



教育科学“十五”国家规划课题研究成果

电机与拖动

许晓峰 主 编
吕宗枢 吕树清 衣丽葵 副主编



高等教育出版社



教育科学“十五”国家规划课题研究成果

电机与拖动

许晓峰 主 编
吕宗枢 吕树清 衣丽葵 副主编



高等教育出版社

内容提要

本书主要叙述了直流电机、直流电动机的电力拖动、变压器、三相异步电动机、三相异步电动机的电力拖动、同步电机及同步电动机的电力拖动、驱动和控制微电机和电力拖动系统中电动机的选择等内容。

本书可作为工程应用型普通高等学校自动化、电气工程及自动化和农业电气化与自动化等专业的“电机与拖动”课程的教材,也可供相关工程技术人员参考。

鉴于本教材的编写特点,本书除适合全日制学生使用外,还适合各类成人高校和函授学生使用,也可作为各相关企业的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

电机与拖动/许晓峰主编. —北京:高等教育出版社,2009.8

ISBN 978 - 7 - 04 - 028089 - 0

I. 电… II. 许… III. ①电机 - 高等学校 - 教材
②电力传动 - 高等学校 - 教材 IV. TM3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 121974 号

策划编辑 韩颖 责任编辑 魏芳 封面设计 赵阳 责任绘图 尹莉
版式设计 范晓红 责任校对 王效珍 责任印制 尤静

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
总机 010-58581000

经销 蓝色畅想图书发行有限公司
印刷 北京四季青印刷厂

开本 787×1092 1/16
印张 23.5
字数 510 000

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版次 2009年8月第1版
印次 2009年8月第1次印刷
定价 31.50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 28089-00

总 序

为了更好地适应当前我国高等教育跨越式发展需要,满足我国高校从精英教育向大众化教育的重大转移阶段中社会对高校应用型人才培养的各类要求,探索和建立我国高等学校应用型人才培养体系,全国高等学校教学研究中心(以下简称“教研中心”)在承担全国教育科学“十五”国家规划课题——“21世纪中国高等教育人才培养体系的创新与实践”研究工作的基础上,组织全国100余所培养应用型人才为主的高等院校,进行其子项目课题——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的研究与探索,在高等院校应用型人才培养的教学内容、课程体系研究等方面取得了标志性成果,并在高等教育出版社的支持和配合下,推出了一批适应应用型人才需要的立体化教材,冠以“教育科学‘十五’国家规划课题研究成果”。

2002年11月,教研中心在南京工程学院组织召开了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题立项研讨会。会议确定由教研中心组织国家级课题立项,为参加立项研究的高等院校搭建高起点的研究平台,整体设计立项研究计划,明确目标。课题立项采用整体规划、分步实施、滚动立项的方式,分期分批启动立项研究计划。为了确保课题立项目标的实现,组建了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题领导小组(亦为高校应用型人才立体化教材建设领导小组)。会后,教研中心组织了首批课题立项申报,有63所高校申报了近450项课题。2003年1月,在黑龙江工程学院进行了项目评审,经过课题领导小组严格的把关,确定了首批9项子课题的牵头学校、主持学校和参加学校。2003年3月至4月,各子课题相继召开了工作会议,交流了各校教学改革的情况和面临的具体问题,确定了项目分工,并全面开始研究工作。计划先集中力量,用两年时间形成一批有关人才培养模式、培养目标、教学内容和课程体系等理论研究成果报告和研究报告基础上同步组织建设的反映应用型人才特色的立体化系列教材。

与过去立项研究不同的是,“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题研究在审视、选择、消化与吸收多年来已有应用型人才探索与实践成果基础上,紧密结合经济全球化时代高校应用型人才培养工作的实际需要,努力实践,大胆创新,采取边研究、边探索、边实践的方式,推进高校应用型本科人才培养工作,突出重点目标,并不断取得标志性的阶段成果。

教材建设作为保证和提高教学质量的重要支柱和基础,作为体现教学内容和教学方法的知识载体,在当前培养应用型人才中的作用是显而易见的。探索、建设适应新世纪我国高校应用型人才培养体系需要的教材体系已成为当前我国高校教学改革和教材建设工作面临的十分重要的任务。因此,在课题研究过程中,各课题组充分吸收已有的优秀教学改革成

果,并和教学实际结合起来,认真讨论和研究教学内容和课程体系的改革,组织一批学术水平较高、教学经验较丰富、实践能力较强的教师,编写出一批以公共基础课和专业、技术基础课为主的有特色、适用性强的教材及相应的教学辅导书、电子教案,以满足高等学校应用型人才培养的需要。

我们相信,随着我国高等教育的发展和高校教学改革的不断深入,特别是随着教育部“高等学校教学质量和教学改革工程”的启动和实施,具有示范性和适应应用型人才培养的精品课程教材必将进一步促进我国高校教学质量的提高。

全国高等学校教学研究中心

2003年4月

前 言

随着社会、经济和科技的发展,人类的认识和实践领域不断扩大和加深。电机及其电力拖动领域也发生了根本性的变化,电力电子技术、网络技术、通信技术等不断渗透到该领域,许多新思想、新方法、新技术、新工具在该领域得到应用,许多新原理电机不断涌现。为了适应新情况和新要求,近几年,编者先后在所在学校和全国高等学校教学研究中心立项进行“电机与拖动”课程改革与教材建设的研究工作。该项目也被纳入“十一五”国家级规划课题子课题重点项目。编写一本工程应用型自动化等专业适用的电机与拖动教材一直是编者的一个心愿,本书就是基于上述背景而编写的。本书可作为工程应用型自动化、电气工程及自动化(供用电技术方向)和农业电气化与自动化等专业的“电机与拖动”课程的教材,也可供相关工程技术人员参考。

全书共分8章,主要内容有直流电机、直流电动机的电力拖动、变压器、三相异步电动机、三相异步电动机的电力拖动、同步电机及同步电动机的电力拖动、驱动和控制微电机和电力拖动系统中电动机的选择等。与传统教材相比,编入了全密封变压器和Y3系列异步电动机新技术内容,增加了直线电动机、开关磁阻电动机、永磁无刷直流电动机和交直流两用电动机等新型电机内容,还增加了同步电动机的电力拖动内容。

在教材编写过程中,力求体现如下特点:

1. 将“电机学”、“电力拖动”和“控制电机”三门课程有机结合,章节顺序也尽可能适合学生学习。例如讲述各种电机之后,马上就讲其拖动内容,另外,考虑到异步电机与变压器的相似性,在讲述变压器之后就讲授异步电机一章。

2. 侧重于基本原理和基本概念的阐述,并强调基本理论的实际应用,每种电机都专门阐述其应用情况。

3. 从培养学生自学能力出发,重点、难点内容讲清讲透,不吝啬篇幅,教材的编写适合学生自学。

4. 教材编写时,部分内容采用提出问题、分析问题、解决问题,最后总结出概念并推广到一般的编写方法。

5. 教材中引入了一些工程中已经应用且较为成熟的新技术内容,力求取材新颖,以体现先进性和适用性。

6. 编写时采用了对比的编写方法,例如,在编写异步电动机内容时,将其与变压器的相关内容进行比较,阐述两者的异同点,使学生理解更加深刻。

7. 在每章末附有具有标准试卷格式的自测题,便于学生自检自测。

8. 书中配有大量的例题、思考题与习题,便于学生巩固应掌握的基本知识和引导应用。

9. 本书将配有相应的学习指导书,编写时兼顾教与学两个方面。书中内容包括内容提要、基本要求、重点与难点分析、典型例题分析、部分思考题与习题解答、自测题参考答案等六个方面。

10. 将制作相配套的电子教案和试题库系统,力争使教材做到“立体化”配套。

书中带有“*”的内容为选学内容。

本书的绪论和第1、3、4章由沈阳工程学院许晓峰教授编写,第2、5、8章由沈阳工程学院吕宗枢教授编写,第6章由南昌工程学院吕树清教授编写,第7章由沈阳工程学院衣丽葵副教授编写,全书由许晓峰统稿并担任主编,吕宗枢、吕树清、衣丽葵担任副主编。

本书由哈尔滨理工大学温嘉斌教授主审,审阅过程中提出了许多宝贵的意见和建议。沈阳工业大学曾林锁教授审阅了本书的编写提纲,书中部分插图由苗鹤帮助绘制,在此一并表示衷心的感谢。

由于编写时间紧迫,编者水平有限,书中难免存在错误和不当之处,恳请广大读者批评指正。

编者

2009年2月

目 录

绪论	1	1.3.1 直流电机的空载磁场	27
0.1 电机及电力拖动系统概述	1	1.3.2 直流电机负载时的磁场	29
0.2 电机与拖动课程的性质与任务	3	1.3.3 直流电机的电枢反应	31
0.2.1 本课程的性质	3	1.4 直流电机的电枢电动势、电磁转矩和电磁功率	33
0.2.2 本课程的任务	3	1.4.1 直流电机的电枢电动势	33
0.3 本课程(教材)的内容与一般分析方法	4	1.4.2 直流电机的电磁转矩	34
0.3.1 本教材的内容	4	1.4.3 直流电机的电磁功率	35
0.3.2 一般分析方法	4	1.5 直流电机的换向	36
0.4 本课程的学习方法	5	1.5.1 换向概述	36
0.5 电机理论中常用的物理概念与基本电磁定律	5	1.5.2 换向的电磁理论	37
0.5.1 有关磁场的几个物理量	5	1.5.3 改善换向的方法	39
0.5.2 电机中所用材料和铁磁材料的特性	7	1.6 直流发电机	40
0.5.3 电机理论中常用的基本电磁定律	9	1.6.1 直流发电机的励磁方式	40
第1章 直流电机	13	1.6.2 直流发电机的基本方程式	40
1.1 直流电机的基本工作原理与结构	13	1.6.3 他励直流发电机的运行特性	43
1.1.1 直流电机的基本工作原理	13	1.6.4 并励直流发电机的自励条件和运行特性	45
1.1.2 直流电机的主要结构	15	1.7 直流电动机	46
1.1.3 直流电机的铭牌数据及主要系列	19	1.7.1 直流电机的可逆原理	46
1.2 直流电机的电枢绕组简介	20	1.7.2 直流电动机的基本方程	46
1.2.1 直流电枢绕组的基本知识	20	1.7.3 直流电动机的工作特性	49
1.2.2 单叠绕组	22	小结	50
1.2.3 单波绕组	24	思考题与习题	51
1.3 直流电机的电枢反应	27	本章自测题	53
		第2章 直流电动机的电力拖动	55
		2.1 电力拖动系统的运动方程式和负载转矩特性	55
		2.1.1 电力拖动系统的运动方程式	55
		2.1.2 负载的转矩特性	56
		2.2 他励直流电动机的机械特性	58

2.2.1 机械特性的表达式	58	3.3 单相变压器的负载运行	110
2.2.2 固有机械特性和人为机械特性	59	3.3.1 负载运行时的电磁关系	110
2.2.3 机械特性的求取	61	3.3.2 负载运行时的基本方程式	111
2.2.4 电力拖动系统稳定运行条件	65	3.3.3 变压器的等效电路及相量图	113
2.3 他励直流电动机的起动	67	3.4 变压器参数的测定	117
2.3.1 电枢回路串电阻起动	67	3.4.1 空载试验	117
2.3.2 降压起动	70	3.4.2 短路试验	118
2.4 他励直流电动机的制动	71	3.5 标么值	121
2.4.1 能耗制动	71	3.6 变压器的运行特性	124
2.4.2 反接制动	73	3.6.1 变压器的外特性与电压变化率	124
2.4.3 回馈制动	76	3.6.2 变压器的电压调整	125
2.4.4 直流电动机的反转	77	3.6.3 变压器的损耗、效率和效率特性	126
2.5 他励直流电动机的调速	77	3.7 三相变压器	128
2.5.1 评价调速的指标	78	3.7.1 三相变压器的磁路系统	128
2.5.2 调速方法	79	3.7.2 三相变压器的电路系统——联结组别	129
2.5.3 调速方式与负载类型的配合	83	*3.7.3 磁路系统和绕组联结方式对电动势波形的影响	134
*2.6 串励及复励直流电动机的电力拖动	84	*3.8 变压器的并联运行	136
2.6.1 串励直流电动机的机械特性	84	3.8.1 并联运行的理想条件	137
2.6.2 串励直流电动机的起动、调速与制动	87	3.8.2 并联条件不满足时的运行分析	138
2.6.3 复励直流电动机的特点	89	3.9 特种变压器	141
小结	89	3.9.1 自耦变压器	141
思考题与习题	91	*3.9.2 仪用互感器	143
本章自测题	93	*3.9.3 电焊变压器	145
第3章 变压器	95	*3.9.4 整流变压器	146
3.1 变压器的基本工作原理和结构	96	小结	149
3.1.1 变压器的基本工作原理及分类	96	思考题与习题	151
3.1.2 变压器的基本结构	97	本章自测题	153
3.1.3 变压器的型号与额定值	101	第4章 三相异步电动机	155
3.2 单相变压器的空载运行	102	4.1 三相异步电动机的基本工作原理与结构	155
3.2.1 空载运行时的电磁关系	103	4.1.1 三相异步电动机的基本结构	155
3.2.2 空载电流和空载损耗	105	4.1.2 三相异步电动机的基本工作原理	158
3.2.3 空载时的电动势方程、等效电路和相量图	106		

4.1.3 异步电动机的铭牌和主要系列	160	小结	202
4.2 交流电机的绕组	163	思考题与习题	203
4.2.1 交流绕组的基本知识	164	本章自测题	205
4.2.2 三相单层绕组	165	第5章 三相异步电动机的电力	
4.2.3 三相双层绕组	168	拖动	208
4.3 交流电机绕组的感应电动势 ..	169	5.1 三相异步电动机的机械特性 ..	208
4.3.1 线圈的感应电动势及短距系数	169	5.1.1 三相异步电动机机械特性的三种表达式	208
4.3.2 线圈组的感应电动势及分布系数	171	5.1.2 三相异步电动机的固有机特性 特性和人为机械特性	212
4.3.3 相绕组基波感应电动势	172	5.2 三相异步电动机的起动	214
4.4 交流电机绕组的磁动势	175	5.2.1 三相笼型异步电动机的起动	214
4.4.1 单相绕组的磁动势——脉动磁 动势	175	5.2.2 三相绕线转子异步电动机的 起动	220
4.4.2 三相绕组基波合成磁动势——旋 转磁动势	180	5.3 三相异步电动机的制动	224
4.5 三相异步电动机的空载运行 ..	183	5.3.1 能耗制动	225
4.5.1 空载运行时的电磁关系	183	5.3.2 反接制动	226
4.5.2 空载运行时的电压平衡方程与 等效电路	185	5.3.3 回馈制动	228
4.6 三相异步电动机的负载运行 ..	186	5.4 三相异步电动机的调速	229
4.6.1 负载运行时的电磁关系	186	5.4.1 变极调速	229
4.6.2 转子绕组各电磁量	187	5.4.2 变频调速	233
4.6.3 磁动势平衡方程	189	5.4.3 变转差率调速	237
4.6.4 电动势平衡方程	190	5.4.4 电磁调速异步电动机	240
4.7 三相异步电动机的等效电路和 相量图	190	小结	242
4.7.1 折算	191	思考题与习题	243
4.7.2 等效电路	193	本章自测题	245
4.7.3 相量图	194	第6章 同步电机及同步电动机的 电力拖动	247
4.7.4 笼型转子的极数、相数、匝数和 绕组系数	195	6.1 同步电机的基本工作原理与 结构	247
4.8 三相异步电动机的功率平衡、 转矩平衡和工作特性	196	6.1.1 同步电机的基本工作原理 与分类	247
4.8.1 功率平衡和转矩平衡	196	6.1.2 同步电机的基本结构	248
4.8.2 三相异步电动机的工作特性	199	6.1.3 同步电机的额定值及励磁 方式	251
*4.9 三相异步电动机的参数测定 ..	200	6.2 同步发电机的空载运行	254
4.9.1 空载试验	200	6.2.1 空载特性	254
4.9.2 短路试验	201	6.2.2 时-空矢量图	255

6.3 同步发电机的电枢反应	256	7.2.2 交流伺服电动机	295
6.3.1 \dot{i} 和 \dot{E}_0 同相 ($\psi = 0^\circ$) 时的电枢反应	256	7.2.3 伺服电动机的应用	297
6.3.2 \dot{i} 滞后 $\dot{E}_0 90^\circ$ ($\psi = 90^\circ$) 时的电枢反应	257	7.3 测速发电机	298
6.3.3 \dot{i} 超前 $\dot{E}_0 90^\circ$ ($\psi = -90^\circ$) 时的电枢反应	258	7.3.1 直流测速发电机	298
6.3.4 一般情况下的电枢反应	258	7.3.2 交流异步测速发电机	299
6.3.5 电枢反应与机-电能量转换	260	7.3.3 测速发电机的应用	301
6.4 同步发电机的负载运行	261	*7.4 自整角机	302
6.4.1 凸极同步发电机的电动势方程式和相量图	261	7.4.1 自整角机的结构与工作原理	302
6.4.2 隐极同步发电机的电动势方程式、相量图和等效电路	263	7.4.2 自整角机的误差与选用时应注意的问题	306
6.4.3 同步发电机的特性	264	7.4.3 自整角机的应用	306
6.5 同步发电机的并联运行	267	*7.5 旋转变压器	307
6.5.1 并联运行的条件与方法	267	7.5.1 旋转变压器的结构与工作原理	307
6.5.2 同步发电机的有功功率特性及有功功率的调节	269	7.5.2 旋转变压器的误差及其改进方法	311
6.5.3 同步发电机的无功功率调节及 V 形曲线	273	7.5.3 旋转变压器的应用	312
6.6 同步电动机和同步调相机	275	*7.6 微型同步电动机	312
6.6.1 同步电动机	275	7.6.1 永磁式同步电动机	313
6.6.2 同步调相机	278	7.6.2 反应式同步电动机	314
6.7 同步电动机的电力拖动	279	7.6.3 磁滞式同步电动机	315
6.7.1 同步电动机的起动	279	7.6.4 微型同步电动机的应用	317
6.7.2 同步电动机的调速	281	7.7 步进电动机	318
小结	282	7.7.1 反应式步进电动机的结构与工作原理	318
思考题与习题	283	7.7.2 反应式步进电动机的特性	321
本章自测题	285	7.7.3 驱动电源	324
第7章 驱动和控制微电机	287	7.7.4 步进电动机的应用	325
7.1 单相异步电动机	287	*7.8 开关磁阻电动机	325
7.1.1 单相异步电动机的工作原理	288	7.8.1 开关磁阻电动机的系统组成	325
7.1.2 单相异步电动机的主要类型	289	7.8.2 开关磁阻电动机的工作原理	327
7.1.3 单相异步电动机的应用	290	7.8.3 开关磁阻电动机系统的特点及应用	327
7.2 伺服电动机	292	*7.9 直线异步电动机	328
7.2.1 直流伺服电动机	292	7.9.1 直线异步电动机的分类和结构	328
		7.9.2 直线异步电动机的工作原理	330
		7.9.3 直线异步电动机的应用	331
		7.10 永磁无刷直流电动机	332

7.10.1 永磁无刷直流电动机的基本 结构和工作原理	332	选择	345
7.10.2 永磁无刷直流电动机的运行 特性及应用	334	8.3.2 短时工作制电动机容量的 选择	346
7.11 交直流两用电动机	335	8.3.3 断续周期工作制电动机容量的 选择	346
7.11.1 交直流两用电动机的基本结构 和工作原理	335	8.3.4 统计法和类比法	347
7.11.2 交直流两用电动机的特点及 应用	336	8.4 电动机种类、型式、电压、转速 的选择	348
小结	337	8.4.1 电动机种类的选择	348
思考题与习题	338	8.4.2 电动机型式的选择	348
本章自测题	339	8.4.3 电动机额定电压的选择	348
*第8章 电力拖动系统中电动机的 选择	341	8.4.4 电动机额定转速的选择	348
8.1 电动机的发热和冷却	341	小结	349
8.2 电动机的工作制分类	343	思考题与习题	349
8.2.1 连续工作制(S1)	343	附录 A 中英文术语对照	350
8.2.2 短时工作制(S2)	343	附录 B 主要符号表	356
8.2.3 断续周期工作制	343	部分思考题与习题参考答案	359
8.3 电动机容量的选择方法	345	参考文献	362
8.3.1 连续工作制电动机容量的			

绪 论

0.1 电机及电力拖动系统概述

人类社会的生存和发展离不开能源。而能源则有多种形式,如热能、光能、化学能、机械能、电能和原子能等。其中,电能是最重要的能源之一,和其他能源形式相比具有明显的优点:适宜大量生产和集中管理、转换经济、传输和分配容易、便于自动控制;另外,它还是一种洁净能源,对环境的污染非常小。因此,电能可在工农业生产、交通运输、科学技术、信息传输、国防建设以及日常生活等各个领域获得了极为广泛的应用。

电机是生产、传输、分配及应用电能的主要设备。在现代化生产过程中,电力拖动系统是实现各种生产工艺过程所必不可少的传动系统,是生产过程电气化、自动化的重要前提。

电机是利用电磁感应原理工作的机械,它用途广泛,种类很多。常用的分类方法主要有两种:一种分类方法是按照能量转换职能来分,可分为发电机、电动机、变压器和控制电机四大类。发电机的功能是将机械能转换为电能。电动机的功能则是将电能转换为机械能,它可以作为拖动各种生产机械的动力,是国民经济各部门应用最多的动力机械,也是最主要的用电设备,各种电动机所消耗的电能占全国总发电量的60%~70%。变压器的作用是将一种电压等级的电能转换为另一种电压等级的电能。控制电机主要用于信号的变换与传递,在各种自动化控制系统中作为多种控制元件使用,如国防工业、数控机床、计算机外围设备、机器人和音像设备等均大量使用控制电机。

另一种分类方法是按照电机的结构、转速或运动方式分类,可分为变压器、旋转电机和直线电机等。变压器是一种静止的电机。旋转电机根据电源电流种类的不同又可分为直流电机和交流电机两大类。交流电机又分为同步电机和异步电机。同步电机转速恒为同步转速。电力系统中的发电机几乎都是同步电机。异步电机作为电动机运行时,其转速低于同步转速;作为发电机运行时,其转速高于同步转速。异步电机主要用作电动机。直线电动机就是把电能转换成直线运动的机械能的电机。直线电动机又可分为直线异步电动机、直线同步电动机、直线直流电动机和其他直线电动机等。

综合以上两种分类方法,可归纳如下:



在现代化工业生产过程中,为了实现各种生产工艺过程,需要使用各种各样的生产机械拖动各种生产机械运转,可以采用气动、液压传动和电力拖动。由于电力拖动具有控制简单、调节性能好、损耗小、经济、能实现远距离控制和自动控制等一系列优点,因此大多数生产机械均采用电力拖动。

用电动机作为原动机来拖动生产机械运行的系统,称为电力拖动系统。电力拖动系统包括:电动机、传动机构、生产机械、控制设备和电源五个部分,它们之间的关系如图 0.1.1 所示。

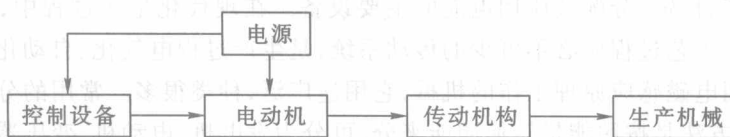


图 0.1.1 电力拖动系统示意图

电动机把电能转换成机械能,通过传动机构把电动机的运动经过中间变速或变换运动方式后,再传给生产机械驱动生产机械工作(有些情况下,电动机直接拖动生产机械,而不需要传动机构)。生产机械是执行某一生产任务的机械设备,是电力拖动的对象。控制设备由各种控制电机、电器、电子元件及控制计算机等组成,用以控制电动机的运动,从而对生产机械的运动实现自动控制。为了向电动机及电气控制设备供电,电源是不可缺少的部分。

按照电动机的种类不同,电力拖动系统分为直流电力拖动系统和交流电力拖动系统两大类。

纵观电力拖动的发展过程,交、直流两种拖动方式并存于各个生产领域。在交流电出现以前,直流电力拖动是唯一的一种电力拖动方式。19 世纪末期,由于研制出了经济实用的交流电动机,使交流电力拖动在工业中得到了广泛的应用。但随着生产技术的发展,特别是精密机械加工与冶金工业生产过程的进步,对电力拖动在起动、制动、正反转以及调速精度与范围等静态特性和动态响应方面提出了新的、更高的要求。由于交流电力拖动比直流电力拖动在技术上难以实现这些要求,所以 20 世纪以来,在可逆、可调速与高精度的拖动技术领域,相当长时期内几乎都是采用直流电力拖动,而交流电力拖动则主要用于恒转速系统。

虽然直流电动机具有调速性能优异这一突出优点,但是由于它具有电刷与换向器(又

称整流子),使得它的故障率较高,电动机的使用环境受到限制(如不能在有易爆气体及尘埃多的场合使用),其电压等级、额定转速、单机容量的发展也受到限制。所以,在20世纪60年代以后,随着电力电子技术的发展,半导体变流技术的交流调速系统得以实现。尤其是20世纪70年代以来,大规模集成电路和计算机控制技术的发展,为交流电力拖动的广泛应用创造了有利条件。诸如交流电动机的串级调速、各种类型的变频调速、无换向器电动机调速等,使得交流电力拖动逐步具备了调速范围宽、稳态精度高、动态响应快以及在四象限做可逆运行等良好的技术性能,在调速性能方面完全可与直流电力拖动媲美。除此之外,由于交流电力拖动具有调速性能优良、维修费用低等优点,因此它今后将被广泛地应用于各个工业电气自动化领域中,并逐步取代直流电力拖动而成为电力拖动的主流。

电机是随着生产的发展而发展的,反过来,电机的发展又促进了社会生产力的不断提高。从19世纪末,电动机就逐渐代替蒸汽机作为拖动生产机械的原动机。一个多世纪以来,虽然电机的基本结构变化不大,但是电机的类型增加了许多,在运行性能、经济指标等方面也都有很大的改进和提高,而且随着自动控制系统和计算机技术的发展,在一般旋转电机的理论上又发展出许多种类的控制电机,控制电机具有高可靠性、高精度度、快速响应的特点,已成为电机学科的一个独立分支。

目前,电机及电力拖动系统的发展真可谓是日新月异。电机的发展主要有如下几大趋势:(1)大型化,单机容量越来越大,电压等级也越来越高,如60万千瓦及以上的同步发电机和500 kV及以上的变压器等;(2)微型化,为适应设备小型化的要求,电机的体积越来越小,重量越来越轻;(3)新原理、新工艺、新材料的电机不断涌现,如直线电机、开关磁阻电机、无刷直流电机、超声波电机等。随着电力电子技术、控制理论和微处理器技术的发展,电力拖动系统的性能指标已有了较大的提高。现在电力拖动系统正朝着网络化、信息化方向发展。包括现场总线、智能控制策略以及因特网技术在内的各种新技术、新方法均在电力拖动领域中得到了应用。

0.2 电机与拖动课程的性质与任务

0.2.1 本课程的性质

本课程是自动化、电气工程及自动化(供用电技术方向)和农业电气化与自动化等专业的一门重要的技术基础课,它是将“电机学”、“电力拖动”和“驱动和控制微电机”等课程有机结合而成的一门课程。它既是一门理论性很强的技术基础课,又具有专业课的性质。

0.2.2 本课程的任务

本课程的任务是使学生掌握电机的基本理论、基本知识,以及电力拖动系统的运行性能、分析计算、电机选择及实验方法,为学习后续专业课准备必要的基础知识,从而提高学生分析问题和解决问题的能力,也为今后从事自动化及电气工程等相关工作奠定初步基础。

学完本课程后,应达到下列基本要求:

- (1) 熟练掌握变压器和交直流电机的基本结构、工作原理和内部电磁过程。
- (2) 掌握控制电机的工作原理、主要性能及用途。
- (3) 熟练掌握电动机的机械特性和发电机的运行特性。
- (4) 熟练掌握电力拖动系统中电动机的起动、制动和调速方法。
- (5) 掌握电机的基本试验方法与技能。
- (6) 要求具备较熟练的分析计算能力。
- (7) 掌握选择电动机的原则与方法。
- (8) 了解电机及电力拖动系统未来的发展趋势。

0.3 本课程(教材)的内容与一般分析方法

0.3.1 本教材的内容

本教材主要包括电机学、电力拖动、驱动和控制微电机三大部分内容。其中电机学部分的内容主要涉及一般电机(直流电机、变压器、异步电机与同步电机四类电机)的基本构造、运行原理、电磁物理过程和基本特性的分析与计算以及实验方法等;电力拖动部分主要讨论电动机的机械特性及应用和各类电机组成的拖动系统的起动、制动及调速的方法、分析与计算等问题;而驱动和控制微电机部分则包括驱动和控制微电机的工作原理、运行特性、控制方式、误差分析以及应用情况等。

除绪论外,全书共分8章。它们是直流电机、直流电动机的电力拖动、变压器、三相异步电动机、三相异步电动机的电力拖动、同步电机及同步电动机的电力拖动、驱动和控制微电机、电力拖动系统中电动机的选择等。

0.3.2 一般分析方法

本教材在对电机及拖动系统进行分析时,主要采用以下分析方法:

- (1) 首先讨论各种电机的基本运行原理与结构。
- (2) 重点分析各种电机空载和负载时的电磁物理情况,即电机内部的磁动势、磁场的分布情况及绕组的感应电动势等。
- (3) 利用相关电磁定律及电机内部的电磁物理过程,找出电磁过程的数学描述——基本方程式(包括电动势平衡、磁动势平衡及功率和转矩平衡方程式),还要采用等效电路和相量图的表达形式。求作等效电路的过程实质上就是将电路和磁路问题统一转换为电路问题的的工作,也就是将“场”化为“路”的问题。
- (4) 利用所得到的数学模型及等效电路和相量图对各种电机的运行特性和性能指标进行分析计算。
- (5) 根据电动机的机械特性和负载的转矩特性讨论各种拖动系统的稳定性及电机的各种运行状态,分析讨论各类电机拖动系统的起动、制动和调速特性。

(6) 采用标么值来表示电机各参数。

(7) 通过实验,学会电机参数的测定方法以及加深对各种电机运行性能、起制动特性和调速特性的理解。

在分析电机及拖动系统时,将用到下列理论与方法:

(1) 当忽略铁心饱和现象时,分析电机时可采用叠加定理。

(2) 在对电机进行分析计算时,常采用基本方程式、等效电路和相量图分析法,又称为分析电机的“三要素法”。

(3) 在求作等效电路和建立数学模型时,因变压器的一次、二次侧或交流电机的定子、转子侧的绕组匝数、相数以及频率不相等,需采用折算法将其各物理量归算至绕组某一侧,折算的原则是保持电磁关系不变。

(4) 在分析电机中某些非正弦量(如非正弦磁动势、电动势、电压和电流等)时,采用谐波分析法,即采用傅里叶级数进行分析。

(5) 在研究凸极电机时,通常采用双反应理论,即将各物理量分解为直轴和交轴分量进行分析。

0.4 本课程的学习方法

电机及拖动既是一门理论性很强的技术基础课,又具有专业课的性质,涉及的基础理论和实际知识面广,是电学、磁学、动力学、热学等学科知识的综合。而用理论分析各种电机及拖动的实际问题时,必须结合电机的具体结构,采用工程观点和工程分析方法。在掌握基本理论的同时,还要注意培养实验操作技能和计算能力,因此实践性也较强。鉴于以上原因,为学好电机及拖动这门课,学习时应注意以下几点:

(1) 要抓主要矛盾,有条件地略去一些次要因素,找出问题的本质。

(2) 要抓住重点,即应牢固掌握基本概念、基本原理和主要特性。

(3) 要有良好的学习方法,可运用对比或比较的学习方法,找出各种电机的共性和特点,以加深对各种电机及拖动系统性能和原理的理解。

(4) 学习时要理论联系实际,重视科学试验和下厂实践。

(5) 针对本书的编写特点,书中每章后附有大量思考题,建议读者在学习每一节内容之前,首先预习相关的思考题,带着问题来学习,其效果将更好。

0.5 电机理论中常用的物理概念与基本电磁定律

0.5.1 有关磁场的几个物理量

关于磁场的概念早在物理学、电工基础或电磁学等课程中就已学过,在此就有关磁场的几个基本物理量做简单叙述。