

821.3
Н-18

Г.Н. Назарьян

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Для студентов вузов



ББК 31.261

Н 19

УДК 621.313 (075.8)

ISBN 978-966-8428-74-6

Рецензенты:

П.И. Савченко, докт. техн. наук, профессор Харьковского национального технического университета сельского хозяйства им. Петра Василенко (Харьков);

В.В. Овчаров, докт. техн. наук, профессор Таврического государственного агротехнологического университета (Мелитополь).

Назарьян Г.Н.

Н 19 Электрические машины: Учебное издание для вузов.
– Мелитополь, Люкс, 2011. – 827 с., ил.

Предлагаемый курс «Электрические машины» включает разделы: Трансформаторы, Машины постоянного тока, Общие вопросы теории машин переменного тока, Асинхронные машины, Синхронные машины, Электрические микромашины систем автоматики и предназначен для студентов и магистров электротехнических специальностей вузов, а также может быть полезен практическим работникам энергетического профиля при эксплуатации электрических машин и микромашин систем автоматики.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	3
Введение. Общие сведения об электрических машинах.....	5
В–1 Назначение и область применения электрических машин.....	5
В–2 Классификация электрических машин.....	8
В–3 Преобразование энергии в электрических машинах.....	11
В–4 Номинальные данные электрических машин.....	18
В–5 Общие требования к электрическим машинам.....	19
РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ	
ТРАНСФОРМАТОРЫ.....	22
Глава 1 Назначение, принцип действия и устройство трансформаторов... ..	22
1.1 Назначение и области применения трансформаторов.....	22
1.2 Принцип действия трансформатора.....	24
1.3 Устройство трансформатора.....	26
1.4 Типы и конструкции магнитопроводов.....	30
1.5 Типы и устройство обмоток трансформаторов.....	33
1.6 Схемы и группы соединения обмоток трансформатора.....	39
Глава 2 Электромагнитные процессы в трансформаторе при холостом ходе.....	44
2.1 Режим холостого хода однофазного трансформатора.....	44
2.2 Влияние насыщения магнитопровода на форму намагничивающего тока.....	50
2.3 Особенности холостого хода трехфазных групповых трансформаторов.....	52
2.4 Особенности холостого хода трехфазных стержневых трансформаторов.....	55
Глава 3 Основные уравнения и схемы замещения трансформатора при нагрузке.....	58
3.1 Режимы нагрузки и паспортные данные трансформаторов.....	58
3.2 Уравнения напряжений трансформатора при нагрузке.....	63
3.3 Векторные диаграммы трансформаторов.....	68
3.4 Электрические схемы замещения трансформаторов.....	69
3.5 Многообмоточные трансформаторы.....	72
3.6 Автотрансформаторы.....	77

Глава 4 Экспериментальное определение параметров и потерь трансформатора.....	81
4.1 Опыт холостого хода трансформатора.....	81
4.2 Опыт короткого замыкания трансформатора.....	83
4.3 Определение параметров схемы замещения трансформатора по опытным данным.....	86
4.4 Определение параметров и потерь трансформатора по каталожным данным.....	87
Глава 5 Энергетика и рабочие характеристики трансформатора при нагрузке.....	89
5.1 Энергетические диаграммы трансформатора при нагрузке.....	89
5.2 Потери и КПД трансформатора.....	92
5.3 Рабочие характеристики силовых трансформаторов.....	96
а) Внешние характеристики.....	96
б) Характеристики коэффициента мощности.....	99
в) Токовая характеристика.....	101
г) Характеристики КПД.....	102
Глава 6 Регулирование напряжения в трансформаторах.....	104
6.1 Принципы и способы регулирования напряжения.....	104
6.2 Регулирование напряжения трансформаторов способом ПБВ.....	106
6.3 Регулирование напряжения трансформаторов способом РПН.....	108
6.4 Трансформаторы с бесконтактным плавным регулированием напряжения.....	111
6.5 Регулируемые трансформаторы с полупроводниковой коммутацией.....	114
Глава 7 Параллельная работа трансформаторов.....	118
7.1 Цели и условия включения трансформаторов на параллельную работу....	118
7.2 Параллельная работа трансформаторов при неодинаковых группах соединения.....	120
7.3 Параллельная работа трансформаторов при неодинаковых коэффициентах трансформации.....	121
7.4 Параллельная работа трансформаторов с различными напряжениями короткого замыкания.....	124
Глава 8 Несимметричная нагрузка трехфазных трансформаторов.....	127
8.1 Общий метод анализа несимметричных режимов.....	127
8.2 Несимметричная нагрузка при отсутствии токов нулевой последовательности.....	129
8.3 Несимметричная нагрузка при наличии токов нулевой последовательности....	130
8.4 Несимметричная нагрузка при однофазном коротком замыкании.....	135

Глава 9	Переходные процессы в трансформаторах при включении и коротком замыкании	138
9.1	Переходной процесс при включении ненагруженного трансформатора в сеть.....	138
9.2	Переходной процесс при внезапном коротком замыкании трансформатора.....	142
Глава 10	Трансформаторы выпрямительных и преобразовательных установок	149
10.1	Трансформаторы выпрямительных установок.....	149
10.2	Трансформаторы в схемах полупроводниковых преобразователей.....	155
10.3	Применение трансформаторов в импульсных преобразователях.....	157
Глава 11	Трансформаторы специального назначения	160
11.1	Сварочные трансформаторы и выпрямители.....	160
11.2	Трансформаторы для преобразования числа фаз и частоты.....	166
11.3	Измерительные трансформаторы.....	170
11.4	Пик-трансформаторы и стабилизирующие трансформаторы.....	173
11.5	Импульсные трансформаторы.....	174
РАЗДЕЛ ВТОРОЙ		
	МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА	178
Глава 12	Принцип действия и устройство машин постоянного тока	178
12.1	Назначение и принцип действия машины постоянного тока.....	178
12.2	Устройство машин постоянного тока.....	182
12.3	Устройство обмоток якоря.....	187
Глава 13	Магнитное поле машины при холостом ходе и нагрузке	193
13.1	Магнитное поле машины при холостом ходе.....	193
13.2	ЭДС обмотки якоря и электромагнитный момент.....	198
13.3	Магнитное поле машины при нагрузке. Реакция якоря.....	203
13.4	Напряжение между смежными коллекторными пластинами.....	207
13.5	Конструктивные меры по уменьшению действия реакции якоря.....	209
Глава 14	Коммутация	213
14.1	Понятие и оценка коммутации.....	213
14.2	Причины искрения щеток.....	214
14.3	Процесс коммутации и виды коммутации.....	216
14.4	Способы улучшения коммутации.....	221
14.5	Оценка потенциально-коммутационных условий на коллекторе.....	226
Глава 15	Генераторы постоянного тока	230
15.1	Назначение, виды и основные уравнения генераторов.....	230
15.2	Характеристики и свойства генераторов с независимым возбуждением.....	234

15.3	Характеристики и свойства генераторов параллельного возбуждения.....	238
15.4	Генераторы последовательного и смешанного возбуждения.....	241
Г л а в а 16 Электродвигатели постоянного тока.....		244
16.1	Назначение, виды и основные уравнения двигателей.....	244
16.2	Характеристики и свойства двигателей с независимым и параллельным возбуждением.....	248
16.3	Характеристики и свойства двигателей последовательного и смешанного возбуждения.....	252
16.4	Способы пуска двигателей постоянного тока.....	256
Г л а в а 17 Способы регулирования скорости двигателей постоянного тока.....		262
17.1	Принципы регулирования скорости двигателей.....	262
17.2	Регулирование скорости двигателей параллельного и независимого возбуждения.....	263
17.3	Регулирование скорости двигателей последовательного возбуждения....	268
17.4	Специальные системы регулирования скорости двигателей.....	272
17.5	Работа двигателей в тормозных режимах.....	279
Г л а в а 18 Бесконтактные двигатели постоянного тока.....		286
18.1	Общая характеристика функциональных узлов бесконтактных двигателей.....	286
18.2	Конструктивные схемы устройства БДПТ.....	291
18.3	Принцип действия и особенности рабочего процесса БДПТ.....	294
18.4	Характеристики и свойства БДПТ. Достоинства и недостатки.....	298
Г л а в а 19 Универсальные коллекторные двигатели.....		302
19.1	Устройства и схема включения двигателя.....	302
19.2	Электромагнитный момент и характеристики двигателя.....	303
19.3	Коммутация при работе на переменном токе.....	305
Г л а в а 20 Специальные машины постоянного тока.....		308
20.1	Электромашинный усилитель с поперечным полем.....	308
20.2	Сварочные генераторы постоянного тока.....	313
20.3	Униполярные машины.....	317
20.4	Магнитогидродинамические машины постоянного тока.....	319
Р А З Д Е Л Т Р Е Т И Й		
ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.....		322
Г л а в а 21 Устройство и схемы обмоток машин переменного тока.....		322
21.1	Конструктивные схемы исполнения машин переменного тока.....	322
21.2	Устройство и классификация обмоток переменного тока.....	325
21.3	Правила и примеры выполнения схем обмоток.....	331

Глава 22 Электродвижущие силы обмоток машин переменного тока	340
22.1 ЭДС витка и катушки обмотки.....	340
22.2 ЭДС катушечной группы и фазной обмотки.....	343
22.3 Пути улучшения формы кривой ЭДС.....	346
Глава 23 Магнитодвижущие силы обмоток машин переменного тока	350
23.1 МДС катушки обмотки.....	350
23.2 МДС катушечной группы обмотки.....	352
23.3 МДС фазы и многофазной обмотки.....	354
Глава 24 Принцип образования вращающегося магнитного поля в машинах	358
24.1 Уравнение и свойства пульсирующей и бегущей волны магнитного поля.....	358
24.2 Принцип образования вращающегося магнитного поля.....	360
24.3 Виды и свойства вращающегося магнитного поля.....	362
Глава 25 Нагревание и охлаждение электрических машин	367
25.1 Общие сведения.....	367
25.2 Уравнение и графики нагревания и охлаждения машины.....	368
25.3 Причины старения изоляции и срок службы электрических машин.....	371
25.4 Режимы нагрузки электрических машин.....	377
РАЗДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ	
АСИНХРОННЫЕ МАШИНЫ	384
Глава 26 Основы теории асинхронных машин	384
26.1 Принцип действия асинхронной машины.....	385
26.2 Конструктивное исполнение асинхронных двигателей.....	388
26.3 Основные уравнения асинхронных машин. Аналогия с трансформатором.....	393
26.4 Уравнения приведенного асинхронного двигателя.....	398
26.5 Схемы замещения асинхронного двигателя.....	400
Глава 27 Режимы работы, потери и КПД асинхронного двигателя	405
27.1 Энергетические диаграммы асинхронного двигателя.....	405
27.2 Установившиеся режимы работы двигателя.....	408
27.3 Опыты холостого хода и короткого замыкания.....	411
27.4 КПД и коэффициент мощности асинхронного двигателя.....	418
27.5 Расчетное определение потерь асинхронного двигателя по паспортным данным.....	422
Глава 28 Электромагнитный момент асинхронного двигателя	424
28.1 Уравнение электромагнитного момента.....	424
28.2 Моментная и механическая характеристики асинхронного двигателя....	428

28.3	Расчет моментной и механической характеристик двигателя.....	431
28.4	Устойчивость работы асинхронного двигателя.....	433
28.5	Электромагнитные моменты от высших гармоник магнитного поля.....	436
Г л а в а 29	Рабочие характеристики асинхронного двигателя.....	439
29.1	Рабочие характеристики асинхронного двигателя и их анализ.....	439
29.2	Круговая диаграмма асинхронного двигателя.....	443
29.3	Построение рабочих характеристик асинхронного двигателя по круговой диаграмме.....	447
29.4	Получение рабочих характеристик двигателя методом непосредственной нагрузки.....	450
29.5	Аналитический метод расчета характеристик асинхронных двигателей.....	452
Г л а в а 30	Способы пуска асинхронных двигателей.....	456
30.1	Требования к пуску и показатели пусковых свойств двигателей.....	456
30.2	Прямой пуск асинхронных двигателей.....	457
30.3	Пуск двигателя при пониженном напряжении.....	458
30.4	Пуск с помощью реостата в цепи фазного ротора.....	463
30.5	Асинхронные двигатели с улучшенными пусковыми свойствами.....	465
Г л а в а 31	Регулирование частоты вращения асинхронных двигателей.....	472
31.1	Способы регулирования частоты вращения двигателей.....	472
31.2	Регулирование частоты вращения изменением числа пар полюсов.....	472
31.3	Частотное регулирование асинхронных двигателей.....	475
31.4	Регулирование частоты вращения изменением питающего напряжения.....	478
31.5	Регулирование частоты вращения включением реостата в цепь ротора.....	481
31.6	Регулирование частоты вращения введением в цепь ротора ЭДС с частотой скольжения.....	483
31.7	Регулирование частоты вращения двигателя с фазным ротором с рекуперацией энергии скольжения.....	487
Г л а в а 32	Работа трехфазного асинхронного двигателя в аномальных режимах.....	490
32.1	Работа асинхронного двигателя при ненормальном напряжении.....	490
32.2	Работа двигателя при ненормальной частоте.....	492
32.3	Работа асинхронного двигателя при несимметричных режимах.....	493
32.4	Работа двигателя при несинусоидальном питающем напряжении.....	497
Г л а в а 33	Однофазные и конденсаторные асинхронные двигатели.....	502
33.1	Однофазные асинхронные двигатели.....	502
33.2	Однофазный двигатель с экранированными полюсами.....	506
33.3	Асинхронные конденсаторные двигатели.....	507
33.4	Использование трехфазных асинхронных двигателей для работы от однофазной сети.....	510
33.5	Универсальные асинхронные двигатели.....	513

Г л а в а 34 Специальные виды асинхронных машин	516
34.1 Асинхронные генераторы.....	516
34.2 Индукционный регулятор напряжения и фазорегулятор.....	522
34.3 Асинхронный преобразователь частоты.....	526
34.4 Линейный асинхронный двигатель.....	528
34.5 Асинхронные машины с массивным ротором.....	532
Г л а в а 35 Общая характеристика исполнения современных асинхронных двигателей	537
35.1 Технический уровень асинхронных двигателей серии АИ.....	537
35.2 Характеристика модификаций и исполнений двигателей.....	538
35.3 Основные конструктивные решения.....	541
35.4 Современные тенденции производства асинхронных двигателей.....	547
Р А З Д Е Л П Я Т Ы Й	
СИНХРОННЫЕ МАШИНЫ	549
Г л а в а 36 Устройство и принцип действия синхронных машин	549
36.1 Назначение и устройство синхронных машин.....	549
36.2 Принцип действия синхронной машины.....	553
36.3 Особенности устройства синхронных машин.....	555
36.4 Оси симметрии и угол нагрузки синхронных машин.....	559
36.5 Системы возбуждения синхронных машин.....	561
Г л а в а 37 Режимы работы, характеристики и свойства синхронных генераторов	563
37.1 Режим холостого хода генератора.....	563
37.2 Режим симметричной нагрузки генератора. Реакция якоря.....	569
37.3 Векторные диаграммы синхронных генераторов.	577
37.4 Преобразование энергии в синхронном генераторе. Потери и КПД.....	581
37.5 Характеристики и свойства синхронного генератора при автономной нагрузке.....	584
Г л а в а 38 Параллельная работа синхронных генераторов с сетью	593
38.1 Условия и методы включения генераторов в сеть.....	593
38.2 Активная и реактивная мощность генератора при параллельной работе с сетью.....	596
38.3 Регулирование активной мощности генератора в режиме угловых характеристик.....	600
38.4 Регулирование реактивной мощности генератора в режиме U-образных характеристик.....	604
38.5 Колебание ротора синхронной машины при параллельной работе с сетью.....	609
38.6 Переходные процессы в синхронных генераторах.....	611

Г л а в а 39 Синхронные двигатели	617
39.1 Особенности устройства и способы пуска.....	617
39.2 Асинхронный пуск синхронного двигателя.....	619
39.3 Энергетические показатели синхронных двигателей.....	624
39.4 Статические характеристики и свойства синхронного двигателя.....	627
39.5 Сравнительная оценка синхронных и асинхронных двигателей.....	632
Г л а в а 40 Синхронные микродвигатели	634
40.1 Синхронные реактивные двигатели.....	634
40.2 Синхронные двигатели с постоянными магнитами.....	638
40.3 Синхронные гистерезисные двигатели.....	643
40.4 Синхронные двигатели с катящимся ротором.....	648
Г л а в а 41 Специальные синхронные машины	651
41.1 Синхронные компенсаторы.....	651
41.2 Индукторные синхронные машины.....	655
41.3 Бесконтактные синхронные машины с когтеобразными полюсами.....	661
41.4 Синхронные машины двойного питания.....	666
41.5 Сверхпроводниковые синхронные генераторы.....	672
Р А З Д Е Л Ш Е С Т О Й	
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МИКРОМАШИНЫ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ	675
Назначение, классификация и области применения микромашин	675
Г л а в а 42 Тахогенераторы постоянного и переменного тока	677
42.1 Тахогенераторы постоянного тока.....	678
42.2 Асинхронные тахогенераторы.....	684
42.3 Синхронные тахогенераторы.....	693
Г л а в а 43 Асинхронные исполнительные двигатели	695
43.1 Устройство и принцип управления.....	696
43.2 АИД с амплитудным управлением.....	700
43.3 АИД с фазовым и амплитудно-фазовым управлением.....	704
43.4 Явление самохода АИД.....	709
43.5 Динамические свойства АИД.....	711
Г л а в а 44 Исполнительные двигатели постоянного тока	715
44.1 Общая характеристика и способы управления.....	715
44.2 ИДП с якорным управлением.....	716
44.3 ИДП с полюсным управлением.....	719
44.4 Особенности конструктивного исполнения ИДП.....	722
44.5 Динамические свойства ИДП.....	727
Г л а в а 45 Шаговые исполнительные двигатели	730
45.1 Назначение, области применения и основные требования.....	730
45.2 Особенности устройства шаговых двигателей.....	731

45.3	Принцип действия и способы управления ШД.....	737
45.4	Режим работы и характеристики ШД.....	741
Г л а в а 46 Сельсины и магнесины.....		746
46.1	Назначение и устройство сельсинов.....	746
46.2	Трансформаторный режим работы сельсинов.....	750
46.3	Индикаторный режим работы сельсинов.....	756
46.4	Трехфазные силовые сельсины.....	764
46.5	Дифференциальные сельсины.....	766
46.6	Магнесины.....	769
Г л а в а 47 Вращающиеся трансформаторы.....		773
47.1	Назначение и устройство.....	773
47.2	Синусно-косинусные ВТ.....	775
47.3	Линейный ВТ.....	779
47.4	ВТ-построитель.....	781
47.5	ВТ в режимах фазовращателя и системы синхронной передачи.....	784
47.6	Погрешности ВТ.....	786
Г л а в а 48 Электрические микромашины гироскопических систем.....		789
48.1	Гироскопические двигатели.....	789
48.2	Асинхронные гиродвигатели.....	791
48.3	Синхронные гиродвигатели.....	795
48.4	Гиродвигатели постоянного тока.....	798
48.5	Моментные двигатели переменного и постоянного тока.....	800
48.6	Электромашинные датчики угла и момента.....	808
Список литературы.....		817

Учебное издание

Назарьян Гайк Назарович

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Учебное издание для вузов

Подписано к печати 17.12.2011.

Формат 18х25. У.п.л. 35.

Печать офсетная. Бумага офсетная.

Тираж 50 экземпляров.

Заказ № 3223. Напечатано ЧП Верескун В. Н.

Издательско-полиграфический центр «Люкс»,
свидетельство ДК № 1125
г. Мелитополь, ул. К. Маркса, 10, тел.: 6-88-38