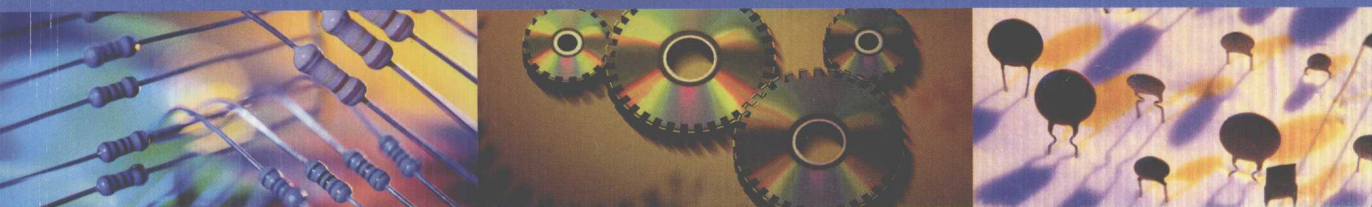




普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电机与电气控制技术

(第二版)



主 编 赵承荻 杨利军



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

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)

主 编 赵承荻 杨利军

高等教育出版社

内 容 简 介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是在 2003 年版《电机与电气控制技术》的基础上经重新修订而成。全书共分九章,主要内容有变压器、异步电动机、直流电机、微特电机、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、起重机的电气控制、实验与实训。

本书理论分析适度,重视实际应用及学生技能的培养,并在更新教材内容、拓宽知识面方面作了较大的努力。全书的图形符号、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。

本书可作为全国高职高专院校及其他各类相关学校机电技术应用、数控技术应用、电气自动化、电气控制技术等专业教学用书,也可供从事电工技术的教学人员及相关人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

电机与电气控制技术/赵承获,杨利军主编. —2 版.

北京:高等教育出版社,2007.4

ISBN 978-7-04-021415-4

I. 电… II. ①赵…②杨… III. ①电机学-高等学校:技术学校-教材②电气控制-高等学校:技术学校-教材 IV. TM3 TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 052155 号

策划编辑 孙鸣雷 责任编辑 李宇峰 封面设计 吴昊 责任印制 潘文瑞

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 010-58581000
传 真 021-56965341

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
排 版 南京理工出版信息技术有限公司
印 刷 丹阳市兴华印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 19
字 数 440 000

购书热线 010-58581118
021-56964871
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
<http://www.hepsh.com>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2003 年 6 月第 1 版
2007 年 4 月第 2 版
印 次 2007 年 4 月第 1 次
定 价 25.50 元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 21415-00

出版说明

高等教育出版社组织编写的“新世纪高职高专教改项目成果教材”自出版以来,以其适应高等职业教育人才培养模式的基本特征,以应用为主旨、以就业为导向的教学内容体系等特点,受到了广大高等职业院校师生的一致好评。

为了进一步贯彻落实《中华人民共和国职业教育法》和《中华人民共和国劳动法》,适应全面建设小康社会对高素质劳动者和技能型人才的迫切要求,促进社会主义和谐社会建设,2005年10月28日,国务院发布了《国务院关于大力发展职业教育的决定》(以下简称《决定》),明确了今后一个时期职业教育改革与发展的指导思想、目标任务和政策措施。11月7日至8日,国务院召开了全国职业教育工作会议,深入学习贯彻党的十六届五中全会精神,全面落实科学发展观,动员和部署实施《决定》。会议强调,要把发展职业教育作为经济社会发展的重要基础和教育工作的战略重点;以服务社会主义现代化建设为宗旨,培养数以亿计的高素质劳动者和数以千万计的高技能专门人才;坚持以就业为导向,深化职业教育教学改革;依靠行业企业发展职业教育,推动职业院校与企业的密切结合;严格实行就业准入制度,完善职业资格证书制度。

为了贯彻落实《决定》和全国职业教育工作会议精神,也为了适应我国近几年高等职业教育快速发展的需要,促进教学内容、教学体系的更新,我社在2005年底启动了对“新世纪高职高专教改项目成果教材”的修订再版工作。新版系列教材坚持以“就业”为导向的原则,选取实际工作中存在的设备工具、操作方式,讲解在实际岗位工作时实际需要的知识和能力,适应高等职业教育培养学生的“就业能力”的需要;与国家技能鉴定等就业准入制度结合,注重从实际工作场合选取有代表性的实例,突出学生实际操作能力的培养。

新版系列教材出版后,我们还将不定期地举行相关课程的研讨与培训活动,并邀请一些相关行业的优秀企业共同探讨人才培养目标、人才培养模式以及专业设置、课程改革,为各院校提供一个加强校企合作、交流的互动平台。

“新世纪高等职业教育机电类课程教材”适用于高等职业学院、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校机电类专业使用。

高等教育出版社

2006年6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

在以部颁《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。具体编写分工是赵承荻编第一、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。因此本书在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	

续表

章	内 容	学 时 数			
		合计	讲授	实验实训	机动
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

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 变压器的运行指标	12
第五节 变压器绕组的极性及判定	16
第六节 常用变压器	18
本章小结	32
思考题与习题	33
第二章 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	36
第三节 三相异步电动机的结构	40
第四节 三相异步电动机定子绕组	47
第五节 三相异步电动机的工作特性	55
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	67
第八节 三相异步电动机的制动	71
第九节 单相异步电动机结构和工作原理	74
第十节 常用单相异步电动机	78
本章小结	84
思考题与习题	85
第三章 直流电机	89
第一节 直流电动机的工作原理	89
第二节 直流电动机的结构	91
第三节 直流电机的电动势、转矩和功率	96
第四节 直流电动机的工作特性	98
第五节 直流电动机的起动、调速、反转与制动	100
第六节 直流电动机的应用	105
本章小结	107

思考题与习题	108
第四章 微特电机	111
第一节 概述	111
第二节 步进电机	111
第三节 伺服电机	115
第四节 直线电动机	119
第五节 微型同步电动机	122
第六节 控制用微特电机简介	125
本章小结	131
思考题与习题	132
第五章 常用低压电器	134
第一节 低压电器的基本知识	134
第二节 刀开关和组合开关	136
第三节 熔断器	139
第四节 接触器	143
第五节 主令电器	146
第六节 继电器	149
第七节 低压断路器	154
本章小结	158
思考题与习题	158
第六章 继电器-接触器控制电路	161
第一节 概述	161
第二节 三相异步电动机的直接起动控制电路	162
第三节 三相笼型异步电动机的降压起动控制电路	168
第四节 三相异步电动机的制动控制电路	173
第五节 三相变极电动机的控制电路	176
第六节 继电器-接触器控制电路的常见故障分析	178
本章小结	180
思考题与习题	180
第七章 常用生产机械的电气控制	183
第一节 CA6140 型普通车床电气控制电路	183
第二节 Z3040 型摇臂钻床电气控制电路	188
第三节 M7130 平面磨床电气控制电路	194
第四节 X62W 型万能铣床电气控制电路	200

第五节 简易型数控机床电气控制简介.....	206
第六节 机床电气设备的故障与维修.....	212
本章小结.....	215
思考题与习题.....	215
第八章 起重机的电气控制.....	217
第一节 桥式起重机概述.....	217
第二节 凸轮控制器控制绕线转子异步电动机电路.....	219
第三节 5~10 t 桥式起重机电气控制电路	221
第四节 用按钮开关操作的起重机控制电路.....	224
本章小结.....	225
思考题与习题.....	225
第九章 实验与实训.....	227
课题一 单相变压器及自耦变压器的使用.....	227
课题二 单相变压器的拆装及绕组的重绕.....	231
课题三 三相异步电动机的拆装和通用测试.....	236
课题四 三相异步电动机常见故障的分析与检修.....	242
课题五 三相异步电动机定子绕组的重绕.....	249
课题六 单相异步电动机(电扇)的控制和检修.....	256
课题七 并励直流电动机的起动、调速和反转	262
课题八 常用低压电器的故障及检修.....	265
课题九 三相异步电动机继电器-接触器控制电路	272
课题十 三相异步电动机控制电路的故障处理.....	276
课题十一 绕线转子异步电动机的凸轮控制器控制电路.....	281
课题十二 三相异步电动机电气控制电路的安装.....	284
参考文献.....	290

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

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

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

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

二、磁路欧姆定律

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

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

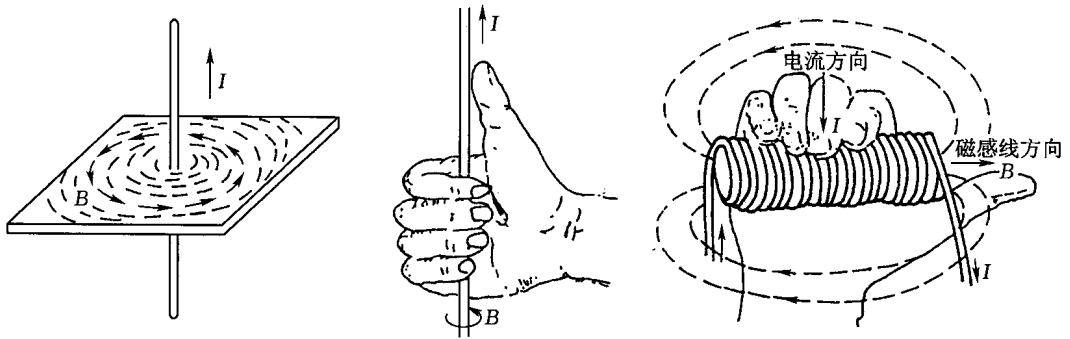
三、右手螺旋定则

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 0-1(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 0-1(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 0-1(c)所示。



(a) 导线中的电流及其周围的磁场 (b) 直导线右手定则 (c) 通电线圈右手定则

图 0-1 右手螺旋定则

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 0-2(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。

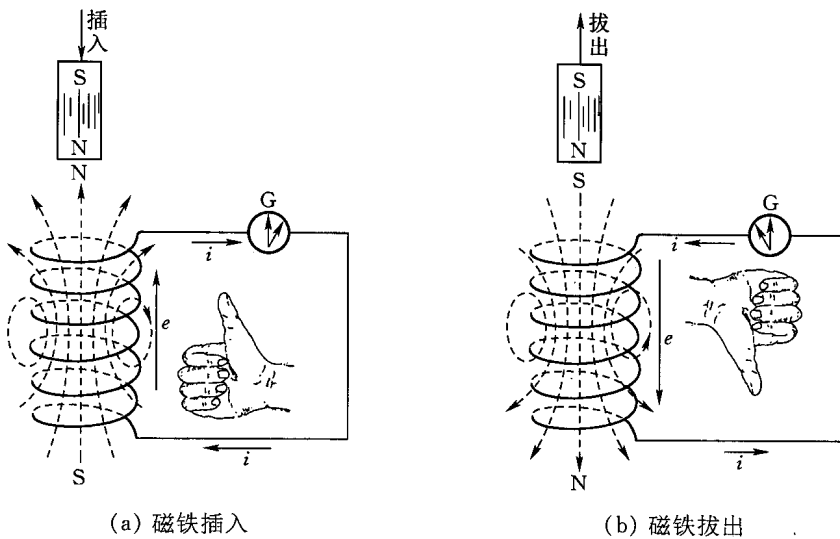


图 0-2 楞次定律——线圈中感应电动势方向的判定

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 0-3 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 0-4 所示。

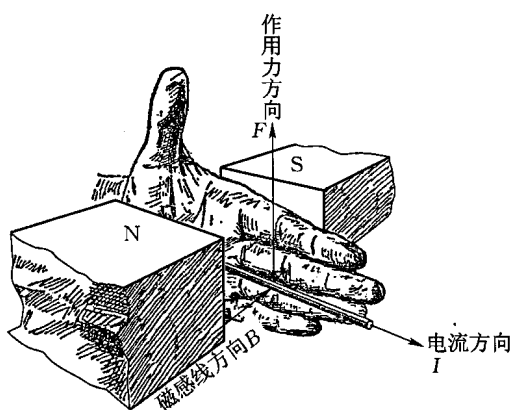


图 0-3 电动机左手定则

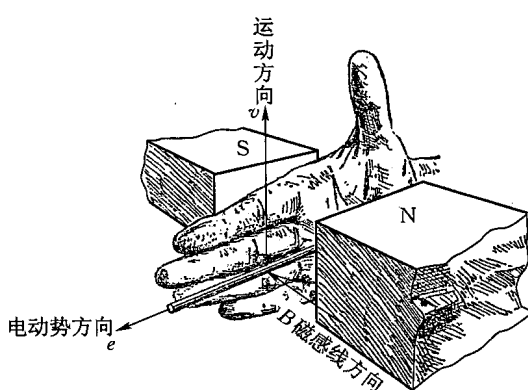


图 0-4 发电机右手定则

第一章 变 压 器

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。变压器不仅对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)用于接负载的绕组称为二次绕组(曾称为副绕组、次级绕组)。

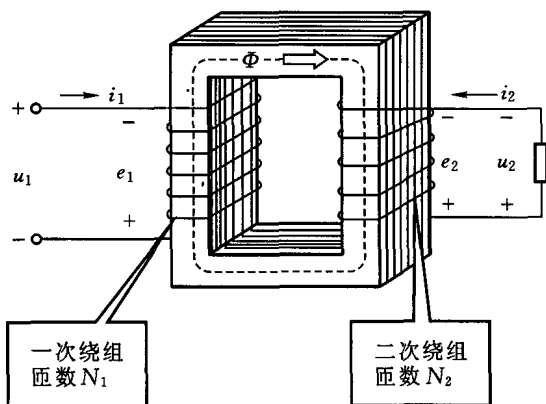


图 1-1 单相变压器原理图

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 。

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、冷却方式等进行分类。

1. 按用途分类

(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。

(5) 其他变压器

如试验用的高压变压器;输出电压可调的调压变压器;产生脉冲信号的脉冲变压器;压力传感器中的差分变压器等。

图 1-2 所示为各种类型变压器的外形图。

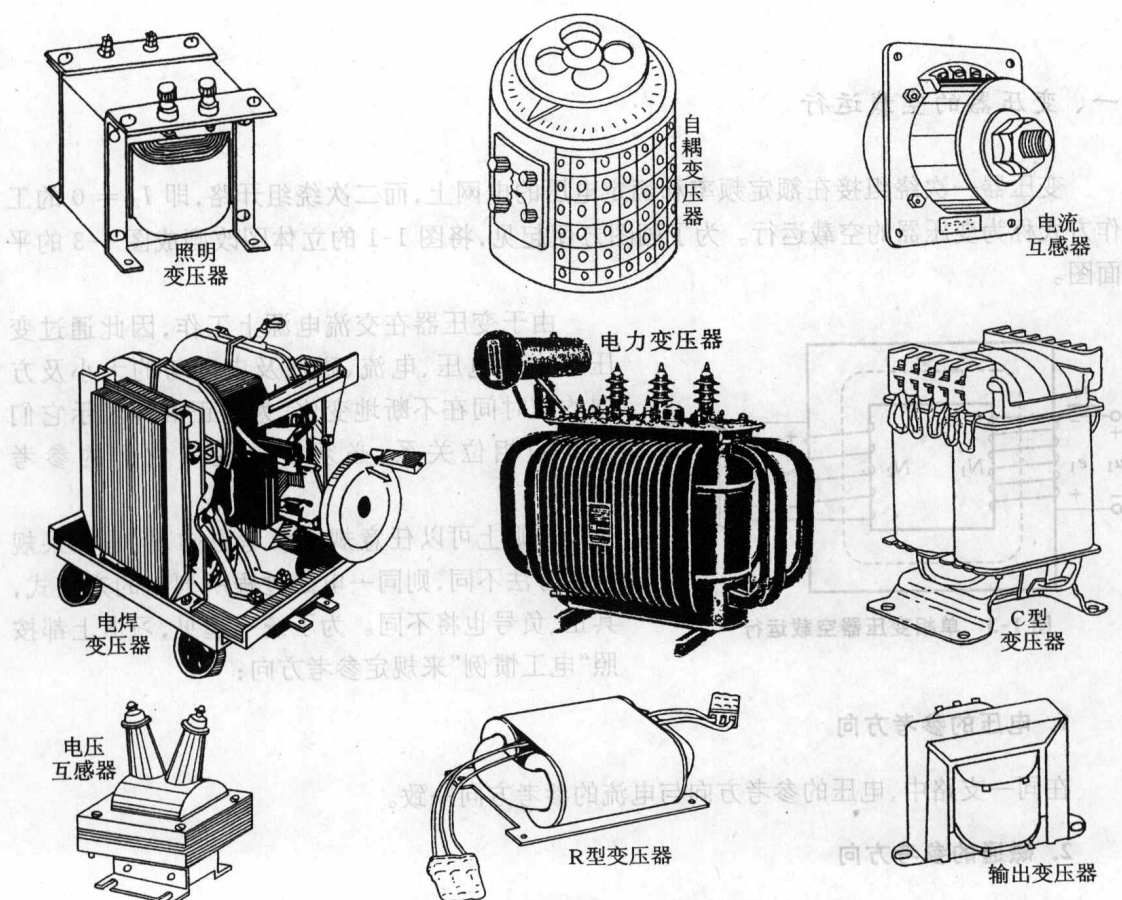


图 1-2 常用变压器的外形图

2. 按绕组构成分类

有双绕组变压器、三绕组变压器、多绕组变压器和自耦变压器等。

3. 按铁心结构分类

有叠片式铁心、卷制式铁心、非晶合金铁心。

4. 按相数分类

有单相变压器、三相变压器、多相变压器。

5. 按冷却方式分类

有干式变压器、油浸自冷变压器、油浸风冷变压器、强迫油循环变压器、树脂浇注变压器、充气式变压器等。

第二节 单相变压器的运行原理

一、变压器的空载运行

变压器一次绕组接在额定频率和额定电压的电网上,而二次绕组开路,即 $I_2 = 0$ 的工作方式称为变压器的空载运行。为了画图方便起见,将图 1-1 的立体图改画成图 1-3 的平面图。

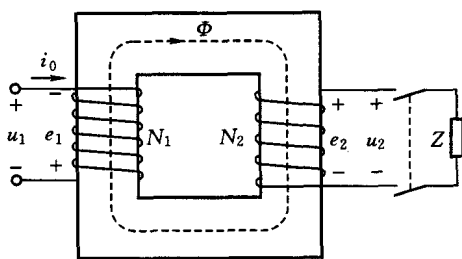


图 1-3 单相变压器空载运行

由于变压器在交流电源上工作,因此通过变压器中的电压、电流、磁通及电动势的大小及方向均随时间在不断地变化,为了正确地表示它们之间的相位关系,必须首先规定它们的参考方向。

原则上可以任意规定参考方向,但是如果规定的方法不同,则同一电磁过程所列出的方程式,其正、负号也将不同。为了统一起见,习惯上都按照“电工惯例”来规定参考方向:

1. 电压的参考方向

在同一支路中,电压的参考方向与电流的参考方向一致。

2. 磁通的参考方向

磁通的参考方向与电流的参考方向之间符合右手螺旋定则。

3. 感应电动势的参考方向

由交变磁通 Φ 产生的感应电动势 e ,其参考方向与产生该磁通的电流参考方向一致(即

感应电动势 e 与产生它的磁通 Φ 之间符合右手螺旋定则),如图 1-4 所示。按此参考方向列出的电磁感应定律方程为

$$e = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

下面分析变压器空载运行时,各物理量之间的关系。

空载时,在外加交流电压 u_1 作用下,一次绕组中通过的电流称为空载电流 i_0 。在电流 i_0 的作用下,铁心中产生交变磁通 Φ (称为主磁通),主磁通 Φ 同时穿过一次、二次绕组,分别在其中产生感应电动势 e_1 和 e_2 ,其大小正比于 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 。

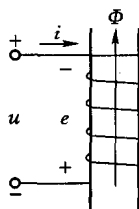


图 1-4 参考方向的规定

通过数学分析可得感应电动势和磁通有如下关系:

在相位上, e 滞后于 $\Phi 90^\circ$; 在数值上, 其有效值为

$$E = 4.44 N f \Phi_m$$

由此可得

$$E_1 = 4.44 f N_1 \Phi_m \quad (1-1)$$

$$E_2 = 4.44 f N_2 \Phi_m \quad (1-2)$$

式中, Φ_m 为交变磁通的最大值, N_1 为一次绕组匝数, N_2 为二次绕组匝数, f 为交流电的频率。

由式(1-1)及式(1-2),可得

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

如略去一次绕组中的阻抗不计,则外加电源电压 $U_1 \approx E_1$ 。

而 U_1 与 E_1 的参考方向正好相反,即电动势 E_1 与外加电压 U_1 相平衡。

在空载情况下,由于二次绕组开路,故端电压 U_2 与电动势 E_2 相等,因此

$$U_1 \approx E_1 = 4.44 f N_1 \Phi_m \quad (1-3)$$

$$U_2 = E_2 = 4.44 f N_2 \Phi_m \quad (1-4)$$

及

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = K_u = K \quad (1-5)$$

式中, K_u 称为变压器的变压比,简称变比,也可用 K 来表示,这是变压器中最重要的参数之一。

由式(1-5)可见:变压器一次、二次绕组的电压与一次、二次绕组的匝数成正比,也即变压器有变换电压的作用。

由式(1-3)可见:对某台变压器而言, f 及 N_1 均为常数,因此当加在变压器上的交流电压有效值 U_1 恒定时,则变压器铁心中的磁通 Φ_m 基本上保持不变。这个恒磁通的概念很重要,在以后的分析中经常会用到。

变压器空载运行时的电路原理图如图 1-5(a)所示。其中一次绕组的两个接线端用