



新世纪高等职业教育机电类课程教材

电机与电气 控制技术

(第三版)

主 编 赵承荻 杨利军

主 审 周 玲

质检



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

新世纪高等职业教育机电类课程教材

电机与电气控制技术

DIANJI YU DIANQI KONGZHI JISHU

(第三版)

主编 赵承荻 杨利军

主审 周 玲



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

内容提要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材的修订再版,是在原版的基础上结合当前科技发展、社会进步及国家新能源政策等诸多因素修订而成。全书共分九章,主要内容有变压器、三相异步电动机、单相异步电动机、特殊电机、常用低压电器、继电器-接触器控制电路、常用生产机械的电气控制、桥式起重机的电气控制原理及维护、实验与实训。

本书理论分析适度,重视实践应用及学生技能的培养,紧扣2009年颁布的最新国家职业技能标准——维修电工中的相关知识与技能要求精选教材内容。全书图形符号、文字符号、量和单位及相关的标准、型号均采用最新国家标准。

本书可作为高职高专院校、各类职业技术学校电气自动化、电气控制技术、机电应用技术、数控技术、城市轨道交通等专业及相关机电类专业教学用书及教学、自学参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电机与电气控制技术 / 赵承荻, 杨利军主编. —3
版. —北京: 高等教育出版社, 2011. 12
ISBN 978-7-04-031919-4

I. ①电… II. ①赵… ②杨… III. ①电机学—高等
职业教育—教材②电气控制—高等职业教育—教材 IV.
①TM3②TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 218894 号

策划编辑 张尢琳 责任编辑 李宇峰 封面设计 吴昊 责任印制 蔡敏燕

出版发行	高等教育出版社	咨询电话	400-810-0598
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	网 址	http://www.hep.edu.cn
邮政编码	100120		http://www.hep.com.cn
印 刷	上海师范大学印刷厂		http://www.hepsh.com
开 本	787mm×1092mm 1/16	网上订购	http://www.landaco.com
印 张	19.5		http://www.landaco.com.cn
字 数	436 千字	版 次	2011 年 12 月第 3 版 2003 年 6 月第 1 版
购书热线	010-58581118 021-56717287	印 次	2011 年 12 月第 1 次印刷
		定 价	33.50 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 31919-00

第三版前言

普通高等教育“十一五”国家级规划教材《电机与电气控制技术》(第二版)出版以来,我国的职业教育有了更大更新的发展,规模也得到进一步扩大,职业教育的培养目标及任务也得到进一步明确。随着当前科学技术的飞速发展和社会进步,世界各国对绿色环保、节能减排、维护生态环境、构建文明社会等确保人类社会今后持续健康发展的重大课题也提出了越来越高的要求。另外随着科技的进步,各种电工产品的不断更新换代,也对劳动者的综合素质和教材结构体系、教材内容提出了新的要求。国家职业技能标准也于2009年进行了重大修订,这一切都要求对《电机与电气控制技术》(第二版)教材进行修订。《电机与电气控制技术》(第三版)就是为了适应这一新形势和新要求而出版的。

在原则上保留二版教材的基本体系和风格的基础上,修订后的教材在以下一些方面作了调整与修改。

1. 在教材结构体系与教材内容的选取上,全书贯穿了一条主线,即紧密围绕着我国的能源政策和重大节能工程以此来展开教材改革和更新教材内容。

2. 更新变压器部分的教材内容,具体做法是突出我国新生产及强制推行的S9、S11、SH12等高效节能低损耗电力变压器,更新有关变压器节能方面的基本理论和实践应用,使学生明了研究及推广变压器节能的重大意义和节能效益。

3. 更新及淘汰低效电动机及高耗电设备,介绍并推广Y2-E、Y3等高效节能三相异步电动机。

4. 推广三相异步电动机的软启动技术、三相异步电动机的变频调速技术,推广永磁电动机、城市轨道交通技术等。

5. 淡化直流电动机的理论、特性等内容,将直流电动机由原教材中单独一章压缩为一节,仅作简单介绍。

6. 更新、拓宽目前使用越来越广的特殊电机内容。

7. 更新低压电器内容,加强学生在低压电器方面选用及检修的技能。

8. 进一步加强学生动手能力的培养,依据维修电工新国家标准,大幅度修改和更新实训内容,并增加了EWB仿真教学与实训,以拓宽学生知识面。

9. 参照2009年新颁的“维修电工”国家职业技能标准中的工作内容、相关知识、技能要求等项目来选择相关课题、思考题与习题、实训内容等,以利于学生参加维修电工职业技能鉴定和考核。

10. 增加了拓宽知识与技能栏目,主要介绍一些新知识、新技术、新产品,供各校选用。

本书理论教学课时数为 55~75 课时,实验课时加专业实训课时不少于 40~50 课时,各校可按专业实际需要安排。

本书可作为高职高专院校、各类职业技术学校电气自动化、电气控制技术、机电应用技术、数控技术、城市轨道交通等专业及相关机电类专业教学用书及教学、自学参考用书。

为方便教学,本书配套有 PPT 教学课件等教学资源,教师可填写书后所附的《教学资源索取单》,依照相关方式索取。

本书由湖南铁道职业技术学院赵承荻、杨利军主编,编写分工为:湖南铁道职业技术学院赵承荻编写第二、九章,杨利军编写第三章,李庆梅编写第四章,陈庆编写第一章,罗伟编写第八章,长春职业技术学院裴蓓编写第五章,安徽职业技术学院程周编写第六章,湖南铁路科技职业技术学院曾树华编写第七章。全书由广州市轻工技师学院周玲主审。

由于编者学识水平有限,本书存在的错漏之处以及其他不足,恳请使用本书的教师及读者给予批评、指正。

编 者

2011 年 8 月

第二版前言

本书第一版出版以来,全国的职业技术教育有了更大的发展,规模进一步扩大,同时职业教育的培养目标及任务也得到了进一步的明确。从另外一个角度来讲,随着当前科学技术的飞速发展和社会进步,我国于 2002 年制订了《维修电工》新的国家职业标准,对维修电工必须具备的技能要求和必须掌握的相关理论知识方面也提出了新的要求和标准,这一切都促使本书必须在原有的基础上作相应的修改和更新,以适应新形势发展的需要。

本书与第一版教材相比作了以下一些主要的变更:

一、本书编写的指导思想

以部颁《高职高专教育基础课程教学基本要求》和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》为基本依据,结合国家 2002 年颁布的《维修电工》国家职业标准,并以企业实际岗位的职业活动为导向,以实际需要的基本知识和技能为核心来确定本教材所覆盖和涉及的知识及技能的广度、深度和难度。

二、在课程结构体系上的变更

1. 考虑到课程的连贯性及各校实际教学安排的需要,本书第二版增加了机床的电气控制电路和起重机的电气控制电路内容,以拓宽本教材的适用性。

2. 参照新颁布的国家职业标准《维修电工》,增加了维修电工必须掌握的基本知识和技能的内容:如单相变压器的检修和绕组的绕制,三相电力变压器的联结组,三相异步电动机的拆装,三相异步电动机定子绕组,单相异步电动机的定子绕组及检修,低压电器的常见故障及检修,电动机控制电路的故障处理和控制电路的安装等。供课堂教学及 1~2 周专业实训时使用,以利于学生参加维修电工职业技能鉴定与考核。

3. 进一步降低了教材中部分理论知识及分析计算的深度及难度,如变压器的空载及负载运行,三相异步电动机的运行原理,部分微特电机的运行原理分析等。

4. 适当增加了每章思考题与习题的题型及分量,以巩固所学内容及训练学生参加职业技能鉴定的能力。

5. 本书理论课教学学时数 60~75 学时,实验课时加上专业实训课时(不少于 1 周)40~50 学时,各校可按专业实际需要安排各章的教学与实训时间。

本书可作为高职高专电气自动化、电气控制技术、机电技术应用、数控技术应用专业及相关专业的教学用书。

本书由湖南铁道职业技术学院赵承荻、杨利军主编,邓木生主审。具体编写分工是湖南铁

路科技职业技术学院周玲编第一章,赵承荻编第二、三、九章,杨利军编第四、八章,罗伟编第七章,长春职业技术学院裴蓓编第五章,安徽职业技术学院程周编第六章。

由于编者学识水平有限,本书存在的错漏之处以及其他不足,恳请使用本书的读者给予指正。

编 者

2007 年 1 月

第一版前言

本书是根据教育部颁发的《高职高专教育基础课程教学基本要求》和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》，并参照有关行业的职业技能鉴定规范及高、中级技术工人等级考核标准编写的，可作为全国高等职业学校机电技术应用、数控技术专业及其他相关专业的教学用书。

随着我国社会、经济、科技的发展和教育结构的调整，全国高等职业学校的培养目标和业务规格定位在以3年制为主的“高素质劳动者和应用型专门人才”上。因此本书与以前传统的同类教材相比，在减少变压器、交直流电机及拖动理论分析及叙述方面作了较大的努力，把重点放在电机及电器结构特点分析、应用及检修等方面，并十分注意教材内容的更新，以适应当前技术水平不断发展需要。通过本书的教学使学生掌握变压器、交直流电机、常用低压电器的基本结构、工作原理及实践应用，掌握常用电动机的控制电路，具有解决生产实际中电气控制一般问题的能力，并使学生了解电气控制技术的发展方向，使学生的素质得到全面提高。

本书配有实验实训内容，总教学时数为70~90学时，具体学时分配建议方案如表1及表2所示。

表1 90学时分配建议方案

章	内 容	学 时 数			
		合计	讲授	实验实训	机动
一	变压器	14	10	4	
二	交流电动机	28	22	6	
三	直流电机	10	8	2	
四	特种电机	10	10		
五	低压电器	8	8		
六	继电器-接触器控制电路	14	10	4	
七	实验与实训				
	机动	6			6
	总计	90	68	16	6

表 2 70 学时建议方案

章	内 容	学 时 数			
		合计	讲授	实验实训	机动
一	变压器	12	8	4	
二	交流电动机	22	16	6	
三	直流电机	6	6		
四	特种电机	10	10		
五	低压电器	6	6		
六	继电器-接触器控制电路	12	8	4	
七	实验与实训				
	机动	2			2
	总计	70	54	14	2

本书由湖南铁道职业技术学院赵承荻、黄旭主编,广州市轻工业学校李乃夫主审,安徽省轻工业学校程周、内蒙古轻工业学校张云龙参编。具体编写分工是赵承荻编写第一、二章,黄旭编写第三、四、七章,张云龙编写第五章,程周编写第六章。

由于编者学识和水平有限,书中必然存在不少缺点、疏漏及其他不足之处,恳请使用本书的教师、学生及读者批评指正。

编 者

2003 年 5 月

Contents

目 录

电工基本定律和定则 / 1

第一章 变压器 / 4

第一节 变压器的工作原理及分类 / 4

第二节 单相变压器的运行原理 / 6

第三节 单相变压器的基本结构 / 10

第四节 三相电力变压器 / 11

拓宽知识与技能 绿色环保节能型社会与三相电力变压器 / 19

第五节 常用变压器简介 / 23

思考题与习题 / 32

第二章 三相异步电动机 / 36

第一节 电机简介 / 36

第二节 三相异步电动机的工作原理 / 37

第三节 三相异步电动机的结构 / 42

拓宽知识与技能 绿色环保节能型社会与三相异步电动机 / 49

第四节 三相异步电动机定子绕组简介 / 55

第五节 三相异步电动机的工作特性 / 56

第六节 三相异步电动机的起动 / 62

第七节 三相异步电动机的调速 / 68

第八节 三相异步电动机的制动 / 75

拓宽知识与技能 三相异步电动机的选用原则 / 78

思考题与习题 / 79

第三章 单相异步电动机 / 83

第一节 单相异步电动机的结构和工作原理 / 83

第二节	电容分相单相异步电动机	/ 88
第三节	电阻分相单相异步电动机	/ 91
第四节	单相罩极电动机	/ 91
第五节	单相异步电动机的调速及反转	/ 94
拓宽知识与技能	吊式电风扇和换气电风扇的常见故障及检修	/ 97
思考题与习题		/ 98

第四章 特殊电机 / 100

第一节	直流电动机	/ 100
第二节	步进电动机	/ 107
第三节	伺服电动机	/ 110
第四节	直线电动机	/ 115
第五节	测速发电机	/ 119
第六节	同步电动机	/ 121
拓宽知识与技能	无刷直流电动机	/ 124
思考题与习题		/ 127

第五章 常用低压电器 / 130

第一节	低压电器的基本知识	/ 130
第二节	刀开关和组合开关	/ 132
第三节	熔断器	/ 138
第四节	接触器	/ 143
第五节	主令电器	/ 148
第六节	继电器	/ 154
第七节	低压断路器	/ 164
拓宽知识与技能	开关类传感器	/ 168
思考题与习题		/ 171

第六章 继电器-接触器控制电路 / 174

第一节	概述	/ 174
第二节	三相异步电动机的直接起动控制电路	/ 175
第三节	三相笼型异步电动机的降压起动控制电路	/ 182
第四节	三相异步电动机的制动控制电路	/ 186
拓宽知识与技能	无变压器单相半波整流能耗制动控制电路	/ 190
第五节	继电器-接触器控制电路的常见故障分析	/ 190
思考题与习题		/ 192

第七章 常用生产机械的电气控制 / 196

- 第一节 CA6140 型普通车床电气控制电路 / 196
- 拓宽知识与技能 CA6150 型卧式车床电气控制电路简介 / 201
- 第二节 Z3040 型摇臂钻床电气控制电路 / 204
- 第三节 M7130 型平面磨床电气控制电路 / 210
- 第四节 X62W 型万能铣床电气控制电路 / 215
- 拓宽知识与技能 简易数控车床 / 220
- 第五节 机床电气设备的故障与维修 / 222
- 思考题与习题 / 224

第八章 桥式起重机的电气控制原理及维护 / 228

- 第一节 桥式起重机的基本应用知识 / 228
- 第二节 凸轮控制器控制绕线转子异步电动机电路 / 232
- 第三节 5~10 t 桥式起重机电气控制电路 / 236
- 第四节 用按钮开关操作的起重机控制电路 / 239
- 第五节 桥式起重机的常见故障及维护 / 240
- 思考题与习题 / 241

第九章 实验与实训 / 244

- 课题一 单相变压器的测定及空载试验与短路试验 / 244
- 课题二 单相变压器的负载试验及同极性端的测定 / 248
- 拓宽知识与技能 用 EWB 软件做变压器仿真实验 / 252
- 课题三 单相变压器的拆装及绕组的重绕 / 253
- 课题四 三相异步电动机的通用测试 / 257
- 课题五 三相异步电动机的拆装 / 261
- 课题六 单相异步电动机(电风扇)的拆装和检修 / 265
- 课题七 交流测速发电机输出电压特性测定 / 269
- 课题八 常用低压电器的故障及检修 / 272
- 课题九 三相异步电动机接触器控制电路的安装与接线 / 278
- 课题十 三相异步电动机接触器控制电路的试车 / 283
- 课题十一 三相异步电动机控制电路的故障处理 / 286
- 课题十二 Z3040 型摇臂钻床控制电路的常见故障与检修 / 291
- 课题十三 绕线转子异步电动机的凸轮控制器控制电路 / 294

参考文献 / 297

电工基本定律和定则

学习本书时要用到的一些电工基本定律和定则有：

一、电路欧姆定律

1. 直流电路欧姆定律

如图 0-1 所示,在电阻 R 组成的直流电路中,流过的电流 I 与电阻两端的电压 U 成正比,与电阻的阻值 R 成反比。即

$$I = \frac{U}{R}$$

2. 交流电路欧姆定律

如图 0-2 所示,在阻抗 Z 组成的交流电路中,流过的电流 i 与阻抗两端的电压 u 成正比,与阻抗值 Z 成反比。即

$$i = \frac{u}{Z}$$

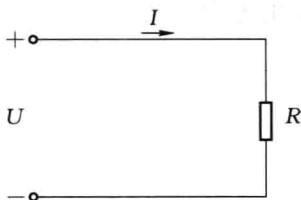


图 0-1 直流电路欧姆定律

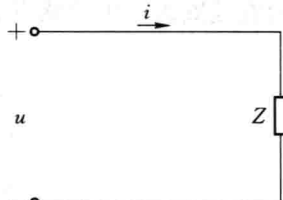


图 0-2 交流电路欧姆定律

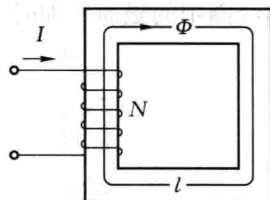


图 0-3 磁路欧姆定律

二、磁路欧姆定律

如图 0-3 所示,在磁阻 R_m 组成的磁路中,通过磁路中的磁通 Φ 与产生该磁通的磁动势 F 成正比,与磁路的磁阻 R_m 成反比。即

$$\Phi = \frac{F}{R_m} = \frac{NI}{\frac{l}{\mu A}}$$

式中, N 为线圈匝数, I 为流过线圈的电流, l 为磁路平均长度, A 为磁路的横截面积, μ 为磁路

的导磁系数。

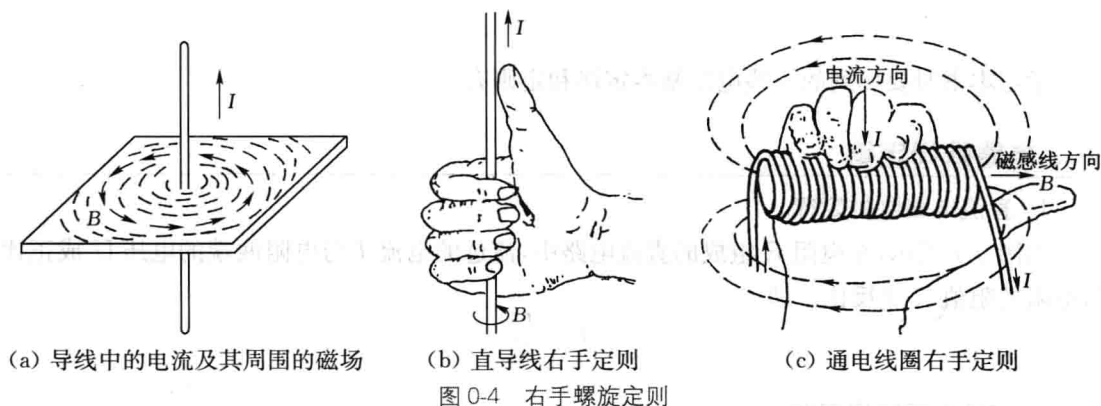
三、右手螺旋定则

1. 通电导线右手螺旋定则

通电的导线周围会产生磁场,如图 0-4(a)所示,其电流和磁场的方向可用右手螺旋定则来判定,如图 0-4(b)所示。

2. 通电线圈右手螺旋定则

通电的线圈在线圈内部及周围也会产生磁场,电流和在线圈内部的磁场方向可用右手螺旋定则来判定,如图 0-4(c)所示。



四、楞次定律

当通过线圈中的磁通发生变化时,在线圈内部会产生感应电动势 e ,而感应电动势 e 的方向总是企图使它所形成的感应电流所产生的磁通阻止原磁通的变化。图 0-5(a)及(b)分别表示当线圈中的磁通增加时及减少时在线圈内产生的感应电动势 e 的方向。

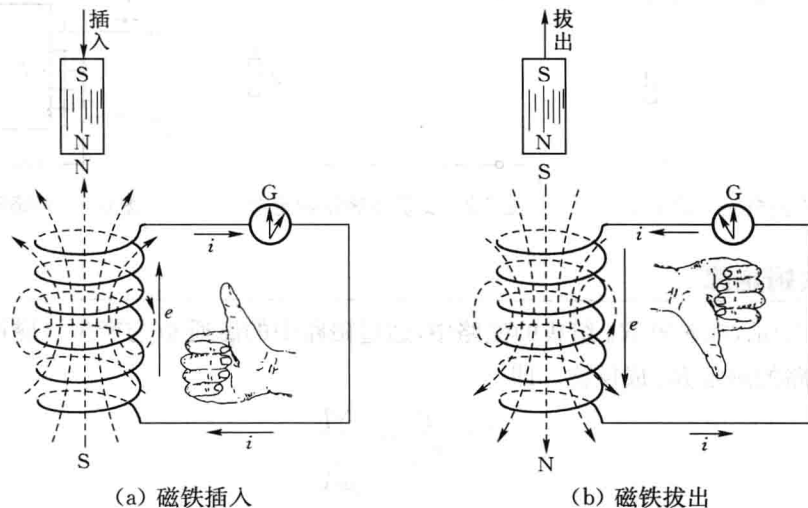


图 0-5 楞次定律——线圈中感应电动势方向的判定

五、电动机左手定则

通电流的导体在磁场中会受到力的作用,其大小为

$$F = BIl$$

式中, F 为作用力; B 为磁感应强度; I 为通过导体的电流; l 为导体在磁场中的有效长度。

作用力 F 的方向可用左手定则判定,如图 0-6 所示。

六、发电机右手定则

导体在磁场中作切割磁感线的运动时,在导体中会产生感应电动势,其大小为

$$e = Blv$$

式中, e 为感应电动势; B 为磁感应强度; l 为切割磁感线的导体长度; v 为导体切割磁感线的速度。

感应电动势 e 的方向可用右手定则判定,如图 0-7 所示。

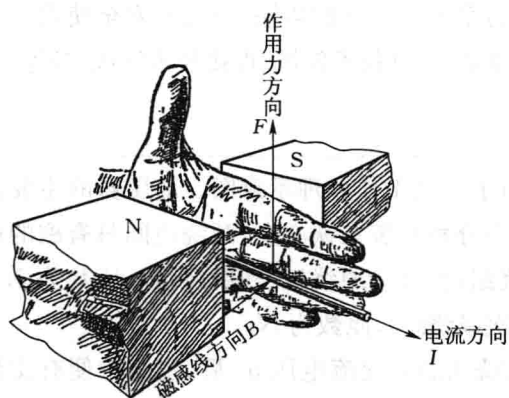


图 0-6 电动机左手定则

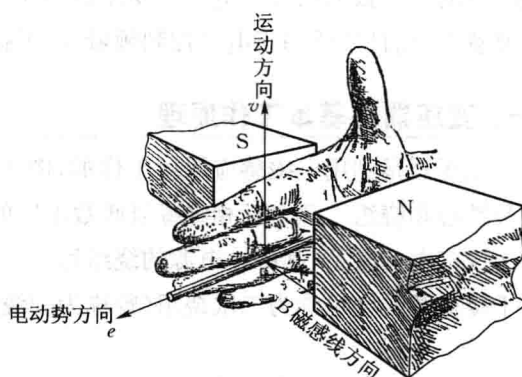


图 0-7 发电机右手定则

第一节 变压器的工作原理及分类

变压器是一种常见的静止电气设备,它利用电磁感应原理,将某一数值的交变电压变换为同频率的另一数值的交变电压。变压器不仅在电力系统中电能的传输、分配和安全使用上有重要意义,而且广泛用于电气控制领域、电子技术领域、测试技术领域、焊接技术领域,等等。

一、变压器的基本工作原理

变压器是利用电磁感应原理工作的,图 1-1 所示为其工作原理示意图。变压器的主要部件是铁心和绕组。两个互相绝缘且匝数不同的绕组分别套装在铁心上,两绕组间只有磁的耦合而没有电的联系,其中接电源的绕组称为一次绕组(曾称为原绕组、初级绕组),匝数为 N_1 ; 用于接负载的绕组称为二次绕组(曾称为副绕组、次级绕组),匝数为 N_2 。

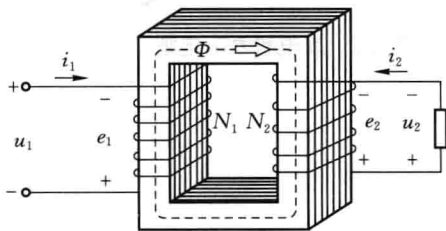


图 1-1 变压器工作原理示意图

一次绕组加上交流电压 u_1 后,绕组中便有交流电流 i_1 通过, i_1 将在铁心中产生与 u_1 同频率的交变磁通 Φ ,根据电磁感应原理,将分别在两个绕组中感应出电动势 e_1 和 e_2 。

$$e_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad (1-1)$$

$$e_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt} \quad (1-2)$$

若把负载接在二次绕组上,则在电动势 e_2 的作用下,有电流 i_2 流过负载,实现了电能的传递。理论分析和实践都表明,一次、二次绕组感应电动势的大小(近似于各自的电压 u_1 及 u_2)与绕组匝数成正比,故只要改变一次、二次绕组的匝数,就可达到改变电压的目的,这就是变压器的基本工作原理。

二、变压器的分类

变压器种类很多,通常可按其用途、绕组结构、铁心结构、相数和冷却方式等进行分类。其中最常见的是按用途来分类。

(1) 电力变压器

用作电能的输送与分配,这是生产数量最多、使用最广泛的变压器。按其功能不同又可分为输电变压器、配电变压器等。

(2) 特种变压器

在特殊场合使用的变压器,如作为焊接电源的电焊变压器;专供大功率电炉使用的电炉变压器;将交流电整流成直流电时使用的整流变压器等。

(3) 仪用互感器

用于电工测量中,如电流互感器、电压互感器等。

(4) 控制变压器

容量一般比较小,用于小功率电源系统和自动控制系统,如电源变压器、输入变压器、输出变压器、脉冲变压器等。

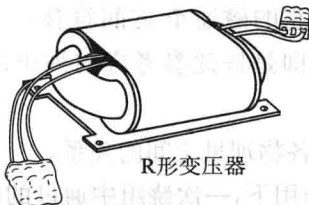
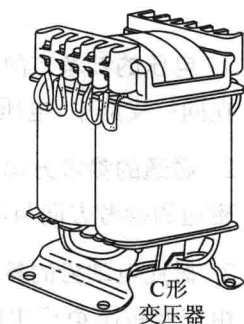
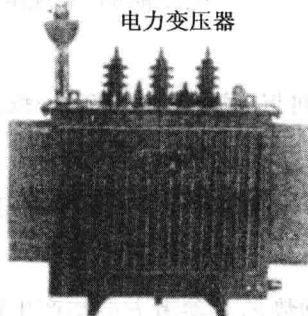
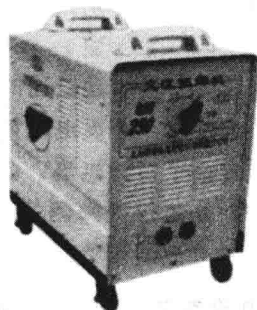
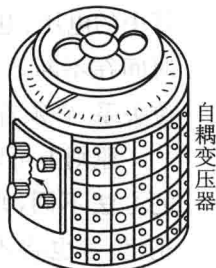
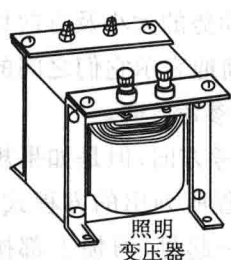


图 1-2 常用变压器的外形图