



教育部高职高专规划教材

技能型 **紧缺** 人才培养培训系列教材

电工与电子技术基础

► 陈粟宋 主编



化学工业出版社

教育部高职高专规划教材

技能型紧缺人才培养培训系列教材

电工与电子技术基础

陈粟宋 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是在对高职高专的办学定位、培养目标、生源的具体水平作全面认识的基础上编写的,本书打破了传统的学科体系,将电工基础、电子技术和电力电子技术三方面的内容很好地融合在一起;强调了实用性,在学习了电子基础知识后,首先让学生认识元器件,再将各种电路以元器件的应用来介绍,避免学生在学习了很多理论后,实践能力仍不强的现象;在相关章节中以自制综合应用电路来完成实验实训,使学生积累一定的电路制作、调试和维修维护的经验。全书共七章,主要内容有:电路与电路应用基础、正弦交流电路及其应用、三相交流电路及其应用、磁路与变压器及其应用、数控机床常用电气控制系统、模拟电子电路及其应用、数字电子电路及其应用。此外,还介绍了常用电工、电子仪器仪表使用和数控机床常用电子电路分析。

本教材适用于高职高专院校数控技术应用专业及相关专业的学生使用,同时也可作为相关领域工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术基础/陈粟宋主编. —北京:化学工业出版社, 2006.12

(技能型紧缺人才培养培训系列教材)

教育部高职高专规划教材

ISBN 978-7-5025-9796-2

I. 电… II. 陈… 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. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 161391 号

责任编辑:高 钰

文字编辑:吴开亮

责任校对:凌亚男

装帧设计:于 兵

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 刷:大厂聚鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市延风装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张16½ 字数420千字 2007年1月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:26.00 元

版权所有 违者必究

出版说明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下,各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课课程基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。这500种教材中,专门课(专业基础课、专业理论课与专业能力课)教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求,在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上,充分汲取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位,调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础,突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下,专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用2~3年的时间,在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验,解决新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专规划教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材,并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作,不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

前 言

本教材是根据高等职业教育的发展,为制造业培养高技能紧缺人才的任务而编写的,突出了对学生手脑并用、注重实际技术和能力的培养。

本书在编写中力求体现以下特点。

1. 体例新颖。每节开头有知识点、技能点及综合素质点,如同指引学生学习的路标;每章之后有“本章小结”,提纲挈领,便于学生掌握知识线索与精华;本书配备了较典型的例题和较丰富的习题,便于学生理论联系实际,在应用中深入理解与掌握理论知识。

2. 内容充实。全书选材合理,在内容的编排上注意由浅入深,循序渐进,涵盖的知识点较多,反映了不少本专业方向和发展前沿的最新成果,注重理论与实际相结合。

3. 结合实践。本书的内容与实际紧密结合,突出实用性和实践性,注重学生基本能力的培养。

4. 易学易懂。本书避开了繁杂的数理推导,对高职学生来说是降低了学习的难度,整个教学内容贯穿了教、学、练相结合的思想。书中安排了大量图片,有助于学生的形象思维,理解抽象的理论,注重激发学生的学习兴趣。

5. 行文简洁。本书体系完整、叙述简洁、逻辑合理,在对基本理论的阐述上做到概念条理清晰、明了,突出了知识主线和重点,贯彻了少而精的原则。

本书由陈粟宋主编,瞿彩萍、李梅担任副主编,由段新主审。参加编写工作的有:陈粟宋(第一章、第四章,附录一、附录二、附录四),李梅(第二章、第三章,第六章第二节、第七节、第八节),夏雷(第五章),邵伯进(第六章第一节、第三节~第六节、第九节,附录三),瞿彩萍(第七章),全书由陈粟宋统稿,在编写、整理和定稿过程中,得到了许多同行的帮助,在此,谨向所有为本书编审、出版给予支持和帮助的同志表示诚挚的感谢。

由于作者水平有限,书中不妥之处请广大师生和其他读者批评指正。

编者

2007年1月

目 录

第一章 电路与电路应用基础	1
第一节 电路概述.....	1
第二节 电路中的基本物理量.....	2
第三节 电路基本元件的伏安特性.....	7
第四节 电阻连接	15
第五节 电路工作状态	19
第六节 电路分析方法	21
本章小结	26
习题	27
第二章 正弦交流电路及其应用	31
第一节 正弦交流电路概述	31
第二节 描述正弦交流电特征的物理量	31
第三节 单一参数元件的单相交流电路	37
第四节 电阻、电感、电容的串并联电路	42
第五节 功率因数	49
第六节 单相交流电路应用	51
本章小结	53
习题	53
第三章 三相交流电路及其应用	56
第一节 三相交流电路概述	56
第二节 三相交流电源	56
第三节 三相电源接入三相负载	58
第四节 工业企业供电及安全用电常识	65
本章小结	71
习题	71
第四章 磁路与变压器及其应用	73
第一节 磁路	73
第二节 变压器的结构和工作原理	76
第三节 常用变压器	82
本章小结	85
习题	86
第五章 数控机床常用电气控制系统	88
第一节 三相异步电动机构造及其原理	88
第二节 三相异步电动机的控制方法	96
第三节 单相异步电动机及其控制.....	101

第四节	直流电动机及其控制	104
第五节	控制用特种电动机	111
第六节	常用低压电器	119
第七节	电气控制系统	134
第八节	电动机和低压电器应用	144
本章小结		151
习题		152
第六章	模拟电子电路及其应用	154
第一节	常用电子元器件	154
第二节	直流稳压电路	163
第三节	半导体三极管基本放大电路	169
第四节	功率放大器	174
第五节	负反馈放大电路	177
第六节	基本运算电路及其应用	181
第七节	调压电路	183
第八节	脉宽调制电路	189
第九节	模拟电路综合应用实例	192
本章小结		196
习题		196
第七章	数字电子电路及其应用	201
第一节	数字电路概述	201
第二节	门电路与逻辑代数基础	203
第三节	触发器	209
第四节	计数器	213
第五节	编码译码及显示器	215
第六节	集成定时器及其应用	220
第七节	数字电路应用	223
本章小结		230
习题		231
附录		234
附录一	常用电工仪器仪表使用	234
附录二	常用导电材料及规格	241
附录三	常用电子仪器仪表使用	243
附录四	数控机床常用电子电路分析	251
参考文献		256

第一章 电路与电路应用基础

第一节 电路概述

知识点：电路概念、电路分类、电路组成和电路图。

技能点：观察日常生活中的电路及用电器，会画简单的电路图。

综合素质点：培养观察能力、分析和解决复杂问题的能力。

电路是电流流通的路径，由某些电气设备和元器件按一定方式连接起来，以实现某种用途。

电路按电源的不同分为直流电路、单相交流电路和三相交流电路。直流电路是电路的最基本形式，直流电路的分析方法是分析其他电路的基础。

日常生活中所用的手电筒电路就是一个简单的直流电路，如图 1-1 所示，它是由电池、灯泡、开关和连接导线组成。其中，电池作为电源提供电能，灯泡作为负载消耗电能（将电能转换成光能），导线将相关电气设备或元器件连接起来，以满足某种需要，开关控制电源与负载之间的接通和断开。当开关合上后，电路中就有直流电流流过，电池将化学能变为电能输出，小灯泡则发光发热消耗电能，将电能转化为热能和光能。当开关断开后，电路被切断，电流不通，灯泡则不亮。

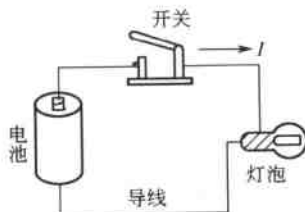


图 1-1 手电筒电路

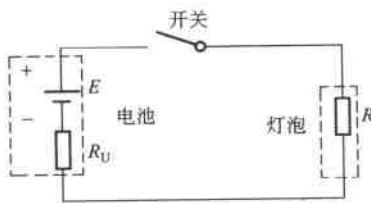


图 1-2 手电筒的电原理图

可见，电路主要由三部分组成。

(1) 电源 它是供应电能的设备，如电池、发电机等。它们能把化学能、热能、水能、原子能、光能、机械能、风能等转换为电能。

(2) 负载 它是消耗电能的设备，如电灯、电动机、电炉等。它们分别能把电能转换为光能、机械能、热能等。

(3) 连接电源和负载之间的中间环节 如开关电器、导线、控制电路中的三极管等元件。

在日常生活和工作中用到的许多电气设备和元器件，一方面电磁性能很复杂，另一方面形状、大小等特征各不相同，所以，分析时，要抓住它们的主要的电磁性能和特征，而忽略次要的性质和特征。在画电路图时，往往化繁就简，不画出构成实际电路的各种元器件的形

状、大小等，而抽象为理想电路元件，用一些图形符号来代表各种电气设备和元器件，把它们的连接关系表达出来，这就是电原理图。如电灯、电炉等可抽象为电阻元件，日光灯、电扇等可抽象为电阻元件和电感元件的组合等。如图 1-2 所示就是图 1-1 的电原理图。

第二节 电路中的基本物理量

学习目标：电流、电压、电动势、功率的概念及定义式；电压、电流的参考方向和实际方向；电压、电流的关联参考方向；功率、电压、电流之间的关系式；产生功率和消耗功率；电压表、电流表的应用。

重点：会在电路中标注电压电流的方向，会根据电压电流的参考方向及数值判断出实际方向；会判断元件或电路是产生功率还是消耗功率；会选择电压表和电流表量程并会连接电压表和电流表测量电压和电流。

难点：培养独立思考能力和实验能力。

电路的基本物理量有电流、电压、电动势、功率等。下面讨论电路的基本物理量的定义、大小和方向。

一、电流及其参考方向

如图 1-3 所示，电荷的有规则运动称为电流。电流既有大小又有方向，电流的方向规定为正电荷运动的方向，电流的大小用电流强度（简称电流）来衡量，在数值上等于单位时间内通过导体横截面的电量。用 i 来表示电流，即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

式中， dq 为时间 dt 内通过导体横截面 S 的电量。 q 的单位是库仑（C）， t 的单位是秒（s），电流单位是安培（A）。

电流单位也常用毫安（mA）或微安（ μA ）表示， $1A=10^3mA=10^6\mu A$ 。

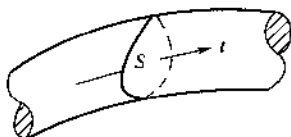


图 1-3 导体中的电流

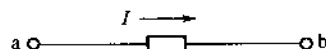


图 1-4 电流参考方向

电流 i 如果随时间而变化则称为交流电流。如果不随时间而变化，即 dq/dt 是一常数，则称为直流电流。直流电流用大写字母 I 表示。

在分析复杂电路时，电流的实际方向有时不能事先判断，特别是交流电路中电流的实际方向随时间不断地变化，很难也没有必要在电路图中标示其实际方向，在分析计算时，必须对电路中的电流预先假定它们的方向，这个预先假定的电流方向称为电流的参考方向。电流的参考方向可以沿着导线方向任意假设，用带箭头的实线表示。如图 1-4 所示，表示电流 I 的参考方向是从 a 流向 b。若计算出的电流值为正，则电流的实际方向与参考方向一致；若计算出的电流值为负，则电流的实际方向与参考方向相反。

计算电流时，一定要先假设电流的参考方向，离开电流的参考方向谈电流值的正负是没有意义的。

【例 1-1】 如图 1-4 所示, 直流电流通过导体, 已知 2s 内从 a 到 b 通过 0.4C 的电量。
①如果通过导体的是正电荷, 试求 I ; ②如果通过导体的是负电荷, 试求 I 。

解 ① $I_{ab} = \frac{q}{t} = \frac{0.4}{2} = 0.2 \text{ (A)}$

② $I_{ab} = \frac{q}{t} = \frac{-0.4}{2} = -0.2 \text{ (A)}$

如果通过的为正电荷, I_{ab} 为 0.2A; 如果通过的为负电荷, I_{ab} 为 -0.2A。

二、电压、电位、电动势及其参考方向

人们都见过水流, 水会从水位高的地方流向水位低的地方。虽然人们见不到电流, 其实电流跟水流一样, 也会从电位高的地方流向电位低的地方。

1. 电压

电荷移动需要力。推动电荷移动的这种力称为电场力。电场力将单位正电荷沿电路中的某一点 a 推向另一点 b 所做的功称为电压。做功越多, 电压就越大。由此可见, 电路中的电压反映了电场力推动电荷做功的能力, 即电能。电压用数学式可表示为

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{q} \quad (1-2)$$

式中, W_{ab} 的单位为焦耳 (J), q 的单位为库仑 (C), U_{ab} 的单位为伏特 (V)。

电压单位也常用千伏 (kV)、毫伏 (mV) 和微伏 (μV) 表示。 $1\text{kV} = 10^3\text{V}$, $1\text{V} = 10^3\text{mV} = 10^6\mu\text{V}$ 。

U_{ab} 表示 a、b 两点间的电压。当电场力将 1 库仑的电荷从 a 点移到 b 点所做的功为 1 焦耳 (简称焦) 时, 则 U_{ab} 为 1 伏特 (简称伏)。

电压是衡量电场力做功能力的物理量。两点之间电压数值愈大, 电场力做功的能力也愈大。

大小和极性都不随时间而变化的电压称为恒定电压或直流电压, 直流电压用大写字母 U 表示, 大小和极性都随时间而变化的电压称为交流电压, 交流电压用小写字母 u 表示。

与电流一样, 在分析电路时, 电压的实际方向有时不能事先判断, 特别是交流电路中电压的实际方向随时间不断地变化, 必须对电路中的电压预先假定它们的方向, 这个预先假定的电压方向称为电压的参考方向, 用带箭头的实线或双下标表示, 也可以用“+”、“-”号表示, 如图 1-5 所示, 表示 a、b 间电压 U 的参考方向是 a 电位高于 b 电位。若计算出的电压值为正, 则电压的实际方向与参考方向一致; 若计算出的电压值为负, 则电压的实际方向与参考方向相反。

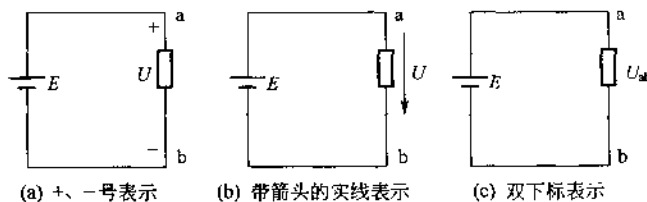


图 1-5 电压参考方向

计算电压时, 一定要先假设电压的参考方向, 离开电压的参考方向谈电压值的正负是没有意义的。

【例 1-2】 0.2C 的电荷从 a 点移到 b 点时, 能量改变 10J, 试按下面四种情况求 U_{ab} 。

①如电荷为正且能量增加；②如电荷为负且能量增加；③如电荷为正且能量减小；④如电荷为负且能量减小。

$$\text{解 } ① U_{ab} = \frac{W_{ab}}{q} = \frac{10}{0.2} = 50 \text{ (V)}$$

$$② U_{ab} = \frac{W_{ab}}{q} = \frac{10}{-0.2} = -50 \text{ (V)}$$

$$③ U_{ab} = \frac{W_{ab}}{q} = \frac{-10}{0.2} = -50 \text{ (V)}$$

$$④ U_{ab} = \frac{W_{ab}}{q} = \frac{-10}{-0.2} = 50 \text{ (V)}$$

2. 电压、电流关联参考方向

电压、电流的参考方向是任意假设的，彼此可独立假设，但为方便起见，通常将假定的正极到负极的电压方向与假定的电流方向相同，即电流与电压降参考方向一致，称为关联参考方向，如图 1-6(a) 所示。若电压与电流参考方向相反，则称为非关联参考方向，如图 1-6(b) 所示。

如果是关联参考方向，在电路图上可只标出电流参考方向或只标出电压参考方向，如图 1-7(a)、(b) 所示。

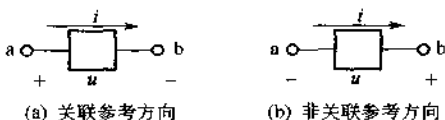


图 1-6 关联参考方向和非关联参考方向

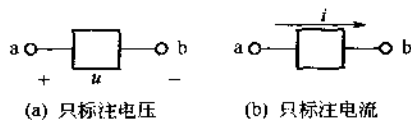


图 1-7 关联参考方向时可只标注电压或电流

3. 电位

电路中某一点与参考点（规定电位为零的点）之间的电压称为该点的电位，电位的单位与电压相同，用伏特（V）表示。

电路中两点间的电压也可用这两点间的电位差来表示，即

$$U_{ab} = U_a - U_b \quad (1-3)$$

电路中两点间的电压是不变的，但电位随参考点（零电位点）选择的不同而不同。

为分析复杂电路，通常都会选择电路中某一节点为参考点，其他节点相对参考点的电压称为电位。电路中两点间的电位差值称为电压。电压与电位的区别在于，电压不随参考点的改变而改变，电位却随参考点的改变而变化。

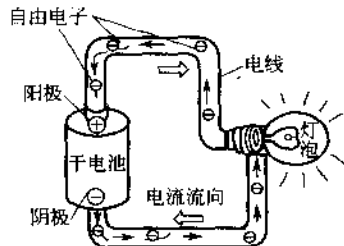


图 1-8 手电筒原理图

4. 电动势

为了更好地理解电动势的含义，首先从电的本质角度分析手电筒小灯泡发光的原理，如图 1-8 所示。

由于干电池正极（阳极）上聚集正电荷，负极（阴极）上聚集负电荷（电子），导线中带负电的自由电子被干电池阳极吸引、阴极排斥，从而形成了有规则的电子流动即电流，使小灯泡发光。正如水要有水位差才能流动一样，电流也是由于电位差（即电压）的存在而形成的。

那么，随着导线中带负电的自由电子不断地被干电池阳极吸引，自由电子与干电池阳极中的正电荷不断中和，同时干电池阴极上负电荷不断减少，会不会导致干电池两端电位差逐

渐减小至零,而使电流停止流动呢?

若要保持水位差,可用水泵来解决,而要保持电池两端的电位差则需要一台“电泵”。实际上,干电池正是这样一台“电泵”,其内部的化学能可以不断地将正电荷从阴极移到阳极来补充被自由电子中和的正电荷,并不断地在阴极聚集负电荷,从而维持了电池两端电位差,也就是维持了电流的流动。这种使电池两端产生并维持电位差的能力,叫电动势。

电动势是衡量外力(非静电力)做功能力的物理量。外力克服电场力把单位正电荷经电源内部从电源的负极搬运到正极所做的功称为电动势,用 E 表示,即

$$E = \frac{W}{q}$$

在发电机中,外力由内燃机、水轮机或汽轮机提供,推动发电机转子切割磁力线产生电动势。在电池中,则由电极与电解液接触处的化学反应而产生。外力克服电场力所做的功,使电荷得到能量,把非电能转化为电能。

如图 1-9 所示, E 表示电动势, U 表示电压,则

$$U = E \quad (1-4)$$

电动势的实际方向与电压实际方向相反,规定为由负极指向正极,即为外力推动正电荷运动的方向,也就是电位升高的方向。它也可用箭头在电路图中标明。

电动势的单位与电压相同,用伏特(V)表示。

电动势描述的是,在电源内部(内电路)电源力克服电场力把正电荷从低电位的负极推到高电位的正极所做的功,是其他形式能量转换为电能的过程。

电压描述的是,在电源外部的负载电路中(外电路)电场力推动正电荷从高电位移到低电位,同时克服负载中的阻力所做的功,是电能转换为其他形式能量的过程。

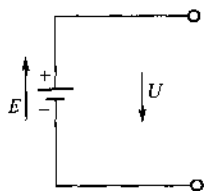


图 1-9 电动势与电压

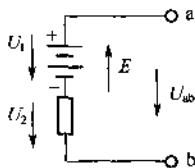


图 1-10 例 1-3 图

【例 1-3】如图 1-10 所示电路,求 E 。

解

$$U_{ab} = U_1 + U_2 = E + U_2$$

$$E = U_{ab} - U_2$$

三、电能和电功率

如图 1-5 所示的直流电路中, a 、 b 两点间的电压为 U , 在时间 t 内电荷 q 受电场力作用, 从 a 点移动到 b 点, 电场力所做的功为

$$W = Uq = UI t \quad (1-5)$$

若负载为电阻元件, 则在时间 t 内所消耗的电能

$$W = UI t = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t \quad (1-6)$$

单位时间内消耗的电能称为电功率(简称功率), 即

$$P = \frac{W}{t} \quad (1-7)$$

能量的单位是焦耳, 简称焦 (J); 功率的单位是瓦特, 简称瓦 (W)。

人们常用功率这一物理量来表示单位时间内能量的变化率。工程上更关注的是功率与电流、电压之间的关系。如果元件的电压和电流为关联参考方向, 根据电压及电流的定义式, 可推出功率与电流、电压之间的关系为

$$P=UI \quad (1-8)$$

如果元件的电压和电流为非关联参考方向, 则

$$P=-UI \quad (1-9)$$

在电路中, 有的元件是消耗功率, 而有的元件是产生功率, 也有一些元件按照在电路中的作用不同, 有时消耗功率, 有时产生功率。根据以上两式计算, $P>0$ 则表示元件起负载作用, 消耗功率; $P<0$ 则表示元件起电源作用, 产生功率。

【例 1-4】 如图 1-11 所示电路, 计算各元件消耗或产生的功率。

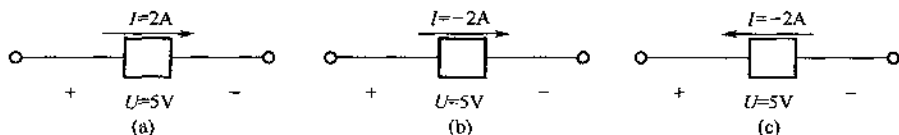


图 1-11 例 1-4 图

解 图 1-11(a) 中电流 I 与电压 U 是关联参考方向, $P=UI=5 \times 2=10(\text{W})$, $P>0$, 所以图 1-11(a) 中元件起负载作用, 消耗 10W 的功率。

图 1-11(b) 中电流 I 与电压 U 是关联参考方向, $P=UI=5 \times (-2)=-10(\text{W})$, $P<0$, 所以图 1-11(b) 中元件起电源作用, 产生 10W 的功率。

图 1-11(c) 中电流 I 与电压 U 是非关联参考方向, $P=-UI=-5 \times (-2)=10(\text{W})$, $P>0$, 所以图 1-11(c) 中元件起负载作用, 消耗 10W 的功率。

四、电压和电流的测量

1. 电压测量

测量电压用电压表。测量电压时必须将电压表与被测电路并联, 如图 1-12 所示。电压表内阻要尽量大, 以减少测量误差。电压表内阻通常在表盘上以 Ω/V 标明。如一只量程为 100V 的电压表, 内阻为 $200\text{k}\Omega$, 则电压表内阻可表示为 $2000\Omega/\text{V}$ 。

(1) 直流电压测量

用直流电压表测量直流电压。

① 直流电压表“+”端钮接被测电路高电位端, “-”端钮接被测电路低电位端。

② 根据被测电压大小选择量程, 尽量使指针偏转在标尺的 $2/3$ 以上处。如不能事先估计被测电压的大小, 则量程由大至小切换至适当量程。

(2) 交流电压测量

用交流电压表测量交流电压, 交流电压表不分极性, 但同样要注意量程选择。在电力系统中测量几千伏以上的高电压时, 可加接电压互感器。电压互感器在第四章介绍。

2. 电流测量

测量电流用电流表。测量电流时必须将电流表与被测电路串联, 如图 1-13 所示。电流表内阻尽可能小, 以减少测量误差。

(1) 直流电流测量

用直流电流表测量直流电流。

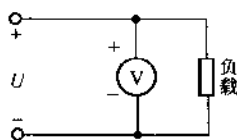


图 1-12 电压测量

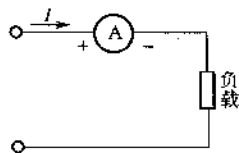


图 1-13 电流测量

① 直流电流表“+”端钮为电流的流入端，“-”端钮为电流的流出端。

② 量程选择同电压表。

(2) 交流电流测量

用交流电流表测交流电流时，无需注意电流表极性，但也要注意量程大小。在电力系统中测量大电流时，可加接电流互感器。电流互感器在第四章介绍。

第三节 电路基本元件的伏安特性

知识目标：欧姆定律；电容伏安特性；电感伏安特性；电压源伏安特性；电流源伏安特性。

能力目标：会用欧姆定律分析电路；会识别电阻、电感、电容；会通过色标读电阻值、电感量、电容量；会通过直标法读电阻值、电感量、电容量；会用指针式万用表判断电阻、电感、电容的好坏。

素质目标：培养逻辑思维能力和实践动手能力。

分析各个基本物理量之间的关系可从单一元件入手，首先学会分析单一元件上的电压和电流之间的关系，即电路元件的伏安特性。电路中常用的元件有电阻元件、电感元件、电容元件、理想电压源、理想电流源。前三种元件均不产生能量，称为无源元件；后两种元件是电路中提供能量的元件，称为有源元件。

一、电阻元件的伏安特性

1. 电阻元件伏安特性测试

测试电路如图 1-14 所示，调节直流稳压电源，使输出为 2V、5V、9V、14V、19V、25V。分别测出电路中电流大小，并计算出电压电流的比值，记录在表 1-1 中。

2. 电阻元件的伏安特性——欧姆定律

由表 1-1 可知，流过电阻的电流与电阻两端的电压成正比，这就是欧姆定律。它是电路的基本定律之一。根据在电路图上所选电压和电流的正方向的不同，在欧姆定律的表示式中可带有正号或负号。

当电压和电流是关联参考极性时，如图 1-14 所示，直流电路中的线性电阻元件可用欧姆定律表示为

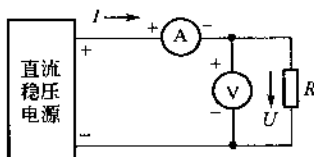


图 1-14 电阻伏安特性测试电路

$$U = IR \quad (1-10)$$

当电压和电流是非关联参考极性时，直流电路中的线性电阻元件的欧姆定律为

$$U = -IR \quad (1-11)$$

表 1-1 电阻伏安特性测试记录表

U/V	2	5	9	14	19	25
I/mA	2	5	9	14	19	25
$U/I(\Omega)$	1000	1000	1000	1000	1000	1000

式(1-10)和式(1-11)中 R 即为该段电路的电阻。当所加电压 U 一定时，电阻 R 愈大，则电流 I 愈小。显然，电阻具有对电流起阻碍作用的物理性质。像电阻器、电位器、电灯、电炉等都是电阻元件，电阻元件是消耗电能的元件。电阻元件作为负载的电路如图 1-15 所示。线性电阻在直流电路和交流电路中都遵循欧姆定律；而非线性电阻（如晶体二极管）不遵循欧姆定律，其两端电压与电流成非线性关系。

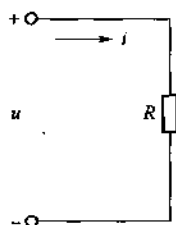


图 1-15 纯电阻负载

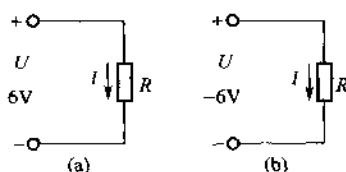


图 1-16 例 1-5 图

【例 1-5】如图 1-16 所示电路，已知 $R = 3\Omega$ ，求电流 I 。

解 图 1-16(a) 中， $I = \frac{U}{R} = \frac{6}{3} = 2 \text{ (A)}$

图 1-16(b) 中， $I = \frac{U}{R} = \frac{-6}{3} = -2 \text{ (A)}$

二、电容元件的伏安特性

电容元件是储存电场能量的元件。纯电容元件作为负载的电路如图 1-17 所示。

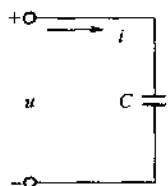


图 1-17 纯电容负载

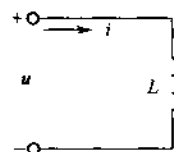


图 1-18 纯电感负载

可以证明，当电压电流是关联参考方向时，纯电容元件的端电压与电流的关系式为

$$i = C \frac{du}{dt} \quad (1-12)$$

式(1-12)说明流过电容元件的电流与加在电容元件两端的电压变化率成正比。当加在电容元件两端的电压增大时，电容充电，将电源的能量变为电场能量储存起来；当加在电容元件两端的电压减小时，电容放电，将原来储存的电场能量释放出来。因此电容元件不消耗能量，而是储存和释放电场能量。

在直流电路中, 电容元件两端的电压不变 (即变化率为零), 流过电容元件的电流也为零。因此, 电容元件在直流电路中相当于开路, 经常说的电容元件有“隔直通交”的作用, 其中的“隔直”就是这个含义。

电容元件在交流电路中的特性详见第二章。

三、电感元件的伏安特性

电感元件是储存磁场能量的元件。纯电感元件作为负载的电路如图 1-18 所示。

可以证明, 当电压电流是关联参考方向时, 纯电感元件的端电压与电流的关系式为

$$u = L \frac{di}{dt} \quad (1-13)$$

式(1-13)说明电感元件两端的电压与流过电感元件的电流变化率成正比。纯电感元件不消耗能量, 而是储存和释放磁场能量。

在直流电路中, 流过电感元件的电流不变 (即变化率为零), 电感元件两端的电压也为零。因此, 纯电感元件在直流电路中相当于短路。经常说的电感元件有“隔交通直”的作用, 其中的“通直”就是这个含义。

电感元件在交流电路中的特性详见第二章。

四、电压源

通常所使用的电池 (干电池、蓄电池) 和直流发电机, 它们都含有电动势 E 和内阻 R_0 , 如图 1-19 所示。

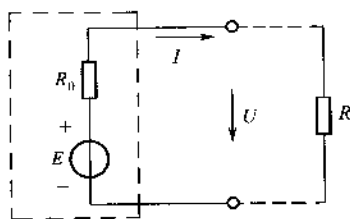


图 1-19 实际电压源

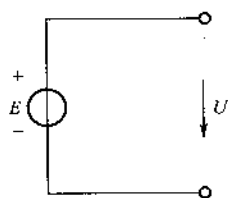


图 1-20 理想电压源

电压源的内阻 R_0 很小 (电池的内电路是电解液, 含有的许多正、负离子, 是良导体, 电阻很小; 直流发电机内部的铜导线电阻也很小), 因此它们输出端的电压 (又称端电压) U 随负载电流 I 的变化只有微小的变化。通常将内阻为零的电压源称为理想电压源 (其端电压恒定不变, 如图 1-20 所示), 而把实际的电压源看成由一个理想电压源和其内阻串联所组成。电压源输出端的电压 U 随负载电流 I 的变化情况可以用图形来表示, 称为伏安特性曲线 (V-A 特性曲线), 如图 1-21 所示。

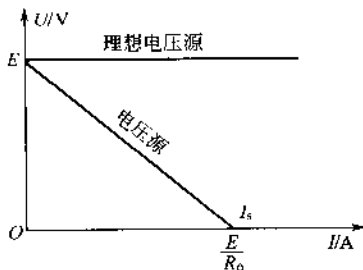


图 1-21 电压源及理想电压源伏安特性

可见,理想电压源的端电压不受流过的电流影响;而实际电压源当流过的电流增大时,其内阻上的压降增大,会使其输出的端电压下降。所以实际电压源的伏安特性为

$$U = E - IR_0 \quad (1-14)$$

通常所使用的直流稳压电源可认为是一个理想电压源,如果一个电压源的内阻 R_0 远小于负载电阻 R_L , 这个电压源可近似看作一个理想电压源。

五、电流源

为了说明内阻较大的电源输出电流比较稳定,可以考虑下面的例子,如图 1-22 所示。将 60V 的蓄电池 E 串联一个 $60k\Omega$ 的高电阻 R_0 构成一个高内阻的电源,当低电阻负载 R 在 $1\sim 9\Omega$ 的范围内变化时,电源输出的电流 I 几乎不变 (0.13% 变化),故该电源对于低电阻负载,基本上具有恒定的电流输出。

电流源的特性是不论负载电阻如何改变,它向外电路输出的电流是基本不变的。利用太阳光照射的光能而产生电能的太阳能光电池就是一个例子。这类电池的内阻一般都很大(因为光电池内电路是半导体,导电性能较差),因此它输出的电流比较稳定。一个实际的电流源的电路如图 1-23 所示,当实际电流源的内阻达到 ∞ 时,此电流源称为理想电流源,如图 1-24 所示。

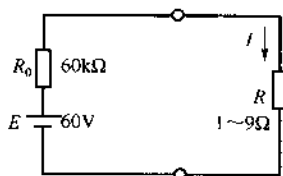


图 1-22 高内阻电源

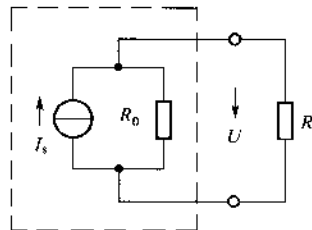


图 1-23 实际电流源

实际上,输出电流完全不随负载变化的理想电流源并不存在,如光电池和上述的高内阻电源,当负载电阻增大到可以与电源内阻相比拟时,输出电流就要减小,因此实际电流源有如图 1-25 所示的外特性,即伏安特性曲线 (V-A 特性曲线)。

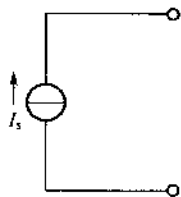


图 1-24 理想电流源

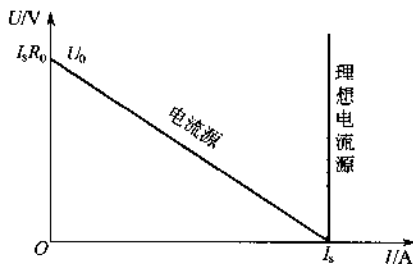


图 1-25 电流源及理想电流源伏安特性

所以实际电流源的伏安特性为

$$I = I_s - \frac{U}{R_0} \quad (1-15)$$

在电子线路中,内阻远比负载电阻大的晶体管近似于电流源。

六、元件识别和检测

电路中常用的基本元件有电阻器、电感器、电容器等,下面将分别说明它们的用途、分