

УДК 621.313
ББК 31.261
К78

Рецензенты:

д-р техн. наук, профессор кафедры электротехники НИЯУ МИФИ
М.В. Немцов; д-р техн. наук, профессор кафедры
автоматизированного электропривода
МЭИ *М.Г. Бычков*

Красовский, А. Б.

К78 Основы электропривода : учебное пособие / А. Б. Красовский. — 2-е изд., испр. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019. — 407, [1] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-5156-2

Кратко изложены основы теории современного автоматизированного электропривода. Рассмотрены принципы построения и составные части электроприводов, их характеристики в статических и динамических режимах работы с двигателями постоянного и переменного тока, а также основные принципы управления и проектирования.

Учебное пособие ориентировано прежде всего на студентов вузов неэлектротехнических специальностей, поэтому в отличие от большинства книг по основам электропривода содержит дополнительные разделы по общим вопросам электромеханического преобразования энергии, принципам работы и особенностям конструкции основных типов электрических машин, силовой электронике. Учебное пособие будет также полезно и студентам электротехнических специальностей, начинающим изучать электропривод, а также практикующим инженерно-техническим работникам смежных областей.

УДК 621.313
ББК 31.261

ISBN 978-5-7038-5156-2

© Красовский А.Б., 2015
© Красовский А.Б., 2019,
с изменениями
© Оформление. Издательство
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019

Оглавление

Предисловие	5
Список сокращений	7
Введение	8
Глава 1. Элементы электромеханики	12
1.1. Основные физические явления в электромеханических преобразователях энергии	12
1.2. Магнитные материалы и цепи	17
1.3. Основные соотношения для магнитных цепей	20
1.3.1. Постоянное напряжение	21
1.3.2. Синусоидальное напряжение	27
1.4. Запас магнитной энергии	29
1.5. Преобразование энергии в простейшем электромеханическом устройстве	31
Глава 2. Принцип действия, элементы конструкции и характеристики основных типов электрических машин	38
2.1. Общие сведения	38
2.2. Принцип действия коллекторных машин постоянного тока ...	49
2.2.1. Простейшая модель машины постоянного тока	49
2.2.2. Особенности конструкции и работы реальных машин постоянного тока	53
2.3. Характеристики машин постоянного тока при различных способах возбуждения	63
2.3.1. Машины постоянного тока с независимым возбуждением	65
2.3.2. Машины постоянного тока с последовательным возбуждением	68
2.3.3. Машины постоянного тока со смешанным возбуждением	73
2.4. Принцип действия и характеристики асинхронных машин	75
2.4.1. Простейшая модель асинхронной машины	75
2.4.2. Особенности конструкции реальных асинхронных машин	77
2.4.3. Основные соотношения для асинхронного двигателя ...	83
2.4.4. Однофазные асинхронные двигатели	100
2.4.5. Единые серии асинхронных машин	103

2.5. Принцип действия и характеристики синхронных машин	104
2.5.1. Простейшая модель синхронной машины	104
2.5.2. Особенности конструкции и характеристики реальных синхронных машин	107
2.5.3. Синхронные шаговые двигатели	113
2.6. Потери мощности и энергетические характеристики электрических машин	123
Глава 3. Основы механики электропривода	130
3.1. Механическая часть электропривода	130
3.2. Уравнение движения электропривода, установившиеся и динамические режимы	134
3.3. Механические характеристики механизма и двигателя, параметры установившегося движения	136
Глава 4. Регулирование скорости и момента двигателей в электроприводе. Тормозные режимы работы	141
4.1. Общая классификация и основные показатели	141
4.1.1. Регулирование скорости	145
4.1.2. Регулирование момента	148
4.2. Регулирование скорости и момента двигателей постоянного тока	149
4.2.1. Построение естественных характеристик двигателей постоянного тока по паспортным данным	150
4.2.2. Реостатное регулирование скорости и момента двигателей постоянного тока	152
4.2.3. Регулирование скорости двигателей постоянного тока изменением напряжения на якоре	158
4.2.4. Регулирование скорости двигателей постоянного тока изменением потока возбуждения	160
4.3. Регулирование скорости асинхронных двигателей	164
4.3.1. Оценка вида естественных характеристик асинхронных двигателей по паспортным данным	164
4.3.2. Регулирование скорости при изменении скорости вращения магнитного поля	166
4.3.3. Регулирование скорости при постоянном значении скорости вращения магнитного поля	174
4.4. Регулирование скорости и момента двигателей постоянного тока в замкнутых структурах управления	182
4.4.1. Общие сведения	182
4.4.2. Система электропривода с жесткой отрицательной обратной связью по скорости двигателей постоянного тока независимого возбуждения	185
4.4.3. Система электропривода с жесткой положительной обратной связью по току якоря двигателей постоянного тока независимого возбуждения	189

4.4.4. Система электропривода с жесткой нелинейной отрицательной обратной связью по току якоря двигателей постоянного тока независимого возбуждения	190
4.5. Регулирование скорости и момента асинхронных двигателей в замкнутых структурах управления	193
4.5.1. Система с регулированием напряжения на статоре асинхронных двигателей и отрицательной обратной связью по скорости.....	193
4.5.2. Замкнутые системы скалярного частотного управления асинхронных двигателей	195
4.6. Тормозные режимы работы машин постоянного тока	197
4.6.1. Машины постоянного тока с независимым возбуждением	197
4.6.2. Машины постоянного тока последовательного и смешанного возбуждения	201
4.7. Тормозные режимы асинхронных машин	204
Глава 5. Силовые электрические преобразователи для электропривода	215
5.1. Общие сведения	215
5.2. Электромеханические AC-DC-преобразователи	216
5.3. Электромеханические AC-AC-преобразователи	219
5.4. Силовые полупроводниковые элементы	221
5.4.1. Диоды	221
5.4.2. Тиристоры	222
5.4.3. Транзисторы	225
5.5. Вентильные AC-DC-преобразователи	232
5.5.1. Основные схемы и особенности работы силовой части нереверсивных тиристорных преобразователей	233
5.5.2. Основные схемы и особенности работы силовой части реверсивных тиристорных преобразователей	260
5.5.3. Принципы построения системы импульсно-фазового управления	268
5.6. DC-DC-преобразователи	273
5.7. DC-AC-преобразователи	283
5.7.1. Однофазные DC-AC-преобразователи	283
5.7.2. Трехфазные DC-AC-преобразователи	284
5.8. AC-AC-преобразователи	291
5.8.1. Преобразователи частоты	291
5.8.2. Преобразователи переменного напряжения	296
Глава 6. Переходные процессы в электроприводах	301
6.1. Общие сведения	301
6.2. Переходные процессы в механической части электропривода	304

6.2.1. Переходные процессы при изменении воздействующего фактора скачком	305
6.2.2. Переходные процессы при плавном изменении воздействующего фактора	316
6.3. Электромеханические переходные процессы в электроприводе	325
6.3.1. Влияние электромагнитной инерционности двигателя на характер переходных процессов в электроприводе	325
6.3.2. Структурные схемы и передаточные функции наиболее распространенных типов двигателей и силовых преобразователей в составе электропривода	331
6.4. Формирование динамических характеристик электропривода в замкнутых структурах управления	339
6.4.1. Общие сведения	339
6.4.2. Двухконтурная система регулирования скорости электропривода с двигателем постоянного тока независимого возбуждения	349
6.5. Основные принципы векторного управления асинхронными двигателями	356
6.5.1. Представление переменных асинхронного двигателя пространственными векторами в различных системах координат	357
6.5.2. Принцип построения систем векторного управления асинхронных двигателей	360
Глава 7. Энергетика электропривода и выбор двигателя	365
7.1. Предварительные замечания	365
7.2. Потери энергии в установившихся режимах работы	366
7.3. Потери энергии в переходных режимах работы	367
7.4. Выбор двигателей по мощности	375
7.4.1. Общие сведения о выборе двигателей	375
7.4.2. Построение нагрузочных диаграмм и предварительный выбор двигателя по мощности	380
7.4.3. Нагрев и охлаждение электродвигателей, режимы работы двигателей по условиям нагрева	384
7.4.4. Проверка двигателей по нагреву в продолжительном режиме работы (режимы S1, S6—S8)	388
7.4.5. Уточнение метода эквивалентного тока применительно к асинхронным двигателям при частотном регулировании	394
7.4.6. Проверка двигателей по нагреву в кратковременном режиме работы (режим S2)	397
7.4.7. Проверка двигателей по нагреву в повторно-кратковременном режиме работы (режимы S3, S4, S5)	399
Литература	403