

# 电机与

# 拖动基础



教育部高等学校自动化专业  
教学指导分委员会规划  
工程应用型自动化专业系列教材

许晓峰 主编

吕宗枢 衣丽葵 赵君有 副主编

唐介 主审

高等教育出版社  
HEBEI EDUCATION PRESS



教育部高等学校自动化专业  
教学指导分委员会规划  
工程应用型自动化专业系列教材

# 电机与

# 拖动基础

Dianji yu Tuodong Jichu

许晓峰 主编  
吕宗枢 衣丽葵 赵君有 副主编  
唐 介 主审



高等教育出版社·北京  
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

## 内容提要

本书主要叙述了直流电机、直流电机的电力拖动、变压器、三相异步电动机、三相异步电动机的电力拖动、同步电动机及电力拖动、驱动和控制用微特电机以及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专业的“电机与拖动基础”课程的试用教材,也适用于电气工程及其自动化、农业电气化与自动化等专业,还可供相关工程技术人员工作时参考。

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

电机与拖动基础 / 许晓峰主编. --北京:高等教育出版社,2012.10

ISBN 978-7-04-036247-3

I. ①电… II. ①许… III. ①电机-高等学校-教材  
②电力传动-高等学校-教材 IV. ①TM3②TM921

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 226672 号

策划编辑 韩颖  
插图绘制 尹文军

责任编辑 曲文利  
责任校对 张小镝

封面设计 张雨薇  
责任印制 毛斯璐

版式设计 王艳红

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  
印 刷 北京中科印刷有限公司  
开 本 787mm × 1092mm 1/16  
印 张 20.25  
字 数 490千字  
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>  
版 次 2012年10月第1版  
印 次 2012年10月第1次印刷  
定 价 33.70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 36247-00

# 工程应用型自动化专业 课程体系研究与教材建设委员会

主任委员:吴 澄(清华大学)

副主任委员:韩九强(西安交通大学)

萧德云(清华大学)

薛安克(杭州电子科技大学)

专家委员(按姓氏笔画):

王 普(北京工业大学)

刘小河(北京信息科技大学)

吴晓蓓(南京理工大学)

赵光宙(浙江大学)

彭 瑜(上海工业自动化仪表研究院)

韩力群(北京工商大学)

任德祥(上海宝钢集团)

吴重光(北京化工大学)

张德江(长春工业大学)

凌志浩(华东理工大学)

谢克明(太原理工大学)

戴先中(东南大学)

委 员(按姓氏笔画):

于微波(长春工业大学)

王 俊(合肥学院)

王再英(西安科技大学)

王建华(上海应用技术学院)

艾 红(北京信息科技大学)

张丽香(山西大学工程学院)

李现明(山东大学)

陈在平(天津理工大学)

周亚军(杭州电子科技大学)

胡向东(重庆邮电大学)

聂诗良(西南科技大学)

黄 坚(南京工程学院)

韩 颖(高等教育出版社)

孔亚广(杭州电子科技大学)

王万良(浙江工业大学)

王存旭(沈阳工程学院)

白 晶(北华大学)

许晓峰(沈阳工程学院)

李全利(哈尔滨理工大学)

汪贵平(长安大学)

陈桂友(山东大学)

罗 敏(湖北汽车工业学院)

徐昱琳(上海大学)

崔桂梅(内蒙古科技大学)

黄江平(华东交通大学)

薛为民(北京联合大学)

秘 书:韩 颖(兼)(高等教育出版社)

# 出版说明

为了适应高等工程教育改革,满足社会对工程应用型自动化专业人才的需要,在“教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会”主任委员吴澄院士的领导下,设立了“工程应用型自动化专业课程体系研究与教材建设”专项研究课题,从全国高等院校遴选了既有工程研究实践背景、又有教材编写经验的专家教授,以及企业界知名特邀代表共40余人,对工程应用型自动化专业的课程体系、教学内容进行系统深入的调查、分析和研究,提出了工程应用型自动化专业课程体系结构和系列教材的三级目录。采用个人报名、专家推荐、“工程应用型自动化专业课程体系研究与教材建设委员会”匿名评审相结合的方式,组织编写出版一套工程应用特点明显、国内一流的工程应用型自动化专业系列教材。

工程应用型自动化专业系列教材力求达到理论与应用相统一、教学与实际相结合、工程应用特点明显、国内一流。通过对人才市场需求、专业培养定位、自动化技术发展动态的分析研究,提出从实际工程应用自动化系统出发,结合系统中涉及的单元技术与理论方法,聚类归纳工程应用型自动化专业的课程体系结构,凝练解决自动化应用系统问题的每门课程的内容与知识点,使学生能够学以致用,能够解决工程实际应用问题。经过40多位专家教授的辛勤劳作,第一批19本工程应用型自动化专业系列教材于2010年陆续出版。为了满足不同应用背景、不同应用层次的工程需要,部分应用面广的同类教材有两种版本可供选用。

本系列教材主要内容覆盖自动化应用系统涉及的实用技术、理论与方法、器件与工具等内容。第一批教材包括针对自动化系统数据获取部分的机器视觉技术及应用、现代检测技术及应用等;系统驱动部分的电机与拖动、电力电子技术、电力拖动自动控制系统等;系统控制方法部分的自动控制原理、过程控制、运动控制等;控制器硬件设计部分的单片机原理、嵌入式系统、DSP原理、可编程控制器等;自动化系统部分的计算机控制、自动化系统集成、自动控制工程设计、自动化专业实践初步等;数据处理部分的控制工程数据库技术等。

本系列教材的主要特色在于注重课程体系的应用系统性和技术先进性,注重培养学生的自动化系统的集成组态设计能力和前瞻意识。课程体系按系统单元划分,教材章节按解决问题所需的知识安排,培养学生解决工程实际应用问题的针对性和有效性。在教材章节上尽可能引入相关新技术、新理论、新方法和新器件,培养学生利用新知识解决问题的思维方式和实际应用创新能力。

如何培养适应信息时代要求的工程师是我国高等工程教育改革的核心,也是本系列教材编写的主导思想。通过本系列教材的学习,使学生能够具备一个工程师进行自动化系统或相应系统设计开发以及选型集成的基本创新能力。本系列教材主要面向工程应用型自动

化及相关专业的大学生和研究生。我们希望本套工程应用型系列教材的出版,能够有力促进我国高等院校工程应用型自动化专业人才培养质量的提高,也能为广大科技工作者和工程技术人员提供参考和帮助。

感谢使用本系列教材的广大教师、学生和科技工作者的热情支持。欢迎提出宝贵批评意见和建议,请将您的建议反馈至 [hanying@hep.com.cn](mailto:hanying@hep.com.cn)。

工程应用型自动化专业课程体系研究与教材建设委员会  
2009年12月

# 序 一

自动化技术在我国现代化建设进程中具有重要地位。五十多年来,自动化技术对我国社会主义现代化建设的众多领域发挥了重要作用,产生了深远影响。最具代表性的两弹一星的成功发射、载人飞船的顺利返回、嫦娥探月的环绕飞行等充分体现了自动化技术在国家重大工程应用中的示范作用。自动化技术也有力地推动着我国整体工业的发展和改变着人们的生活方式,如集成制造系统的普及推广使机械加工制造自动化程度达到了更高的水平,服务机器人代替家政进入了家庭,改善了人们的生活环境,如此等等。

我国正在全面建设小康社会,走新型工业化道路,促进信息化与工业化的“两化”融合,实现工业、农业、国防和科学技术现代化。在此进程中,自动化技术起着不可替代的桥梁作用。这就迫切需要高等学校自动化专业办学机构和广大教师进行深入研究和探索,如何能够为各行各业输送大量具有工程实践能力和应用创新能力的工程应用型自动化专业高级技术人才。在“教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会”主任委员吴澄院士领导下,针对我国高等教育发展快、规模大、社会各行各业对工程应用型自动化专业人才需求量大的特点,按照大众化高等教育阶段分类指导的思想和原则,抓住有利时机,成立了“工程应用型自动化专业课程体系研究与教材建设委员会”,对工程应用型自动化专业的知识体系、课程体系、能力培养等进行了有益的探索,为工程应用型自动化专业人才培养、教材建设奠定了基础。

工程应用型自动化专业涉及面广、行业多,其人才培养模式与课程体系涉及的因素众多复杂,包括如何结合通识教育,拓宽应用口径、突出专业重心、强化实践教学、理论联系实际、提高应用创新能力等,其中构建既不照搬研究型、也不雷同技能训练型的工程应用型自动化专业课程体系,编写一套有利于促进面向不同行业、应对不同层次问题的工程应用型学生个性发展的一流教材尤为重要,着力培养学生由解决工程实际问题到提出新问题的探索思维方式,即运用知识的创新能力。“教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会”在对工程应用型自动化专业课程体系研究的基础上,从全国遴选有工程应用背景、有教材编写经验的教授与专家,组织编写了这套工程应用型自动化专业系列教材,这对工程应用型自动化专业人才的创新能力培养具有重要意义。作为长期从事自动化专业高等教育和研究队伍中的一员,在本系列教材即将付印之际,我谨向参与本系列教材规划、组织、编写工作的各位老师致以崇高的敬意!

希望广大教师、学生和科技人员积极使用这套教材,并提出宝贵意见。



2009年12月于北京

# 序 二

工程应用型自动化专业系列教材是“教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会”在组织实施全国高等学校自动化专业系列教材之后,按照《自动化学科专业发展战略研究报告》分层次、多模式、多规格培养的指导思想和原则,结合《高等学校本科自动化指导性专业规范》实施的又一套工程应用特点明显、国内一流的自动化专业系列教材。该系列教材力求达到教学与实际相结合、理论与应用相统一、案例教学与知识传授并举,培养学生解决实际问题的能力和运用新知识的集成创新能力,使工程应用型自动化专业的学生能够真正成为解决实际工程应用问题的工程师。

我国工程应用型自动化专业以往的课程体系与知识体系基本照搬研究型自动化专业课程体系,带有浓厚的“理论的应用、应用的理论”内容,工程应用特点不明显。这也正是规划工程应用型自动化专业系列教材所面临的主要问题。为此,设立了“工程应用型自动化专业课程体系研究与教材建设”的专项研究课题,成立了以西安交通大学韩九强教授、杭州电子科技大学薛安克教授、清华大学萧德云教授负责的联合研究小组,介入的高校达40多所,从全国遴选出40多名有工程实际背景和教材编写经历的教授和企业界知名代表。通过对工程应用型自动化专业的课程体系的深入研究,提出从实际工程应用自动化系统涉及的技术与理论方法出发,按自动化系统的组成,归纳分类工程应用型自动化专业的课程体系结构;分应用层次和对象功能凝练解决自动化应用系统中工程问题的知识内容与教材体系,建立知识传授与创新能力培养相结合的课程体系结构。以此为基础,组织规划了涵盖自动化应用系统涉及的数据获取、系统驱动、控制方法、数据处理、控制器设计、系统集成等20多门课程内容的系列教材。从数据获取到数据处理,从控制方法到控制器设计,从系统集成到组态工具,从课程体系到三级目录起草,先后经过了6次全国会议的认真研讨,凝聚着40多位专家教授的辛劳。教材主编采取个人申请,“工程应用型自动化专业课程体系研究与教材建设委员会”匿名评审确定,至此,第一批审定通过的19本工程应用型自动化专业系列教材于2010年陆续出版问世。

工程应用型自动化专业系列教材的出版,对工程应用型自动化专业知识体系的更新、教学方式的改变、工程实践的强化将起到积极的推动作用。但本系列教材从体系结构到每本教材的三级目录组成,以至每本教材的具体内容都可能存在许多不当之处,恳请使用本系列教材的老师、学生及各界人士不吝批评指正。

教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会主任委员



2009年12月于清华大学



# 前 言

教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会于2008年成立了“工程应用型自动化专业课程体系研究与教材建设委员会”，并与高等教育出版社共同设立“工程应用型自动化专业课程体系研究与教材建设”专项研究课题，与此同时，也确立了“工程应用型自动化专业系列”规划教材的编写原则，作者有幸参与其中。几年来，针对电力电子技术、网络技术、通信技术对电机及其电力拖动领域的渗透，许多新思想、新方法、新技术、新工具在该领域的应用，以及新原理电机的不断涌现，作者就“电机与拖动”的课程改革与教材建设进行了深入的探讨，并进行了立项研究。本书就是基于上述而编写的，可作为工程应用型本科自动化专业的“电机与拖动基础”课程的教材，电气工程及其自动化、农业电气化与自动化等相关专业也可选用，本书还可供相关工程技术人员工作时参考。

全书共分8章，主要内容有直流电机及其电力拖动、变压器、三相异步电动机及其电力拖动、同步电动机及电力拖动、驱动和控制用微特电机和电力拖动系统中电动机的选择等。和传统教材相比，编入了全密封变压器、Y3系列异步电动机和异步电动机的软起动等新技术内容，增加了直线电动机、开关磁阻电动机、永磁无刷直流电动机、交直流两用电动机、超声波电机等新型电机内容，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. 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。
2. 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。
3. 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写作方法。
4. 教材中编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。
5. 编写时采用了对比的写作方法，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。
6. 在每章末附有具有标准试卷格式的自测题目，便于学生自检自测。
7. 书中配有大量的例题、思考题和习题，便于学生巩固应掌握的基本知识和引导应用。
8. 制作相配套的学习指导和电子教案，利于广大师生使用。

书中带有“\*”的内容为选学内容。

本书的绪论、附录和第1、3、4章由许晓峰教授编写，第2、5、8章由吕宗枢教授编写，第

6章由赵君有副教授编写,第7章由衣丽葵副教授编写,全书由许晓峰统稿并担任主编,吕宗枢、衣丽葵、赵君有三位老师担任副主编。

本书由大连理工大学唐介教授主审,审阅过程中提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。

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

编者

于沈阳工程学院

2012年5月

# 目 录

绪论 .....	1	1.3.1 直流电机的空载磁场 .....	24
0.1 电机及电力拖动系统概述 .....	1	1.3.2 直流电机的电枢磁场 .....	26
0.2 “电机与拖动基础”课程的性质 与任务 .....	3	1.3.3 直流电机的电枢反应 .....	28
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 .....	30
0.2.2 本课程的任务 .....	3	1.4.1 直流电机的电枢电动势 .....	30
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 .....	31
0.3.1 本教材的内容 .....	4	1.4.3 直流电机的电磁功率 .....	32
0.3.2 一般分析方法 .....	4	*1.5 直流电机的换向 .....	33
0.4 本课程的学习方法 .....	5	1.5.1 换向概述 .....	33
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 改善换向的方法 .....	34
0.5.1 有关磁场的几个物理量 .....	5	1.6 直流发电机 .....	35
0.5.2 电机中所用材料和铁磁材料的 特性 .....	6	1.6.1 直流发电机的励磁方式 .....	35
0.5.3 电机理论中常用的基本电磁 定律 .....	9	1.6.2 直流发电机的基本方程式 .....	35
第1章 直流电机 .....	12	1.6.3 他励直流发电机的运行特性 .....	38
1.1 直流电机的基本工作原理与 结构 .....	12	1.6.4 并励直流发电机的自励条件和 运行特性 .....	39
1.1.1 直流电机的基本工作原理 .....	12	1.7 直流电动机 .....	41
1.1.2 直流电机的主要结构 .....	14	1.7.1 直流电机的可逆原理 .....	41
1.1.3 直流电机的铭牌数据及主要 系列 .....	17	1.7.2 直流电动机的基本方程 .....	41
1.2 直流电机的电枢绕组简介 .....	18	1.7.3 直流电动机的工作特性 .....	43
1.2.1 直流电枢绕组基本知识 .....	19	1.8 直流电机的优缺点及应用 情况 .....	45
1.2.2 单叠绕组 .....	20	1.8.1 直流电机的优缺点 .....	45
1.2.3 单波绕组简介 .....	23	1.8.2 直流电机的应用 .....	45
1.3 直流电机的电枢反应 .....	24	小结 .....	45
		思考题与习题 .....	46
		本章自测题 .....	48
		第2章 直流电动机的电力拖动 .....	50
		2.1 电力拖动系统的运动方程式 和负载转矩特性 .....	50

2.1.1 电力拖动系统的运动方程式	50	3.4 变压器参数的测定	105
2.1.2 负载的转矩特性	51	3.4.1 空载试验	105
2.2 他励直流电动机的机械特性	53	3.4.2 短路试验	106
2.2.1 机械特性的表达式	53	*3.5 标么值及其应用	109
2.2.2 固有机械特性和人为机械特性	54	3.5.1 标么值的概念	109
2.2.3 机械特性的求取	56	3.5.2 变压器各物理量的基值和 标么值	109
*2.2.4 电力拖动系统稳定运行条件	60	3.5.3 采用标么值的优缺点	111
2.3 他励直流电动机的起动	61	3.6 变压器的运行特性	112
2.3.1 电枢回路串电阻起动	62	3.6.1 变压器的外特性和电压变 化率	112
2.3.2 降压起动	65	3.6.2 变压器的损耗、效率和效率 特性	114
2.4 他励直流电动机的制动	65	3.7 三相变压器	116
2.4.1 能耗制动	66	3.7.1 三相变压器的磁路系统	116
2.4.2 反接制动	67	3.7.2 三相变压器的电路系统—— 联结组别	117
2.4.3 回馈制动	70	*3.8 特种变压器	122
2.4.4 直流电动机的反转	71	3.8.1 自耦变压器	122
2.5 他励直流电动机的调速	72	3.8.2 仪用互感器	125
2.5.1 评价调速的指标	72	小结	127
2.5.2 调速方法	74	思考题与习题	128
2.5.3 调速方式与负载类型的配合	78	本章自测题	130
小结	79	<b>第3章 变压器</b>	84
思考题与习题	80	3.1 变压器的基本工作原理和 结构	84
本章自测题	82	3.1.1 变压器的基本工作原理与分类	84
<b>第3章 变压器</b>	84	3.1.2 变压器的基本结构	86
3.1 变压器的基本工作原理和 结构	84	3.1.3 变压器的型号与额定值	90
3.1.1 变压器的基本工作原理与分类	84	3.2 单相变压器的空载运行	91
3.1.2 变压器的基本结构	86	3.2.1 空载运行时的电磁关系	91
3.1.3 变压器的型号与额定值	90	3.2.2 空载电流和空载损耗	94
3.2 单相变压器的空载运行	91	3.2.3 空载时的电动势方程式、等效 电路和相量图	95
3.2.1 空载运行时的电磁关系	91	3.3 单相变压器的负载运行	98
3.2.2 空载电流和空载损耗	94	3.3.1 负载运行时的电磁关系	98
3.2.3 空载时的电动势方程式、等效 电路和相量图	95	3.3.2 负载运行时的基本方程式	98
3.3 单相变压器的负载运行	98	3.3.3 负载运行时的等效电路及 相量图	100
3.3.1 负载运行时的电磁关系	98	4.1 三相异步电动机	133
3.3.2 负载运行时的基本方程式	98	4.1.1 三相异步电动机的基本工作 原理和结构	133
3.3.3 负载运行时的等效电路及 相量图	100	4.1.1 三相异步电动机的基本结构	133
3.4 变压器参数的测定	105	4.1.2 三相异步电动机的基本工作 原理	136
3.4.1 空载试验	105	4.1.3 异步电动机的铭牌和主要 系列	138
3.4.2 短路试验	106	4.2 交流电机的绕组	141
*3.5 标么值及其应用	109	4.2.1 交流绕组的基本知识	142
3.5.1 标么值的概念	109	4.2.2 三相单层绕组	144
3.5.2 变压器各物理量的基值和 标么值	109	4.2.3 三相双层绕组	145
3.5.3 采用标么值的优缺点	111	4.3 交流绕组的感应电动势	147
3.6 变压器的运行特性	112	4.3.1 线圈的感应电动势及节距 因数	147
3.6.1 变压器的外特性和电压变 化率	112		
3.6.2 变压器的损耗、效率和效率 特性	114		
3.7 三相变压器	116		
3.7.1 三相变压器的磁路系统	116		
3.7.2 三相变压器的电路系统—— 联结组别	117		
*3.8 特种变压器	122		
3.8.1 自耦变压器	122		
3.8.2 仪用互感器	125		
小结	127		
思考题与习题	128		
本章自测题	130		
<b>第4章 三相异步电动机</b>	133		
4.1 三相异步电动机的基本工作 原理和结构	133		
4.1.1 三相异步电动机的基本结构	133		
4.1.2 三相异步电动机的基本工作 原理	136		
4.1.3 异步电动机的铭牌和主要 系列	138		
4.2 交流电机的绕组	141		
4.2.1 交流绕组的基本知识	142		
4.2.2 三相单层绕组	144		
4.2.3 三相双层绕组	145		
4.3 交流绕组的感应电动势	147		
4.3.1 线圈的感应电动势及节距 因数	147		

4.3.2 线圈组的感应电动势及 分布因数 .....	149	三种表达形式 .....	184
4.3.3 相绕组基波感应电动势 .....	150	5.1.2 三相异步电动机的固有机 特性和人为机械特性 .....	188
4.4 交流电机绕组的磁动势 .....	153	5.2 三相异步电动机的起动 .....	190
4.4.1 单相绕组的磁动势 ——脉动磁动势 .....	153	5.2.1 三相笼型异步电动机的起动 .....	190
4.4.2 三相绕组基波合成磁动势 ——旋转磁动势 .....	157	5.2.2 三相绕线转子异步电动机 的起动 .....	196
4.5 三相异步电动机的空载运行 ..	160	5.2.3 三相异步电动机的软起动 .....	200
4.5.1 空载运行时的电磁关系 .....	160	5.3 三相异步电动机的制动 .....	202
4.5.2 空载运行时的电压平衡方程 与等效电路 .....	162	5.3.1 能耗制动 .....	202
4.6 三相异步电动机的负载运行 ..	163	5.3.2 反接制动 .....	203
4.6.1 负载运行时的电磁关系 .....	163	5.3.3 回馈制动 .....	205
4.6.2 转子绕组各电磁量 .....	163	5.4 三相异步电动机的调速 .....	206
4.6.3 磁动势平衡方程式 .....	166	5.4.1 变极调速 .....	207
4.6.4 电动势平衡方程式 .....	167	5.4.2 变频调速 .....	210
4.7 三相异步电动机的折算、等效 电路和相量图 .....	167	5.4.3 变转差率调速 .....	214
4.7.1 折算 .....	168	5.4.4 电磁调速异步电动机 .....	217
4.7.2 等效电路 .....	170	小结 .....	219
4.7.3 相量图 .....	171	思考题与习题 .....	220
4.7.4 笼型转子的极数、相数、匝数 和绕组因数 .....	171	本章自测题 .....	221
4.8 三相异步电动机的功率平衡、 转矩平衡和工作特性 .....	172	<b>第 6 章 同步电动机及电力拖动</b> .....	<b>223</b>
4.8.1 功率平衡和转矩平衡 .....	172	6.1 同步电动机的基本工作原理 与结构 .....	223
4.8.2 三相异步电动机的工作特性 .....	175	6.1.1 同步电动机的基本工作原理 .....	223
*4.9 三相异步电动机的参数测定 ..	176	6.1.2 同步电动机的基本结构和 额定值 .....	224
4.9.1 空载试验 .....	176	6.2 同步电动机的电磁关系 .....	225
4.9.2 短路试验 .....	177	6.2.1 隐极同步电动机的电磁关系 .....	225
小结 .....	178	6.2.2 凸极同步电动机的电磁关系 .....	227
思考题与习题 .....	179	6.3 同步电动机的功率和转矩 .....	229
本章自测题 .....	181	6.3.1 同步电动机的功率和转矩平衡 关系 .....	229
<b>第 5 章 三相异步电动机的电力 拖动</b> .....	<b>184</b>	6.3.2 有功功率的功角特性和矩角 特性 .....	229
5.1 三相异步电动机的机械特性 ..	184	6.4 同步电动机的工作特性和 功率因数调节 .....	233
5.1.1 三相异步电动机机械特性的		6.4.1 同步电动机的工作特性 .....	233

6.4.3 V形曲线 .....	235	7.6.6 交直流两用电动机 .....	280
*6.5 同步电动机的电力拖动 .....	236	7.6.7 盘式电机 .....	282
6.5.1 同步电动机的起动 .....	236	7.6.8 超声波电动机 .....	282
6.5.2 同步电动机的调速 .....	238	小结 .....	283
6.5.3 三相同步电动机的制动 .....	240	思考题与习题 .....	284
小结 .....	240	本章自测题 .....	285
思考题与习题 .....	241		
本章自测题 .....	241	<b>第8章 电力拖动系统中电动机的选择</b> .....	287
<b>第7章 驱动和控制用微特电机</b> .....	243	8.1 电动机的发热和冷却 .....	287
7.1 单相异步电动机 .....	243	8.2 电动机的工作制分类 .....	289
7.1.1 单相异步电动机的工作原理 .....	243	8.2.1 连续工作制(S1) .....	289
7.1.2 单相异步电动机的主要类型 .....	244	8.2.2 短时工作制(S2) .....	289
7.1.3 单相异步电动机的应用 .....	246	8.2.3 断续周期工作制(S3) .....	289
7.2 伺服电动机 .....	248	8.3 电动机容量的选择方法 .....	290
7.2.1 直流伺服电动机 .....	248	8.3.1 连续工作制电动机容量的选择 .....	290
7.2.2 交流伺服电动机 .....	251	8.3.2 短时工作制电动机容量的选择 .....	292
7.2.3 伺服电动机的应用 .....	253	8.3.3 断续周期工作制电动机容量的选择 .....	292
7.3 测速发电机 .....	254	8.3.4 统计法和类比法 .....	292
7.3.1 直流测速发电机 .....	254	8.4 电动机种类、形式、电压、转速的选择 .....	293
7.3.2 交流异步测速发电机 .....	256	8.4.1 电动机种类的选择 .....	294
7.3.3 测速发电机的应用 .....	257	8.4.2 电动机形式的选择 .....	294
7.4 步进电动机 .....	258	8.4.3 电动机额定电压的选择 .....	294
7.4.1 步进电动机的结构与工作原理 .....	258	8.4.4 电动机额定转速的选择 .....	294
7.4.2 反应式步进电动机的特性 .....	261	小结 .....	294
*7.4.3 驱动电源 .....	263	思考题与习题 .....	295
7.4.4 步进电动机的应用 .....	264	<b>附录A 中英文术语对照</b> .....	296
*7.5 直线异步电动机 .....	265	<b>附录B 主要符号表</b> .....	302
7.5.1 直线异步电动机的分类和结构 .....	265	<b>部分思考题与习题参考答案</b> .....	305
7.5.2 直线异步电动机的工作原理 .....	266	<b>参考文献</b> .....	308
7.5.3 直线异步电动机的应用 .....	267		
*7.6 其他微控电机 .....	268		
7.6.1 微型同步电动机 .....	268		
7.6.2 自整角机 .....	272		
7.6.3 旋转变压器 .....	273		
7.6.4 开关磁阻电动机 .....	276		
7.6.5 永磁无刷直流电动机 .....	278		

# 绪 论

## 0.1 电机及电力拖动系统概述

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源转换职能来分,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、机器人和音箱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、旋转电机和直线电动机等。变压器是一种静止电机。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,其转速低于同步速;作为发电机运行时,其转速高于同步速。异步电机主要用做电动机。直线电动机就是把电能转换成直线运动的机械能的电动机。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。

纵观电力拖动发展的过程,交、直流两种拖动方式并存于整个生产领域。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。由于交流电力拖动与直流电力拖动相比,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和换向器(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,因此将被广泛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、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100万kW的同步发电机和1000kV电压等级的变压器;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 “电机与拖动基础”课程的性质与任务

### 0.2.1 本课程的性质

本课程是自动化专业及其他相关专业的一门重要的技术基础课,它是将“电机学”、“电力拖动”和“控制电机”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) 熟练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) 掌握电机的基本实验方法与技能。
- (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。