

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**А. Л. Встовский**

## **ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ**

Рекомендовано Государственным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Московский энергетический институт» (Технический университет) в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 140400 – «Электроэнергетика и электротехника», 09.09.11

Красноярск  
СФУ  
2013

УДК 621.311 (07)  
ББК 31.261я73  
В 858

Рецензенты:

*В. Я. Беспалов*, д-р техн. наук, проф. Московского энергетического института (Технического университета);

*В. Н. Тимофеев*, д-р техн. наук, проф., зав. кафедры «Электротехнология и электротехника»

**В 858      Встовский, А. Л.**  
Электрические машины: учеб. пособие. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2013. – 464 с.  
ISBN 978-5-7638-2518-3

В учебном пособии излагаются принципы устройства электрических машин, физические и теоретические основы электромеханического преобразования энергии в электрических машинах, анализируются режимы их работы, рассматриваются их потребительские и эксплуатационные свойства.

Предназначено для студентов укрупненной группы направления 140400 «Энергетика и электротехника» подготовки бакалавров и может быть полезным для дипломированных специалистов и магистров, обучающихся по направлению 140400 «Энергетика и электротехника».

**УДК 621.311 (07)**  
**ББК 31.261я73**

ISBN 978-5-7638-2518-3

© Сибирский федеральный университет, 2013

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение .....</b>	<b>3</b>
<b>1. Общие вопросы теории электрических машин .....</b>	<b>5</b>
1.1. Общие сведения по электрическим машинам.....	5
1.2. Классификация электрических машин .....	7
1.3. Материалы, применяемые в электромашиностроении .....	10
1.4. Принцип действия трансформатора.....	14
1.5. Назначение, области применения и устройство трансформаторов .....	18
1.6. Принцип получения вращающегося магнитного поля в электрических машинах переменного тока .....	25
1.7. Принцип действия и устройство асинхронной машины.....	29
1.8. Принцип действия, область применения и устройство синхронной машины .....	42
1.9. Принцип действия и устройство машины постоянного тока .....	46
Вопросы и задания для самоконтроля .....	54
<b>2. Трансформаторы .....</b>	<b>55</b>
2.1. Основные соотношения в трансформаторе.....	55
2.2. Виды трансформаторов и магнитопроводов.....	58
2.3. Типы и конструкция обмоток .....	63
2.4. Схемы и группы соединения трансформаторов .....	65
2.5. Расчет магнитной цепи, намагничивающий ток и ток холостого хода .....	71
2.6. Форма кривых намагничивающего тока и магнитного потока трансформатора.....	75
2.7. Уравнения напряжения и векторные диаграммы трансформатора .....	81
2.8. Схема замещения трансформатора .....	85
2.9. Опытное определение параметров схемы замещения .....	88
2.10. Энергетические диаграммы активной и реактивной мощностей трансформатора.....	96
2.11. Коэффициент полезного действия трансформатора. Зависимость КПД от нагрузки.....	99
2.12. Изменение вторичного напряжения при нагрузке. Внешняя характеристика трансформатора.....	102
2.13. Регулирование напряжения трансформатора.....	107
2.14. Параллельная работа трансформаторов .....	110
	459

2.15. Несимметричная нагрузка трехфазных трансформаторов .....	117
2.16. Включение ненагруженного трансформатора в сеть .....	133
2.17. Внезапное короткое замыкание .....	138
2.18. Перенапряжения в трансформаторах .....	143
Вопросы и задания для самоконтроля .....	147
<b>3. Разновидности трансформаторов .....</b>	<b>148</b>
3.1. Автотрансформаторы .....	148
3.2. Трехобмоточный трансформатор .....	152
3.3. Измерительные трансформаторы тока и напряжения .....	154
3.4. Сварочные трансформаторы .....	156
3.5. Трансформаторы преобразовательных установок .....	157
Вопросы и задания для самоконтроля .....	162
<b>4. Обмотки машин переменного тока .....</b>	<b>164</b>
4.1. Общие принципы выполнения многофазных обмоток .....	164
4.2. Магнитодвижущие силы многофазных обмоток .....	165
4.3. Электродвижущие силы, индуцируемые в обмотках машин переменного тока .....	171
4.4. Схемы обмоток машин переменного тока .....	176
Вопросы и задания для самоконтроля .....	182
<b>5. Асинхронные машины .....</b>	<b>183</b>
5.1. Асинхронная машина при неподвижном роторе .....	183
5.2. Фазорегуляторы и индукционные регуляторы напряжения .....	189
5.3. Работа асинхронной машины при вращающемся роторе .....	192
5.4. Схема замещения асинхронной машины .....	195
5.5. Расчет характеристик двигателей по схемам замещения .....	202
5.6. Механические характеристики .....	203
5.7. Влияние на механическую характеристику высших гармоник магнитного поля .....	211
5.8. Устойчивость работы асинхронного двигателя .....	215
5.9. Рабочие характеристики асинхронного двигателя .....	218
5.10. КПД и коэффициент мощности асинхронного двигателя .....	220
5.11. Пуск в ход трехфазных асинхронных двигателей .....	224
5.12. Короткозамкнутые асинхронные двигатели с повышенным пусковым моментом .....	232
5.13. Регулирование частоты вращения асинхронных двигателей .....	235

5.14. Многоскоростные двигатели .....	243
5.15. Торможение двигателей .....	246
Вопросы и задания для самоконтроля .....	250
<b>6. Асинхронные машины специального назначения.....</b>	<b>252</b>
6.1. Асинхронный автономный генератор.....	252
6.2. Однофазные асинхронные двигатели .....	255
6.3. Двухфазные управляемые асинхронные двигатели автоматических устройств .....	260
6.4. Асинхронный тахогенератор .....	263
6.5. Сельсины .....	266
6.6. Вращающиеся трансформаторы .....	271
Вопросы и задания для самоконтроля .....	277
<b>7. Синхронные машины.....</b>	<b>278</b>
7.1. Магнитное поле и электромагнитные параметры обмотки возбуждения .....	278
7.2. Характеристика холостого хода .....	280
7.3. Работа синхронного генератора при симметричной нагрузке .....	283
7.4. Математическая модель электромагнитных процессов в синхронном генераторе .....	289
7.5. Векторные диаграммы синхронных генераторов .....	293
7.6. Характеристики синхронных генераторов .....	298
7.7. Потери мощности и КПД синхронного генератора .....	308
7.8. Параллельная работа синхронных машин .....	312
7.9. Мощность и электромагнитный момент .....	322
7.10. Статическая устойчивость .....	325
7.11. U-образные характеристики синхронного генератора.....	329
7.12. Качания синхронных машин.....	331
7.13. Синхронные двигатели .....	338
7.14. Внезапное короткое замыкание синхронной машины.....	347
7.15. Несимметричные режимы работы синхронных генераторов .....	356
Вопросы и задания для самоконтроля .....	363
<b>8. Синхронные машины автоматических устройств.....</b>	<b>365</b>
8.1. Назначение и особенности рабочего режима.....	365
8.2. Особенности конструкции синхронных микродвигателей с постоянными магнитами .....	367
8.3. Особенности конструкции и принципа действия синхронного реактивного двигателя .....	370

8.4. Синхронные гистерезисные двигатели .....	372
Вопросы и задания для самоконтроля .....	375
<b>9. Машины постоянного тока .....</b>	<b>376</b>
9.1. Магнитная цепь машины и метод ее расчета .....	376
9.2. Основные электромагнитные соотношения в машине постоянного тока .....	383
9.3. Магнитное поле машины постоянного тока .....	387
9.4. Напряжение между коллекторными пластинами и компенсационная обмотка .....	391
9.5. Коммутация .....	393
9.6. Потери мощности. Коэффициент полезного действия электрической машины .....	401
9.7. Генераторный режим работы машины .....	407
9.8. Параллельная работа генераторов постоянного тока .....	422
9.9. Двигательный режим работы машины .....	423
9.10. Пуск и реверсирование двигателей постоянного тока .....	427
9.11. Устойчивость работы двигателей .....	430
9.12. Двигатели параллельного возбуждения .....	433
9.13. Двигатели последовательного возбуждения .....	441
Вопросы и задания для самоконтроля .....	445
<b>10. Специальные машины постоянного тока .....</b>	<b>447</b>
10.1. Исполнительные двигатели постоянного тока .....	447
10.2. Тахогенераторы .....	449
10.3. Бесконтактные двигатели постоянного тока .....	451
Вопросы и задания для самопроверки .....	453
<b>Заключение .....</b>	<b>455</b>
<b>Библиографический список .....</b>	<b>457</b>