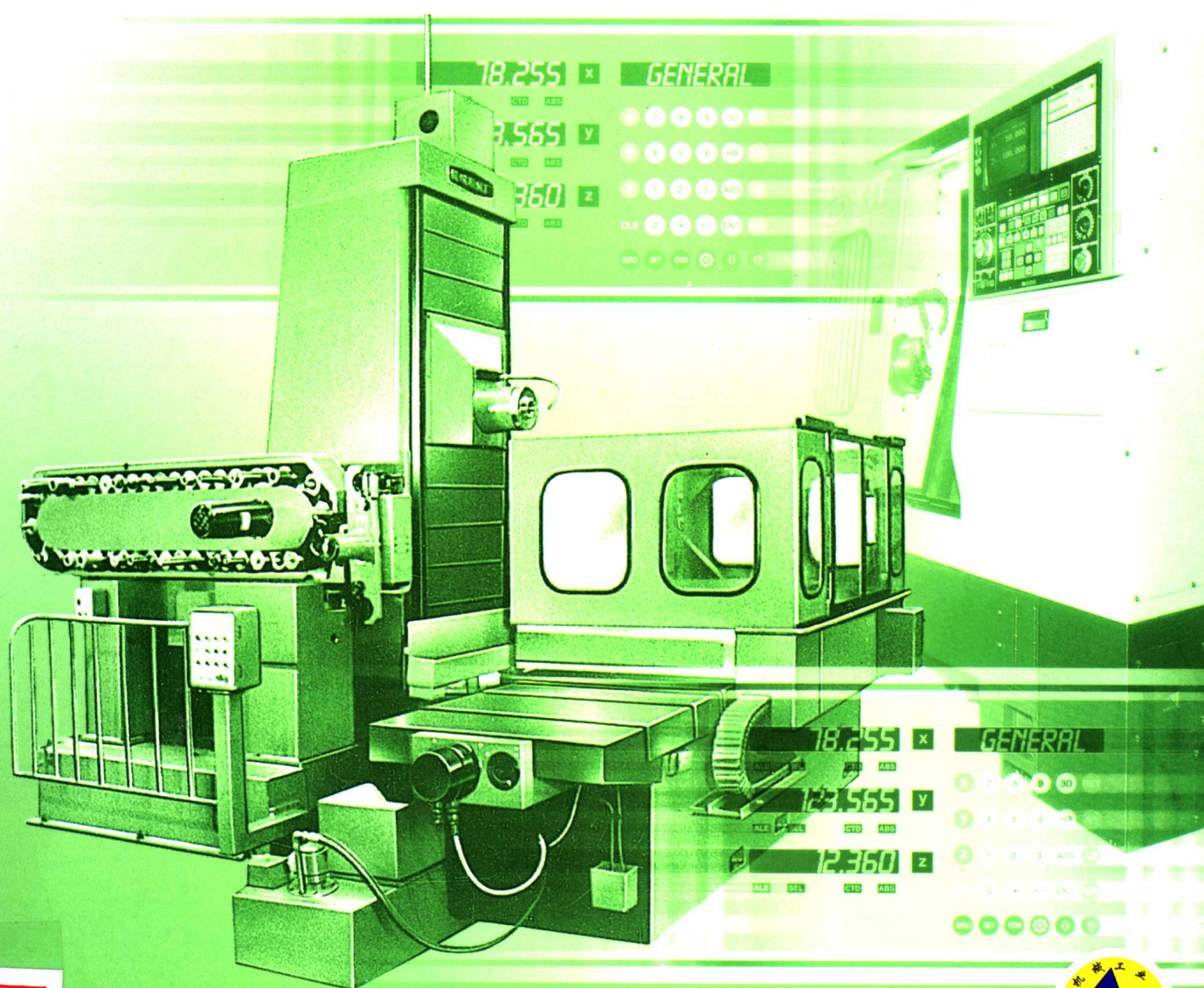


职业技术教育教材

机电一体化——数控机床加工技术专业

电子技术基础



机械工业出版社
China Machine Press



职业技术教育教材

机电一体化——数控机床加工技术专业

电子技术基础

上海市职业技术教育课程改革与教材建设委员会 组编



机械工业出版社

《电子技术基础》是上海市职业技术教育课程改革与教材建设委员会机械专业教材编审委员会组织编写的。为职业技术教育机电一体化专业及相关专业通用教材。全书包含电路基础、模拟电子技术、数字电子技术三大部分（并配有实验、实训教材），主要内容有直流电路、交流电路、常用半导体器件、整流滤波电路、稳压调压电路、放大电路及基本单元电路、集成运算放大器、数字电路基础知识、组合逻辑电路、时序逻辑电路、波形产生及变换电路、模/数和数/模转换等。教材的编排采用模块结构，以方便不同专业的要求和不同学时需要。

本书突出以能力为本，选材合理，深浅适度，每章节均有课堂练习、自我检查题和习题。结合实际，配有实物示教、演示实验，本书几乎所有的演示实验都可在 Electronics Workbench EDA 上实现，具有一定的先进性和可操作性，总体思路清晰，便于教学。

图书在版编目（CIP）数据

电气技术基础/上海市职业技术教育课程改革与教材
建设委员会组编. —北京：机械工业出版社，2003.9
职业技术教育教材. 机电一体化——数控机床加工
技术专业
ISBN 7-111-09249-X

I. 电… II. 上… III. 电子技术—专业学校—教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2001）第 058086 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）
责任编辑：郑文斌 版式设计：霍永明 责任校对：张莉娟
封面设计：姚 毅 责任印制：闫 焱
北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
2003 年 10 月第 1 版·第 2 次印刷
787mm×1092mm $1/16$ ·14 印张·343 千字
5 001—8 000 册
定价：22.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
本社购书热线电话（010）68993821、88379646
封面无防伪标均为盗版

上海市职业技术教育机械专业 教材编审委员会

主 任 夏毓灼
副 主 任 徐韵发 吴志清
委 员 （按姓氏笔画排列）
 吉广镜 刘际远 金瑞樑
 徐孝远 高奇玲 谢卫华
秘 书 相雅蓉

本书主编 冯满顺
本书参编 骆秋秋 周 敏 戴玉珍
本书主审 吴汉森

序

我国的现代化建设不但需要高级科学技术专家，而且迫切需要职业技术人才、管理人员和技术工人，而这类人才的培养主要是通过职业技术教育来实现的，所以党和国家非常重视职业技术教育的改革和发展。努力培养出各行各业所需的职业人才，是社会、经济发展对职业技术教育提出的迫切要求。我国的职业技术教育长期实行的是“学科本位”的教学模式，这种模式重理论轻实践，重知识轻技能，培养出的学生不适应社会、经济发展的要求。因此，职业技术教育要深化改革，办出特色，为社会培养出既有理论又有技能，德、智、体全面发展的一代新人。

职业技术教育要办出自己的特色，关键在于课程改革与教材建设。为此，1996年上海市教委启动了职业技术教育课程改革与教材建设工程（简称“10181”工程），即用5年左右的时间，完成10门普通文化课程的改革及示范教材的编写工作；完成18个典型专业（工种）的课程改革以及同步编写出部分典型示范性教材；经过10年左右的改革实践，基本形成一个具有职教特色的课程结构和教材体系。

这次课程改革与教材建设是以社会和经济发展的需要为出发点，以职业（岗位）需求为直接依据，以现行职业技术教育课程、教材的弊端为突破口，积极学习并借鉴国外职业技术教育课程、教材改革的有益经验，以实现办出职教特色的根本目的。在充分研究和广泛征求意见的基础上，确立了“能力为本位”的改革指导思想。目的是为了克服职教长期存在的重理论轻实践、重知识轻技能的倾向，真正培养出经济和社会发展所需要的职业技术人才。

在各方面的共同努力下，新的教材终于与广大师生见面了。这些新的教材并不是职业技术教育课程改革与教材建设的全部，它只是典型的示范性教材，因为职业技术教育的专业门类繁多，不可能在较短的时间内，依靠少数编写人员解决职教中全部的课程、教材问题。职业技术教育的课程改革和教材建设是一项系统的长期的工作，只有充分发挥广大教师的改革积极性，在教学过程中不断用“能力本位”的教育思想，主动进行课程与教材的改革，我们的课程、教材改革才能全面、持续而深入，才可能真正全面提高教学质量和效益，以不断适应社会、经济发展的需要。

新的教材代表新的思想、新的教法和学法。希望通过这些教材给大家一些启迪，同时也希望大家对新教材提出宝贵的意见。

在课程改革与教材建设过程中，得到了各方面的大力支持，特别是广大编审人员为此付出了辛勤的劳动。在此，向他们表示衷心的感谢！

上海市教育委员会副主任

上海市职业技术教育课程改革与教材建设委员会主任

薛喜民

前 言

“机电一体化——数控机床加工技术专业”教材，全套共14本，经过5年的努力，终于付梓出版了。这套教材是上海市教委组织的“10181”课程改革和教材建设工程的重要组成部分，也是机械专业课程改革和教材建设的可喜成果。

随着科学技术的高速发展，传统的机械工业呈现出了新的技术发展趋势，进入了智能化领域。机电一体化的迅猛发展和数控机床加工技术在企业的普遍应用，对生产一线操作人员的知识和能力要求越来越高，客观上要求一线操作人员应由经验型向智能型转变。这套新教材正是为顺应这一发展趋势而组织编写的。

近5年来，我们机械专业教材编审委员会为此付出了辛勤的劳动。首先组织了长达半年的调查研究，并且参照加拿大CBE经验，制作了DACOM表，就数控机床加工技术专业职业技术人才的知识、能力要求，在五大行业、72个企业中问卷调查了780人次，从而明确了该专业的知识和能力结构。其次，认真进行了课程改革方案的讨论和研究，确定了机电结合，“以机为主，以电为辅”；在课程安排中“以机为主，突出工艺”、“以电为辅，够用为度”的原则。然后对传统的课程体系进行重组优化，如对陈旧老化的知识予以删除，对烦琐的内容予以简化，对某些课程进行重新组合，针对新知识，特别是新的能力需求，设置了新课程。最后，我们按照教材的编写要求，组织了14个编写组，实施主编负责制。所聘的编写人员都是具有改革创新精神、有丰富教学经验、熟悉专业技术的专业人才；同时聘请了有较高造诣的高校教授任主审。为了确保教材质量，对每本教材的编写提纲都组织有关专家进行了逐一论证，从而保证了这套教材的科学性、针对性、实用性。

在这里，我觉得有必要对本专业的设计作一概要介绍。

专业学习期限：学制4年。

培养目标是德、智、体、美全面发展，具有相当于高中的文化基础知识，掌握数控机床加工技术的理论和职业技能，面向生产第一线的工艺实施和智能型操作人员。

本专业强调实务能力，学生通过本专业的学习后，可具有中级水平的数控机床操作能力；具有编制中等复杂程度零件数控加工程序的能力；具有数控机床的刀具选用、调整、工件装夹等技能；具有数控机床维护、保养，并能排除简单故障的能力；具有正确解决零件在数控机床加工过程中质量问题的能力。

这套教材能得以顺利出版，无疑是集体智慧的结晶，是团队合作的成果。在此，我要感谢上海市职业技术教育课程改革与教材建设委员会的正确领导和指导；要感谢上海工业系统各行业、企业的支持和通力合作；要感谢为此呕心沥血、伏案疾书的近百名编审人员；最后还要感谢机械工业出版社的同志们。

当今，我们正处在改革的年代，正是这个年代催生了这套具有改革精神、时代特色和专业个性的新教材。愿随着这套教材的教学实施，能造就一批又一批新的职业技术人才，以服务于国家、造福于企业。

上海市职业技术教育机械专业教材编审委员会副主任 徐韵发

编者的话

本教材是根据1999年1月由上海职业技术教育机械专业教材编审委员会审定的《电子技术基础课程标准》编写的。适用于职业技术教育机电一体化专业,而且计算机、自动化及机械、化工、轻工等非电类专业都可使用。

本教材的教学内容包含电路基础、模拟电子电路和数字电路三个部分。本教材不强调学科的系统性和完整性,但注意到三个部分教学内容的内在联系和教材的前后呼应。本教材采用模块编排,分为电路基础、模拟电子电路和数字电路三大教学模块。每一大的模块内含若干个小的教学模块,以便删减不需要的教学内容,增加新的教学内容,使教材具有可扩展性。

本教材是面向实际,力图贯彻以能力为本位的教学思想。在教材内容的选取上,根据学生学习机电一体化——数控机床专业技术的课程以及完成职业岗位所应具备的能力而选编的。如二极管、三极管、集成电路,主要讲清器件的外特性,避开了器件内部载流子运动的情况;又如整流电路、放大电路、组合逻辑电路、时序逻辑电路,主要着眼于应用,简化了定量的分析计算。

本教材的主要特点是理论联系实际。本教材知识点的引入,采用实物示教、演示实验等直观的教学方法;每个单元都配有相应的实验;另外还编写了电子实训的教学内容,供专用实验周使用。这一切试图培养和提高学生的动手能力和实际操作水平。

本教材的另一主要特点是把边讲边练、讲练结合的教学方法写入了教材。本教材的选编推行目标教学法。每个知识点都配有课堂练习,每一节之后都配有课堂练习,每一章之后都配有相应的适量的习题和自测题,以便检查教学效果。这一切试图培养和提高学生的基本的分析计算能力。

为了让课堂教学生动活泼,学生易学易懂,运用先进的现代化的教学手段势在必行。本教材几乎所有的演示实验都在Electronics Workbench EDA实现,并制成软盘,供老师教学之用。

本书第一章、第三章和第四章由冯满顺高级讲师编写,第二章由骆秋秋高级讲师编写,第五章和第六章由戴玉珍高级讲师编写,第七章、第八章、第九章、第十章和第十一章由周敏高级讲师编写。全书由冯满顺任主编,负责全书的统稿。

本书承蒙上海电子技术学校吴汉森高级讲师仔细审阅,他提出了许多十分宝贵的意见,在此谨表示衷心的感谢。本书在编写过程中,参考了不少的文献和教材,在此也一并表示感谢。

由于编写时间过于仓促,加上编者水平有限,教材中一定会有不少欠缺或错误之处。恳请使用本教材的师生和读者提出宝贵意见。

编者

目 录

序
前言
编者的话

第一篇 电路基础

第一章 直流电路	1	第二节 正弦量的相量表示法	30
第一节 电路的基本概念	1	第三节 交流电路中的三种基本元件	33
第二节 简单直流电路的分析	7	第四节 电阻电感电容串联 电路 复阻抗 功率	41
第三节 电路的基本定律	11	第五节 线圈和电容并联的电路	45
第四节 直流电路的分析	13	第六节 三相交流电路	47
本章小结	19	本章小结	52
习题	20	习题	54
自测题	23	自测题	55
第二章 正弦交流电路	26		
第一节 正弦交流电路的基本概念	26		

第二篇 模拟电子电路

第三章 整流滤波电路	58	自测题	106
第一节 半导体二极管及单相整流 电路	58	第五章 集成运算放大器	108
第二节 滤波电路	62	第一节 集成运算放大器的主要 参数和特点	108
本章小结	65	第二节 集成运算放大器的线性应用	109
习题	66	第三节 集成运算放大器的非线性 应用	113
自测题	67	本章小结	116
第四章 半导体三极管及其基本 电路	69	习题	117
第一节 半导体三极管及其基本 放大电路	69	自测题	118
第二节 多级放大电路和集成电 路的基本知识	80	第六章 稳压、调压电路	119
第三节 放大电路中的负反馈	86	第一节 硅稳压管及其直流稳压电源	119
第四节 正弦波振荡电路	92	第二节 三端式集成稳压电路	122
第五节 功率放大器	97	第三节 晶闸管可控整流电路	123
本章小结	101	本章小结	130
习题	102	习题	130
		自测题	132

第三篇 数 字 电 路

第七章 数字电路基础	134	第二节 寄存器的原理及应用	180
第一节 晶体管开关电路	134	第三节 计数器的原理及应用	183
第二节 逻辑门电路	137	本章小结	190
第三节 逻辑函数的基本概念及 表示方法	145	习题	191
第四节 逻辑函数的化简	149	自测题	194
本章小结	152	第十章 脉冲波形的产生和变换	196
习题	152	第一节 概述	196
自测题	154	第二节 多谐振荡器	196
第八章 几种常用的组合逻辑电路	156	第三节 波形变换电路	198
第一节 组合逻辑电路分析和 设计方法	156	第四节 555 定时器	199
第二节 编码器的原理及应用	158	本章小结	203
第三节 译码器的原理及应用	161	习题	203
第四节 译码显示电路	165	自测题	204
第五节 加法器原理及应用	169	第十一章 A/D 转换器与 D/A 转换器	206
本章小结	170	第一节 D/A 转换器	206
习题	171	第二节 A/D 转换器	208
自测题	173	本章小结	211
第九章 几种常用的时序逻辑电路	175	习题	211
第一节 集成触发器	175	自测题	213
		参考文献	214

第一篇 电路基础

第一章 直流电路

第一节 电路的基本概念

一、电路

在日常生活中或在生产实践中，人们广泛地使用种类繁多的电路。例如为了采光而使用的照明电路；收音机和电视机中将微弱信号进行放大的放大电路；数控机床中使用的各种控制电路。电路就是电流通过的路径。

实物示教 观察手电筒的结构，由两节 1.5V 的干电池、一只小灯泡、一段连接导线和一个开关组成，如图 1-1a 所示，其中干电池即电源，小灯泡即负载，开关即控制设备。因此，手电筒电路可用图 1-1b 所示的电路模型即电路图表示。可见，电路是由电源、负载、输电导线和控制设备等组成。

电源 是供应电能的装置，它把其它形式的能量转换为电能。例如，发电机把机械能转换成电能，干电池把化学能转换成电能。

负载 是取用电能的装置，它把电能转换为其它形式的能量。例如，电灯把电能转换成光能和热能；电动机把电能转换成机械能。

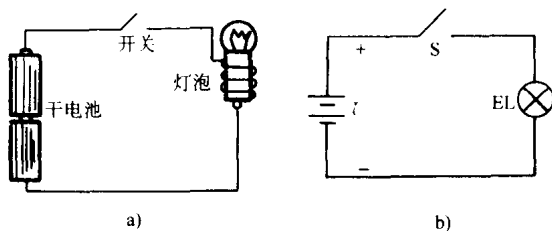


图 1-1 手电筒电路

对电源来讲，负载、连接导线和开关称为外电路，电源内部的一段称为内电路。

二、电流和电压

1. 电流 电荷的定向移动就形成电流。电流的实际方向习惯上指正电荷运动的方向。

演示实验 1 用示波器分别观察直流信号、正弦波信号和三角波信号，看到的波形如图 1-2 所示。

上述实验可见，电流可分为两类：一类是大小和方向均不随时间改变的电流，称为恒定电流，如图 1-2a 所示，简称直流，写作 DC。另一类是大小和方向都随时间变化的电流，称为变动电流，其中一个周期内电流的平均值为零的变动电流则称为交变电流，如图 1-2b、c 所示，简称交流，写作 AC。

对于直流，单位时间内通过导体横截面的电量 Q 是恒定不变的。其电流

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-1)$$

对于变动电流（含交流），在一很小的时间间隔 dt 内，通过导体横截面的电量为 dq ，则该瞬间的电流为 $i = \frac{dq}{dt}$

在国际单位制 SI 中，电流的单位是安[培]，单位符号为 A。它表示 1s（秒）内通过截面的电量为 1C（库仑）。有时还用到 kA（千安），mA（毫安）或 μA （微安），其关系如下

$$1\text{kA} = 1000\text{A} = 10^3\text{A} \quad 1\text{mA} = 10^{-3}\text{A} \quad 1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$$

电流在导体中流动的实际方向有两种可能。在复杂电路中某一段电路里电流的实际方向有时很难立即判定。有时电流的实际方向还在不断地改变。因此在电路中很难标明电路的实际方向，为了解决这样的困难，引入了电流的“参考方向”。

在一段电路或一个电路元件中事先选定一个方向。这个选定的方向叫做电流的“参考方向”。参考方向可以任意选定。当然所选定的电流的“参考方向”，并不一定就是电流的实际方向。我们规定：若电流的实际方向与电流的参考方向一致，则电流为正值，即 $i > 0$ ；若电流的实际方向与电流的参考方向相反，则电流为负值，即 $i < 0$ ，如图 1-3 所示。

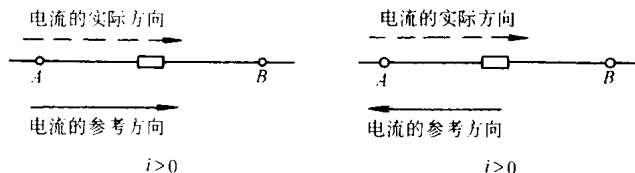


图 1-3 电流的参考方向和实际方向

2. 电压 在电路中电荷之所以能定向移动，是由于电场力作用的缘故。如图 1-1b 所示的外电路中，正电荷受电场力的作用，由电源的“+”端通过负载向电源的“-”端移动。正电荷所具有的电位能逐渐减小，从而把电能转换为其它形式的能量。

如图 1-4 所示，电场力 F 把正电荷从 A 端移到 B 端所做的功 W_{AB} 与被移动正电荷的电量 Q 的比值称为 A 、 B 两端间的电压，用 U_{AB} 表示，即 $U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q}$

由上式可知， A 、 B 两端间的电压，在数值上就等于电场力把单位正电荷从 A 端移到 B 端所做的功。

在图 1-5 所示电路中任选一点（如 O 点）为参考点，则某点（如 A 点）到参考点的电压就叫做这一点的电位（相对于参考点）。用符号 U_A 表示，可知 $U_A = U_{AO}$ 。

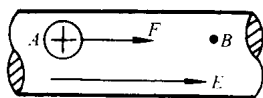


图 1-4 在导线中电场力做功

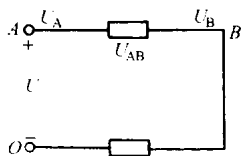


图 1-5 电路中的电位和电压

如果 A 、 B 两点的电位分别记为 U_A 、 U_B ，则 $U_{AB} = U_A - U_B$

因此，两点间的电压，就是该两点的电位之差。引入电位概念后，电压的实际方向是由

高电位点指向低电位点。所以常将电压称为电压降。

在国际单位制 SI 中, 电压的单位是伏 [特] 单位符号为 V, 即电场力将 1C (库仑) 正电荷由 A 点移到 B 点所作的功为 1J (焦耳) 时, 则 AB 间的电压为 1V。有时还需要用千伏 (kV)、毫伏 (mV) 或微伏 (μV) 作单位。

和分析电流一样, 对元件或电路中两点之间可以任意选定一个方向为电压的参考方向, 在电路图中一般用实线箭头表示。当电压的实际方向与它的参考方向一致时, 电压值为正, 即 $U > 0$; 反之, 当电压的实际方向与它的参考方向相反时, 电压值为负, 即 $U < 0$, 如图 1-6 所示。

有时电压用参考极性表示, 即在元件或电路两端用 “+”、“-” 符号表示。“+” 号表示高电位端, 叫正极。“-” 号表示低电位端, 叫负极。由正极指向负极的方向就是电压的参考方向。

有时还用双下标来表示电压的参考方向, 如电压 U_{AB} 表示电压的参考方向由 A 指向 B。由于电压的实际方向是客观存在的, 它决不会因该电压的参考方向的不同选择而改变, 故有 $U_{AB} = -U_{BA}$ 。

在选定参考极性下, 当电压值为正时, 该电压的真实极性与所标的参考极性相同; 当电压值为负时, 该电压的真实极性与所标的参考极性相反。

一般情况下, 电流参考方向的选定与电压参考方向的选定是没有关系的。但是为了方便起见, 对一段电路或一个电路元件, 如果选定电流的参考方向与电压的参考方向一致, 即选定电流从标以电压 “+” 极性的一端流入, 从标以电压 “-” 极性的另一端流出, 则把电流和电压的这种参考方向称为关联参考方向, 简称关联方向, 如图 1-7 所示。

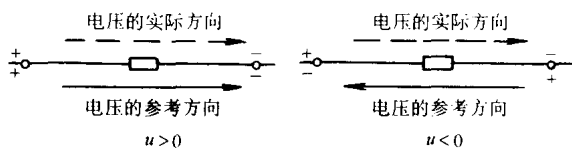


图 1-6 电压的参考方向和实际方向

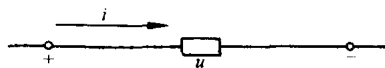


图 1-7 电压和电流的关联参考方向

三、电阻元件的电压、电流关系

1. 电阻与电阻元件 电荷在电场力作用下做定向运动时往往要受到阻碍作用。物体对电流的阻碍作用, 称为该物体的电阻, 用符号 R 来表示。电阻的单位是欧 [姆] (Ω)。

由实验可知, 当温度一定时, 导体的电阻不仅与它的长度和横截面积有关, 而且与导体材料的电阻率有关, 即

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-2)$$

式中 L ——导体的长度 (m);

S ——导体的截面积 (mm^2);

ρ ——导体的电阻率 ($\Omega\text{mm}^2/\text{m}$)。

金属材料的电阻率都很小, 很容易传导电流, 是良好的导电材料。如铜、铝等金属材料都可用作导线。我国的导线规格是以其横截面作为标称值, 选择供电线路的导线时可查阅手册找出导线的安全载流量 (即额定电流), 在使用时应使通过的电流不要超过额定值, 以免导

线过热而引起事故。电阻率较高的导体材料主要用来制造各种电阻元件，电阻元件简称为电阻。

电阻的倒数称为电导，用 G 来表示 $G = \frac{1}{R}$ 。

电阻率很大的材料，电流很难通过，它对电流有绝缘作用，称为绝缘体，又称介质。例如橡胶、玻璃、陶瓷、云母、塑料等都是绝缘体。常用的铜芯电线外面都包裹着橡皮或塑料等绝缘材料，以防止漏电和保证安全。

导电性能介于导体和绝缘体之间的物质称为半导体，如硅、锗等材料都是半导体。纯净的半导体导电能力差，绝缘性能也不强。但温度、光照、掺杂质等外界条件能引起半导体导电性能发生显著变化，即半导体具有热敏、光敏、掺杂等特性。

还有一类物质，在较高的温度时是导体或半导体甚至是绝缘体。可是当温度降到某一特定值 T 时，它的直流电阻突然下降为零，这个现象称为零电阻效应。人们把这类物质称为超导体。出现零电阻时的温度 T 称为转变温度或临界温度。目前中国、美国、日本等国科学家都致力于寻找临界温度 T 接近于常温的超导材料，一旦找到将会引起一场新的技术革命。

2. 电阻元件的电压、电流关系——欧姆定律 1827 年德国科学家欧姆通过科学实验总结出：施加于电阻元件上的电压与通过的电流成正比，即

$$U = RI \quad (1-3)$$

这一规律称为欧姆定律。

如果电阻元件上电压的参考方向与电流的参考方向相反时，则欧姆定律为

$$U = -RI$$

所以欧姆定律的公式必须与参考方向配合使用，如图 1-8 所示。

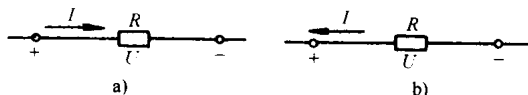


图 1-8 欧姆定律

a) 关联参考方向 b) 非关联参考方向

如果电阻值不随所加电压和通过的电流而改变——即在一定的温度下电阻是常数。这种电阻的伏安特性是一条通过原点的直线，因而这种电阻称为线性电阻。

另一类电阻，其阻值随电压或电流的变化而变化，即其电压和电流的比值不是常数，这类电阻称为非线性电阻。

四、电阻元件的功率

1. 电功率 当正电荷在电场力的作用下，从元件的电压“+”极，经元件移到电压“-”极，即从高电位端移到低电位端，这时是电场力移动电荷作功，元件吸收（或消耗）能量，如图 1-9a 所示。相反地，正电荷从元件的电压“-”极经元件移到电压的“+”极，是外力克服电场力移动电荷作功，这时元件向外发出（输出）能量，如图 1-9b 所示。

电能对时间的变化率叫做电功率，简称为功率，用符号 p 或 P 表示

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{u dq}{dt}$$

因为

$$i = \frac{dq}{dt}$$

所以

$$p = ui$$

(1-4)

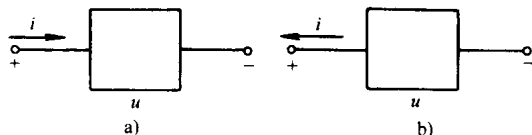


图 1-9 元件吸收和发出能量

a) 元件吸收电能 b) 元件发出电能

在电压和电流关联方向下，当计算出功率值为正，即 $p > 0$ 时，表示元件是吸收或消耗电

能如图 1-9a 所示；当计算出功率值为负，即 $p < 0$ 时，表示元件是发出电能，如图 1-9b 所示。若在非关联参考方向下，取

$$p = -ui \quad (1-5)$$

这样规定之后， $p > 0$ 时，仍表示元件实际吸收或消耗电能； $p < 0$ 时，表示元件实际发出电能。

在直流情况下，功率

$$P = UI \quad (1-6)$$

在国际单位制 SI 中，功率的单位为瓦 [特] 单位符号为 W。

$$1\text{kW (千瓦)} = 1000\text{W}$$

2. 电阻元件的功率 对于线性电阻元件来说，在电压与电流的关联参考方向下，任何时刻元件吸收的功率为

$$P = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} \quad (1-7)$$

上式表明：任何时刻电阻元件都不可能发出电能，而只能从电路中吸收电能，所以电阻元件是耗能元件。

例 1 把一个 $100\Omega 5\text{W}$ 的碳膜电阻误接到 220V 电源上，会有什么后果？

解 这时碳膜电阻被迫吸收功率为

$$P = \frac{u^2}{R} = \frac{220^2}{100} \text{W} = 484\text{W}$$

但是这个碳膜电阻只能承受 5W 的功率，所以立即引起冒烟起火或碎裂，因此学生在实验时要特别注意，以免引起人身伤害事故。

由于电阻元件是耗能元件，它吸收功率常会引起温度的升高。为了保障安全，电气设备常给出额定值。

电气设备的额定值是制造商给用户提供的，它是考虑设备安全运行的限额值，也是设备经济运行的使用值。电气设备只有在额定值情况下运行，才能保证它的寿命。如果外加电压大于额定电压，电气设备将被烧毁。如果通过电气设备的电流超过额定值，设备温度过高，不仅影响寿命，而且绝缘材料会很快变脆，甚至会炭化燃烧起来，造成设备和人身事故。如果外加电压或工作电流比额定值小得多，有些电气设备就会处于不良工作状态，甚至不能工作。例如 $220\text{V}/40\text{W}$ 的灯泡，若接到 110V 的电压上，则灯光昏暗。电视机在工作电压过低时将无法收看。通常制造商规定了在一定的工作条件下电气产品的额定电压、额定电流、额定功率等。电气设备的额定值一般都在铭牌上标出，使用时必须遵守。

3. 电能 在直流电路中，负载上的功率不随时间变化，则电路消耗的电能

$$W = Pt \quad (1-8)$$

若功率的单位为 W，时间的单位为 s，则电能的单位为 J（焦耳）。

在实际应用中，电能的单位常用千瓦时 ($\text{kW} \cdot \text{h}$)， $1\text{kW} \cdot \text{h}$ 的电能通常叫做一度电。一度电为 $1\text{kW} \cdot \text{h} = 1000\text{W} \times 3600\text{s} = 3.6 \times 10^6 \text{J}$

例 2 教室中有 8 只 40W 日光灯，每天用电 4h ，一个月按 20 天计算，问一个月耗电多少？若每度电收费 0.65 元，一个月应付电费多少？

解 8 只日光灯的总功率为 $P = 40 \times 8\text{W} = 320\text{W} = 0.32\text{kW}$

一个月用电时数为

$$t = 4 \times 20\text{h} = 80\text{h}$$

一个月共耗电

$$W = Pt = 0.32 \times 80\text{kW} \cdot \text{h} = 25.6\text{kW} \cdot \text{h}$$

应付电费

$$0.65 \times 25.6 \text{ 元} = 16.64 \text{ 元}$$

五、电压源和电流源

1. 电动势 在电源内部存在着一种非静电力, 在它的作用下, 将正电荷从低电位移向高电位处。电池中的非静电力是由电解液和金属极板间的化学作用产生的, 发电机中的非静电力是由电磁作用产生的。由于非静电力而使电源两端具有一定的电位差, 叫电动势。电源的电动势在数值上等于非静电力把单位正电荷从电源负极经过内电路移到电源正极所作的功, 也就等于电源两极间开路 (未接外电路) 时的电位差。

电动势的实际方向, 规定由电源负极指向正极, 即由低电位指向高电位 (电位升)。接通电路后, 电流由电源负极通过电源内部流向正极, 可见电源中的电流和电动势同向。电动势的参考方向也可以任意选取, 当实际方向与正方向一致时, 电动势为正值, 反之为负值。

电压和电动势是两个不同意义的物理量, 但对外部的效果而言, 一个元件具有从“—”端到“+”端的几伏电动势和方向从“+”端到“—”端的几伏电压, 二者是没有区别的。所以近代电路理论逐渐省略了电动势这个物理量。

2. 电压源 具有不变的电动势和较低内阻的电源称为电压源。大

多数实际电源如干电池、铅蓄电池及一般直流发电机都可看作为电压源。

若电源的内阻 $R_s = 0$, 即电源供给的电压总是等于它的电动势, 其外特性是 $U = U_s$ 这样一条水平直线。实际电压源其内阻不可能为零, 因此可用如图 1-10a 所示的电压源模型来表示。实际电压源接通负载后, 其端电压就会降低, 如图 1-10b 所示, 其端电压为

$$U = U_s - IR_s \quad (1-9)$$

由式 (1-9) 可知, 负载电流越大, 端电压越小。实际电压源的伏安特性见图 1-10c。

3. 电流源 能输出恒定电流且内阻为无穷大的电源称为理想电流源。实际电流源其内阻不可能为无穷大, 因此可用如图 1-11a 所示的电流源模型来表示。当实际电流源与外电路相连时, 如图 1-11b 所示, 实际电流源的输出电流 I 为

$$I = I_s - \frac{U}{R_s} = I_s - G_s U \quad (1-10)$$

由式 (1-10) 可知, 端电压 U 越大, 内部分流也越大, 输出电流就越小。实际电流源的伏安特性如图 1-11c 所示。

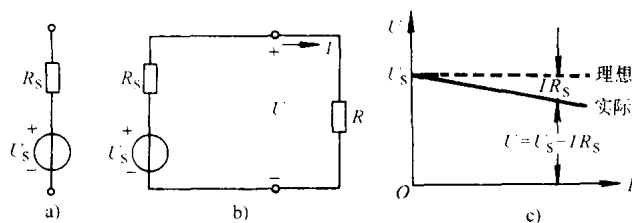


图 1-10 实际电压源

a) 实际电压源符号 b) 实际电压源接通负载
c) 实际电压源的伏安特性

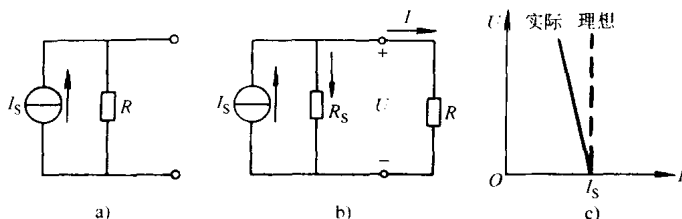


图 1-11 实际电流源

a) 实际电流源符号 b) 实际电流源接通负载
c) 实际电流源伏安特性

课堂练习

1. 在图 1-12 中, 导线外的实线箭头表示电流的参考方向。请用虚线箭头表示电流的实际方向, 同时确定 I 是大于零还是小于零。

2. 如图 1-13 所示, 电路上的电流的参考方向已用实线箭头表示。已知 $I_A = 10\text{A}$ 、 $I_B = -10\text{A}$ 、 $I_C = 5\text{A}$ 、 $I_D = -5\text{A}$, 试用虚线箭头表示电流的实际方向。

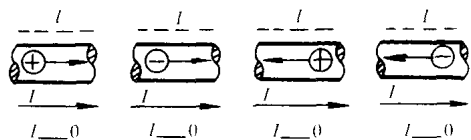


图 1-12

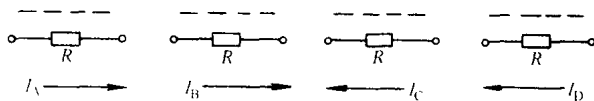


图 1-13

3. 图 1-14 中已给出电压参考方向, 如 $U_1 = 5\text{V}$ 、 $U_2 = -5\text{V}$, 试指出电压的实际方向。

4. 如果人体最小的电阻为 800Ω , 已知通过人体的电流为 50mA 时就会引起呼吸器官麻痹, 不能自主摆脱电源而造成死亡, 试求安全工作电压?

5. 按图 1-15 中给定的参考方向, 写出 U_{AB} 的表达式。

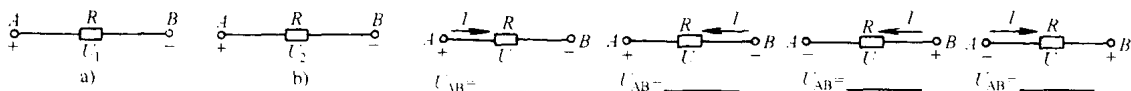


图 1-14

图 1-15

6. 试求图 1-16 中元件的功率, 并说明元件是吸收功率还是发出功率。

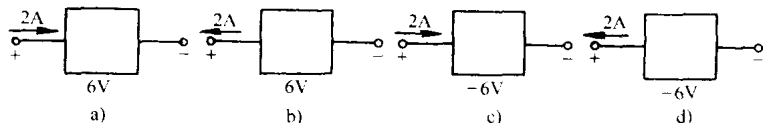


图 1-16

7. 某一电阻器, 其上标明 $1\text{k}\Omega 2\text{W}$, 问此电阻器能承受多大的电压?

8. 如图 1-17 所示的电路在下列两种情况下, 求 U_{AB} 和 I 。(1) R_L 断开; (2) R_L 接上。

9. 求图 1-18 中各电路的电流 I_S 。

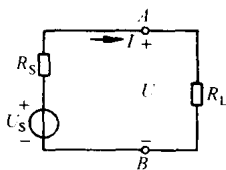


图 1-17

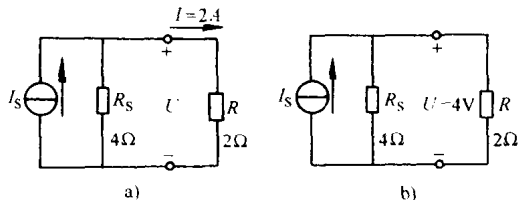


图 1-18

第二节 简单直流电路的分析

一、电阻的串联、并联和混联

演示实验 2 测量图 1-19a、b 各电路中各电阻上的电压 U_1 、 U_2 和流过各电阻的电流 I_1 、 I_2 及总电流 I 。

实验电路参数: $R_1 = 6\text{k}\Omega$ 、 $R_2 = 3\text{k}\Omega$, 外加电压 $U = 9.0\text{V}$ 。

测试结果：图 1-19a 中， $U_1=6.0\text{V}$ ， $U_2=3.0\text{V}$ ，总电压 U 是 U_1 和 U_2 两分电压之和。流过各电阻的电流都是 $I=1.0\text{mA}$ 。

图 1-19b 中， $I_1=1.5\text{mA}$ ， $I_2=3.0\text{mA}$ ， $I=4.5\text{mA}$ ，总电流 I 是 I_1 和 I_2 两分电流之和；电阻两端电压都是 $U=9.0\text{V}$ 。

1. 电阻的串联及其分压 将若干个电阻元件顺序地连接成一条无分支的电路称为串联电阻电路，如图 1-19a 所示。上述演示实验 2 告诉我们，串联电路的基本特点是：

- 1) 流过串联各元件的是同一电流 I 。
- 2) 串联各元件的电压降之和，等于串联电路总的电压降 U 。

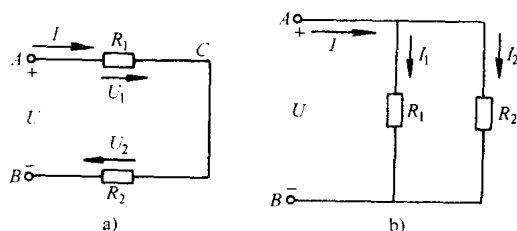


图 1-19 电阻的串联和并联

$$U=U_1+U_2 \quad (1-11)$$

上式两边都除以 I ，可求得串联电路的等效电阻

$$R=R_1+R_2 \quad (1-12)$$

即串联电路的等效电阻等于各段电阻之和。

将式 (1-11) 两边都乘以电流 I ，得

$$P=UI=U_1I+U_2I=P_1+P_2 \quad (1-13)$$

可见串联电路的总功率等于各段功率之和。

$$\text{又} \quad U_1=IR_1=\frac{R_1}{R}U=U\frac{R_1}{R_1+R_2} \quad U_2=IR_2=\frac{R_2}{R}U=U\frac{R_2}{R_1+R_2} \quad (1-14)$$

$$\text{得} \quad U_1:U_2=R_1:R_2 \quad (1-15)$$

式 (1-15) 表明：串联电路各段电压与各段电阻成正比，即各个电阻上的电压是按电阻的大小进行分配的。式 (1-14) 中的 R_1/R 、 R_2/R 称为串联分压系数。上述结论可推广到两个以上的电阻串联电路。

利用串联分压的原理，可以扩大电压表的量程，还可以制成电阻分压器。图 1-20 是电阻分压器的原理图。

在图 1-20 中，由式 (1-14) 可得分压公式 $U_0=U_1\frac{R_x}{R}$

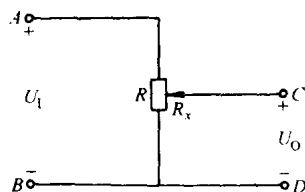


图 1-20 电阻分压器原理图

例 3 一个 10V 电压表，其内阻 R_g 为 $20\text{k}\Omega$ ，若要将电压表量程扩大为 250V ，如图 1-21 所示，应串联一个多大的附加电阻 R ？

解 电压表的内阻 R_g 上的电压为 U_1 ，只能承受 10V ，其余 240V 将降落在附加电阻 R 上， R 上的电压为 U_2 ，根据公式

$$\frac{U_1}{U_2}=\frac{R_g}{R}$$

$$\text{代入数据} \quad \frac{10}{240}=\frac{20 \times 10^3}{R}$$

$$R=480 \times 10^3 \Omega=480\text{k}\Omega$$

即应串联 $480\text{k}\Omega$ 的分压电阻，才能将电压表量程扩大为 240V 的电压表，见图 1-21。

2. 电阻的并联及分流 将若干个电阻元件都接在两个共同端点之间，这种连接方式称为

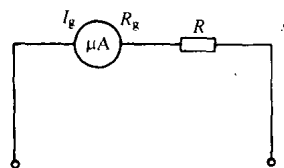


图 1-21