



普通高等教育“十二五”规划教材
信息与电子技术类系列教材

电路与电子学基础 (第二版)

Fundamentals of Circuit and Electronics

周树南 周晨华 编著

免费提供
教学资源

 科学出版社
www.sciencep.com

普通高等教育“十二五”规划教材
信息与电子技术类系列教材

电路与电子学基础

(第二版)

周树南 周晨华 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

“电路与电子学基础”是计算机、信息、电子、自动控制、光电类等专业的一门理论性、实践性都比较强的技术基础课。本着理念和技术“创新、先进、应用”的指导思想，体系更新、保证基础、立足应用，全书内容包括线性电路分析方法、模拟电子技术基础及集成运算放大器的应用两大部分。书中着重基本概念、基本理论和方法、基本电路的分析和应用。重点突出，要点明确。丰富的例题和习题，除围绕上述着重点外，还注意思考性、启发性和一定的延伸性，使读者增强分析问题和解决问题的能力。

本书兼顾了深度和广度，适合用作高等院校计算机、信息、电子、自动控制、光电类和理科等专业的教材，也适合用作各种类型的成人教育和相关专业科技人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电路与电子学基础/周树南,周晨华编著. —2版. —北京:科学出版社, 2010

(普通高等教育“十二五”规划教材·信息与电子技术类系列教材)

ISBN 978-7-03-027971-2

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第113660号

责任编辑:赵卫江/责任校对:王万红

责任印制:吕春珉/封面设计:东方人华平面设计部

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2000年9月第一版 开本:787×1092 1/16

2010年8月第二版 印张:23 1/2

2010年8月第九次印刷 字数:540 000

印数:17 001—20 000

定价:36.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

销售部电话:010-62134988 编辑部电话:010-62138017

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

为了适应计算机技术的飞速发展和对计算机类学科现有专业结构、课程体系和教学内容进行系统的、整体的改革,改变长期以来多门技术基础课分设,学时多且内容较庞杂陈旧,与专业结构、课程体系的改革不配套的情况,2000年我们编写了这本教材。教材包含了原“电路分析”和“模拟电子技术基础”两门课程,压缩、优化了教学计划中有关课程的总学时,而且考虑了专业结构中课程设置和体系改革的需要。近几年来,随着我国教育事业的发展,为了适应不同类型院校信息、电子、控制、光电及机电类专业不同设课类型的教学需要,在修订中,增加了以“*”号标记的可选内容。非“*”号内容仍是按本科计算机专业一学期(72学时)课程安排的。

全书共13章,前六章是电路分析部分,后七章是模拟电子技术部分。在编写和修订过程中,编著者按照复合型人才培养的需求,以培养学生分析问题和解决问题的能力为目标,并围绕教学内容、体系、手段更新的要求和贯彻“少而精、学到手、用得上”的教学原则,注重基本概念、原理、分析方法的理解和应用,减少复杂的数学推导,简化定量分析,注重定性分析,并丰富例题和引导。从内容安排、组织形式和教学方式上,注意突出重点、突破难点、前呼后应、举一反三,以及精讲多练、练和讨论结合,促进与激发学生学习的能动作用,帮助他们建立、提高科学的思维方法和归纳、总结能力,增强综合运用知识去分析问题和解决问题的能力。不仅如此,由于在教材编著和应用中,就着力于使课程教学和相应的实验教学、实训教学和实践教学系统密切结合,理论联系实际,实践培养技能,所以有利于社会广泛需要的高技能应用型人才的成长。另外,从编写看,全文阐述步骤明确,说理比较细致,文字叙述力求简明扼要、深入浅出、思路清晰,便于课后复习或自学。

本书的出版得到了北京理工大学沈世锐教授、张砚春女士和北京邮电大学白中英教授、方维副教授以及张伯颐副教授的很大支持,在此一并表示衷心的感谢。

由于编著者水平、经验有限,时间又较紧,书中存在疏漏与不妥之处,热忱希望读者予以指正。

北京邮电

编著者

2010年6月

目 录

✓ 第 1 章 电路分析导论	1
1.1 电路及其模型	1
1.1.1 电路的作用、组成与模型	1
1.1.2 电路分析的基本变量	2
1.2 电路基本元件	5
1.2.1 电阻元件	5
1.2.2 电感元件	6
1.2.3 电容元件	8
1.2.4 电源元件和实际电源模型	9
1.2.5 受控源	11
1.3 基尔霍夫定律	13
1.3.1 基尔霍夫电流定律 (KCL)	13
1.3.2 基尔霍夫电压定律 (KVL)	14
1.4 等效变换	17
1.4.1 等效和等效变换	17
1.4.2 等效分析法	18
1.5 小结	28
习题	29
✓ 第 2 章 电路分析方法和定理	32
2.1 支路电流法	32
* 2.2 网孔电流法	33
* 2.3 回路电流法	35
2.4 节点电压法	36
2.5 线性电路的叠加性和齐次性	40
2.6 等效电源定理	41
2.6.1 戴维南定理 (等效电压源定理)	41
2.6.2 诺顿定理 (等效电流源定理)	45
2.7 电路中的对偶	46
2.8 小结	47
习题	48
✓ 第 3 章 正弦电路的稳态分析	52
3.1 正弦量的基本概念	52

3.1.1	正弦量的特征量	52
3.1.2	同频率正弦量的相位差	53
3.1.3	周期信号的有效值	53
3.2	正弦量的相量表示	55
3.2.1	复数及其运算	55
3.2.2	相量和相量图	57
3.2.3	基尔霍夫定律的相量形式	59
3.2.4	电阻、电感、电容元件伏安关系的相量形式	60
3.3	阻抗和导纳	62
3.3.1	欧姆定律的相量形式, 阻抗与导纳	62
3.3.2	阻抗和导纳的等效变换	65
3.4	正弦稳态电路的分析	69
3.5	正弦稳态电路的功率	72
3.5.1	瞬时功率	72
3.5.2	平均功率	73
3.5.3	无功功率	73
3.5.4	视在功率	74
3.5.5	复功率	74
3.5.6	功率因数的提高	75
3.6	电路中的谐振	77
3.6.1	RLC 串联谐振电路	78
3.6.2	RLC 并联谐振电路	80
* 3.7	耦合电感电路	82
3.7.1	耦合电感的伏安关系	82
3.7.2	含耦合电感电路的计算	84
3.7.3	理想变压器	89
* 3.8	三相电路	91
3.8.1	对称三相电源	92
3.8.2	三相电路的连接	92
3.8.3	三相电路的功率	95
3.9	小结	96
	习题	98
* 第 4 章	非正弦周期电流电路	103
4.1	非正弦周期信号	103
4.2	非正弦周期函数的谐波分析	104
4.3	平均值、有效值和平均功率	106
4.3.1	平均值	106
4.3.2	有效值	107
4.3.3	平均功率	107

4.4	非正弦周期电流电路的计算	107
4.5	小结	109
	习题	109
第5章	电路的动态分析	112
5.1	换路定律、初始值、稳态值	112
5.1.1	换路定律	112
5.1.2	初始值、稳态值的确定	113
5.2	RC电路的动态分析	114
5.2.1	RC电路的零输入响应	115
5.2.2	RC电路的零状态响应	116
5.2.3	RC电路的全响应	117
5.3	微分电路和积分电路	118
5.3.1	微分电路	118
5.3.2	积分电路	119
5.4	一阶电路的三要素法	120
5.5	RL电路的动态分析	122
5.5.1	RL电路的零输入响应	122
5.5.2	RL电路的零状态响应和全响应	123
* 5.6	阶跃信号和阶跃响应	126
* 5.7	二阶电路的动态分析	129
5.7.1	RLC串联电路的零输入响应	129
5.7.2	RLC串联电路的全响应	132
5.7.3	GLC并联电路的动态分析	133
5.8	小结	133
	习题	134
* 第6章	双口网络	138
6.1	双口网络及其端口条件	138
6.2	双口网络参数方程及其等效电路	139
6.2.1	导纳参数	139
6.2.2	阻抗参数	141
6.2.3	混合(或称H)参数	142
6.2.4	传输方程和A、B参数	143
6.3	双口网络的连接	145
6.4	小结	148
	习题	149
第7章	半导体器件基础	150
7.1	半导体的基本知识	150
* 7.1.1	本征半导体及其导电性	151
* 7.1.2	杂质半导体	152

* 7.1.3 PN 结	153
7.2 半导体二极管	156
7.2.1 二极管的结构	156
7.2.2 二极管的伏安特性、电路模型和参数	156
7.2.3 特殊二极管	158
7.3 双极型晶体管	163
7.3.1 晶体管的结构、工作状态和电路组态	164
7.3.2 晶体管的工作原理	164
7.3.3 晶体管的特性曲线	166
7.4 晶体管的主要参数	168
7.5 场效应晶体管	170
7.5.1 结型场效应管 (JFET)	170
7.5.2 绝缘栅场效应管 (IGFET)	173
7.5.3 场效应管的主要参数	178
7.5.4 FET 和 BJT 的比较	179
7.6 小结	181
习题	181
✓ 第 8 章 基本放大电路	184
8.1 三极管放大电路	184
8.1.1 单管交流放大电路的组成	184
8.1.2 放大电路的静态分析	185
8.1.3 放大电路的动态分析	186
8.2 静态工作点的稳定	198
8.2.1 温度对静态工作点的影响	198
8.2.2 分压式偏置电路	198
8.3 三种基本组态放大电路	202
8.3.1 共集电极放大电路	202
8.3.2 共基极放大电路	205
8.3.3 三种基本组态特性的比较	207
8.4 放大电路的频率特性	207
8.4.1 频率特性和频率失真	207
* 8.4.2 阻容耦合共射极放大电路的频率特性	209
* 8.5 组合放大电路	214
8.5.1 共射-共基放大电路	214
8.5.2 共射-共集和共集-共射组合放大电路	214
8.5.3 共集-共基放大电路	215
8.6 多级放大电路	215
8.6.1 多级放大电路的组成	215
8.6.2 阻容耦合多级放大电路	216

8.6.3 直接耦合	219
* 8.6.4 变压器耦合	220
8.7 功率放大电路	221
8.7.1 功率放大电路(简称功放)的特点与工作状态	221
8.7.2 互补对称功率放大电路	222
* 8.7.3 集成功率放大电路的应用	228
8.8 场效应管放大电路	231
8.8.1 自给偏压电路	231
8.8.2 分压式偏置共源极放大电路	232
8.8.3 源极输出放大电路	234
8.9 小结	236
习题	237
第9章 集成运算放大器基础	245
9.1 集成运放简介	245
9.1.1 集成电路(IC)	245
9.1.2 集成运放的组成与特点	246
9.2 差动放大电路	247
9.2.1 差动放大电路的工作原理	247
9.2.2 典型差动放大电路的分析	249
* 9.2.3 具有恒流源的差动放大电路	252
* 9.3 集成运放中的电流源	254
9.3.1 镜像电流源电路	254
9.3.2 微电流源电路	255
9.3.3 多路电流源	256
9.3.4 电流源的主要应用	256
9.4 集成运放的种类和主要参数	258
9.4.1 集成运放的种类	258
9.4.2 集成运放的主要参数	259
* 9.5 使用集成运算放大器应注意的几个问题	261
9.6 集成运放的简化模型	263
9.6.1 集成运放的电压传输特性和简化模型	263
9.6.2 理想运算放大器	264
9.7 小结	266
习题	266
第10章 放大电路中的反馈	268
10.1 反馈放大电路的基本概念	268
10.1.1 反馈放大电路的组成和反馈极性	268
10.1.2 负反馈放大电路基本方程	269
10.2 反馈放大电路的分析	269

10.2.1	反馈类型及其判别	269
10.2.2	深度负反馈放大电路分析举例	273
10.3	负反馈对放大电路性能的影响	277
* 10.4	负反馈放大电路的稳定性	282
10.4.1	自激振荡产生的原因及条件	283
10.4.2	自激振荡的判断方法	283
10.4.3	消除自激振荡的方法	284
* 10.5	放大电路中的正反馈	285
10.6	小结	285
	习题	286
第 11 章	集成运放运算和信号处理电路	291
11.1	基本运算电路	291
11.1.1	比例运算电路	291
11.1.2	加法运算电路	296
11.1.3	减法运算电路	298
11.1.4	微分、积分运算电路	298
* 11.1.5	对数与指数运算电路	301
* 11.1.6	模拟乘法器	302
* 11.2	有源滤波器	304
11.2.1	滤波电路的作用和分类	304
11.2.2	一阶有源滤波电路	305
11.2.3	二阶有源滤波电路	306
11.3	电压比较器	307
11.3.1	单限电压比较器	308
11.3.2	滞回比较器	309
11.3.3	双限比较器	312
11.3.4	集成电压比较器	313
11.4	小结	314
	习题	314
第 12 章	信号发生与变换电路	320
12.1	正弦波振荡电路	320
12.1.1	工作原理	320
12.1.2	RC 串并联正弦波振荡电路	322
* 12.1.3	LC 正弦波振荡电路	324
* 12.1.4	石英晶体振荡电路	328
12.2	非正弦波发生电路	331
12.2.1	方波发生电路	331
* 12.2.2	矩形波发生电路	333
12.2.3	三角波发生电路和锯齿波发生电路	334

* 12.3 集成多功能信号发生器	336
* 12.4 波形变换电路	337
12.5 小结	338
习题	339
第 13 章 直流稳压电源	342
13.1 整流与滤波电路	342
13.2 直流稳压电路	345
13.2.1 直流稳压电路的主要性能指标	345
13.2.2 串联型稳压电路	346
13.2.3 集成稳压器	347
* 13.2.4 开关型稳压电路	349
13.3 小结	351
习题	351
附录	354
附录 A 电阻器、电容器的标称系列值	354
附录 B 半导体分立器件型号命名方法	355
附录 C 常用半导体分立器件的参数	355
附录 D 半导体集成电路型号命名方法	358
附录 E 常用半导体集成电路的参数和符号	359
习题参考答案	360
主要参考文献	364

第 1 章 电路分析导论

在日常生活和生产实际中，由实际的电气和电子设备、装置或器件所构成的实际电路，形式和作用多种多样。电路分析就是针对数不胜数的这些实际电路吗？另外，电路分析的基本任务是，要确定在外加激励源（或输入信号）作用下，电路结构和元件参数确定的电路中各部分的电流、电压和功率。那么，这些电流、电压受哪些因素制约呢？电流、电压和结构、参数之间的关系，有没有规律可以依循呢？这些就是本章要讨论的问题。在本章的后部，提出了等效和等效变换这个重要的分析思路和概念。在这个概念基础上建立的等效分析法，是电路分析中常用的重要方法。

1.1 电路及其模型

1.1.1 电路的作用、组成与模型

通俗地讲，电路就是电流流通的路径。实际电路装置由于所完成的任务不同，其结构形式各种各样，但都是由各种电气器件、设备按一定方式连接起来的总体。通常，将其中提供电能的装置称为电源，取用电能的用电设备称为负载，两者由导线连接成闭合电路。所以，实际电路无论是简单还是复杂，其基本组成部分总是有电源、负载和中间环节（包括传输导线、控制开关甚至一些保护设备等）。电源又称激励源，由它激励在电路中产生的电压和电流称为响应。根据激励和响应的因果关系，有时把激励称为输入，响应称为输出，这在电子电路分析中经常碰到。电路的功能是实现电能的传输与分配，如在电力系统里；而电子电路的作用是进行电信号的传输与处理。例如日常使用的收音机和电视机，能把接收到的微弱的无线电信号进行加工处理，最后给出人们需要的声音和图像；又如计算机可对输入的数据进行指定的计算或对各种机械进行控制，等等。

如同任何工程学科一样，电路分析也建立在模拟概念的基础上。因此，它分析的对象不是由电气器件、设备构成的实际电路，而是由电路元件构成的电路模型。电路元件具有单一电磁现象，是理想化了的器件，所以也称理想电路元件。任何电路器件都可用电路元件的适当组合来模拟。例如，日常工作、生活中使用的电烙铁、电炉、电热锅……里的电热器，都可以用图 1.1 (a) 中所示的电阻元件来模拟，来作为这些电气器具的电路模型。

电路模型具有实际电路的主要电磁性能，由模型得出的电路各物理量之间的关系反映了实际电路的基本物理规律，这就在保证工程实践要求的基础上简化了分析。当然，实际电路用模型近似表示是有条件

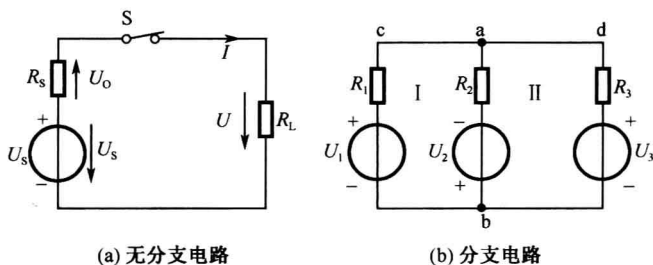


图 1.1 电路模型

的。一种模型只在一定条件下适用，条件改变了，电路模型需做相应的改变。如何建立实际器件的模型，这称为建模。本书只对电路模型进行分析，不考虑建模过程。

图 1.1 (a) 所示是手电筒电路的模型。其中电池可看成是能提供恒定电压 U_S 的理想电压源和具有内电阻值 R_S 的电阻元件组成的串联组合，小电珠的灯丝用电阻值为 R_L 的电阻元件表示，连接导线则是无电阻的理想导线，S 是开关。图 1.1 (b) 表示的是分支电路模型。其中分支的每一段电路称为支路。在图 1.1 (b) 中共有三条支路。三条或三条以上的支路相连接的点称为节点。在图 1.1 (b) 中共有两个节点：a 和 b。各支路组成的闭合路径称为回路。图 1.1 (b) 中共有三个回路：adbca、abca 和 adba。电路中的每一个网格（即未被其他支路分割的最简单的回路）称为网孔。在图 1.1 (b) 中只有 I 和 II 两个网孔。

1.1.2 电路分析的基本变量

电路中基本的物理量（简称电量）是电流、电压及电功率。一般情况下，它们都是时间 t 的函数，分别用 $i(t)$ 、 $u(t)$ 及 $p(t)$ 表示，简写成 i 、 u 及 p 。电路分析的基本内容是已知电路的结构及元件参数，要确定电路各部分的电压和电流。即在给定激励下，求给定电路的响应。电流和电压作为电路分析的基本变量，它们是分析电路的主要求解对象。此外，有时还要分析电路中的功率和能量问题。

1. 电流

电路运行时，电荷在电路中的定向运动便形成电流。电流的大小用电流强度表示。电流强度在数值上等于单位时间内通过导体横截面的电荷量，即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.1)$$

式中， t 的单位为秒 (s)， q 的单位是库仑 (C)， i 的单位是安培 (A)。习惯上，常常将电流强度称为电流。

大小和方向随时间变化的电流称为交流电流，用小写字母 i 表示。不随时间变化的电流则称为恒定电流或直流电流，用大写字母 I 表示。

电流是有方向的，电流的实际方向规定为正电荷定向运动的方向。然而分析问题时，电路中流过各元件的电流的实际方向往往很难预知。如交流电路中电流的方向是变化的。即使在直流电路中，要预先确定较复杂电路里某一元件通过的电流方向也很困难。为此，分析电路时，首先要给电流一个假定方向，以便列出电路方程，然后才能对电路进行分析计算。这个假定方向称为参考方向，并在电路图中将它用箭头标出。参考方向可以任意选择，但一经选定，就不再改变。经过计算，电流值为负，说明参考方向与实际方向相反；电流值为正，则表示参考方向与实际方向一致，即说明参考方向就是

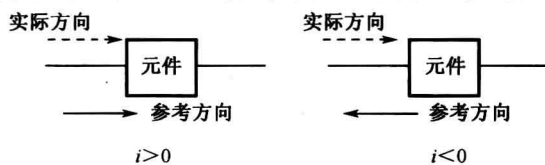


图 1.2 电流参考方向与实际方向之间的关系

实际方向。所以，参考方向又称为正方向。这样，根据计算值的正或负，结合参考方向就能确定电流的实际方向（见图 1.2）。电流是代数量，既有数值又有方向，才有明确的物理意义。

2. 电压与电位

电路上 a、b 两点间的电压在数值上等于电场力把单位正电荷从 a 点移动到 b 点所做的功，也就是单位正电荷从 a 点（高电位）移到 b 点（低电位）所失去的能量，即

$$u = \frac{dW}{dq} \quad (1.2)$$

式中， q 的单位是库仑 (C)， W 的单位是焦耳 (J)， u 的单位是伏特 (V)。

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

电压是有极性的，高电位点定为正极，标以“+”号，低电位点定为负极，标以“-”号。有时也用电压的方向表示，电压的方向规定为由高电位端指向低电位端，即电位降低的方向（也有用双下标表示的，如 u_{ab} ，其方向由 a 指向 b）。和电流方向判断的情况一样，分析问题时往往很难预先确定电压的实际方向，我们同样采用参考方向（参考极性）假定电压的极性。如图 1.3 所示，“+”、“-”表示参考极性，箭头表示参考方向（若用双下标表示为 u_{ab} ）。分析电路时，电压的参考方向一经选定，就不再变更。经过计算，电压值为正，说明实际方向与参考方向一致，“+”极为高电位，“-”极为低电位；电压值为负，则情况与前述相反。由此可见，只有标定了参考方向后的电压数值才有明确的物理意义。

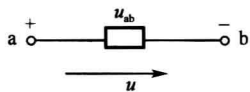


图 1.3 电压参考方向

电流和电压的参考方向都是任意选定的，二者彼此独立，相互无关。但为了分析电路的方便，常使电流和电压的参考方向关联起来选成一致，即电流参考方向是从电压参考正极流入，负极流出，并称之为关联参考方向。采用关联参考方向后，只要标出两者中任何一个的参考方向，则另一电量的参考方向也就同时给定了。

电压有时也叫电位差。如图 1.3 中，a、b 两点间的电压 u ，就是 a、b 两点的电位差。

电路中某点的电位，是将单位正电荷从该点沿电路中任一路径移到参考点时，电场力所做的功。参考点的电位为零，所以某点的电位，就是该点到参考点的电压。电位的单位也是伏特 (V)。讨论电路中各点的电位时，必须先选定一个参考点，否则是无意义的，因为电位与参考点的选择有关，而电压与参考点的选择无关。物理学中一般选择参考点为无穷远处。而实际电气设备一般常有一个连接到机壳的电路公共端，工程上常以这个公共点为参考点，即使它并不真正接地，习惯上也称该点为“接地点”。分析电子电路时，经常要测量、计算各点的电位，所以，电子电路图中经常采用电位电路的画法。如图 1.4 所示，“⊥”标为参考地， V_{S1} 、 V_{S2} 表示电位。

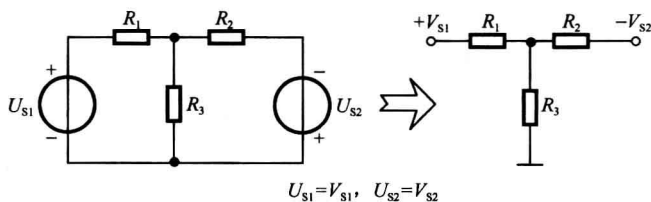


图 1.4 电位电路图

3. 功率与能量

功率是电场力在单位时间内移动电荷所做的功。从图 1.3 看到, 当通过这段电路的电流 i 与电压 u 取关联参考方向时, 在 dt 时间内从 a 点移到 b 点的正电荷量为 dq , 因 a 、 b 两点间电压为 u , 故 dq 从 a 点移到 b 点过程中失去的能量为

$$dW = u \cdot dq \quad (1.3)$$

这些能量被这段电路吸收。因此, 电路在单位时间内吸收的能量, 即它吸收的功率为

$$p = \frac{dW}{dt} = u \frac{dq}{dt} = u \cdot i \quad (1.4)$$

上式指出: 任意时刻, 元件 (或电路) 吸收的功率等于该时刻元件 (或电路) 两端的电压与通过它的电流的乘积。在直流情况下, 上式写为

$$P = UI \quad (1.5)$$

功的单位是焦耳 (J), 功率的单位是焦/秒, 又称瓦特 (W)。

应该注意的是, 用上式计算功率时, 因 u 、 i 采用关联参考方向, 则规定: 若算得的功率值 $p > 0$, 表示元件 (或电路) 吸收的功率; 若 $p < 0$, 表示元件 (或电路) 发出的功率。当 u 、 i 采用非关联参考方向时, 仍规定吸收功率时 p 值为正, 发出功率时 p 值为负, 则计算功率的公式应改为

$$p = -ui \quad (1.6)$$

或
$$P = -UI \quad (1.7)$$

上述规定的依据是: 一个元件 (或电路) 实际发出功率时, 它两端的电压和通过它的电流的实际方向必定相反; 而若是吸收功率, 则两者的实际方向应相同。这点显然可由图 1.1 (a) 所示简单电路中各部分功率的情况看出。图中 U_s 是实际极性, 箭头所示的便是电流和电路中各处电压的实际方向。其中理想电压源发出功率, 其 U_s 和 I 反向; 而电源内阻 R_s 及负载电阻 R_L 都吸收功率, I 和 U_o 同向, I 和 U 也同向。整个电路中, 吸收功率的总和恒等于发出功率的总和, 这就是直流电路里的功率平衡关系。

设元件吸收的功率为 $p(t)$, 则从 t_0 到 t 时刻元件吸收的总能量为

$$W(t) = \int_{t_0}^t p(\xi) d\xi \quad (1.8)$$

式中, 积分上限为 t , 为了区别, 积分式内的时间变量改用 ξ 。当 p 的单位为瓦特 (W) 时, 能量 W 的单位为焦耳 (J), 简称焦。

例 1.1 在图 1.5 中, 电流和各元件两端电压的正方向如图中所示。今测得: $I = -4A$, $U_1 = 140V$, $U_2 = -80V$, $U_3 = 60V$ 。试说明电流和各电压的实际方向, 并计算各元件的功率, 指明哪些元件是电源, 哪些是负载。

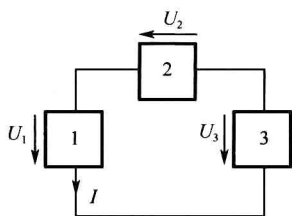


图 1.5 例 1.1

解 电流 I 和电压 U_2 的实际方向与图 1.5 所示正方向相反, U_1 和 U_3 的实际方向则与正方向相同。

元件 1 的功率为: $P_1 = IU_1 = (-4) \times 140 = -560(W)$, 元件 1 发出功率, 所以元件 1 是电源。

元件 2 的功率为: $P_2 = IU_2 = (-4) \times (-80) = 320(W)$, 元件 2 吸收功率, 所以元件 2 是负载。

元件3的功率为： $P_3 = -IU_3 = -(-4) \times 60 = 240(\text{W})$ ，元件3吸收功率，所以元件3也是负载。

例 1.2 电路中各元件的情况如图 1.6 所示。

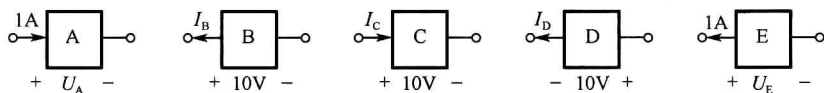


图 1.6 例 1.2

- (1) 若元件 A 吸收的功率为 10W，求 U_A ；
- (2) 若元件 B 吸收的功率为 10W，求 I_B ；
- (3) 若元件 C 吸收的功率为 -10W，求 I_C ；
- (4) 若元件 D 发出的功率为 10W，求 I_D ；
- (5) 若元件 E 发出的功率为 -10W，求 U_E 。

解 (1) 因为 A 吸收功率 $P_A = 1A \cdot U_A > 0$ ，即 $1A \cdot U_A = 10\text{W}$ ，所以 $U_A = 10\text{V}$ ；
 (2) 因为 $P_B = (-I_B) \cdot 10\text{V} > 0$ ，即 $(-I_B) \cdot 10\text{V} = 10\text{W}$ ，所以 $I_B = -1\text{A}$ ；
 (3) 因为吸收负的功率等于发出正的功率，即 $P_C = I_C \cdot 10\text{V} < 0$ ，即 $I_C \cdot 10\text{V} = -10\text{W}$ ，所以 $I_C = -1\text{A}$ ；
 (4) 因为 $P_D = I_D \cdot 10\text{V} < 0$ ，即 $I_D \cdot 10\text{V} = -10\text{W}$ ，所以 $I_D = -1\text{A}$ ；
 (5) 因为 E 实际吸收功率 $P_E = (-1\text{A}) \cdot U_E > 0$ ，即 $(-1\text{A}) \cdot U_E = 10\text{W}$ ，所以 $U_E = -10\text{V}$ 。

1.2 电路基本元件

电路元件按其对外提供还是不提供能量分为有源元件和无源元件。按其对外引出端钮的数目还可分为二端元件和多端元件。具有两个端钮的二端元件有电阻、电感、电容及电压源、电流源等。多端元件具有三个或三个以上端钮，如受控源、理想变压器和运算放大器等。

本书只讨论由集总参数元件构成的所谓集总参数电路，如以后所述的电路基本定律均是在这一前提下才能使用。集总参数元件的电磁过程认为都是集中在元件内部进行，因此元件特性可集中用一个或有限个分立的参数表征。工程中遇到的大量电路都可作为集总参数电路来处理。能这么处理的准则是：若电路元件及其连接成的电路尺寸远小于电路最高工作频率所对应的波长，则电路的实际尺寸可以忽略不计而看做是集总参数电路。例如，若计算机电路工作频率高达 500MHz，对应的波长为 0.6m。因采用大规模和超大规模集成电路，器件及电路被集成在几毫米的硅片上，这时电路就属于集总参数电路。

1.2.1 电阻元件

电阻元件简称电阻，其特性由通过它的电流 i 和它两端电压 u 之间的关系，即 $i = f(u)$ 表征。这个关系表现在 $u-i$ 平面上是电阻的伏安特性曲线。若伏安特性是通过坐标

原点的直线, 则称为线性电阻; 若是通过坐标原点的曲线, 则称为非线性电阻。

电阻又可分为时变电阻和时不变(定常)电阻。前者的特征是其伏安特性随时间变化, 而后者的伏安特性不随时间变化。线性定常电阻的伏安特性为一条通过坐标原点的直线, 而线性时变电阻的伏安特性为一族过原点的直线。

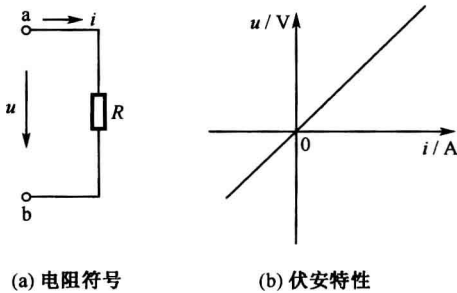


图 1.7 线性定常电阻

线性定常电阻的电路符号和特性如图 1.7 所示。这种电阻有如下特点:

(1) 端电压 u 与通过的电流 i 成正比, 即满足欧姆定律

$$u = iR \quad (1.9)$$

式中, u 与 i 采用关联参考方向。元件参数就是电阻值 R , 反映了对电流的阻碍作用。它是常数, 与通过它的电流和作用在它两端的电压大小无关。它也就是伏安特性曲线的斜率。当 u 与 i 取非关联参考方向时, 欧姆定律的表示形式则为 $u = -iR$ 。

(2) 双向性: 伏安特性以原点对称, 即对不同方向电流和电压, 伏安特性完全相同, 故元件两个端钮没有区别, 可任意连接。

(3) 耗能性: 它的功率 $p = iu = i^2 R = \frac{u^2}{R} > 0$, 即总是消耗功率。说明电阻不仅是无源元件, 而且是一种耗能元件。若时间 t 从 0 到 T , 则在这段时间内电阻所消耗的电能为

$$W = \int_0^T p dt$$

这些电能全部变成热散发掉。所以, 电阻消耗电能是不可逆的能量转换过程。而且, 发热使电阻的温度升高。若温度过高, 电阻就有烧坏的危险。为此, 实际电阻器上通常除标明阻值外, 还要标明它长期运行时所规定的功率限额, 称为额定功率。

(4) 无记忆性: 由式 (1.9) 可见, 任一时刻电阻的电压(或电流)完全由同一时刻的电流(或电压)决定, 而与该时刻以前的电流(或电压)值无关。也就是说, 线性电阻的电压(或电流)不能“记忆”电流(或电压)在“历史”上所起的作用, 故它是无记忆元件。

以后如不特殊说明, 一般均用线性定常电阻(包括后述的电感、电容)。这种元件的参数还可用电导 G 表示, 即

$$G = \frac{1}{R} = \frac{i}{u} \quad (1.10)$$

式中, 当 u 的单位为伏特 (V), i 的单位为安培 (A) 时, R 的单位为欧姆 (Ω), G 的单位为西门子 (S)。

附带说一下, 由式 (1.9) 确定的电阻 R 两端 (a 和 b) 的电压 u , 也就是 a、b 两点间的电位差。这种电流通过电阻时产生的电位下降, 习惯上常称为电压降。

1.2.2 电感元件

电感元件简称电感, 其物理原形是如图 1.8 (a) 所示的电感线圈。当电流 i 流过线圈时, 周围就会有磁场产生。线圈内磁通 ϕ 与电流 i 的方向符合右手螺旋定则。磁