



普通高等教育
“十一五”国家级
规划教材



普通高等教育
电气工程与自动化类
“十一五”规划教材

FUNDAMENTALS OF ELECTRICAL MACHINES AND DRIVES

电机及拖动基础

第4版 上册

顾绳谷 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
普通高等教育电气工程与自动化类“十一五”规划教材

电机及拖动基础

上册

第4版

顾绳谷	主 编
姚守猷	副主编
张晓江	参 编
唐海源	
赵昌颖	主 审
陈敏逊	

合肥工业大学

哈尔滨工业大学

上海交通大学



机械工业出版社

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材，也是普通高等教育电气工程与自动化类“十一五”规划教材。

全书包括“电机学”及“电力拖动基础”两门课程的主要内容，分为上、下两册。本书为上册，主要为电机部分，体系沿照首版，仍本着“电机理论”为“电力拖动”构建基础理论和专业知识之平台的主旨，以电动机为切入点，并作修订和增删。内容顺序为：磁路，直流电机，变压器，异步电机，同步电机，控制电机以及附录等。电机的基本理论中，有些值得深思却又被遗失的主要理念性问题，择要增写成附录，以供读者探索。本书是修订后的第4版，内容有所增删，部分内容作了调整，增加了力矩电动机。另附有部分习题答案和实验教学提纲。

本书配套有电子课件（欢迎选用本书作教材的老师索取，索取电子邮箱：wbj@mail.machineinfo.gov.cn），并有单独出版的《电机及拖动基础实验》以及《电机及拖动基础习题解答与学习指导》。

本书可作为高校本科自动化、电气工程及其自动化专业的教材，也可以作为电气信息类其他专业有关课程及“运动控制”课程的基础教材，对广大工程技术人员也有重要的参考价值。

图书在版编目（CIP）数据

电机及拖动基础. 上册/顾绳谷主编. —4版. —北京：机械工业出版社，2007.10

普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 普通高等教育电气工程与自动化类“十一五”规划教材

ISBN 978-7-111-03775-0

I. 电… II. 顾… III. ①电机—高等学校—教材 ②电力传动—高等学校—教材 IV. TM3 TM921

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2007）第 138560 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：王保家 责任编辑：韩雪清 责任校对：陈延翔

封面设计：王洪流 责任印制：杨 曦

北京机工印刷厂印刷（北京双新装订有限公司装订）

2007 年 10 月第 4 版第 1 次印刷

184mm×260mm·16.5 印张·407 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-03775-0

定价：23.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

销售服务热线电话：（010）68326294

购书热线电话：（010）88379639 88379641 88379643

编辑热线电话：（010）88379727

封面防伪标均为盗版

全国高等学校电气工程与自动化系列教材

编审委员会

主任委员 汪樵生 浙江大学
副主任委员 (按姓氏笔画排序)

王兆安 西安交通大学
王孝武 合肥工业大学
田作华 上海交通大学
刘 丁 西安理工大学
陈伯时 上海大学
郑大钟 清华大学
赵光宙 浙江大学
赵 曜 四川大学
韩雪清 机械工业出版社

委员 (按姓氏笔画排序)

戈宝军	哈尔滨理工大学	方 敏	合肥工业大学
王钦若	广东工业大学	白保东	沈阳工业大学
吴 刚	中国科技大学	张化光	东北大学
张纯江	燕山大学	张 波	华南理工大学
张晓华	哈尔滨工业大学	杨 耕	清华大学
邹积岩	大连理工大学	陈 冲	福州大学
陈庆伟	南京理工大学	范 瑜	北京交通大学
夏长亮	天津大学	章 兢	湖南大学
萧蕴诗	同济大学	程 明	东南大学
韩 力	重庆大学	雷银照	北京航空航天大学
熊 蕊	华中科技大学		

序

随着科学技术的不断进步，电气工程与自动化技术正以令人瞩目的发展速度，改变着我国工业的整体面貌。同时，对社会的生产方式、人们的生活方式和思想观念也产生了重大的影响，并在现代化建设中发挥着越来越重要的作用。随着与信息科学、计算机科学和能源科学等相关学科的交叉融合，它正在向智能化、网络化和集成化的方向发展。

教育是培养人才和增强民族创新能力的基础，高等学校作为国家培养人才的主要基地，肩负着教书育人的神圣使命。在实际教学中，根据社会需求，构建具有时代特征、反映最新科技成果的知识体系是每个教育工作者义不容辞的光荣任务。

教书育人，教材先行。机械工业出版社几十年来出版了大量的电气工程与自动化类教材，有些教材十几年、几十年长盛不衰，有着很好的基础。为了适应我国目前高等学校电气工程与自动化类专业人才培养的需要，配合各高等学校的教学改革进程，满足不同类型、不同层次的学校在课程设置上的需求，由中国机械工业教育协会电气工程及自动化学科教学委员会、中国电工技术学会高校工业自动化教育专业委员会、机械工业出版社共同发起成立了“全国高等学校电气工程与自动化系列教材编审委员会”，组织出版新的电气工程与自动化类系列教材。这套教材基于“**加强基础，削枝强干，循序渐进，力求创新**”的原则，通过对传统课程内容的整合、交融和改革，以不同的模块组合来满足各类学校特色办学的需要。并力求做到：

1. 适用性：结合电气工程与自动化类专业的培养目标、专业定位，按技术基础课、专业基础课、专业课和教学实践等环节，进行选材组稿。对有的具有特色的教材采取一纲多本的方法。注重课程之间的交叉与衔接，在满足系统性的前提下，尽量减少内容上的重复。

2. 示范性：力求教材中展现的教学理念、知识体系、知识点和实施方案在本领域中具有广泛的辐射性和示范性，代表并引导教学发展的趋势和方向。

3. 创新性：在教材编写中强调与时俱进，对原有的知识体系进行实质性的改革和发展，鼓励教材涵盖新体系、新内容、新技术，注重教学理论创新和实践创新，以适应新形势下的教学规律。

4. 权威性：本系列教材的编委由长期工作在教学第一线的知名教授和学者组成。他们知识渊博，经验丰富。组稿过程严谨细致，对书目确定、主编征集、资料申报和专家评审等都有明确的规范和要求，为确保教材的高质量提供了有

力保障。

这套教材的顺利出版,先后得到全国数十所高校相关领导的大力支持和广大骨干教师的积极参与,在此谨表示衷心的感谢,并欢迎广大师生提出宝贵的意见和建议。

这套教材的出版如能在转变教学思想、推动教学改革、更新专业知识体系、创造适应学生个性和多样化发展的学习环境、培养学生的创新能力等方面收到成效,我们将会感到莫大的欣慰。

全国高等学校电气工程与自动化系列教材编审委员会

汪植生 陈永时 郑大钟

前言

全书(上、下册)第1版于1980年问世,1982年获机械工业出版社三十周年优秀图书一等奖;1988年获全国机电类优秀教材二等奖。第3版获机械工业出版社2004年科技进步二等奖。第4版被教育部批准为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,也是普通高等教育电气工程与自动化类“十一五”规划教材。

全书第1版经全国高校选用10余年后,作者按全国高校自动化类专业教材编审委员会拟订的《电机及拖动基础》教学大纲进行修订,于1997年出版第2版,被列为全国普通高等教育自动化专业的规划教材。2004年1月经过进一步修订后,作为“21世纪普通高等教育规划教材”,出版了第3版。与第3版相比较,第4版的内容有所增删,部分内容作了调整。考虑到本书是教科书,各章仍列入例题和经过精选后的习题,供读者选用。为了便于组织教学,第4版在修订时仍将“电机”及“电力拖动”两部分内容相对集中,分别安排在《电机及拖动基础》的上、下两册中。

上册“电机”部分,本版的修改主要本着结合专业特点和适当兼顾电机学科体系的原则进行,以所谓传统四大电机加控制电机作为总体安排,仍以拖动系统中主要元件——交、直流电机为主要分析对象。在第4版中,整体内容有所增加,部分内容作了调整,第六章中自控式同步电动机一节做了充实,第七章中增加了力矩电动机一节,并新增加了附录C用耦合电路法导出电机稳态运行时的电动势平衡方程式、附录D同步电动机的小振荡、附录E机电能量转换简述。三个附录(附录C、D、E)旨在使读者在解读之后能粗略地了解电机学科在历来的理论分析上有两种基本分析方法,即合成磁场理论法与动态耦合电路法,两者各有优异,又有“异曲同工”之妙(附录C),继而使读者又可认知到现有四大类电机均有“优势”与不足共存。在20世纪80年代,电机学科经与电力电子学科的交叉与渗透,衍生了一种调速特性良好的“电子控制电动机”,或称“自控式同步电动机”或“无换向器电动机”(正文第六章第二节、附录D)。与此同时,经与众多学者努力的探索和求真,初步揭示了电机中机电能量转换“之所以然”之谜(附录E)。通过回顾与展望,向学者展示了电机学科的广阔前景。

下册“电力拖动”部分,在“电力拖动系统动力学基础”一章中,增加了电动机和工作机构间速比可变的系统、非圆柱体转动惯量计算等有关内容,使电力拖动系统动力学的内容更充实、更完整。有关MATLAB/Power System Blockset用于电力拖动系统的内容也得到进一步充实。还增加了涵盖电力拖动主要内容的教学参考实验,可供不同院校参考。

全书采用的常用文字符号和图形符号都已经参考我国国家标准,上、下册已经分别列表,力求统一。全书上、下册的书后均附有部分习题的参考答案。

本书可作为高校本科自动化、电气工程及其自动化专业的教材,也可以作为电气信息类其他专业有关课程及“运动控制”课程的基础教材,对工程技术人员也有重要的参考价值。

与本书配套,已正式出版了《电机及拖动基础实验》和《电机及拖动基础习题解答与学习指导》两本教材。前者也是“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”。为了配合课

堂教学,本书上、下册均配有电子课件。

本书由合肥工业大学顾绳谷教授任主编,姚守猷教授任副主编。本书上册由姚守猷教授、唐海源副教授编写;下册由顾绳谷教授、张晓江副教授编写。

全书(上、下册)的电子课件均由张晓江副教授制作,欢迎选用本书作为教材的教师索取,索取的电子邮箱为:wbj@mail.machineinfo.gov.cn。

全书由哈尔滨工业大学赵昌颖教授、上海交通大学陈敏逊教授主审;哈尔滨理工大学汤蕴璆教授审阅了上册附录E机电能量转换简述。他们对本书稿认真审阅后并提出了许多宝贵意见,在此一并表示衷心的感谢。

编者对使用过本书第1版、第2版及第3版的师生以及提出过宝贵意见的同志表示衷心的感谢。

编 者

151	第一章	0	第一章
152	1.1	0	1.1
153	1.2	10	1.2
154	1.3	14	1.3
155	1.4	16	1.4
156	1.5	17	1.5
157	1.6	17	1.6
158	1.7	19	1.7
159	1.8	19	1.8
160	1.9	20	1.9
161	1.10	24	1.10
162	1.11	24	1.11
163	1.12	24	1.12
164	1.13	25	1.13
165	1.14	36	1.14
166	1.15	40	1.15
167	1.16	41	1.16
168	1.17	42	1.17
169	1.18	42	1.18
170	1.19	42	1.19
171	1.20	42	1.20
172	1.21	42	1.21
173	1.22	42	1.22
174	1.23	42	1.23
175	1.24	42	1.24
176	1.25	42	1.25
177	1.26	42	1.26
178	1.27	42	1.27
179	1.28	42	1.28
180	1.29	42	1.29
181	1.30	42	1.30
182	1.31	42	1.31
183	1.32	42	1.32
184	1.33	42	1.33
185	1.34	42	1.34
186	1.35	42	1.35
187	1.36	42	1.36
188	1.37	42	1.37
189	1.38	42	1.38
190	1.39	42	1.39
191	1.40	42	1.40
192	1.41	42	1.41
193	1.42	42	1.42
194	1.43	42	1.43
195	1.44	42	1.44
196	1.45	42	1.45
197	1.46	42	1.46
198	1.47	42	1.47
199	1.48	42	1.48
200	1.49	42	1.49
201	1.50	42	1.50
202	1.51	42	1.51
203	1.52	42	1.52
204	1.53	42	1.53
205	1.54	42	1.54
206	1.55	42	1.55
207	1.56	42	1.56
208	1.57	42	1.57
209	1.58	42	1.58
210	1.59	42	1.59
211	1.60	42	1.60
212	1.61	42	1.61
213	1.62	42	1.62
214	1.63	42	1.63
215	1.64	42	1.64
216	1.65	42	1.65
217	1.66	42	1.66
218	1.67	42	1.67
219	1.68	42	1.68
220	1.69	42	1.69
221	1.70	42	1.70
222	1.71	42	1.71
223	1.72	42	1.72
224	1.73	42	1.73
225	1.74	42	1.74
226	1.75	42	1.75
227	1.76	42	1.76
228	1.77	42	1.77
229	1.78	42	1.78
230	1.79	42	1.79
231	1.80	42	1.80
232	1.81	42	1.81
233	1.82	42	1.82
234	1.83	42	1.83
235	1.84	42	1.84
236	1.85	42	1.85
237	1.86	42	1.86
238	1.87	42	1.87
239	1.88	42	1.88
240	1.89	42	1.89
241	1.90	42	1.90
242	1.91	42	1.91
243	1.92	42	1.92
244	1.93	42	1.93
245	1.94	42	1.94
246	1.95	42	1.95
247	1.96	42	1.96
248	1.97	42	1.97
249	1.98	42	1.98
250	1.99	42	1.99
251	1.100	42	1.100

上册常用符号表

A	A 相	f	频率
A	面积; 线负荷	f_1	异步电动机定子频率
a	a 相	f_2	异步电动机转子频率
a	交流绕组的并联支路数; 直流电枢绕组的 并联支路对数	f_v	ν 次谐波频率
B	B 相	H	磁场强度
B	磁通密度	H_8	气隙磁场强度
B_8	气隙磁密	i	电流的瞬时值
B_{ad}	直轴电枢磁场磁密	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
B_{aq}	交轴电枢磁场磁密	I_a	直流电机的电枢电流
C	C 相	I_m	交流励磁电流
C	电容	I_f	直流励磁电流
C_T	转矩常数	I_μ	励磁电流中的无功分量
C_e	电动势常数	I_N	额定电流
D_a	电枢外径	I_0	空载电流
E	电动势 (交流表示有效值)	I_k	短路电流; 堵转电流
E_ϕ	相电动势	I_1	变压器一次电流; 异步电机定子电流
E_0	空载电动势, 励磁电动势	I_2	变压器二次电流; 异步电机转子电流
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_2'	I_2 的归算值
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	K	换向片数
E_2'	E_2 的归算值	k	变压器的电压比
E_q	q 个线圈的合成电动势	k_i	异步电动机的电流比
e	电动势的瞬时值	k_e	异步电动机的电动势比
e_x	换向时的电抗电动势	k_{d1}	基波分布因数
e_a	换向时的电枢反应电动势	K_{q1}	基波节距因数
F	磁动势, 力	k_{w1}	基波绕组因数
F_a	电枢磁动势	k_{dv}	ν 次谐波的分布因数
F_m	异步电机的励磁磁动势	k_{qv}	ν 次谐波的节距因数
F_{ad}	直轴电枢磁动势	k_{wv}	ν 次谐波的绕组因数
F_{aq}	交轴电枢磁动势	L	自感
$F_{\phi 1}$	单相绕组的基波磁动势	$L_{1\sigma}$	变压器一次绕组 (感应电机定子) 的漏磁 电感
$F_{\phi v}$	单相绕组的 ν 次谐波磁动势	$L_{2\sigma}$	变压器二次绕组 (感应电机转子) 的漏磁 电感
F_{y1}	一个整距线圈的基波磁动势	l	长度
F_{q1}	q 个线圈的基波合成磁动势	M	互感
F_{qv}	q 个线圈的谐波磁动势	m_1	交流电机定子相数

m_2	异步电机转子相数	$T_{\max}$	最大转矩
N	每相串联匝数	T_2	负载转矩
N_y	每个线圈的匝数	t	时间
n	转子转速	U	电压 (交流表示有效值)
n_N	额定转速	U_N	额定电压
n_0	空载转速	U_ϕ	相电压
n_s	同步转速	U_1	电源电压; 定子端电压
n_v	ν 次谐波旋转磁场的转速	U_0	空载电压; 零序电压
Δn	转速差	U_k	短路电压; 堵转电压
P	功率	u	电压的瞬时值
P_N	额定功率	$2\Delta u_s$	每对电刷的电压降
P_e	电磁功率	W	功; 能
P_{mech}	机械功率	W_m	磁场能量
P_k	堵转功率; 短路功率	W_e	电能
P_1	输入功率	X	电抗
P_2	输出功率	X_a	电枢反应电抗
P_0	空载功率	X_{ad}	直轴电枢反应电抗
p	损耗; 极对数	X_{aq}	交轴电枢反应电抗
p_{Cu}	铜耗	X_σ	定子漏抗
p_{Fe}	铁耗	X_t	同步电抗
p_Δ	杂散损耗	X_d	直轴同步电抗
p_{mech}	机械损耗	X_q	交轴同步电抗
Q	槽数	X_m	励磁电抗
q	每极每相槽数	X_k	短路电抗
R	电阻	$X_{1\sigma}$	变压器一次绕组 (感应电机定子) 漏抗
R_m	励磁电阻; 磁阻	$X_{2\sigma}$	变压器二次绕组 (感应电机转子) 漏抗
R_1	变压器一次绕组 (感应电机定子) 电阻	$X'_{2\sigma}$	$X_{2\sigma}$ 的归算值
R_2	变压器二次绕组 (感应电机转子) 电阻	X'_d	直轴瞬态电抗
R'_2	R_2 的归算值	y	绕组合成节距
R_f	励磁绕组电阻	y_1	线圈节距
R_a	电枢电阻	y_c	换向器节距
R_k	变压器 (异步电机) 的短路电阻	Z	阻抗; 电枢导体数
S	视在功率	Z_m	励磁阻抗
S_N	额定视在功率	Z_k	短路阻抗
s	转差率	$Z_{1\sigma}$	变压器一次绕组 (感应电机定子) 漏阻抗
s_N	额定转差率	$Z_{2\sigma}$	变压器二次绕组 (感应电机定子) 漏阻抗
s_m	最大转矩时的转差率	$Z'_{2\sigma}$	$Z_{2\sigma}$ 的归算值
T	转矩	Δu	电压调整率
T_c	换向周期	α	角度; 相邻两槽间的电角度
T_N	额定转矩	β	负载系数
T_k	堵转转矩	δ	气隙; 功率角
T_0	空载转矩	ε	小数; 短距角
T_e	电磁转矩	η	效率

目 录

序	93
前言	
上册常用符号表	
绪言	1
第一章 磁路	6
第一节 磁路的基本定律	6
第二节 常用的铁磁材料及其特性	10
第三节 直流磁路的计算	14
第四节 交流磁路的特点	16
小结	17
习题	17
第二章 直流电机	19
第一节 直流电机的工作原理及结构	19
第二节 直流电机的铭牌数据	24
第三节 直流电机的绕组	24
第四节 直流电机的励磁方式及磁场	32
第五节 感应电动势和电磁转矩的计算	38
第六节 直流电机的运行原理	40
第七节 直流电机的换向	51
小结	55
习题	56
第三章 变压器	59
第一节 变压器的工作原理、分类及结构	59
第二节 单相变压器的空载运行	64
第三节 单相变压器的基本方程式	68
第四节 变压器的等效电路及相量图	70
第五节 等效电路的参数测定	74
第六节 三相变压器	76
第七节 变压器的稳态运行	81
第八节 自耦变压器与互感器	86
小结	90
习题	91
第四章 异步电机 (一) ——三相异步电动机的基本原理	93
第一节 三相异步电动机的工作原理及结构	93
第二节 三相异步电动机的铭牌数据	100
第三节 三相异步电动机的定子绕组	100
第四节 三相异步电动机的定子磁动势及磁场	108
第五节 三相异步电动机定子绕组的电动势	121
小结	126
习题	127
第五章 异步电机 (二) ——三相异步电动机的运行原理及单相异步电动机	129
第一节 三相异步电动机运行时的电磁过程	129
第二节 三相异步电动机的等效电路及相量图	137
第三节 三相异步电动机的功率和转矩	145
第四节 三相异步电动机的工作特性及其测量方法	150
第五节 三相异步电动机参数的测定	152
第六节 三相异步电动机的转矩与转差率的关系	154
第七节 单相异步电动机	156
第八节 直线异步电动机	161
小结	164
习题	165
第六章 同步电机	167
第一节 三相同步电动机	167
第二节 自控式同步电动机——无换向器电动机	179
第三节 其他同步电动机	186
小结	191
习题	192
第七章 控制电机	193
第一节 伺服电动机	193
第二节 测速发电机	200
第三节 自整角机	206

第四节 旋转变压器	210	附录 C 用耦合电路法导出电机稳态运行时 的电动势平衡方程式	226
第五节 力矩电动机	215	附录 D 同步电动机的小振荡	237
小结	216	附录 E 机电能量转换简述	241
习题	217	上册部分习题参考答案	246
附录	218	电机实验教学提纲	247
附录 A 小型单相变压器的计算	218	参考文献	251
附录 B 变压器的瞬变过程	223		
附录 C 用耦合电路法导出电机稳态运行时 的电动势平衡方程式	226		
附录 D 同步电动机的小振荡	237		
附录 E 机电能量转换简述	241		
上册部分习题参考答案	246		
电机实验教学提纲	247		
参考文献	251		

绪 言

一、电机及电力拖动技术的发展概况

电能是现代大量应用的一种能量形式。这种能量形式有许多优点,如生产和变换比较经济,传输和分配比较容易,使用和控制比较方便等。人类自从使用了电能,便从繁重的体力劳动中得到了解放,劳动生产率大大提高,并能完成手工劳动所不易或不能完成的生产任务。因此电能已成为国民经济各部门中动力的主要来源。

电能的生产、变换、传输、分配、使用和控制等都必须利用电机作为能量转换或信号变换的机电装置。在电力工业中,发电机和变压器是电站和变电所中的主要设备。在工业企业中,大量应用电动机作为原动机去拖动各种生产机械。如在机械工业、冶金工业、化学工业中,机床、挖掘机械、轧钢机、起重机械、抽水机、鼓风机等都要用大大小小的电动机来拖动;在自动控制技术中,各式各样的小巧灵敏的控制电机广泛地被作为检测、放大、执行和解算元件。

不论是旋转电机的能量转换,还是控制电机的信号变换,都是通过电磁感应作用而实现的,因此分析电机内部的电磁过程及其所表现的特性时,要应用有关电和磁的规律,如基尔霍夫第一、第二定律,全电流定律,电磁感应定律和电磁力定律等。但是,电机毕竟是一种机械,除电磁规律以外,还涉及到结构、工艺、材料等方面的问题,所以电机在拖动系统中是一种综合性的装置或元件。

电机的发明至今已有 180 多年的历史,其发展大体上可以分成三个时期:①直流电机的产生和形成;②交流电机的形成;③电机理论、设计和制造工艺逐步达到完善。

电机是随着生产发展而产生和发展的,到 19 世纪末,各种交、直流电机的基本类型及其基本理论和设计方法大体上都已经建立起来了,而电机的发展反过来又促进社会生产力的不断提高。以前,电机的发展过程是由诞生到在工业上初步应用、各种电机的初步定型以及电机理论和电机设计计算的建立和发展。在由电气化时代进入原子能、计算机及自动化时代的今天,对电机不仅在诸如性能良好、运行可靠、单位容量的重量轻、体积小等方面提出了越来越多的要求,而且随着自动控制系统和计算装置的发展,在旋转电机的理论基础上,发展出了多种高精度、快响应的控制电机,使控制电机成为电机学科的一个独立分支。与此同时,电力电子学等学科的渗透使电机这一较为成熟的学科得到新的发展。

新中国成立以来,我国的电机制造工业发生了巨大变化,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。就各种拖动系统中的主要设备——电动机而言,已经研制成功 $2 \times 5000\text{kW}$ 的直流电动机、 4700kW 的直流发电机。电力变压器的最大容量已做到 $840\text{MV} \cdot \text{A}$,电压最高达 750kV 。在中小型电机和控制电机方面,亦自行设计和生产了 125 个系列电机,上千个品种,几千个规格的各种电机。由于生产上的需要,最近几年来,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亦进行了许多摸索、研究和试验工作,取得了不少成就。

当前科学技术突飞猛进,因此电机在制造上也向着大型、巨型发展。中小型电机正向多用途、多品种方向发展,向高效节能方向发展。在应用上,由于计算机技术迅速发展,将会出现由机器人工作的无人工厂,以计算机作为这些工厂的“中枢神经”,使实现无人化成为可能。在这种时代里,某些特种电机必须具有快速响应、模仿性运动、快速起动和停止等比人的手脚更复杂而精巧的运动性能。理论上,在电机中应用了控制技术,将使电机具有更良好的特性,使各类电机成为各种机电系统中一种极其重要的元件。因此,电力电子学、计算机、电机学和控制论结合起来,将发展成一门新的学科。

上面简述了电机的发展概况。同样,应用各种电动机拖动各种生产机械的电力拖动技术,其发展也是有个过程的。

最初,电力拖动代替了蒸汽或水力的拖动。当时电动机拖动生产机械的方式是通过天轴实现的,称为“成组拖动”。它是由一台电动机拖动一组生产机械,从电动机到各生产机械的能量传递以及在各生产机械之间的能量分配完全用机械方法,靠天轴及机械传动系统来实现。电动机远离生产机械,车间里有大量的天轴、长带和带轮等。能量传递过程中的损耗大,效率低,生产率低,灰尘大,劳动条件与卫生条件很差,而且易出事故。另外,如果电动机发生故障,则成组的生产机械将停止工作,甚至整个生产可能停顿。这是一种陈旧落后的电力拖动方式。

为了克服上述缺点,自20世纪20年代以来,生产机械上广泛采用一种“单电动机拖动系统”。在这一系统中,一台生产机械用一台单独的电动机拖动。这样,电动机与生产机械在结构上配合密切,可以用电气方法调节每台生产机械的转速,从而进一步简化机械结构,而且易于实现生产机械运转的全部自动化。

但是,如果用一台电动机拖动具有多个工作机构的生产机械,则机械内部仍将保留着复杂的机械传动机构。因此,自20世纪30年代起,广泛采用了“多电动机拖动系统”,即每一个工作机构用单独的电动机拖动,因而生产机械的机械结构可大为简化。例如,具有三个主轴的龙门铣床用三台电动机拖动,每台电动机拖动一根主轴运动。某些生产机械的生产过程长而且连续,如造纸、印刷、纺织、轧制等机械,也都采用多电动机拖动系统。这些机械一般由多个分部组成,每一分部可用单独电动机拖动。

必须指出,在只有一个工作机构的生产机械上有时也采用多电动机拖动系统。例如,链式输送机的工作机构是一条长的链式运输带,它往往采用多台电动机拖动。

在多电动机拖动系统中,各台电动机可在机械上采用刚性连接或摩擦联接等。很多情况下也采用电气方法连接,如用电气控制线路及装置实现各电动机间的转速关系保持恒定(如电轴系统),维持某一参数(如张力)在容许范围内(如造纸、纺织、印刷、轧制等生产机械)以及各电动机间互相连锁(保证一定的起动运转、停车程序)等。

随着生产的发展,对上述单电动机拖动系统及多电动机拖动系统提出了更高的要求,如要求提高加工精度与工作速度,要求快速起动、制动及逆转,实现在很宽的范围内调速及整个生产过程自动化等。要完成这些任务,除电动机外,必须有自动控制设备,以组成自动化的电力拖动系统。

现代工业的电力拖动一般都要求局部或全部的自动化,因此必然要与各种控制元件组成的自动控制系统联系起来,而电力拖动则视为自动化电力拖动系统的简称。在这一系统中可对生产机械进行自动控制,如实现自动控制起动、制动、调速、同步,自动维持转速、转

矩或功率为恒定值,按给定程序或事先不知道的规律改变速度、改变转向和工作机构的位置,以及使工作循环自动化等。

随着电机及电器制造业以及各种自动化元件的发展,自动化电力拖动系统得到不断的更新与发展。

最初采用的控制系统是继电器-接触器型的,属于有触点断续控制系统,称为继电器-接触器自动控制系统。

20世纪30年代初,出现了发电机-电动机组,使调速性能优异的直流电动机得到了广泛的应用。在直流电动机的拖动系统中,由于电机、电器、自动化元件及电力电子器件的不断更新与发展,在上述发电机-电动机组的基础上,发展成为采用交磁电机扩大机、磁放大器、可控离子变流器及晶闸管整流器等组成的直流自动电力拖动系统。目前,晶闸管等直流自动电力拖动系统已得到广泛的应用,自动化的直流电力拖动成套设备正在向大容量的方向发展,并做到集中控制、集中监视。在自动化元件方面已有整套标准控制单元,控制装置集成化、小型化、微型化,做到结构上组合安装积木化;微型化的自动化装置可直接装于电动机机座上,做到与电动机一体化,节省专用的控制柜;设备可靠性高,维护简便,许多设备都可做到锁门运行,不需监视与维护。

与直流电动机相比,交流电动机具有结构简单、价格便宜、维护方便、转动惯量小等一系列优点,单机功率比直流电机高得多,电压容易做成高压,还能实现高速运转。

20世纪40年代末到50年代,国外对串级及离子变频的交流调速系统进行了一些研究,并提出了无换向器电动机的原理。其后,晶闸管及电力电子自关断器件的出现,为交流调速系统开辟了广阔的前途,目前已进入扩大应用及系列化阶段,性能指标进一步提高。串级调速系统、变频调速系统及自控式同步电动机(无换向器电动机)正在向大容量发展;控制系统已实现集成化,并且已经在工业中被广泛应用;交流电力拖动取代直流电力拖动已是肯定无疑的了。

我国建国以来,电力拖动自动化技术的发展有很大成绩,建立了一些有一定电力拖动自动化水平的工厂,成立了一批科研与设计机构。但是与国外比较,差距还比较大。目前正在急起直追,主攻成套,狠抓基础,开展一些关键技术的研究。如电力拖动自动化成套技术,它应用系统工程理论与计算机对工业自动化系统及成套设备的技术经济指标进行全面的分析研究,使系统各组成部分按全系统要求的最佳方式工作,达到全系统和整个成套设备综合技术经济指标最佳。

随着近代电力电子技术和计算机技术的发展以及现代控制理论的应用,自动化电力拖动正向着计算机控制的生产过程自动化的方向迈进。在一些现代化的工厂里,力求做到从原料进厂到产品出厂都是自动化或半自动化的,而且达到高速、优质、高效率地生产。但必须指出,在大多数综合自动化系统中,例如在计算机集成制造系统(CIMS)中,自动化的电力拖动系统仍然是不可缺少的组成部分。

我国与国外的发展情况相同,一些工厂企业的生产过程正从单机、局部自动化发展到全盘、综合自动化,已经出现大批自动生产线。一些自动化车间和自动化工厂也已在我国出现。

另外,低成本自动化技术与设备的开发,越来越引起国内外的注意。特别对于中小型企业,应用适用技术的设备,不仅有利于获得经济效益,而且能提高生产率、可靠性与柔性,

还有易于应用的优点。自动化的电力拖动系统更是低成本自动化系统的重要组成部分。

目前,世界已处于信息化的时代。以信息化带动工业化,以工业化促进信息化,是我国实现现代化的道路。由于电力拖动是各类工业(特别是制造业)、各种生产机械的主要拖动方式,其理论与技术的发展,必将在我国实现现代化与工业化的进程中起十分重要的作用。

二、本课程的性质、任务与内容

本课程是自动化、电气工程及其自动化等专业的一门专业基础课。

本课程的任务是使学生掌握常用交流电机、直流电机、控制电机及变压器等的基本结构与工作原理以及电力拖动系统的运行性能、分析计算、电机选择与实验方法,为学习“电力拖动自动控制系统(运动控制系统)”、“反馈控制理论”及“计算机控制技术”等课程准备必要的基础知识。

本课程主要研究电机与电力拖动系统的基本理论问题,同时也联系到科学实验与生产实际的内容,具有原“电机学”及“电力拖动基础”的基本内容。在学完本课程之后,应达到下列要求:

- 1) 了解常用铁磁材料的特性,掌握磁路基本定律及计算方法。
- 2) 熟悉常用交、直流电机及变压器的基本结构和工作原理,对交、直流电机绕组的基本形式及其连接规律要有一定的认识。
- 3) 掌握交、直流电机及变压器稳态运行时的基本理论、运行性能及其分析方法。
- 4) 熟练运用等效电路计算变压器和三相异步电动机的性能。
- 5) 掌握控制电机的工作原理、特性及用途。
- 6) 掌握分析电动机机械特性及各种运行状态(起动、反接制动、能耗制动、回馈制动)的基本理论。
- 7) 掌握电力拖动机械过渡过程的基本特性及其主要的分析方法,了解机械惯性和电磁惯性同时作用时对直流电力拖动过渡过程的影响。
- 8) 掌握电力拖动系统中电动机参数调速方法的基本原理和技术经济指标。
- 9) 掌握选择电机的原理与方法。
- 10) 掌握电机与电力拖动系统的基本实验方法与技能,并具有熟练的运算能力。
- 11) 了解电机与电力拖动今后发展的方向。

为了深入掌握本课程的有关内容,应在教学过程中选择适当份量的课外作业进行练习。习题内容可与实验内容结合起来。课外作业主要内容为:

- 1) 直流磁路的正问题计算。
- 2) 直流电动机工作特性的计算。
- 3) 变压器运行特性的计算。
- 4) 交流绕组磁动势的计算。
- 5) 异步电动机工作特性的计算。
- 6) 运动方程式中各参数折算的计算。
- 7) 他励直流电动机调速特性的计算。
- 8) 他励直流电动机过渡过程的计算。
- 9) 异步电动机机械特性的计算。