

高等学校教材

Gao Deng Xue Xiao Jiao Cai

电机与拖动

DIANJI YU TUODONG

唐介 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

高等学校教材

电机与拖动

唐介 主编

http://www.cer.com.cn
http://www.cer.com.cn
http://www.cer.com.cn

编：唐介 主编
副编：唐介 主编
主编：唐介

高等教育出版社

25.50 册
100.054 册

地址：北京市西城区德胜门内大街 2 号 邮编：100089 电话：010-62040071
发行：北京发行所 电话：010-62040071

内容简介

本书是从 21 世纪初人才培养的要求出发,结合多年教学改革的经验 and 成果编写的。

全书分上、下两篇。上篇为电机与拖动基础,包括磁路、变压器、异步电机的基本理论、异步电机的电力拖动、同步电机的基本理论、同步电机的电力拖动、直流电机的基本理论、直流电机的电力拖动、控制电机、电动机的选择、电力拖动系统的动力学基础等。下篇为电机与拖动实验,包括单相变压器实验、三相变压器实验、笼型三相异步电动机实验、绕线型三相异步电动机实验、三相同步电动机实验、三相同步发电机实验、直流发电机实验、直流电动机实验等。

本书可作为高等学校自动化和电气工程等专业的教科书,也可作为成人高等教育的教材,还可以供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电机与拖动/唐介主编. —北京:高等教育出版社,
2003.7

ISBN 7-04-011864-5

I. 电... II. 唐... 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(2003)第 043453 号

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 100011
总 机 010-82028899

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
印 刷 北京市朝阳区北苑印刷厂

开 本 787×960 1/16
印 张 22.75
字 数 420 000

版 次 2003 年 7 月第 1 版
印 次 2003 年 7 月第 1 次印刷
定 价 28.40 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

前 言

本书是从 21 世纪人才培养的要求出发,结合我校在本课程教学改革中的经验和成果编写的。供大学本科自动化和电气工程等专业使用。

随着社会、经济和科技的发展,人类认识和实践领域的扩大和加深,学生需要学习和了解的新知识明显增加。从人才培养的总体要求出发,知识的重新组织和分配势在必行,本课程的学时就不得不有所减少,面对这一新情况、新要求、新形势,在分析了当前教学的现状和社会需要的基础上,为贯彻和适应创新教育和素质教育的精神,我们确定以保证基础知识、降低理论深度、加强工程应用、更新内容体系作为本教材编写的基本依据和主要特点。

为了充分利用现代化科技手段,提高教学的现代化水平,我们还将编制与本教材配套的多媒体课件或电子教案,并通过教学手段的更新,促进教学方法的改革,以增加课堂的信息量,注重培养学生的自学能力和创新精神。

本教材包括上、下两篇。上篇为电机与拖动基础,教学时数为 64 学时左右。下篇为电机与拖动实验,教学时数为 12 学时左右。书中打 * 号的部分是供选用的内容。

参加本书编写的有唐介(主编)、刘烧(上篇第 1、2 章)、徐占国(上篇第 3、4、10 章)、刘凤春(上篇第 5、6、9 章)、刘文琦(上篇第 7、8、11 章)、刘华毅(下篇)。

本书经大连理工大学马鉴教授仔细审阅,提出了宝贵的修改意见。在此,表示衷心感谢。

由于我们的水平有限,加之编写时间比较仓促,书中错误和不妥之处在所难免,殷切希望使用本教材的同仁、学生和其他读者给予批评指正。

编者

2003 年 1 月

主要参考文献

- 1 汤蕴璆,史乃. 电机学. 北京:机械工业出版社,2000年
- 2 顾绳谷. 电机及拖动基础(第2版). 北京:机械工业出版社,2000年
- 3 彭鸿才. 电机原理及拖动. 北京:机械工业出版社,2001年
- 4 李海发. 电机学. 北京:科学出版社,2001年
- 5 唐介. 控制微电机. 北京:高等教育出版社,1987年

策划编辑 金春英
责任编辑 王莉莉
封面设计 于文燕
责任绘图 朱静
版式设计 王艳红
责任校对 戈捷
责任印制 杨明

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 82028899 转 6897 (010)82086060

传真：(010) 82086060

E-mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社法律事务部

邮编：100011

购书请拨打读者服务部电话：(010)64054588

目 录

绪论	1
上篇 电机与拖动基础	
第 1 章 磁路	5
1.1 磁场的基本物理量	5
1.2 物质的磁性能	6
1.3 磁路的基本定律	9
1.4 铁心线圈电路	14
练习题	17
第 2 章 变压器	19
2.1 变压器的工作原理	19
2.2 变压器的基本结构	24
2.3 变压器的运行分析	29
2.4 变压器的参数测定	34
2.5 变压器的运行特性	39
2.6 三相变压器的联结组	42
2.7 三相变压器的并联运行	46
2.8 自耦变压器	50
2.9 三绕组变压器	52
2.10 仪用互感器	54
* 2.11 小容量变压器的设计	56
练习题	58
第 3 章 异步电机的基本理论	61
3.1 三相异步电动机的工作原理	61
3.2 三相异步电动机的基本结构	66
3.3 三相绕组的电动势和磁通势	76
3.4 三相异步电动机的电动势和磁通势平衡方程式	83
3.5 三相异步电动机的运行分析	86
3.6 三相异步电动机的功率和转矩	92
3.7 三相异步电动机的运行特性	96
3.8 单相异步电动机	96
* 3.9 三相直线异步电动机	99

* 3.10 三相异步发电机	101
练习题	103
第 4 章 异步电机的电力拖动	106
4.1 三相异步电动机的机械特性	106
4.2 电力拖动系统的稳定运行	115
4.3 三相异步电动机的起动	118
4.4 三相异步电动机的调速	129
4.5 三相异步电动机的制动	142
练习题	147
第 5 章 同步电机的基本理论	149
5.1 三相同步电机的工作原理	149
5.2 三相同步电机的基本结构	152
5.3 三相隐极同步电动机的运行分析	155
5.4 三相凸极同步电动机的运行分析	159
5.5 三相同步电动机的功率和转矩	163
5.6 三相同步电动机的运行特性	165
5.7 三相同步电动机功率因数的调节	167
* 5.8 微型同步电动机	169
5.9 三相隐极同步发电机的运行分析	171
5.10 三相凸极同步发电机的运行分析	174
5.11 三相同步发电机的功率和转矩	176
5.12 三相同步发电机的运行特性	178
5.13 同步发电机与电网的并联运行	179
* 5.14 同步发电机的三相突然短路	183
练习题	184
第 6 章 同步电动机的电力拖动	187
6.1 三相同步电动机的机械特性	187
6.2 三相同步电动机的起动	189
6.3 三相同步电动机的调速	190
6.4 三相同步电动机的制动	193
* 6.5 开关磁阻电动机	194
练习题	195
第 7 章 直流电机的基本理论	196
7.1 直流电机的工作原理	196
7.2 直流电机的基本结构	199
7.3 直流电机的电枢反应	204
7.4 直流电机的电磁转矩和电动势	205
7.5 直流电动机的运行分析	207

7.6	直流电动机的功率和转矩	213
7.7	直流发电机的运行分析	215
7.8	直流发电机的功率和转矩	222
	练习题	224
第 8 章	直流电动机的电力拖动	227
8.1	他励直流电动机的机械特性	227
8.2	他励直流电动机的起动	230
8.3	他励直流电动机的调速	235
8.4	他励直流电动机的制动	239
8.5	他励电动机在四象限中的运行状态	250
8.6	并励直流电动机的电力拖动	251
* 8.7	串励直流电动机的电力拖动	252
* 8.8	复励直流电动机的电力拖动	254
	练习题	254
第 9 章	控制电机	257
9.1	伺服电动机	257
9.2	直流量矩电动机	263
9.3	步进电机	264
9.4	测速发电机	268
9.5	自整角机	271
9.6	旋转变压器	275
* 9.7	感应同步器	281
	练习题	283
第 10 章	电动机的选择	284
10.1	电动机选择的基本内容	284
10.2	电机的发热和冷却	287
10.3	电机的工作制	288
10.4	电机的允许输出功率	291
10.5	恒定负载电动机额定功率的选择	293
10.6	变动负载电动机额定功率的选择	296
	练习题	301
第 11 章	电力拖动系统的动力学基础	304
11.1	电力拖动系统的组成	304
11.2	典型生产机械的运动形式	305
11.3	电力拖动系统的运动方程式	306
11.4	多轴旋转系统的折算	309
11.5	平移运动系统的折算	312
11.6	升降运动系统的折算	314

* 11.7 电力拖动系统的暂态过程	317
练习题	319
练习题答案	321
下篇 电机与拖动实验	
实验须知	329
实验 1 单相变压器实验	329
实验 2 三相变压器实验	333
实验 3 笼型三相异步电动机实验	336
实验 4 绕线型三相异步电动机实验	341
实验 5 三相同步电动机实验	343
实验 6 三相同步发电机实验	345
实验 7 直流发电机实验	347
实验 8 直流电动机实验	351
主要参考文献	354

绪 论

电机是实现能量转换和信号转换的电磁装置。用作能量转换的电机称为动力电机,用作信号转换的电机称为控制电机。

动力电机中,将机械能转换成电能的称为发电机;将电能转换成机械能的称为电动机。任何电机,理论上既可作发电机运行,也可作电动机运行,所以电机是一种双向的机电能量变换装置,这一特性称为电机的可逆原理。

按电流种类的不同,动力电机又分交流电机和直流电机两大类。交流电机按工作原理的不同又分为异步电机(感应电机)和同步电机两种。每种又有单相和三相之分。直流电机按励磁方式的不同有他励电机、并励电机、串励电机和复励电机四种。

控制电机的种类也很多,在自动控制系统中常用作检测、放大、执行和校正等元件使用,容量和体积一般都比较小。

变压器虽然是一种静止的电器,但它也是一种能量转换的电磁装置,也属本课程的范畴。

拖动是指用电动机来拖动生产机械运动,以完成一定的生产任务。

电能的应用已遍及各行各业乃至人类的日常生活。在当今社会,没有电能是不可想象的。作为电能生产、输送、转换和应用的基本装置的电机在国民经济和社会生活中具有举足轻重的地位,因而本课程是一门重要的技术基础课。

本课程主要介绍电机的基本理论、拖动的基本方法以及实验的基本技能。本教材分为上、下两篇。上篇为电机与拖动基础;下篇为电机与拖动实验。课程的主要内容和重点放在基本知识、基本理论和基本技能上。

上篇

电机与拖动基础

第 1 章

磁 路

电机(包括变压器和旋转电机)是一种机电能量转换或信号转换的电磁机械装置,磁场是其实现能量转换、传递或储存的媒介。除某些容量很小的微型电机的磁场是由永久磁铁产生的以外,在大多数情况下,磁场都是用电流来产生的,而且把磁场集中在一定的范围之内,形成磁路。因而本章围绕磁路进行研究,先介绍磁场的基本概念,再讨论磁路的基本定律,进而讨论磁路的计算方法。

1.1 磁场的基本物理量

磁场可由电流产生,整个磁场的情况可形象地用磁感线来描述,磁感线是闭合的曲线,且与闭合电路相交链,其方向与产生该磁场的电流方向符合右手螺旋定则。磁感线上每一点的切线方向与该点磁场的方向一致,而磁场的强弱则可用磁感线的疏密程度显示。

若磁感线是一组间距相等的平行线时,这种磁场称为均匀磁场。

在对磁场进行分析和计算时,常用到以下几个物理量:

(1) 磁通 Φ

磁场中穿过某一截面积 A 的总磁感线数称为通过该面积的磁通量,简称磁通(magnetic flux),用 Φ 表示,其单位为韦[伯](Wb)。

(2) 磁感应强度 B

磁感应强度(flux density)是描述磁介质中实际的磁场强弱和方向的物理量,它是一个矢量,用 B 表示,其数值表示磁场的强弱,其方向表示磁场的方向。在均匀磁场中,若通过与磁感线垂直的某面积 A 的磁通为 Φ ,则

$$B = \frac{\Phi}{A} \quad (1.1.1)$$

即磁感应强度在数值上就是与磁场方向垂直的单位面积上通过的磁通,所以磁感应强度也称为磁通密度。 B 的单位为特[斯拉](T), A 的单位为平方米(m^2)。

(3) 磁场强度 H

磁场强度(magnetic field intensity)是进行磁场计算时引入的一个辅助物理量。磁场强度是一个矢量,用 H 表示。其方向与 B 的方向相同,即磁场方向。它并非磁介质中某点磁场强弱与方向的实际值。在数值上 H 和 B 不相等,这可通过电流在无限大均匀介质中所产生的磁场为例来说明它们的区别。在该磁场中,除电流产生的磁场外,介质被磁化后还会产生附加磁场。 H 与 B 的主要区别是: H 代表电流本身产生的磁场的强弱,反映了电流的励磁能力,其大小只与产生该磁场的电流的大小成正比,与介质的性质无关; B 代表电流所产生的以及介质被磁化后所产生的总磁场的强弱,其大小不仅与电流的大小有关,还与介质的性质有关。 H 的单位为安每米(A/m)。

(4) 磁导率 μ

磁感应强度 B 与磁场强度 H 之比称为磁导率(Permeability),用 μ 表示,即

$$\mu = \frac{B}{H} \quad (1.1.2)$$

它是衡量物质导磁能力的物理量,单位是亨每米(H/m)。

真空的磁导率为一常数,用 μ_0 表示,其值为

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m} \quad (1.1.3)$$

1.2 物质的磁性能

自然界的物质按照磁导率的不同,大体上可分为两大类:磁性物质(magnetic material)和非磁性物质(non-magnetic material)。

非磁性物质亦称非铁磁物质,其磁导率 μ 近似等于真空的磁导率 μ_0 。它又分为顺磁物质和反磁物质两种。顺磁物质(如变压器油和空气)的 μ 稍大于 μ_0 ,反磁物质(如铜和铋)的 μ 稍小于 μ_0 。工程上将非磁性物质的 μ 均视为等于 μ_0 。非磁性物质的 B 和 H 成线性关系。

磁性物质亦称铁磁物质,其磁性能主要有以下几点。

1. 高导磁性

磁性物质的 $\mu \gg \mu_0$,二者之比可达数百至数万。如铸钢的 μ 约为 μ_0 的 1 000