

21世纪 高等学校本科系列教材

电 机 学

(第 2 版)

D I A N J I X U E

张广溢 郭前岗 主编



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>

电 机 学

第2版

张广溢 郭前岗 主编

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书是在 2002 年出版的 21 世纪高等学校本科系列教材《电机学》的基础上,结合该教材的使用和国内外电机学教材的发展情况而修订的。

全书包括绪论和变压器、交流电机的共同理论问题、异步电机、同步电机、直流电机、微控电机 6 篇共 20 章,从应用的角度出发,分析变压器、直流电机、异步电机和同步电机四类主要电机的基本结构、工作原理、电磁关系和运行特性。考虑到自动化专业和电气工程及其自动化专业传动方向后续课“电力拖动自动控制系统”或“电气传动”的需要,对交直流电机的机械特性和起动、制动、调速原理与方法等电力拖动基础的主要内容,比传统的“电机学”有更深入、更详细的讲述。此外,为适应不同学校的需要,在第 6 篇中对微控电机作了较详细的介绍。因此,通过本课程的学习,可不再另开设“电力拖动基础”和“控制电机”等课程。

为便于学习,每章后附有习题,每篇后有总结,书末有部分习题的参考答案。同时,为便于本教材的使用,特推出《电机学》多媒体课件,与本教材同时发行。并编写了《电机学学习指导及习题解答》一书,与本教材配套发行。因此,修订后的本书使用起来更加方便、实用。本书可作为电气工程与自动化或电气工程及其自动化、自动化等专业“电机学”或“电机与拖动基础”课程的教学用书,也可供有关科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电机学/张广溢,郭前岗主编.—2 版.—重庆:重庆大学出版社,2006.7(2009.6 重印)
(电气工程及其自动化专业本科系列教材)
ISBN 978-7-5624-2439-0

I. 电… II. ①张…②郭… III. 电机学—高等学校—教材 IV. TM3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 042729 号

电 机 学

第 2 版

张广溢 郭前岗 主编

责任编辑:谢 芳 彭 宁 版式设计:彭 宁
责任校对:邹 冠 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A 区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (营销中心)

全国新华书店经销

重庆大学建大印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:22.75 字数:568 千

2002 年 2 月第 1 版 2006 年 7 月第 2 版 2009 年 6 月第 6 次印刷

印数:17 501—19 500

ISBN 978-7-5624-2439-0 定价:30.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

第2版 前言

本书是在 2002 年出版的 21 世纪高等学校本科系列教材《电机学》的基础上,结合该教材的使用和国内外电机学教材的发展情况而修订的。

全书仍包括绪论和变压器、交流电机的共同理论问题、异步电机、同步电机、直流电机、微控电机 6 篇共 20 章,参考学时为 96 学时,其中理论教学 80 ~ 82 学时,实验 14 ~ 16 学时。本教材从应用的角度出发,分析变压器、直流电机、异步电机和同步电机 4 类主要电机的基本结构、工作原理、电磁关系和运行特性,为掌握本专业和学习后续课程打下理论基础。

考虑到自动化专业和电气工程及其自动化专业传动方向后续课“电力拖动自动控制系统”或“电气传动”的需要,对交直流电机的机械特性和起动、制动、调速原理与方法等电力拖动基础的主要内容,比传统的“电机学”有更深入、更详细的讲述。此外,为适应不同学校的需要,在第 6 篇中对微控电机作了较详细的介绍。因此,通过本课程的学习,可不再另开设“电力拖动基础”和“控制电机”等课程。为便于学习,每章后附有习题,每篇后有总结,书末有部分习题的参考答案。本教材可作为电气工程与自动化或电气工程及其自动化、自动化等专业“电机学”或“电机与拖动基础”课程的教学用书,也可供有关科技人员参考。

为适应 21 世纪市场经济和知识经济的需要,有利于学生素质和综合能力的提高,本次修订更加注重突出基本理论和基本分析方法,并尽可能反映国内外最新技术,对原书的内容有所增删,使修订后的本书使用起来更加方便、实用。

修订的主要内容有:

1. 变压器部分对三相变压器的联结组采用 IEC 标准;
2. 异步电机部分对三相异步电动机的起动、制动与调速的内容进行了适当压缩,增加了鼠笼式异步电动机的软起动、深槽型和双鼠笼型异步电动机、变极调速、定子降压调速、电磁调速异步电动机等内容;

3. 同步电机部分增加了同步补偿机的内容;
4. 微控电机部分对磁滞同步电动机、直线电动机的内容进行了改编,增加了无刷直流电动机、开关磁阻电动机的内容,以适应电机理论的发展和科学技术的进步;
5. 为了便于本教材的使用,特推出《电机学》多媒体课件,与本教材同时发行。该课件的制作指导思想是:运用计算机多媒体工具,忠实体现教材的教学思路和主要内容,同时增加一些动画和实物照片,以丰富教师的教学手段,并为学生学习和理解教材的精髓提供帮助;
6. 为便于学生加深对课程的理解和复习,编写了“电机学学习指导及习题解答”(含电力拖动和微控电机)一书,内容包括电机学各部分基本知识点、重点和难点、典型题分析和本教材大部分习题解答,与本教材配套发行。

本书由西华大学张广溢教授、李伟副教授、祁强讲师,陕西科技大学郭前岗教授,桂林电子工业学院诸葛致副教授共同修订,张广溢教授、郭前岗教授任主编。具体分工是:张广溢改编绪论、第1篇和第3篇,李伟改编第2篇,祁强改编第5篇,郭前岗改编第4篇,诸葛致改编第6篇,全书由张广溢教授统稿。

由于编者水平有限,缺点和错误在所难免,希望广大读者批评指正。

编 者
2005 年 12 月

前言

“电机学”是电气工程与自动化或电气工程及其自动化、自动化专业的一门重要的技术基础课。本书包括绪论和变压器、交流电机的共同理论问题、异步电机、同步电机、直流电机、微控电机 6 篇共 20 章,从应用的角度出发,分析变压器、直流电机、异步电机和同步电机 4 类主要电机的基本结构、工作原理、电磁关系和运行特性,为掌握本专业和学习后续课程打下理论基础。考虑到不同学校、不同专业的需要,对交直流电机的机械特性和起动、制动及调速原理与方法作了较多的介绍,并对微控电机设专章介绍。因此,本教材可作为电气工程与自动化或电气工程及其自动化、自动化等专业“电机学”或“电机与拖动基础”课程的教学用书,也可供有关科技人员参考。

为适应 21 世纪市场经济和知识经济的需要,有利于学生素质和综合能力的提高,本教材重点突出基本理论和基本分析方法,同时也要反映国内外最新技术,密切联系实际,使学生通过本课程的学习,能够掌握电机的基本理论和基本分析方法,能够解决所遇到的各种实际电机问题。为便于学习,每章后附有习题,每篇后有总结,书末有部分习题的参考答案。

本教材为四川省电机与拖动基础精品课程教材。

本书由四川工业学院张广溢教授、李伟讲师,陕西工学院郭前岗副教授,桂林电子工业学院诸葛致讲师共同编写,张广溢教授、郭前岗副教授任主编。具体分工是:张广溢编写绪论和第 1 篇,李伟编写第 2 篇,郭前岗编写第 3 篇、第 4 篇和第 5 篇,诸葛致编写第 6 篇,全书由张广溢教授和郭前岗副教授统稿。

由于编者水平有限,缺点和错误在所难免,希望广大读者批评指正。

编 者

2001 年 4 月

主要符号表

A ——线负载;面积	I ——电流
a ——并联支路数(交流);支路对数(直流)	I_N ——额定电流
B ——磁通密度	I_0 ——空载电流、励磁电流;零序电流
B_{av} ——平均磁通密度	I_{Fe} ——铁耗电流
B_δ ——气隙磁通密度	I_μ ——磁化电流
B_m ——最大磁通密度	I_1, I_2 ——一次、二次侧电流
B_a ——电枢磁场密度	I_f ——励磁电流
B_{ad}, B_{aq} ——直轴、交轴电枢磁场磁密	I_d, I_q ——同步电机电枢电流的直轴、交轴分量
B_{f1} ——励磁磁场的基波磁密	I_k ——短路电流
b ——宽度;弧长	I_{st} ——起动电流
C ——常数;电容	i ——电流瞬时值
C_e ——电动势常数	J ——转动惯量
C_T ——转矩常数	K ——换向片数
D ——直径	k ——变压器的变比;系数
E ——感应电动势	k_e ——感应电机的电动势变比
E_0 ——空载电动势	k_i ——感应电机的电流变比
E_a ——电枢反应电动势	k_μ ——饱和系数
E_m ——电动势最大值	k_y ——短距系数
E_1, E_2 ——一次、二次侧电动势	k_q ——分布系数
$E_{1\sigma}, E_{2\sigma}$ ——一次、二次侧漏电动势	k_N ——绕组系数
E_{ad}, E_{aq} ——直轴、交轴电枢反应电动势	k_C ——短路比
E_v —— v 次谐波电动势	F_0 ——激磁磁动势
e ——电动势瞬时值;自然对数的底 ($e = 2.718$)	F_a ——电枢磁动势
e_L ——自感电动势	F_{ad}, F_{aq} ——直轴、交轴电枢磁动势
e_M ——互感电动势	M ——互感
F ——磁动势	m ——相数
F_1, F_2 ——一次、二次侧磁动势	N ——电枢总导体数;匝数
F_{f1} ——励磁基波磁动势	N_1, N_2 ——一次、二次侧每相串联匝数
F_δ ——气隙磁动势	N_c ——线圈匝数
f ——频率;力;磁动势的瞬时值	n ——转速
f_N ——额定频率	n_N ——额定转速
f_1, f_2 ——定子、转子频率	n_1 ——同步转速
H ——磁场强度	P ——功率
h ——高度	P_N ——额定功率
	P_1 ——输入功率

P_2 ——输出功率
 P_M ——电磁功率
 P_m ——总机械功率
 p ——极对数;损耗
 p_{cu} ——铜耗
 p_{Fe} ——铁耗
 p_m ——机械损耗
 p_{ad} ——附加损耗
 p_k ——短路损耗
 p_0 ——空载损耗
 Q ——无功功率
 q ——每极每相槽数
 R, r ——电阻
 R_1 ——一次侧电阻
 R_2 ——二次侧电阻
 R_a ——电枢回路电阻
 R_f ——励磁回路电阻
 R_L ——负载电阻
 R_{st} ——起动电阻
 R_m ——磁阻
 L ——电感;自感
 L ——长度
 T_1 ——原电机转矩;输入转矩
 T_2 ——负载转矩;输出转矩
 T_0 ——空载转矩
 T_j ——惯性转矩
 t ——时间
 U ——电压
 U_N ——额定电压
 U_f ——励磁电压
 U_1, U_2 ——一次、二次侧电压
 u ——电压瞬时值
 u_k ——阻抗电压(短路电压)
 v ——线速度
 W ——能量
 x ——电抗
 $x_{1\sigma}, x_{2\sigma}$ ——一次、二次侧漏电抗
 x_σ ——同步电机电枢漏电抗
 x_p ——保梯电抗

x_k ——短路电抗
 x_a ——电枢反应电抗
 x_t ——同步电抗
 x_{ad}, x_{aq} ——直轴、交轴电枢反应电抗
 x_d, x_q ——直轴、交轴同步电抗
 x'_d, x'_q ——直轴、交轴瞬变电抗
 x''_d, x''_q ——直轴、交轴超瞬变电抗
 x_+, x_-, x_0 ——正序、负序、零序电抗
 y ——节距;合成节距
 Z ——复数阻抗;槽数
 Z_1, Z_2 ——一次、二次侧漏阻抗;感应电机定子、转子槽数
 S ——视在功率;元件数
 S_N ——额定视在功率(额定容量)
 s ——转差率
 s_N ——额定转差率
 s_m ——产生最大电磁转矩的转差率
 T ——转矩;周期;时间常数;电磁转矩
 T_N ——额定转矩
 η ——效率
 η_N ——额定效率
 η_{max} ——最大效率
 θ ——温度;功率角
 Λ_m ——磁导
 λ ——比漏磁导,过载能力
 μ ——磁导率
 τ ——极距;温升
 Φ ——磁通;每极磁通
 Φ_m ——磁通最大值
 Φ_0, Φ_f ——空载磁通;激磁磁通
 Φ_σ ——漏磁通
 Φ_a ——电枢反应磁通
 Z_L ——负载阻抗
 Z_k ——短路阻抗
 Z_m ——激磁阻抗
 Z_+, Z_-, Z_0 ——正序、负序、零序阻抗
 α ——角度;空间电角度;系数
 β ——角度;负载系数
 γ ——角度;电导率

δ ——气隙长度

Φ_1 ——基波磁通

Φ_ν —— ν 次谐波磁通

Φ_{ad}, Φ_{aq} ——直轴、交轴电枢反应磁通

ϕ ——磁通瞬时值

φ ——相位角;功率因数角

Ψ ——磁链

ψ ——相位角

Ω ——机械角速度

Ω_1 ——同步角速度

ω ——角频率

*——右上角加星标的为标么值

'——右上角加撇的为折算值

目 录

绪论	1
0.1 电机在国民经济中的作用	1
0.2 电机的主要类型及电机中所用的材料	2
0.3 电机的发热、冷却及防护	3
0.4 研究电机时常用的基本定律	5
0.5 本课程的性质和任务	9
习题	9

第 1 篇 变压器

第 1 章 变压器的工作原理和结构	12
1.1 变压器的工作原理和分类	12
1.2 变压器的基本结构	13
1.3 变压器的额定值	17
习题	18
第 2 章 变压器的运行原理与特性	19
2.1 变压器的空载运行	19
2.2 变压器的负载运行	23
2.3 变压器的参数测定	27
2.4 标么值	31
2.5 变压器的运行特性	31
习题	34
第 3 章 三相变压器	36
3.1 三相变压器的磁路系统	36
3.2 三相变压器的电路系统——绕组的连接法与 联结组	37
3.3 三相变压器空载电动势波形	40
3.4 变压器的并联运行	42
3.5 三相变压器的不对称运行	45
习题	51

第4章 变压器的瞬变过程	53
4.1 变压器空载合闸时的瞬变过程	53
4.2 变压器副边突然短路时的瞬变过程	55
4.3 变压器的过电压现象	58
习题	59
第5章 三绕组变压器及其他变压器	60
5.1 三绕组变压器	60
5.2 自耦变压器	64
5.3 电压互感器和电流互感器	66
习题	68
总结	68

第2篇 交流电机的共同理论问题

第6章 交流电机的电枢绕组及其电动势	73
6.1 交流绕组的基本要求和分类	73
6.2 槽电动势星形图	74
6.3 三相单层绕组	76
6.4 三相双层绕组	80
6.5 正弦分布磁场下绕组的电动势	83
6.6 非正弦分布磁场下电动势中的高次谐波及其 削弱方法	86
习题	90
第7章 交流绕组的磁动势	92
7.1 单相绕组的脉振磁动势	92
7.2 三相电枢绕组产生的基波合成磁动势	98
7.3 三相电枢绕组合成磁动势的高次谐波	100
7.4 两相电枢绕组产生的磁动势	102
习题	105
总结	106

第3篇 异步电机

第8章 异步电动机的基本工作原理和主要结构	110
8.1 异步电动机的基本工作原理	110
8.2 异步电动机的主要用途与分类	111
8.3 异步电动机的主要结构	112

8.4 异步电动机的额定值·····	114
习题·····	115
第9章 异步电动机的运行分析 ·····	117
9.1 三相异步电动机转子不转、转子绕组开路时的 电磁关系·····	117
9.2 三相异步电动机转子堵转时的电磁关系·····	122
9.3 三相异步电动机转子旋转时的电磁关系·····	128
习题·····	137
第10章 三相异步电动机的功率、转矩及工作特性 ·····	138
10.1 三相异步电动机的功率与转矩平衡方程·····	138
10.2 三相异步电动机的机械特性·····	141
10.3 三相异步电动机的工作特性及其测试方法·····	150
10.4 三相异步电动机的参数测定·····	151
习题·····	153
第11章 三相异步电动机的起动、制动与调速 ·····	154
11.1 三相异步电动机的直接起动·····	154
11.2 三相鼠笼式异步电动机的降压起动·····	155
11.3 绕线式三相异步电动机的起动·····	160
11.4 深槽式和双鼠笼异步电动机·····	162
11.5 三相异步电动机的各种运行状态·····	164
11.6 三相异步电动机的调速·····	172
习题·····	187
总结·····	188

第4篇 同步电机

第12章 同步电机的基本工作原理和主要结构 ·····	190
12.1 同步电机的基本工作原理·····	190
12.2 同步电机的主要结构·····	191
12.3 同步电机的额定值·····	193
习题·····	194
第13章 同步发电机的运行原理与特性 ·····	195
13.1 同步发电机的电枢反应·····	195
13.2 同步电抗的概念·····	199
13.3 隐极同步发电机的负载运行·····	201
13.4 凸极同步发电机的负载运行·····	202

13.5	同步发电机的空载特性、短路特性和零功率因数 负载特性	204
13.6	同步发电机的外特性和电压调整率	208
	习题	210
第14章	同步发电机的并联运行	212
14.1	投入并联运行的条件和方法	212
14.2	隐极同步发电机功率平衡方程式和功角特性 ...	216
14.3	凸极同步发电机的功角特性	218
14.4	功角的物理意义和静态稳定	219
14.5	同步发电机有功功率及无功功率的调节、V 型 曲线	221
	习题	223
第15章	同步电动机和同步补偿机	225
15.1	同步电机的三种运行方式	225
15.2	同步电动机的基本方程式、相量图及功角特性	226
15.3	同步电动机无功功率的调节	229
15.4	同步电动机的起动与调速	230
15.5	同步补偿机	231
	习题	232
第16章	同步发电机的不对称运行和突然短路	233
16.1	同步发电机不对称运行的分析方法	233
16.2	同步发电机的稳态单相短路	235
16.3	同步发电机三相突然短路的物理过程	236
16.4	突然短路时的电抗	238
16.5	瞬态短路电流的计算	240
16.6	突然短路对电机的影响	243
	习题	244
	总结	244

第5篇 直流电机

第17章	直流电机的工作原理和主要结构	247
17.1	直流电机的工作原理	247
17.2	直流电机的主要结构	249
17.3	直流电机的额定值	251

习题	252
第 18 章 直流电机的磁场、电枢绕组和电枢反应	253
18.1 直流电机的空载磁场	253
18.2 直流电机的电枢绕组	256
18.3 直流电机负载时的磁场及电枢反应	261
18.4 直流电机的电枢电动势和电磁转矩	263
习题	266
第 19 章 直流电机的基本方程式和运行特性	267
19.1 直流发电机的基本方程式	267
19.2 直流发电机的运行特性	269
19.3 直流电动机	273
19.4 直流电机的换向	279
19.5 直流电动机的起动、制动与调速	282
习题	288
总结	289

第 6 篇 微控电机

第 20 章 微控电机	290
20.1 单相异步电动机	291
20.2 伺服电动机	295
20.3 力矩电动机	301
20.4 微型同步电动机	302
20.5 步进电动机	305
20.6 旋转变压器	312
20.7 自整角机	317
20.8 测速发电机	324
20.9 直线电动机	329
20.10 无刷直流电动机	332
20.11 开关磁阻电动机	336
习题	338
总结	339
参考答案	341
参考文献	345

绪 论

0.1 电机在国民经济中的作用

由于电能适宜于大量生产、集中管理、远距离传输、灵活分配及自动控制,因而电能成为现代最常用的一种能源。电机是以电磁感应和电磁力定律为基本工作原理进行电能的传递或机电能量转换的机械,在工业、农业、国防、交通运输和家用电器中有着广泛的应用,对国民经济有着重要的作用。

0.1.1 电能的生产、传输和分配中的主要设备

在发电厂,发电机由汽轮机、水轮机、柴油机或其他动力机械带动,这些原动机将燃料燃烧的热能、水的位能、原子核裂变的原子能等转化为机械能传给发电机,由发电机将机械能转换为电能。发电机发出的电压一般为 $10.5 \sim 20 \text{ kV}$,为了减少远距离输电中的能量损失,经济地传输电能,应采用高压输电,一般输电电压为 $110, 220, 330, 500 \text{ kV}$ 或更高,因此,采用升压变压器将发电机发出的电压升高后再进行电能的传输。到各用电区,为安全使用电能,各用电设备又需要不同的低电压,因此,还需要各种电压等级的降压变压器将电压降低,然后供给各用户。在电力工业中,发电机和变压器是发电厂和变电站的主要设备,如图 0.1 所示。

0.1.2 各种生产机械和装备的动力设备

在机械、纺织、冶金、石油和化学工业中,广泛应用电动机驱动各种生产机械和装备。一个现代化的企业需要几百台以至几万台各种不同的电动机;在交通运输中需要各种专用电机,如汽车电机、船用电机和航空电机;至于电车、电气机车需要具有优良起动性能和调速性能的牵引电动机,特别是近年来电动汽车和以直线电动机为动力的磁悬浮高速列车的开发,推动了新型电动机的发展;随着农业现代化的发展,电力排灌、谷物和农副产品加工,都需要电动机拖动;医疗器械、家用电器等的驱动设备都采用了各种交、直流电动机。

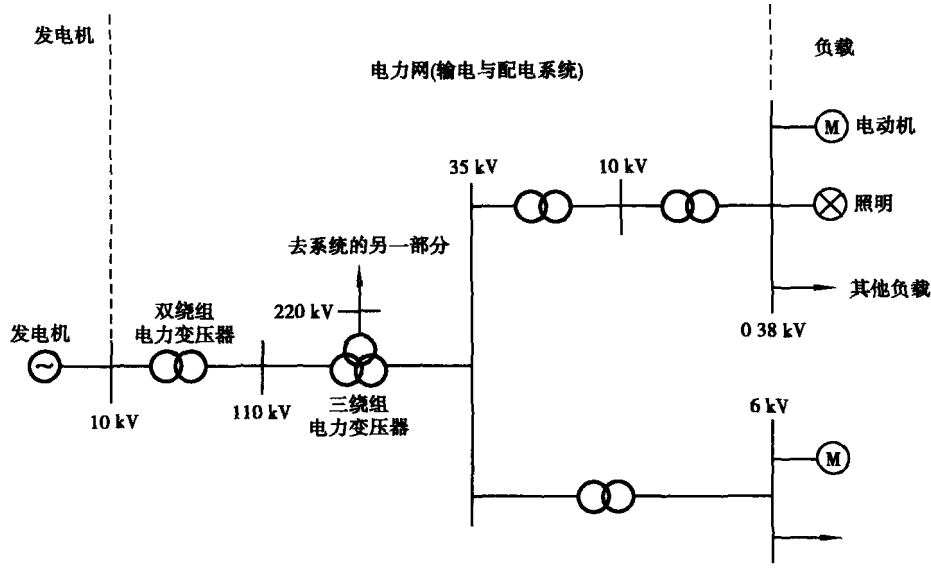


图 0.1 简单电力系统示意图

0.1.3 自动控制系统中的重要元件

随着科学技术的发展,工农业和国防设施的自动化程度越来越高。各种各样的控制电机被用作执行、检测、放大和解算元件。这类电机一般功率较小,品种繁多,用途各异,精度要求较高。例如火炮和雷达的自动定位,人造卫星发射和飞行的控制,舰船方向舵的自动操纵,机床加工的自动控制和显示,电梯的自动选层与显示,以及计算机、自动记录仪表、医疗设备、录音、录像、摄影和现代家用电器设备等的运行控制、检测或记录显示等。

随着社会的发展和科学技术的进步,特别是近年来超导技术、磁流体发电技术、电子与计算机技术的迅猛发展,为新的电机理论和电机技术的发展开辟了广阔的前景。

0.2 电机的主要类型及电机中所用的材料

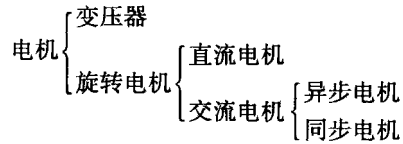
0.2.1 电机的主要类型

按功能分:

- ①发电机。把机械能转换为电能;
- ②电动机。把电能转换为机械能;
- ③变压器、变频器、变流机和移相机。分别用于改变电能的电压、频率、电流及相位;
- ④控制电机。作为自控系统中的元件。

应该指出,从基本原理上看,发电机和电动机是电机的两种运行方式,它们本身是可逆的,这种特性称为电机的可逆性。

按学科分:



0.2.2 电机中所用的材料

电机一般是以磁场为耦合场,利用电磁感应和电磁力的作用来实现能量转换的机械。因此,电机中所用的材料可分为以下4类:

①导电材料。用于电机中的电路系统,为减小 I^2R 损耗,要求材料的电阻率小,常用紫铜及铝。

②导磁材料。用于电机中的磁路系统,为在一定励磁磁动势下产生较强的磁场和降低铁耗,要求材料具有较高的磁导率和较低的铁耗系数,常用硅钢片、钢板和铸钢。

③绝缘材料。用于带电体之间及带电体与铁芯间的电气隔离。要求材料的介电强度高且耐热性能好。按耐热能力可分为 A, E, B, F, H, C 等 6 级,其最高允许工作温度分别为 105, 120, 130, 155, 180 °C 和高于 180 °C。绝缘材料的寿命受电机工作温度的影响很大,若电机运行时温度超过允许值,则其使用寿命将缩短。

④结构材料。使各部分构成整体、支撑和连接其他机械。要求材料的机械强度好,加工方便,重量轻。常用铸铁、铸钢、钢板、铝合金和工程塑料。

0.3 电机的发热、冷却及防护

0.3.1 电机中的损耗

电机运行时,导体中电流产生的电阻损耗 I^2R 称为铜耗 p_{Cu} ;铁芯中交变磁通产生的磁滞损耗和涡流损耗称为铁耗 p_{Fe} ,其大小与铁芯的材料、 B_m^2 及交变频率有关;转动部分与轴承、电刷及空气间的摩擦称为机械损耗 p_m ,其大小与电机结构及转速有关;由于齿槽的存在,谐波和漏磁等因素而引起的额外损耗称为附加损耗 p_{ad} ,其大小与电机型式、容量有关。因此,电机中总损耗为

$$\sum P = p_{Cu} + p_{Fe} + p_m + p_{ad}$$

上述损耗一方面降低了电机的运行效率,另一方面转变成热能,使电机发热,温度升高。

0.3.2 电机的发热

电机中各种损耗转变的热能,使电机的温度升高。电机的温度升高后,便通过辐射和对流作用向周围散发热量。当电机产生的热量等于电机散发出去的热量时,电机的温度便不再上升而达到某一稳定数值,此值与周围冷却介质温度之差,称为温升(单位用绝对温度 K。从数值上看,用 K 与用摄氏温度 °C 表示时是一样的)。

电机中使用的各种绝缘材料,都有一定的最高允许工作温度(单位 °C),在该温度极限内长期工作时,绝缘材料的电性能、机械性能和化学性能都不会显著变坏,通常可保证 20 年的寿