

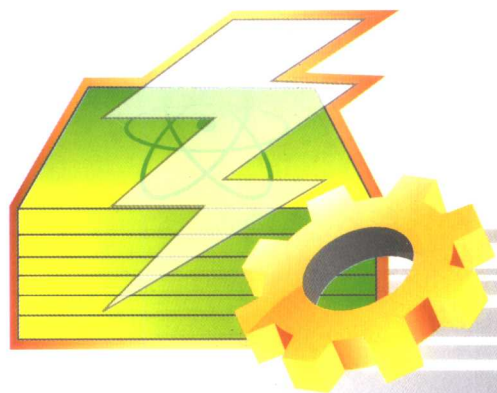


21st CENTURY

十一五规划教材

21世纪全国高等院校

自动化系列 实用规划教材



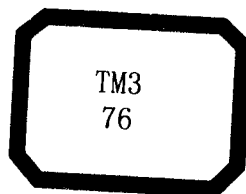
电机与拖动

主 编 杨天明 陈 杰
副主编 侯云海 曹先庆

中国林业出版社
China Forestry Publishing House



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS



21 世纪全国高等院校自动化系列实用规划教材

电 机 与 拖 动

主 编 杨天明 陈 杰
副主编 侯云海 曹先庆
参 编 吴鸿霞 宋晓燕

中国林业出版社
China Forestry Publishing House



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书包括“电机学”与“电力拖动”两门课程的主要内容,合并为《电机与拖动》。全书共 10 章,分为直流电机与拖动、变压器、交流电机与拖动、控制电机 4 部分内容,分别从原理、结构、运行特性方面进行探讨,并在每章节后附有相应的小结与习题便于学生知识的巩固。

本书注重实际中常用技术的分析与应用、突出了电机教学研究中的一些成果与特色,特别是一些内容的新提法。

本书可作为普通高等院校自动化、机电、数控、应用电子控制专业以及其他相关专业的教材使用,也可作为工程技术人员与自学者的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

电机与拖动/杨天明,陈杰主编. —北京:中国林业出版社;北京大学出版社,2006.8

(21 世纪全国高等院校自动化系列实用规划教材)

ISBN 7-5038-4409-4

I. 电… II. ①杨… ②陈… III. ①电机—高等学校—教材 ② 电力传动—高等学校—教材

IV. TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 024158 号

书 名: 电机与拖动

著作责任者: 杨天明 陈 杰 主编

策 划 编 辑: 李娉婷

责 任 编 辑: 李 虎 曹 岚 裴振华

标 准 书 号: ISBN 7-5038-4409-4

出 版 者: 中国林业出版社(地址:北京市西城区德内大街刘海胡同 7 号 邮编:100009)

<http://www.cfph.com.cn> E-mail:cfphz@public.bta.net.cn

电话:总编室 66180373 营销中心 66187711

北京大学出版社(地址:北京市海淀区成府路 205 号 邮编:100871)

<http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com> E-mail: pup_6@163.com

电话:邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

印 刷 者: 北京宏伟双华印刷有限公司

发 行 者: 北京大学出版社 中国林业出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 18.75 印张 400 千字

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 27.00 元

《21 世纪全国高等院校自动化系列实用规划教材》

专家编审委员会

主任委员 张德江

副主任委员 (按姓氏拼音顺序排名)

陈 静 丁坚勇 侯媛彬

纪志成 任庆昌 吴 斌

秘书长 于微波

委 员 (按姓氏拼音顺序排名)

陈志新 戴文进 段晨旭 樊立萍

范立南 公茂法 关根志 嵇启春

蒋 中 雷 霞 刘德辉 刘永信

刘 原 马永翔 孟祥萍 孟彦京

聂诗良 王忠庆 吴旭云 燕庆明

杨新华 尤 文 张桂青 张井岗

总 序

我们所处的时代被称为信息时代。信息科学与技术的迅速发展和广泛应用,深深地改变着人类生产、生活的各个方面。人类社会生产力发展和人们生活质量的提高越来越得益于和依赖于信息科学与技术的发展。自动化科学与技术涉及到信息的检测、分析、处理、控制和应用等各个方面,是信息科学与技术领域的重要组成部分。在我国经济建设的进程中,工业化是不可逾越的发展阶段。面对全面建设小康社会的发展目标,党和国家提出走新型工业化道路的战略决策,这是一条我国当代工业化进程的必由之路。实现新型工业化,就是要坚持走科技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染少、人力资源优势得到充分发挥的可持续发展的科学发展之路。在这个过程中,自动化科学与技术起着不可替代的重要作用,高等学校的自动化学科肩负着人才培养和科学研究的光荣的历史使命。

我国高等教育中工科在校大学生数占在校大学生总数的 35%~40%,其中自动化类的学生是工科各专业中学生人数最多的专业之一。在我国高等教育已走进大众化阶段的今天,人才培养模式多样化已成为必然的趋势,其中应用型人才是我国经济建设和社会发展需求最多的一大类人才。为了促进自动化领域应用型人才培养,发挥院校之间相互合作的优势,北京大学出版社组织了这套《21 世纪全国高等院校自动化系列实用规划教材》。

参加这一系列教材编写的基本上都是来自地方工科院校自动化学科的专家学者,由此确定了教材的使用范围,也为“实用教材”的定位找到了落脚点。本系列教材具有如下特点:

(1) 注重实用性。地方工科院校的人才培养规格大多定位在高级应用型,对这一大类人才的培养要注重面向工程实践,培养学生理论联系实际、解决实际问题的能力。从这一教学原则出发,本系列教材注重实用性,注意引用工程中的实例,培养学生的工程意识和工程应用能力,因此将更适合地方工科院校的教学要求。

(2) 体现新颖性。更新教材内容,跟进时代,加入一些新的先进实用的知识,同时淘汰一些陈旧过时的内容。

(3) 院校间合作交流的成果。每一本教材都有几所院校的教师参加编写。北大出版社事先在西安市和长春市召开了编写计划会和审纲会,来自各院校的教师比较充分地交流了情况,在相互借鉴、取长补短的基础上,形成了编写大纲,确定了编写原则。因此,这一系列教材可以反映出各参编院校一些好的经验和做法。

(4) 这一系列教材几乎涵盖了自动化类专业从技术基础课到专业课的各门课程,到目前为止,列入计划的已有 30 多门,教材门数多,参与的院校多,参加编写人员多。

地方工科院校是我国高等院校中比例最大的一部分。本系列教材面向地方工科院校自动化类专业教学之用,将拥有众多的读者。教材专家编审委员会深感教材的编写质量对教学质量的重要性,在审纲会上强调了“质量第一,明确责任,统筹兼顾,严格把关”的原则,要求各位主编加强协调,认真负责,努力保证和提高教材质量。各位主编和编者也将尽职尽责,密切合作,努力使自己的作品受到读者的认可和欢迎。尽管如此,由于院校之间、编者之间的差异性,教材中还是难免会出现一些问题和不足,欢迎选用本系列教材的教师、学生提出批评和建议。

张德江

2006年1月

前 言

《电机与拖动》一书是根据 2005 年 8 月《21 世纪全国高等院校自动化系列实用规划教材》长春研讨会议精神编写的。在本次会议上,来自全国各个省(自治区、直辖市)多所高校的多位校长、院系领导和具有丰富专业教学经验的骨干教师以及自动化教育界专家对当前我国普通高等教育面临的由精英教育向大众化教育转化的形势与挑战进行了充分的讨论,一致认为本系列教材应贯彻国家教育部对普通高等教育的要求,针对学生就业以及社会要求,突出专业特色,着重专业基础知识以及技术应用,培养 21 世纪高级应用技术人员。

本教材对一般理论进行了较为详尽的阐述,对不常用的知识进行了删减,注重实际中常用技术的分析与应用;突出了教学研究中的一些成果与特色,特别是一些内容的新提法。强化学生自动化专业的工程意识,培养学生掌握专业理论与解决实际问题的能力。

本书由河南科技学院杨天明任第一主编,编写了第 7 章 1、2 节,第 8、9 章以及附录;安徽建筑工业学院陈杰任第二主编,编写了绪论以及第 1 章;长春工业大学侯云海任第一副主编,编写了第 2、3 章;沈阳化工学院曹先庆任第二副主编,编写了第 4、5、6 章;黄石理工学院吴鸿霞编写了第 7 章 3~9 节;平顶山学院宋晓燕编写了第 10 章。全书由杨天明统稿并定稿。

由于编写者水平所限,加上时间仓促,书中的缺点、错误以及疏漏之处在所难免,欢迎广大读者批评指正。

编 者

2006 年 6 月

目 录

绪论.....	1	2.3.1 恒转矩负载	36
第 1 篇 直流电机.....	9	2.3.2 恒功率负载	37
第 1 章 直流电机的原理与结构.....	9	2.3.3 通风机类负载	37
1.1 直流电机基本工作原理	9	2.4 直流电动机的机械特性	38
1.1.1 直流电动机工作原理.....	9	2.4.1 机械特性方程式	38
1.1.2 直流发电机工作原理.....	10	2.4.2 固有机械特性	40
1.2 直流电机的结构和额定值	11	2.4.3 人为机械特性	40
1.2.1 直流电机的结构.....	11	2.4.4 机械特性的计算与绘制	42
1.2.2 直流电机的电枢绕组.....	13	2.5 直流串励电动机	44
1.2.3 直流电机的励磁方式.....	20	2.5.1 直流串励电动机的接线 与特点	44
1.2.4 直流电机的额定值.....	20	2.5.2 串励电动机的特性	44
1.3 直流电机的磁场、电动势、转矩	21	2.6 直流发电机的特性	46
1.3.1 直流电机的磁场.....	21	2.6.1 直流他励发电机的接线 与特点	46
1.3.3 电枢绕组的感应电动势.....	25	2.6.2 直流他励发电机的特性	46
1.3.4 电枢绕组的电磁转矩.....	26	2.6.3 直流并励发电机	48
1.4 直流电机的换向	27	本章小结	50
1.4.1 换向的过程.....	27	思考题与习题	51
1.4.2 影响换向的因素.....	27	第 3 章 直流电动机的起动、调速 和制动.....	53
1.4.3 改善换向的方法.....	29	3.1 直流电动机的起动	53
1.4.4 补偿绕组.....	30	3.1.1 对直流电动机起动性能的 基本要求	53
本章小结	31	3.1.2 直流他励电动机的串电阻 起动	54
思考题与习题	31	3.2 直流电动机的调速	57
第 2 章 直流电动机的电力拖动.....	32	3.2.1 调速指标	57
2.1 直流电动机基本的平衡方程式	32	3.2.2 直流他励电动机的调速方法 及其调速性能	59
2.1.1 电压平衡方程式.....	32	3.2.3 电动机调速时的负载能力 及其与负载性质的配合	62
2.1.2 功率平衡方程式.....	33	3.3 直流他励电动机的各种工作状态 分析.....	64
2.1.3 转矩平衡方程式.....	35		
2.2 直流电动机的工作特性	35		
2.2.1 转速特性.....	35		
2.2.2 转矩特性.....	35		
2.2.3 效率特性.....	36		
2.3 生产机械的负载转矩特性	36		

3.3.1 制动与电动的区别.....64	5.2.2 单相变压器的连接组94
3.3.2 电动机的制动工作状态分析.....64	5.2.3 三相变压器的连接组95
本章小结72	5.2.4 磁路结构及连接组对电动势 波形的影响100
思考题与习题73	5.3 变压器的并联运行102
第2篇 变压器75	5.3.1 变压器的并联运行的意义102
第4章 单相变压器75	5.3.2 变压器的理想并联运行的 条件102
4.1 变压器的工作原理与结构75	本章小结104
4.1.1 变压器的工作原理.....75	思考题与习题104
4.1.2 变压器的应用与分类.....76	第6章 其他用途的变压器106
4.1.3 变压器的结构.....76	6.1 自耦变压器106
4.1.4 变压器的额定值(铭牌数据).....78	6.1.1 工作原理106
4.2 变压器的空载运行78	6.1.2 优缺点107
4.2.1 空载运行时的物理状况.....78	6.2 仪用互感器107
4.2.2 空载运行时的电动势平衡 方程式、相量图以及等效 电路.....81	6.2.1 电压互感器107
4.3 变压器的负载运行83	6.2.2 电流互感器108
4.3.1 负载运行时的物理状况.....83	6.3 电焊机变压器108
4.3.2 负载运行时的基本方程式.....83	6.3.1 电焊工艺对变压器的要求108
4.3.3 绕组归算、等效电路及相 量图.....84	6.3.2 磁分路动铁心电焊变压器109
4.4 变压器的参数测定86	6.3.3 串联可变电抗器的电焊变 压器109
4.4.1 空载试验.....86	本章小结110
4.4.2 短路试验.....87	思考题与习题110
4.5 标么值87	第3篇 三相异步电动机及拖动111
4.6 变压器的运行特性88	第7章 三相交流异步电动机111
4.6.1 外特性.....88	7.1 三相异步电动机的工作原理与 结构.....111
4.6.2 效率特性.....90	7.1.1 三相异步电动机的工作 原理111
本章小结91	7.1.2 交流电动机中旋转速度的 问题114
思考题与习题91	7.1.3 三相异步电动机的结构116
第5章 三相变压器93	7.1.4 三相异步电动机的铭牌 数据119
5.1 三相变压器的磁路系统93	7.2 三相交流电动机的绕组120
5.1.1 三相组式变压器.....93	7.2.1 交流绕组的一些基本知识 和基本量120
5.1.2 三相心式变压器.....93	
5.2 三相变压器的电路系统——连接组 ...94	
5.2.1 变压器原边、副边绕组首末 端标记及连接方法.....94	

7.2.2 交流电动机绕组排列的基本原则.....123	第 8 章 三相异步电动机的电力拖动 169
7.3 交流电动机电枢绕组的感应电动势.....126	8.1 三相异步电动机的起动性能 169
7.3.1 绕组的感应电动势及短矩系数.....126	8.2 三相笼型异步电动机的起动 169
7.3.2 绕组组的感应电动势及分布系数.....129	8.2.1 直接起动 169
7.3.3 一相绕组的基波感应电动势.....131	8.2.2 降压起动 170
7.3.4 定子绕组的谐波电动势.....132	8.3 三相绕线式异步电动机的起动 173
7.4 三相异步电动机的定子磁动势 134	8.3.1 转子回路串接电阻器起动 173
7.4.1 单相绕组的脉振磁动势.....134	8.3.2 转子串频敏变阻器起动 174
7.4.2 三相绕组基波合成磁动势——旋转磁动势.....140	8.4 三相异步电动机的调速 174
7.5 三相异步电动机转子静止时的电磁关系.....145	8.4.1 变极调速 175
7.5.1 转子不动(转子开路)时的情况.....145	8.4.2 变频调速 176
7.5.2 转子不动(转子绕组短路并堵转)时的情况 148	8.4.3 改变转差率调速 178
7.6 三相异步电动机转子旋转时的电磁关系 150	8.5 三相异步电动机的制动 180
7.7 三相异步电动机的功率和转矩 155	8.5.1 三相异步电动机的反转 180
7.7.1 功率平衡和转矩平衡.....155	8.5.2 三相异步电动机的制动 180
7.7.2 电磁转矩公式.....157	8.6 电动机的选择 184
7.8 三相异步电动机的工作特性和参数测定 157	8.6.1 电动机的种类、型式、额定电压与额定转速的选择 184
7.8.1 三相异步电动机工作特性.....157	8.6.2 电动机的发热与冷却 186
7.8.2 三相异步电动机的参数测定.....158	8.6.3 电动机的工作方式 186
7.9 三相异步电动机的机械特性 160	8.6.4 额定功率的选择 187
7.9.1 机械特性的表达式.....161	8.7 电动机的维护处理及故障 190
7.9.2 三相异步电动机的固有机械特性.....164	8.7.1 起动前的准备 190
7.9.3 三相异步电动机的人为机械特性.....165	8.7.2 起动时的注意事项 191
本章小结 166	8.7.3 运行中的监视 191
思考题与习题 167	8.7.4 电动机的定期维修 192
	8.7.5 常见故障及扫除方法 192
	本章小结 194
	思考题与习题 194
	第 4 篇 其他用途的电动机 196
	第 9 章 单相异步电动机和同步电动机 196
	9.1 单相异步电动机 196
	9.1.1 单相异步电动机基本工作原理 196
	9.1.2 单相异步电动机的起动方法 197

9.1.3 单相正弦绕组.....	201	10.3.2 交流测速发电机	223
9.2 同步电动机	202	10.4 直线电动机	225
9.2.1 同步电动机的特点.....	202	10.4.1 直线电动机的结构形式	226
9.2.2 同步电动机基本工作原理.....	203	10.4.2 直线异步电动机的工作 原理	228
9.2.3 同步电动机的功率因数的 调整.....	205	10.5 自整角机	229
本章小结	206	10.5.1 力矩式自整角机的结构与 工作原理.....	230
思考题与习题	206	10.5.2 控制式自整角机的结构与 工作原理	232
第 10 章 控制电机	208	10.6 旋转变压器	233
10.1 伺服电动机	208	10.6.1 正余弦旋转变压器的空载 运行	233
10.1.1 直流伺服电动机.....	208	本章小结	237
10.1.2 交流伺服电动机.....	211	思考题与习题	239
10.2 步进电动机	214	附录.....	241
10.2.1 步进电动机的结构和分类....	215	参考文献	286
10.2.2 反应式步进电动机的工作 原理.....	215		
10.2.3 反应式步进电动机的特性....	218		
10.3 测速发电机	221		
10.3.1 直流测速发电机.....	221		

绪 论

1. 什么是电机

在现代,电能是一种广泛应用的能源。电能与其他能源相比,有突出的优点。首先电能的生产与转换比较经济,目前我国的公共电网就是由众多的火力发电厂与水力发电站并网运行组成的;其次电能传输与分配比较容易。尤为突出的是,它可以远距离输送,可把某地生产的电能输送到几千公里之外的地区去;再者电能的使用与控制比较方便,且易于实现自动化。因此,在现代社会中,电能的应用已遍及各行各业中。

在电能的生产、转换、传输、分配、使用与控制等方面,都必须通过能够进行能量(或信号)传递与变换的电磁机械装置,这些电磁机械装置被广义地称为电机。

通常所说的电机,是指那些利用电磁感应原理设计制造而成的、用于实现能量(或信号)传递与变换的电磁机械的统称。按电机的功能来分类,电机可分为:

- (1) 发电机——把机械能转变成电能;
- (2) 电动机——把电能转变成机械能;
- (3) 变压器、变频器、变流机、移相等,是分别用于改变电压、频率、电流及相位的,即把一种类型的电能转变成另一种类型的电能;
- (4) 控制电机——应用于各类自动控制系统中的控制元件。

值得指出的是,从基本工作原理来看,发电机与电动机只是电机的两种不同的运行方式,从能量转换的观点来看,二者是可逆的。

上述的各种电机中,有些是静止的,如变压器;有些是旋转的,如各种类型的发电机与电动机。按电流的类型及工作原理的某些差异,旋转电机又可分为直流电机、交流异步电机、交流同步电机及各种具有专门用途的控制电机等。

2. 电机以及电力拖动的发展概况

始于19世纪60~70年代的第二次工业技术革命,是以电力的广泛应用为显著特点的。从此人类社会由蒸汽机时代步入了电气化时代。在法拉第电磁感应定律基础上,一系列电气发明相继出现。1866年,德国工程师西门子制成发电机;1870年比利时人格拉姆发明了电动机,电力开始成为取代蒸汽来拖动机器的新能源。随后,各种用电设备相继出现。1882年法国学者德普勒发明了远距离送电的方法。同年,美国著名发明家爱迪生创建了美国第一个火力发电站,把输电线结成网络。从此电力作为一种新能源而广泛应用。那时,电机刚刚在工业上初步应用,各种电机初步定型,电机设计理论和电机设计计算初步建立。

随着社会生产的发展和科技的进步,对电机也提出了更高的要求,如:性能良好、运行可靠、单位容量的重量轻体积小等,而且随着自动控制系统的发展要求,在旋转电机的理论基础上,又派生出多种精度高、响应快的控制电机,成为电机学科的一个独立分支。电机制造也向着大型、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。各种响应快速、起停快速的特种电机在各种复杂的计算机控制系统和无人工厂

中实现了比人的手脚更复杂而精巧的运动。古老的电机学已经和电力电子学、计算机、控制论结合起来，发展成了一门新的学科。

在我国，电机制造业也发生了巨大的变化。我国的电机生产从 1917 年至今已有 80 多年的历史，经过改革开放 20 多年的发展，特别是近 10 年的发展，有了长足的进步，令世人瞩目。目前已经形成比较完整的产业体系，电机产品的品种、规格、性能和产量满足了我国国民经济发展的需要。而且一些产品已经达到或接近世界先进水平。近来世界上电机行业专家纷纷预测，中国将会成为世界电动机的生产制造基地。

近年来我国已生产了不少大型直流电动机、异步电动机和同步电动机；在中小型电机和控制电机方面，亦自行设计和生产了不少新系列电机；对电机的新理论、新结构、新工艺、新材料、新运行方式和调试方法，进行了许多研究和试验工作，取得不少成果。

与电机发展过程一样，电力拖动技术也有个不断发展的过程。电动机拖动生产机械的运转称为电力拖动(或称为电气传动)。电力拖动系统一般由控制设备、电动机、传动机构、生产机械和电源五部分组成。它们之间的关系如图 0.1 所示。

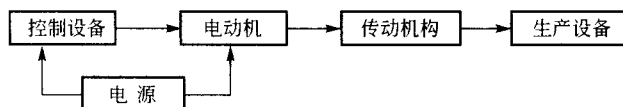


图 0.1 电力拖动系统的构成

电力拖动代替蒸汽或水力拖动之初，电力拖动的方式是成组拖动，就是由一台电动机拖动一组生产机械，从电动机到各个生产机械的能量传递以及各个生产机械之间的能量分配完全用机械的方法，靠“天轴”以及机械传动系统来实现，车间里有大量的“天轴”、长皮带和皮带轮等。这种传动方式效率低下，生产率低下，灰尘大，劳动条件和卫生条件差，且容易出事故。另外，电动机发生故障，则成组拖动的所有生产机械都将停车，生产将可能停滞。显然这是一种落后的电力拖动方式。

20 世纪 20 年代以来，生产机械上广泛采用一种“单电机拖动系统”，即一台生产机械用一台单独的电动机拖动。简化了机械结构，且易于实现生产设备运转的全部自动化。但是，由于是一台电动机拖动具有多个工作机构的生产机械，需要负责能量传递的机械传动机构。

所以，从 20 世纪 30 年代起，广泛采用了“多电动机拖动系统”，即每个工作机构由单独的电动机拖动，因而生产机械的机械结构可以大大简化，提高了机械机构的可靠性。

随着生产的发展和科技水平的提高，对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，要求快速启动、制动及反转，实现在大范围内调速以及整个生产过程自动化等。这些，都必须要有自动控制设备，以组成自动化的电力拖动系统。

最早的电力拖动控制系统是继电器-接触器自动控制系统，属于有触点断续控制系统。

接着，出现了发电机-电动机组，使得直流电动机得到了广泛的应用。并且在这个基础上，发展成为采用电力电子器件组成的自动化直流电力拖动系统，并且正向大容量方向发展；自动化元件已有成套标准控制单元，控制装置集成化、小型化、微型化，设备可靠性高，维护简便，许多设备都可做到自动运行，不需要监视和维护。

但是, 由于交流电动机较之直流电动机具有: 结构简单、价格便宜、维护方便、惯性小等一系列优点, 而且单机容量可以做得很大, 电压等级可以做得很高, 可以实现高速拖动等, 所以, 人们一直在致力研究性能更高的交流调速系统。目前, 随着电力电子器件的发展, 交流调速系统已经得到广泛应用, 性能指标进一步提高, 容量进一步增大, 控制系统集成化程度进一步提高。交流电力拖动系统取代直流电力拖动系统已经是无可争议的事实了。

我国的电力拖动系统取得的发展是有目共睹的, 但是, 与国外比较, 还是有很大差距。主要体现在: 技术水平相对较低、拖动运行效率不高、成套技术不成熟等。目前, 正在奋起直追, 狠抓基础, 开展一些关键技术的研究, 以期尽快缩短和国外的差距, 力争达到拖动系统的综合技术经济指标最佳。

3. 电机及电力拖动系统的发展前景

电气化、信息化时代, 在性能、可靠性及容量等方面, 对电机提出了更高的要求。交流变频调速系统及变频电机、大功率无刷直流电机、永磁同步无刷电机等得到了很大发展。

同时, 随着新兴行业的发展, 微电机亦成为电机行业发展的亮点, 是我国电工电器行业(电机)发展的重点产品。稀土永磁电机, 无轴承电机也是电机技术发展的新动向。

与此相适应, 电机拖动也有了新的发展, 对拖动系统又提出更高的要求, 如要求提高加工的精度和工作的速度, 要求快速启动、制动和逆转, 实现很宽范围内的调速及整个生产过程的自动化等, 这就需要有一整套自动控制设备组成自动化的电力拖动系统。而这些高要求的拖动系统随着自动控制理论不断发展, 半导体器件和电力电子技术的采用, 以及数控技术和计算机技术的发展与采用, 正在不断地完善和提高。

综上所述, 电力拖动技术发展至今, 它具有许多其他拖动方式无法比拟的优点。它启动、制动、反转和调速的控制简单、方便、快速且效率高; 电动机的类型多, 且具有各种不同的运行特性来满足各种类型生产机械的要求; 整个系统各参数的检测和信号的变换与传送方便, 易于实现最优控制。因此, 电力拖动已成为国民经济电气自动化的基础。

4. 本课程的性质、任务、内容与特点

《电机及拖动》是电气工程及其自动化专业、自动化专业的一门专业基础课。它的主要任务是使学生掌握常用的交直流电机、变压器、控制电机等的基本结构与工作原理, 电力拖动系统的运行性能、分析计算, 电机容量选择及试验方法等, 为学习《工厂电气控制设备》、《自动控制原理》、《信号与系统》等课程准备必要的基础知识。

《电机及拖动》是分析和解决电机与电力拖动系统的基本问题, 主要包括直流电机及拖动、变压器、异步电机及拖动、同步电动机、控制电机和电动机容量的选择等内容。课程学完后学生应达到下列要求:

- 掌握常用的交直流电机及变压器的基本原理(电磁关系、能量关系);
- 掌握电动机机械特性以及各种运行状态的基本原理;
- 掌握电力拖动系统中电动机的调速方法、调速原理和技术经济指标;
- 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;
- 掌握电力拖动系统中电动机容量的选择;
- 掌握控制电机的工作原理、特性及用途。

本课程的特点是理论性强、实践性也强。分析电机与电力拖动的工作原理要用电学、磁学和动力学的基础理论，既要有时间概念，又要有空间概念，所以理论性较强；而用理论分析各种电机和电力拖动的实际问题时，必须结合电机的具体结构、采用工程观点和工程分析方法，除要掌握基本理论以外，还应注意培养实验操作技能和计算能力，所以实践性也较强。因此，学习本门课程应该特别注意理论联系实际。

5. 本书常用的电磁定律与公式

1) 全电流定律

凡是电流均会在其周围产生磁场，这就是电流的磁效应，即所谓“电生磁”。例如电流通过一根直的导体，在导体周围产生的磁场用磁力线描述时，磁力线是以导体为轴线的同心圆，磁力线的方向可根据电流的方向由右手螺旋定则确定，如图 0.2 所示。

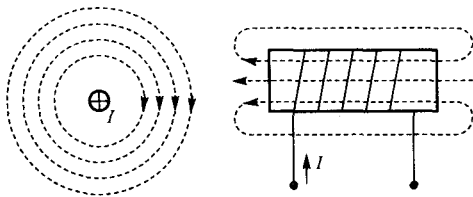


图 0.2 电流方向与磁力线方向的关系

如果是电流通过导体绕成的线圈，产生的磁场的磁力线方向仍可用右手螺旋定则确定，这时，使弯曲的四指方向与电流方向一致，则大拇指的方向即为线圈内磁力线的方向，如图 0.2 所示。

(1) 磁感应强度 B 。磁场中任意一点的磁感应强度 B 的方向，即为过该点磁力线的切线方向，磁感应强度 B 的大小为通过该点与 B 垂直的单位面积上的磁力线的数目。磁感应强度 B 的单位为 T ，工程上常沿用 Gs 为单位，其换算关系为

$$1T = 10^4 Gs$$

(2) 磁通量 Φ 。穿过某一截面 S 的磁感应强度 B 的通量，即穿过某截面 S 的磁力线的数目称为磁通量，简称磁通(Φ)，并有

$$\Phi = \int_S B \cdot dS$$

设磁场均匀，且磁场与截面垂直，上式可简化为

$$\Phi = BS$$

磁通的单位为 Wb 。有时沿用 Mx 为单位，其换算关系为

$$1Wb = 10^8 Mx$$

由上式可知，磁场均匀，且磁场与截面垂直时，磁感应强度的大小可以用下式表示

$$B = \frac{\Phi}{S}$$

因此，磁感应强度又称为磁通密度。其单位与磁通和面积的单位相对应，即

$$1T = 1 \frac{Wb}{m^2}, \quad 1Gs = 1 \frac{Mx}{cm^2}$$

(3) 磁场强度 H 。磁场强度 H 是为建立电流与由其产生的磁场之间的数量关系而引入

的物理量，其方向与 B 相同，其大小与 B 之间相差一个导磁介质的磁导率 μ ，即

$$H = \frac{B}{\mu} \text{ 或 } B = \mu H$$

磁导率 μ 是反映导磁介质导磁性能的物理量，磁导率 μ 越大的介质，其导磁性能越好。磁导率的单位是 H/m 。真空中的磁导率 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} H/m$ ，其他导磁介质的磁导率通常用 μ_0 的倍数来表示，即

$$\mu = \mu_r \mu_0$$

式中 $\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$ ——导磁介质的相对磁导率。

铁磁性材料的相对磁导率 $\mu_r = 2000 \sim 6000$ ，但不是常数，非铁磁性材料的相对磁导率 $\mu_r \approx 1$ ，且为常数。磁场强度的单位为 A/m ，工程上常沿用 A/cm 为单位。

(4) 全电流定律。磁场中沿任一闭合回路 l 对磁场强度 H 的线积分等于该闭合回路所包围的所有导体电流的代数和。其数学表达式为

$$\oint_l H dl = \sum I$$

这就是全电流定律，当导体电流的方向与积分路径的方向符合右手螺旋定则时为正，如图 0.3 中的 I_1 和 I_3 ；反之则为负，如图 0.3 中的 I_2 。

2) 磁路的欧姆定律

磁力线流通的路径称为磁路。工程上将全电流定律用于磁路时，通常把磁力线分成若干段，使每一段的磁场强度 H 为常数，则线积分 $\oint_l H dl$ 可用式 $\sum H_k l_k$ 来代替，全电流定律可以表示为

$$\sum H_k l_k = \sum I$$

式中 H_k ——第 k 段的磁场强度；

l_k ——第 k 段的磁路长度。

对图 0.4 所示的磁路， $\sum H_k l_k = H_1 l_1 + H_2 l_2$ ， $\sum I = WI$ ， W 为线圈匝数， I 为线圈中的电流，则有

$$H_1 l_1 + H_2 l_2 = WI$$

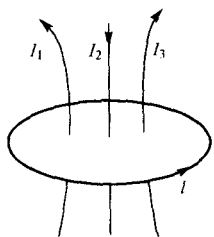


图 0.3 全电流定律

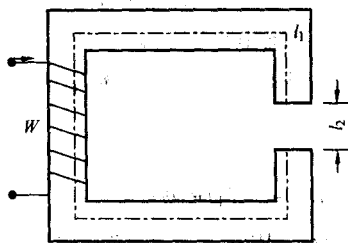


图 0.4 磁路示意图

将 $H = \frac{B}{\mu}$ 和 $B = \frac{\Phi}{S}$ 代入上式即得

$$\frac{\Phi}{\mu_1 S_1} l_1 + \frac{\Phi}{\mu_2 S_2} l_2 = \Phi R_{m_1} + \Phi R_{m_2} = WI = F$$

式中 $R_{m_1} = \frac{l_1}{\mu_1 S_1}$ 、 $R_{m_2} = \frac{l_2}{\mu_2 S_2}$ ——分别为第 1 段、第 2 段磁路的磁阻；

ΦR_{m_1} 、 ΦR_{m_2} ——分别为第 1 段、第 2 段磁路的磁压降；

$F = WI$ ——磁路的磁动势。

一般情况下，磁路分为 n 段时，则有

$$\Phi R_{m_1} + \Phi R_{m_2} + \cdots + \Phi R_{m_n} = F$$

即

$$\Phi = \frac{F}{R_{m_1} + R_{m_2} + \cdots + R_{m_n}} = \frac{F}{R_m}$$

称之为磁路的欧姆定律。

根据 $R_{m_k} = \frac{l_k}{\mu_k S_k}$ 可知，各段磁路的磁阻与磁路的长度成正比，与磁路的截面积成反比，

并与磁路的磁介质成反比。由于铁磁材料的磁导率 μ 比真空等非铁磁性材料大得多，因而 R_m 小得多。同时，由于铁磁性材料的磁导率 μ 不是常数，所以磁阻 R_m 也不是常数。分析磁路时，有时不用磁阻 R_m ，而是采用磁导 λ_m ，他们互为倒数关系，即

$$\lambda_m = \frac{l}{R_m}$$

3) 电磁感应定律

磁场变化会在线圈中产生感应电动势，感应电动势的大小与线圈的匝数 W 和线圈所交链的磁通对时间的变比率 $\frac{d\Phi}{dt}$ 成正比，这是电磁感应定律。当按惯例规定电动势的正方向与产生它的磁通的正方向之间符合右手螺旋定则时，感应电动势的公式为

$$e = -W \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d\psi}{dt}$$

式中 $\psi = W\Phi$ ——线圈交链的总磁通。

按照楞次定律确定的感应电动势的实际方向与按照惯例规定的感应电动势的正方向正好相反，所以感应电动势公式右边总加一负号。

通常，电机中的感应电动势根据其产生原因的不同，可以分为以下三种：

(1) 自感电动势 e_L 。线圈中流过交变电流 i 时，由 i 产生的与线圈自身交链的磁链亦随时间发生变化，由此在线圈中产生的感应电动势，称为自感电动势，用 e_L 表示，其公式为

$$e_L = -W \frac{d\Phi_L}{dt} = -\frac{d\psi_L}{dt}$$

式中 Φ_L ——自感磁通；

$\psi_L = W\Phi_L$ ——自感磁链。

线圈中流过单位电流产生的自感磁链称为线圈的自感系数 L ，即

$$L = \frac{\psi_L}{i}$$

自感系数 L 为常数时，自感电动势的公式可改为