

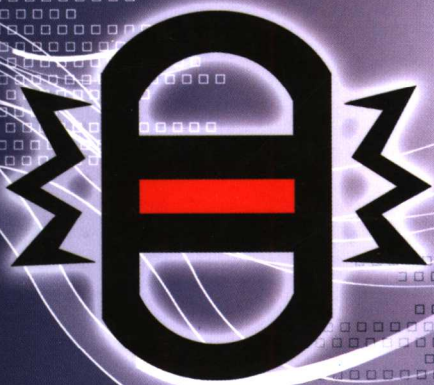


21世纪高等职业技术教育 机电一体化专业规划教材
数控技术

电工 技术

■ 主编 吴雪琴

Diangong
jishu



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

21 世纪高等职业技术教育机电一体化·数控技术专业规划教材

电 工 技 术

主编 吴雪琴

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书讲述了电工技术的相关知识,共13章,实验内容附后。主要包括电路的基本概念和基本定律、分析方法、正弦交流电路、三相电路、非正弦交流电路、电路暂态分析、磁路与铁芯线圈电路、变压器、交流电动机、继电器控制系统、可编程控制器及其应用、供电与安全用电、电工测量及10个相关实验等内容。每章后面都有本章小结和习题,书中还编入了较多的例题和应用实例。

本书适合高职高专工科非电类各专业的学生使用,也可供职大、夜大、电大等各类学校使用,还可以作为有关工程技术人员的参考资料。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

电工技术 / 吴雪琴主编. —北京:北京理工大学出版社, 2006. 8
ISBN 7-5640-0782-6

I. 电… II. 吴… III. 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 (2006) 第 098018 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京地质印刷厂

开 本 / 787 毫米×960 毫米 1/16

印 张 / 21.75

字 数 / 423 千字

版 次 / 2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

印 数 / 1~4000 册

定 价 / 29.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 刘京凤

图书出现印装质量问题,本社负责调换

出版说明

当前，高度发达的制造业和先进的制造技术已经成为衡量一个国家综合经济实力和科技水平的重要标志之一，成为一个国家在竞争激烈的国际市场上获胜的关键因素。

如今，中国已成为制造业大国，但还不是制造业强国。我们要从制造业大国走向制造业强国，必须大力发展以数控技术为主的先进制造技术，提高计算机辅助设计与制造（CAD/CAM）的技术水平。

制造业要发展，人才是关键。尽快培养一批高技能人才和高素质劳动者，是先进制造业实现技术创新和技术升级的迫切要求。高等职业教育既担负着培养高技能人才的任务，也为自身的发展提供了难得的机遇。

为适应制造业的深层次发展和数控技术的广泛应用，根据高等职业教育发展与改革的新形势，北京理工大学出版社组织知名专家、学者，与生产制造企业的技术人员反复研讨，以教育部《关于加强高职高专人才培养工作的若干意见》等文件对高职高专人才培养的要求为指导思想，确立了“满足制造业对人才培养的需求，适应行业技术改革，紧跟前沿技术发展”的思路，编写了这套高职高专教材。本套教材力图实现：以培养综合素质为基础，以能力为本位，把提高学生的职业能力放在突出位置，加强实践性教学环节，使学生成为企业生产服务一线迫切需要的高素质劳动者；以企业需求为基本依据，以就业为导向，增强针对性，又兼顾适应性；课程设置和教学内容适应技术发展，突出机电一体化、数控技术应用专业领域的新知识、新技术、新工艺和新方法；教学组织以学生为主体，提供选择和创新的空間，构建开放、富有弹性、充满活力的课程体系，适应学生个性化发展的需要。

本套教材的主要特色有：

1. 借鉴国内外职业教育先进教学模式，顺应现代职业教育教学制度的改革趋势；
2. 以就业为导向，进行了整体优化；
3. 理论与实践一体化，强化了知识性和实践性的统一。

本套教材适合于作为高职高专院校机电一体化、数控技术、机械制造及自动化、模具设计与制造等专业的课程教学和技能培训用书。

北京理工大学出版社

前 言

本书是根据国家教育部数控技术应用专业技能紧缺人才培养方案和劳动与社会保障部制定的有关国家职业标准及相关的职业技能鉴定规范,结合编者多年的教学 and 实践经验编写而成的。

“电工技术”是非电类专业的技术基础课程。通过本课程的学习,应使学生学到电工技术必要的基础理论、基本知识和基本技能,了解电工技术发展的概况,为学习后续课程以及从事有关的工程技术和科学研究工作打下良好的理论和实践基础。

近些年来,高职高专毕业生越来越显现出其潜在的优势,备受用人单位青睐,发展职业教育是解决“十一五”期间经济社会发展中的人才瓶颈的有效途径。希望本书能够在一定程度上解决现阶段很多职业类学校的专业课程教材不能满足和适应社会需求的问题。

本书共分为13章,系统全面地介绍了电路的基本概念和基本定律、电路的分析方法、正弦交流电路、三相电路、非正弦交流电路、电路暂态分析、磁路与铁芯线圈电路、变压器、交流电动机、继电器控制系统、可编程序控制器及应用、供电与安全用电及电工测量等。

本书的基础理论知识由浅入深,原理清晰。在重点介绍电工技术基础知识的同时,每章节给出了一些典型的和新型的应用实例,目的是使学生易于理解和掌握所学理论知识,提高学生的实践操作能力,拓展学生的知识面;对同步电动机仅作简单介绍,对三相异步电动机变频调速内容做了详述;为更新知识结构,增加了可编程序控制器及其应用一章;适当增加了安全用电知识;特别对电工测量部分作了相应的介绍。教材最后安排有相关实验。每章后面都有本章小结和习题。书中加“*”号内容属于拓宽、加深内容,可由教师根据专业特点和学时数进行取舍。

本书由江苏省联合技术学院无锡交通分院（无锡交通高等职业技术学校）吴雪琴老师担任主编，编写了第6、7、8、12、13章及实验；无锡交通高等职业技术学校程建新老师编写第3、5章；无锡交通高等职业技术学校陆春松老师编写第9、10、11章；无锡房地产中等职业学校吴玉琴老师编写第1、2、4章。

由于编者能力有限，编审时间仓促，本书中难免有不妥和错误之处，恳请使用本书的读者批评指正。

编者

目 录

第 1 章 电路的基本概念和基本定律	(1)
1.1 电路与电路模型	(1)
1.2 电压和电流的参考方向	(2)
1.3 电阻与电导	(4)
1.4 欧姆定律	(7)
1.5 电路的三种状态	(8)
1.6 电位的概念及计算	(11)
本章小结	(13)
习题	(14)
第 2 章 电路的分析方法	(17)
2.1 电阻串并联的等效变换	(17)
2.2 电压源与电流源及其等效变换	(23)
2.3 基尔霍夫定律	(27)
2.4 支路电流法	(30)
2.5 结点电压法	(32)
2.6 叠加定理	(33)
2.7 戴维宁定理	(34)
* 2.8 受控电源电路的分析	(37)
* 2.9 非线性电阻电路的分析	(38)
本章小结	(40)
习题	(42)
第 3 章 正弦交流电路	(47)
3.1 正弦电压与电流	(47)
3.2 交流电的表示方法	(50)

3.3	电阻元件、电感元件与电容元件	(54)
3.4	纯电阻交流电路	(58)
3.5	纯电感交流电路	(60)
3.6	纯电容交流电路	(63)
3.7	RL 串联正弦交流电路	(65)
3.8	RC 串联正弦交流电路	(68)
3.9	RLC 串联交流电路	(71)
3.10	RLC 并联交流电路	(74)
3.11	阻抗的串联与并联	(76)
3.12	交流电路的频率特性	(80)
3.13	功率因数	(88)
	本章小结	(91)
	习题	(93)
第4章	三相电路	(100)
4.1	三相交流电源	(100)
4.2	负载的 Y 形连接	(104)
4.3	负载的 Δ 形连接	(107)
4.4	三相对称电路的分析和计算	(109)
4.5	三相电路的功率	111
	本章小结	(113)
	习题	(115)
* 第5章	非正弦交流电路	(117)
5.1	非正弦周期量的分解	(117)
5.2	非正弦周期量的有效值	(123)
5.3	非正弦周期电流电路中的平均功率	(125)
	本章小结	(127)
	习题	(128)
第6章	电路暂态分析	(130)
6.1	换路定则与电压、电流初始值的确定	(130)
6.2	RC 电路的过渡过程	(133)
6.3	一阶线性电路暂态分析的三要素法	(136)

本章小结	(139)
习题	(139)
第7章 磁路与铁芯线圈电路	(141)
7.1 磁场的基本物理量	(141)
7.2 铁磁材料的磁性能	(143)
7.3 磁路与及其基本定律	(147)
7.4 交流铁芯线圈电路	(151)
7.5 电磁铁	(153)
本章小结	(154)
习题	(155)
第8章 变压器	(156)
8.1 变压器的基本结构和原理	(156)
8.2 变压器的使用	(161)
8.3 三相变压器与绕组连接	(166)
8.4 特殊变压器	(167)
本章小结	(171)
习题	(172)
第9章 交流电动机	(174)
9.1 三相异步电动机的构造	(174)
9.2 三相异步电动机的工作原理	(178)
9.3 三相异步电动机的电磁转矩	(184)
9.4 三相异步电动机的机械特性和工作特性	(190)
9.5 三相异步电动机的启动、制动与调速	(195)
本章小结	(218)
习题	(220)
* 第10章 继电器控制系统	(222)
10.1 常用控制电器	(222)
10.2 鼠笼式电动机直接启动控制线路	(243)
10.3 鼠笼式电动机正反转控制线路	(245)
10.4 行程控制	(248)

10.5 时间控制	(249)
本章小结	(251)
习题	(252)
* 第 11 章 可编程控制器及其应用	(253)
11.1 可编程控制器的结构和工作原理	(253)
11.2 FX2 系列 PC 简介	(257)
11.3 PC 的基本逻辑指令	(261)
11.4 PC 设计的基本方法与编程常识	(266)
11.5 PC 应用系统设计举例	(269)
本章小结	(274)
习题	(274)
第 12 章 供电与安全用电	(276)
12.1 发电与输电概述	(276)
12.2 工企供配电	(279)
12.3 安全用电	(283)
12.4 节约用电	(289)
本章小结	(289)
习题	(290)
第 13 章 电工测量	(291)
13.1 电工仪表与测量的基本知识	(291)
13.2 万用表	(297)
13.3 电压与电流的测量	(303)
13.4 电阻的测量	(306)
13.5 功率的测量	(310)
13.6 电能的测量	(314)
本章小结	(319)
习题	(319)
实验	(321)
实验 1 万用表的使用	(322)
实验 2 欧姆定律的验证	(323)

实验 3	基尔霍夫定律的验证	(325)
实验 4	戴维宁定理的验证	(326)
实验 5	互感及同名端的实验	(328)
实验 6	电容器的充放电	(329)
实验 7	RLC 串联正弦交流电路	(330)
实验 8	提高功率因数	(331)
实验 9	三相负载的星形 - 三角形连接	(332)
实验 10	可编程控制器的程序编制	(334)
参考文献		(336)

第 1 章

电路的基本概念和基本定律

1.1 电路与电路模型

1.1.1 电路的基本组成

1. 电路

电路是由各种元器件（或电工设备）按一定方式连接起来的总体，为电流的流通提供了路径。用电源、负载、开关和导线便可组成一个最简单的电路，实际应用中电路是多种多样的，就其功能来说可归为两类：一是进行能量的转换、传输和分配，如电力系统电路，可将发电机发出的电能经过输电线传输到各个用电设备，再经过用电设备转换成热能、光能、机械能等；二是实现信号的传递和处理，如扩音器电路。

2. 电路的基本组成

如图 1.1.1 所示电路的基本组成包括以下 4 个部分：

（1）电源：为电路提供电能的设备和器件，是将其他形式的能量转换为电能的装置，如电池、发电机等。

（2）负载：也称用电器，是将电能转换为其他形式的能量的器件或设备，如灯泡等。

（3）控制器件：控制电路工作状态的器件或设备，如开关等。

（4）连接导线：将电器设备和元器件按一定的方式连接起来，如铜、铝电缆线等。

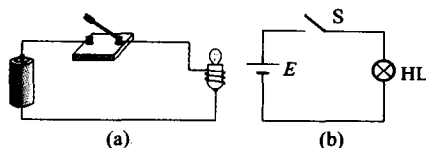


图 1.1.1 手电筒实物电路及其电路模型
(a) 实物电路；(b) 电路模型

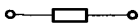
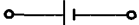
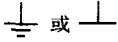
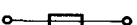
1.1.2 电路模型

实物电路都是由起不同作用的电路元件或器件所组成，为了便于使用数学方法对电路进行分析，可将电路实体中的各种电器设备和元器件用一些能够表征它们主要电磁特性的理想元件（模型）来代替，而对它实际的结构、材料、形状等非电磁特性不予考虑，将实际元

件理想化。由这些理想元件构成的电路叫做实物电路的电路模型，它是对实物电路电磁性质的科学抽象和概括，也叫做实物电路的电路原理图，简称为电路图，例如，图 1.1.1 所示的手电筒电路。

各种电气元件都可以用图形符号或文字符号来表示，根据国标规定，部分常用的电气元件符号见表 1.1.1。

表 1.1.1 常用的电气元件及符号

名称	符号	名称	符号
电阻		电压表	
电池		接地	
电灯		熔断器	
开关		电容	
电流表		电感	

1.2 电压和电流的参考方向

关于电压和电流的方向，有实际方向和参考方向两种，要加以区别。为此在分析与计算电路时，常可任意选定某一方向作为电流（电压）的参考方向，或称电流（电压）的正方向。

1.2.1 电流

电路中电荷的定向运动形成电流，其方向规定为正电荷流动的方向（或负电荷流动的反方向），其大小等于在单位时间内通过导体横截面的电量，称为电流强度（简称电流），用符号 I 或 $i(t)$ 表示，讨论电流时可用符号 i 。

设在 $\Delta t = t_2 - t_1$ 时间内，通过导体横截面的电荷量为 $\Delta q = q_2 - q_1$ ，则在 Δt 时间内的电流强度可用数学公式表示为

$$i(t) = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (1.2.1)$$

式中, Δt 为很小的时间间隔, 时间的单位为秒 (s); 电量 Δq 的单位为库仑 (C); 电流 $i(t)$ 的单位为安培 (A)。

常用的电流单位还有毫安 (mA)、微安 (μA)、千安 (kA) 等, 它们与安培的换算关系为

$$1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}; \quad 1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}; \quad 1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A}$$

1. 直流电流

如果电流的大小及方向都不随时间变化, 即在单位时间内通过导体横截面的电量相等, 则称为稳恒电流或恒定电流, 简称为直流 (Direct Current), 记为 DC 或 dc。直流电流用大写字母 I 表示。若在 t 内通过导体横截面的电荷量是 q , 则电流 I 可以用下式表示

$$I = \frac{q}{t} \quad (1.2.2)$$

2. 交流电流

如果电流的大小及方向均随时间变化, 则称为变动电流。对电路分析来说, 一种最为重要的变动电流是正弦交流电流, 其大小及方向均随时间按正弦规律呈周期性变化, 简称为交流 (Alternating Current), 记为 AC 或 ac, 其瞬时值用小写字母 i 或 $i(t)$ 表示, 即

$$i(t) = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

【例 1.2.1】某导体在 5 min 内均匀通过的电荷量为 4.5 C, 求导体中的电流是多少毫安?

【解】
$$I = \frac{q}{t} = \frac{4.5}{5 \times 60} = 0.015 \text{ A} = 15 \text{ mA}$$

3. 电流的方向

在分析或计算电路时, 常常要确定电流的方向。当电路比较复杂时, 某段电路中电流的实际方向往往难以确定, 可先假定电流的参考方向。如图 1.2.1 所示, 当电流的实际方向与其参考方向一致时, 则电流为正值; 当电流的实际方向与其参考方向相反时, 则电流为负值。

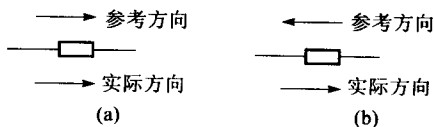


图 1.2.1 电流的方向

(a) $I > 0$; (b) $I < 0$

1.2.2 电压

电压是指电路中两点 A、B 之间的电位差 (简称为电压), 其大小等于单位正电荷因受电场力作用从 A 点移动到 B 点所做的功, 电压的方向规定为从高电位指向低电位的方向。记作

$$U_{AB} = \frac{W}{q} \quad (1.2.3)$$

式中, W 为电场力由 A 点移动电荷到 B 点所做的功, J; q 为由 A 点到 B 点的电荷量, C; U_{AB} 为 A、B 两点间的电压, V。

电压的单位为伏特 (V), 常用的单位还有毫伏 (mV)、微伏 (μ V)、千伏 (kV) 等, 它们与伏特的换算关系为

$$1 \text{ mV} = 10^{-3} \text{ V}; \quad 1 \mu\text{V} = 10^{-6} \text{ V}; \quad 1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V}$$

1. 直流电压和交流电压

如果电压的大小及方向都不随时间变化, 则称为稳恒电压或恒定电压, 简称为直流电压, 用大写字母 U 表示。

如果电压的大小及方向随时间变化, 则称为变动电压。对电路分析来说, 一种最为重要的变动电压是正弦交流电压 (简称交流电压), 其大小及方向均随时间按正弦规律呈周期性变化, 其瞬时值用小写字母 u 或 $u(t)$ 表示。

2. 电压的方向

电压不但有大小, 而且也有方向。在电路图中, 电压的方向也称为电压的极性, 用“+”、“-”两个符号表示。与电流一样, 电路中任意两点之间的电压的实际方向往往不能事先确定, 因此可以任意设定该段电路电压的参考方向, 并以此为依据进行电路分析和计算。

电压的方向规定为由高电位 (“+”极性) 端指向低电位 (“-”极性) 端, 即为电压降低的方向。如果计算电压结果为正值, 说明电压的假定参考方向与实际方向一致; 若计算电压结果为负值, 说明电压的假定参考方向与实际方向相反。

电压的参考方向有 3 种表示方法, 如图 1.2.2 所示。

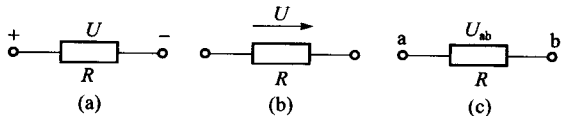


图 1.2.2 电压参考方向的表示方法

1.3 电阻与电导

1.3.1 电阻

自然界中的各种物质, 按其导电性能来分有 3 种: 导体、绝缘体和半导体。其中导电性能良好的物质叫做导体, 导体内部有大量的自由电荷; 导电性能差的物质叫做绝缘体, 其内部几乎没有自由电荷; 导电性能介于导体和绝缘体之间的物质叫做半导体。

金属导体中的电流是自由电子的定向移动形成的。自由电子在运动中会不断地与金属中

的离子和原子相互碰撞,使自由电子的运动受到阻碍。因此导体对于通过它的电流呈现一定的阻碍作用。反映导体对电流阻碍作用大小的物理量称为电阻,用 R 表示。

1. 电阻元件

电阻元件是对电流呈现阻碍作用的耗能元件,例如灯泡、电热炉等电器。导体的电阻是客观存在的,它与导体两端有无电压无关,即使没有电压,导体仍然有电阻。实验证明:当温度一定时,均匀导体的电阻与导体的长度成正比,与导体的横截面积成反比,并与导体的材料性质有关,即

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1.3.1)$$

式中, ρ 为制成电阻的材料电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$; l 为绕制成电阻的导线长度, m ; S 为绕制成电阻的导线横截面积, m^2 ; R 为电阻值, Ω 。

经常用的电阻单位还有千欧($\text{k}\Omega$)、兆欧($\text{M}\Omega$),它们与 Ω 的换算关系为

$$1 \text{ k}\Omega = 10^3 \Omega; \quad 1 \text{ M}\Omega = 10^6 \Omega$$

不同的材料有不同的电阻率,电阻率的大小反映了各种材料导电性能的好坏。电阻率越大,导电性能越差。通常将电阻率小于 $10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$ 的材料称为导体;电阻率大于 $10^7 \Omega \cdot \text{m}$ 的材料称为绝缘体。生产中的导体一般用银、铜、铝等电阻率小的金属制成;为了安全,电工器具都采用电阻率较大的绝缘材料与导体隔离,如橡胶、塑料等。表1.3.1列出了几种常见材料的电阻率。

表 1.3.1 常见材料的电阻率

材料名称		20℃时的电阻率 $\rho / (\Omega \cdot \text{m})$	电阻温度系数 $\alpha / (1/^\circ\text{C})$
导体	银	1.6×10^{-8}	3.6×10^{-3}
	铜	1.7×10^{-8}	4.1×10^{-3}
	铝	2.9×10^{-8}	4.2×10^{-3}
	钨	5.3×10^{-8}	5×10^{-3}
	铁	9.78×10^{-8}	6.2×10^{-3}
	镍	7.3×10^{-8}	6.2×10^{-3}
	铂	1.0×10^{-7}	3.9×10^{-3}
	锡	1.14×10^{-7}	4.4×10^{-3}
	锰铜(铜86%、锰12%、镍2%)	4.0×10^{-7}	2.0×10^{-5}
	康铜(铜54%、镍46%)	5.0×10^{-7}	4.0×10^{-5}
	镍铬(镍80%、铬20%)	1.1×10^{-6}	7.0×10^{-5}