



教育部高职高专规划教材

电工电子应用基础

► 沈翊 赵素英 主编



化学工业出版社

教材出版中心

教育部高职高专规划教材

电工电子应用基础

沈翊 赵素英 主编



化学工业出版社
教材出版中心

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

电工电子应用基础/沈翔, 赵素英主编. —北京:
化学工业出版社, 2006.1
教育部高职高专规划教材
ISBN 7-5025-8084-0

I. 电… II. ①沈…②赵… III. ①电工技术-高等
学校: 技术学院-教材②电子技术-高等学校: 技术
学院-教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 000303 号

教育部高职高专规划教材

电工电子应用基础

沈翔 赵素英 主编

责任编辑: 张双进

责任校对: 顾淑云

封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 16½ 字数 398 千字

2006 年 2 月第 1 版 2006 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8084-0

定 价: 26.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

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。

本套教材适用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

2001年4月3日

前 言

随着中国经济建设的发展, 社会对技术型应用人才的需求日趋紧迫, 为了适应社会对技术型应用人才的需求和职业教育的发展, 高等职业教育的教学模式、教学方法需要不断改革, 高职教材也必须与之相适应, 进行重新调整和定位, 突出自身的特色。

电工电子技术课程共有《电工电子应用基础》和《电工技术综合实训》两册, 教学参考学时为 70~100 学时 (含实验)。

本教材的主要特点如下。

1. 在编写方法上打破了以往教材过于注重“系统性”的倾向, 摒弃了一些不必要的内容和烦琐的数学推导, 采用阶跃式、有选择的编写模式, 强调实践性, 精炼理论, 突出实用技能, 内容体系更加合理。

2. 注重现实社会发展和就业需求, 以培养职业岗位群的综合能力为目标, 充实训练模块的内容, 强化应用, 有针对性的培养学生较强的职业技能。

3. 教材内容的设置有利于扩展学生的思维空间, 促进学生自主学习; 着力于培养和提高学生的综合素质, 使学生具有较强的创新能力, 促进学生的个性发展。

4. 教材内容充分反映新知识、新技术、新工艺和新方法, 具有一定的超前性、先进性。

本册为理论部分, 共分九章, 包括电路基础、电工技术、电子技术三大部分, 主要内容有直流电路、正弦交流电路、三相电路、磁路与变压器、异步电动机及其控制电路、直流稳压电路、放大电路基础、集成运算放大器、数字电路基础。

本教材突出双语教学, 贯彻以“路”为主的特点。

书中有丰富的例题和练习与思考题, 每章后有小结和习题, 便于读者学习和掌握。

本书参编人员及分工如下: 主编沈翊 (编写第四章、附录并统编全书)、主编赵素英 (编写第一章), 副主编任卫东 (编写第五章)、副主编甄利玲 (编写第二章)、参编马智浩 (编写第七章)、高永强 (编写第三章)、贾侯旭 (编写第六章)、王民 (编写第八章)、张延菲 (编写第九章)。

全书由河北师范大学赵夫辰主审。

尽管我们为本书尽心尽力, 但终因学识水平和教学经验限制, 仍会有不妥之处, 恳请读者批评指正。

编者

2005.9

目 录

第一章 直流电路	1
第一节 电路及其基本物理量	1
一、电路的组成及作用	1
二、电路的主要物理量	2
第二节 电路模型和理想电路元件	5
一、电路模型	5
二、理想电路元件	5
第三节 电路的空载、短路和负载工作状态	9
一、空载状态	9
二、短路状态	9
三、负载状态	10
第四节 电阻的联结	11
一、电阻的串联	11
二、电阻的并联	12
三、电阻的混联	13
第五节 电路中电位的概念及计算	14
第六节 基尔霍夫定律	16
一、基尔霍夫电流定律	16
二、基尔霍夫电压定律	17
三、基尔霍夫定律在电路分析计算中的应用	18
第七节 电压源和电流源	20
一、电压源	20
二、电流源	21
三、电源的等效变换	22
第八节 叠加定理	24
第九节 等效电源定理	26
小结	29
习题	30
第二章 正弦交流电路	34
第一节 正弦交流电的基本概念	34
一、周期和频率	34
二、相位和相位差	35
三、交流电的有效值	37
第二节 正弦量的表示法	38
一、正弦量的相量表示法	38

二、正弦量的复数表示法	40
第三节 单一参数电路元件的正弦交流电路	42
一、电阻元件的正弦交流电路	42
二、电感元件的正弦交流电路	44
三、电容元件的正弦交流电路	47
第四节 电阻、电感、电容串联的正弦交流电路	49
一、电阻、电感、电容串联电路的电压、电流关系	49
二、电阻、电感、电容串联电路的功率	53
第五节 简单正弦交流电路分析	55
一、阻抗串联的电路	55
二、阻抗并联的电路	56
第六节 电路中的谐振	59
一、串联谐振	59
二、并联谐振	62
第七节 功率因数的提高	64
一、提高功率因数的意义	64
二、提高功率因数的方法	65
三、并联电容的选取	66
第八节 非正弦周期电流电路的概念	67
一、非正弦周期电流电路	67
二、非正弦周期量的有效值	67
小结	68
习题	69
第三章 三相电路	72
第一节 三相电源	72
一、三相对称电动势的产生	72
二、三相对称电源的连接	73
第二节 三相负载的连接	75
一、负载的星形连接	75
二、负载的三角形连接	80
第三节 三相电路的功率	81
小结	83
习题	83
第四章 磁路与变压器	85
第一节 磁路的基本概念	85
一、铁磁材料的磁性能	85
二、磁路	87
第二节 交流铁心线圈电路、电磁铁	89
一、交流铁心线圈中电压和磁通的关系	89
二、电磁铁	89

第三节 变压器的用途、分类和基本结构	90
一、变压器的用途、分类	90
二、变压器的基本结构	91
第四节 变压器的工作原理	92
一、变压器的空载运行（电压变换原理）	92
二、变压器的负载运行（电流变换原理）	93
三、变压器的阻抗变换作用	94
第五节 变压器的运行特性与技术参数	95
一、变压器的外特性和电压调整率	95
二、变压器的损耗和效率	95
三、变压器的技术参数	95
第六节 其他变压器	97
一、三相变压器	97
二、自耦变压器	97
三、仪用互感器	98
四、电焊变压器	99
小结	100
习题	101
第五章 异步电动机及其控制电路	102
第一节 三相异步电动机的基本结构和工作原理	102
一、基本结构	102
二、工作原理	104
第二节 三相异步电动机的机械特性	107
一、固有机械特性	107
二、人为机械特性	108
第三节 三相异步电动机的启动、调速与制动	111
一、三相异步电动机的启动	111
二、三相异步电动机的调速	113
三、三相异步电动机的制动	114
第四节 三相异步电动机的铭牌与选择	115
一、三相异步电动机的铭牌	115
二、三相异步电动机的选择	116
三、三相异步电动机的维护	117
第五节 单相异步电动机	117
一、脉动磁场的产生	117
二、分相式单相异步电动机	118
三、罩极式单相异步电动机	119
第六节 异步电动机的控制电路	119
一、常用低压控制电路	119
二、三相笼型异步电动机直接启动控制电路	126

三、三相鼠笼型异步电动机正、反转控制电路·····	127
四、三相异步电动机的行程控制·····	128
第七节 可编程控制器常识·····	129
一、PLC 的基本结构 ·····	129
二、PLC 的基本工作原理 ·····	130
小结·····	131
习题·····	132
第六章 直流稳压电路 ·····	135
第一节 半导体的基本知识·····	135
一、半导体及其导电特性·····	135
二、半导体的导电原理·····	135
三、N 型半导体和 P 型半导体 ·····	136
四、PN 结 ·····	136
第二节 半导体二极管·····	138
一、半导体二极管的结构和符号·····	138
二、二极管的伏安特性·····	138
三、二极管的主要参数·····	139
第三节 二极管单相整流电路·····	140
一、单相半波整流电路·····	140
二、单相桥式整流电路·····	141
第四节 滤波电路·····	142
一、电容滤波·····	143
二、电感滤波·····	144
三、复式滤波·····	145
第五节 稳压电路·····	146
一、硅稳压管稳压电路·····	146
二、集成稳压电路·····	147
第六节 晶闸管整流调压电路·····	148
一、晶闸管的工作原理及参数·····	148
二、单相晶闸管整流电路·····	150
三、双向晶闸管及双向晶闸管整流电路·····	151
小结·····	151
习题·····	152
第七章 放大电路基础 ·····	154
第一节 晶体管·····	154
一、晶体管的结构与分类·····	154
二、晶体管的电流放大作用·····	155
三、特性曲线·····	156
四、晶体管的工作状态·····	157
五、晶体管主要参数·····	158

第二节 基本放大电路	159
一、共发射极放大电路的组成及工作原理	159
二、静态工作点的设置与稳定	162
第三节 放大电路的微变等效分析方法	164
一、微变等效电路	164
二、微变等效电路分析法	165
第四节 多级电压放大器	167
一、放大电路的耦合方式	168
二、多级电压放大器的分析	169
第五节 功率放大电路	170
一、功率放大器的基本要求	170
二、互补对称功率放大电路	171
三、集成功率放大器	173
第六节 放大电路中的负反馈	173
一、反馈的基本概念	173
二、负反馈放大器	175
第七节 射极输出器	177
一、电路结构及工作原理	177
二、射极输出器的应用	179
小结	180
习题	181
第八章 集成运算放大器	184
第一节 直接耦合放大器	184
一、级间互相影响问题	185
二、零点漂移	186
第二节 差动放大电路	186
一、差放电路的基本原理	186
二、典型的差放电路	188
三、带恒流源的差动放大电路	189
第三节 运算放大器的主要参数和工作特点	190
一、集成运算放大器的主要参数	191
二、集成运算放大器的工作特点	192
第四节 运算放大器的基本运算电路	192
一、反相运算电路	192
二、同相运算电路	194
三、差动运算电路	194
第五节 集成运算放大器应用举例	195
一、电压测量电路	195
二、比较器	196
三、精密二极管半波整流器	196

四、有源滤波器·····	197
五、集成运放构成的 RC 正弦波振荡器·····	197
小结·····	198
习题·····	199
第九章 数字电路基础 ·····	201
第一节 概述·····	201
第二节 基本逻辑门电路·····	202
一、“与”门·····	203
二、“或”门·····	204
三、“非”门·····	205
四、复合门·····	206
第三节 组合逻辑电路·····	206
一、“异或”门 (exclusive-OR gate)·····	206
二、全加器·····	207
三、组合逻辑电路的设计·····	207
四、编码及译码显示电路·····	208
第四节 集成触发器·····	212
一、基本 RS 触发器·····	212
二、同步 RS 触发器·····	213
三、主从 JK 触发器·····	214
四、D 触发器·····	215
第五节 寄存器和计数器·····	216
一、寄存器·····	216
二、计数器·····	217
第六节 EDA 设计与仿真·····	219
一、EDA 技术概述·····	219
二、EWB 软件环境介绍及操作·····	220
小结·····	234
习题·····	235
附录 ·····	237
附录一 部分电气简图用图形符号·····	237
附录二 Y 系列 (IP44) 小型三相笼型异步电动机主要技术数据·····	242
附录三 三相异步电动机产品名称、用途、型号 (新、旧)·····	243
附录四 半导体器件型号命名方法·····	244
附录五 常用晶体二极管参数选录·····	245
附录六 常用晶体管参数选录·····	247
附录七 常用硅稳压二极管·····	249
部分习题答案 ·····	250
参考文献 ·····	252

第一章 直流电路

电路是电工技术和电子技术的基础，它是为学习后面的电子电路、电机电路以及控制与测量电路打基础的。

本章主要讨论电路的基本物理量、电路的基本定律——基尔霍夫定律、戴维南定理、叠加定理等以及应用它们来分析计算各种直流电路的方法，电路的工作状态和电路中电位的计算等。本章所述定律和分析方法，虽是在直流电路中提出，但辅以适当的数学工具，也适用于正弦交流电路以及其他各种线性电路。

第一节 电路及其基本物理量

一、电路的组成及作用

电路 (electric circuit 简称 circuit) 也叫网络 (network)，是电流所通过的路径。它是由若干电气器件 (electrical device) 按一定方式连接起来组成的总体。

如图 1-1 所示的电路是一个最简单的直流电路，它由两节干电池、一个小灯泡、一个开关 (switch) 和连接导线 (手电筒金属壳体) 组成。当开关闭合时，电池、导线和灯泡构成电流通路，电路中有电流流动，灯泡发光。当开关断开时，切断了电流流通的路径，电路中没有电流，灯泡熄灭。

由此简单电路可以看出，作为一个完整电路，一般由以下三个基本部分组成。

(1) 电源 (electric source)——将非电能转换成电能的装置

例如，干电池和蓄电池是将化学能转化成电能，而发电机是将热能、水能或原子能等转换成电能。所以电源是电路中的能量来源，是推动电流流动的源泉，在它的内部进行着由非电能到电能的转换。

(2) 负载 (load)——将电能转换成非电能的装置

例如电灯是将电能转换成光能，电炉是将电能转换成热能，电动机是将电能转换成机械能等。所以负载是电路中的受电器，是取用电能的装置，在它的内部进行着由电能到非电能的转换。

(3) 中间环节——把电源与负载连接起来的部分

中间环节是把电源与负载连接起来的部分，起传递和控制电能的作用。

上述电路常用于电力及一般用电系统中，称为电力电路。

电路的另一种作用是信号 (signal) 的处理。输入的信号叫做激励 (excitation)，输出的信号叫响应 (response)。中间部分便是对信号进行处理的一些器件。例如扩音机的输入 (激励) 是声的电信号，通过晶体管组成的放大器输出 (响应) 便是放大了声的电信号，实现了放大功能，这类电路称为信号电路或电子电路。

此外，在电工学中对于一个完整的电路 (又称全电路)，通常把电源内部的那段电路称

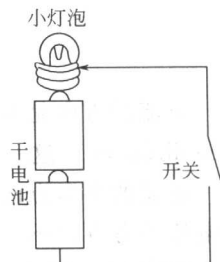


图 1-1 手电筒电路

为内电路；而把电源外部的那段电路称为外电路。

二、电路的主要物理量

1. 电流

电流 (electric current) 是一种物理现象, 是带电粒子 (电荷) (electric charge) 有规则的定向运动形成的。电流的实际方向习惯上指正电荷运动的方向, 电流的大小常用单位时间内通过导体横截面的电荷量来表示, 即

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

单位为 A (安培, ampere), 有时也会用到 kA、mA, 它表示 1s (秒) 内通过横截面的电荷为 1C (库仑, coulomb) 简称库。大写字母 I 表示不随时间变化的电流即直流电流 $I=Q/t$, 如图 1-2 (a) 所示, 小写字母 i 表示随时间变化的电流, 称为变动电流 (direct current)。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 1-2 (b) 所示。

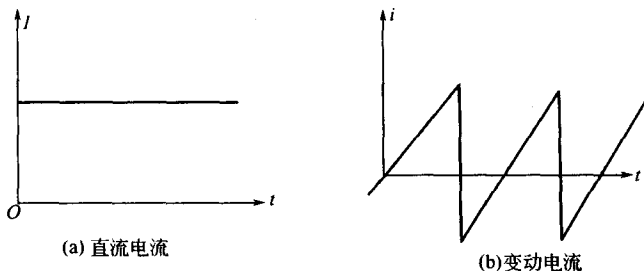


图 1-2 电流形式

电流的方向是客观存在的, 但实际方向有时难以确定, 因此引入“参考方向” (reference direction) 这一概念。

电流的参考方向, 即电流的假定正方向 (positive direction), 可任意选定。当然, 所选的电流参考方向不一定是电流的实际方向。当电流的参考方向与实际方向一致时, 电流为正值 ($I>0$); 当电流的参考方向与实际方向相反时, 电流为负值 ($I<0$)。这样, 在选定的电流参考方向下, 根据电流的正负, 就可以确定电流的实际方向, 如图 1-3 所示。

在分析电路时, 首先要假定电流的参考方向, 并以此为准则去分析计算, 最后从答案的正负值来确定电流的实际方向。本书电路图上所标出的电流方向都是指参考方向。

2. 电压与电动势

带电粒子在电场中运动必然要做功。在图 1-4 中, a 和 b 是电源的两个电极, a 是正极 (positive pole), b 是负极 (negative pole), a 带正电, b 带负电, 因此在电极 a 、 b 之间产生电场, 其方向由 a 指向 b 。如果用导体 (连线和负载) 将 a 和 b 连接起来, 则在此电场作用下, 正电荷就要从电极 a 经连接导体流向 b (其实是导体中的自由电子在电场的作用下从 b 流向 a , 两者是等效的)。这就是电场力对电荷做了功。为了衡量电场力对电荷做功的能力, 引入电压这一物理量。 a 、 b 两点间的电压 (voltage) U_{ab} 在数值上等于电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功。

即

$$U_{ab} = \frac{A}{Q} \text{ (对直流来说)} \quad (1-2)$$

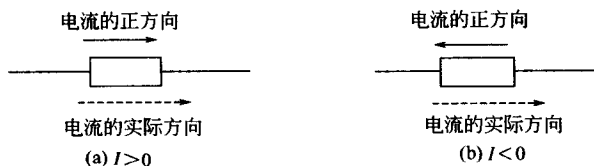


图 1-3 电流的正方向

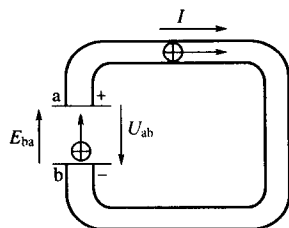


图 1-4 电压与电动势

在电场内两点间的电压也常称为两点间的电位差 (electric potential difference), 即

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-3)$$

式中 V_a —— a 点的电位;

V_b —— b 点的电位。

在法定计量单位中, 电压的单位是 V (伏特, volt), 简称伏。电压的方向规定为由高电位点指向低电位点。但在分析时, 也需选取电压的参考方向, 当电压的参考方向与实际方向一致时, 电压为正 ($U > 0$); 相反时, 电压为负 ($U < 0$)。电压的参考方向可用箭头表示, 也可用正 (+)、负 (-) 极性表示, 如图 1-5 所示。

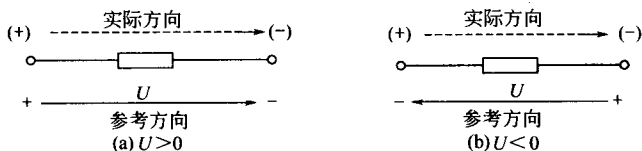


图 1-5 电压参考方向与实际方向的关系

在图 1-6 (a) 中, 电压的参考方向选作由 a 指向 b, 则 $U = U_{ab}$, $U_{ab} = 2V$; 而在图 (b) 中, 电压的参考方向选作由 b 指向 a, 则 $U' = U_{ba} = -U_{ab} = -2V$ 。由此可见, 不管参考方向如何选取, 同样说明了 a 点的电位高于 b 点的电位。

对于无源元件 (电阻、电感或电容) 上的电压和电流参考方向的假定, 原则上是任意的, 但为了方便起见, 常采用元件上的电压与通过其中的电流取一致的参考方向, 即称为关联参考方向 (associated reference direction)。如在图 1-7 中, 图 (a) 所示的 U 与 I 参考方向一致, 则其电压与电流的关系是 $U = RI$; 而图 (b) 所示的 U 与 I 参考方向不一致, 则电压与电流的关系是 $U = R(-I) = -RI$ 。可见在列写电压与电流的关系式时, 式中的正负号由它们的参考方向是否一致来决定。

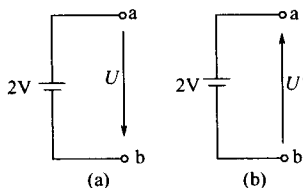
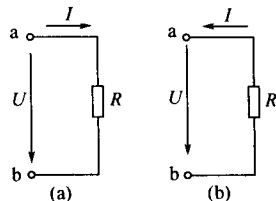


图 1-6 不同的电压参考方向

图 1-7 U 与 I 参考方向的选择

在图 1-4 所示的电路中, 为了维持电流不断地在连接导体中流通, 并保持恒定, 则必须使 a、b 间的电压 U_{ab} 保持恒定, 也就是要使电极 b 上所增加的正电荷经过另一路径流向电极 a。但由于电场力的作用, 电极 b 上的正电荷不能逆电场而上, 因此必须有另一种力能克

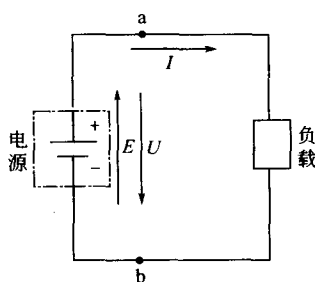


图 1-8 电路的功率

服电场力而使电极 b 上的正电荷流向电极 a。电源就能产生这种力, 称它为电源力。例如在发电机中, 当导体在磁场中运动时, 导体内便出现这种电源力; 在电池中, 电源力存在于电极与电解液的接触处。用电动势 (electromotive force 简称 emf) 这个物理量衡量电源力对电荷做功的能力。电源的电动势 E_{ba} 在数值上等于电源力把单位正电荷从电源的低电位端 b 经电源内部 (也是导体) 移到高电位端 a 所做的功, 也就是单位正电荷从 b 点 (低电位) 移到 a 点 (高电位) 所获得的电能。在电源力的作用下, 电源不断地把其他形式的能量转换为电能, 它的单位也是 V。

3. 电能和电功率

在如图 1-8 所示的直流电路中, a、b 两点的电压为 U , 电路中的电流为 I , 则由电压定义可知, 在 t 时间内, 电场力所做的功为

$$A = UQ = UI t \quad (1-4)$$

这就是电阻元件在 t 时间内所消耗 (或吸收) 的电能 (electric energy), 即

$$W = UI t = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t \quad (1-5)$$

单位时间内消耗的电能称为电功率 (简称功率, power), 即

$$P = W/t = UI = I^2 R = U^2/R \quad (1-6)$$

在中国法定计量单位中, 能量的单位是焦耳, 简称焦; 功率的单位是 W (瓦特, watt), 简称瓦。有时电能的单位可用 $\text{kW} \cdot \text{h}$ (千瓦时) 表示, $1\text{kW} \cdot \text{h}$ 就是指 1kW 功率的设备, 使用 1h 所消耗的电能。如 100W 的灯泡, 工作 10h , 其消耗的电能就是 $1\text{kW} \cdot \text{h}$ 。 $1\text{kW} \cdot \text{h}$ 俗称 1 度电。 $1\text{kW} \cdot \text{h} = 1000\text{W} \times 3600\text{s} = 3.6 \times 10^6 \text{J}$ 。

【练习与思考一】

1. 电流、电压和电动势的实际方向是如何规定的? 什么叫正方向? 为什么要规定正方向?
2. 在图 1-9 (a) 中, $I = -5\text{A}$, $R = 10\Omega$, 试问 a、b 两点的电位哪点高? 试求 U_{ab} 。
3. 在图 1-9 (b) 中, $I = 5\text{A}$, $R = 10\Omega$, $E = 2\text{V}$, 试求电压 U_{ab} 。
4. 在图 1-9 (c) 中, 若 $I = -5\text{A}$, $R = 10\Omega$, $E = 2\text{V}$, 试求电压 U_{ab} 。
5. 在图 1-9 所示的三个电路中, 哪个电路从外电路吸取功率? 哪个电路向外电路送出功率? 吸取或送出的功率是多少?
6. 试确定图 1-10 中, 电压、电流的实际方向。

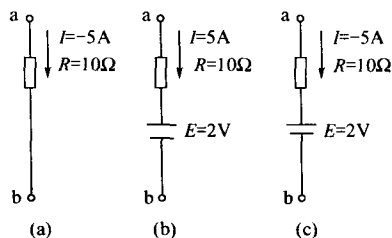


图 1-9 电路

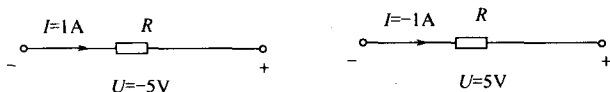


图 1-10 电路

第二节 电路模型和理想电路元件

一、电路模型

实际电路是由实际的电路元件和连接线组成的。实际的电路元件，其电磁性质较为复杂，为了简化电路分析的过程，往往只考虑其主要性质，而忽略其次要性质，即实现了实际电路元件的理想化。

把实际的电气元件看作为电源、电阻、电感与电容等有限几种理想的电路元件 (circuit element)，用这些元件构成物理模型，进行数学上的分析，或者说建立数学模型。用理想元件构成电路的物理模型 (model) 叫电路模型 (circuit model)，用特定的符号代表元件连接成的图形叫电路图 (circuit diagram)。

一般的理想元件具有两个与外部连接的端钮，叫二端电路元件 (two-terminal circuit element)。没有说明具体性质的二端电路元件用方框符号表示 [见图 1-11 (a)]。图 1-11 则是常用的几种理想电路元件的符号，其中图 (b) 为电阻元件，图 (c) 为电感元件，图 (d) 为电容元件，图 (e)、图 (g) 分别为理想电压源和理想电流源，图 (f) 则是电池的符号。

图 1-12 是一个最简单的手电筒电路 (以后简称为电路)。它由一个电池作为电源，负载是一个电阻元件，中间是一个控制电路接通或断开的开关。

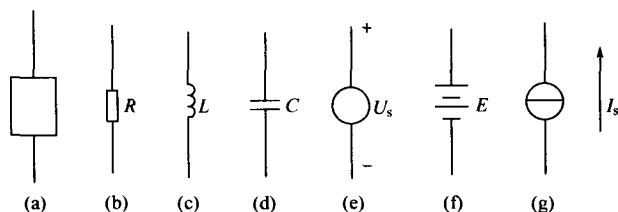


图 1-11 几种常见的理想电路元件

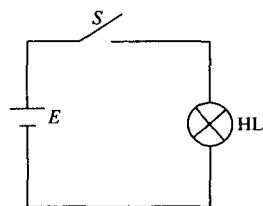


图 1-12 手电筒的电路图

二、理想电路元件

1. 电阻元件

电阻 (resistance) 是表示导体对电流起阻碍作用的参数，用 R 表示。实验表明：在一定的温度下，金属导体的电阻由它的长度、截面积及材料决定，其计算公式为

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S} \quad (1-7)$$

式中 l ——导体的长度，m；

S ——导体的截面积， m^2 ；

ρ ——导体材料的电阻率 (resistivity)， $\Omega \cdot \text{m}$ 。

电阻 R 的单位为 Ω (欧姆，ohm)，大阻值的电阻用 $\text{k}\Omega$ (千欧) 和 $\text{M}\Omega$ (兆欧) 表示，它们之间的关系是

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

只具有电阻的二端元件称为电阻元件，也简称为电阻。故“电阻”这一名词有时指电阻元件，有时指元件的参数。实际中有两种用电设备可看作电阻元件，一种本身就是电阻器

(resistor)，如电子电路中用的各种电阻及实验室用的标准电阻、滑线变阻器 (rheostat) 等；另一种是从理论上可抽象为电阻元件的设备，它们借电阻发热而达到应用的目的，如白炽灯、电炉、电烙铁等。

电阻的倒数称为电导 (conductance)，是表征材料导电能力的一个参数，用符号 G 表示

$$G=\frac{1}{R} \tag{1-8}$$

电导的单位是 S (西门子，siemens)，简称西。

电阻率的倒数叫电导率 (conductivity)，用符号 γ 表示，单位是 S/m (西/米) 则

$$G=\frac{\gamma S}{l} \tag{1-9}$$

$$\gamma=\frac{1}{\rho} \tag{1-10}$$

表 1-1 为常用金属材料的电阻率和电阻温度系数。

表 1-1 常用金属材料的电阻率及电阻温度系数

用 途	材料名称	20℃时的电阻率 $\rho/\Omega \cdot \text{m}$	20℃时的电阻温度系数 $\alpha/(1/^\circ\text{C})$
导电材料	银	0.0165×10^{-6}	0.0038
	铜	0.0175×10^{-6}	0.0040
	铝	0.0283×10^{-6}	0.0042
电阻材料	锰铜	0.42×10^{-6}	0.000005
	康铜	0.49×10^{-6}	0.000005
	铂	0.105×10^{-6}	0.00389
	镍铬	1.08×10^{-6}	0.00013
	铁铝铬	1.35×10^{-6}	0.00005
	碳	1.0×10^{-6}	-0.0005

由表 1-1 可知，银的电阻率最小，导电性能最好，但它的价格昂贵，仅用于制造接触器、继电器的触头等。铜和铝的电阻率很小，使用最为广泛。铜的导电性比铝好些，但铝资源丰富、价格低、质量轻，目前电力系统的架空线、变压器、电动机等都尽量采用铝线，以铝代铜。

一般金属导体的电阻会随温度升高而增大。电阻与温度的关系用下式表示

$$R_2=R_1[1+\alpha(t_2-t_1)] \tag{1-11}$$

式中 R_1, R_2 ——温度 t_1 和 t_2 时的电阻值；

α ——金属材料的电阻温度系数 (temperature coefficient of resistance)，它等于温度每变化 1°C 时电阻增大的百分数，单位是 $1/^\circ\text{C}$ 。

不同金属材料的电阻温度系数不同：康铜和锰铜的电阻温度系数很小，常用来制造精密电阻如用锰铜制作直流电工仪表中的分压器、分流器等。镍铬合金不但电阻率高，且能长期承受高温，常用于制造各种电热器的发热电阻丝。

欧姆定律与电阻元件的伏安特性如下。

如图 1-13 所示是一段电阻电路。1826 年德国科学家欧姆 (George Simon Ohm) 通过实验总结出：电阻中的电流与加在电阻两端的电压成正比，而与电阻阻值成反比，即

$$I=\frac{U}{R} \tag{1-12}$$

上式称为欧姆定律。式中， U 的单位为 V， R 的单位为 Ω ， I 的单位为 A。