

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ

серия основана в 1996 г.



СИБИРСКИЙ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

SIBERIAN
FEDERAL
UNIVERSITY

В.И. ПАНТЕЛЕЕВ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И МИКРОМАШИНЫ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Москва
ИНФРА-М

Красноярск
СФУ

2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ	8
ПРЕДИСЛОВИЕ	10
ВВЕДЕНИЕ	12
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ	15
1.1. Вводные понятия. Основные части конструкции электрических машин	15
1.2. Принципы действия и устройство электрических машин	16
1.2.1. Вращающееся магнитное поле	16
1.2.2. Устройство и принцип действия асинхронных машин	18
1.2.3. Устройство и принцип действия синхронных машин	20
1.2.4. Устройство и принцип действия электрических машин постоянного тока	21
1.3. Законы электромеханики	23
2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИИ ЭНЕРГИИ	26
2.1. Физические явления в электромеханическом преобразователе энергии	26
2.2. Простейшая модель электромеханического преобразователя энергии	31
2.3. Уравнения электромеханического преобразования энергии	33
2.3.1. Уравнения трехфазной машины	33
2.3.2. Преобразование координат	35
2.3.3. Замена переменных	38
2.3.4. Уравнения электромеханического преобразователя энергии в форме переменных состояний	40
2.4. Электромагнитный момент электромеханического преобразователя энергии	41
3. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОБМОТКАХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН	43
3.1. Обмотки машин переменного тока	43
3.2. Электродвижущая сила в обмотках электрических машин переменного тока	47
3.3. Магнитодвижущие силы обмотки	50
3.4. Обмотки машин постоянного тока	52
3.5. Электродвижущая сила обмотки якоря	53

4. ТРАНСФОРМАТОРЫ	56
4.1. Основные соотношения	57
4.2. Холостой ход трансформатора	60
4.3. Работа трансформатора на нагрузку	63
4.4. Эквивалентная схема замещения трансформатора	65
4.5. Короткое замыкание трансформатора.....	68
4.6. Потери и коэффициент полезного действия трансформатора.....	69
4.7. Нагрев и охлаждение трансформаторов	71
4.8. Трехфазные трансформаторы. Параллельная работа трансформаторов	71
4.9. Автотрансформаторы	75
4.10. Измерительные трансформаторы	77
4.11. Пик-трансформаторы, импульсные трансформаторы	79
4.12. Трансформаторы для выпрямительных устройств	81
5. АСИНХРОННЫЕ МАШИНЫ ОБЩЕПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ	85
5.1. Режимы работы асинхронных машин	85
5.2. Асинхронный двигатель при неподвижном роторе	87
5.3. Математическое описание процессов преобразования энергии в асинхронном двигателе	90
5.4. Векторная диаграмма и схема замещения асинхронного двигателя	92
5.5. Энергетическая диаграмма, потери и коэффициент полезного действия асинхронного двигателя	95
5.6. Вращающий момент двигателя	96
5.7. Механическая характеристика асинхронного двигателя	98
5.8. Процесс пуска асинхронного двигателя	100
5.9. Регулирование скорости трехфазного асинхронного двигателя	101
5.9.1. Параметрическое регулирование скорости асинхронного двигателя	102
5.9.2. Регулирование скорости асинхронного двигателя изменением питающего напряжения	104
5.9.3. Частотное регулирование скорости асинхронного двигателя	105
5.9.4. Частотно-токовое управление асинхронного двигателя	109
5.9.5. Векторное управление асинхронного двигателя	110
5.10. Рабочие характеристики асинхронного двигателя	112

6. АСИНХРОННЫЕ МИКРОМАШИНЫ	
ОБЩЕГО ПРИМЕНЕНИЯ	114
6.1. Однофазные асинхронные двигатели	114
6.2. Конденсаторные двигатели	116
6.3. Двигатели с экранированными полюсами	118
7. АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ	
СПЕЦИАЛЬНОГО ИСПОЛНЕНИЯ	120
7.1. Асинхронные гироскопические двигатели	120
7.2. Линейные асинхронные двигатели	121
8. АСИНХРОННЫЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ДВИГАТЕЛИ	123
8.1. Основные требования к исполнительным микродвигателям	123
8.2. Конструкция и принцип действия исполнительных асинхронных двигателей	124
8.3. Способы управления исполнительных асинхронных двигателей	127
8.4. Механические и регулировочные характеристики исполнительных асинхронных двигателей	130
8.5. Динамические свойства исполнительных асинхронных двигателей	136
9. СИНХРОННЫЕ МАШИНЫ	138
9.1. Области применения и устройство синхронных генераторов промышленной частоты	138
9.2. Принцип действия и реакция якоря синхронного генератора	139
9.3. Математическое описание синхронных машин	142
9.4. Векторные диаграммы синхронных генераторов	144
9.5. Характеристики синхронного генератора	147
9.6. Классификация синхронных двигателей	148
9.7. Синхронные двигатели с электромагнитным возбуждением	149
9.8. Электромагнитная мощность и момент синхронного двигателя	152
9.9. Синхронные реактивные двигатели	156
9.10. Субсинхронные (индукторные) двигатели	159
9.11. Синхронные гистерезисные двигатели	163
9.12. Шаговые двигатели	165
9.12.1. Области применения, классификация и требования, предъявляемые к шаговым двигателям	165
9.12.2. Основные характеристики и параметры шаговых двигателей	166
9.12.3. Принцип действия и особенности конструкции шаговых двигателей	169

9.12.4. Характер движения ротора и математическое описание шаговых двигателей.....	171
9.13. Управление скоростью синхронных двигателей.....	174
10. МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА.....	178
10.1. Общие вопросы теории машин постоянного тока	178
10.1.1. Конструктивные особенности и разновидности машин постоянного тока	178
10.1.2. Реакция якоря	179
10.1.3. Коммутация	181
10.1.4. Уравнения машин постоянного тока.....	182
10.1.5. Электромагнитный момент машины.....	183
10.1.6. Потери и коэффициент полезного действия машины постоянного тока	184
10.2. Генераторы постоянного тока	185
10.2.1. Генераторы с независимым возбуждением	186
10.2.2. Генераторы с параллельным возбуждением	188
10.3. Двигатели постоянного тока.....	190
10.3.1. Пусковые характеристики	191
10.3.2. Двигатели с параллельным возбуждением	192
10.3.3. Двигатели с последовательным возбуждением	194
10.3.4. Способы регулирования скорости	195
11. ВЕНТИЛЬНЫЕ ДВИГАТЕЛИ	197
12. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА.....	200
12.1. Исполнительные двигатели постоянного тока с якорным управлением	201
12.2. Исполнительные двигатели постоянного тока с полюсным управлением	204
12.3. Динамические свойства и передаточная функция исполнительных двигателей постоянного тока	207
12.4. Некоторые модификации исполнительных двигателей постоянного тока	209
13. ЭЛЕКТРОМАШИННЫЕ УСИЛИТЕЛИ	211
13.1. Принцип действия электромашинных усилителей поперечного поля	211
13.2. Характеристики электромашинных усилителей	213
14. ПОВОРОТНЫЕ (ВРАЩАЮЩИЕСЯ) ТРАНСФОРМАТОРЫ	216
14.1. Назначение, устройство и принцип действия	216
14.2. Синусно-косинусные вращающиеся трансформаторы	217
14.3. Симметрирование синусно-косинусных вращающихся трансформаторов	220
14.4. Линейный вращающийся трансформатор	221

14.5. Вращающийся трансформатор-построитель (преобразователь координат)	223
14.6. Синусно-косинусный вращающийся трансформатор в режиме фазовращателя	226
14.7. Многополюсные вращающиеся трансформаторы, редуктосины, индуктосины	228
14.8. Датчики угла на основе вращающихся трансформаторов	230
15. СЕЛЬСИНЫ	232
15.1. Принцип действия систем синхронной связи	232
15.2. Конструкция сельсинов	233
15.3. Работа однофазных сельсинов в индикаторном режиме	234
15.4. Работа однофазных сельсинов в трансформаторном режиме.....	241
15.5. Дифференциальные сельсины	243
15.6. Магнесины	244
16. ТАХОГЕНЕРАТОРЫ	246
16.1. Асинхронные тахогенераторы	246
16.2. Синхронные тахогенераторы	249
16.3. Тахогенераторы постоянного тока	250
17. ПРИМЕНЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН В СИСТЕМАХ И УСТРОЙСТВАХ АВТОМАТИКИ ...	254
17.1. Интегрирующий элемент на базе исполнительного асинхронного двигателя	254
17.2. Автоматическое умножающее устройство на вращающихся трансформаторах	255
17.3. Электромеханическое дифференцирование и интегрирование	256
18. ВЫБОР ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ	259
18.1. Выбор мощности исполнительного двигателя систем автоматического управления	260
18.2. Выбор исполнительного двигателя и расчет параметров позиционных следящих систем малой мощности	266
18.2.1. Общий подход к расчету привода позиционной следящей системы	266
18.2.2. Расчет привода при линейных механических характеристиках двигателя	268
18.2.3. Расчет привода при нелинейных механических характеристиках	270
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	273
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	274