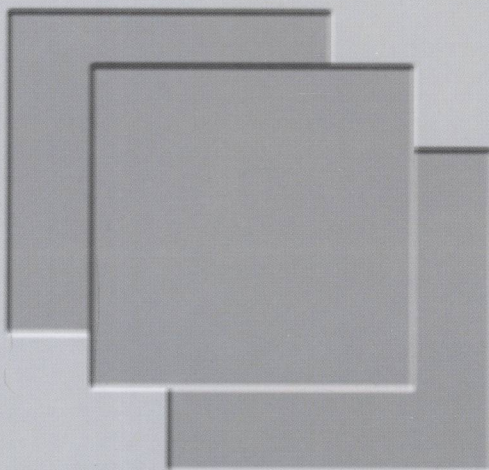




全国高职高专电气类精品规划教材

电机技术

主编 魏涤非 戴源生



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

全国高职高专电气类精品规划教材

电机技术

主 编 魏涤非 戴源生

副主编 陈吉芳 黄兰英 宋 杰 王志勇



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

全教材共分为变压器篇、同步电机篇、异步电机篇、其他电机篇，共 17 章。

本教材介绍了变压器、同步电机、异步电机、直流电机、电力行业常用微特电机的工作原理、外特性和基本结构，重点介绍了变压器和同步发电机的运行原理、运行特性和常见故障。每章末附有小结与习题，以便学习。

本教材旨在突出高职高专教材特点，注重知识的应用，避免繁琐的数学推导。

本教材可供电力工程专业高职高专学生使用，也可作为其他电气类专业高职高专学生、电力行业电气工程技术人員、电气值班员、全能值班员的参考书或培训教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

电机技术/魏涤非，戴源生主编．—北京：中国水利水电出版社，2004.8（2007 重印）
全国高职高专电气类精品规划教材
ISBN 978-7-5084-2287-9

I. 电… II. ①魏…②戴… III. 电机学—高等学校：技术学校—教材 IV. TM3

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2004）第 075040 号

书 名	全国高职高专电气类精品规划教材 电机技术
作 者	主编 魏涤非 戴源生
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×230mm 16 开本 20.5 印张 400 千字
版 次	2004 年 8 月第 1 版 2012 年 1 月第 8 次印刷
印 数	30101—32100 册
定 价	37.00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

序

教育部在《2003-2007 年教育振兴行动计划》中提出要实施“职业教育与创新工程”，大力发展职业教育，大量培养高素质的技能型特别是高技能人才，并强调要以就业为导向，转变办学模式，大力推动职业教育。因此，高职高专教育的人才培养模式应体现以培养技术应用能力为主线和全面推进素质教育的要求。教材是体现教学内容和教学方法的知识载体，进行教学活动的基本工具；是深化教育教学改革，保障和提高教学质量的重要支柱和基础。因此，教材建设是高职高专教育的一项基础性工程，必须适应高职高专教育改革与发展的需要。

为贯彻这一思想，2003 年 12 月，在福建厦门，中国水利水电出版社组织全国 14 家高职高专学校共同研讨高职高专教学的目前状况、特色及发展趋势，并决定编写一批符合当前高职高专教学特色的教材，于是就有了《全国高职高专电气类精品规划教材》。

《全国高职高专电气类精品规划教材》是为适应高职高专教育改革与发展的需要，以培养技术应用为主线的技能型特别是高技能人才的系列教材。为了确保教材的编写质量，参与编写人员都是经过院校推荐、编委会答辩并聘任的，有着丰富的教学和实践经验，其中主编都有编写教材的经历。教材较好地反映了当前电气技术的先进水平和最新岗位要求，体现了培养学生的技术应用能力和推进素质教育的要求，具有创新特色。同时，结合教育部两年制高职教育的试点推行，编委会也对各门教材提出了

满足这一发展需要的内容编写要求，可以说，这套教材既能适应三年制高职高专教育的要求，也适应两年制高职高专教育的要求。

《全国高职高专电气类精品规划教材》的出版，是对高职高专教材建设的一次有益探讨，因为时间仓促，教材可能存在一些不妥之处，敬请读者批评指正。

《全国高职高专电气类精品规划教材》编委会

2004年8月

前

言

《电机技术》是为高职高专学校发电厂及电力系统运行、供用电技术、电力系统继电保护与自动化等电力工程类专业编写的一本教材。

根据高职高专类学校培养高层次技术型、应用型专业人才的目标,本教材本着理论上“适度、够用”的原则,不追求电机电磁理论学习的系统性和完整性。紧密结合生产一线的需要,注重知识的应用,增强电机运行及常见故障分析的内容。试图解决原相应课程《电机学》“偏多、偏深、偏难”的问题。

本教材分为变压器、同步电机、异步电机和其他电机四篇,变压器和同步电机是重点内容。在变压器篇,结合变压器的运行分析,较为详细地介绍了电机的三种基本分析方法——基本方程式、相量图、等效电路。在同步电机篇主要是应用这些方法,对发电机的运行做分析。对异步电机和其他电机则重在介绍外特性及应用,不做过多的理论分析。

本教材由武汉电力职业技术学院魏涤非和福建水利电力职业技术学院戴源生担任主编,魏涤非编写绪论、第6章、第7章;戴源生编写第8~10章;广东水利电力职业技术学院陈吉芳编写第1~3章;四川电力职业技术学院黄兰英编写第4章、第5章;四川水利职业技术学院宋杰编写第11~13章;河北工程技术高等专科学校王志勇编写第14~17章。本教材由魏涤非统稿。

本教材在编写过程中得到孙长国、赵文健、刘增良、钱武、罗建华、高汝武、刘德辉等老师的帮助,在此表示衷心感谢。

由于编者学识水平有限,书中不足和错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2004年8月

目 录

序	
前言	
绪论	1

变 压 器 篇

第 1 章 变压器的工作原理和基本结构	7
1.1 变压器的基本工作原理和类型	7
1.2 变压器的基本结构	8
1.3 变压器的铭牌	14
小结	16
习题	16
第 2 章 单相变压器的运行原理	17
2.1 单相变压器的空载运行	17
2.2 单相变压器的负载运行	25
2.3 变压器参数的测定	31
2.4 变压器的运行特性	37
小结	42
习题	43
第 3 章 三相变压器	45
3.1 三相变压器的磁路系统	45
3.2 三相变压器的电路系统——连接组别	46
3.3 绕组连接方式和磁路系统对空载电动势波形的影响	52
小结	55
习题	56
第 4 章 其他变压器	58

4.1 三绕组变压器	58
4.2 自耦变压器	61
4.3 分裂变压器	64
小结	67
习题	68
第5章 变压器的运行	69
5.1 变压器的并联运行	69
5.2 变压器的暂态过程	74
5.3 三相变压器的不对称运行	79
5.4 变压器的常见故障类型	83
小结	85
习题	86

同 步 电 机 篇

第6章 同步发电机的工作原理和基本结构	89
6.1 三相同步发电机的工作原理和类型	89
6.2 三相同步发电机的基本结构	92
6.3 三相同步发电机的励磁方式	102
6.4 交流励磁机的类型及特点	106
小结	108
习题	108
第7章 交流绕组及其电动势和磁动势	110
7.1 交流绕组的基本知识	110
7.2 交流绕组的电动势	119
7.3 交流绕组基波磁动势	124
小结	131
习题	132
第8章 同步发电机的运行原理及运行特性	134
8.1 同步发电机的空载运行	134
8.2 对称负载时的电枢反应及电磁转矩	136
8.3 同步发电机的电动势方程式和相量图	140

8.4 同步发电机的运行特性	145
8.5 同步发电机的损耗和效率	148
小结	149
习题	150
第 9 章 同步发电机的并列运行	152
9.1 同步发电机并列的方法和条件	153
9.2 有功功率的调节和静态稳定	156
9.3 无功功率的调节和 U 形曲线	164
9.4 调相运行与调相机	170
小结	173
习题	173
第 10 章 同步发电机的突然短路及异常运行	176
10.1 同步发电机三相突然短路	176
10.2 同步发电机不对称运行	183
10.3 同步发电机的失磁运行	188
10.4 同步发电机常见故障类型	190
小结	192
习题	193

异步电机篇

第 11 章 三相异步电动机的工作原理和基本结构	197
11.1 三相异步电动机的工作原理	197
11.2 三相异步电动机的基本结构	200
11.3 三相异步电动机的铭牌	204
小结	207
习题	208
第 12 章 三相异步电动机的运行原理	209
12.1 三相异步电动机运行时的物理状况	209
12.2 电磁转矩与机械特性	214
12.3 异步电动机的工作特性	222

小结	224
习题	226
第 13 章 异步电动机的起动与运行	228
13.1 三相异步电动机的起动	228
13.2 深槽式和双鼠笼式异步电动机	236
13.3 三相异步电动机的调速	238
13.4 三相异步电动机的制动	241
13.5 三相异步电动机的异常运行及常见故障类型	244
13.6 单相异步电动机	249
小结	253
习题	254

其 他 电 机 篇

第 14 章 直流电机的工作原理和基本结构	259
14.1 直流电机的工作原理	259
14.2 直流电机的基本结构	263
14.3 直流电机的铭牌	268
小结	271
习题	271
第 15 章 直流发电机	273
15.1 直流电机的电枢电动势和电磁转矩	273
15.2 直流发电机的励磁方式	274
15.3 并励直流发电机的自励条件	275
15.4 直流发电机的基本方程式	276
15.5 直流发电机的运行特性	279
小结	281
习题	283
第 16 章 直流电动机	284
16.1 直流电动机的基本方程式	284
16.2 直流电动机的机械特性	287
16.3 直流电动机的起动和改变转向	289

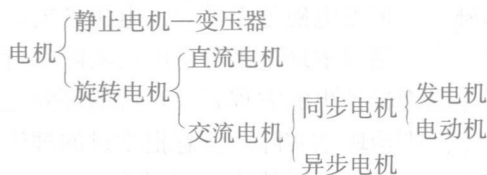
16.4	直流电动机的调速·····	292
16.5	直流电机的常见故障及处理方法·····	296
	小结·····	299
	习题·····	299
第 17 章 微特电机·····		302
17.1	微特电机的特点及类型·····	302
17.2	伺服电动机·····	303
17.3	测速发电机·····	309
	小结·····	313
	习题·····	315

绪 论

电机是一种转换能量的机器，是生产、传输、分配及使用电能的主要设备。由于电能是当代社会最主要的能源，因而电机的应用也愈来愈广泛，在国民经济中起着重要的作用。

1. 电机的类型

电机的种类很多，但是就其工作原理来说，都是基于电磁感应定律和电磁力定律。它们大体上可分成下列各类；



2. 电机在电力系统中的作用

同步发电机是电力系统的电源，它把机械能转换成电能。为了经济地传输和分配电能，采用变压器把某一等级的电压升高或降低为另一等级的电压。异步电动机是发电厂多种机械的原动机，它把电能转换成机械能。直流电机也在发电厂某些场所起重要作用。到2004年，我国的发电机装机容量达到了44070万kW，当年的发电量达到了21870亿kW·h，均为世界第二位。

3. 电机的发展概况

电机产生于19世纪。1831年法拉第提出了电磁感应定律，从而奠定了发电机的理论基础。1833年，楞次证明了可逆原理。该原理说明一台电机既可作发电机运行，也可作电动机运行，这使得发电机和电动机的发展可合二为一。不久，直流电机就问世了。1889年，多利沃·多勃罗夫斯基提出采用三相制的建议，并设计和制造出了第一台三相变压器和三相异步电动机。三相异步电动机结构简单、工作可靠，很快得到



应用和推广。

经过一个半世纪的发展,目前电机的制造技术已相当完善。随着电磁材料、绝缘材料的改进,随着电机冷却技术的不断提高,单机容量不断增大,效率不断提高。目前,国外最大单机容量,汽轮发电机已超过 1700MVA,水轮发电机已超过 825MVA,同步电动机已超过 70MW;三相变压器最大单台容量达到 1300MVA,最高电压等级达到 1150kV。我国电机制造业的发展也是十分迅速,目前已能制造 900MW 的汽轮发电机、700MW 的水轮发电机和 840MVA、500kV 的巨型变压器。随着我国国民经济的快速发展,我国的电机制造业即将进入世界先进行列。

4. 本课程的特点

本课程既是一门基础课,又是一门专业课。说它是基础课,是因为课程中作了许多理论的分析,得到的方法和结论很多是学习后续专业课程的基础。说它是专业课,是因为电机确实是电力系统及很多行业中的一种重要设备。它的实际运行情况是复杂的,分析所涉及的理论,既有电的又有磁的,既有时间的又有空间的,既有对称的又有不对称的,既有稳态的又有暂态的……。分析时,往往要忽略一些次要的因素,做某些假设,以抓住主要的矛盾、明确物理概念、满足工程技术上的需要。

本课程的内容主要是介绍各类电机的基本结构、工作原理、研究电机内部的电磁关系,在定性分析的基础上,根据电磁定律推导出电机各电、磁量的关系,进而对电机进行定量的分析。最后,应用基本理论来分析电机实际运行中遇到的各种问题。分析的方法,主要是根据电磁理论推出的方程式及对应的等效电路和相量图。

学习本课程时,要注意理论联系实际,注意把学过的理论用来分析电机运行中遇到的实际问题;要重视实验,培养动手能力;要学会抓住主要矛盾,忽略次要因素,使获得的结论能够满足工程上的应用;要注意对各类电机进行比较、学会综合分析。

5. 本课程常用的电磁定律

(1) 基尔霍夫电流定律。在电路中,流入任意一个节点的电流必定等于流出该节点的电流。

$$\sum I = 0$$

(2) 基尔霍夫电压定律。电路中任一回路内各段电压的代数和为零。

$$\sum U = 0$$

或者表示为,电路中任一回路内电压降的代数和等于电动势的代数和。

$$\sum U = \sum E$$

(3) 磁路欧姆定律。磁路中通过的磁通等于磁路的磁动势除以磁路的磁阻。

$$\Phi = \frac{F}{R_m}$$



式中磁路磁阻 $R_m = \frac{l}{\mu s}$ ，即磁阻与磁路长度 l 成正比，与磁路的磁导率 μ 及磁路截面积 s 成反比。

(4) 全电流定律（安培环路定律）。磁场中沿任意一个闭合环路的磁场强度的线积分等于穿过这个环路的所有电流的代数和。

$$\oint_l \vec{H} d\vec{l} = \sum I$$

在电机、变压器中，通常磁路由多段组成，运用这一定律时，可写成

$$\sum_{k=1}^n H_k L_k = \sum I = NI$$

式中 NI ——磁动势，安匝。

(5) 电磁感应定律。导体回路中感应电动势 e 的大小，与穿过回路的磁通量的变化率 $\frac{d\phi}{dt}$ 成正比。在电机中，其数学表达式有两种形式。

匝数为 N 的线圈中的磁通 ϕ 变化时，在线圈中产生的感应电动势称为变压器电动势，当按右手螺旋关系规定 e 与 ϕ 的正方向时，数学表达式为

$$e = -N \frac{d\phi}{dt}$$

导体与磁场有相对运动时，它切割磁力线产生的感应电动势称为切割电动势。在均匀磁场中，若有效长度为 l 的直导体、磁感应强度 B 、导体相对运动方向 v 三者互相垂直时，数学表达式为

$$e = Blv$$

(6) 电磁力定律。在磁场中，通电导体将受到电磁力的作用，如果导体与磁场相互垂直，则导体受到的电磁力为

$$f = Bli$$

f 的方向用左手定则确定。



变 压 器 篇

- 变压器是一种静止的电机。它利用电磁感应原理，把一种电压等级的交流电能转换成同频率的另一种电压等级的交流电能。
- 变压器是电力系统的重要设备，在国民经济其他部门也获得了广泛的应用。本篇主要研究一般用途的电力变压器。首先简要地介绍变压器的工作原理和结构，然后着重分析变压器的运行原理、三相变压器的连接组别和变压器的并联、不对称运行等，最后对三绕组变压器、自耦变压器和分裂变压器作简要的介绍。

