

高等学校教材

电机学

主 编 马宏忠

副主编 方瑞明 王建辉



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

高等学校教材

电机学

主 编 马宏忠

副主编 方瑞明 王建辉



高等教育出版社

HIGHER EDUCATION PRESS

内容提要

全书共分8章,主要介绍电气工程中常用的变压器、异步电机、同步电机和直流电机的基本结构、基本原理、特性和应用,以及电机的基本理论与基本分析方法。每一章前有简短提要,帮助学生了解本章的概况;章末有本章小结,对本章讲述的主要概念、分析方法等进行了归纳和提炼。教材采用启发式学习体系,先提出问题,让学生“带着问题学”。考虑风电专业的需要,本书增加了双馈电机及其在风力发电中的应用内容。书中部分内容用“*”标出,供相关专业选讲。

本书可作为普通高等学校和成人高等学校电气工程学科相关专业“电机学”课程的教材或参考书,也可供有关科技人员学习参考。为了便于读者更好地理解和掌握电机学的主要内容,提高分析和解决问题的能力,本书有配套教材《电机学学习指导与习题解答》。

图书在版编目(CIP)数据

电机学/马宏忠主编. —北京:高等教育出版社,
2009.1

ISBN 978-7-04-024933-0

I. 电… II. 马… III. 电机学-高等学校-教材
IV. TM3

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第188777号

策划编辑 金春英 责任编辑 王莉莉 封面设计 于文燕 责任绘图 朱 静
版式设计 范晓红 责任校对 金 辉 责任印制 韩 刚

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100120	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	北京中科印刷有限公司		http://www.landaco.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×1092 1/16	版 次	2009年1月第1版
印 张	23.75	印 次	2009年1月第1次印刷
字 数	580 000	定 价	30.90元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 24933-00

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

反盗版举报传真：(010) 82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100120

购书请拨打电话：(010)58581118

前 言

本书主要为电气工程及其自动化专业编写,覆盖了原来的电力系统及自动化、电机电器及其控制、高电压技术及绝缘、工业自动化等专业。通过本课程的学习,使学生能掌握典型电机(变压器、异步电机、同步电机、直流电机)的结构、原理、特性和应用,掌握电机的基本理论与基本分析方法。

本书的指导思想是:着眼于适应我国国民经济发展需要和世界科技发展综合化、高新化趋势的需要,突出强化基础知识,拓宽专业口径;注重能力的培养和综合素质的提高,力求深入浅出、循循诱导,培养和提高学生思考及解决问题的能力;启发式学习,让学生带着问题学,激发学生思考的积极性和学习的主动性,培养和提高学生的自主学习能力,为培养学生的创新能力打下基础。

内容体系与特色:

1. 主体内容定位。以变压器、异步电机、同步电机、直流电机为主体,分析它们的结构、工作原理和运行特性,着重于稳态性能的分析。

2. 突出重点,主次分明。考虑到高校电机学课时的减少,对磁动势的谐波问题、电机绕组、电机动态过程、有关公式的详细推导以及涉及设计方面的电机详细结构分析等做了大幅度的压缩,对直流电机内容也做了较大幅度的精简。

3. 适应电机新技术的发展,电机学虽然是一个传统学科,但相关的新技术发展很快,因此本书适当增加了一些相关内容,如电机软起动、双馈电机在风力发电中的应用等。

4. MATLAB 是当今工科学校非常有用的分析工具,书中专门辟出一章,分析 MATLAB 在电机分析计算中的应用,精选几个有代表性的问题,用 MATLAB 进行求解,由于在其他章节对电机动态过程的分析有所压缩,本章适当注重这方面的例子,发挥 MATLAB 分析解决电机学问题的优势。

5. 考虑不同专业对电机学的要求不同,对部分内容用“*”标出,供相关专业选讲。

6. 启发式教学。在主要问题分析之前,先提出问题,让学生“带着问题学”。这有利于提高学习效果。

7. 考虑电机学内容难教难学,本教材中适当增加了有代表性的例题,同时,针对各章节的重点与难点,精心编写了大量的思考题与习题,通过练习帮助学生掌握和巩固所学知识。

8. 每章前面有简短的提要,帮助读者了解本章的概况;章末有本章小结,对本章讲述的主要概念、分析方法等进行了归纳和提炼,以帮助学生对本章内容有整体性的把握。

本书由河海大学马宏忠教授任主编,华侨大学方瑞明教授、上海交通大学王建辉副教授任副主编,其中第二章、第四章、第八章、第七章 7.1 节及附录 B 由马宏忠教授编写,第三章、第六章、第七章 7.2~7.5 节及附录 A 由方瑞明教授编写,第五章由王建辉副教授编写,第一章由南京理

前 言

工大学张俊芳副教授编写,全书由河海大学马宏忠教授统稿。本书编写初期陈琳、张志新等提供了大量的帮助。

全书承清华大学教授王祥珩先生主审,参加本书审稿的还有清华大学苏鹏声教授。他们提出的宝贵意见,对完善和提高教材质量起到了重要作用,在此表示衷心的感谢。另外,本书编写过程中还得到高等教育出版社金春英的大力支持,在此一并表示感谢。

由于编者学识水平有限,加之教学科研工作繁忙,尽管我们已经做了不懈的努力,本书难免有缺点和错误,恳请广大读者批评指正并提出宝贵意见。

编者

2008年7月

本书主要符号表

A ——面积;A相	F_{aq} ——交轴电枢磁动势
a ——交流绕组并联支路数;a相; 120° 复数算子	F_{p1} ——单相绕组的基波磁动势
a_{-} ——直流电机并联支路对数	$F_{p\nu}$ ——单相绕组的 ν 次谐波磁动势
B ——磁通密度;B相	F_{q1} —— q 个线圈的基波合成磁动势
B_{δ} ——气隙磁密	f ——频率;力;磁动势的瞬时值
B_{ad} ——直轴电枢磁通磁密	f_1 ——定子电流频率
B_{aq} ——交轴电枢磁通磁密	f_2 ——转子电流频率
b ——宽度;b相;磁通密度瞬时值	f_N ——额定频率
C ——C相	f_{ν} —— ν 次谐波频率
C_T ——转矩常数	H ——磁场强度
C_e ——电动势常数	I ——电流(交流表示有效值);同步电机的电枢电流;直流电机的线路电流
c ——比热容;c相	I_a ——直流电机的电枢电流
D_1 ——定子内径	I_m ——交流励磁电流
D_a ——电枢外径	I_f ——直流励磁电流
E ——电动势(交流表示有效值)	I_{μ} ——励磁电流中的磁化分量
E_p ——相电动势	I_N ——额定电流
E_0 ——空载电动势	I_0 ——空载电流;零序电流
E_1 ——变压器一次绕组(电机定子绕组)由主磁通感应的电动势有效值	I_k ——短路电流;堵转电流
E_2 ——变压器二次绕组(电机转子绕组)由主磁通感应的电动势有效值	I_{st} ——起动电流
E'_2 —— E_2 的归算值	I_1 ——变压器一次绕组电流;异步电机定子电流
E_q —— q 个线圈的合成电动势	I_2 ——变压器二次绕组电流;异步电机转子电流
e ——电动势的瞬时值	I'_2 —— I_2 的归算值
e_c ——线圈电动势	I_{+} ——电流的正序分量
e_k ——换向电动势	I_{-} ——电流的负序分量
F ——磁动势	i ——电流的瞬时值
F_a ——电枢磁动势	J ——转动惯量
F_m ——异步电机的励磁磁动势	K ——换向片数
F_{ad} ——直轴电枢磁动势	k ——变压器的电压比

本书主要符号表

k_i ——电流比	p_{ad} ——附加损耗(杂散损耗)
k_e ——电动势比	p_{mec} ——机械损耗
k_{d1} ——基波分布因数	Q ——槽数;热量
k_{p1} ——基波节距因数	q ——每极每相槽数
k_{w1} ——基波绕组因数	R ——电阻
$k_{d\nu}$ —— ν 次谐波分布因数	R_{fm} ——频敏变阻器的等效电阻
$k_{p\nu}$ —— ν 次谐波的节距因数	R_m ——励磁电阻;磁阻
$k_{w\nu}$ —— ν 次谐波的绕组因数	R_1 ——变压器一次绕组(或异步电机定子)电阻
L ——自感	R_2 ——变压器二次绕组(或异步电机转子)电阻
$L_{1\sigma}$ ——变压器一次绕组(或异步电机定子)的漏磁电感	R'_2 —— R_2 的归算值
$L_{2\sigma}$ ——变压器二次绕组(或异步电机转子)的漏磁电感	R_f ——励磁绕组电阻
l ——长度	R_a ——电枢电阻
M ——互感	R_k ——变压器(或异步电机)的短路电阻
m_1 ——交流电机定子相数	S ——视在功率
m_2 ——异步电机转子相数	S_N ——额定视在功率
N ——每相串联匝数	s ——转差率
N_c ——每个线圈的匝数	s_N ——额定转差率
n ——转子转速	s_m ——最大转矩时的转差率(临界转差率)
n_N ——额定转速	s_+ ——转子对正向旋转磁场的转差率
n_0 ——空载转速	s_- ——转子对反向旋转磁场的转差率
n_1 ——同步转速	T ——转矩;电磁转矩;时间常数;周期
n_ν —— ν 次谐波旋转磁场的转速	T'_d ——直轴瞬态时间常数
n_2 ——转子基波旋转磁场相对于转子的转速	T_a ——电枢时间常数
Δn ——异步电机转差	T_f ——励磁绕组时间常数
P ——功率	T_N ——额定转矩
P_N ——额定功率	T_0 ——空载转矩
P_{em} ——电磁功率	T_{max} ——最大转矩
P_{mec} ——总机械功率(即转换功率)	T_{st} ——起动转矩
P_k ——堵转功率;短路功率	T_2 ——负载转矩
P_1 ——输入功率	t ——时间,温度
P_2 ——输出功率	U ——电压(交流表示有效值)
P_0 ——空载功率	U_N ——额定电压
p ——损耗;极对数;时间的微分算子	U_p ——相电压
p_0 ——空载损耗	U_1 ——电源电压;定子端电压
p_{Cu} ——铜损耗	U_+ ——正序电压
p_{Fe} ——铁损耗	U_- ——负序电压

U_0 ——空载电压;零序电压	阻抗
U_k ——短路电压;堵转电压	Z_2 ——变压器二次绕组(或异步电机转子)漏
u ——电压的瞬时值	阻抗
ΔU ——电压调整率	Z_2' —— Z_2 的归算值
$2\Delta U_a$ ——每对电刷的电压降	α ——角度;相邻两槽间的电角度(槽距角)
W ——功;能	β ——夹角;短距角
W_m ——磁场能量	δ ——气隙;功率角(功角)
X ——电抗	η ——效率
X_a ——电枢反应电抗	η_N ——额定效率
X_+ ——正序电抗	η_{\max} ——最大效率
X_- ——负序电抗	θ ——温升;角度
X_0 ——零序电抗	Λ ——磁导
X_{ad} ——直轴电枢反应电抗	Λ_σ ——漏磁导
X_{aq} ——交轴电枢反应电抗	λ ——单位面积的磁导;导热系数
X_σ ——定子漏抗	μ ——磁导率;转子谐波次数
X_s ——同步电抗	μ_0 ——空气磁导率
X_d ——直轴同步电抗	μ_{Fe} ——铁心磁导率
X_q ——交轴同步电抗	ν ——谐波次数
X_m ——励磁电抗	τ ——极距
X_k ——短路电抗	Φ ——磁通量
X_1 ——变压器一次绕组(或异步电机定子)漏电抗	Φ_0 ——空载磁通;同步电机的主磁通
X_2 ——变压器二次绕组(或异步电机转子)漏电抗	Φ_a ——电枢反应磁通
X_2' —— X_2 的归算值	Φ_m ——变压器磁通幅值
X_d' ——直轴瞬态电抗	Φ_σ ——漏磁通
X_d'' ——直轴超瞬态电抗	Φ_{ad} ——直轴电枢反应磁通
y ——绕组合成节距	Φ_{aq} ——交轴电枢反应磁通
y_1 ——第一节距	Φ_ν —— ν 次谐波磁通
y_2 ——第二节距	ϕ ——磁通量的瞬时值
y_k ——换向器节距	φ ——相角;功率因数角
Z ——阻抗;电枢导体数	φ_0 ——空载功率因数角
Z_m ——励磁阻抗	φ_k ——短路功率因数角
Z_k ——短路阻抗	φ —— \dot{U} 和 \dot{i} 间的夹角
Z_+ ——正序阻抗	Ψ ——磁链
Z_- ——负序阻抗	ψ ——内功率因数角
Z_0 ——零序阻抗	φ_2 ——异步电机转子的内功率因数角
Z_1 ——变压器一次绕组(或异步电机定子)漏	Ω ——转子的机械角速度
	Ω_0 ——同步角速度
	ω ——角频率;电角速度

目 录

第一章 绪论	1	2.3.3 二次侧的归算	29
1.1 电机概述	1	2.3.4 等效电路	31
1.1.1 电机在国民经济中的作用	1	2.3.5 相量图	32
1.1.2 电机工业发展概况	2	2.3.6 近似等效电路和简化等效电路	32
1.1.3 电机分类	3	2.4 标么值	33
1.2 本课程的性质、要求及学习方法	3	2.4.1 标么值的定义	33
1.2.1 电机学课程内容及要求	3	2.4.2 基值	33
1.2.2 电机学课程的学习方法	4	2.4.3 标么值的优点	34
1.3 电机学中常用的磁路知识	4	2.5 变压器的参数测定	34
1.3.1 描述磁场的几个物理量	4	2.5.1 空载试验	35
1.3.2 磁路基本定律	5	2.5.2 短路试验	36
1.3.3 铁磁材料的磁化曲线	10	2.6 变压器的运行性能	41
1.4 电机制造材料	12	2.6.1 电压调整率	41
本章小结	13	2.6.2 损耗与效率	44
思考题	13	2.7 三相变压器及其运行	47
习题	14	2.7.1 三相变压器的磁路	47
第二章 变压器	15	2.7.2 三相变压器的联结组	48
2.1 变压器的工作原理、分类和结构	15	* 2.7.3 三相变压器绕组连接法及磁路系统 对电动势波形的影响	52
2.1.1 原理、分类	15	2.8 变压器的并联运行	55
2.1.2 结构	16	2.9 三绕组变压器、自耦变压器、互 感器	59
2.1.3 铭牌及额定值	19	2.9.1 三绕组变压器	59
2.1.4 发热、温升与冷却	20	2.9.2 自耦变压器	63
2.2 变压器的空载运行	20	2.9.3 互感器	66
2.2.1 变压器空载运行的物理情况	20	2.10 变压器的瞬态过程	68
2.2.2 参考方向	22	2.10.1 二次侧突然短路	68
2.2.3 变比	22	2.10.2 变压器空载合闸时的瞬态过程	71
2.2.4 空载运行的基本方程	23	2.11 三相变压器的不对称运行	73
2.2.5 等效电路与相量图	24	2.11.1 对称分量法	73
2.2.6 空载功率	25	2.11.2 Yyn 联结三相变压器单相运行	75
* 2.2.7 空载电流分析	25	本章小结	77
2.3 变压器的负载运行	27	思考题	80
2.3.1 负载运行时的物理情况	27		
2.3.2 负载运行时的电磁关系与基本方程	28		

习题	81	方程	136
第三章 交流电机的基本理论	86	4.5.1 异步电动机的功率关系	136
3.1 交流电机的工作原理	86	4.5.2 异步电动机的转矩关系	140
3.1.1 同步电机的工作原理	86	* 4.6 异步电机的参数测定	141
3.1.2 异步电机的工作原理	87	4.7 三相异步电动机的机械特性	144
3.2 交流电机的绕组和电动势	88	4.7.1 电磁转矩的一般表达形式(物理 表达式)	145
3.2.1 交流电机绕组的要求	88	4.7.2 机械特性的参数表达式	145
3.2.2 三相双层绕组	89	* 4.7.3 实用表达式	148
3.2.3 正弦磁场下交流绕组的感应电动势	92	* 4.7.4 稳定运行问题	148
* 3.2.4 感应电动势中的高次谐波	96	* 4.8 异步电机的工作特性	151
3.3 交流电机绕组的磁动势	99	4.9 三相异步电动机的起动	153
3.3.1 概述	99	4.9.1 起动电流与起动转矩	153
3.3.2 单相绕组的磁动势——脉振磁动势	100	4.9.2 普通三相笼型异步电动机的起动	154
3.3.3 三相绕组的磁动势——旋转磁动势	106	4.9.3 高起动转矩的三相笼型异步 电动机	158
* 3.3.4 交流电机的气隙磁场和励磁电抗	110	4.9.4 绕线型三相异步电动机的起动	160
本章小结	112	* 4.9.5 三相异步电动机的软起动	162
思考题	113	4.10 三相异步电动机的调速	163
习题	114	4.10.1 概述	163
第四章 异步电机	116	4.10.2 变极调速	164
4.1 异步电机的基本类型和基本 结构	116	4.10.3 变频调速	165
4.1.1 异步电机的结构	116	4.10.4 改变转差率调速	167
4.1.2 异步电机的分类	119	* 4.11 三相异步电机的电制动	170
4.1.3 异步电机的铭牌额定值、技术 数据	121	4.12 异步发电机	171
4.2 异步电机的基本工作原理	122	4.13 单相异步电动机简介	174
4.2.1 异步电机的基本工作原理	122	本章小结	176
4.2.2 异步电机的三种运行状态	123	思考题	179
* 4.2.3 异步电机的主磁通与漏磁通	124	习题	180
4.3 转子静止时的异步电机	125	第五章 同步电机	183
4.3.1 转子绕组开路	125	5.1 同步电机的基本知识	183
4.3.2 转子绕组短路	127	5.1.1 同步电机的用途和基本类型	183
4.4 转子旋转时的异步电机及其等效 电路	130	5.1.2 同步电机的基本结构	184
4.4.1 转子绕组的电动势和电流	130	5.1.3 同步电机的额定值	189
4.4.2 平衡方程	131	5.2 同步电机的运行原理	189
4.4.3 频率归算	132	5.2.1 同步发电机的空载运行	189
4.4.4 等效电路与相量图	133	5.2.2 对称负载时的电枢反应	196
4.4.5 异步电机等效电路的简化	135	5.2.3 隐极同步发电机的电动势方程式、 同步电抗和时空矢量图	199
4.5 异步电动机的功率方程和转矩		5.2.4 凸极同步发电机的双反应理论、电动	

势方程式、同步电抗和时空矢量图	203	5.7.5 不对称突然短路概念	264
5.3 同步发电机的运行特性	209	5.7.6 突然短路对电机的影响	265
5.3.1 同步发电机的空载特性和短路特性	209	本章小结	267
5.3.2 同步发电机的零功率因数负载特性	210	思考题	268
5.3.3 同步发电机的短路比和直轴同步电抗	214	习题	270
5.3.4 同步发电机的外特性和调整特性	216	第六章 直流电机	276
5.3.5 电压调整率和额定励磁磁动势的求法	217	6.1 直流电机的工作原理和基本结构	276
5.3.6 同步发电机稳态参数的测定	220	6.1.1 直流电机的基本工作原理及其分类	276
5.4 同步发电机的并联运行	221	6.1.2 直流电机的基本结构	279
5.4.1 并联投入的条件和方法	221	6.1.3 直流电机的型号和额定值	283
5.4.2 同步发电机的功率和转矩平衡方程式	226	6.2 电枢绕组及直流电机基本原理	284
5.4.3 同步发电机的功角特性	226	6.2.1 电枢绕组简介	284
5.4.4 同步发电机与大电网并联运行时有功功率的调节和静态稳定	228	6.2.2 电枢电动势及电磁转矩	289
5.4.5 无功功率的调节和 V 形曲线	231	6.2.3 电枢反应	291
5.5 同步电动机和同步调相机	233	* 6.2.4 换向概述	295
5.5.1 同步电动机的基本方程式、矢量图和功角特性	233	6.3 直流电机运行	298
5.5.2 无功功率的调节	236	6.3.1 直流电机的基本方程	298
5.5.3 同步电动机的起动方法	237	6.3.2 直流发电机	302
5.5.4 同步调相机	239	6.3.3 直流电动机	306
* 5.6 同步发电机的不对称运行	241	本章小结	311
5.6.1 同步发电机不对称运行时的各相序阻抗和等效电路	241	思考题	313
5.6.2 三相同步发电机的不对称稳定短路	245	习题	314
5.6.3 负序和零序参数的测定	248	第七章 其他电机简介	315
5.6.4 不对称运行对发电机的影响	249	7.1 双馈异步发电机及其在风力发电中的应用	315
* 5.7 同步电机的突然短路	250	7.1.1 双馈异步发电机工作原理	315
5.7.1 超导闭合线圈磁链守恒原理	250	7.1.2 等值电路及相量图	316
5.7.2 对称突然短路的物理过程	252	7.1.3 双馈电机在风力发电中的应用	317
5.7.3 瞬态电抗和超瞬态电抗及其测定方法	255	7.2 永磁无刷直流电动机	319
5.7.4 突然短路电流及其衰减时间常数的计算	259	7.2.1 基本结构	319
		7.2.2 工作原理	320
		7.2.3 运行特性	321
		7.3 开关磁阻电机	321
		7.3.1 结构特点	322
		7.3.2 工作原理	322
		7.3.3 运行特性	322
		7.4 步进电动机	323
		7.4.1 基本结构	323

目 录

7.4.2 工作原理	324	8.2.1 变压器问题	334
7.4.3 转速	324	8.2.2 异步电机问题	339
7.5 控制电机简介	325	8.2.3 同步电机问题	345
7.5.1 作为测量元件使用的控制电机	325	本章小结	347
7.5.2 作为执行元件使用的控制电机	326	习题	347
本章小结	326	附录 A	348
思考题	327	A.1 三相单层绕组	348
习题	328	A.2 电机选用	350
第八章 MATLAB 在电机分析计算中的		A.2.1 电机的发热、绝缘与冷却	350
应用	329	A.2.2 电机的工作制	352
8.1 MATLAB 简介	329	A.2.3 电机的选择	353
8.1.1 MATLAB 概述	329	A.3 dq0 变换	354
8.1.2 MATLAB 快速入门	330	附录 B	357
8.1.3 Simulink 简介	333	电机学常用中英文名词、术语	357
8.2 MATLAB 在电机分析计算中的		参考文献	365
应用实例	334		

第 一 章

绪 论

电机是利用电磁原理进行能量转换或信号传递的电气设备,或把与电能有关的能量转换成机械能,是实现电能的生产、变换、传输、分配、使用 and 控制的电磁机械装置。电机广泛应用于工业、农业、交通运输、日常生活、文教、医疗以及国防、人造卫星等领域。

电机学是讲述电机基本结构、基本原理及运行特性的一门学科。电机学课程与其他后续专业课程联系密切,因此只有学好该课程才能为以后其他课程的学习和将来从事电气工作奠定基础。

1.1 电机概述

1.1.1 电机在国民经济中的作用

电能与各种形式的能量相比,具有明显的优越性,适宜于大量生产、集中管理、远距离传输、灵活分配和自动控制,而且清洁环保。电机是能量转换或信号传递的核心电气设备之一,主要包括发电机、变压器和电动机等类型。不同类型的电机虽然性能不相同,但它们都是一种能量转换装置。长期以来,电机在国民经济发展中起着重要的作用,广泛用在各行各业和日常生活中。例如:

1. 电力系统中电能的生产、传输和分配

电力系统包括发电、输变电、配电、用电等环节。电机主要包括发电机、变压器和电动机等类型。发电机主要用在生产电能的发电厂,把机械能转换为电能。在火电厂,通过汽轮机带动发电机,把燃料燃烧所产生的热能转变为电能;在水电厂,水轮机带动发电机,把水流的机械能转变为电能;在核电厂,把原子核裂变产生的原子能通过发电机转变为电能。

电力变压器主要在电力系统变电站中用于改变电压、传输电能。因为发电机出口电压一般比较低,为了减少远距离输电中的电能损失,需要采用高压输电。只有通过变压器才能把发电机出口的低电压升高到输电系统的高电压。由于各种用电设备如电动机、电炉、电灯等需要不同的低电压,因此还要由变压器把输电线的高电压降低到各个用电区所需的低电压。

电动机是电力系统的主要用电设备,它把电能转换成机械能。

2. 驱动生产机械和装备

电动机在工业、农业、交通运输业以及日常生活等领域广泛被用来驱动各种用途的生产机械和装备。比如工矿企业的各种机床、矿山机械、交通运输机械、起重机械、化工机械、农用机械、电动工具、家用电器以及文教、医疗器械等都是依靠电动机来拖动的。

3. 控制系统中的重要元件

随着工业生产自动化水平不断提高,各种高科技领域,如航天、计算机、通信等领域广泛应用各种控制电机。在现代军事装备中,电机已成为不可缺少的重要元件或子系统,如火炮自动瞄准、雷达自动定位等都离不开各种控制电机。

随着现代社会的发展,电机工业在国民经济中将起着更加重要的作用。

1.1.2 电机工业发展概况

电机是随着生产的发展而产生和发展的,而电机的发展反过来又促进社会生产力的不断提高。

电机的发展可以分为两个时期:

第一个时期是从发现电磁感应现象开始,直到 19 世纪末和 20 世纪初,当各种电机和变压器的基本形式已具备时为止,称为电机发展初期。可分为四个阶段,即:

① 电磁感应定律的发现。在 1831 年法拉第提出了电磁感应定律后,出现了各种各样原始形式的发电机。

② 直流电机的发展。由于电能在工业上最早的应用是照明和电化学工业,所以,最初发展的是直流发电机。

③ 单相交流电的应用。在 19 世纪 70 年代,人们尝试用交流电传输电能,1876 年,交流电已被应用于照明装置。相继出现了原始形式的同步发电机和变压器。

④ 三相交流电的应用。由于单相交流电动机无法自行起动,1885 年制成了二相交流异步电机的模型。直到 1889—1897 年间,才制成了三相电动机和三相变压器,建成了第一个三相交流输电系统。从此,交流三相制发电厂迅速发展,高速运转的汽轮发电机代替了以蒸汽机为原动机的发电机。

第二个时期是从 20 世纪初直到现在,称为近代发展时期。20 世纪是由电气化时代进入原子能、计算机及自动化的时代,对电机的运行性能、单位容量的重量、体积等方面提出了更多的要求,而且随着自动控制系统和计算装置的发展,在旋转电机的理论上,发展了多种高精度、快响应的控制电机。与此同时,由于电力电子学等学科的渗透,使电机学科得到了新的发展。

新中国成立前,我国的电机工业极端落后,全国只有少数几家规模小、设备差、生产能力低的电机制造厂。新中国成立以来,我国的电机制造工业发生了巨大的变化。经过 50 多年的努力,不仅建成了独立自主和完整的体系,而且有一些产品已经达到或接近世界先进水平。近年来已生产了大型水轮发电机(如三峡电站的 70 万千瓦水轮发电机)、大型汽轮发电机、大型直流电动机、大型异步电动机和同步电动机;在中小型电机和控制电机方面,自行设计和生产了新系列电机。在电动机调速系统方面,随着大功率电力电子元件及微电子器件的出现和变频技术的发展,使交流异步机的调速在平滑度、范围和效率方面都得到了很大改进。由于生产上的需要,近几年来,对电机的新原理、新结构、新工艺、新材料、新的运行方式和调试方法,进行了许多探索、研究和试验工作,取得了一定的成就。

当前科学技术突飞猛进,电机在制造上向着大型、巨型发展。在应用上由于电力电子技术的迅速发展,使大容量同步电机的励磁装置体积减小、重量减轻、效率更高,发电系统的性能和可靠性得到了很大提高;由于计算技术迅速发展,使某些特种电机具有快速响应、快速起停以及能模仿人的动作等更复杂运动。由于应用了控制技术,电机具有更好的特性,使各类电机成为各种机电系统中极其重要的元件。

电机学科历史悠久,有系统的理论和丰富的工程实践。随着生产技术和科学技术水平的发展,电机在不断地深化和更新。

1.1.3 电机分类

电机的应用非常广泛,但由于使用场合不同,原理也有一定差别,运行情况也不尽相同,从不同角度可以将电机划分为不同类型:

① 从能量转换角度可分为:

发电机(机械能→电能)

电动机(电能→机械能)

变压器(一种形式的电能→另一种形式的电能)

② 从工作原理角度可分为:

变压器

直流电机

交流电机:异步电机、同步电机

③ 从运行情况可分为:

旋转电机

直线电机

静止电机(变压器)

此外,还有其他分类方法,每一种分类都不是绝对的,这里不再介绍。

1.2 本课程的性质、要求及学习方法

1.2.1 电机学课程内容及要求

电机在国民经济中的应用非常广泛,同时,电机学课程与后续专业课程联系密切,因此学好该课程是为以后专业课程的学习和工作奠定基础。

一、课程内容

电机学课程是对四种典型电机(变压器、直流电机、异步电机、同步电机)进行理论分析。课程内容的重点是讲述电机的基本原理、基本结构、运行特性和应用。

二、课程特点及要求

“电机学”是一门学科基础课,是一门既带基础课程又带专业课程性质的课程,是从基础课程到专业课程过渡的桥梁。

通过本课程的学习,可获得电机的基本理论、基本知识和基本技能,为学习后续专业课程做

好准备,为今后从事相关工作打下基础。

通过学习,应达到下列基本要求:

- (1) 对磁路的计算方法及交流铁心线圈的性能有基本的了解。
- (2) 对变压器和三种主要电机(直流电机、异步电机和同步电机)的基本结构要有一定认识。对各种电机中气隙磁场的性质和时间、空间关系要有深入的了解。
- (3) 对各种电机正常稳态运行时的分析方法和运行性能,要牢固掌握。要能正确地建立电压方程和转矩方程,弄清电机中的能量转换关系;对稳态运行时电机的参数要有清晰的物理概念,能熟练地运用等效电路和复数来计算交流电机的性能。
- (4) 对电机中的能量关系、感应电动势、电磁功率、电磁转矩和机电能量转换过程要有一个基本的了解。

1.2.2 电机学课程的学习方法

在电机学课程的学习过程中,要不断总结电机的共性,同时要注意各种电机的区别,再结合实验和一定数量习题的练习,这样,学起来就会转难为易,兴趣越来越浓。

共性包括以下几个方面:

- (1) 电机结构:有定子、转子;有磁路、电路。
- (2) 电机原理:电和磁是构成电机的两大要素,缺一不可。电机通过电磁感应实现能量转换。
- (3) 分析方法:先找平衡方程,再画出等效电路和相量图;先分析工作原理,再分析运行特性。

1.3 电机学中常用的磁路知识

1.3.1 描述磁场的几个物理量

一、主磁通和漏磁通

磁通所通过的路径称为磁路。图 1-3-1 表示两种常见的磁路。

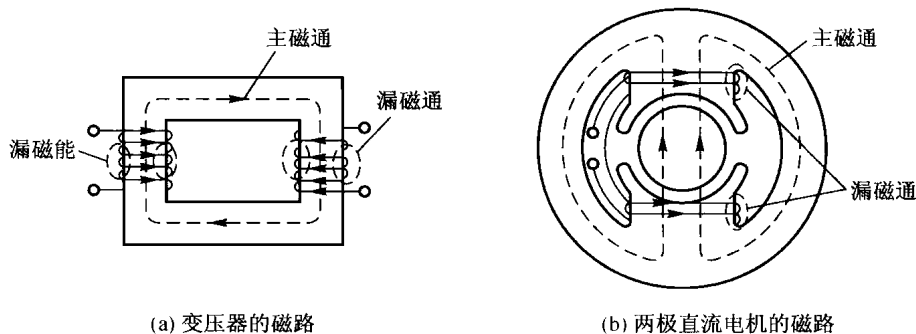


图 1-3-1 表示两种常见的磁路