



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUOJIAJI GUIHUA JIAOCAI

DIANJIXUE

电机学

陈世元 主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

Electrical Engineering



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUOJIAJI GUIHUA JIAOCAI

DIANJIXUE

电机学

主编 陈世元
编写 梁冠安 尹华杰
何志伟 程小华
杨向宇
主审 唐任远 郭立炜



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

Electrical Engineering

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

全书分为七篇，共三十一章，主要内容包括直流电机的概述、电枢绕组、运行原理、运行特性，起动、调速和制动，及换向；变压器的概述、运行原理、特性，三相变压器和特殊变压器；交流绕组的构成、感应电动势和磁动势；感应电机的概述、运行原理、特性，起动、调速和制动，及特种感应电机；同步电机的概述、运行原理、特性、并联运行、同步电动机和同步补偿机；电机的共同问题：不对称运行和机电能量转换原理；电机动态分析的特点和同步电机、感应电机、变压器、直流电机的动态分析。附录列举了有关电磁场、电路和磁路、铁磁材料等基础知识。

本书可作为高等学校电气信息类专业的教材，亦可作为相关科技工程人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电机学/陈世元主编；梁冠安等编写. —北京：中国电力出版社，2008

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-5083-7656-1

I. 电… II. ①陈…②梁… 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 096893 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 9 月第一版 2008 年 9 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 23 印张 553 千字

定价 36.80 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

本书是国家教育部立项的普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本书参考了 50 多部电机学和 40 多部相关书籍以及一些文章,汲取各家所长,融入作者的教学经验编写而成。本书共分七篇,外加绪论和附录。第一篇为直流电机,第二篇为变压器,第三篇为交流绕组,第四篇为感应电机,第五篇为同步电机,第六篇为电机的共同问题,第七篇为电机的动态分析。每篇后面附有习题。本书可作为高等学校电气工程及其自动化等强电类专业的教材,亦可供有关科技人员作为参考用书。

本书的特点是:①为了培养学生分析问题和解决问题的能力,各种电机的分析都贯穿着从实物模型至物理模型到数学模型以及特性分析的主线;注重基本概念、基本理论和基本方法的阐述,以便使学生建立牢固的物理概念,为后续课程的学习和解决日常遇到的工程问题打下良好基础。②对于过时的、繁琐的、与电机基本理论关系不大的内容(如发热与冷却)进行了删减,但有关基本原理的内容尽量入编,尽量以最简要的方法阐述其原理,并适当加进一些学科前沿的内容。③将电磁场等基础性和阅读性内容归到附录中,供读者查询参考或根据各校实际情况选讲。④为适应近年来电机理论的发展和生产、科研上的实际需要,除传统内容外,增加了机电能量转换和动态分析,使传统理论得到升华,便于将来从事各种新型电机的开发和研制。⑤按几个经典机种分篇编写,各篇的内容具有一定的相对独立性,可根据实际需要和学时决定取舍,前五篇在具体讲授时可以改变次序。

本书由华南理工大学陈世元教授担任主编;编写绪论、第三、六篇和附录,并参与编写第一、二、四、五、七篇;对全书进行修改、统稿和定稿。杨向宇教授参与编写第七篇,程小华教授参与编写第五篇,何志伟教授参与编写第四篇,尹华杰副教授参与编写第二篇,梁冠安副教授参与编写第一篇。

唐任远院士、郭立炜教授对本书做了仔细审阅。

本书的编写得到华南理工大学各级领导的关怀,电力学院和教务处的资助,图书馆的支持及各位同仁的热心帮助;哈尔滨大电机研究所孙玉田教授级高级工程师、三峡电厂陈小明高级工程师为本书提供了部分图片,编者在此表示深切的谢意。

由于编者水平有限,编写时间仓促,书中存在疏漏与不足之处,恳请读者提出宝贵意见,以便在再版中修正。

作 者

2007年10月于广州

主要符号表

A	面积; 电负荷	f_ν	ν 次谐波频率
a	交流绕组并联支路数; 120° 复数算子	H	磁场强度
$a_=-$	直流电机并联支路对数	I	电流 (交流表示有效值); 同步电机的电枢电流; 直流电机的线电流
B	磁通密度	I_a	直流电机的电枢电流
B_δ	气隙磁密	I_m	交流励磁电流
B_{ad}	直轴电枢磁场磁密	I_f	直流励磁电流
B_{aq}	交轴电枢磁场磁密	I_μ	励磁电流中的磁化分量
b	宽度; 磁通密度瞬时值	I_N	额定电流
c	斜槽距离	I_0	空载电流; 零序电流
C_T	转矩常数	I_k	短路电流; 堵转电流
C_e	电动势常数	I_{st}	起动电流
D_1	定子内径	I_1	变压器一次绕组 (感应电机定子) 电流
D_a	电枢外径	I_2	变压器二次绕组 (感应电机转子) 电流
E	电动势 (交流表示有效值)	I_+	电流的正序分量
E_{ph}	相电动势	I_-	电流的负序分量
E_0	空载电动势	i	电流的瞬时值
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	J	转动惯量
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	j	电流密度
E_q	q 个线圈的合成电动势	K	换向片数
e	电动势的瞬时值	k	变压器的电压比
e_r	换向电抗电动势	k_i	电流比
e_c	换向运动电动势; 线圈电动势	k_e	电动势比
F	磁动势	k_{d1}	基波分布因数
F_a	电枢磁动势	k_{p1}	基波节距因数
F_m	感应电机的励磁磁动势	k_{w1}	基波绕组因数
F_{ad}	直轴电枢磁动势	k_ν	ν 次谐波的分布因数
F_{aq}	交轴电枢磁动势	$k_{p\nu}$	ν 次谐波的节距因数
F_{ph1}	单相绕组的基波磁动势	$k_{w\nu}$	ν 次谐波的绕组因数
$F_{ph\nu}$	单相绕组的 ν 次谐波磁动势	L	自感
F_{q1}	q 个线圈的基波合成磁动势	$L_{1\sigma}$	变压器一次绕组 (感应电机定子) 的漏磁电感
f	频率; 力; 磁动势的瞬时值	$L_{2\sigma}$	变压器二次绕组 (感应电机转子) 的漏磁电感
f_1	定子频率	l	长度
f_2	转子频率	M	互感
f_N	额定频率		

m_1	交流电机定子相数	s_-	转子对反向旋转磁场的转差率
m_2	感应电机转子相数	T	转矩; 时间常数; 周期
N	每相串联匝数	T_c	换向周期
N_c	每个线圈的匝数	T_d'	直轴瞬态时间常数
n	转子转速	T_a	电枢时间常数
n_N	额定转速	T_f	励磁绕组时间常数
n_0	空载转速	T_N	额定转矩
n_s	同步转速	T_0	空载转矩
n_v	v 次谐波旋转磁场的转速	T_e	电磁转矩
n_2	转子基波旋转磁场相对于转子的转速	T_{max}	最大转矩
P	功率	T_{pi}	同步电动机的牵入转矩
P_N	额定功率	T_{st}	起动转矩
P_e	电磁功率	T_2	负载转矩
P_Ω	转换功率	t	时间; 温度
P_k	堵转功率; 短路功率	U	电压 (交流表示有效值)
P_1	输入功率	U_N	额定电压
P_2	输出功率	U_{ph}	相电压
P_0	空载功率	U_1	电源电压; 定子端电压
p	损耗; 极对数;	U_+	正序电压
p	时间的微分算子	U_-	负序电压
p_{Cu}	铜耗	U_0	空载电压; 零序电压
p_{Fe}	铁耗	U_k	短路电压; 堵转电压
p_Δ	杂散损耗	u	电压的瞬时值
p_Ω	机械损耗	Δu	电压调整率
Q	槽数	$2\Delta U_s$	每对电刷的电压降
q	每极每相槽数	W	功; 能
R	电阻	W_m	磁场能量
R_m	励磁电阻; 磁阻	X	电抗
R_1	变压器一次绕组 (感应电机定子) 电阻	X_a	电枢反应电抗
R_2	变压器二次绕组 (感应电机转子) 电阻	X_{ad}	直轴电枢反应电抗
R_f	励磁绕组电阻	X_{aq}	交轴电枢反应电抗
R_a	电枢电阻	X_+	正序电抗
R_k	变压器 (感应电机) 的短路电阻	X_-	负序电抗
R_Ω	旋转阻力系数	X_0	零序电抗
S	视在功率	X_σ	定子漏抗
S_N	额定视在功率	X_s	同步电抗
s	转差率	X_d	直轴同步电抗
s_N	额定转差率	X_q	交轴同步电抗
s_{max}	最大转矩时的转差率	X_m	励磁电抗
s_+	转子对正向旋转磁场的转差率	X_k	短路电抗

$X_{1\sigma}$	变压器一次绕组（感应电机定子）的漏抗	Δ	磁导
$X_{2\sigma}$	变压器二次绕组（感应电机转子）的漏抗	Δ_{σ}	漏磁导
X'_d	直轴瞬态电抗	λ	单位面积的磁导
X''_d	直轴超瞬态电抗	μ	磁导率；转子谐波次数
y	绕组合成节距	μ_0	空气磁导率
y_1	第一节距	μ_{Fe}	铁心磁导率
y_2	第二节距	ν	谐波次数
y_c	换向器节距	τ	极距
Z	阻抗；电枢导体数	Φ	磁通量
Z_m	励磁阻抗	Φ_0	空载磁通；同步电机的主磁通
Z_k	短路阻抗	Φ_a	电枢反应磁通
Z_+	正序阻抗	Φ_m	变压器或感应电机的主磁通
Z_-	负序阻抗	Φ_{σ}	漏磁通
Z_0	零序阻抗	Φ_{ad}	直轴电枢反应磁通
$Z_{1\sigma}$	变压器一次绕组（感应电机定子）的漏阻抗	Φ_{aq}	交轴电枢反应磁通
$Z_{2\sigma}$	变压器二次绕组（感应电机转子）的漏阻抗	Φ_{ν}	ν 次谐波磁通
α	角度；相邻两槽间的电角度	ϕ	磁通量的瞬时值
β	夹角； q 个线圈的总夹角	φ	相角；功率因数角
δ	气隙；功率角	φ_0	空载功率因数角
ϵ	小数；短距角	φ_k	短路功率因数角
η	效率	ψ	磁链； \dot{E} 和 \dot{I} 间的夹角
η_N	额定效率	ψ_0	内功率因数角
η_{max}	最大效率	ψ_2	感应电机转子的内功率因数角
θ	角度；温升	Ω	转子的机械角速度
		Ω_s	同步机械角速度
		ω	角频率；电角速度

目 录

前言	
主要符号表	
绪论	1
第一节 电机在国民经济中的作用	1
第二节 电机的分类	2
第三节 电机学的课程性质	3
第四节 电机的额定值、标幺值与寿命	5
第一篇 直 流 电 机	
第一章 概述	8
第一节 直流电机的工作原理	8
第二节 直流电机的结构	11
第三节 直流电机的励磁方式	13
第二章 直流电机的电枢绕组	15
第一节 电枢绕组的构成	15
第二节 单叠绕组	17
第三节 单波绕组	19
第四节 复合绕组	21
第三章 直流电机的运行原理	23
第一节 直流电机的空载运行	23
第二节 直流电机的负载运行	24
第三节 直流电机的基本方程式	27
第四章 直流电机的运行特性	33
第一节 直流发电机的运行特性	33
第二节 直流电动机的运行特性	38
第五章 直流电动机的起动、调速和制动	43
第一节 直流电动机的起动	43
第二节 直流电动机的调速	45
第三节 直流电动机的制动	49
第六章 直流电机的换向	53
第一节 直流电机的换向过程	53
第二节 换向的电磁理论	54
第三节 产生火花的原因	55
第四节 改善换向的方法	57

思考题	59
练习题	60

第二篇 变 压 器

第七章 概述	63
第一节 变压器的工作原理	63
第二节 变压器的结构	64
第八章 变压器的运行原理	69
第一节 变压器的空载运行	69
第二节 变压器的负载运行	72
第三节 变压器的数学模型	74
第九章 变压器的特性	79
第一节 变压器的基本特性	79
第二节 变压器的运行特性	82
第十章 三相变压器	86
第一节 三相变压器的磁路	86
第二节 三相变压器的绕组连接	87
第三节 三相变压器的电动势波形	90
第四节 变压器的并联运行	92
第十一章 特殊变压器	96
第一节 三绕组变压器	96
第二节 自耦变压器	99
第三节 互感器	101
第四节 分裂变压器	103
思考题	106
练习题	107

第三篇 交 流 绕 组

第十二章 交流绕组的构成	110
第一节 交流电机的工作原理	110
第二节 单层绕组	113
第三节 双层绕组	115
第四节 交流绕组的构成原则与分类	116
第十三章 交流绕组的感应电动势	118
第一节 正弦磁场下绕组的感应电动势	118
第二节 非正弦磁场下绕组的感应电动势	121
第十四章 交流绕组的磁动势	127
第一节 单相绕组的脉振磁动势	127
第二节 三相绕组的旋转磁动势	132

第三节 非正常电流情况下三相绕组的磁动势	136
思考题	138
练习题	139

第四篇 感 应 电 机

第十五章 概述	142
第一节 感应电机的结构	142
第二节 感应电机的运行状态	144
第十六章 感应电动机的运行原理	146
第一节 感应电动机的空载运行	146
第二节 感应电动机的负载运行	147
第三节 感应电动机的数学模型	150
第四节 感应电动机的功率和转矩	154
第五节 感应电动机的鼠笼型转子	157
第十七章 感应电动机的特性	160
第一节 感应电动机的基本特性	160
第二节 感应电动机的转矩—转差率特性	162
第三节 感应电动机的工作特性	167
第十八章 感应电动机的起动、调速和制动	170
第一节 感应电动机的起动	170
第二节 感应电动机的调速	175
第三节 感应电动机的制动	180
第十九章 特种感应电机	182
第一节 单相感应电动机	182
第二节 感应发电机	185
第三节 直线感应电机	186
思考题	188
练习题	189

第五篇 同 步 电 机

第二十章 概述	192
第一节 同步电机的基本结构	192
第二节 同步电机的运行状态	194
第三节 同步电机的励磁方式	195
第二十一章 同步发电机的运行原理	198
第一节 同步发电机的空载运行	198
第二节 对称负载时的电枢反应	198
第三节 隐极同步发电机的数学模型	201
第四节 凸极同步发电机的数学模型	203

第五节	同步发电机的功率和转矩	207
第二十二章	同步发电机的特性	209
第一节	同步发电机的基本特性	209
第二节	同步发电机的参数测定	211
第三节	同步发电机的运行特性	214
第二十三章	同步发电机的并联运行	217
第一节	投入并联运行的条件和方法	217
第二节	同步发电机的功角特性	219
第三节	有功功率的调节和静态稳定	222
第四节	无功功率的调节	223
第二十四章	同步电动机和同步补偿机	225
第一节	同步电动机的运行原理	225
第二节	同步电动机的运行特性	226
第三节	同步电动机的起动	229
第四节	同步补偿机	230
思考题		232
练习题		233

第六篇 电机的共同问题

第二十五章	电机的不对称运行	236
第一节	对称分量法	236
第二节	变压器的不对称运行	238
第三节	感应电动机的不对称运行	242
第四节	同步电机的不对称运行	246
第二十六章	机电能量转换原理	252
第一节	机电能量转换过程中的能量关系	252
第二节	机电能量转换的过程	256
第三节	机电能量转换的条件	261
第四节	产生恒定电磁转矩的条件	264
第五节	交流电机的功率因数	266
思考题		267
练习题		267

第七篇 电机的动态分析

第二十七章	电机动态分析的特点	269
第一节	运动方程的建立	269
第二节	运动方程的求解	272
第三节	坐标变换	274

第二十八章	同步电机的动态分析 ·····	280
第一节	相坐标系中的运动方程·····	280
第二节	dq0 变换后的运动方程·····	282
第三节	同步电机的标幺值·····	284
第四节	同步电机的直轴、交轴等效电路和运算电抗·····	288
第五节	同步发电机的三相突然短路·····	290
第二十九章	感应电机的动态分析 ·····	300
第一节	三相感应电动机的运动方程·····	300
第二节	三相感应电动机起动过程的动态分析·····	302
第三节	三相感应电动机的矢量变换控制·····	304
第三十章	变压器的动态分析 ·····	307
第一节	变压器的过电流·····	307
第二节	变压器的过电压·····	309
第三十一章	直流电机的动态分析 ·····	312
第一节	直流电机的运动方程·····	312
第二节	他励直流电动机的框图和传递函数·····	312
第三节	直流电动机起动过程的动态分析·····	316
思考题 ·····		319
练习题 ·····		320
附录 ·····		323
附录一	基本电磁定律·····	323
附录二	电机常用的铁磁材料·····	328
附录三	磁路计算·····	333
附录四	凸极同步电机定子绕组的自感和互感·····	339
附录五	微分方程的解法·····	342
附录六	电机发展年鉴·····	345
参考文献 ·····		349

绪 论

第一节 电机在国民经济中的作用

电能是现代最主要的一种能源,由于电能的生产、输送和使用比较方便,因此被广泛地使用,而电机在其中起着重要作用。电机主要有发电机、变压器和电动机。

电能的生产集中在发电厂,主要有火电厂、水电厂和核电厂。在火电厂中,锅炉将水加热生成水蒸气驱动汽轮机,由汽轮机带动发电机,把燃料燃烧的热能转变为电能;在水电厂中,靠水的落差驱动水轮机,由水轮机带动发电机,将水流的位能转变为电能;在核电厂中,由反应堆将水加热生成水蒸气驱动汽轮机,由汽轮机带动发电机,将原子核裂变的原子能转变为电能。此外还有风电厂,靠风力推动叶轮带动发电机,将风能转变为电能。

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,应采用高电压输电,输电电压为 $110、220、330、500\text{kV}$ 或更高。把发电机发出的电压升高到输电电压是由变压器完成的。高压输电线将电能输送到各个用电区,由于各种用电设备需要不同的低电压,如 $6\text{kV}、1\text{kV}、380\text{V}、220\text{V}$,因此再由变压器把高电压降为所需的低电压。

各种用电设备统称为负载,如电动机、电炉、电灯等。其中电动机占有非常大的比例,生产机械一般都用电动机拖动。在工业生产方面,如机械制造、冶金、煤炭、石油、轻纺、化学及其他各工矿企业中,广泛地应用各种电动机拖动各种机床、轧钢机、电铲、卷扬机、纺织机、造纸机、搅拌机、压缩机、鼓风机等生产机械;在交通运输中,铁道机车和城市电车是由牵引电机拖动的,航海使用船舶电机,航空使用航空电机;在农业生产方面,电力排灌设备、打谷机、碾米机、榨油机、饲料粉碎机等都是由电动机拖动的;在日常生活中,洗衣机、冰箱、排烟机、空调和风扇等都离不开电机;在国防、文教、医疗中,也广泛应用各种电动机。随着四个现代化的发展,工业生产自动化水平不断提高,各种自动控制系统中也日益广泛地应用各种控制电机。

综上所述,电机在国民经济中起着重要作用。

在电能的生产、输送、分配、消费中的发电机、变压器、电力线路、负载等连接在一起构成统一的整体,这就是电力系统。电力系统中接有很多发电厂,每个发电厂又有若干台发电机,每个发电机都向系统提供电能;电力系统中接有大量的用户,每个用户拥有各式各样的负载,每个负载都从系统中取用能;电力系统中还接有各级变电站,每个变电站安装各种升压、降压、联络、配电变压器;电力系统是一个十分庞大且复杂的系统,发电机与变压器则是电力系统中最重要设备。电力系统示意图如图0-1所示。

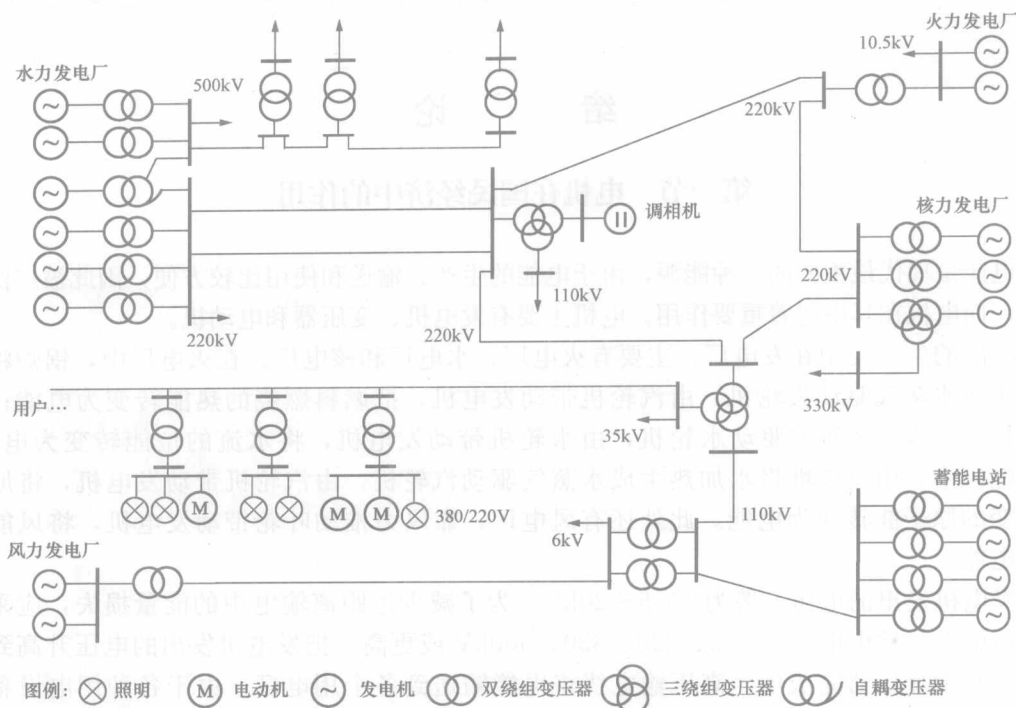


图 0-1 电力系统示意图

第二节 电机的分类

电机的种类繁多，性能各异，分类方法也很多。主要有两种常用的分类方法。

从能量传递、转换的功能及用途来分，电机有以下几类：

- (1) 变压器：主要是改变交流电的电压，也有改变相数、频率及相位的。
- (2) 发电机：把机械能转化为电能。
- (3) 电动机：把电能转化为机械能。
- (4) 控制电机：作为自动控制系统的控制元件。

这一种分类的方法中，电动机与发电机的功能不同，用途不一样，但从运行原理上看，电动机运行和发电机运行不过是电机的两个运行状态，它们之间可逆，而且电机还可以运行于其他的状态。

另一种分类方法是按照电机的结构特点及电源性质来分，电机主要有以下几类：

- (1) 变压器：属于静止的设备。
- (2) 旋转电机：包括传统电机和特种电机。传统电机因电源不同分直流电机和交流电机，交流电机中又因结构不同分为同步电机和异步电机。特种电机指特殊结构的电机。
- (3) 直线电机：与旋转电机同样分类。

还有其他分类方法，但不论哪种方法都不是绝对的。无论哪种电机，工作原理都是建立在电磁感应定律和电磁力定律的基础上。

直线电机的原理与旋转电机相似,不同的是出现边缘效应,一般在设计课中考虑,特种电机和控制电机另设课程和教材,故本书不详细介绍,只是在适当的地方稍提一下。

本书只介绍传统的旋转电机和变压器,并按照直流电机、变压器、异步电机、同步电机的顺序分别阐述。从具体电机入手分析其主要原理,使初学者易于掌握。

第三节 电机学的课程性质

电机学是强电类专业的技术基础课,是在学习高等数学、物理、工程力学、电磁场、磁路和电路原理的基础上研究电机的工作原理、主要结构、基础理论、运行特性及试验方法的一门课程,为电力系统、电机设计、自动控制等专业课打基础。

电机是电力系统中的重要组成部分,它的运行状态直接影响系统的工作;而电机原理和特性又是进行电机设计和控制的理论依据。因此,学好电机学,对后续专业课的学习至关重要。

电机学与物理、电路及磁路等课程的性质又很不相同。

(1) 电机学是基础理论课,又带有专业性。它具体分析各种类型电机,既有理论又有实际,不像电路及磁路课中分析的电阻、电感、电容,其电路不代表具体的电气设备。

(2) 电机学通过对具体电机的分析阐述基本电磁规律,具有复杂性和综合性。各种电、磁、力、热和流体等方面的物理定律同时在电机中起作用,互相影响又互相制约,必须综合考虑。

分析各类电机的具体步骤为:

(1) 建立实物模型。主要了解电机结构。

(2) 建立物理模型。分析电机内部物理现象,即不同工况下的电、磁关系。

(3) 建立数学模型。作出简化假定,应用基本定律,建立电机中的电动势、磁动势、功率和转矩平衡方程式,导出等效电路。稳态运行时建立代数方程;动态时建立微分方程,也称为运动方程。

(4) 坐标变换。为便于求解,按照问题的性质,需要对运动方程进行一定的变换。例如在分析稳态不对称运行问题时,采用对称分量变换可以解耦;分析凸极同步电机的瞬态过程时,采用 $dq0$ 变换可以把变系数微分方程转换为常系数微分方程等。

(5) 求解。根据规定的运行条件,求出方程的解析解或数值解。

(6) 分析结果。通过对解答的分析,即可确定所需的运行特性和数据。

(7) 研究各类电机的特殊问题。如直流电机的换向,特殊用途电机等。

本课程常用的分析方法有:

(1) 叠加原理。应用叠加原理的条件是,所分析的系统必须是线性系统。不计磁饱和时,可以用叠加原理来分析电机内的各个磁场,并得到气隙合成磁场以及相应的感应电动势。对于时间或空间具有周期性变化的量,可利用谐波分析法,将其分成基波和各次谐波,再将各自的效果叠加起来。

(2) 归算。在变压器和交流电机中,由于绕组的匝数不等、相数不等、频率不同而引起的困难,常常用归算法来解决。归算时要求满足特定的约束,例如磁动势守恒、功率守恒、磁场储能守恒等,以达到“等效”的要求。

(3) 等效电路。等效电路是用单纯的电路来反映电机内部的电磁关系和机电关系,以便进行各种运行情况的计算。等效电路也可以用到动态分析中,但含义将有所不同。

(4) 坐标变换。将方程式中原来的一组变量,用一组新的变量来代替,使分析计算得到简化。若新旧变量之间为线性关系,则变换为线性变换。这种方法在动态分析中是一种最常用的方法。

理想电机的基本假设如下:

(1) 磁路为线性,不计剩磁、磁滞和涡流效应,因而可利用叠加原理;

(2) 气隙磁通密度在空间按正弦分布,忽略磁场的高次谐波;

(3) 不计定、转子表面齿、槽的影响;

(4) 电机的结构对直轴和交轴都是对称的;

(5) 对于三相交流电机,定子绕组为对称三相绕组。

当实际情况与上述假定有出入,例如需要计及饱和及谐波效应时,可调整有关参数和引入一些系数来计入其影响。

在学习方法上要掌握以下几点:

(1) 理论联系实际。首先要对各种类型的电机结构有一定了解;然后学好电机的基本理论,掌握电磁规律和结论,通过实验加深对物理概念的理解。通过实践总结出理论,再由实践验证和发展理论,即实践、认识、再实践、再认识,每一循环进到高一级的程度。否则不可能深入掌握理论。

(2) 重视学习能力培养。电机的种类繁多,结构和性能各异,但基本作用原理都是建立在电磁基本定律基础上,分析方法和步骤有相同之处。从具体电机入手,掌握分析电机理论的工具,学习分析电机理论问题的方法,并能灵活应用,培养解决问题的能力。既要掌握各种电机的共性,使学到的知识能够融会贯通;又要掌握各种电机的个性和特点,以便结合实际,对具体问题进行分析,达到解决问题的目的。如能举一反三,就能触类旁通地分析、研制和开发各种不同的新型电机和特种电机。

(3) 培养工程观点。影响电机运行的因素很多,要全部考虑非常困难。在分析复杂的实际问题中,常常需要忽略一些次要因素,抓住主要矛盾加以解决,所得结果在工程应用上已经足够精确。在某种条件下的次要因素,在另一条件下又可能成为有决定影响的主要因素,这要根据研究的问题及条件而定。找出基本关系,然后再考虑次要因素的影响,使分析结果更加完善和精确。

(4) 重视实验,培养动手能力。通过电机学实验,练好强电实验的基本功,为专业课程的实验打好基础。

(5) 重视数学计算,提高定量计算的能力。数据的准确性影响工程质量。

(6) 善于总结,掌握重点,以点带面。

学习本课程后,应达到下列基本要求:

(1) 对电机分析中的名词、术语、各种物理量的定义、基本概念和基本理论要熟记。

(2) 对电机中的物理现象和电磁关系要深刻领会,对分析结论和数学模型(如基本公式、等效电路和相量图等)要熟练掌握。

(3) 要熟练运用数学模型和复数来计算电机的性能和主要运行数据,要求数据准确。

(4) 熟练掌握电机的基本实验方法和操作技能,能对实验结果进行分析和评定,并初步

具有检查电机故障的能力。

第四节 电机的额定值、标么值与寿命

一、电机的铭牌

每台电机都装有一个铭牌，标在铭牌上的数据称为铭牌数据，主要有电机的额定值、性能指标和一些其他数据。

1. 额定值

(1) 额定功率 P_N (单位为 kW)。它指电机的输出功率，对发电机，指出线端输出的电功率，对电动机，指轴上输出的机械功率。同步发电机、同步补偿机和变压器还要考虑无功功率，其额定功率用额定视在功率 S_N 表示，也称额定容量，它是在额定状态下输出能力的保证值，单位为 VA、kVA、MVA。对三相电机， S_N 指三相的总容量。通常把双绕组变压器的一次和二次绕组额定容量设计得相等，而三绕组变压器的额定容量则指容量最大的绕组的额定容量。

(2) 额定电压 U_N (单位为 V 或 kV)。它指电枢出线端的电压，对三相电机，则为线电压，对变压器，为空载时额定分接头上的电压保证值。变压器应分别标出一、二次侧的额定电压。

(3) 额定电流 I_N (单位为 A)。它指电机输出额定功率时的电流，对三相电机，则为线电流。变压器应分别标出一、二次侧的额定电流。

(4) 额定转速 n_N (单位为 r/min)。它指电机转子的转速，对同步电机，即为同步转速。

(5) 额定频率 f_N 。它指额定运行时电机的频率，用于交流电机。我国标准工频规定为 50Hz。

(6) 额定励磁电流 I_{fN} (单位为 A)。

(7) 额定励磁电压 U_{fN} (仅对他励电机)。

(8) 励磁容量 P_{fN} 。

2. 性能指标

(1) 额定效率 η_N 。

(2) 额定转矩 T_N 。

(3) 额定温升 θ_N 。

(4) 额定功率因数 $\cos\varphi_N$ 。它指额定运行时电机的功率因数，用于交流电机。

(5) 起动转矩 T_{st} 。

(6) 起动电流 I_{st} 。

3. 其他的运行数据

其他的运行数据包括型号、相数、定额、绝缘等级、接线方式、运行方式（长期或短期）、冷却方式、使用条件、制造厂家、出厂日期和序号、重量、外形尺寸等。对绕线型电机还常标出转子的额定电压和额定电流等数据，对于变压器还标注有接线图、连接组别、漏阻抗标么值或短路电压、空载电流、损耗等，对于特大型变压器还标注有器身、铁心和绕组的重量以及储油量。