

新世纪高职高专实用规划教材·计算机系列

计算机 电路基础

(第2版)

魏则桀 主编



清华大学出版社

新世纪高职高专实用规划教材 计算机系列

计算机电路基础

(第2版)

魏则荣 主 编

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是根据高职高专教学大纲要求编写的教科书,涉及电路基础、模拟电子技术和数字电子技术三方面内容。本书系统地介绍了电路基本分析方法、正弦交流电路、暂态分析、半导体器件、放大电路、运算放大器、稳压电路、门电路、触发器、组合逻辑电路和时序逻辑电路。书中在对传统的基础理论和电路进行详细分析的同时,对集成电路的应用作了大量的介绍,是一本由浅入深、循序渐进、内容丰富、层次清晰、易于学习的教材。

本书可作为高等学校非电类专业,高职高专、成人教育计算机各专业和电类相关专业电路课程教材,还可供工程技术人员学习参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

计算机电路基础/魏则燊主编. —2版. —北京:清华大学出版社,2008.1

(新世纪高职高专实用规划教材 计算机系列)

ISBN 978-7-302-16707-5

I. 计… II. 魏… III. 电子计算机—电子电路—高等学校:技术学校—教材 IV. TP331

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 202849 号

责任编辑:朱 颖

封面设计:子时文化

版式设计:北京东方人华科技有限公司

责任校对:周剑云

责任印制:王秀菊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

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

邮 编:100084

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社 总 机:010-62770175

邮购热线:010-62786544

投稿咨询:010-62772015

客户服务:010-62776969

印 刷 者:北京国马印刷厂

装 订 者:三河市溧源装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印张:18.5 字数:444 千字

版 次:2008 年 1 月第 2 版 印 次:2008 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:26.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:026966-01

前 言

本书是根据高等职业教育的特点和计算机各专业及电类有关专业对“计算机电路基础”课程教学的基本要求,结合电路理论、现代模拟电子技术和数字技术的发展编写的。本书注重基础理论和基本方法,在阐明基本物理概念、电路的工作原理和分析方法的同时,力求做到深入浅出、循序渐进,便于自学。书中采用“提示”和“注意”的方法,加深对概念的理解。每章都有小结并附有习题,以便巩固所学知识。

“计算机电路基础”是一门既有基本理论,又有较强实践性的专业基础课。学习本课程的目的是使学生掌握电路的基本理论和分析方法,为后续的专业课打下必要的基础,学生还要在实践中体会、巩固和提高所学知识。

本书共分 10 章,第 1 章~第 4 章是电路基础部分,主要包括电路基本概念和基本定律、电路分析方法、正弦交流电路和电路暂态分析;第 5 章~第 8 章是电子模拟电路部分,主要包括半导体器件、基本放大电路、集成运算放大器和直流稳压电路;第 9 章和第 10 章是数字电路部分,主要包括门电路和组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路。该课程总学时为 90 学时。书中打“*”的章节,可视专业的需要、学时的多少和学生的实际水平供教师选讲或学生参考之用。

本书由魏则榮主编,负责全书的组织、统编与审阅;参与编写的还有孙喆、魏伟、毛文辉。

本书在编写过程中得到了边奠英教授的关心和支持,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在不妥和错误之处,恳请使用本书的教师和读者给予批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 电路基本概念和基本定律	1	2.4 戴维南定理	25
1.1 电路	1	2.5 最大功率输出	27
1.1.1 电路的作用	1	小结	28
1.1.2 电路模型	2	习题	28
1.1.3 集总假设	2	第 3 章 正弦交流电路	32
1.2 电流、电压和功率	2	3.1 正弦交流电压和电流	32
1.2.1 电流	3	3.1.1 频率与周期	33
1.2.2 电压和电位	3	3.1.2 幅值与有效值	33
1.2.3 关联参考方向	4	3.1.3 初相位	34
1.2.4 功率	5	3.2 正弦量的相量表示法	34
1.3 二端元件和受控源	6	3.2.1 复数的两种表示法	34
1.3.1 电阻元件	6	3.2.2 相量	35
1.3.2 电压源	7	3.3 单一参数的交流电路	36
1.3.3 电流源	7	3.3.1 电阻交流电路	36
1.3.4 受控源	8	3.3.2 电感交流电路	38
1.4 电路 3 种状态	9	3.3.3 电容交流电路	40
1.4.1 开路状态	9	3.4 电阻电容与电感串联的交流电路	42
1.4.2 短路状态	10	3.5 阻抗的串联与并联	45
1.4.3 有载状态	10	3.5.1 阻抗的串联	46
1.5 基尔霍夫定律	12	3.5.2 阻抗的并联	46
1.5.1 支路、结点和回路	12	*3.6 功率因数	48
1.5.2 基尔霍夫电流定律	13	*3.7 电路的谐振	50
1.5.3 基尔霍夫电压定律	14	3.7.1 串联谐振	50
小结	15	3.7.2 并联谐振	51
习题	16	*3.8 非正弦周期信号	52
第 2 章 电路的分析方法	19	3.8.1 非正弦周期量	53
2.1 电阻的串联与并联	19	3.8.2 非正弦周期量的有效值	56
2.1.1 电阻的串联	19	3.8.3 非正弦周期量的频谱	57
2.1.2 电阻的并联	20	3.8.4 非正弦周期信号电路中的	
2.2 电路分析方法	22	功率	58
2.2.1 支路电流法	22	小结	59
2.2.2 回路电流法	23	习题	61
2.3 叠加定理	24		

第4章 电路的暂态分析..... 64

4.1 换路定律..... 64

4.1.1 电路中过渡过程的产生..... 64

4.1.2 换路定律..... 65

4.2 一阶线性电路暂态分析..... 65

4.2.1 初始值 $f(0_+)$ 664.2.2 稳态值 $f(\infty)$ 664.2.3 时间常数 τ 66

4.2.4 一阶线性电路的暂态分析..... 67

4.3 微分电路和积分电路..... 71

4.3.1 微分电路..... 71

4.3.2 积分电路..... 72

小结..... 73

习题..... 73

第5章 半导体器件..... 75

5.1 半导体与PN结..... 75

5.1.1 本征半导体..... 75

5.1.2 P型半导体和N型半导体..... 76

5.1.3 PN结..... 77

5.2 半导体二极管..... 78

5.2.1 基本结构..... 78

5.2.2 伏安特性..... 79

5.2.3 主要参数..... 79

5.2.4 特殊二极管..... 80

5.3 半导体三极管..... 81

5.3.1 三极管的基本结构..... 81

5.3.2 三极管的电流放大作用..... 82

5.3.3 三极管伏安特性曲线..... 83

5.3.4 三极管主要参数..... 85

5.4 场效应管..... 86

5.4.1 绝缘栅型场效应管..... 86

5.4.2 结型场效应管..... 89

5.5 复合管..... 90

*5.6 晶闸管..... 91

5.6.1 晶闸管的结构与工作原理..... 91

5.6.2 晶闸管伏安特性..... 92

5.6.3 晶闸管参数..... 93

小结..... 94

习题..... 95

第6章 基本放大电路..... 97

6.1 共发射极放大电路..... 97

6.1.1 放大电路的组成..... 97

6.1.2 放大电路主要性能指标..... 98

6.2 放大电路的分析方法..... 100

6.2.1 静态分析..... 100

6.2.2 动态分析..... 102

6.2.3 静态工作点的稳定..... 108

6.3 射极跟随器..... 109

6.3.1 静态分析..... 110

6.3.2 动态分析..... 110

6.4 多级放大电路..... 111

6.4.1 耦合方式..... 112

6.4.2 多级放大电路分析..... 113

6.5 负反馈放大器..... 115

6.5.1 反馈概述..... 115

6.5.2 负反馈放大器的分析方法..... 116

6.5.3 4种负反馈类型..... 118

6.5.4 负反馈对放大电路性能的影响..... 120

6.6 差分放大电路..... 122

6.6.1 基本差分放大电路..... 122

6.6.2 差分放大电路的输入/输出方式..... 124

6.7 功率放大器..... 127

6.7.1 概述..... 127

6.7.2 互补对称功率放大电路..... 128

6.8 场效应管放大电路..... 130

小结..... 132

习题..... 133

第7章 集成运算放大器..... 138

7.1 集成运算放大器概述..... 138

7.1.1 集成运算放大器的组成..... 138

7.1.2 主要参数..... 139

7.1.3 理想运算放大器..... 140

7.2 基本运算电路	143	9.1.1 与逻辑运算	195
7.2.1 比例运算电路	143	9.1.2 或逻辑运算	196
7.2.2 加、减法运算电路	145	9.1.3 非逻辑运算	196
7.2.3 微、积分运算电路	148	9.2 集成逻辑门电路	197
7.3 信号处理电路	150	9.2.1 TTL 门电路	197
7.3.1 电压比较器	150	9.2.2 CMOS 门电路	202
7.3.2 有源滤波器	154	9.3 逻辑函数	205
7.4 信号产生电路	158	9.3.1 逻辑代数	205
7.4.1 正弦信号产生电路	158	9.3.2 逻辑函数表示法—— 真值表	207
7.4.2 方波产生电路	161	9.3.3 逻辑函数表示法——函数 表达式	208
7.4.3 锯齿波产生电路	162	9.3.4 逻辑函数表示法——逻辑 电路图	210
*7.5 集成运算放大电路的分类 与选择	163	9.3.5 逻辑函数表示法—— 卡诺图	211
7.5.1 集成运放的分类	163	9.4 组合逻辑电路	215
7.5.2 参数与管脚	165	9.4.1 组合逻辑电路的分析	215
7.5.3 消振与调零	166	9.4.2 加法器	217
7.5.4 保护	166	9.4.3 编码器	219
小结	167	9.4.4 译码器	223
习题	169	9.4.5 显示译码器	226
第 8 章 直流稳压电路	173	9.4.6 数值比较器	229
8.1 整流电路	174	9.4.7 数据选择器	231
8.1.1 半波整流	174	小结	232
8.1.2 单相全波整流	175	习题	233
8.2 滤波电路	177	第 10 章 触发器和时序逻辑电路	237
8.2.1 电容滤波器(C 型滤波器)	177	10.1 触发器	237
8.2.2 电感电容滤波器(LC 滤波器)	178	10.1.1 基本 RS 触发器	237
8.3 直流稳压电路	179	10.1.2 同步触发器	239
8.3.1 稳压管稳压电路	179	10.1.3 主从触发器	244
8.3.2 串联型稳压电路	180	10.2 计数器	248
8.4 三端集成稳压器	183	10.2.1 二进制加法计数器	248
8.4.1 固定输出式三端稳压器	184	10.2.2 十进制计数器	251
8.4.2 可调输出式三端稳压器	185	10.2.3 集成计数器	253
8.5 开关稳压电源	187	10.3 寄存器	255
小结	191	10.3.1 数码寄存器	256
习题	192	10.3.2 移位寄存器	256
第 9 章 门电路和组合逻辑电路	194		
9.1 基本逻辑运算	194		

10.4 脉冲波形的产生与变换.....	259	10.6.2 只读存储器(ROM).....	273
10.4.1 矩形脉冲信号.....	259	小结.....	275
10.4.2 多谐振荡器.....	260	习题.....	276
10.4.3 单稳态触发器.....	262	附录 A 国产半导体器件命名法.....	280
10.4.4 施密特触发器.....	265	附录 B 国产半导体集成电路型号 命名法.....	281
10.5 555 定时器及应用.....	267	附录 C 电阻的命名与识别.....	282
10.5.1 555 定时器.....	267	附录 D 电容器的命名.....	284
10.5.2 定时器应用举例.....	269		
*10.6 半导体存储器.....	271		
10.6.1 随机存储器(RAM).....	272		

第 1 章 电路基本概念和基本定律

教学提示：电路是学习电子技术的基础，是电子类专业的入门知识。本章主要介绍电路的一些基本概念和基本定律等电路理论的基础知识。

教学目标：

- 了解电路模型和集总假设的意义；
- 理解电压、电流的参考方向和关联参考方向；
- 理解电压源、电流源的特性及功率计算；
- 理解支路、节点、回路的定义和电路的 3 种工作状态；
- 理解基尔霍夫电流和电压定律，要求熟练掌握并能自如地应用于电路计算；
- 能分析和计算电路中各点电位。

1.1 电 路

电流流通的路径称为电路。电路实现电能的传输和转换，或实现信号的传递和处理。电路的形式是多种多样的。

1.1.1 电路的作用

在日常生活中，各种各样的电器设备随处可见，从简单的手电筒、台灯到比较复杂的电视机、计算机等，它们都是由各种各样不同功能的具体电路组成的。不管这些电路如何简单或复杂，都可以分成电源、中间环节部分和负载 3 个部分，如图 1.1 所示。

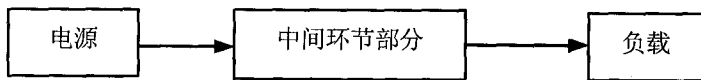


图 1.1 电路组成

电源是向电路提供电能的设备，如发电机、电池等，为整个电路工作提供能源。电源的作用是将其他形式的能量转化成电能。

负载是指各种用电设备和元器件的总称，它的作用是将电能转换成其他形式的能量，如台灯可将电能转换成光能，电饭锅可将电能转换成热能，音响设备中的扬声器可将电能转换成声能。负载是电路中的主要耗电器件。

从电源到负载之间是中间环节部分，它通过导线将电源和负载连接起来，形成一个完整的电路。中间环节部分可能是一个简单的开关，也可能是由许多电子元器件组成的以完成复杂功能的电子系统。

电路是由电子器件或部件按一定方式连接形成电流的通路，电路的作用是实现电能的传输和转换，或者说是实现信号的传递和处理。

1.1.2 电路模型

实际电路都是由许多起不同作用的电子元件相互连接而成的。在手电筒的实物连接图中,所有的元件都是具体的实物,如图 1.2 所示。当用元件的符号代替实物时就得到它相应的电气图,如图 1.3 所示。从图中可以看出电气图要比实物连接图简单和直观。实际的电元件往往都不是单一参数的理想元件,如手电筒中的电池除电动势 E 外还存在内电阻 R_S ;开关在闭合时也存在一定的接触电阻 R_K ;连接元器件的导线存在线间电阻 R_X 等。为了突出元件的主要特性,忽略其次要因素,把它近似地看成单一参数的理想电路元件。在如图 1.4 所示的电路中,忽略引线间电阻,电池用电动势 E 表示忽略 R_S ,开关用 K 表示忽略 R_K ,小电珠用电阻 R_L 表示。这样用理想电元件所组成的电路,称为实际电路的电路模型。电路模型是对实际电路的抽象和概括。

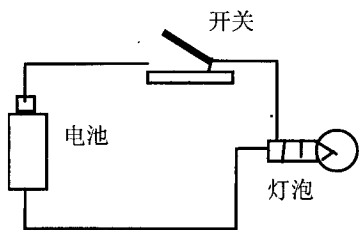


图 1.2 实物连接图

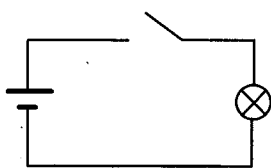


图 1.3 电气图

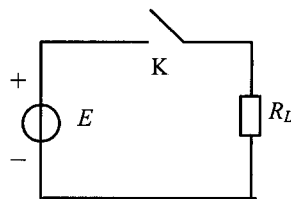


图 1.4 电路图

1.1.3 集总假设

任何一个实际元件都不是一个理想的元件。实际元件的电气性能方程是很复杂的,为了简化对器件性能的描述和简化电路分析和计算,在一定的条件下,常忽略其次要物理过程,只考虑实际元件的主要特性,使其理想化。理想化的元件模型称之为电路元件。如电阻器实际含有电阻、分布电容和分布电感 3 种参数,当只考虑电阻值消耗电能的主要特性时,就不考虑分布电容和分布电感的电磁能存储影响,因而构成它的模型仅是单个理想电阻元件,这种假设称为集总假设。这种元件称为集总参数元件,简称集总元件。

在建立元器件的模型时,采用上述集总假设的条件是:电场作用(充放电)只发生在电容元件上,磁场作用(磁能的储存和释放)只发生在电感元件上,而且都没有电磁能量的损失。只有在满足此条件时,才能采用集总假设的概念。

由集总元件构成的电路称为集总电路,简称为电路。

1.2 电流、电压和功率

电流、电压和功率是电路中 3 个重要的物理量,是电路分析和计算中的重要参数。

1.2.1 电流

电荷的定向运动产生电流。电流的单位为安培, 简称为安, 用字母 A 表示。常用的单位还有毫安(mA)和微安(μA)。单位之间的关系如下

$$1\text{A}=1000\text{mA}$$

$$1\text{mA}=1000\mu\text{A}$$

正电荷运动方向为电流的方向。电流通常是时间的函数。如果电流的大小和方向不随时间变化, 则称此电流为直流电流(或恒定电流), 用大写字母 I 表示, 如图 1.5 所示。大小随时间变化而方向不随时间变化的电流称为变动电流 i , 如图 1.5 所示。如果电流的大小和方向都随时间而变化, 这样的电流称为交流电流, 用小写字母 i 表示, 如图 1.6 所示。以后用 $i(t)$ 或 i 表示随时间变化的电流。

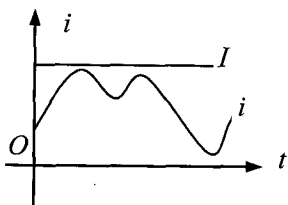


图 1.5 直流电流

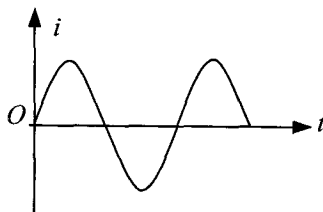


图 1.6 交流电流

在复杂电路中, 要正确判定一个元件上的电流方向并非易事。因此, 在分析和计算电路前总是先假定流过元件上电流的方向, 这个假设的电流方向称为电流参考方向。据此假定电流方向, 经过分析计算, 如果所求得电流为正值, 说明流过元件的电流的实际方向与假定的电流参考方向一致, 如图 1.7(a)所示; 如果所求得电流为负值, 则实际电流方向与电流参考方向相反, 如图 1.7(b)所示。因此, 电流的正负值必须在参考方向选定后才能确定。

注意: 参考方向是一种分析方法, 只有在参考方向选定之后, 电流和电压才有正、负之分。

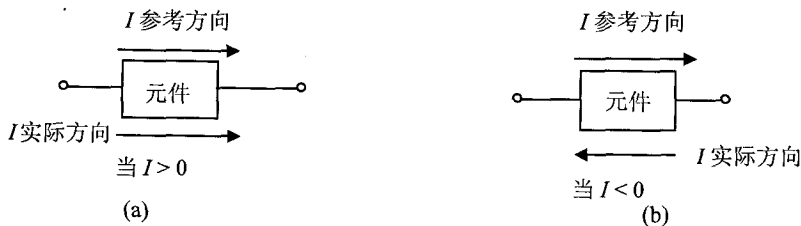


图 1.7 电流方向

1.2.2 电压和电位

1. 电压

单位正电荷在电场力的作用下, 从电场中的 a 点移到 b 点所做的功, 称为电场中 a 、 b

两点间的电压。电压通常是时间的函数。直流电压用 U 表示, 交流电压用 $u(t)$ 表示。电压单位为伏特, 简称伏, 用大写字母 V 表示。电压较小时用 mV (毫伏)和 μV (微伏)作为单位。这里

$$1V=1000mV$$

$$1mV=1000\mu V$$

和电流一样, 电压也具有方向。电压方向规定为由高电位(“+”极性端)指向低电位(“-”极性端), 即电位降低的方向作为电压的实际方向。电压方向也可以用下标方式表示, 如 a 、 b 两点之间的电压方向由 $a(+)$ 指向 $b(-)$, 可表示为 U_{ab} 。与假定电流的参考方向的道理一样, 计算电路前先假定元件上电压的方向, 即电压参考方向。当实际求得电压值 $U>0$ 时, 说明元件上电压参考方向与实际电压方向一致, 如图 1.8(a)所示。如果所求得电压值 $U<0$ 时, 则电压参考方向与实际电压方向相反, 如图 1.8(b)所示。

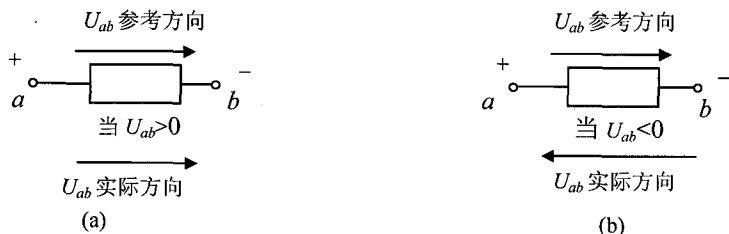


图 1.8 电压方向

2. 电位

在对电路进行电压分析的时候, 往往要选定电路中的某一点作为电压的参考点, 称为零电位点。电路中的任一点到零电位点的电压称为该点的电位。在如图 1.9 所示的电位图中, 选择 d 为零电位点, 则 a 、 b 、 c 点的电位分别为 U_a 、 U_b 、 U_c 。对于零电位习惯上用接地符号 $\perp$ 表示。电路中电压的参考点是任意选定的, 一经选定, 其他点的电位也随之而定。

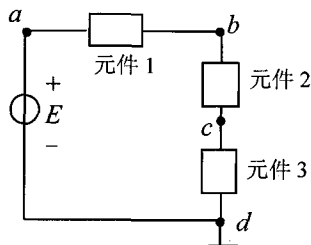


图 1.9 电位图

1.2.3 关联参考方向

在分析电路的时候, 有时需要对某一元件同时设定电流参考方向和电压参考方向, 如图 1.10 所示。在图 1.10(a)中, 电流和电压的参考方向一致, 称为关联参考方向。在图 1.10(b)中, 电流和电压的参考方向不一致, 称为非关联参考方向。



图 1.10 参考方向

【例 1.1】求如图 1.11 所示电路中 R 的电阻值。

【解】电阻上的电压是流过电阻上的电流 I 所产生的, 电流和电压的参考方向是一致的, 即关联参考方向。这时, $U=IR$ 。如果电流和电压的参考方向相反(非关联参考方向), 则 $U=-IR$ 。

由图 1.11(a)得

$$R = \frac{U}{I} = \frac{8}{2} = 4(\Omega)$$

由图 1.11(b)得

$$R = -\frac{U}{I} = -\frac{8}{-2} = 4(\Omega)$$

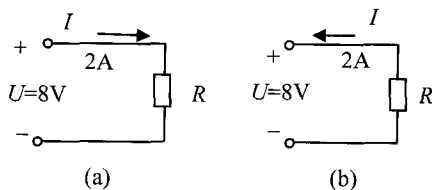


图 1.11 例 1.1 的电路

1.2.4 功率

正电荷从电路元件电压的正极, 经元件移到电压的负极, 正电荷从高电位移向低电位, 是电场力对电荷做功的结果, 电场的能量消耗在元件上。元件消耗电场的能量为吸收能量或消耗功率。可以看出, 这时元件上的电流方向和电压的方向是一致的。

正电荷从电路元件电压的负极, 经元件移到电压的正极, 正电荷从低电位移向高电位, 必须由外力对电荷作用以克服电场力, 这时元件应具有这种外力(如化学力、电磁力), 因此元件会发出能量, 或者说是元件向电路提供能量, 即元件向电路提供功率。可以看出, 这时元件上的电流方向和电压的方向是相反的。

元件上的功率可用下列公式计算

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

如果元件上电流和电压的参考方向一致, 即符合关联参考方向, 如图 1.10 所示, 用公式(1-1)计算元件上的功率。如果功率 $P > 0$, 说明元件从电路中吸收功率, 即元件本身消耗功率, 这种元件被称为电路的负载。如果功率 $P < 0$, 说明元件向电路提供功率, 这样的元件本身能产出功率, 被称为电源。

如果元件上电流和电压的参考方向不一致, 即符合非关联参考方向, 如图 1.11(b)所示, 用公式(1-1)计算元件上的功率。如果功率 $P > 0$, 说明元件向电路提供功率, 元件本身能产出功率, 此元件为电源; 如果功率 $P < 0$, 说明元件从电路中吸收功率, 即元件本身消耗功率, 这种元件称为电路的负载。



提示: 在关联参考方向, $P > 0$ 是负载吸收功率; $P < 0$ 是电源提供功率。

在非关联参考方向, $P > 0$ 是电源提供功率; $P < 0$ 是负载吸收功率。

【例 1.2】充电器 A 对手机电池 E 充电, 如图 1.12 所示。如果手机电池的电压已降到 2.5V, 现用 20mA 电流对其充电, 问手机电池和充电器的功率各为多少? 各是何种功率?

【解】因为手机电池上的电压和电流为关联参考方向, 用式(1-1)计算得

$$P = UI = 2.5\text{V} \times 0.02\text{A} = 0.5\text{W}$$

$P > 0$, 吸收功率, 手机电池是负载。

因为充电器上的电压和电流为非关联参考方向,

$$P = UI = 2.5\text{V} \times 0.02\text{A} = 0.5\text{W}$$

功率 $P > 0$, 充电器向手机电池提供功率, 是电源。

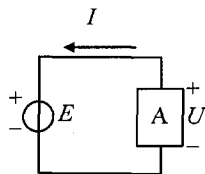


图 1.12 例 1.2 的电路

1.3 二端元件和受控源

二端元件包括电阻、电感、电容以及电压源、电流源等, 本节先讨论电阻、电压源、电流源, 电感和电容将在第 3 章交流电路中介绍。

1.3.1 电阻元件

物体对电流的阻碍作用称为该物体的电阻, 电阻是电路中最基本的二端元件, 用符号 R 表示, 如图 1.13 所示。电阻的基本单位为欧姆(Ω), 电阻较大时可用千欧($\text{k}\Omega$)和兆欧($\text{M}\Omega$)为单位, 单位之间常有如下换算

$$1\text{k}\Omega(1 \text{ 千欧})=1000\Omega$$

$$1\text{M}\Omega(1 \text{ 兆欧})=1000\text{k}\Omega$$

电阻的倒数 $1/R$, 称为电导, 常用 G 表示。

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-2)$$

单位是西门子, 用符号“S”表示。

在关联参考方向下, 如图 1.13 所示, 电阻上电流和电压的关系为

$$R = \frac{U}{I} \quad (1-3)$$

这就是欧姆定律。如果电阻上电流和电压的参考方向不符合关联参考方向, 则关系式为

$$R = -\frac{U}{I} \quad (1-4)$$

式(1-3)可写成 $U=RI$, 它说明: 通过电阻的电流与加在电阻上的电压成正比, 其比例系数就是电路中该电阻的阻值 R 。如果 R 值不随外加的电压或电流变化, 此电阻 R 称为线性电阻, 如图 1.14 中直线 a 所示; 否则为非线性电阻, 如图 1.14 中曲线 b 所示。

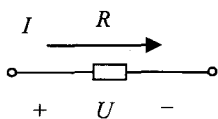


图 1.13 电阻

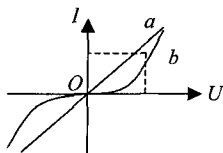


图 1.14 电阻特性

1.3.2 电压源

独立电压源是一个二端元件，简称为电压源，如干电池、各种稳压电源、信号源和发电机等。任何电压源都含有电动势 E 和内阻 R_S ，它的模型如图 1.15 虚线左边部分所示。图中 U 为电压源的端电压， R_L 为外接的负载电阻。由图中可得

$$U = IR_L = E - IR_S \quad (1-5)$$

电源 E 输出功率为 $P_E = I^2 R_L + I^2 R_S$ ，这里 $I^2 R_L$ 为负载功率， $I^2 R_S$ 为电源内阻消耗功率。

当内阻 $R_S = 0$ 时，电源无内阻，电源内部无电压降，电源的端电压 $U =$ 电动势 E ，电源输出一个恒定的电压 E 。这时的电压源称为恒压源，又称理想电压源。像干电池、蓄电池等理想电压源，常用如图 1.16 所示的符号表示。当 $R_S > 0$ 时，电源的端电压随着输出电流 I 的增加(此时在内阻上的压降增加)而下降。恒压源和电压源的输出特性如图 1.17 所示。

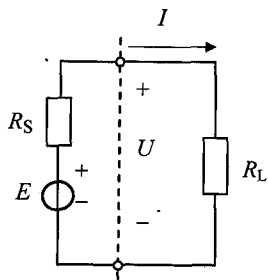


图 1.15 电压源电路

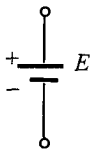


图 1.16 理想电压源

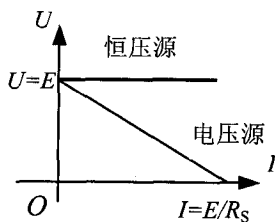


图 1.17 电压源输出特性

 **注意：** 理想电压源输出电流 I 的大小完全由外电路的负载 R_L 所确定。

1.3.3 电流源

独立电流源简称电流源，其模型如图 1.18(a)中虚线左边所示。 I_S 是电流源的电流， R_S 是电流源的内阻。如果 $R_S = \infty$ 或 $R_S \gg R_L$ ，流过负载电流 I 恒等于电流源的电流 I_S ，是一个定值。电流源两端的电压由负载电阻 R_L 和电流源的电流 I_S 确定。这样的电流源称为恒流源或理想电流源，如图 1.18(b)所示。理想电流源的输出特性如图 1.19 所示，是一条与电压轴平行的、电流值为 I_S 的直线。当电路中不能满足条件 $R_S \gg R_L$ 时，负载电阻 R_L 流过的电流不等于电流源的电流 I_S ，而是等于被其内阻 R_S 分流后的剩余部分。 R_S 越小，分流越大，

流过负载的电流 I 越小。电流源的输出特性如图 1.19 中的斜线所示。

 **注意：** 理想电流源端电压的大小完全由外电路的负载所确定。

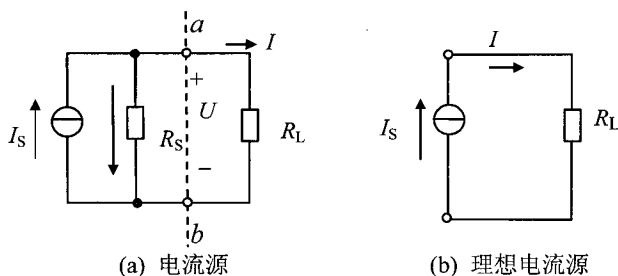


图 1.18 电流源电路

【例 1.3】 计算如图 1.20 所示电路中独立电流源所提供的功率。

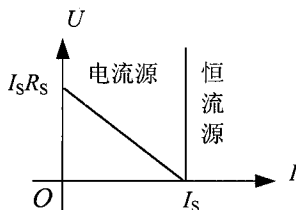


图 1.19 电流源输出特性

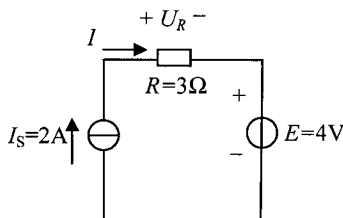


图 1.20 例 1.3 的电路

【解】 电阻中流过的电流由独立电流源决定，其值 $I=I_s$ 。所以电阻的压降为

$$U_R = IR = 2 \times 3 = 6(\text{V})$$

电流源两端的电压

$$U_{I_s} = U_R + E = 6\text{V} + 4\text{V} = 10\text{V}$$

电流源两端的电压和电流是非关联方向，功率为

$$P_{I_s} = U_{I_s} I_s = 10\text{V} \times 2\text{A} = 20\text{W} > 0$$

$P_{I_s} > 0$ ，所以电流源提供功率。

电压源的功率

$$P_E = EI = 4 \times 2 = 8(\text{W})$$

由于流过电压源的电流和电压降方向一致，即关联参考方向，而且 $P_E > 0$ ，所以电压源吸收功率。

1.3.4 受控源

前面介绍的电压源和电流源都是独立的电源，而在电路分析中还会遇到另一类电源，它的电流或电压是受到电路中其他支路的电流或电压的控制，因此称此类电源为受控源。它不是真正的电源，它是四端元件。因为受控源有电压源和电流源之分，控制量有电压和电流之分，所以受控源共有 4 种类型，分别如图 1.21(a)、(b)、(c)和(d)所示。

电压控制电压源(VCVS): $U_2 = \mu U_1$, 其中 μ 是电压控制比, 无量纲。

电压控制电流源(VCCS): $I_2 = g U_1$, 其中 g 是转移电导, 导纳量纲。

电流控制电压源(CCVS): $U_2 = \gamma I_1$, 其中 γ 是转移电阻, 电阻量纲。

电流控制电流源(CCCS): $I_2 = \beta I_1$, 其中 β 是电流控制比, 无量纲。

控制系数 μ 、 g 、 γ 和 β 反映出控制量对受控量的控制能力。应该注意的是, 当控制系数 μ 、 g 、 γ 和 β 是一个常数时, 受控源称为线性受控源, 否则为非线性受控源。

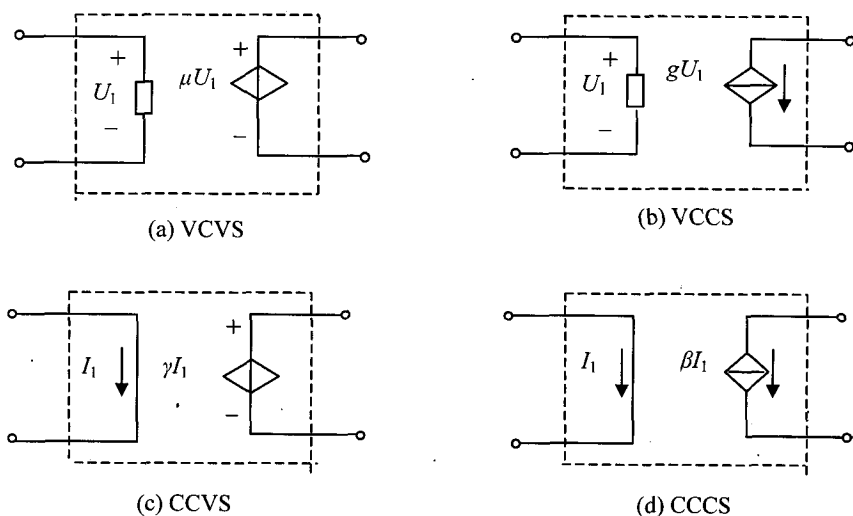


图 1.21 受控源

1.4 电路 3 种状态

电路的 3 种状态是指电源与负载之间的 3 种不同连接。3 种不同的状态为: 开路状态、短路状态和有载状态。

1.4.1 开路状态

电源与负载间不连接, 电源处于无负载状态, 称为空载状态, 又称为开路状态, 如图 1.22 所示。在开路状态时外电路对电源呈现无穷大的电阻, 电路中的电流为零。此时电源两端电压 U_o 等于电源的电动势 E , U_o 为开路电压, 电源无功率消耗。电路处于开路状态时特性表现为

$$\left. \begin{aligned} U_o &= E \\ I &= 0 \\ P_E &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

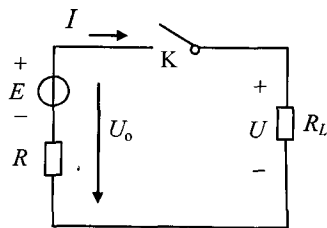


图 1.22 开路状态