



面向21世纪机电及电气类专业高职高专规划教材



电机及拖动基础

(第二版)

■ 主 编 孟宪芳 主 审 刘保录



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

内 容 简 介

本书主要讲述直流电机、变压器和三相异步电动机的运行原理及工作特性。其中,着重分析了直流电动机和三相异步电动机的机械特性、原理、特点及其启动、制动和调速的方法及应用,还介绍了三相异步电动机的新技术——软启动。除此之外,简要分析了单相异步电动机、直线异步电动机、同步电动机及常用控制电机的结构特点、工作原理和特性,并简要介绍了电动机容量选择的基本知识和方法。

本书在第一版的基础上,根据实际教学使用效果进行了修订,保留了第一版的结构体系和主要特点,整体内容有所增删,对部分内容安排作了调整,难易程度更符合目前高职高专生源状况。

本书可作为高职高专等同类院校的电气技术、工业电气自动化、自动控制、机电一体化等电气类专业的教材。

★本书配有电子教案,需要者可登录出版社网站,免费下载。

图书在版编目(CIP)数据

电机及拖动基础/孟宪芳主编. —2版. —西安:西安电子科技大学出版社,2009.9

面向21世纪机电及电气类专业高职高专规划教材

ISBN 978-7-5606-2281-1

I. 电… II. 孟… III. ①电机—高等学校:技术学校—教材

②电力传动—高等学校:技术学校—教材

IV. ①TM3 ②TM921

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 093933 号

策 划 马乐惠

责任编辑 王 瑛 马乐惠

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2009年9月第2版 2009年9月第4次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 15.25

字 数 351千字

印 数 16 001~20 000册

定 价 21.00元

ISBN 978-7-5606-2281-1/TM·0058

XDUP 2573002-4

如有印装问题可调换

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

第二版前言

本书第一版于2006年1月出版,至今已多次重印,销售近2万册,获得了广大读者的认可。

本书第二版是编者在第一版的基础上,根据自己连续三年多的实际教学使用效果精心修改而成的,其难易程度更符合目前高职高专生源状况和培养目标。本书第二版保留了第一版的结构体系,突出其特点,并在内容体系上做了以下修改:

(1)对一些理论分析过程进一步浓缩,主要突出概念、结论及其应用,如电力拖动系统的稳定运行条件、三相异步电动机负载运行时转子磁动势的分析、三相异步电动机变极调速时的机械特性、三相异步电动机变频调速和转子串电阻调速时的允许输出及附录中的安培定律等内容。

(2)对一些基本原理的分析进行了充实并增加了典型例题,以加强学生对基本原理的理解和应用,从而克服了同类教材例题少的缺点。例如直流电机工作原理部分增加了例题和可逆原理的分析,后面讲基本公式时不再分析不同运行状态时感应电动势和电磁转矩的性质;变压器运行原理部分增加了例题;同步电动机工作原理部分增加了“失步”和反转的知识。

(3)删去了直流电机磁通密度分布曲线、两相绕组异步电动机的机械特性、步进电动机的运行特性及附录中的安培环路定律等内容。

(4)增加了直流电动机各种制动状态的机械特性总结、三相变压器连接组的判断规律和并联运行、直流和交流伺服电动机的特点总结及直流测速发电机的应用等内容。

(5)各章习题难易程度和排列顺序与课本的内容和顺序更一致,便于学生练习和老师布置作业。

另外,全书在文字叙述方面,语言更简练、字词使用更准确、形式更一致;对部分图稿,结合内容也做了相应修改和补充,使理论分析更直观易懂。

本书第二版由孟宪芳任主编,她对全书文稿及图稿作了大量的修订工作。

编者在此对使用过本书第一版以及对本书提出过宝贵意见的读者表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中难免有不足之处,恳请读者提出宝贵意见。

我们的电子邮箱: mengxianf@yahoo.com.cn

编者
2009年7月

第一版前言

随着社会经济的发展和科学科学技术的进步,生产领域的技术含量在不断提高。为了满足新时期社会对高次技术人才的要求,编者根据高等职业技术教育电气类系列教材编委会会议精神及高职电气类专业“电机及拖动基础”教学大纲编写了本书。本书可作为高职高专、成人高校、民办高校、电大等同类院校的电气技术、工业电气自动化、自动控制、机电一体化等电气类专业的教材。

本书共分8章,内容包括直流电机、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、其他交流电动机、控制电机、电力拖动系统中电动机的选择等。

本书在总体框架上体现了高职高专教学改革的特点,突出理论知识的应用和实践能力培养,以“必须、够用”为度,以“应用”为目的,加强实用性。同时,编者结合职业院校的现状和自己多年的教学经验,摒弃了把本科教材浓缩为高职高专教材的弊端,降低了理论知识的难度,但仍保持教材内容的相对连贯性和稳定性,内容安排深入浅出,语言叙述通俗易懂,便于教师教学和学生自学。书中带“*”的内容可根据实际情况选学。每章开始有学习目标,便于学生把握重点;章末有小结,有助下地学生复习总结。每章备有大量精选的思考与练习题,便于学生掌握基本内容。附录中还有学习本课程所需要的基础知识,便于学生补习基础。

随着自动控制理论、计算机技术和电力电子技术的发展,当今工业上直流电机的应用已远远少于三相异步电动机的应用,因此本教材在内容体系上改变了其他教材直流发电机特性和直流电动机特性并重、直流电动机拖动与三相异步电动机拖动并重的状况,突出了三相异步电动机及其应用。另外,简要分析单相异步电动机、直线异步电动机和同步电动机的工作原理及应用;简要分析常用控制电机的结构特点、工作原理和特性。同时,对高深的理论内容,删除繁琐的数学推导,利用图解法分析;对大量公式的推导从简,简重分析其物理意义和应用方法。

本书由孟宪芳任主编,并编写绪论以及第4、5、7、8章与附录等内容;陆玉福任副主编,并编写第2、6章;张小洁编写第1章;张玲编写第3章。全书由孟宪芳统稿。刘保录副教授主审了全稿,在此谨表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限,书中难免有不足之处,恳请读者提出宝贵意见,以便修改。

编 者
2005年8月

面向 21 世纪

机电及电气类专业高职高专规划教材

编审专家委员会名单

主 任：李迈强

副主任：唐建生 李贵山

机电组

组 长：唐建生（兼）

成 员：（按姓氏笔画排列）

王春林	王周让	王明哲	田 坤	宋文学
陈淑惠	张 勤	肖 珑	吴振亭	李 鲤
徐创文	殷 铖	傅维亚	巍公际	

电气组

组 长：李贵山（兼）

成 员：（按姓氏笔画排列）

马应魁	卢庆林	冉 文	申凤琴	全卫强
张同怀	李益民	李 伟	杨柳春	汪宏武
柯志敏	赵虎利	戚新波	韩全立	解建军

项目策划：马乐惠

策 划：马武装 毛红兵 马晓娟

电子教案：马武装

欢迎选购西安电子科技大学出版社教材类图书

~~~~~“十一五”国家级规划教材~~~~~

计算机系统结构(第四版)(李学干)	25.00
计算机系统安全(第二版)(马建峰)	30.00
计算机网络(第三版)(蔡皖东)	27.00
计算机应用基础教程(第四版)(陈建铎)	
(for Windows XP/Office XP)	30.00
计算机应用基础(冉崇善)(高职)	
(Windows XP & Office 2003 版)	23.00
《计算机应用基础》实践技能训练	
与案例分析(高职)(冉崇善)	18.00
微型计算机原理(第二版)(王忠民)	27.00
微型计算机原理及接口技术(第二版)(裘雪红)	36.00
微型计算机组成与接口技术(第二版)(高职)	28.00
微机原理与接口技术(第二版)(龚尚福)	37.00
单片机原理及应用(第二版)(李建忠)	32.00
单片机应用技术(第二版)(高职)(刘守义)	30.00
Java程序设计(第二版)(高职)(陈圣国)	26.00
编译原理基础(第二版)(刘坚)	29.00
人工智能技术导论(第三版)(廉师友)	24.00
多媒体软件设计技术(第三版)(陈启安)	23.00
信息系统分析与设计(第二版)(卫红春)	25.00
信息系统分析与设计(第三版)(陈圣国)(高职)	20.00
传感器原理及工程应用(第三版)	28.00
数字图像处理(第二版)(何东健)	30.00
电路基础(第三版)(王松林)	39.00
模拟电子电路及技术基础(第二版)(孙肖子)	35.00
模拟电子技术(第三版)(江晓安)	25.00
数字电子技术(第三版)(江晓安)	23.00
数字电路与系统设计(第二版)(邓元庆)	35.00
数字信号处理(第三版)(高西全)	29.00
电磁场与电磁波(第二版)(郭辉萍)	28.00
现代通信原理与技术(第二版)(张辉)	39.00
移动通信(第四版)(李建东)	30.00
移动通信(第二版)(章坚武)	24.00
物理光学与应用光学(第二版)(石顺祥)	42.00

数控机床故障分析与维修(高职)(第二版) 25.00

液压与气动技术(第二版)(朱梅)(高职) 23.00

~~~~~计算机提高普及类~~~~~

计算机应用基础(第三版)(丁爱萍)(高职)	22.00
计算机文化基础(高职)(游鑫)	27.00
计算机文化基础上机实训及案例(高职)	15.00
计算机科学与技术导论(吕辉)	22.00
计算机应用基础(高职)(赵钢)	29.00
计算机应用基础——信息处理技术教程	31.00
《计算机应用基础——信息处理技术教程》	

习题集与上机指导(张郭军) 14.00

计算机组装与维修(中职)(董小莉) 23.00

微型机组装与维护实训教程(高职)(杨文诚) 22.00

~~~~~计算机网络类~~~~~

计算机网络技术基础教程(高职)(董武)	18.00
计算机网络管理(雷震甲)	20.00
网络设备配置与管理(李飞)	23.00
网络安全与管理实验教程(谢晓燕)	35.00
网络安全技术(高职)(廖兴)	19.00
网络信息安全技术(周明全)	17.00
动态网页设计实用教程(蒋理)	30.00
ASP动态网页制作基础教程(中职)(苏玉雄)	20.00
局域网组建实例教程(高职)(尹建璋)	20.00
Windows Server 2003组网技术(高职)(陈伟达)	30.00
组网技术(中职)(俞海英)	19.00
综合布线技术(高职)(王趾成)	18.00
计算机网络应用基础(武新华)	28.00
计算机网络基础及应用(高职)(向隅)	22.00

~~~~~计算机技术类~~~~~

计算机系统结构与组成(吕辉)	26.00
电子商务基础与实务(第二版)(高职)	16.00
数据结构——使用 C++ 语言(第二版)(朱战立)	23.00
数据结构(高职)(周岳山)	15.00
数据结构教程——Java 语言描述(朱振元)	29.00
离散数学(武波)	24.00

软件工程(第二版)(邓良松)	22.00	微机装配调试与维护教程(王忠民)	25.00
软件技术基础(高职)(鲍有文)	23.00	《微机装配调试与维护教程》实训指导	22.00
软件技术基础(周大为)	30.00	~~~~~数据库及计算机语言类~~~~~	
嵌入式软件开发(高职)(张京)	23.00	C程序设计与实例教程(曾令明)	21.00
~~~~~计算机辅助技术及图形处理类~~~~~		程序设计与C语言(第二版)(马鸣远)	32.00
电子工程制图(第二版)(高职)(童幸生)	40.00	C语言程序设计课程与考试辅导(王晓丹)	25.00
电子工程制图(含习题集)(高职)(郑芙蓉)	35.00	Visual Basic.NET程序设计(高职)(马宏锋)	24.00
机械制图与计算机绘图(含习题集)(高职)	40.00	Visual C#.NET程序设计基础(高职)(曾文权)	39.00
电子线路CAD实用教程(潘永雄)(第三版)	27.00	Visual FoxPro数据库程序设计教程(康贤)	24.00
AutoCAD实用教程(高职)(丁爱萍)	24.00	数据库基础与Visual FoxPro9.0程序设计	31.00
中文版AutoCAD 2008精编基础教程(高职)	22.00	Oracle数据库实用技术(高职)(费雅洁)	26.00
电子CAD(Protel 99 SE)实训指导书(高职)	12.00	Delphi程序设计实训教程(高职)(占跃华)	24.00
计算机辅助电路设计Protel 2004(高职)	24.00	SQL Server 2000应用基础与实训教程(高职)	22.00
EDA技术及应用(第二版)(谭会生)	27.00	Visual C++基础教程(郭文平)	29.00
数字电路EDA设计(高职)(顾斌)	19.00	面向对象程序设计与VC++实践(揣锦华)	22.00
多媒体软件开发(高职)(含盘)(牟奇春)	35.00	面向对象程序设计与C++语言(第二版)	18.00
多媒体技术基础与应用(曾广雄)(高职)	20.00	面向对象程序设计——JAVA(第二版)	32.00
三维动画案例教程(含光盘)(高职)	25.00	Java程序设计教程(曾令明)	23.00
图形图像处理案例教程(含光盘)(中职)	23.00	JavaWeb程序设计基础教程(高职)(李绪成)	25.00
平面设计(高职)(李卓玲)	32.00	Access数据库应用技术(高职)(王趾成)	21.00
~~~~~操作系统类~~~~~		ASP.NET程序设计与开发(高职)(眭碧霞)	23.00
计算机操作系统(第二版)(颜彬)(高职)	19.00	XML案例教程(高职)(眭碧霞)	24.00
计算机操作系统(修订版)(汤子瀛)	24.00	JSP程序设计实用案例教程(高职)(翁健红)	22.00
计算机操作系统(第三版)(汤小丹)	30.00	Web应用开发技术:JSP(含光盘)	33.00
计算机操作系统原理——Linux实例分析	25.00	~~~~~电子、电气工程及自动化类~~~~~	
Linux网络操作系统应用教程(高职)(王和平)	25.00	电路(高赞)	26.00
Linux操作系统实用教程(高职)(梁广民)	20.00	电路分析基础(第三版)(张永瑞)	28.00
~~~~~微机与控制类~~~~~		电路基础(高职)(孔凡东)	13.00
微机接口技术及其应用(李育贤)	19.00	电子技术基础(中职)(蔡宪承)	24.00
单片机原理与应用实例教程(高职)(李珍)	15.00	模拟电子技术(高职)(郑学峰)	23.00
单片机原理与应用技术(黄惟公)	22.00	模拟电子技术(高职)(张凌云)	17.00
单片机原理与程序设计实验教程(于殿泓)	18.00	数字电子技术(高职)(江力)	22.00
单片机实验与实训指导(高职)(王曙霞)	19.00	数字电子技术(高职)(肖志锋)	13.00
单片机原理及接口技术(第二版)(余锡存)	19.00	数字电子技术(高职)(蒋卓勤)	15.00
新编单片机原理与应用(第二版)(潘永雄)	24.00	数字电子技术及应用(高职)(张双琦)	21.00
MCS-51单片机原理及嵌入式系统应用	26.00	高频电子技术(高职)(钟苏)	21.00
微机外围设备的使用与维护(高职)(王伟)	19.00	现代电子装联工艺基础(余国兴)	20.00
		微电子制造工艺技术(高职)(肖国玲)	18.00



Multisim电子电路仿真教程(高职)	22.00	信息论与编码(邓家先)	18.00
电工基础(中职)(薛鉴章)	18.00	密码学基础(范九伦)	16.00
电工基础(高职)(郭宗智)	19.00	通信原理(高职)(丁龙刚)	14.00
电子技能实训及制作(中职)(徐伟刚)	15.00	通信原理(黄葆华)	25.00
电工技能训练(中职)(林家祥)	24.00	通信电路(第二版)(沈伟慈)	21.00
电工技能实训基础(高职)(张仁醒)	14.00	通信系统原理教程(王兴亮)	31.00
电子测量技术(秦云)	30.00	通信系统与测量(梁俊)	34.00
电子测量技术(李希文)	28.00	扩频通信技术的应用(韦惠民)	26.00
电子测量仪器(高职)(吴生有)	14.00	通信线路工程(高职)	30.00
模式识别原理与应用(李弼程)	25.00	通信工程制图与概预算(高职)(杨光)	23.00
信号与系统(第三版)(陈生潭)	44.00	程控数字交换技术(刘振霞)	24.00
信号与系统实验(MATLAB)(党宏社)	14.00	光纤通信技术与设备(高职)(杜庆波)	23.00
信号与系统分析(和卫星)	33.00	光纤通信技术(高职)(田国栋)	21.00
数字信号处理实验(MATLAB版)	26.00	现代通信网概论(高职)(强世锦)	23.00
DSP原理与应用实验(姜阳)	18.00	电信网络分析与设计(阳莉)	17.00
电气工程导论(贾文超)	18.00	~~~~~仪器仪表及自动化类~~~~~	
电力系统的MATLAB/SIMULINK仿真及应用	29.00	现代测控技术(吕辉)	20.00
传感器应用技术(高职)(王煜东)	27.00	现代测试技术(何广军)	22.00
传感器原理及应用(郭爱芳)	24.00	光学设计(刘钧)	22.00
测试技术与传感器(罗志增)	19.00	工程光学(韩军)	36.00
传感器与信号调理技术(李希文)	29.00	测试技术基础(李孟源)	15.00
传感器技术(杨帆)	27.00	测试系统技术(郭军)	14.00
传感器及实用检测技术(高职)(程军)	23.00	电气控制技术(史军刚)	18.00
电子系统集成设计导论(李玉山)	33.00	可编程序控制器应用技术(张发玉)	22.00
现代能源与发电技术(邢运民)	28.00	图像检测与处理技术(于殿泓)	18.00
神经网络(含光盘)(侯媛彬)	26.00	自动检测技术(何金田)	26.00
电磁场与电磁波(曹祥玉)	22.00	自动显示技术与仪表(何金田)	26.00
电磁波——传输·辐射·传播(王一平)	26.00	电气控制基础与可编程控制器应用教程	24.00
电磁兼容原理与技术(何宏)	22.00	DSP在现代测控技术中的应用(陈晓龙)	28.00
微波与卫星通信(李白萍)	15.00	智能仪器工程设计(尚振东)	25.00
微波技术及应用(张瑜)	20.00	面向对象的测控系统软件设计(孟建军)	33.00
嵌入式实时操作系统μC/OS-II教程(吴永忠)	28.00	计量技术基础(李孟源)	14.00
音响技术(高职)(梁长垠)	25.00	~~~~~自动控制、机械类~~~~~	
现代音响与调音技术(第二版)(王兴亮)	21.00	自动控制理论(吴晓燕)	34.00
~~~~~通信理论与技术类~~~~~		自动控制原理(李素玲)	30.00
专用集成电路设计基础教程(来新泉)	20.00	自动控制原理(第二版)(薛安克)	24.00
现代编码技术(曾凡鑫)	29.00	自动控制原理及其应用(高职)(温希东)	15.00
信息论、编码与密码学(田丽华)	36.00	控制工程基础(王建平)	23.00

现代控制理论基础(舒欣梅)	14.00	数控加工与编程(第二版)(高职)(詹华西)	23.00
过程控制系统及工程(杨为民)	25.00	数控加工工艺学(任同)	29.00
控制系统仿真(党宏社)	21.00	数控加工工艺(高职)(赵长旭)	24.00
模糊控制技术(席爱民)	24.00	数控加工工艺课程设计指导书(赵长旭)	12.00
工程电动力学(修订版)(王一平)(研究生)	32.00	数控加工编程与操作(高职)(刘虹)	15.00
工程力学(张光伟)	21.00	数控机床与编程(高职)(饶军)	24.00
工程力学(皮智谋)(高职)	12.00	数控机床电气控制(高职)(姚勇刚)	21.00
理论力学(张功学)	26.00	数控应用专业英语(高职)(黄海)	17.00
材料力学(张功学)	27.00	机床电器与 PLC(高职)(李伟)	14.00
材料成型工艺基础(刘建华)	25.00	电机及拖动基础(高职)(孟宪芳)	17.00
工程材料及应用(汪传生)	31.00	电机与电气控制(高职)(冉文)	23.00
工程材料与应用(戈晓岚)	19.00	电机原理与维修(高职)(解建军)	20.00
工程实践训练(周桂莲)	16.00	供配电技术(高职)(杨洋)	25.00
工程实践训练基础(周桂莲)	18.00	金属切削与机床(高职)(聂建武)	22.00
工程制图(含习题集)(高职)(白福民)	33.00	模具制造技术(高职)(刘航)	24.00
工程制图(含习题集)(周明贵)	36.00	模具设计(高职)(曾霞文)	18.00
工程图学简明教程(含习题集)(尉朝闻)	28.00	冷冲压模具设计(高职)(刘庚武)	21.00
现代设计方法(李思益)	21.00	塑料成型模具设计(高职)(单小根)	37.00
液压与气压传动(刘军营)	34.00	液压传动技术(高职)(简引霞)	23.00
先进制造技术(高职)(孙燕华)	16.00	发动机构造与维修(高职)(王正键)	29.00
机械原理多媒体教学系统(资料)(书配盘)	120.00	机动车辆保险与理赔实务(高职)	23.00
机械工程科技英语(程安宁)	15.00	汽车典型电控系统结构与维修(李美娟)	31.00
机械设计基础(郑甲红)	27.00	汽车机械基础(高职)(姜万军)	29.00
机械设计基础(岳大鑫)	33.00	汽车底盘结构与维修(高职)(张红伟)	28.00
机械设计(王宁侠)	36.00	汽车车身电气设备系统及附属电气设备(高职)	23.00
机械设计基础(张京辉)(高职)	24.00	汽车单片机与车载网络技术(于万海)	20.00
机械基础(安美玲)(高职)	20.00	汽车故障诊断技术(高职)(王秀贞)	19.00
机械 CAD/CAM(葛友华)	20.00	汽车营销技术(高职)(孙华亮)	15.00
机械 CAD/CAM(欧长劲)	21.00	汽车使用性能与检测技术(高职)(郭彬)	22.00
机械 CAD/CAM 上机指导及练习教程(欧)	20.00	汽车电工电子技术(高职)(黄建华)	22.00
画法几何与机械制图(叶琳)	35.00	汽车电气设备与维修(高职)(李春明)	25.00
《画法几何与机械制图》习题集(邱龙辉)	22.00	汽车使用与技术管理(高职)(边伟)	25.00
机械制图(含习题集)(高职)(孙建东)	29.00	汽车空调(高职)(李祥峰)	16.00
机械设备制造技术(高职)(柳青松)	33.00	汽车概论(高职)(邓书涛)	20.00
机械制造基础(高职)(郑广花)	21.00	现代汽车典型电控系统结构原理与故障诊断	25.00

欢迎来函索取本社书目和教材介绍! 通信地址: 西安市太白南路 2 号 西安电子科技大学出版社发行部
 邮政编码: 710071 邮购业务电话: (029)88201467 传真电话: (029)88213675。

目 录

绪论	1	小结	27
0.1 电机概述	1	思考与练习题	28
0.1.1 电机的主要类型	1		
0.1.2 电机及电力拖动技术在国民经济中的作用	2		
0.2 本课程的性质、内容和学习方法	2		
第1章 直流电机	4	第2章 直流电动机的电力拖动	30
1.1 直流电机的基本工作原理	4	2.1 电力拖动系统的运动方程式	30
1.1.1 直流发电机的基本工作原理	4	2.1.1 单轴电力拖动系统的运动方程式	31
1.1.2 直流电动机的基本工作原理	6	2.1.2 电力拖动系统的运动状态分析	32
1.1.3 直流电机的可逆原理	7	2.2 生产机械的负载转矩特性	33
1.2 直流电机的基本结构与铭牌	7	2.3 他励直流电动机的机械特性	34
1.2.1 直流电机的基本结构	7	2.3.1 他励直流电动机的机械特性方程式	34
1.2.2 直流电机的铭牌	11	2.3.2 他励直流电动机的固有机械特性	35
1.2.3 直流电机的主要系列	13	2.3.3 他励直流电动机的人为机械特性	36
1.3 直流电机的磁场	13	2.3.4 电力拖动系统稳定运行的条件	37
1.3.1 直流电机的励磁方式	14	2.4 他励直流电动机的启动和反转	38
1.3.2 直流电机的空载磁场和磁化曲线	14	2.4.1 他励直流电动机的启动	38
1.3.3 直流电机的负载磁场和电枢反应	16	2.4.2 他励直流电动机的反转	40
1.4 直流电机的基本公式	17	2.5 他励直流电动机的调速	41
1.4.1 直流电机的电枢电动势	17	2.5.1 调速指标	41
1.4.2 直流电机的电磁转矩	18	2.5.2 他励直流电动机的调速方法	42
1.4.3 直流电机的电磁功率	18	2.6 他励直流电动机的制动	47
1.5 直流电动机的运行原理	19	2.6.1 能耗制动	47
1.5.1 电动势平衡方程式	19	2.6.2 反接制动	50
1.5.2 转矩平衡方程式	19	2.6.3 回馈制动	53
1.5.3 功率平衡方程式	20	小结	54
1.6 直流电动机的工作特性	22	思考与练习题	55
1.6.1 他励直流电动机的工作特性	22		
1.6.2 串励直流电动机的工作特性	24	第3章 变压器	57
* 1.7 直流电机的换向	25	3.1 变压器的基本工作原理和基本结构	57
1.7.1 直流电机的换向过程	25	3.1.1 变压器的基本工作原理	57
1.7.2 影响换向的电磁原因	26	3.1.2 变压器的应用和分类	58
1.7.3 改善换向的方法	26	3.1.3 变压器的基本结构	59
		3.1.4 变压器的铭牌与主要系列	62

3.2 单相变压器的空载运行	64	4.4 三相异步电动机的空载运行	110
3.2.1 空载运行时的物理状况	64	4.4.1 空载运行时的物理情况	110
3.2.2 感应电动势和漏电动势	65	4.4.2 电动势平衡方程式和等效 电路	111
3.2.3 空载电流和空载损耗	66	4.5 三相异步电动机的负载运行	111
3.2.4 电动势平衡方程式和等效电路	66	4.5.1 负载运行时的物理情况	111
3.2.5 空载运行时的相量图	67	4.5.2 负载运行时的基本方程式	112
3.3 单相变压器的负载运行	68	4.5.3 负载运行时的等效电路	113
3.3.1 负载运行时的物理状况	68	4.6 三相异步电动机的功率和转矩	118
3.3.2 负载运行时的基本方程式	69	4.6.1 功率转换过程	118
3.3.3 负载运行时的等效电路	69	4.6.2 功率平衡方程式	119
3.4 变压器参数的测定	72	4.6.3 转矩平衡方程式	119
3.4.1 空载试验	72	4.7 三相异步电动机的工作特性	121
3.4.2 短路试验	73	4.8 三相异步电动机参数的测定	122
3.5 变压器的运行特性	76	4.8.1 空载试验	122
3.5.1 变压器的外特性和电压变化率	76	4.8.2 堵转试验	124
3.5.2 变压器的损耗和效率特性	77	小结	125
3.6 三相变压器	79	思考与练习题	127
3.6.1 三相变压器的磁路系统	79		
3.6.2 三相变压器的电路系统—— 连接组	80		
3.6.3 三相变压器的并联运行	84		
3.7 其他常用变压器	85		
3.7.1 自耦变压器	85		
3.7.2 仪用互感器	87		
小结	88		
思考与练习题	89		

第4章 三相异步电动机

4.1 三相异步电动机的基本工作原理	93
4.1.1 三相交流电的旋转磁场和 旋转磁动势	93
4.1.2 三相异步电动机的基本工作 原理	96
4.2 三相异步电动机的基本结构和铭牌	97
4.2.1 三相异步电动机的基本结构	97
4.2.2 三相异步电动机的铭牌	101
4.2.3 三相异步电动机的主要系列 简介	102
4.3 三相异步电动机的定子绕组和 感应电动势	103
4.3.1 交流绕组的基本知识	103
4.3.2 三相单层绕组的排列和连接	105
4.3.3 异步电动机的感应电动势	109

第5章 三相异步电动机的电力

拖动

5.1 三相异步电动机的电磁转矩 表达式	129
5.1.1 电磁转矩的物理表达式	129
5.1.2 电磁转矩的参数表达式	130
5.1.3 电磁转矩的实用表达式	132
5.2 三相异步电动机的机械特性	132
5.2.1 固有机械特性	133
5.2.2 人为机械特性	134
5.3 三相异步电动机的启动	136
5.3.1 三相笼型异步电动机的启动	136
5.3.2 三相绕线转子异步电动机的 启动	142
5.4 三相异步电动机的制动	144
5.4.1 能耗制动	144
5.4.2 反接制动	146
5.4.3 回馈制动	148
5.5 三相异步电动机的调速	149
5.5.1 变极调速	150
5.5.2 变频调速	153
5.5.3 改变转差率调速	155
小结	159
思考与练习题	160

第 6 章 其他交流电动机	162	7.4.2 控制式自整角机的工作原理	198
6.1 单相异步电动机	162	7.5 旋转变压器	199
6.1.1 单相绕组异步电动机的工作 原理	162	7.5.1 正弦旋转变压器的工作 原理	200
6.1.2 单相异步电动机的主要类型和 启动方法	163	7.5.2 线性旋转变压器的工作原理	200
6.1.3 单相异步电动机的应用	165	小结	201
6.2 三相同步电动机	167	思考与练习题	202
6.2.1 三相同步电动机的基本结构	167	第 8 章 电力拖动系统中电动机的 选择	203
6.2.2 三相同步电动机的工作原理	168	8.1 电动机种类、电压、转速和结构 形式的选择	203
6.2.3 三相同步电动机的相量图与 电磁功率	169	8.1.1 电动机种类的选择	203
6.2.4 同步电动机的 V 形曲线及功率 因数调节	170	8.1.2 电动机电压等级的选择	204
6.2.5 同步电动机的启动	171	8.1.3 电动机额定转速的选择	204
* 6.3 单相(微型)同步电动机	172	8.1.4 电动机结构形式的选择	205
6.3.1 永磁式同步电动机	172	8.2 电动机容量选择的基本知识	205
6.3.2 磁阻式(反应式)同步电动机	173	8.2.1 电动机的温升和绝缘	205
6.3.3 磁滞式同步电动机	174	8.2.2 电动机的发热和冷却	206
* 6.4 直线异步电动机	175	8.3 电动机容量选择的基本方法	209
6.4.1 直线异步电动机的工作原理	175	8.3.1 连续工作制电动机容量的 选择	209
6.4.2 直线异步电动机的结构形式	176	8.3.2 短时工作制电动机容量的 选择	211
小结	178	8.3.3 断续周期工作制电动机容量的 选择	213
思考与练习题	179	8.3.4 选择电动机容量的统计法和 类比法	214
第 7 章 控制电机	180	小结	215
7.1 伺服电动机	180	思考与练习题	215
7.1.1 直流伺服电动机	181	附录 本课程中常用的基础知识	217
7.1.2 交流伺服电动机	184	附录 A 磁场及其基本物理量	217
7.2 步进电动机	188	附录 B 安培定律及电磁感应定律	219
7.2.1 三相磁阻式步进电动机的结构 和工作原理	188	附录 C 常用铁磁材料及其特性	220
7.2.2 步进电动机的应用	192	附录 D 磁路的概念和基本定律	225
7.3 测速发电机	193	参考文献	231
7.3.1 直流测速发电机	193		
7.3.2 交流测速发电机	195		
7.4 自整角机	196		
7.4.1 力矩式自整角机的工作原理	197		

绪 论

0.1 电机概述

电机是一种利用电磁感应定律和安培定律对能量或信号进行转换或变换的电磁机械装置。

0.1.1 电机的主要类型

电机的种类繁多,按其功能分类,可分成常规电机和控制电机,具体分类如图 0-1 所示。

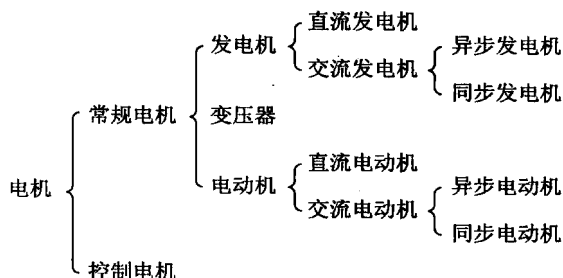


图 0-1 电机的分类

常规电机的主要任务是完成能量的转换,其功能如下:

发电机——将机械能转换成电能输出;

电动机——将电能转换成机械能输出,主要用于电力拖动系统中,带动生产机械运转;

变压器——将一种电压等级的交流电能变换成同频率的另一种电压等级的交流电能。

控制电机的主要任务是完成控制信号的传递和转换,通常用于自动控制系统中,作为检测、校正及执行元件。其主要包括交、直流伺服电动机,步进电动机,交、直流测速发电机,自整角机,旋转变压器等。部分控制电机的功能如下:

伺服电动机——将控制电压信号转换成转轴上的角位移或角速度输出,作执行元件;

步进电动机——将电脉冲信号转换成转轴上的角位移或线位移输出,作执行元件或驱动元件;

测速发电机——将转速信号转换成电压信号输出,主要作检测元件。

0.1.2 电机及电力拖动技术在国民经济中的作用

在国民经济生产中,电机工业是机械工业的一个重要组成部分,电机是机电一体化中机和电的结合部分,是机电一体化的一个很重要的基础,电机可称为电气化的心脏。电机对国民经济的发展起着重要的作用,并随着国民经济和科学技术的发展而不断发展。

电机的发展与电能的发展紧密联系在一起。电能是现代社会一种最主要的能源,这主要是由于它的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,而要实现电能的生产、变换、传输、分配、使用和控制都离不开电机。

在电力工业中,发电机和变压器是电站和变电所的主要设备。在电站,利用发电机可将原始能源(如水力、风力、热力、化学能、太阳能、核能等)转换为电能。在变电所,电能远距离传输前,须用升压变压器把发电机发出的低压交流电变换成高压交流电,而电能供给用户使用前,须用降压变压器把来自高压电网的高电压变换成低电压后才能安全使用。在机械、冶金、化工等工业企业中,大量应用电动机把电能转换为机械能,去拖动机床、起重机、轧钢机、电铲、抽水机、鼓风机等各种生产机械。在现代化农业生产中,电力排灌、播种、收割等农用机械都需要规格不同的电动机去拖动。在交通运输业中,电车、地铁、电动自行车、电梯、飞机、轮船等也需要各种电动机。在医疗器械及家用电器中也离不开功能各异的小功率电动机。在工业、航天和国防科学等领域的自动控制技术中,各式各样小巧灵敏的控制电机被广泛地作为检测、放大、执行和解算元件。

在现代工业、农业、交通运输等各行业,为了实现生产工艺过程的各种要求,需要广泛采用各种各样的生产机械,其中,一部分生产机械采用气动或液压拖动,而大多数生产机械都采用电动机拖动,即电力拖动。

电力拖动具有其他拖动方式无法比拟的优点:第一,电力拖动比以蒸汽、水力、压缩空气等为动力的拖动效率高,且电动机与被拖动机械的连接简便;第二,电力拖动所用的电动机类型很多,不同的电动机具有不同的运行特性,可满足不同生产机械的需要;第三,电力拖动系统各参数的检测、信号的变换与传送方便,易于实现自动控制。因此,电力拖动已成为现代工农业中最广泛的拖动方式,而且随着近代电力电子技术和计算机技术的发展以及自动控制理论的应用,电力拖动控制装置的特性品质正在得到不断的提高,从而可提高生产机械运转的准确性、可靠性、快速性和生产过程的自动化程度,便于提高劳动生产率和产品质量,所以电力拖动也是实现工业电气自动化的基础,在国民经济发展中发挥着越来越重要的作用。现在,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,已经出现了大批自动生产线,而且一些自动化车间和自动化工厂已经在我国出现。

0.2 本课程的性质、内容和学习方法

本课程是工业电气自动化、电气技术、机电一体化等电气类专业的一门重要的专业基础课,既有基础性又有专业性。

“电机及拖动基础”是“电机原理”和“电力拖动基础”两门课程内容的有机结合,主要分析研究直流电机、变压器、三相异步电动机的基本理论及其电力拖动的基本规律,简单介绍常用交流电机、常用控制电机的原理及应用和电力拖动系统电动机容量的选择问题。

本课程主要运用“物理”、“电工基础”等基础课的基本理论来分析研究各类电机内部的电磁物理过程,从而得出各类电机的一般规律及其各异的特性。但它与“物理”、“电工基础”等基础课的性质不同,在“电机及拖动基础”课程中,不仅有理论的分析推导、磁场的抽象描述,而且还要用基本理论去分析研究比较复杂的带有机、电、磁综合性的工程实际问题,这是本课程的特点,也是学习的难点。因此,必须要有一个良好的学习方法,才能学好本课程。这里提供以下学习方法供大家参考:

(1) 学习之前,必须理解与掌握电和磁的基本概念,能够熟练运用电磁感应定律、安培定律、电路和磁路定律、力学、机械制图等已学过的知识。

(2) 学习过程中,对于电机结构,要弄清各主要部件的组成和作用;对于有关公式,要从物理概念上去理解和记忆,不要死记硬背。本课程涉及电机的类型较多,要注意各种电机结构的异同点、电磁关系和能量转换关系的异同点、拖动问题的异同点等,运用总结对比的方法融会贯通,加深理解。分析实际问题时,要运用工程的观点和方法,突出主要矛盾,忽略次要矛盾,从而简化实际问题的分析和计算。

(3) 为了提高课堂教学效果,课前应预习,一是对相关的已学知识进行回顾和补遗,二是对将要学到的内容浏览一遍,对新的名词和术语及相关内容有所了解,便于有的放矢地听课;课后应及时复习和小结,并选做适当的思考与练习题,以巩固所学的理论知识,提高理解和应用能力。

(4) 必须进行必要的实验和实习,一是对基本理论进行验证,二是培养和提高学生的实际操作技能和工作能力。

“电机及拖动基础”课程将为后续课程——“工厂电气控制设备”、“电力电子技术”、“自动控制理论”、“调速系统”等的学习作基础知识准备,为日后工作中对电力拖动设备的技术管理和生产第一线选配、安装调试、操作、维护与检修电力拖动设备打下良好的基础。

第1章 直流电机

【学习目标】

- (1) 熟练掌握直流电机的基本工作原理。
- (2) 熟悉直流电机的基本结构，理解铭牌数据的含义。
- (3) 理解直流电机的励磁方式、磁场的产生及电枢反应。
- (4) 理解和掌握感应电动势、电磁转矩、电磁功率等基本公式。
- (5) 掌握他励直流电动机运行时的基本方程式和工作特性。
- (6) 了解直流电机的换向。

直流电机是将直流电能与机械能进行相互转换的旋转电机，将机械能转换为直流电能的是直流发电机，将直流电能转换为机械能的是直流电动机。

与交流电机相比，直流电机结构复杂，成本高，维修不便，而且有换向问题。但直流电动机具有良好的启动性能和调速性能，所以它仍被广泛应用于启动和调速要求较高的生产机械中，如起重机、矿井提升设备、电力机车、龙门刨床、轧钢机等。在自动控制系统中，小容量的直流电动机应用也很广泛。直流发电机则作为各种直流电源使用。目前，由晶闸管整流元件组成的直流电源正逐步取代直流发电机，但因直流发电机的供电质量较好，故在一些特殊工作场所仍被应用，如作为大型同步发电机的励磁电源以及在电解、电镀和某些化工工业中的应用。

本章主要介绍直流电机的基本工作原理、结构和运行特性。

1.1 直流电机的基本工作原理

1.1.1 直流发电机的基本工作原理

直流发电机的工作原理是基于电磁感应定律的。电磁感应定律告诉我们，在均匀磁场中，当导体切割磁感应线时，导体中就有感应电动势产生。若磁感应线、导体及其运动方向三者相互垂直，则导体中产生的感应电动势 e 的大小为

$$e = B_x l v \quad (1-1)$$

式中： B_x ——磁感应强度或磁通密度(T 或 Wb/m^2)；

l ——导体切割磁感应线的有效长度(m)；

v ——导体与磁场的相对切割速度(m/s);

e ——导体上的感应电动势(V)。

由式(1-1)可知,对于长度一定的导体来说,导体中感应电动势的大小由导体所在处的磁感应强度和导体切割磁场的速度所决定,而感应电动势的方向可由右手定则来确定。

图1-1是一台最简单的直流发电机的工作原理图。N和S是一对固定的磁极,两磁极之间有一个可以转动的圆柱体铁芯,称为电枢铁芯。在电枢铁芯表面的槽内放置了一个电枢线圈 $abcd$,线圈的两端分别接到相互绝缘的两个圆弧形铜片(称为换向片)上,由换向片构成的圆柱体称为换向器,换向片分别与固定不动的电刷A和B保持滑动接触,这样,线圈 $abcd$ 就可以通过换向片和电刷与外电路接通。电枢铁芯、电枢绕组和换向器构成的整体称为转子或电枢。电枢在原动机拖动下转动,把机械能转变为电能供给接在两电刷间的负载。

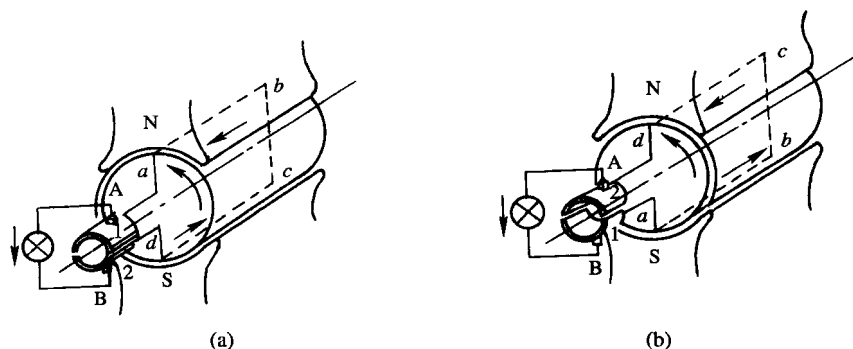


图1-1 直流发电机的工作原理图

(a) ab 边在N极下、 cd 边在S极下的电动势方向;(b) 转子转过 180° 后的电动势方向

在图1-1(a)中,当电枢逆时针恒速旋转使 ab 边在N极下、 cd 边在S极下时,根据电磁感应定律可知,线圈的 ab 、 cd 两边将因切割磁感应线而产生感应电动势,由右手定则可以判断出感应电动势的方向为 $d \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow a$,电刷A为正极,电刷B为负极。外电路上的电流方向是由正极A流出,经负载流向负极B。

当电枢转过 180° 之后,如图1-1(b)所示,此时线圈的电动势方向变为 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d$,电刷A原来与换向片1接触,现在变为与换向片2接触,电刷B原来与换向片2接触,现在变为与换向片1接触,这样电刷A仍为正极,电刷B仍为负极。

以上分析表明,当原动机拖动电枢线圈旋转时,线圈中的感应电动势方向是变化的,即为交流电动势,而通过换向器和电刷的作用,在电刷A、B间输出的电动势的方向是不变的,即为直流电动势。若在电刷A、B间接上负载,发电机就能向负载提供直流电能,这就是直流发电机的工作原理。

例1.1 如图1-1中的直流发电机,若顺时针旋转,电刷两端的电动势极性有何变化?还有什么因素会引起同样的变化?

答 在图1-1(a)所示位置,当直流发电机顺时针旋转时,用右手定则可判断出线圈中感应电动势的方向为 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d$,通过换向片与电刷的滑动接触可知,电刷B为正极性,电刷A为负极性。所以改变直流发电机电枢旋转方向就可以改变输出电动势的极性。

由右手定则可知,决定感应电动势方向的因素有两个:一是导体切割磁感应线的方向