

21世纪 高职高专通用教材



电路与电工技术基础

(下册)

● 刘伯生 主编

海交通大学出版社

21 世纪高职高专通用教材

电路与电工技术基础

下 册

刘伯生 主编

上海交通大学出版社

内 容 简 介

本套教材是在华东六省一市 70 余所高职高专院校共同讨论教学大纲的基础上组织编写的。本书为电路与电工技术基础(上册)的应用篇。全书共分 7 章,内容包括:磁路与变压器,直流电机,异步电动机,电动机的选择,电动机的继电接触控制,可编程控制器和安全用电等,并附有思考题、习题和部分参考答案。针对高职高专教育的特点,从典型例子引入重要的概念和方法,说明理论的实际应用;编写上力求选材适当、内容先进。在应用技术方面紧密结合工程实际需要。

图书在版编目(CIP)数据

电路与电工技术基础. 下册/刘伯生主编. —上海:上海交通大学出版社,2001

21 世纪高职高专通用教材

ISBN 7-313-02660-9

I. 电… II. 刘… III. ①电路-高等学校:技术学校-教材 ②电工技术-高等学校:技术学校-教材 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 12661 号

电路与电工技术基础

(下册)

刘伯生 主编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030)

电话: 64071208 出版人: 张天蔚

立信会计常熟市印刷联营厂印刷 全国新华书店经销

开本: 890mm×1240mm 1/32 印张: 10.25 字数: 293 千字

2001 年 7 月第 1 版 2001 年 7 月第 1 次印刷

印数: 1~5050

ISBN 7-313-02660-9/TM·117 定价: 16.50 元

版权所有 侵权必究

21 世纪高职高专通用教材 编审委员会

主任名单

(以姓氏笔划为序)

编审委员会顾问

白同朔 詹平华

编审委员会名誉主任

王式正 叶春生

编审委员会主任

闵光泰 潘立本

编审委员会副主任

王永祥	王俊堂	王继东	牛宝林
东鲁红	冯伟国	朱家建	朱懿心
吴惠荣	房世荣	郑桂富	赵祥大
秦士嘉	黄斌	黄永刚	常立学
薛志兴			

序

发展高等职业技术教育,是实施科教兴国战略、贯彻《高等教育法》与《职业教育法》、实现《中国教育改革与发展纲要》及其《实施意见》所确定的目标和任务的重要环节;也是建立健全职业教育体系、调整高等教育结构的重要举措。

近年来,年青的高等职业教育以自己鲜明的特色,独树一帜,打破了高等教育界传统大学一统天下的局面,在适应现代社会人才的多样化需求、实施高等教育大众化等方面,做出了重大贡献。从而在世界范围内日益受到重视,得到迅速发展。

我国改革开放不久,从1980年开始,在一些经济发展较快的中心城市就先后开办了一批职业大学。1985年,中共中央、国务院在关于教育体制改革的决定中提出,要建立从初级到高级的职业教育体系,并与普通教育相沟通。1996年《中华人民共和国职业教育法》的颁布,从法律上规定了高等职业教育的地位和作用。目前,我国高等职业教育的发展与改革正面临着很好的形势和机遇:职业大学、高等专科学校和成人高校正在积极发展专科层次的高等职业教育;部分民办高校也在试办高等职业教育;一些本科院校也建立了高等职业技术学院,为发展本科层次的高等职业教育进行探索。国家学位委员会1997年会议决定,设立工程硕士、医疗专业硕士、教育专业硕士等学位,并指出,上述学位与工程学硕士、医学科学硕士、教育学硕士等学位是不同类型的同一层次。这就为培养更高层次的一线岗位人才开了先河。

高等职业教育本身具有鲜明的职业特征,这就要求我们在改革课程体系的基础上,认真研究和改革课程教学内容及教学方法,努力加强教材建设。但迄今为止,符合职业特点和要求的教材却似凤毛麟角。由泰州职业技术学院、上海第二工业大学、金陵职业大学、扬州职业大学、彭城职业大学、沙州职业工学院、上海交通高等职业技术学校、上海

交大技术学院、上海汽车工业总公司职工大学、江阴职工大学、江南学院、常州职业技术师范学院、苏州职业大学、锡山市职业教育中心、上海商业职业技术学院、福州大学职业技术学院、芜湖职业技术学院、青岛职业技术学院、宁波高等专科学校、上海工程技术大学等 70 余所院校长期从事高等职业教育、有丰富教学经验的资深教师共同编写的《21 世纪高职高专通用教材》，将由上海交通大学出版社陆续向读者朋友推出，这是一件值得庆贺的大好事，在此，我们表示衷心的祝贺。并向参加编写的全体教师表示敬意。

高职教育的教材面广量大，花色品种甚多，是一项浩繁而艰巨的工程，除了高职院校和出版社的继续努力外，还要靠国家教育部和省（市）教委加强领导，并设立高等职业教育教材基金，以资助教材编写工作，促进高职教育的发展和改革。高职教育以培养一线人才岗位与岗位群能力为中心，理论教学与实践训练并重，二者密切结合。我们在这方面的改革实践还不充分。在肯定现已编写的高职教材所取得的成绩的同时，有关学校和教师要结合各校的实际情况和实训计划，加以灵活运用，并随着教学改革的深入，进行必要的充实、修改，使之日臻完善。

阳春三月，莺歌燕舞，百花齐放，愿我国高等职业教育及其教材建设如春天里的花园，群芳争妍，为我国的经济建设和社会发展作出应有的贡献！

叶春生

2000 年 4 月 5 日

前 言

20 世纪 90 年代以来, 高职高专教育有了很大的发展。为适应高职高专教育发展的迫切需要, 大力推进高职高专教育人才培养模式的改革, 构建以“应用”为主旨和特征的课程和教学内容体系, 编写具有高等职业教育特色的教材势在必行。

为此, 2000 年 1 月, 由华东六省一市为主的全国部分高校成立了“21 世纪高职高专系列教材编纂委员会”, 负责组织和实施高职高专系列教材的编纂工作。本书系这套高职高专系列教材之一。

本书下篇为电路基础的应用篇, 主要介绍电机学、电机拖动、电器控制、可编程控制器等多门课程的基础知识, 可供机电类专业、电子技术类和计算机类专业选用。可代替非强电专业的电机与拖动, 可编程控制器及应用, 电气控制技术等多门课程。全书共七章, 包括磁路与变压器、直流电机、异步电动机、电动机的选择、电动机的继电接触控制、可编程控制器、安全用电等部分, 并附有思考题、习题和部分习题的参考答案。全书教学参考学时为 70 学时左右, 并有《电路与电工技术基础实训教程》与之配套。

本书编写时力求适应高职高专教育的应用性、针对性、岗位性、专业性的特点。在编写原则上基础理论部分内容以必需够用为度, 以会用为目的; 在编写方法上不追求系统的完整性和理论上的严密性, 但力求叙述清楚、准确、讲清物理概念、基本原理和基本方法, 一些重要概念和方法从典型例子引入而不从理论上导入, 通过实例、例题和习题说明理论和实际应用; 在编写内容上力求选材适当, 内容先进; 在应用技术方面紧密结合工程和工作实际需要。

参加本书编写的有: 泰州职业技术学院刘伯生、石晓玲、颜忠胜, 江阴职工大学钱建中、叶紫, 九江职业技术学院华雅言等, 由刘伯生任主编, 钱建中、华雅言任副主编。

高职高专的教材建设在不断的探索之中,随着对教学模式及课程改革的不断深化,本书也将不断调整充实,再版。由于编者水平有限,书中可能有不少缺点和错误,诚恳地希望广大师生和读者批评指正。

编者

2001年1月

目 录

1 磁路与变压器	1
1.1 磁性材料	1
1.2 磁路的欧姆定律及直流磁路的计算	11
1.3 交流铁芯线圈电路	15
1.4 变压器及其工作原理	21
1.5 三相变压器	28
1.6 变压器的铭牌数据及其选择	34
1.7 特殊变压器	39
1.8 互感器	41
小结	45
习题	47
2 直流电机	51
2.1 直流电机的基本工作原理	51
2.2 直流电机的基本结构和铭牌数据	57
2.3 直流发电机	62
2.4 他励电动机的机械特性	69
2.5 他励直流电动机的起动、制动和反转	84
2.6 他励直流电动机的调速	95
小结	102
习题	103
3 三相异步电动机	106
3.1 三相异步电动机的结构	106

3.2	三相异步电动机的工作原理	109
3.3	异步电动机的电磁转矩及其特性	116
3.4	三相异步电动机的起动、调速及制动	128
3.5	单相异步电动机	136
3.6	电动机的铭牌数据	140
	小结	145
	习题	146
4	电动机的选择	148
4.1	概述	148
4.2	电动机的发热和冷却	153
4.3	电动机工作方式的分类	158
4.4	电动机额定功率的选择	161
4.5	鼠笼异步电动机每小时允许的合闸次数	168
4.6	电动机额定功率选择的工程方法	169
	小结	171
	习题	172
5	异步电动机的继电器接触控制	173
5.1	常用低压电器	174
5.2	异步电动机的基本控制线路	182
5.3	阅读继电器接触控制线路图的一般方法	198
	小结	203
	习题	203
6	可编程序控制器及其应用	206
6.1	PC 的主要功能及特点	206
6.2	PC 的等效电路	212
6.3	PC 的构成及工作原理	215
6.4	PC 的编程语言	230

6.5 常用电气控制线路的 PC 控制	252
小结	268
习题	269
7 安全用电	273
7.1 发电、输电概述	273
7.2 电气事故的种类及电流对人体的伤害	274
7.3 触电类型及触电急救	278
7.4 直接接触触电的防护措施	287
7.5 保护接地	291
7.6 保护接零	296
7.7 漏电保护器	298
7.8 照明装置	301
小结	306
习题	307
附录 1 电气图项目种类的字母代码表	308
附录 2 电气图常用图形及文字符号新旧对照表	309
参考答案	314
参考书目	316

1 磁路与变压器

上篇讨论了分析与计算各种电路的基本定律和基本方法。但在电气工程中广泛地应用着各种机电能量转换设备和机电信号转换器件如电机、变压器、继电器、电磁铁及电磁仪表等,其不仅有电路的问题,同时还有磁路的问题,因此讨论磁与电的关系,掌握磁路的基本规律具有非常重要的意义。

本章先复习磁场中的基本概念和基本物理量,然后讨论导磁材料的磁性。磁路和电路往往是关联的,本章将研究磁路和电路的关系以及磁和电的关系。并讨论、分析计算磁路的基本方法。此外,还把变压器以及电压互感器、电流互感器和特殊变压器作为应用实例来讨论。

1.1 磁性材料

磁性材料主要指铁、镍、钴及其合金,磁性材料的性能是通过磁路分析来了解的。磁路问题实质上是局限在一定范围内的磁场问题。所以,先复习物理学中有关磁场的基本概念和基本物理量。

1.1.1 磁场中的基本概念和基本物理量

1) 磁感应强度 B

磁感应强度是表示磁场内某点磁场强弱和方向的物理量,它是一个空间矢量,用符号 B 表示,其方向可以用右螺旋定则来确定。实验指出,当载有电流 I 、长度为 L 的导体与磁感应强度方向垂直时,受到的磁场力 F 为最大,且

$$F = BLI \quad (1.1)$$

因此,

$$B = \frac{F}{LI}$$

如果磁场内各点的磁感应强度的大小相等,方向相同,这样的磁场则称为匀磁场。

在国际单位制(SI)中,磁感应强度的单位是特斯拉(T)。

2) 磁通 ϕ

磁感应强度 B 与垂直于磁场方向的面积 S 的标量积,称为通过该面积的磁通 ϕ ,即

$$\phi = B \cdot S$$

或

$$B = \phi/S \quad (1.2)$$

由上式可见,磁感应强度在数值上可以看成与磁场方向相垂直的单位面积所通过的磁通,故又称磁通密度。如果不是均匀磁场,则磁通是磁感应强度对某一面积的积分,即

$$\phi = \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} \quad (1.3)$$

磁通是一个标量,它没有方向,但有正负, \mathbf{B} 与 $d\mathbf{S}$ 的夹角大于 90° 时, $\mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$ 为负。

如果用磁力线来描述磁场,使磁力线的疏密反映磁通量和磁感应强度的大小。通过某一面积的磁力线的总数越多则磁通量越大。反之,磁通量越小。通过垂直于磁场方向的单位面积的磁力线数越多则该点的磁感应强度就越大。反之,磁感应强度就越小。由于磁通的连续性,磁力线应是闭合的无头无尾的空间曲线。

根据电磁感应定律的公式:

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

在国际单位制(SI)中,磁通的单位是 $V \cdot s$,通常称为韦[伯](Wb),在工程上有时用磁制单位麦克斯韦(Mx)。两者的关系是:

$$1\text{Wb} = 10^8 \text{Mx}$$

磁感应强度的单位用特[斯拉](T)表示外,也用韦[伯]每平方米(Wb/m^2)表示, $1\text{T} = 1\text{Wb}/\text{m}^2$ 。

3) 磁场强度 H

磁场强度 H 是描述磁场的另一个重要的物理量,是矢量,通过它来确定磁场与电流之间的关系,即

$$\oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \sum I \quad (1.4)$$

式(1.4)是安培环路定律(或称全电流定律)的数学表示式。它是计算磁路的基本公式。

式中 $\oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l}$ 是磁场强度矢量 H 沿任意闭合曲线 L 的线积分,这里 L 常取磁力线作闭合回线; $\sum I$ 是穿过该闭合回线所围面积的电流的代数和。由于不同导线内的电流的流向不同,所以规定任意选定一个闭合回线的围绕方向,凡是电流方向与闭合回线围绕方向之间符合右螺旋定则则电流作为正,反之为负。

今以环形线圈(见图 1.1)为例,其中媒质是均匀的,应用式(1.4)来计算线圈内部各点的磁场强度。取磁力线作为闭合回线,且以其方向作为回线的围绕方向,于是

$$\begin{aligned} \oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} &= H_x L_x = H_x \cdot 2\pi x \\ \sum I &= IN \end{aligned}$$

所以

$$H_x \cdot 2\pi x = IN$$

即

$$H_x = \frac{IN}{2\pi x} = \frac{IN}{L_x} \quad (1.5)$$

式中: N 是线圈的匝数;

$L_x = 2\pi x$ 是磁环的平均圆周长;显然 L_x 是磁路的平均长度;

H_x 是半径 x 处的磁场强度。

式(1.5)中电流与线圈匝数的乘积 IN 称为磁动势,用字母 F 代

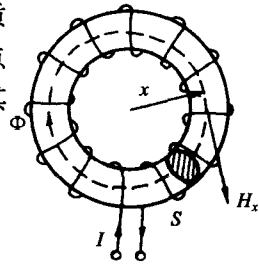


图 1.1 环形线圈

表,即

$$F = IN \quad (1.6)$$

磁通就是由它产生的。它的单位是安[培](A)

这里必须指出,安培环路定律的成立与场中介质的分布无关。

4) 磁导率 μ

磁导率 μ 是一个用来表示磁场媒质磁性的物理量,它是用来衡量物质导磁能力的物理量。它与磁场强度的乘积就等于磁感应强度。

$$B = \mu H \quad (1.7)$$

由式(1.7)可知,在场中某一处的磁场强度 H 处相同时,而磁感应强度 B 会随着介质的不同而不同, μ 越大 B 也越大。

如在图 1.1 中,线圈内部半径为 x 处各点的磁感应强度可以从式(1.2)得出,即

$$B_x = \mu H_x = \mu \frac{IN}{L_x} \quad (1.8)$$

$$H_x = \frac{IN}{L_x} \quad (1.9)$$

由式(1.7)或式(1.8)可见,磁场内某一点的磁场强度 H 只与电流大小、线圈匝数以及该点的几何位置有关,而与磁场媒质的磁性 μ 无关,即在一定电流值下,同一点的磁场强度不因磁场媒质的不同而有异。而磁感应强度是与磁场媒质的磁性有关的。当线圈的媒质不同时,则磁导率 μ 不同,在同样电流值下,同一点的磁感应强度的大小就不同,线圈内的磁通也就不同了。

磁场强度 H 的国际单位制单位是 A/m(安/米)。磁导率 μ 在国际单位制中的单位是 H/m(亨/米)。

由实验测出,真空的磁导率

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

μ_0 是一个常数,所以任意一种物质的磁导率 μ 与真空磁导率 μ_0 的比值称为该物质的相对磁导率,用符号 μ_r 表示即

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

即

$$\mu_r = \frac{\mu H}{\mu_0 H} = \frac{B}{B_0}$$

μ_r 由式(1.7)可知,相对磁导率也就是当磁场媒质是某种物质时,某点的磁感应强度 B 与在同样电流值下真空时该点的磁感应强度 B_0 之比所得的倍数。

按照导磁性能的不同,物质可大体分为三类:一类为顺磁物质,此类物质 μ_r 稍大于 1,属于此类物质的有铅、铂、锰、铬等。另一类是反磁物质,其 μ_r 稍小于 1,属于此类物质的有铋、铜、锌、汞、金、银等。虽然这两类物质的相对磁导率有些不同,但他们都很接近 1,所以,工程上把这两类物质的 μ_r 皆看作 1。这两类物质也可称为非磁性材料,对 $\mu \approx \mu_0$ 的非磁性材料而言,差不多不具有磁化的特性,而且每一种非磁性材料的磁导率都是常数。因此,当磁场媒质是非磁性材料时, $B = \mu_0 H$, B 与 H 成正比,即它们之间有线性关系(见图 1.2)。又因 $B = \frac{\phi}{S}$ 和 $H = \frac{IN}{L}$,所以磁通 ϕ 与产生此磁通的电流 I 也成正比,即它们之间也有线性关系。第三类物质称为铁磁物质,其 $\mu \gg \mu_0$,对于磁性材料的磁性能,我们将在下节进行讨论。

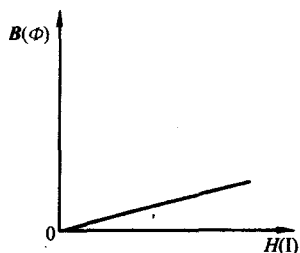


图 1.2 B 与 H 成正比

1.1.2 磁性材料的磁性能

磁性材料主要是指铁、钴、镍及其合金而言。它们具有下列磁性能。

1) 高导磁性

磁性材料的磁导率很高, $\mu_r \gg 1$, 可达数百、数千、乃至数万之值。这就使它们具有被强烈磁化的特性。

为什么磁性物质具有被磁化的特性呢? 因为磁性物质不同于其他

物质,有其内部特殊性。由以前所学的物理知识知道电流产生磁场,在物质的分子中电子环绕原子核运动和本身自转运动而形成分子电流,分子电流也会产生磁场,每个分子相当于一个基本小磁铁。因此,在铁磁物质内部存在着很多自发磁化的小区域,称为磁畴。在没有外磁场的作用时,各个磁畴排列混乱,磁场互相抵消,所以,对外就显不出磁性来,如图 1.3(a)所示。

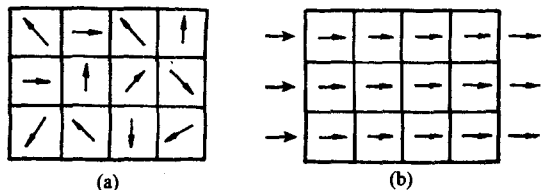


图 1.3 磁性物质的磁化

在外磁场的作用下,磁畴就顺外磁场方向转动,显示出磁性来。随着励磁电流的增大,外磁场也越来越强。磁畴的方向逐渐转到与外磁场相同的方向上如图 1.3(b)所示。这样,便产生了一个很强的与外磁场同方向的磁化磁场,而使物质内的磁感应强度大大增加。即磁性物质被强烈地磁化了。

磁性物质的这一性能被广泛地应用于电气设备中,例如电机、变压器及各种铁磁元件的线圈中都放有铁芯。在这种具有铁芯的线圈中通入不大的励磁电流,便可产生足够大的磁通和磁感应强度。这样就解决了我们既要磁通大,又要励磁电流小的矛盾。显而易见,利用优质的磁性材料可使同一容量的电机或变压器的重量大大减轻,体积大大减小。

由于非磁性材料没有磁畴的结构,所以不具有磁化的特性。

2) 磁饱和性

磁性物质由于磁化能产生磁场,但由此而产生的磁化磁场不会随着外磁场的增强而无限地增强。当外磁场增大到一定值时,全部磁畴的磁场方向都转向与外磁场的方向一致时,磁化磁场的磁感应强度 B_T 就达到饱和值,磁性物质的这种性质称为磁饱和性。如图 1.4 所示。图中的