

高等职业技术学校

教 学
用 书

电机及 电力拖动

吴裕隆 主编

DIANJI
JI DIANLI
TUODONG

冶金工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

电机及电力拖动/吴裕隆主编. —北京:冶金工业出版社, 2000.7(2006.2重印)

高等职业技术学校教学用书

ISBN 7-5024-2559-4

I. 电… II. 吴… III. ①电机学-高等教育:职业教育-教学参考资料②电力传动-高等教育:职业教育-教学参考资料 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 14876 号

出版人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

责任编辑 程志宏 美术编辑 王耀忠 责任校对 栾雅谦

北京百善印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2000 年 7 月第 1 版, 2006 年 2 月第 2 次印刷

787mm×1092mm; 1/16; 16 印张; 380 千字; 242 页; 3001~4500 册

28.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64044283

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

本书是根据原冶金部“九五”中专教材规划编写的,编写过程中,原冶金系统中专学校随着教育结构的调整,多数已转为高等职业技术学院,应广大本课程任课教师的要求,根据高等职业技术学院的培养目标,同时参考和照顾到中等专业学校的教学需要,编者在原编写大纲的基础上增加了部分内容,并最终完成了本书的编写。

本书力求在理论上以讲清基本实用的原理为限,应用上以结合具体实际为目标。在电机及变压器的内容中安排了常见故障维修内容,在交直流电力拖动中汇编了一些具体应用内容。

本书由吴裕隆主编。第8章、第12章由李蓓编写。第2章、第11章由韩天亮编写。第7章由赵学庆编写。第5章、第6章由贡照天编写。第3章、第4章由王开全编写。第1章、第9章、第10章、第13章由吴裕隆编写。此外王开全、贡照天还为全书的编写做了许多工作并给予了大力支持。

本书由华东冶金学院汪光阳审阅,审阅中做了多处重要修改,并提出了许多宝贵意见,在此编者表示衷心感谢。

根据教材编写提纲的要求,本教材的内容分为六个板块,即书中的六个部分,分别是第2、3、4章为第1部分——直流电机及电力拖动;第5、6章为第2部分——变压器;第7、8章为第3部分——三相异步电动机及拖动;第9、10章为第4部分——三相同步电机及拖动;第11、12章为第5部分——单相异步电动机和控制电机;第13章为第6部分——电动机的选择,外加第1章概述。六个板块既是一个有机的整体,又具有一定的独立性,可根据教学需要灵活安排先后次序,也可进行整块取舍。第1章概述,既是开课前的先导也是全书的概括,开课之初可安排充裕的课时学习本章,以便对本课程有较全面而具体的认识,课程结束时再以本章为核心进行全课程的总结和提高。

由于编者水平所限,书中不足之处,敬请批评指正。

编 者

1999.8.20

主要符号表

A 线负载	f_v ν 次谐波频率
a 直流电机电枢绕组并联支路对数;交流电机电枢绕组并联支路数	GD^2 飞轮矩
B 磁通密度	H 磁场强度
B_{av} 平均磁通密度	I 电流
B_m 磁通密度最大值	I_a 直流电机电枢电流
B_g 气隙磁通密度	I_N 额定电流
C_c 电动势常数	I_0 空载电流
C_T 转矩常数	I_{Fc} 铁耗电流
D 直径;调速范围	I_μ 励磁电流
D_a 直流电机电枢铁心外径	I_1 变压器原边电流;交流电机定子电流
E 感应电动势	I_2 变压器副边电流;异步电机转子电流
E_a 直流电机电枢绕组感应电动势	I_f 励磁电流
E_m 感应电动势最大值	I_{st} 启动电流
E_1 变压器原边电动势;交流电机定子绕组感应电动势	I_k 短路电流
E_2 变压器副边电动势;异步电动机转子不动时的感应电动势	i_a 直流电机支路电流
E_{s1} 变压器原边漏电动势	J 转动惯量
E_{s2} 变压器副边漏电动势	K 直流电机换向片数;系数
E_v ν 次谐波电动势	K_1 启动电流倍数
e 电动势的瞬时值	k 变压器的变比
e_L 直流电机换向元件中的自感电动势	k_c 异步电机电动势变比
e_M 直流电机换向元件中的互感电动势	k_i 异步电机电流变比
e_r 直流电机换向元件中的电抗电动势	k_q 交流绕组的分布系数
e_a 直流电机换向元件中的电枢反应电动势	k_w 交流绕组的绕组系数
F 电机磁动势	k_{w2} 转子绕组系数
F_a 直流电机电枢磁动势	k_y 交流绕组的短距系数
F_{ad} 直轴电枢反应磁动势	k_μ 饱和系数
F_{aq} 交轴电枢反应磁动势	L 自感系数
F_f 励磁磁动势	l 有效导体的长度
F_0 空载磁动势	L_s 漏电感系数
f 频率;力;磁动势瞬时值	M 互感系数
f_N 额定频率	m 相数;直流电动机启动级数
f_1 定子电路频率	N 直流电机电枢绕组总导体数;步进电动机的拍数
f_2 转子电路频率	n 转数
	n_N 额定转数
	n_1 同步转数
	n_0 直流电动机理想空载转速

P_L 电动机工作时的负载功率	T_N 额定转矩
P_N 额定功率	T_{st} 启动转矩
P_{em} 电磁功率	T_0 空载制动转矩
P_{mec} 总机械功率	T_1 输入转矩
P_1 输入功率	T_2 输出转矩
P_2 输出功率	t_g 电机工作持续时间
p 极对数	t_0 电机工作停歇时间
p_{ad} 附加损耗	U 电压
p_{Cu} 铜损耗	U_a 电枢电压
p_{Fe} 铁损耗	U_k 变压器短路电压
p_{mec} 机械损耗	U_N 额定电压
p_f 励磁损耗	U_1 变压器原边电压;交流电机定子电压
p_k 短路损耗	U_2 变压器副边电压;异步电机转子电压
p_0 空载损耗	U_{20} 变压器副边空载电压
Q 无功功率	u_k 短路电压百分值
q 每极每相槽数	u_{kr} 短路电压的有功分量
R 电阻	u_{kx} 短路电压的无功分量
R_a 直流电机电枢回路电阻	v 线速度
R_b 制动电阻	W_c 直流电机电枢元件匝数;交流绕组线圈匝数
R_{cr} 直流发电机励磁回路的临界电阻	x 电抗
R_f 励磁回路电阻	x_k 短路电抗
R_L 负载电阻	x_L 负载电抗
R_m 磁阻	x_m 励磁电抗
R_r 限流电阻	x_1 变压器原边漏电抗;交流电机定子漏电抗
r_1 变压器原边绕组电阻;异步电机定子电阻	x_2 变压器副边漏电抗;异步电机转子不动时的漏电抗
r_2 变压器副边绕组电阻;异步电机转子电阻	y 导纳;直流电机电枢绕组的合成节距
r_k 变压器、异步电机的短路电阻	y_1 直流电机第一节距;交流电机绕组节距
r_m 变压器、异步电机的励磁电阻	y_2 第二节距
S 直流电机元件数;变压器视在功率;静差率	Z 电机槽数;阻抗
s 异步电机转差率	Z_L 负载阻抗
s_b 制动时转差率	Z_m 励磁阻抗
s_m 临界转差率	Z_R 步进电动机转子齿数
s_N 额定转差率	Z_1 变压器原边漏阻抗;异步电机定子漏阻抗
T 转矩;周期;时间常数;电磁转矩	Z_2 变压器副边漏阻抗;异步电机转子漏阻抗
T_{em} 电磁转矩	α 角度;槽距角;启动转矩比
T_L 负载转矩	β 角度;变压器负载系数
T_M 电机时间常数	γ 角度
T_θ 电机发热时间常数	δ 气隙长度
T_θ 电机发热时间常数	η 效率
T_m 最大电磁转矩	

η_{\max} 最大效率	Φ_{s1} 原边漏磁通
θ 角度;温度	Φ_{s2} 副边漏磁通
θ_b 步进电动机的步距角	Φ_1 基波磁通
λ_m 过载能力	Φ_ν ν 次谐波磁通
λ_{st} 启动转矩倍数	Φ_0 空载磁通;励磁磁通
μ 磁导率	φ 相位角;功率因数角
μ_{Fe} 铁磁性材料磁导率	φ_1 变压器原边功率因数角;异步电机定子边功率因数角
μ_r 相对磁导率	φ_2 变压器副边功率因数角;异步电机转子电路功率因数角
ν 谐波次数	ψ 磁链;相位角
τ 极距;温升	Ω 机械角速度
τ_{\max} 绝缘材料允许的最高温升	Ω_1 同步机械角速度
τ_w 电动机稳定温升	ω 电角速度;角频率
Φ 主磁通;每极磁通	
Φ_m 主磁通最大值	
Φ_N 额定磁通	

电学、磁学和力学单位符号

Wb 韦	var 乏
H 亨	kvar 千乏
Ω 欧	kVA 千伏安
Hz 赫	rad/s 弧度/秒
A 安	r/min 转/分
V 伏	m 米
kV 千伏	N 牛
W 瓦	N·m 牛·米
kW 千瓦	N·m ² 牛·米 ²

冶金工业出版社推荐图书

书 名	作 者	定价/元
电机拖动基础	宋银宾	49.00
电力拖动自动控制系统(第2版)	李正熙	35.00
电力拖动	周绍英	21.00
电机拖动基础(第2版)	杨宗豹	36.00
矿井提升机电力拖动与控制	卢 燕	36.00
电机拖动基础	宋银宾	41.00
电力系统微机保护	张明君	18.00
工业企业电力网及变电设备	祝淑萍	39.50
电力电子变流技术	曲永印	28.00
电力系统新进展	郭永基	18.00
钢铁企业电力设计手册(上册)		115.00
钢铁企业电力设计手册(下册)		125.00
变压器制造专用设备——电工专用设备技术丛书	于海年	22.00
数字电子技术基础	陈 旭	25.00
电子产品设计实例教程	孙进生	20.00
电工与电子技术	李季渊	26.00
电子枪与离子束技术	张以忱	29.00
电工学与工业电子学	王华亭	29.00
实用模拟电子技术	欧伟氏	28.50
电工与电子技术	荣西林	28.50
数字电子技术基础	刘培宇	29.50
电工学与工业电子学	王华亭	23.00



目 录

主要符号表

电学、磁学和力学单位符号

1 概述	1
1.1 电机及电力拖动的应用及发展	1
1.2 本课程的任务	2
1.3 本课程的内容	2
思考题	4
2 直流电机	5
2.1 直流电机工作原理	5
2.1.1 直流发电机工作原理	5
2.1.2 直流电动机工作原理	6
2.2 直流电机结构和主要产品系列	7
2.2.1 直流电机结构	7
2.2.2 直流电机的额定数据	10
2.2.3 国产直流电机的主要系列	10
2.3 直流电机的电枢绕组和磁场	11
2.3.1 直流电机的电枢绕组	11
2.3.2 直流电机的磁场及电枢反应	17
2.3.3 电枢绕组的感应电动势和电 磁转矩	20
2.4 直流电机的换向	22
2.4.1 概述	22
2.4.2 直流换向	22
2.4.3 延迟换向	24
2.4.4 改善换向的措施	26
2.5 直流电动机	28
2.5.1 直流电动机的功率、电动势、转矩 平衡方程	28
2.5.2 直流他励电动机的工作特性	31
小 结	32
思考题	33
习 题	34

3 电力拖动的动力学基础	35
3.1 电力拖动系统的运动方程	35
3.2 电力拖动工作机构的物理量计算	36
3.2.1 旋转运动	36
3.2.2 平移运动	39
3.3 负载的机械特性	41
3.3.1 恒转矩负载特性	41
3.3.2 通风机负载特性	42
3.3.3 恒功率负载特性	42
小 结	42
思考题	43
习 题	43
4 直流电动机的拖动	44
4.1 他励直流电动机的机械特性	44
4.1.1 固有机械特性	44
4.1.2 人为机械特性	45
4.1.3 根据铭牌数据计算机械特性	47
4.1.4 电力拖动系统稳定运行条件	50
4.2 他励直流电动机的启动	52
4.2.1 启动方法	53
4.2.2 启动电阻的计算	53
4.3 他励直流电动机的过渡过程	57
4.4 他励直流电动机的调速	62
4.4.1 电枢串电阻调速	63
4.4.2 降压调速	64
4.4.3 弱磁调速	65
4.5 他励直流电动机的制动	66
4.5.1 能耗制动	66
4.5.2 电源反接制动	68
4.5.3 倒拉反接制动	69
4.5.4 回馈制动(再生制动)	70
4.6 串励直流电动机的机械特性	72
4.6.1 串励直流电动机的固有特性	72

4.6.2 串励直流电动机的人为特性	73	5.7.2 阻抗电压不等时的并联运行	105
小 结	74	5.7.3 变比不等时的并联运行	105
思 考 题	74	5.7.4 连接组别不同时不能并联运行	106
习 题	75	5.8 变压器常见故障及维修	107
5 变压器	78	5.8.1 变压器的常见故障及处理	107
5.1 变压器工作原理、结构及产品系列	78	5.8.2 变压器小修项目	108
5.1.1 变压器工作原理及分类	78	5.8.3 变压器大修注意事项	108
5.1.2 变压器结构	79	小 结	108
5.1.3 变压器的额定值	82	思 考 题	108
5.2 变压器的空载运行	83	习 题	109
5.2.1 忽略绕组电阻及漏磁通时电压与电势的关系	84	6 特种变压器	111
5.2.2 考虑原绕组电阻和漏磁通时电压和电势的关系	85	6.1 自耦变压器	111
5.2.3 空载运行相量图	86	6.1.1 自耦变压器的基本电磁关系	111
5.2.4 空载运行时的等值电路	86	6.1.2 自耦变压器的容量关系	112
5.3 变压器的负载运行	89	6.1.3 自耦变压器的特点及应用	112
5.3.1 负载运行时的磁势关系及原、副边电流的关系	90	6.2 电焊变压器	113
5.3.2 负载运行时副边电压、电流的关系	90	6.3 仪用互感器	114
5.3.3 变压器的基本方程式	91	6.3.1 电压互感器	114
5.3.4 变压器的折算	91	6.3.2 电流互感器	115
5.3.5 变压器的等值电路	94	小 结	115
5.3.6 变压器有载时相量图	94	思 考 题	116
5.4 变压器的空载试验和短路试验	96	7 三相异步电动机基本原理	117
5.4.1 变压器的空载试验	96	7.1 三相异步电动机工作原理	117
5.4.2 变压器的短路试验	97	7.1.1 旋转磁场的产生	117
5.5 变压器的运行特性	99	7.1.2 三相异步电动机的旋转原理及转速	118
5.5.1 变压器的外特性	99	7.2 三相异步电动机结构和主要产品系列	119
5.5.2 电压变化率	99	7.2.1 定子	119
5.5.3 变压器的效率	100	7.2.2 转子	120
5.6 三相变压器的连接组别	101	7.2.3 铭牌数据	122
5.6.1 变压器绕组的标记和极性	102	7.2.4 国产三相异步电动机主要产品系列简介	122
5.6.2 三相变压器的连接组别	103	7.3 三相异步电动机绕组	123
5.6.3 三相变压器连接组别使用范围	104	7.3.1 三相单层绕组	123
5.7 变压器的并联运行	105	7.3.2 三相双层绕组	124
5.7.1 并联运行的理想情况和条件	105	7.4 三相异步电动机的电磁关系	128

7.4.1 异步电动机负载运行时的物理情况	128	8.4.2 绕线式异步电动机转子串电阻调速	168
7.4.2 转子磁势分析	128	8.4.3 异步电动机降低定子电压调速	169
7.4.3 磁势平衡	129	8.4.4 电磁转差离合器调速	170
7.5 三相异步电动机的等值电路与相量图	130	8.4.5 绕线型异步电动机串级调速	171
7.5.1 异步电动机的等值电路	130	8.4.6 异步电动机的变频调速	172
7.5.2 异步电动机的 T 形等值电路和相量图	130	8.5 三相异步电动机的拖动应用	174
7.5.3 简化等值电路	133	小 结	175
7.6 三相异步电动机的功率和转矩	133	思 考 题	176
7.6.1 异步电动机的功率平衡方程	133	习 题	177
7.6.2 异步电动机的转矩平衡方程	134	9 三相同步电机基本原理及分类	178
7.6.3 异步电动机的电磁转矩	135	9.1 三相同步电机基本原理	178
7.7 三相异步电动机参数的测定	136	9.1.1 三相同步发电机基本原理	178
7.7.1 空载试验和励磁阻抗的测定	137	9.1.2 三相同步电动机基本原理	179
7.7.2 短路试验及短路阻抗的测定	138	9.2 三相同步电机基本结构和额定值	179
7.8 三相异步电动机常见故障及检修	139	9.2.1 三相同步电机基本结构	179
7.8.1 定子绕组故障及排除	139	9.2.2 三相同步电机额定值	180
7.8.2 转子绕组故障及排除	140	9.3 三相同步电机分类	181
小 结	143	9.3.1 三相同步电机按结构分类	181
思 考 题	143	9.3.2 三相同步电机按功用分类	182
习 题	144	小 结	183
8 三相异步电动机的电力拖动	145	思 考 题	183
8.1 三相异步电动机的机械特性	145	习 题	183
8.1.1 机械特性的物理表达式和参数表达式	145	10 三相同步电动机原理及拖动	184
8.1.2 电磁转矩实用公式	147	10.1 三相同步电动机运行原理	184
8.1.3 固有机械特性和人为机械特性	149	10.1.1 三相同步电动机电势方程和相量图	184
8.2 三相异步电动机的启动	150	10.1.2 三相同步电动机功率、转矩方程及功角	185
8.2.1 笼型电动机的启动	150	10.1.3 三相同步电动机的 V 形曲线	188
8.2.2 绕线型异步电动机的启动	156	10.2 同步电动机的启动	190
8.3 三相异步电动机的制动	161	10.2.1 辅助电动机启动法	190
8.3.1 回馈制动	161	10.2.2 变频启动法	190
8.3.2 反接制动	162	10.2.3 异步启动法	190
8.3.3 能耗制动	164	10.3 三相同步电动机的拖动应用	191
8.4 三相异步电动机的调速	165	10.3.1 三相同步电动机定速拖动系统	191
8.4.1 改变极对数调速	165		

10.3.2 三相同步电动机调速拖动系统	194	12.5.1 永磁式微型同步电动机	221
小 结	197	12.5.2 反应式微型同步电动机	221
思 考 题	198	12.5.3 磁滞式微型同步电动机	222
习 题	199	小 结	223
11 单相异步电动机	200	思 考 题	224
11.1 单相异步电动机工作原理	200	13 电力拖动系统中电动机的选择	225
11.2 单相异步电动机的启动	201	13.1 电动机的发热与冷却、绝缘等级及工作方式	225
11.2.1 单相电容启动电动机	201	13.1.1 电动机的发热与冷却	225
11.2.2 单相电阻启动电动机	202	13.1.2 电机的绝缘等级	226
11.2.3 电容运转异步电动机	203	13.1.3 电动机的工作方式	227
11.2.4 单相罩极异步电动机	203	13.2 电力拖动系统中电动机选择内容	229
11.3 单相异步电动机的应用	205	13.2.1 电动机种类选择	229
11.3.1 电风扇用单相异步电动机	205	13.2.2 电动机型式选择	229
11.3.2 洗衣机用单相异步电动机	207	13.2.3 电动机电压选择	230
小 结	208	13.2.4 电动机转速选择	230
思 考 题	208	13.3 电动机容量选择	230
12 控制电机	209	13.3.1 连续工作方式电动机容量选择	230
12.1 伺服电动机	209	13.3.2 短时工作方式电动机容量选择	232
12.1.1 交流伺服电动机	209	13.3.3 断续周期性工作方式电动机容量选择	232
12.1.2 直流伺服电动机	211	13.3.4 选择电动机容量的实用方法	234
12.1.3 伺服电动机的应用举例	212	13.4 电动机的经济运行和经济运行区的确定	235
12.2 测速发电机	212	13.4.1 电动机的经济运行	235
12.2.1 直流测速发电机	212	13.4.2 电动机经济运行区的确定	236
12.2.2 测速发电机应用举例	213	小 结	237
12.3 自整角机	214	思 考 题	238
12.3.1 力矩式自整角机工作原理	214	习 题	239
12.3.2 控制式自整角机角传递系统	216	附 录	240
12.4 步进电动机	217	习题参考答案	240
12.4.1 反应式步进电动机基本结构和工作原理	217	参考文献	242
12.4.2 步进电动机的驱动电源与应用	220		
12.5 微型同步电动机	220		

1 概 述

“电机及电力拖动”课程包含两个方面的内容：

1. 电机及变压器的基本原理、主要结构以及常见故障维修。
2. 交流电动机和直流电动机电力拖动的基本原理、主要形式,以及在一些领域中的实际运用。

在逐章学习上述体系中内容之前,希望通过本章的学习,使读者先对全书有个概括性的了解和较为具体的总体认识,并对这一领域的过去、现状和未来有个一般性了解和展望,以便对今后学习的内容做到心中有数,并能在学习过程中逐层展开、逐步深入。

1.1 电机及电力拖动的应用及发展

100多年前,发电机和电动机相继制成,先是直流电机,继而是交流电机。各类电机一出现,立即被人们争相应用。开始是用于电气照明,很快用来代替人力和机械力,带动其他机器设备运转和工作。后者的应用被称之为电力拖动,从而使人类社会进入广泛使用电能和电力的电气化时代。

变压器又称为静止式电机。它的工作原理和基本方程式与电机有类似和相同之处,但它们的结构和用途则迥然不同。电动机主要以旋转运动作为它输出转矩的工作方式;变压器则以静止不动的原、副边线圈变换电压作为它的工作方式。利用变压器变换电压的功能,可以使长距离、大容量的电能传输和分配成为可能。有些特殊设计的变压器还可用于测量系统,或用作电焊设备等。

电力拖动系统在冶金、机械、石油、化工、纺织、化纤、造纸以及矿山、建材、铁路机车等部门得到广泛应用。电力拖动,或称电气传动,就是选用不同类型的电动机拖动不同类型的机械设备进行运转,在运转过程中根据生产和实际的需要对电动机实行启动、调速、正反转、制动等控制。电力拖动根据使用直流电动机或是交流电动机分为直流电力拖动和交流电力拖动。对传动类别的选择,传统的观点认为直流电力拖动易于调速,但直流电机结构复杂,价格昂贵,维修困难;而交流电力拖动的调速性能差,但交流电动机结构简单,价格较低,维修方便。这两者的优缺点界线分明,难以达到兼顾。因而以往对有高性能调速要求的传动系统不得不采用昂贵的直流电力拖动系统;对调速性能要求不高或无调速要求的传动系统,则采用成本较低的交流电力拖动系统。

由于现代功率型电子技术的成熟,以及微电子器件及现代控制理论的发展,促进了各种拖动系统的调速性能不断提高,促使用户广泛采用交流电动机作为动力的交流拖动系统。因此,当前在冶金、矿井提升、纺织等行业中,交流电力拖动系统被普遍选用。

变压器作为电力系统中变换电压、传递电能的设备,几乎常年不间断地处于接电工作状态,因而降低它的损耗,提高它的效率尤为重要。现代变压器大都采用高电导率的铜导线、低损耗的冷轧硅钢片分别作变压器的线圈和铁心磁路,如常用的 S₇ 和 S₉ 系列低损耗节能变压器。另外,从安全角度出发,油浸式变压器的油箱有时会发生爆炸,为此无油干式电力变压器正越来越多地被采用,如 SC 型树脂绝缘干式变压器等。

在节能方面,不管是变压器还是电机,不管是生产环节还是应用环节,都有待于提高和改进,有待于新材料的研制和应用。电气工业正期待着无损耗的超导材料的出现和实用化,那时定会给整个电气系统带来全新的面貌。

1.2 本课程的任务

根据高等职业技术学校 and 中等专业学校的特点和要求,本教材内容应包括本门课程所必须掌握的基本理论、基本知识和基本技能,据此确定本课程以下几点任务:

1. 使学生掌握直流电机,三相和单相交流异步电动机、三相同步电机以及变压器等的基本工作原理、主要结构形式,以及常用的维修知识。
2. 使学生掌握直流电动机拖动和交流电动机拖动的基本原理、基本形式和基本要求,并了解直流电力拖动和交流电力拖动在实际中的应用。
3. 了解特种变压器和控制电机的结构特点,工作原理及其应用。
4. 了解拖动系统中电动机的形式、规格和容量的选择,并熟悉电动机工作时的不同工作方式。

1.3 本课程的内容

根据本课程的任务和要求,本书除第一章概述之外,共安排了六个部分的内容:

- 第一部分 直流电机及电力拖动(第2~4章);
- 第二部分 变压器(第5~6章);
- 第三部分 三相异步电动机及拖动(第7~8章);
- 第四部分 三相同步电机及拖动(第9~10章);
- 第五部分 单相异步电动机和控制电机(第11~12章);
- 第六部分 电动机的选择(第13章)。

第一部分是直流电机及拖动,以及电力拖动中动力学方面的问题。直流电机就其内部导体来看仍然是交变电流,通过端部的整流装置将内部导体的交变电流整流为直流(直流发电机);或者相反,将外部的直流电通过整流装置引入内部导体变为交变电流(直流电动机)。因而整流装置是直流电机的关键部位。直流电动机根据建立磁场的方式不同,分为他励、并励、串励和复励几种形式。直流电动机调速性能较好,有调节端电压调速、串联电阻调速和削弱磁场调速等方法。

在这部分中还要介绍有关电力拖动中动力学方面的问题,以便对多轴系统的转速、转矩、负载进行计算。

第二部分是变压器。变压器就其功用的不同可分为电力变压器和特种变压器。其基本结构都是由原边线圈和副边线圈,并由铁磁材料叠压而成的铁心所构成。线圈和铁心的组合称为器身。对于电力变压器,若将器身放置于变压器的油箱中,并充以变压器油作绝缘和散热,这是当前大量使用的、称之为油浸式的电力变压器。这种变压器的安全性较差,箱中的油有可能因故障升温而爆炸。若将器身整体浇铸绝缘树脂作绝缘和散热,则称之为树脂绝缘干式变压器,这种变压器无油,因而无爆炸之患,安全性好,常安装于室内变电所或可移动的成套变电所中。

电力变压器的容量大,体积大,损耗也大,散热问题必须考虑周到。散热方式有自然油冷和强迫油循环冷却,以及强迫风冷等;或者将器身整体浇铸树脂,再加强迫风冷。

电力变压器往往多台并联运行,这时必须考虑和满足并联运行条件:1)各变压器的额定电

压和变比相等;2)各变压器的连接组别必须相同;3)各变压器短路阻抗相对值相等,阻抗角相同。

特种变压器的种类很多,常用的有自耦变压器,这种变压器有一部分线圈被原副边共用,主要用于变比不大的大型电力变压器,以及试验室用的调压设备等。

电焊变压器用于交流电焊机,为了调节起弧电压,在绕组中留有抽头;为了限制起弧后的短路电流,使其结构产生较大的漏抗。

仪用互感器是用于变换电压和变换电流的专用测量设备,主要用于降低电源电压和减小电源电流,以便测量仪表获得可以接受的电压和电流。

第三部分是三相异步电动机及拖动,它是全书的主要内容之一。因为三相异步电动机被广泛用于各种场合,在电力拖动中异步电动机是一大主力,尤其是交流调速技术日趋成熟,以其高精度的调速性能和比较合理的价格水平,在电力拖动领域中被普遍采用,它的重要性日渐增强。

在三相异步电动机的电枢绕组中加上三相对称电源,便在电机的定子和转子的气隙中产生旋转磁场,其转速

$$n_1 = \frac{60f}{p}$$

式中, f 为电源频率; p 为电机的极对数; n_1 为同步转速。该旋转的磁场使转子中接成闭合回路的导体产生感应电势和感应电流,磁场加电流便产生使转子旋转的电磁转矩。转子转速必须与同步转速有差异,才能在导体中产生感应电流,故称此种电机为异步电动机,或称感应电动机。三相异步电动机的调速方法有变磁极调速、降低电源电压调速、在绕线型转子回路中串电阻调速,以及变频调速等。变频调速是通过改变电源的频率 f 来改变同步转速 n_1 ,由此实现电机调速。它的调速范围大,调速级数多,可以实现广域的平滑调速,而且是属于高效节能型调速,是最具活力的调速方式,当前无论是重型的轧钢设备或轻型的纺织机械都广为采用。

第四部分是同步电机及其拖动。同步电动机与异步电动机虽然都是三相交流电机,但工作原理迥然不同。异步电机转子的机械转速必须与三相电源产生的旋转磁场的同步转速 n_1 有差异,即所谓异步,电机才能旋转。而同步电机转子的机械转速必须与同步转速一致,即所谓同步,电机才能旋转。异步电机只须单方面电源产生旋转磁场,而另一方面的磁极磁场则由电磁感应的原理而产生(故又称感应电机);而同步电机则需两方面的电源产生磁场,一方面由三相对称电源通入定子的三相对称绕组在气隙中产生旋转磁场,另一方面由直流电源通入转子上励磁绕组产生稳定的磁场,设法使后一磁场也旋转起来并达到同步速,于是两个磁场紧紧吸牢而使转子旋转。

由此可知,同步电动机转矩来自定子和转子两方面磁场的相吸。其实异步电动机虽然转子的机械转速与电源的同步转速异步,但转子上感应电流所产生的磁场也是旋转磁场,其转速也是与同步转速同步,它的转矩也是来自两方面磁场的相互吸引。从这个意义上讲,所谓“电机”,就其工作实质来讲,似应说是“磁机”。

同步电机工作时两大特点:一是转速恒定;二是功率因数高,而且可调。

同步电机主要有两大类,一类是同步发电机,当今各种类型的发电厂都是用同步发电机发电,其单机容量可达30万kW、60万kW,甚至达到120万kW,在发电领域中独领风骚。另一

类是同步电动机,在现代各生产部门广泛用于定速传动和调速传动的电力拖动系统中。

同步电动机因其功率因数高而且可调的特性,在实际生产中常被用来提高供电网络的功率因数。在实际操作中可将同步电动机的励磁电流调到过励状态,该电动机一方面旋转完成拖动负载的任务,另一方面向电网输送感性负荷所需的无功功率,以提高功率因数。

第五部分是单相异步电动机和控制电机。单相异步电动机是指这种电机使用单相电源,但就其工作原理来讲属两相异步电机,因为单相交流电只能产生脉振磁场,而脉振磁场不产生启动转矩,电机无法旋转工作。两相交流电则可产生旋转磁场,有了旋转磁场加上感应电流,则可产生电磁转矩使电机旋转。所以对使用单相电源的所谓单相电动机来讲,其关键问题是如何将单相交流电分相为两相交流电。当前的主要方法是在定子上另外增加一套绕组并串以电容,使之产生近似对称的两相交流电。根据分析,对称的两相交流电也能产生旋转磁场,因而能在电机中产生电磁转矩使转子旋转。单相异步电动机在家电产品中,如空调机、洗衣机、电冰箱、电风扇等担负着电力拖动主要角色,其用量随着家用电器的新品开发而不断增长。

控制电机的种类很多,它们的主要作用是在电气控制系统中担负检测、发送信号、接收信号以及执行控制等功能。常用的有伺服电动机、测速发电机、自整角机、步进电动机、微型同步电动机等。

第六部分,也是本书的最后一个内容,是电动机的选择。选择电动机首先要了解被选的对象,要了解当前电动机产品的系列及其特点,要了解电动机的三种工作制,又称工作方式:即连续工作方式、断续周期工作方式和短时工作方式。

选择电动机时,在确定了系列产品及其工作制后,最重要、最关键的工作是通过计算确定电动机的容量,另外还要选择电机的种类、型式、电压、转速等,最后确定被选电机的产品型号和规格。

电动机节能是节约用电的一大潜力,为此应使电动机工作在经济运行状态。这一任务不仅在选择电动机时要考虑,对于现有的电力拖动系统中的电动机也应考虑,也有潜力可挖。这方面的問題可以通过计算,找到经济运行区,在实际工作中让电动机尽可能运行在这一区域。

本课程的内容从纵向看可分为两个部分:设备和系统。设备是指从电机到变压器的各种电器设备,系统是指直流拖动系统和交流拖动系统。从水平的横向看则分为六个板块,即是本书所写的六个部分。这六个板块既是有机的整体,也具有一定的独立性,根据需要可以系统地学,也可以有选择地学。

本章是从总体上介绍本书及本学科的基本情况,内容不多,概括性较强。希望在学习本课程之前认真学习,到课程结束之时,再回过头来仔细阅读,希望能从中体会到更多的概括性内容和对本课程的深入理解。另外,对于时间较紧,只需大致了解本课程基本情况的读者,可通过阅读本章达到此目的。

思考题

- 1-1 本课程的任务是什么?
- 1-2 同步电动机和异步电动机有何异同?
- 1-3 直流拖动系统和交流拖动系统各有何特点?当前技术发展迅速、最具有活力的是哪种拖动系统?
- 1-4 本课程从纵向看和从横向看分为哪几个部分?

2 直流电机

直流电机的基本功能是实现电能和机械能的相互转换。直流电机具有可逆性,既可作直流电动机使用,又可作直流发电机使用。和交流电动机相比,直流电动机的主要优点是调速性能好,启动转矩大,因而广泛用于调速精度高,特别是快速可逆电力拖动系统中。例如大型可逆式轧机、市内公交车、铁路干线的电力机车、金属切削机床等生产机械,大都采用直流电动机拖动。直流电动机的主要缺点是结构复杂、制造成本较高,维修困难等。因而应用受到一定的限制。

在现代工业中,广泛采用三相交流电源,但在某些部门,例如化工、冶金、采矿、交通运输等部门,有的仍需直流发电机作为它们的电源设备。直流发电机也常作为独立的电源,向拖动生产机械的直流电动机供电,即所谓的“发电机-电动机组”(G-M系统)。近年来由于晶闸管和电子技术的发展,晶闸管整流设备已经广泛使用,故直流发电机逐渐被取代。

2.1 直流电机工作原理

2.1.1 直流发电机工作原理

通过电工基础的学习我们知道:在磁场中运动的导体,将在导体中产生感应电势。这就是发电机的基本工作原理。

图2-1是一台两极直流发电机的物理模型。图中N、S是主磁极,它可以是永久磁铁,也可是电磁铁,称为定子。在主磁极中间安放一个开有凹槽的圆柱形铁心;称为电枢铁心。在电枢铁心的两个槽中安放一个线圈,称为电枢绕组。绕组的两根导线焊接在两个互相绝缘的半圆形的铜质圆环上,称为换向器,其周边有两个电刷A、B与之滑动接触。电刷通过导线与负载接通。

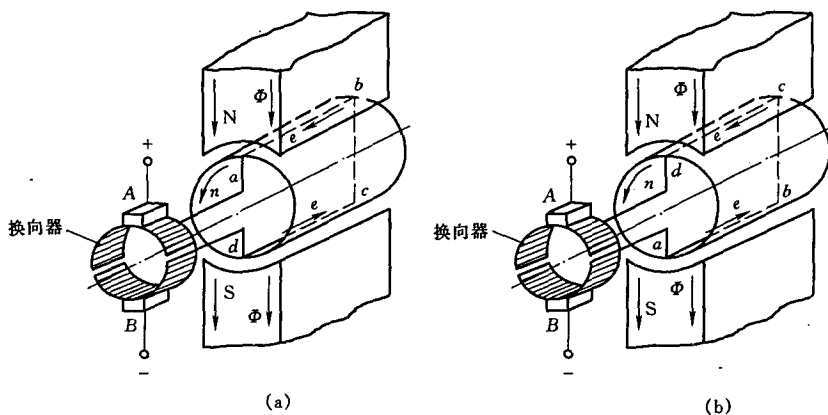


图2-1 直流发电机物理模型

(a)线圈 ab 段在上部情况; (b)线圈 ab 段在下部情况

当电枢被原动机拖动旋转时,电枢绕组中就要产生感应电势,在图 2-1(a)所示的瞬间,根据右手定则可知,线圈 $abcd$ 中感应电势方向如图所示。这时电刷 A 呈正极性,电刷 B 呈负极性。当线圈逆时针旋转 180° 时,如图 2-1(b)所示,这时导体 ab 和 cd 的位置互换,导体中的感应电势都分别改变了方向。由于换向片随着导体一起旋转,本来与电刷 B 接触的换向片,现在却与电刷 A 接触了;与电刷 A 接触的换向片,现在与 B 接触了。显然这时电刷 A 仍呈正极性,电刷 B 呈负极性。

比较图 2-1(a)和(b)可以看出,电刷 A 和 B 的极性是恒定的,即电刷 A 恒为正,电刷 B 恒为负,故在电刷两端输出脉动的直流电压。在这里,换向器的作用是使电刷 A 始终和 N 极下导体相连,电刷 B 始终和 S 极下的导体相连,这时换向器的作用是将导体中的交变电势转换为直流电势输出。

2.1.2 直流电动机工作原理

直流电动机是利用了载流导体在磁场中受力而运动的原理。

直流电动机的结构和直流发电机结构相同,如图 2-2 所示,电流由 A 电刷流入, B 电刷流出。在图 2-2(a)所示的位置,导体 ab 在 N 极下,电流由 a 到 b ,根据左手定则可知导体 ab 受力方向向左,导体 cd 在 S 极下,电流方向由 c 到 d ,而导体 cd 的受力方向向右,两个电磁力所产生的电磁转矩使电枢逆时针方向旋转。当转子旋转 180° ,转到图 2-2(b)所示的位置时,导体 ab 转到 S 极下,电流方向由 b 到 a ,导体 ab 的受力方向向右,而导体 cd 转到 N 极下,电流方向由 d 到 c ,导体 cd 受力方向向左,故电枢仍按逆时针方向旋转。由此可看出:通过换向器的作用,与电源负极相连的电刷 B 始终和 S 极下导体相连,故 S 极下导体中电流恒为流出,而与电源正极相连的电刷 A 始终和 N 极下导体相连,故 N 极下导体中电流方向恒为流入。这样当导体 ab 和 cd 不断交替出现在 N 极和 S 极下时,两导体所受电磁力矩始终为逆时针方向,因而使电枢按一定方向旋转。

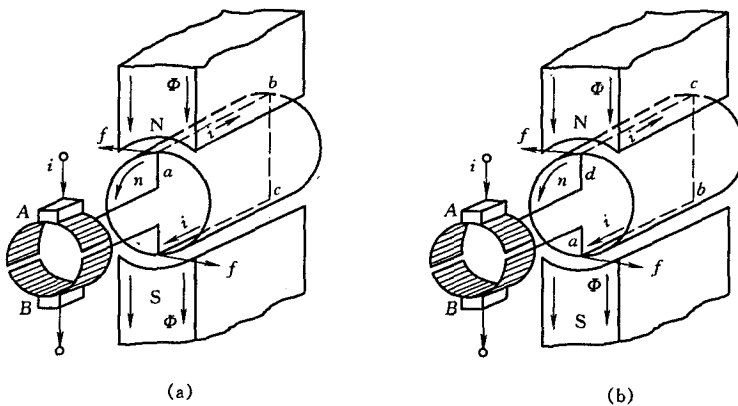


图 2-2 直流电动机物理模型

(a)导体 ab 段在上部情况; (b)导体 ab 段在下部情况