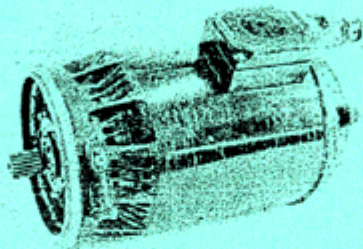


Н.Н. ЛЕВИН, В.А. ПОВСТЕНЬ,
М.П. ПОПОВ, Ф.Д. СЕРЕБРЯКОВ



**АВИАЦИОННЫЕ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ
МАШИНЫ**

1999

УДК 623.735.06(075.8)

ББК 0562 я 731

А 20

Рецензенты: кафедра авиационного электрооборудования и электротехники МИИГА – зав. кафедрой *В.И. Кривенцев*, д-р техн. наук, проф., кафедра электрооборудования и электрических машин Национального аграрного университета – *Н.А. Чуенко*, канд. техн. наук, доц.

Левин Н.Н., Повстень В.А.,
Попов М.П., Серебряков А.Д.

А 20 **Авиационные электрические машины: Учебник.** –
Киев: КМУГА, 1998. – 440 с.
ISBN 996-598-019-X

Изложены основы теории авиационных электрических машин, особенности их конструкции, технического обслуживания и диагностирования.

Учебник предназначен для студентов вузов гражданской авиации, обучающихся по специальности "Техническая эксплуатация авиационных электрифицированных и пилотажно-навигационных комплексов".

ISBN 996-598-019-X

ББК 0 562 я 73-1

© Н.Н. Левин, В.А. Повстень, М.П. Попов,
А.Д. Серебряков, 1998

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	4
Раздел 1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА	7
Глава 1. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И УСТРОЙСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА	7
1.1. Основные физические явления и законы, на которых основан принцип работы электрических машин	7
1.2. Устройство и принцип работы машин постоянного тока	10
Глава 2. ОБМОТКИ ЯКОРЯ	18
2.1. Общие сведения об обмотках якоря	18
2.2. Схемы выполнения и свойства обмоток якоря	21
Глава 3. МАГНИТНАЯ ЦЕПЬ И СПОСОБЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА	27
3.1. Магнитная цепь	27
3.2. Способы возбуждения и характеристика холостого хода	36
Глава 4. ЭЛЕКТРОДВИЖУЩАЯ СИЛА ОБМОТКИ ЯКОРЯ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ МОМЕНТ, СООТНОШЕНИЯ И ВЕЛИЧИНЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ОСНОВНЫЕ РАЗМЕРЫ МАШИНЫ	41
4.1. Электродвижущая сила обмотки якоря и электромагнитный момент машины	41
4.2. Величины, определяющие основные размеры машины	43
Глава 5. РЕАКЦИЯ ЯКОРЯ И КОММУТАЦИЯ	46
5.1. Реакция якоря	46
5.2. Коммутация	55
5.3. Прямолинейная, замедленная и ускоренная коммутация	60
5.4. Способы улучшения коммутации	65
Глава 6. ПОТЕРИ МОЩНОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ	63
6.1. Потери мощности в машинах постоянного тока	63
6.2. Коэффициент полезного действия	70
Глава 7. ГЕНЕРАТОРЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА	72
7.1. Свойства и характеристики генераторов	72
7.2. Параллельная работа генераторов постоянного тока	82
Глава 8. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА	87
8.1. Основные соотношения	87
8.2. Характеристики электродвигателей постоянного тока	89
8.3. Пусковые и регулировочные свойства электродвигателей постоянного тока	94
8.4. Тормозные режимы работы электродвигателей постоянного тока	97
8.5. Основные технические данные и типичные неисправности авиационных электродвигателей постоянного тока	100
Глава 9. СПЕЦИАЛЬНЫЕ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА	101
9.1. Тахогенераторы постоянного тока	101
9.2. Исполнительные двигатели постоянного тока	104
9.3. Бесконтактные машины постоянного тока	108
9.4. Электромашинный усилитель	116
Раздел 2. ТРАНСФОРМАТОРЫ	120
Глава 10. ОДНОФАЗНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ	120
10.1. Область применения и конструкции авиационных однофазных трансформаторов	120
10.2. Принцип работы. Холостой ход однофазного трансформатора	123

10.3.	Активная и реактивная составляющие намагничивающего тока трансформатора. Векторная диаграмма трансформатора при холостом ходе	127
10.4.	Параметры намагничивающего контура и схема замещения трансформатора при холостом ходе	132
10.5.	Форма кривой намагничивающего тока трансформатора при синусоидальном первичном напряжении	134
10.6.	Однофазный трансформатор под нагрузкой	136
10.7.	Приведение вторичной обмотки к первичной и схема замещения трансформатора	137
10.8.	Опытное определение параметров схемы замещения. Напряжение короткого замыкания трансформатора. Треугольник короткого замыкания	139
10.9.	Векторные диаграммы приведенного трансформатора при различном характере нагрузки. Баланс мощностей в трансформаторе	143
10.10.	Упрощенные схема замещения и векторная диаграмма трансформатора. Изменение напряжения	145
10.11.	Внешние характеристики трансформатора	149
10.12.	Коэффициент полезного действия трансформаторов	150
Глава 11.	ТРЕХФАЗНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ	151
11.1.	Магнитные системы и схемы соединения обмоток трехфазных трансформаторов	151
11.2.	Холостой ход трехфазного трансформатора при различных схемах соединения обмоток	154
11.3.	Группы соединений обмоток трехфазных трансформаторов	156
11.4.	Общие сведения о параллельной работе трансформаторов	158
Глава 12.	СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ	162
12.1.	Автотрансформаторы	162
12.2.	Многообмоточные трансформаторы	164
12.3.	Измерительные трансформаторы	167
12.4.	Трансформаторы выпрямительных блоков	169
12.5.	Импульсные трансформаторы	172
Раздел 3.	ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА	174
Глава 13.	ОСНОВНЫЕ ТИПЫ МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА	174
13.1.	Основные типы машин переменного тока и их применение	174
13.2.	Устройство и принцип действия асинхронного двигателя	175
13.3.	Устройство и принцип действия синхронной машины	177
Глава 14.	ОБМОТКИ МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА	179
14.1.	Обмотки машин переменного тока	179
14.2.	Электродвижущая сила обмотки якоря	191
14.3.	Магнитодвижущая сила обмотки якоря	192
Раздел 4.	АСИНХРОННЫЕ МАШИНЫ	198
Глава 15.	ОСНОВНЫЕ СООТНОШЕНИЯ И УРАВНЕНИЯ АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ	198
15.1.	Особенности конструкции авиационных асинхронных двигателей. Принцип действия асинхронного двигателя	198
15.2.	Параметры ротора асинхронной машины. Сведение асинхронной машины к трансформатору	200
15.3.	Диаграмма МДС и ЭДС асинхронной машины. Уравнение асинхронной машины в установившемся режиме работы	204
15.4.	Приведение ротора к статору. Коэффициенты трансформации по току и по напряжению асинхронной машины. Уравнения приведенной асинхронной машины	206

Глава 16.	СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ. ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ. ВЕКТОРНЫЕ ДИАГРАММЫ	208
16.1.	T-образная схема замещения асинхронной машины. Определение параметров схемы замещения	208
16.2.	G-образная схема замещения асинхронной машины	211
16.3.	Режимы работы и векторные диаграммы асинхронных машин	214
16.4.	Зависимость электромагнитного момента асинхронной машины от скольжения. Критическое скольжение и момент. Начальный пусковой момент	220
16.5.	Устойчивый и неустойчивый участок зависимости $M=f(s)$	
	Перегрузочная способность асинхронного двигателя	223
16.6.	Формула Клосса для зависимости $M=f(s)$	225
16.7.	Улучшение пусковых свойств асинхронных двигателей. Глубококопальный асинхронный двигатель	226
16.8.	Рабочие характеристики асинхронного двигателя	231
16.9.	Круговая диаграмма асинхронной машины	233
16.10.	Построение круговой диаграммы по данным опытов холостого хода и короткого замыкания	240
Глава 17.	СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТИПЫ ИНДУКЦИОННЫХ МАШИН	241
17.1.	Двухфазный асинхронный двигатель	241
17.2.	Индукционный тахогенератор	251
17.3.	Асинхронные гироскопические и моментные двигатели	253
17.4.	Асинхронные однофазные и конденсаторные двигатели	256
17.5.	Вращающиеся трансформаторы	260
17.6.	Сельсины	265
Раздел 5.	СИНХРОННЫЕ МАШИНЫ	282
Глава 18.	ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВИАЦИОННЫХ СИНХРОННЫХ МАШИН	282
18.1.	Синхронные генераторы бортовых систем электроснабжения	282
18.2.	Особенности конструкции авиационных генераторов переменного тока	284
18.3.	Использование синхронных машин в авиационном оборудовании	288
Глава 19.	СИНХРОННАЯ МАШИНА В РЕЖИМАХ ХОЛОСТОГО ХОДА И НАГРУЗКИ	288
19.1.	Режим холостого хода	288
19.2.	Режим нагрузки трехфазного генератора. Реакция якоря	289
19.3.	Основные уравнения синхронного генератора при симметричной нагрузке	294
Глава 20.	ВЕКТОРНЫЕ ДИАГРАММЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ	296
20.1.	Векторная диаграмма явнопольсусного генератора с ненасыщенной магнитной цепью	296
20.2.	Векторная диаграмма явнопольсусных генератора с насыщенной магнитной цепью	299
20.3.	Характеристики синхронных генераторов	303
Глава 21.	ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА СИНХРОННЫХ МАШИН	306
21.1.	Включение генератора на параллельную работу с сетью	307
21.2.	Электромагнитная мощность и синхронизирующий момент генератора	311
21.3.	Работа генератора при переменном возбуждении и отсутствии электромагнитного момента	313
21.4.	Работа генератора при переменном моменте первичного двигателя и постоянном возбуждении	314

21.5. Работа генератора параллельно с сетью при переменном возбуждении и постоянном моменте	316
21.6. Синхронный двигатель	318
Глава 22. НЕСИММЕТРИЧНЫЕ РЕЖИМЫ И ВНЕЗАПНЫЕ КОРОТКИЕ ЗАМЫКАНИЯ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ	320
22.1. Несимметричные режимы работы синхронного генератора и метод их исследования	320
22.2. Двухфазное короткое замыкание	321
22.3. Однофазное короткое замыкание	323
22.4. Общий случай несимметричной нагрузки	324
22.5. Внезапное короткое замыкание	325
Глава 23. СПЕЦИАЛЬНЫЕ СИНХРОННЫЕ МАШИНЫ	331
23.1. Синхронные машины с постоянными магнитами	331
23.2. Синхронные реактивные двигатели	346
23.3. Гистерезисные двигатели	347
23.4. Шаговые электродвигатели	351
23.5. Индукторные машины	357
Раздел 6. НАГРЕВАНИЕ И ОХЛАЖДЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН	360
Глава 24. ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ	360
24.1. Факторы, определяющие нагревостойкость электрических машин	360
24.2. Тепловые процессы, определяющие нагрев электрических машин	361
24.3. Нагревание и охлаждение идеального твердого тела	368
Глава 25. РЕЖИМЫ РАБОТЫ И ОХЛАЖДЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН	371
25.1. Режимы работы электрических машин	371
25.2. Охлаждение электрических машин	373
Раздел 7. ЭКСПЛУАТАЦИЯ АВИАЦИОННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН	378
Глава 26. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН	378
26.1. Электрическая машина — объект эксплуатации	378
26.2. Техническое обслуживание электрических машин	381
26.3. Диагностирование электрических машин	392
Глава 27. ОСНОВНЫЕ НЕИСПРАВНОСТИ АВИАЦИОННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И ПРИЗНАКИ ИХ ПРОЯВЛЕНИЯ	394
27.1. Основные неисправности авиационных электрических машин постоянного тока	394
27.2. Устройство диагностирования генераторов постоянного тока мощностью 12... 18 кВт УД-ГПТ-1	396
27.3. Оценка качества контактной поверхности коллектора устройством УД-ГПТ-1	397
27.4. Выявление коротких замыканий и обрывов обмотки якоря устройством УД-ГПТ-1	402
27.5. Выявление коротких замыканий якоря на корпус	403
27.6. Определение суммарного радиального зазора в подшипниках	403
27.7. Диагностирование машин с простой волновой обмоткой якоря	407
27.8. Неисправности авиационных трансформаторов	410
27.9. Основные неисправности авиационных асинхронных двигателей и их обнаружение	411
27.10. Косвенная оценка момента трения в подшипниках авиационных асинхронных двигателей	418
27.11. Особенности эксплуатации синхронных машин	419
27.12. Эксплуатация специальных электрических машин	424
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	430
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ	431
	439