



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高等职业教育

技能型紧缺人才

培养教材

电工电子技术基础

(第二版)

邹建华 彭宽平 姜新桥 主编

华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高等职业教育技能型紧缺人才培养教材

电工电子技术基础

(第二版)

主 编 邹建华 彭宽平 姜新桥

华中科技大学出版社
中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术基础(第二版)/邹建华 彭宽平 姜新桥 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2009年4月

ISBN 978-7-5609-3519-5

I. 电… II. ①邹… ②彭… ③姜… III. ①电工技术-高等学校:技术学校-教材 ②电子技术-高等学校:技术学校-教材 IV. TM TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 007343 号

电工电子技术基础(第二版) 邹建华 彭宽平 姜新桥 主编

策划编辑:万亚军 姚 幸

责任编辑:刘 飞

责任校对:周 娟

封面设计:刘 卉

责任监印:熊庆玉

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:华中科技大学印刷厂

开本:787mm×960mm 1/16

印张:24

字数:419 000

版次:2009年4月第2版

印次:2011年1月第5次印刷

定价:38.80元

ISBN 978-7-5609-3519-5/TM·82

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书包括电路的基本知识、电路的过渡过程、正弦交流电路、磁路与变压器、异步电动机及其控制、半导体二极管和三极管、交流放大电路、集成运算放大电路、直流稳压电源、门电路与组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路、电力电子技术、电子电路仿真软件 EWB 的使用、电工电子技术典型实验等内容, 共计 14 章。第 1~13 章每章后附有小结、习题, 书末还附有部分习题参考答案。

本书可作为高职高专的机械制造、机电一体化、数控及其相关专业电工电子技术课程的教材, 也可供有关工程技术人员参考。

高等职业教育技能型紧缺人才培养教材

数控技术应用专业系列教材编委会

主 任 陈吉红 教授、博导 华中科技大学

委 员 (以姓氏笔画为序)

万金保 副院长 深圳职业技术学院

王培林 副院长 广东技术师范学院

刘小芹 副院长 武汉职业技术学院

刘兰明 副院长 邯郸职业技术学院

刘惠坚 副院长 广东机电职业技术学院

刘继平 副院长 湖南工业职业技术学院

刘瑞池 副院长 芜湖职业技术学院

陈德清 副院长 安徽职业技术学院

李本初 副院长 湖北职业技术学院

张 元 校 长 郑州工业高等专科学校

再版前言

《电工电子技术基础》(第二版)为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,也是高等职业教育技能型紧缺人才培养教材之一。

本书在保持第一版特色的基础上,主要进行了以下修订。

(1) 删除了在其他课程中会专门讲述的原第13章非电量电测技术的内容。

(2) 将电子电路仿真软件 EWB 引入课程中,这对于开发学生的想象力和创造力及提高学生的个性化设计能力都会起到良好的作用。

(3) 增加第14章电工电子技术典型实验,这主要是针对高职高专教育重在实践能力和职业能力培养目标而增加的内容。通过这一章的学习和实践,学生的动手能力将会得到加强。

(4) 其他章节作了必要的修订。

(5) 附录中的旧标准用新标准取代。

本书共分14章,分别是电路的基本知识、电路的过渡过程、正弦交流电路、磁路与变压器、异步电动机及其控制、半导体二极管和三极管、交流放大电路、集成运算放大器、直流稳压电源、门电路与组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路、电力电子技术简介、电子电路仿真软件 EWB 的使用、电工电子技术典型实验。

本书由邹建华、彭宽平、姜新桥任主编,具体分工为:第1~5章和第14章由邹建华编写,第6~11章由彭宽平编写,第12、13章由姜新桥编写。全书由邹建华、彭宽平、姜新桥统稿和定稿。

在本书的策划、编写和修订过程中,华中科技大学郑小年教授提出了许多指导性的意见和建议,在此表示衷心的感谢。

尽管我们在教材建设方面做了许多努力,但由于水平所限,书中不妥之处在所难免,敬请各教学单位和广大读者给予批评指正。

编 者

2008年12月

序

为实现全面建设小康社会的宏伟目标,使国民经济平衡、快速发展,迫切需
要培养大量不同类型和不同层次的人才。因此,党中央明确地提出人才强国战略
和“造就数以亿计的高素质劳动者,数以千万计的专门人才和一大批拔尖创新人
才”的目标,要求建设一支规模宏大、结构合理、素质较高的人才队伍,为大力
提升国家核心竞争力和综合国力、实现中华民族的伟大复兴提供重要保证。

制造业是国民经济的主体,社会财富的 60%~80%来自于制造业。在经济全球
化的格局下,国际市场竞争异常激烈,中国制造业正由跨国公司的加工组装基地
向世界制造业基地转变。而中国经济要实现长期可持续高速发展,实现成为“世
界制造中心”的愿望,必须培养和造就一批掌握先进数控技术和工艺的高素质劳
动者和高技能人才。

教育部等六部委启动的“制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养工程”,是
落实党中央人才强国战略,培养高技能人才的正确举措。针对国内数控技能人才
严重缺乏、阻碍了国家制造业实力的提高、数控技能人才的培养迫在眉睫的形势,
教育部颁布了《两年制高等职业教育数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养
指导方案》(以下简称《两年制指导方案》)。对高技能人才培养提出具体的方案,
必将对我国制造业的发展产生重要影响。在这样的背景下,华中科技大学出版社
策划、组织华中科技大学国家数控系统技术工程研究中心和一批承担数控技术应
用专业领域技能型人才培养培训任务的高等职业院校编写两年制高等职业教育数
控技术应用专业系列教材,为《两年制指导方案》的实施奠定基础,是非常及时
的。

与普通高等教育的教材相比,高等职业教育的教材有自己的特点,编写两年
制高等职业教育教材更是一种新的尝试,需要创新、改革,因此,希望这套教材
能够做到:

体现培养高技能人才的理念。教育部部长周济院士指出:高等职业教育的主
要任务就是培养高技能人才。何谓“高技能人才”?这类人才既不是“白领”,也
不是“蓝领”,而是应用型“白领”,可称之为“银领”。这类人才既要能动脑,更
要能动手。动手能力强是高技能人才最突出的特点。本套系列教材将紧扣该方
案中提出的教学计划来编写,在使学生掌握“必需够用”理论知识的同时,力争在
学生技能的培养上有所突破。

突出职业技能培养特色。“高职高专教育必须以就业为导向”，这一点已为人们所广泛共识。目前，能够对劳动者的技能水平或职业资格进行客观公正、科学规范评价和鉴定的，主要是国家职业资格证书考试。随着我国职业准入制度的完善和劳动就业市场的规范，职业资格证书将是用人单位招聘、录用劳动者必备的依据。以“就业为导向”，就是要使学校培养人才与企业需求融为一体，互相促进，能够使学生毕业时就具备就业的必备条件。这套系列教材的内容将涵盖一定等级职业考试大纲的要求，帮助学生在学完课程后就有能力获得一定等级的职业资格证书，以突出职业技能培养特色。

面向学生。高等职业教育要使学生建立起能够满足工作需要的知识结构和能力结构，一方面，充分考虑高职高专学生的认知水平和已有知识、技能、经验，实事求是，另一方面，力求在学习内容、教学组织等方面给教师和学生提供选择和创新的空間。

两年制教材的编写是一个新生事物，需要不断地实践、总结、提高。欢迎广大师生对本系列教材提出宝贵意见。

高等职业教育数控技术应用专业系列教材编委会主任

国家数控系统技术工程研究中心主任 **陈吉红**

华中科技大学教授、博士生导师

2004年8月18日

目 录

第 1 章 电路的基本知识	(1)
1.1 电路和电路模型	(1)
1.2 电路的基本物理量	(2)
1.3 电阻元件、电感元件和电容元件	(6)
1.4 电压源、电流源及其等效变换	(17)
1.5 基尔霍夫定律	(20)
1.6 复杂电路的分析与计算	(22)
本章小结	(25)
习题	(26)
第 2 章 电路的过渡过程	(30)
2.1 过渡过程和换路定律	(30)
2.2 RC 串联电路的过渡过程	(32)
2.3 RL 串联电路的过渡过程	(36)
2.4 一阶电路的全响应	(39)
本章小结	(40)
习题	(41)
第 3 章 正弦交流电路	(43)
3.1 正弦交流电的三要素	(43)
3.2 正弦量的相量表示法	(46)
3.3 单相交流电路	(49)
3.4 三相交流电路	(62)
本章小结	(71)
习题	(72)
第 4 章 磁路与变压器	(76)
4.1 磁路的基本概念	(76)
4.2 变压器	(80)
本章小结	(90)
习题	(91)

第 5 章 异步电动机及其控制	(92)
5.1 三相异步电动机	(92)
5.2 单相异步电动机	(108)
5.3 常用控制电器	(111)
5.4 三相异步电动机的基本控制电路	(119)
5.5 安全用电	(127)
本章小结	(129)
习题	(130)
第 6 章 半导体二极管和三极管	(132)
6.1 半导体基本知识	(132)
6.2 半导体二极管	(137)
6.3 稳压二极管	(140)
6.4 发光二极管	(142)
6.5 半导体三极管	(142)
本章小结	(148)
习题	(149)
第 7 章 交流放大电路	(152)
7.1 基本放大电路的组成及各元件的作用	(152)
7.2 放大电路的直流通路和静态分析	(154)
7.3 放大电路的交流通路和动态分析	(155)
7.4 静态工作点的稳定和分压式偏置放大电路	(160)
7.5 射极输出器	(164)
7.6 多级放大电路	(168)
7.7 放大电路中的负反馈	(171)
7.8 功率放大电路	(174)
本章小结	(178)
习题	(178)
第 8 章 集成运算放大器	(183)
8.1 集成运算放大器介绍	(183)
8.2 集成运算放大器的主要参数	(184)
8.3 理想集成运算放大器的分析方法	(185)
8.4 集成运算放大器选用和使用中应注意的问题	(196)
本章小结	(198)
习题	(198)

第 9 章 直流稳压电源	(202)
9.1 直流稳压电源的组成	(202)
9.2 整流电路	(202)
9.3 滤波电路	(208)
9.4 稳压电路	(211)
本章小结	(215)
习题	(215)
第 10 章 门电路与组合逻辑电路	(217)
10.1 脉冲信号与数制	(217)
10.2 晶体管的开关作用	(220)
10.3 基本逻辑门电路	(221)
10.4 TTL 门电路	(227)
10.5 组合逻辑电路	(229)
10.6 加法器	(235)
10.7 编码器	(237)
10.8 译码器和数码显示器	(239)
本章小结	(242)
习题	(242)
第 11 章 触发器和时序逻辑电路	(245)
11.1 双稳态触发器	(245)
11.2 寄存器	(252)
11.3 计数器	(254)
11.4 D/A 转换器	(256)
11.5 A/D 转换器	(260)
11.6 可编程逻辑器件简介	(263)
本章小结	(266)
习题	(266)
第 12 章 电力电子技术简介	(271)
12.1 常用电力电子器件	(271)
12.2 可控整流电路	(278)
12.3 直流-交流逆变电路	(281)
12.4 交流-交流变频电路	(285)
12.5 调压电路	(287)
本章小结	(292)
习题	(293)

第 13 章 电子电路仿真软件 EWB 的应用	(294)
13.1 EWB 概述	(294)
13.2 在电子工作平台上建立实验电路	(300)
13.3 使用虚拟仪器仪表	(302)
13.4 综合应用实例	(312)
本章小结	(316)
习题	(317)
第 14 章 电工电子技术典型实验	(318)
14.1 电工技术典型实验	(318)
14.2 电子技术典型实验	(340)
部分习题参考答案	(361)
附录 A 常用电动机电器图形符号 (GB 4728—1985)	(366)
附录 B 电气设备常用基本文字符号 (GB 7159—1987)	(368)
附录 C 半导体分立器件型号命名方法 (GB 249—1989)	(369)
附录 D 常用半导体器件的参数	(370)
参考文献	(373)

第 1 章 电路的基本知识

本章主要介绍电路模型、电路的基本物理量和电路的基本元件；重点讨论基尔霍夫定律、叠加定理、戴维宁定理以及支路电流法。

1.1 电路和电路模型

1.1.1 实际电路的组成和作用

人们在生产和生活中使用的电器设备，如电动机、电视机、计算机等都由实际电路构成。实际电路的结构组成包括电源、负载和中间环节。其中：电源的作用是为电路提供能量，如利用发电机将机械能或核能转化为电能，利用蓄电池将化学能转化为电能等；负载则将电能转化为其他形式的能量加以利用，如利用电动机将电能转化为机械能，利用电炉将电能转化为热能等；中间环节起连接电源和负载的作用，包括导线、开关、控制线路中的保护设备等。图 1.1 所示的手电筒电路中，电池作电源，白炽灯作负载，导线和开关作为中间环节将白炽灯和电池连接起来。

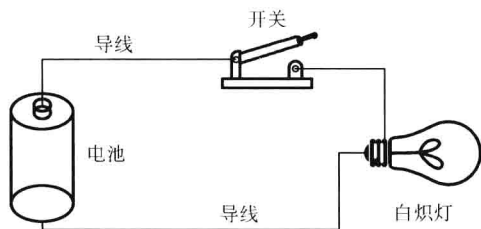


图 1.1 手电筒电路

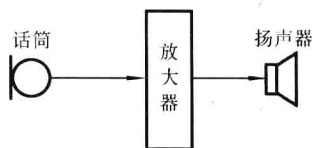


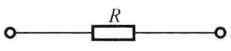
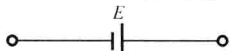
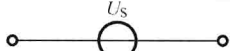
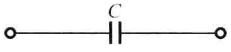
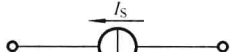
图 1.2 扩音机工作过程

在电力系统、电子通信、计算机以及其他各类系统中，电路有着不同的功能和作用。电路的作用可以概括为以下两个方面。①实现电能的传输和转换。如图 1.1 中，电池通过导线将电能传递给白炽灯，白炽灯将电能转化为光能和热能。②实现信号的传递和处理。如图 1.2 是一个扩音机的工作过程。话筒将声音的振动信号转换为电信号，即相应的电压和电流，经过放大处理后，通过电路传递给扬声器，再由扬声器还原为声音。

1.1.2 电路模型

实际电路由各种作用不同的电路元件或器件所组成。实际电路元件种类繁多,且电磁性质较为复杂。如图 1.1 中的白炽灯,它除了具有消耗电能的性质外,当电流通过时,还具有电感性。为便于对实际电路进行分析和数学描述,需将实际电路元件用能够代表其主要电磁特性的理想元件或它们的组合来表示,称为实际电路元件的模型。反映具有单一电磁性质的元件模型称为理想元件,包括电阻、电感、电容、电源等。表 1.1 所列的是电工技术中常用的几种理想电路元件及其图形符号。

表 1.1 常用的几种理想电路元件及其图形符号

元件名称	图 形 符 号	元件名称	图 形 符 号
电阻		电池	
电感		理想电压源	
电容		理想电流源	

由理想元件所组成的电路称为实际电路的电路模型,简称电路。将实际电路模型化是研究电路问题的常用方法。在图 1.1 中,电池对外提供电压的同时,内部也有电阻消耗能量,所以电池用理想电压源 U_s 和内阻 R_s 的串联表示;白炽灯除了具有消耗电能的性质(电阻性)外,通电时还会产生磁场,具有电感性。但电感微弱,可忽略不计,于是可认为白炽灯是一电阻元件,用 R 表示。图 1.3 是图 1.1 的电路模型。

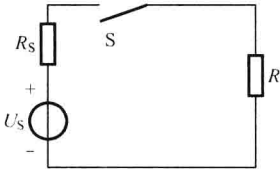


图 1.3 图 1.1 的电路模型

1.2 电路的基本物理量

电路的基本物理量有电流、电压、电位、功率等,在分析电路之前,我们先来介绍一下这些物理量。

1.2.1 电流及其参考方向

在图 1.1 中,当开关合上时,会有电荷移动形成电流。在电场的作用下,正电荷与负电荷向不同的方向移动,习惯上规定正电荷的移动方向为电流的方向(事

实上, 金属导体内的电流是由带负电的电子的定向移动产生的)。

电流的大小为单位时间内通过导体横截面的电量, 用公式表示为

$$i = \frac{q}{t} \quad (1.1)$$

其中, i 为电流, q 为电量或电荷量, t 为时间。国际单位制中, q 的单位为库[仑](C), 电流的单位为安[培](A), 规定 1 s 内通过导体横截面的电量为 1 C 时的电流为 1 A。常用的电流单位还有毫安(mA)、微安(μ A)。

大小和方向都不随时间变化的电流称为直流电流, 用大写字母 I 表示, 如图 1.4(a)所示; 大小和方向都随时间变化的电流称为交流电流, 由于交流电的大小是随时间变化的, 故常用小写字母 i 或 $i(t)$ 表示其瞬时值, 如图 1.4(b)所示。

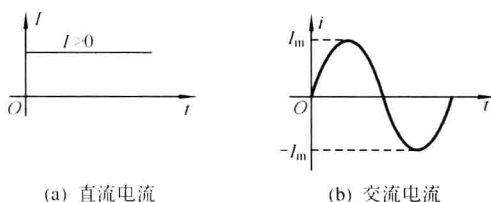


图 1.4 直流电流与交流电流

分析简单电路时, 可由电源的极性判断电路中电流的实际方向, 但分析复杂电路时, 一般不能直接判断出电流的实际方向, 而是先任意假定一个方向作为电路分析和计算时的参考, 我们称之为电流的参考方向。在参考方向下, 通过电路定律或定理解得的电流如果为正值, 表明电流的实际方向与参考方向相同, 如果为负值, 则实际方向与参考方向相反。

图 1.5 中, 方框 A 与 B 均为对外引出两个端钮的元件, 把它们称为二端元件。电阻元件、电感元件和电容元件均为无源二端电路元件。图 1.5 中用带箭头的虚线表示电流的实际方向, 用带箭头的实线表示电流的参考方向。在图 1.5(a)中的参考方向下, 通过元件 A 的电流为 5 A, 说明实际电流的大小为 5 A, 实际方向与参考方向相同。在图 1.5(b)中的参考方向下, 通过元件 B 的电流为 -3 A, 说明实际电流的大小为 3 A, 实际方向与参考方向相反。

在分析电路时, 电路图中标出的电流方向一般都指参考方向。电流的方向一般用箭头表示, 也可用双下标表示, 如 I_{ab} 表示电流方向由 a 到 b 。

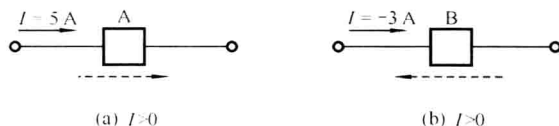


图 1.5 电路中的电流方向

1.2.2 电压及参考方向

电荷在电场力作用下形成电流。在这个过程中, 电场力推动电荷运动做功。电压就是用来表示电场力对电荷做功能力的一个物理量。

电压的单位是伏[特](V), 规定电场力把 1 C 的正电荷从一点移到另一点所做的功为 1 J 时, 该两点间的电压为 1 V。常用的电压单位还有千伏(kV)、毫伏(mV)和微伏(μ V)。通常直流电压用大写字母“U”表示, 交流电压用小写字母“u”表示。

电压也称电位差(或电势差)。一般把电路中任一点与参考点(规定电位能为零的点)之间的电压, 称为该点的电位。也就是该点对参考点所具有的电位能。某点的电位用 V 加下标表示(例如, V_a 表示 a 点的电位), 单位与电压相同, 用伏[特](V)表示。参考点的电位为零可用符号“ $\perp$ ”表示。

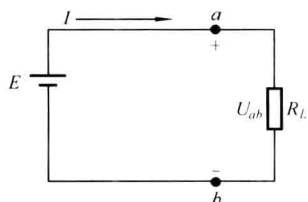


图 1.6 电压的概念

电路中两点间的电压与参考点的选择无关, 而电位随参考点(零电位点)选择的不同而不同。如图 1.6 所示, 电路中 a 、 b 两点间的电压用 U_{ab} 表示, 大小为将单位正电荷由点 a 移动到点 b 所需要的能量, 即

$$U_{ab} = V_a - V_b = \frac{dw}{dq} \quad (1.2)$$

电路中的电流和电压由电源电动势维持。电源电动势定义为电源内部把单位正电荷从低电位移动到高电位电源力所做的功。电源电压在数值上与电源电动势相等。

电路中, 电压的实际方向定义为电场力移动正电荷的方向, 也就是电位降低或称电压降低的方向。可用极性“+”和“-”表示, 其中“+”表示高电位,“-”表示低电位; 也可用一个箭头或双下标表示, 如 U_{ab} 表示电压的方向为由 a 到 b 。电源电动势的实际方向, 规定为从电源内部的“-”极指向“+”极, 即电位升高的方向。

同电流一样, 分析电路时也需先假定电压的参考方向。选定电压的参考方向后, 经分析计算得到的电压值也是有正负之分的代数量。在图 1.7(a)中的参考方向下, 元件 A 两端的电压为 6 V, 表示元件 A 两端实际电压的大小为 6 V, 方向由 a 到 b , 与参考方向相同。在图 1.7(b)中的参考方向下, 元件 B 两端的电压为 -6 V, 表示元件 B 两端实际电压的大小为 6 V, 方向由 b 到 a , 与参考方向相反。

在分析电路时, 电路图上标出的电压方向一般都是参考方向。当电流、电压的参考方向一致时, 称为关联方向, 见图 1.7(a); 否则为非关联方向, 见图 1.7(b)。



图 1.7 电压的参考方向

例 1.1 在图 1.8 中, 已知 $U_{ac} = 3 \text{ V}$, $U_{bc} = 2 \text{ V}$, 试计算各点电位及 ab 间的电压。

解 因为选择 c 点为参考点, 即 c 点电位为 0, 因此

$$\begin{aligned} V_c &= 0 \text{ V} \\ V_b &= U_{bc} = 2 \text{ V} \\ V_a &= U_{ac} = 3 \text{ V} \\ U_{ab} &= V_a - V_b = (3 - 2) \text{ V} = 1 \text{ V} \end{aligned}$$

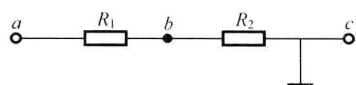


图 1.8 例 1.1 图

1.2.3 功率

电能量对时间的变化率, 也就是电场力在单位时间内所做的功, 称为功率。设电场力在 dt 时间内所做的功为 dw , 则功率可表示为

$$p = \frac{dw}{dt} \quad (1.3)$$

其中, p 表示功率。国际单位制中, 功率的单位是瓦[特](W), 规定元件 1 s 内提供或消耗 1 J 能量时的功率为 1 W。常用的功率单位还有千瓦(kW)。

将式(1.3)等号右边的分子、分母同乘以 dq 后, 变为

$$p = \frac{dw}{dq} \times \frac{dq}{dt} = ui \quad (1.4)$$

所以, 元件吸收或发出的功率等于元件上的电压乘以元件上的电流。直流电路里这一公式写为

$$P = UI$$

关联方向下, 如果 $P > 0$, 表明元件消耗功率, 此时该元件称为负载; 如果 $P < 0$, 表明元件发出功率, 此时该元件称为电源。非关联方向下的结论与此相反。

例 1.2 试判断图 1.9 中元件是发出功率还是消耗功率。



图 1.9 例 1.2 图