Синтез однозонной системы подчиненного регулирования скорости электропривода постоянного тока.....	57
4.3.1. Синтез контура регулирования тока якоря.....	58
4.3.2. Синтез контура регулирования скорости.....	59
4.3.3. Ограничение координат в СПР .....	66
4.3.4. О влиянии внутренней обратной связи двигателя по ЭДС .....	67
4.4. Синтез двухзонной системы подчиненного регулирования скорости .....	70
4.4.1. Синтез контура регулирования магнитного потока.....	73
4.4.2. Синтез вычислителя и регулятора ЭДС .....	75
4.4.3. Особенности построения КРС двухзонного электропри- вода.....	80
4.5. О принципах построения СУЭП без датчика скорости.....	82
Глава 5. ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ТИРИСТОРНЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ .....	85
5.1. Общие сведения о тиристорных преобразователях как объек- тах автоматического управления .....	86
5.1.1. Схемы выпрямления, регулировочные и внешние харак- теристики тиристорных преобразователей .....	86
5.1.2. Реверсивные ТП, скоростные характеристики разомкну- той системы «тиристорный преобразователь – двига- тель» .....	95
5.1.3. Управляемый вентильный преобразователь, техниче- ская линеаризация регулировочных характеристик .....	101
5.1.4. Особенности вентильного преобразователя как элемента СУЭП.....	107

5.2. Ограничение тока в тиристорном электроприводе.....	108
5.3. Методика синтеза САР скорости на основе диаграмм качества ...	110
5.3.1. Линеаризованные структуры вентильных электроприводов регулируемой скорости.....	111
5.3.2. Ограничения на быстродействие вентильных электроприводов.....	116
5.3.3. Инженерный расчет параметров САР .....	118
Глава 6. <b>СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ТРАНЗИСТОРНЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ</b> .....	122
6.1. Силовая схема транзисторного ЭП постоянного тока.....	123
6.2. Способы управления и регулировочные характеристики ИУМ....	127
6.3. Управляемые широтно-импульсные преобразователи напряжения и широтно-импульсные модуляторы, их регулировочные характеристики .....	130
6.4. Синтез контура регулирования тока электропривода с транзисторным ШИП .....	136
6.4.1. Использование стандартной настройки на модульный оптимум.....	136
6.4.2. Синтез КРТ из условия разделения частот .....	138
6.5. Методика синтеза контура регулирования скорости по требованиям к реакции на возмущающее воздействие [26] .....	139
6.5.1. Взаимосвязь коэффициентов регулятора скорости с параметрами частотной характеристики КРС и его быстродействием «в большом».....	141
6.5.2. Взаимосвязь коэффициентов РС с максимальным динамическим отклонением скорости ЭП и интегральной ошибкой регулирования .....	141
6.5.3. Требуемый ресурс подсистемы управления моментом.....	145
6.5.4. Инженерная методика расчета контура регулирования скорости .....	147
Глава 7. <b>СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЕМ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ МЕХАНИЗМОВ</b> .....	149
7.1. Общие сведения и допущения .....	149
7.2. Принципы построения позиционных систем электропривода .....	153
7.2.1. Режим малых перемещений .....	153

7.2.2. Режимы средних и больших перемещений, синтез параболического регулятора положения .....	157
7.3. Анализ и синтез следящих систем электропривода.....	164
7.3.1. Простейшая следящая система на базе ДПТНВ.....	164
7.3.2. Следящая система с подчиненным регулированием координат.....	170
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	173
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	175
<i>Приложение 1.</i> ГОСТ Р 50369-92 .....	175
<i>Приложение 2.</i> Схемы СИП транзисторного электропривода с цепями предварительного заряда емкости фильтра.....	192
<i>Приложение 3.</i> Математические модели цифровых регуляторов СУЭП .....	194