

■ 国家精品课程主讲教材

# 电路与电子学基础

唐胜安 刘 晔 主编



高等教育出版社  
Higher Education Press

■ 国家精品课程主讲教材

# 电路与电子学基础

唐胜安 刘晔 主编



高等教育出版社  
Higher Education Press

## 内容提要

本书是西安交通大学电工电子教学实验中心在开展国家工科基础课程电工电子教学基地、国家级电工电子教学实验示范中心和“电工电子技术”国家精品课程建设工作的基础上,为适应高等院校计算机、软件类专业“电路与电子技术”课程改革的需要而编写的。

全书由电路理论和电子技术两个模块构成。电路理论部分主要包括电路的基本概念与定律、电路的分析方法、正弦稳态电路的分析、电路的暂态响应。电子技术部分主要包括半导体器件、基本放大电路、集成运算放大器、功率电子电路、信号发生电路、模拟量和数字量的转换等。各章配有丰富的例题、习题。

本书可作为高等院校计算机、软件类专业本科生、大专生及成人教育相关专业的教材,也可供工程技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

电路与电子学基础/唐胜安,刘晔主编. —北京:高等教育出版社,2009.7

ISBN 978-7-04-026636-8

I. 电… II. ①唐…②刘… III. ①电路理论-高等学校-教材②电子学-高等学校-教材 IV. TM13 TN01

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第088444号

策划编辑 金春英 责任编辑 唐笑慧 封面设计 于文燕 责任绘图 尹莉  
版式设计 陆瑞红 责任校对 王雨 责任印制 朱学忠

出版发行 高等教育出版社  
社址 北京市西城区德外大街4号  
邮政编码 100120  
总机 010-58581000

经销 蓝色畅想图书发行有限公司  
印刷 北京明月印务有限责任公司

开本 787×1092 1/16  
印张 26  
字数 640 000

购书热线 010-58581118  
免费咨询 800-810-0598  
网址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landaco.com>  
<http://www.landaco.com.cn>  
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版次 2009年7月第1版  
印次 2009年7月第1次印刷  
定价 30.50元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究  
物料号 26636-00

# 前 言

本书是西安交通大学电工电子教学实验中心在开展国家工科基础课程电工电子教学基地、国家级电工电子教学实验示范中心和“电工电子技术”国家精品课程建设工作的基础上,为适应高等院校计算机、软件类专业“电路与电子技术”课程改革的需要而编写的。

基于计算机、软件类专业的课程改革要求,本书具有以下特点:

(1) 基础性 “电路与电子技术”课程是计算机、软件类专业学生重要的技术基础课程,本书注重对基本概念、基础理论和基本方法的论述,精选教材内容,份量适中。

(2) 新颖性 本书注重反映电工电子技术领域的新技术,将电力电子技术引入课程内容,对集成功率放大器、集成稳压电源、集成函数发生器等器件作了比较详细的介绍,使学生更多地了解集成电路的发展和应用。

(3) 实践性 实验在“电路与电子技术”课程中占有重要地位,本书注重理论教学与实践教学的结合,突出电路分析方法和电子器件工程应用背景的介绍,坚持知识传授与能力培养并重的原则。

(4) 专业性 特别考虑到计算机、软件类专业后续课程的需要,本书突出了对含有受控源电路的分析,单独设立了“模拟量和数字量的转换”一章,使模拟电子电路与数字电子电路能够较好地实现接口,同时也是对“数字逻辑电路”课程内容的补充。

(5) 适用性 本书充分关注学生的学习需求,叙述力求言简意赅,通俗易懂。在内容安排上重视电路理论和电子技术两个模块电路分析方法的不一致性,积极探索两个模块良好衔接的方法,通过设置较多的例题使学生更好地学习电路分析方法,更好地掌握常用电子电路的应用。

本书包括电路理论和电子技术两个模块。第1~4章是电路理论模块,包括电路的基本概念与定律、电路的分析方法、正弦稳态电路的分析和电路的暂态响应等内容。第5~10章是电子技术模块,包括半导体器件、基本放大电路、集成运算放大器、功率电子电路、信号发生电路、模拟量和数字量的转换等内容。

本书的编写是在西安交通大学电工电子教学实验中心的支持和指导下完成的。第1~4章由唐胜安编写,第5~10章由刘晔编写,全书由唐胜安统稿。西安交通大学邱捷教授和陈建明教授对教材体系和内容进行了具体指导。研究生徐昌前、焦媛、贾东乐、黄晶晶、陈江波、束秀梅、丁

巧娅、胡卫鹏、杨新伟、张璐、王斌、师丹和孙培培为书稿的录入、绘图及习题解答做了许多工作。

华南理工大学殷瑞祥教授仔细审阅了本书,提出了宝贵的修改意见,同时本书在编写过程中学习和借鉴了有关的参考资料,在此谨致以诚挚的感谢!

由于编者水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,欢迎专家、学者及读者不吝指正。

编 者

2009年2月于西安交通大学

# 目 录

## 第一部分 电路理论

<b>第1章 电路的基本概念与定律</b> .....	3	2.7 最大功率传输 .....	44
1.1 电路与电路模型 .....	3	习题2 .....	46
1.2 电路的物理量及其参考方向 .....	4	<b>第3章 正弦稳态电路的分析</b> .....	51
1.2.1 电流 .....	4	3.1 正弦交流电的基本概念 .....	51
1.2.2 电压、电位和电动势 .....	5	3.1.1 正弦量的三要素 .....	51
1.2.3 功率 .....	6	3.1.2 正弦量的相量表示方法 .....	54
1.3 电路元器件 .....	7	3.2 单一参数正弦稳态电路分析 .....	56
1.3.1 无源电路元件 .....	7	3.2.1 电阻元件的正弦稳态响应 .....	57
1.3.2 有源电路器件 .....	13	3.2.2 电感元件的正弦稳态响应 .....	58
1.4 基尔霍夫定律 .....	15	3.2.3 电容元件的正弦稳态响应 .....	60
1.4.1 基尔霍夫电流定律 .....	15	3.3 阻抗与导纳 .....	61
1.4.2 基尔霍夫电压定律 .....	16	3.3.1 阻抗 .....	61
习题1 .....	18	3.3.2 导纳 .....	63
<b>第2章 电路的分析方法</b> .....	21	3.4 正弦稳态电路的功率及功率因数 .....	64
2.1 电源的连接与等效变换 .....	21	3.4.1 正弦稳态电路的功率 .....	64
2.1.1 电源的串、并联 .....	21	3.4.2 功率因数的提高 .....	65
2.1.2 实际电压源与电流源的等效 变换 .....	23	3.4.3 最大功率的传输 .....	67
2.2 支路电流法 .....	26	3.5 正弦稳态电路的分析 .....	69
2.3 网孔分析法 .....	27	3.5.1 用电路定理分析问题 .....	69
2.4 结点电压法 .....	30	3.5.2 用相量图法分析问题 .....	71
2.5 叠加定理与齐次定理 .....	33	3.6 频率特性与谐振电路 .....	73
2.5.1 叠加定理 .....	33	3.6.1 $RC$ 电路的频率特性 .....	73
2.5.2 齐次定理 .....	37	3.6.2 电路的谐振 .....	75
2.6 等效电源定理 .....	38	3.7 三相交流电路 .....	80
2.6.1 戴维宁定理 .....	38	3.7.1 对称三相交流电源 .....	80
2.6.2 诺顿定理 .....	42	3.7.2 对称三相电路的连接 .....	82
		3.7.3 三相电路的功率 .....	85

3.7.4 不对称三相电路的分析 .....	86	4.2.1 $RC$ 电路的零输入响应 .....	103
3.8 非正弦周期电流电路分析 .....	88	4.2.2 $RC$ 电路的零状态响应 .....	105
3.8.1 非正弦周期函数的分解 .....	88	4.2.3 $RC$ 电路的全响应 .....	107
3.8.2 有效值和平均功率 .....	91	4.3 一阶 $RL$ 电路的暂态分析 .....	108
3.8.3 非正弦周期电路的稳态分析 .....	93	4.3.1 $RL$ 电路的零输入响应 .....	108
习题 3 .....	96	4.3.2 $RL$ 电路的零状态响应 .....	110
<b>第 4 章 电路的暂态响应</b> .....	101	4.3.3 $RL$ 电路的全响应 .....	111
4.1 换路定则与电压、电流的初始值 .....	101	4.4 一阶暂态电路的三要素分析法 .....	112
4.1.1 换路定则 .....	101	4.5 一阶电路的阶跃响应 .....	116
4.1.2 初始值 $u_C(0_+)$ 和 $i_L(0_+)$ 的 确定 .....	102	4.5.1 单位阶跃函数 .....	116
4.2 一阶 $RC$ 电路的暂态分析 .....	103	4.5.2 一阶电路的单位阶跃响应 .....	117
		4.6 $RLC$ 电路的零输入响应 .....	120
		习题 4 .....	124
<b>第二部分 电子技术</b>			
<b>第 5 章 半导体器件</b> .....	129	5.4.2 三极管的电流放大作用 .....	147
5.1 半导体的基本知识 .....	129	5.4.3 三极管的工作特性 .....	150
5.1.1 本征半导体与杂质半导体 .....	129	5.4.4 三极管的主要参数 .....	151
5.1.2 PN 结的形成 .....	132	5.4.5 光电三极管 .....	154
5.1.3 PN 结的特性 .....	132	5.5 场效应管 .....	155
5.2 二极管 .....	134	5.5.1 结型场效应管 .....	155
5.2.1 二极管的基本结构 .....	134	5.5.2 绝缘栅型场效应管 .....	158
5.2.2 二极管的伏安特性 .....	134	5.5.3 场效应管的主要参数 .....	161
5.2.3 二极管的主要参数 .....	135	5.5.4 场效应管与三极管的比较 .....	161
5.2.4 二极管的等效电路 .....	136	5.6 电力电子器件 .....	164
5.2.5 二极管的应用 .....	138	5.6.1 单结晶体管 .....	165
5.3 特殊二极管 .....	140	5.6.2 晶闸管 .....	166
5.3.1 稳压二极管 .....	140	5.6.3 典型全控型器件 .....	171
5.3.2 变容二极管 .....	142	习题 5 .....	175
5.3.3 肖特基二极管 .....	142	<b>第 6 章 基本放大电路</b> .....	180
5.3.4 光电二极管 .....	143	6.1 概述 .....	180
5.3.5 发光二极管 .....	144	6.1.1 放大电路的模型 .....	180
5.3.6 激光二极管 .....	144	6.1.2 放大电路的性能指标 .....	182
5.4 三极管 .....	146	6.1.3 放大电路的组成 .....	186
5.4.1 三极管的结构及类型 .....	146		





6.1.4 放大电路的工作原理 .....	187	影响 .....	246
6.2 放大电路的静态分析 .....	188	7.2.4 放大电路中的正反馈 .....	253
6.2.1 图解法 .....	188	7.3 信号运算电路 .....	253
6.2.2 估算法 .....	189	7.3.1 基本运算电路 .....	253
6.2.3 静态工作点的稳定 .....	189	7.3.2 积分与微分电路 .....	256
6.3 放大电路的动态分析 .....	191	7.3.3 对数与指数电路 .....	258
6.3.1 微变等效电路法 .....	191	7.4 信号检测与处理电路 .....	261
6.3.2 图解法 .....	195	7.4.1 信号检测中的放大器 .....	261
6.4 共集电极放大电路与共基极放大 电路 .....	198	7.4.2 有源滤波器 .....	262
6.4.1 共集电极放大电路 .....	198	7.4.3 采样保持电路 .....	265
6.4.2 共基极放大电路 .....	200	7.4.4 电压比较器 .....	266
6.4.3 放大电路的组态 .....	201	7.5 集成运算放大器的使用 .....	271
6.5 多级放大电路 .....	203	7.5.1 选型 .....	271
6.5.1 多级放大电路的组成 .....	203	7.5.2 调零 .....	274
6.5.2 多级放大电路的耦合方式 .....	203	7.5.3 消振 .....	274
6.5.3 放大电路的频率特性 .....	209	7.5.4 保护 .....	274
6.5.4 组合放大电路 .....	211	习题 7 .....	275
6.6 场效应管放大电路 .....	213	<b>第 8 章 功率电子电路</b> .....	289
6.6.1 场效应管放大电路的组态 .....	213	8.1 功率放大电路 .....	289
6.6.2 共源组态基本放大电路 .....	214	8.1.1 概述 .....	289
6.6.3 共漏组态基本放大电路 .....	216	8.1.2 互补对称功率放大电路 .....	291
6.6.4 共栅组态基本放大电路 .....	217	8.1.3 集成功率放大电路 .....	296
6.7 差分放大电路 .....	217	8.2 整流与滤波电路 .....	300
6.7.1 差分放大电路的工作原理 .....	218	8.2.1 整流电路 .....	301
6.7.2 典型差分放大电路 .....	219	8.2.2 滤波电路 .....	304
习题 6 .....	224	8.3 稳压电路 .....	308
<b>第 7 章 集成运算放大器</b> .....	233	8.3.1 硅稳压二极管稳压电路 .....	310
7.1 集成运算放大器简介 .....	233	8.3.2 串联型稳压电路 .....	310
7.1.1 集成运算放大器的电路组成 .....	233	8.3.3 集成稳压器 .....	312
7.1.2 集成运算放大器的参数 .....	234	8.3.4 开关型稳压电路 .....	317
7.1.3 集成运算放大器的电压传输 特性 .....	237	8.4 电力电子电路 .....	321
7.2 放大电路中的反馈 .....	241	8.4.1 可控整流电路 .....	322
7.2.1 反馈的基本概念 .....	241	8.4.2 逆变电路 .....	327
7.2.2 负反馈的组态 .....	243	8.4.3 交流调压电路 .....	332
7.2.3 负反馈对放大电路性能的 影响 .....	246	8.4.4 直流斩波电路 .....	333
		8.4.5 晶闸管的触发电路 .....	335
		习题 8 .....	338



<b>第 9 章 信号发生电路</b> .....	342	10.1.1 T 形电阻网络 D/A 转换器	365
9.1 正弦波信号发生器 .....	342	10.1.2 倒 T 形电阻网络 D/A 转换器	367
9.1.1 正弦波自激振荡的原理 .....	342	10.1.3 权电流 D/A 转换器 .....	368
9.1.2 RC 正弦波振荡电路 .....	343	10.1.4 权电阻网络 D/A 转换器 .....	370
9.1.3 LC 正弦波振荡电路 .....	346	10.1.5 开关树状 D/A 转换器 .....	371
9.1.4 晶体振荡电路 .....	350	10.1.6 D/A 转换器的主要技术指标	372
9.2 非正弦波信号发生器 .....	352	10.1.7 集成数模转换器 .....	374
9.2.1 方波发生器 .....	352	<b>10.2 模数转换器</b> .....	378
9.2.2 三角波发生器 .....	354	10.2.1 并行比较型 A/D 转换器 .....	379
9.2.3 锯齿波发生器 .....	355	10.2.2 逐次逼近型 A/D 转换器 .....	382
9.2.4 压控振荡器 .....	356	10.2.3 双积分型 A/D 转换器 .....	385
9.3 集成函数发生器 .....	358	10.2.4 A/D 转换器的主要技术指标	387
9.3.1 8038 的工作原理 .....	358	10.2.5 集成模数转换器 .....	388
9.3.2 8038 的典型应用 .....	359	<b>习题 10</b> .....	394
习题 9 .....	359		
<b>第 10 章 模拟量和数字量的转换</b> .....	363		
10.1 数模转换器 .....	363		
<b>部分习题参考答案</b> .....	397		
<b>参考文献</b> .....	404		

# 第一部分

## 电路理论

	第 1 章	电路的基本概念与定律 .....	( 3 )
	第 2 章	电路的分析方法 .....	( 21 )
	第 3 章	正弦稳态电路的分析 .....	( 51 )
	第 4 章	电路的暂态响应 .....	( 101 )



# 第1章

## 电路的基本概念与定律

本章主要讨论电路的基本概念,电路的组成,电路的物理量及其参考方向,电路的无源元件电阻、电感和电容以及有源器件电压源、电流源和受控源。基尔霍夫定律是电路分析中非常重要的也是基本的定律,包括电流定律和电压定律。通过对本章的学习,使学生对电路的基本概念有比较深入的理解,并了解电路的几种工作状态,为今后各章的学习打下基础。

### 1.1 电路与电路模型

电路是由一些电气元件按一定的要求构成的电流通路。电路具有传输电能、传递和处理信号、测量、计算等功能。在人们工作和生活中常常会遇到一些实际的电路,这些电路是为完成某种预期的目的而设计安装的。有些实际的电路非常复杂,如电力系统从发电、输电到用电是一个非常复杂的网络,再如集成电路芯片、电视机电路、计算机主板电路等。而有些电路则比较简单,如手电筒电路,只需要几节电池、连线和开关便可实现控制。无论一个电路复杂或简单,都可以将其归纳为以下几个部分。

① 电源 它是电能或电信号的发生器,是非电能转换成电能的能量转换装置,在电路中起着提供电能的作用。如发电厂用来产生电能的发电机;人们日常生活中所用的干电池、太阳能电池等。

② 负载 用电设备,是电能转换成非电能的能量转换装置。负载的种类很多,凡耗用电能的设备均可以称之为负载。如电动机可将电能转换为机械能;电炉将电能转换为热能;照明灯将电能转换为光能;还有常见的家用电器等。

③ 中间环节 连接电源与负载之间并具有传输、控制电能作用的部分,例如电力传输线、变电站中的各种控制开关和保护装置等。

实际的电路往往比较复杂,其工作情况受多种因素的影响,而在分析讨论电路时,常用一种电路模型代替实际电路。电路模型是用一些能反映电路中电压、电流及某种电磁性质的理想元器件构成,连接各理想元器件的导线也为理想导线,即忽略导线的电阻。图 1.1.1 所示为实际的手电筒电路及其电路模型。图(b)中  $R$  作为电珠的电路模型,而干电池则用  $U_s$  和  $R_s$  的串联组合作为模型。S 为开关,连接导线用理想导线(电阻设为零)或线段表示。

用理想元器件构建电路模型(简称建模)要考虑诸多条件和因素。模型取得恰当与否,直接影响到电路计算的正确与否,因而建模的过程是一个比较复杂的问题。

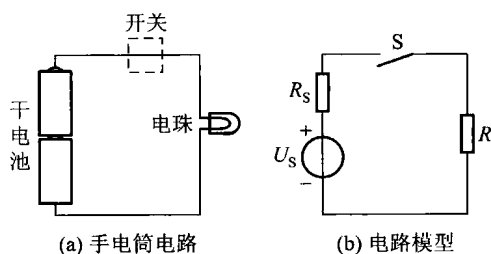


图 1.1.1 手电筒电路与电路模型

本书今后所讨论的电路一般均为用理想元器件构成的抽象电路而非实际电路,同时将理想电路元器件简称为元器件。

## 1.2 电路的物理量及其参考方向

电路中的电压  $u$ 、电流  $i$  和电功率  $P$  是电路的基本物理量。在讨论电路的物理量时,不仅要注意其数值的大小,还要注意其方向,物理量的方向分为实际方向和参考方向(又称正方向),在分析时要加以区别。

### 1.2.1 电流

当导体连接到一个电源的两端时,在电场力的作用下,导体中的自由电子(带负电荷)便会逆电场方向运动,正电荷会向相反的方向运动。这种电荷的移动便会形成电流。电流定义为:单位时间内通过导体横截面的电荷量,如图 1.2.1 所示。

电流用  $i$  表示。电流  $i$ 、电荷  $q$  和时间  $t$  之间的关系为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.2.1)$$

若电荷的变化率  $\frac{dq}{dt}$  为常数,即为直流电流,常用大写字母  $I$  表示。我国的法定计量单位采用国际单位制(SI)。在国际单位制中,电流的单位是安[培](A)。当电流较大时,用千安(kA)表示,而对于小电流则用毫安(mA)、微安( $\mu\text{A}$ )。它们之间的转换关系如下

$$1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A}, \quad 1 \text{ A} = 10^3 \text{ mA}, \quad 1 \text{ mA} = 10^3 \mu\text{A}$$

规定正电荷流动的方向为电流的正方向。在实际的电路分析中,由于开始在未对电路的结果有一个明确的结论时,尚无法确定电流的实际方向。因而在讨论之前先假设一个电流的方向,这个假设的方向即为参考方向。而电流的实际方向却是在计算出结果后才能知道。在电路中一旦参考方向确定以后,实际方向与之一致的,电流为正值,反之为负值。关于电流参考方向的说明如图 1.2.2 所示。

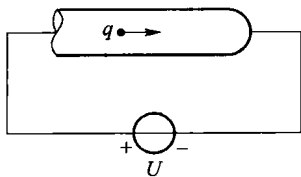


图 1.2.1 电流定义说明图

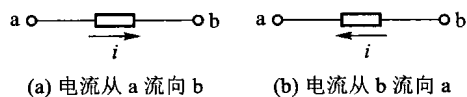


图 1.2.2 电流的参考方向

若在图 1.2.2(a) 中设电流从 a 流向 b 为正, 表示电流是从 a 流向 b; 则根据图(a) 中的设定而言图(b) 的电流则为负。但站在图(b) 的角度看问题则认为从 b 流向 a 的电流也为正。

由以上讨论可知, 电路中的电流方向包含两个: 一个是电流的实际方向; 另一个是电流的参考方向。前者往往是要经过计算后才可得到其结果的, 而后者则是计算前就假设的。这一点在学习时要注意分清。

### 1.2.2 电压、电位和电动势

电压是表征电路中单位电荷从一点移到另一点所需能量(或做功)的一种物理量。在电路中选定一点作为参考点, 则参考点的电位为零。某一点的电位即为单位正电荷从该点移到参考点电场力做功的大小, 也称之为该点与参考点之间的电压。由此可见, 电压就是电路中两点之间的电位差, 如图 1.2.3(a) 所示。

用数学式表示, 即为

$$u = \frac{dW}{dq} \quad (1.2.2)$$

式中,  $W$  表示能量, 单位为焦[耳](J);  $q$  是电荷, 单位为库[仑](C); 电压、电位的单位为伏[特](V), 从式(1.2.2)中可知

$$1 \text{ V} = 1 \text{ J}/1 \text{ C} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}/\text{C}$$

图 1.2.3(a) 表示了一个元器件两端 a 和 b 之间的电压, 图中正号“+”和负号“-”用来表示电压的极性, 也为其参考方向。a 端为“+”, b 端为“-”; 表明 a 端的电位比 b 端高, 通常记为  $u_{ab}$ 。一般来说, 用这种双下标表示时, 前面的点比后面点的电位高, 可以写为

$$u_{ab} = -u_{ba} \quad (1.2.3)$$

图 1.2.4 表示了 a、b 之间电压的两种表示方法, 电压的参考方向设定为“+”高于“-”, 一旦电压的参考方向设定之后, 实际方向与之一致的, 电压为正值, 反之为负值。若图 1.2.4(a) 中电压  $u = 10 \text{ V}$ , 则(b) 中的电压  $u$  即为  $-10 \text{ V}$ 。

如果设电路中元器件两端电压 a 为“+”, b 为“-”, 通过该元器件的电流为从“+”流向“-”, 则称之为两者参考方向相关联; 若其中一个物理量的参考方向设为相反则称为两者参考方向不关联。图 1.2.5(a) 和(b) 分别表示参考方向关联和不关联。通常情况下, 如果只标出一个物理量的参考方向, 则另一个物理量默认为参考方向关联。

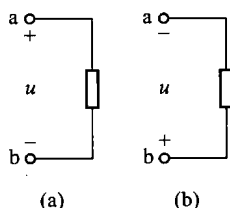


图 1.2.4 电压的表示方法

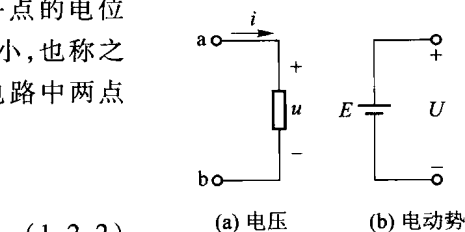


图 1.2.3 电压、电动势示意图

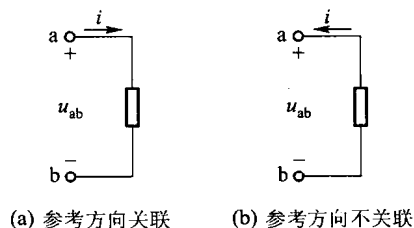


图 1.2.5 电压与电流的关联方向

电动势是表示电源内部电场力做功的物理量。电动势用字母  $e$  表示, 定义为在电源内部单位正电荷从负极到正极电场力所做的功, 其方向从负极指向正极, 即电位升的方向。电动势的示

意图如图 1.2.3(b) (大写字母表示直流量) 所示, 电动势的单位为伏[特](V)。

在直流电源中, 电压用大写字母  $U$  表示, 电位用大写字母  $V$  表示, 电动势用大写字母  $E$  表示。

### 1.2.3 功率

虽然电流和电压是电路中的两个基本物理量, 但在实际应用中, 还必须要知道电气设备的电功率是多少。一个 100 W 的白炽灯比一个 60 W 的白炽灯要亮。供电部门计量一个电气设备的用电情况时也是以某一个阶段的或周期的用电量计算的。这就是说, 电气设备的功率与能量在电路分析中是非常重要的。

下面分析功率和能量与电压、电流的关系。从物理学中知道, 功率是单位时间内发出或吸收能量的变化率, 其表达式为

$$p = \frac{dW}{dt} \quad (1.2.4)$$

式中,  $p$  是功率, 单位是瓦[特](W);  $W$  是能量, 单位是焦[耳](J);  $t$  是时间, 单位是秒(s)。从式(1.2.1)和(1.2.2)可以得到

$$p = \frac{dW}{dt} = \frac{dW}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} = u \cdot i \quad (1.2.5)$$

或

$$p = u \cdot i \quad (1.2.6)$$

式(1.2.6)中  $p$  是随时间变化的, 因而称为瞬时功率。对于直流电压和电流而言, 在关联参考方向的情况下, 功率则写为

$$P = U \cdot I \quad (1.2.7)$$

在分析电路时, 如何判断电路元器件是电源(或起电源作用)还是负载(或起负载作用), 要根据电压和电流的实际方向来确定。如图 1.2.6 所示, 图(a)中  $U$  和  $I$  的实际方向相反, 电流从电压的正端流出, 则为电源; 图(b)中  $U$  和  $I$  实际方向相同, 电流从电压的正端流进, 则为负载。

也就是说根据关联参考方向判断, 在关联参考方向时, 如果  $p > 0$  为吸收功率, 如果  $p < 0$  则为发出功率。

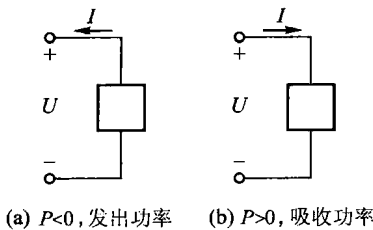


图 1.2.6 功率与电压、电流的关系

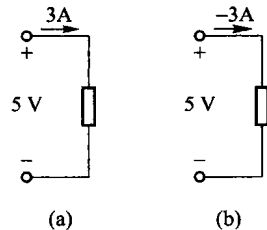


图 1.2.7 例 1.2.1 的图

**【例 1.2.1】** 求图 1.2.7(a) 和(b) 所示电路的功率, 并判断电路中的元器件是电源还是负载。

**解:** 图(a)中

$$P = 5 \times 3 \text{ W} = 15 \text{ W} \quad \text{负载}$$

图(b)中

$$P = 5 \times (-3) \text{ W} = -15 \text{ W} \quad \text{电源}$$

实际上,在一个电路中功率是平衡的,即电源发出的功率之和等于负载吸收的功率之和。即

$$\sum p = 0 \quad (1.2.8)$$

从式(1.2.5)中可以看出,电路元件从  $t_0$  到  $t$  所吸收(或发出)的能量为

$$W = \int_{t_0}^t p dt = \int_{t_0}^t u \cdot i dt \quad (1.2.9)$$

能量是一段时间内电路功率的总和。因为  $u$  和  $i$  都是时间的函数,因此电能也是时间的函数。

## 1.3 电路元器件

如 1.1 节中所述,元器件是构成电路的基本元素,电路是由各种元器件相互连接而成的,电路分析就是讨论元器件的电压、电流关系以及元器件的功率问题。在电路中有两种类型的元器件:无源电路元件和有源电路器件。有源电路器件可以发出功率而无源电路元件则不能。无源电路元件即为电阻、电感和电容,而有源电路器件为各种电源等。

当电路元器件的两端由于某种原因连在一起时,则元器件被短接,称为短路;若电路中任一连接点因故而断开使电流为零时,称为开路。开路和短路均是电路的工作状态。

### 1.3.1 无源电路元件

#### 1. 电阻元件

当自由电子在材料中运动时会与材料的原子发生碰撞,这种碰撞导致电子能量损失,且限制了自由电子的运动,碰撞越多则电子流动受到的限制也就越多。电子受到限制的大小是由材料的特性决定的,这种限制自由电子运动的能力就被称为电阻。

材料的电阻值与材料本身的性质和几何尺寸有关,即

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

式中, $\rho$  称为电阻率,它是表示材料电阻特性的物理量。在国际单位制中,电阻率的单位是欧·米( $\Omega \cdot \text{m}$ ); $l$  是材料的长度,单位是米(m); $A$  为材料的横截面积,单位为平方米( $\text{m}^2$ )。良好的导体如铜、铝具有比较低的电阻率;而绝缘体如云母、玻璃等具有很高的电阻率。表 1.3.1 中列出了几种常用材料的电阻率。

表 1.3.1 常用材料的电阻率

材料名称	电阻率/( $\Omega \cdot \text{m}$ )	用途
银	$1.64 \times 10^{-8}$	导体
铜	$1.72 \times 10^{-8}$	导体
铝	$2.8 \times 10^{-8}$	导体
金	$2.45 \times 10^{-8}$	导体
锗	$4 \times 10^{-2}$	半导体



续表

材料名称	电阻率/( $\Omega \cdot \text{m}$ )	用途
硅	$6.4 \times 10^{-2}$	半导体
纸	$10^{10}$	绝缘体
云母	$5 \times 10^{11}$	绝缘体
玻璃	$10^{12}$	绝缘体
聚四氟乙烯	$3 \times 10^{12}$	绝缘体

在电路中,为了限制电流的大小,往往用一些特殊的材料制成不同阻值的元件,将这种元件称为电阻元件,简称为电阻。电阻的符号如图 1.3.1 所示,并标以文字符号  $R$ 。

如果一个电阻的阻值不随外界因素的影响,其电压与电流的比值为线性关系,则称该电阻为线性电阻,否则为非线性电阻。本节仅讨论线性电阻的工作特性。

线性电阻的电压电流在参考方向关联的情况下,如图 1.3.2 所示,在任何时刻其两端的电压和电流关系均服从欧姆定律,即

$$u = Ri \quad (1.3.2)$$

当一个电阻两端的电压单位为 V,电流单位为 A 时,电阻的单位为欧[姆]( $\Omega$ ),其伏安特性可用图 1.3.3 表示。



图 1.3.1 电阻的符号

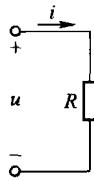


图 1.3.2 电阻电路

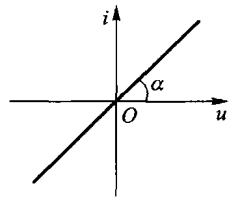


图 1.3.3 线性电阻的伏安特性

线性电阻的伏安特性是一条通过原点的直线,直线的斜率与其电阻值有关,可用式(1.3.3)表示。

$$\alpha = \tan \frac{i}{u} = \tan \frac{1}{R} \quad (1.3.3)$$

当电阻的电压  $u$  和电流  $i$  为关联参考方向时,电阻消耗的功率为

$$p = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} \quad (1.3.4)$$

因为  $R$  是正实常数,所以功率  $p$  恒为非负值,也就是说电阻在电路中总是吸收电能的。电阻从  $t_0$  时刻到  $t$  时刻这段时间内吸收的电能为

$$W = \int_{t_0}^t Ri^2 dt \quad (1.3.5)$$

一般来说,电阻将吸收的电能转换为热能消耗掉。

常见的电阻有金属膜电阻和碳膜电阻,另外根据要求还可用高电阻率的锰铜丝绕制成绕线式电阻。锰铜是以铜、锰、镍为主要成分的电阻合金,具有较高的电阻率、很小的电阻温度系数和