

21世纪

高等教育·独立学院规划教材

电路基础

主编/宁 铎

主审/马西奎

电路基础
DIANLUJICHU



西北大学出版社
NORTHWEST UNIVERSITY PRESS

陕西省教育厅重点教材建设项目



电路基础

主 编 / 宁 铎

副主编 / 郭国法 辛登科



西北大学出版社
NORTHWEST UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

电路基础 / 宁铎主编. — 西安: 西北大学出版社, 2006.7

ISBN 7-5604-2163-6

I. 电... II. 宁... III. 电路理论 - 高等学校 - 教材

IV. TM13

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第080166号

电路基础		主 编 宁 铎	
出版发行	西北大学出版社	社 址	西安市太白北路 229 号
电 话	029 - 88303042	邮政编码	710069
经 销	新华书店	印 刷	陕西向阳印务有限公司
版 次	2006 年 7 月第 1 版	印 次	2006 年 7 月第 1 次印刷
开 本	787×1092 1/16	印 张	14.75
字 数	350 千字	印 数	1—1000
书 号	ISBN 7-5604-2163-6/TM · 6	定 价	22.00 元

编写说明

本书是为适应 21 世纪高等教育教学内容和课程体系改革的需要而编写的一本教材,在编写过程中我们力求突出继承传统性、增强实用性和反映先进性。

教材编写时,我们针对工科院校的绝大部分学生毕业后面向科研和生产第一线的特点,在传统基本理论基础,注重理论与实际的结合,加强实际应用的内容;建立模型来源于实际的认识规律,阐述理想元件与实际器件之间的对应关系,例题典型且大多源于实际工程。这些将有利于提高学生学习这门课程的兴趣,扩大学习视野,提高学生分析问题和解决问题的能力。

在结构体系上,第一章电路的基本概念和定律为全书的内容奠定了理论基础;电阻电路分为两章,即电阻电路等效变换和化简、电路分析方法和电路定理;动态电路分析以一阶电路为主,二阶电路只简单介绍了 RLC 串联电路;而正弦电路、三相电路、耦合电感与理想变压器、频率响应及谐振电路、周期性非正弦电路各自独立为一章。

全书共 10 章,覆盖了电路分析的主要内容,书中标“*”号部分作为扩展内容供选修。

为了帮助读者学习,每章开始都有要点提示,章后有较详细的内容小结,并附有思考与练习,书后附有大部分习题参考答案。为了方便教师教学时采用新的教学手段,本教材配有电子课件。

编写分工为:宁铎编写第一、三、八章,郭国法编写第四、五、七章,辛登科编写第六、九、十章,侯勇严编写第二章,最后由宁铎负责全书的统稿工作;另外,吴彦锐、孟惠以及侯艳艳在文字整理及部分练习题答案等方面做了许多工作。

在本书的编写过程中,我们吸取了许多专家、学者的宝贵经验,受益匪浅;西安交通大学马西奎教授审阅了全书并提出了许多中肯而有见地的意见。对此,我们一并表示真诚的谢意。

由于作者水平所限,本书结构体系的安排、内容的取舍和叙述等方面难免会有缺点和错误,恳请读者指正。

编 者

2006-02

目录

CONTENTS

第一章 电路的基本概念和定律	
1.1 电路和电路模型	/1
1.2 电流、电压及其参考方向	/3
1.3 电功率和电能	/7
1.4 电阻元件	/9
1.5 电压源与电流源	/11
1.6 受控源	/15
1.7 基尔霍夫定律	/16
小结	/21
习题一	/23
第二章 电阻电路的等效变换和化简	
2.1 电路等效的概念	/27
2.2 电阻的串联、并联及其等效变换	/28
2.3 电阻的 Y 形和 Δ 形连接及其等效变换	/33
2.4 理想电源的串联和并联	/36
2.5 两种实际电源的模型及其等效变换	/37
小结	/40
习题二	/43
第三章 电路的分析方法和电路定理	
3.1 支路电流法	/47
3.2 网孔电流法	/50
3.3 节点电压法	/55
3.4 叠加定理	/59
3.5 替代定理	/62
3.6 戴维南定理与诺顿定理	/65
3.7 最大功率传输定理	/70
3.8 互易定理	/72

3.9 对偶原理	76
小结	77
习题三	79

第四章 正弦稳态电路

4.1 正弦量	87
4.2 利用相量表示正弦信号	90
4.3 正弦交流电路和基尔霍夫定律的相量形式	92
4.4 阻抗与导纳	98
4.5 正弦稳态电路的功率	102
4.6 正弦稳态电路中的最大功率传输	105
小结	109
习题四	112

第五章 三相电路

5.1 三相电路	116
5.2 对称三相电路的分析与计算	119
5.3 不对称三相电路	125
5.4 三相电路的功率	127
小结	131
习题五	132

第六章 耦合电路

6.1 耦合电感元件	135
6.2 耦合电感的串联和并联	139
6.3 含互感电路的计算	144
6.4 全耦合变压器和理想变压器	148
小结	152
习题六	153

第七章 频率响应及谐振电路

7.1 频率响应和网络函数	159
7.2 串联谐振电路	163
7.3 并联谐振电路	168
小结	170
习题七	171

第八章 周期性非正弦电路

8.1 非正弦周期信号	/173
8.2 非正弦周期信号分解为傅立叶级数	/173
8.3 非正弦周期电压、电流的有效值、平均值和平均功率	/176
8.4 非正弦周期电路计算	/177
小结	/178
习题八	/179

第九章 一阶电路

9.1 一阶电路	/181
9.2 一阶电路的零输入响应	/186
9.3 一阶电路的零状态响应	/191
9.4 一阶电路的单位阶跃响应	/199
9.5 一阶电路的冲激响应	/202
9.6 正弦激励下一阶电路的响应	/205
小结	/207
习题九	/207

第十章 二阶电路

10.1 二阶 RLC 串联电路的零输入响应	/212
10.2 二阶 RLC 串联电路的零状态响应	/216
10.3 二阶电路的阶跃响应	/219
小结	/220
习题十	/220

参考答案	/222
------------	------

第一章 电路的基本概念和定律

本章介绍了电路模型的概念, 电流、电压的参考方向等重要概念; 吸收、发出功率的计算方法, 欧姆定律、基尔霍夫定律; 还介绍了电阻、独立电源和受控电源等元件。

1.1 电路和电路模型

1.1.1 实际电路组成与功能

实际电路是为实现某一功能而用导线把一些设备和器件相互连接起来的总体。例如, 用几根导线把一个小灯泡、开关和一节干电池按图 1-1 的方式连接起来, 便构成了一个最简单的照明电路。

在人们日常生活和现代化工农业生产、国防建设、科学研究中, 所使用的诸如电动机、电视机、雷达、计算机等电器设备都是实际电路的应用形式。

实际电路无论简单还是复杂, 一般都由三部分组成: ①产生并提供电能的设备或器件, 如电池、发电机等, 它的作用是将其他形式的能量转换为电能(图 1-1a 的干电池是将化学能转换为电能), 这一部分称为电源; ②吸收或消耗电能的设备或器件, 如灯泡、电炉、喇叭等用电装置, 统称为负载, 它将电源供给的电能转换为其他形式的能量(图中灯泡将电能转换为光和热能); ③连接电源和负载以传输电能的金属导线, 简称导线。此外, 为了安全和方便, 实际电路中还可能接有各种控制、保护设备或装置, 如开关、继电器和熔断器等。例如, 图 1-1b 中 S 是为了节约电能所加的控制开关, 需要照明时将开关 S 闭合, 不需要照明时将 S 断开。一般来说, 电源、负载与连接导线是任何实际电路都不可缺少的三个组成部分。

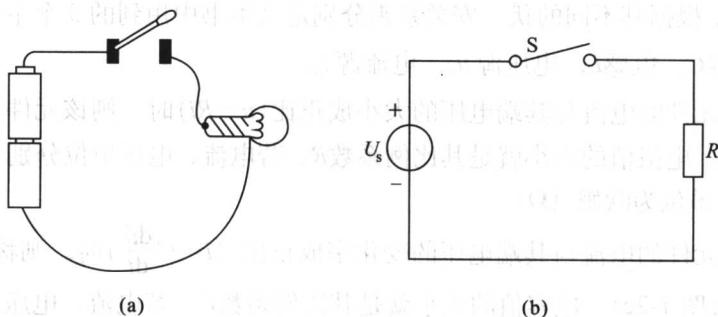


图 1-1 简单照明电路

尽管实际电路种类繁多, 但就其功能来说可概括为两个方面。其一, 进行能量的传输、

分配以及电能与其他形式能量之间的相互转换。例如,在电力系统的输电线路中,首先发电厂的发电机组将其他形式的能量(热能、水的势能、原子能等)转换成电能,通过变压器、输电线等输送给各用户的负载,在用户那里又通过负载把电能转换成机械能(如负载是电动机)、光能(如负载是灯泡)、热能(如负载是电阻炉)等其他形式的能量,为人们生产、生活所利用。其二,实现信号的产生、变换、传递与处理。这方面典型的例子有电话、手机、收音机、电视机电路等。接收天线把加载有语言、音乐、图像等信息的电磁波接收后,通过电路把输入信号(又称激励)变换或处理为人们所需要的输出信号(又称响应),送到扬声器或显示器件,再还原为语言、音乐或图像等。

1.1.2 理想元件与电路模型

用理想的电路元件及其组合来代替实际电路器件,便可形成与实际电路相对应的电路模型。例如,对图 1-1a 的实际电路,如果用电阻元件 R 代替小灯泡,用电压源代替干电池,用线段代替连接导线(假设连接导线的电阻忽略不计), S 代替开关,就可以得到与之相对应的电路模型(图 1-1b)。电路模型通常简称电路,今后我们所说的电路都是指电路模型,而不是实际电路。

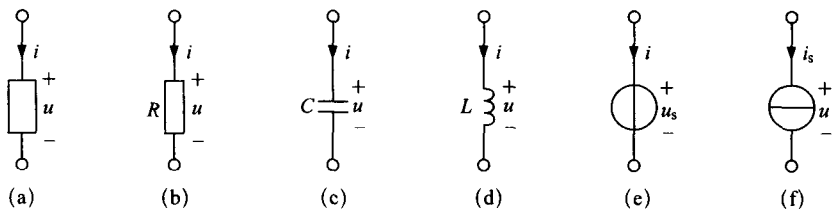


图 1-2 二端理想电路元件模型

电路理论主要研究电路中发生的电磁现象,并用电流、电压等物理量描述其工作状态,一般不涉及内部发生的物理过程。理想电路元件是组成电路模型的最小单位,是具有某种确定电磁性质的假想元件,是一种理想化的物理模型并具有严密的数学定义。下面按照图 1-2a 所示的元件模型,根据其不同的伏-安关系来分别定义本书中用到的 5 个主要理想二端元件——电阻 R , 电容 C , 电感 L , 电压源 u_s , 电流源 i_s 。

(1) 当流过元件的电流与其端电压的大小成正比($u=Ri$)时,则该元件为电阻,用符号 R 表示(图 1-2b)。电阻值的大小就是其比例系数 R 。若电流、电压单位分别为安培(A)、伏特(V),则电阻单位为欧姆(Ω)。

(2) 当流过元件的电流与其端电压的变化率成正比($i=C\frac{du}{dt}$)时,则称该元件为电容,用符号 C 表示(图 1-2c)。电容值的大小就是其比例系数 C 。若电流、电压、时间单位分别为安培(A)、伏特(V)、秒(s),则电容单位为法拉(F)。

(3) 当元件的端电压与流过的电流的变化率成正比($u=L\frac{di}{dt}$)时,则称该元件为电感,

用符号 L 表示 (图 1-2d)。电感值的大小就是其比例系数 L 。若电流、电压和时间的单位分别为安培 (A)、伏特 (V) 和秒 (s)，则电感的单位为亨利 (H)。

(4) 当元件的端电压按照本身的规律变化且与所流过电流的大小无关时 ($u = u_s$)，则称该元件为电压源，用符号 u_s 表示 (图 1-2e)，其单位为伏特 (V)。

(5) 当流过元件的电流按照本身的规律变化且与其端电压的大小无关时 ($i = i_s$)，则称该元件为电流源，用符号 i_s 表示 (图 1-2f)，其单位为安培 (A)。

若从能量角度对以上 5 个理想元件加以区分，则电阻元件 R 在电路中任何时候只能消耗电能，所以又叫耗能元件；电压源 u_s 和电流源 i_s 作为电源一般情况下给电路提供电能，所以又叫供能元件；而电容 C 和电感 L 在电路中既不消耗电能，也不提供电能，仅是以电场或磁场的形式与电源进行能量交换，所以又常称为储能元件。

本书在以后讨论的所有电路模型中的元器件，如无特别说明，则都是指理想元件。

1.2 电流、电压及其参考方向

描述电路工作状态的物理量统称为电路的变量，如电荷 q ，磁链 ψ ，电流 i ，电压 u ，功率 p 等。其中，用得最多的变量是电流和电压。

1.2.1 电流

电荷有规则的定向运动形成电流。电流的大小用电流强度 $i(t)$ 表示。电流强度的定义为

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

即单位时间内通过载流体横截面积的电荷量。式中 $q(t)$ 为通过导体横截面的电荷量。在国际单位制 (SI) 中，电荷量的单位为库仑 (C)，电流强度的单位是安培 (A)，简称“安”。若电流较小，也可用毫安 (mA) 或微安 (μA)，若电流很大，还可用千安 (kA) 来表示。它们之间的换算关系是

$$1\text{kA} = 10^3\text{A} \quad 1\text{mA} = 10^{-3}\text{A} \quad 1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$$

通常把正电荷定向运动的方向 (或者负电荷定向运动的相反方向) 规定为电流的实际方向。对金属导体而言，运动电荷是自由电子 (负电荷)，所以电流的实际方向是指电子运动方向的反方向。当电流的大小和方向不随时间而变化时，就称为直流电流。以后不随时间变化的直流物理量都用大写字母来表示。

1.2.2 电压

电荷在电路中运动，必定受到电场力的作用，也就是说电场力对电荷做了功。为了衡量其做功的能力，引入电压这一物理量，并定义：电场力把单位正电荷从 A 点移到 B 点所做的功，称为 A 点到 B 点的电压，用 u_{AB} 表示，即

$$u_{AB} = \frac{dW_{AB}}{dq} \quad (1-2)$$

式(1-2)中, dW_{AB} 表示电场力将正电荷 dq 从 A 点移到 B 点所做的功。在国际单位制(SI)中, 功的单位为焦耳(J), 电荷的单位为库仑(C), 电压的单位为伏特(V), 有时还用千伏(kV)、毫伏(mV)和微伏(μ V)等单位来表示电压的大小。它们之间的换算关系是

$$1\text{kV} = 10^3\text{V} \quad 1\text{mV} = 10^{-3}\text{V} \quad 1\mu\text{V} = 10^{-6}\text{V}$$

由电压的定义可知, 电压是有方向的, 电压的实际方向规定为电场力移动正电荷的方向。实际上, 只要有电场存在, 电场中两点之间就有电压, 而与受力电荷 Q 存在与否无关。例如图 1-3 所示电路, A, B 两点间的电压 U_{AB} 恒为 U_S 。

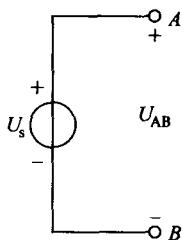


图 1-3 电源与端电压

1.2.3 参考方向

以上对电流、电压规定的方向, 都是指实际方向, 是实际电路中客观存在的。对于一些简单电路容易直接确定电流、电压的实际方向, 但在复杂的电路里往往事先很难判断出某一元件或某一段电路上的电流或电压的实际方向, 而对那些大小和方向都随时间变化的电流和电压, 要在电路中标出它们在某一时刻的实际方向就更不方便了。例如, 图 1-4 所示桥式电路中, R 上的电流实际方向就不便看出。显然, R 上电流的实际方向只有三种可能: ①从 A 流向 B ; ②从 B 流向 A ; ③既不从 A 流向 B , 又不从 B 流向 A (即 R 上电流为零)。因此, 在分析计算电路时, 可以借助于参考方向来表示电压或电流。

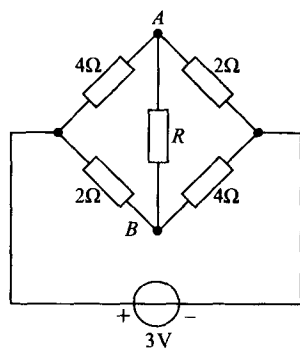


图 1-4 桥式电路

参考方向是我们在电路图上任意假定的一个物理量方向。例如, 图 1-5 为某电路中的一个元件, 其电流的实际方向虽然事先不知道, 但其方向只有两种可能, 即不是由 A 流向 B , 就是由 B 流向 A , 可以任意选定一个方向作为电流的参考方向并用箭头标出(图中 a, b 二种标示方法都可)。假设选定的参考方向是由 A 指向 B , 若计算结果 $i > 0$, 则表明电流的参考方向与实际方向一致(图 1-5a); 若计算结果 $i < 0$, 则表明电流的参考方向与实际方向相反(图 1-5b)。因此, 假定参考方向以后, 电流的正负值也就反映了它的实际方向。

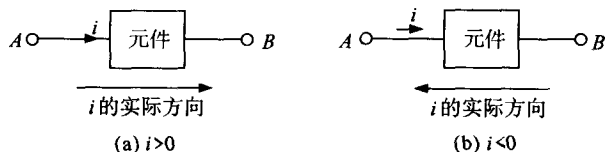


图 1-5 电流参考方向与实际方向的关系

同理,描述电路中两点之间的电压时也可以假定一个参考方向,并用参考方向结合电压值的正负来反映该电压的实际方向。

电压参考方向可以用一个箭头表示(图 1-6a),也可以用“+”“-”号表示,称为参考极性(图 1-6b)。另外,还可以用双下标如 u_{AB} 表示,脚标中第一个字母A表示假设电压参考方向的正极性端,第二个字母B表示假设电压参考方向的负极性端(图 1-6c)。在设定了电压的参考方向以后,若经计算得到电压 u_{AB} 为正值,说明A点电位实际比B点电位高;若为负值,说明A点电位实际比B点低。

以上几种电压参考方向的表示方法在电路中只需任选一种标出即可。

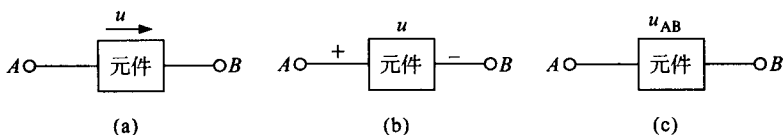


图 1-6 电压参考方向的三种表示方法

在以后的电路分析中,完全不必先考虑电流、电压的实际方向如何,而应首先在电路图中标出它们的参考方向,然后根据参考方向列出有关电路方程,其计算结果的正负就能反映它们的实际方向。因此,在参考方向设定以后,电压、电流就是代数量,可能为正也可能为负。但参考方向一经选定,在电路分析计算过程中就不能再改动。

在电路中设定电流、电压的参考方向时,原则上可以任意假设,不过为了避免许多公式中的负号,习惯上凡是一看便知电流、电压实际方向的,就设参考方向与实际方向一致;对于不易看出实际方向的,也不必花费时间去判别,只需在这些支路上任意假设一个方向作为参考方向即可。

人们还习惯把同一元件或同一段电路上的电流、电压参考方向设成同一方向,即电流由“+”(高)电位经元件本身流向“-”(低)电位,这种电压、电流的参考方向称为关联参考方向,简称关联方向(图 1-7)。有时为了简化,一个元件可以只设出电流或电压一个物理量的参考方向,这时意味着省略不设的物理量的参考方向与设定量的参考

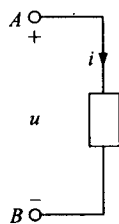


图 1-7 电压与电流的关联方向

方向关联。实际上在前面 1.1.2 节中讨论理想元件的定义时,就已采用了关联方向。

参考方向并不是一个抽象的概念,电流表测量直流电路中的电流时,该表有“+”“-”标记的两个端钮,事实上就已经选定从电流表的“+”端流入,“-”端流出的方向为被测电流的参考方向。如果指针正偏(右摆),电流为正值(图 1-8a);若电流的实际方向是从电流表的“-”端流入,“+”端流出,则指针反偏(左摆),电流为负值(图 1-8b)。

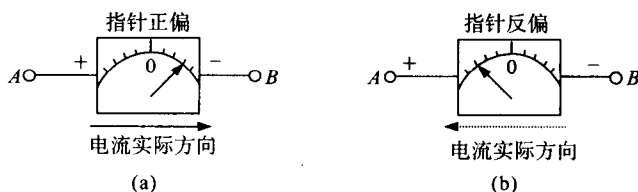


图 1-8 电流表与电流方向

同理，直流电压表测量电压时，表上两端也选定了电压的参考方向，指针同样可能出现正偏或反偏两种情况。

1.2.4 电位

在电路中任选一点(以 O 表示)作为参考点，则该电路中任意一点 A 到参考点的电压就称为 A 点的电位，用 V_A 表示，其物理意义就是电场力把单位正电荷从 A 点移动到 O 点所做的功。

$$V_A = u_{AO} \quad (1-3)$$

电路中参考点的电位 V_O 显然为零，也称为零参考电位点。电路中除了参考点以外，其他各点的电位可能是正值，也可能是负值。若某点电位比参考点电位高，则该点电位为正值，反之则为负。

电压也叫电位差，某两点之间的电压就等于该两点的电位之差，电压的实际方向是由高电位指向低电位。

例 1-1 如图 1-9 所示电路，已知 $U_{AO}=5V$ ， $U_{AB}=2V$ ，若分别以“ O ”“ A ”作为参考点，求 V_A ， V_B ， V_O ， U_{OB} 。

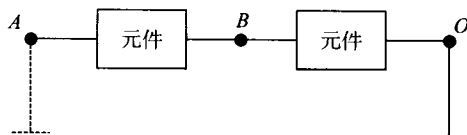


图 1-9

解 (1) 若以 O 为电位的参考点，即 $V_O=0$

$$U_{AO} = V_A - V_O$$

$$V_A = U_{AO} + V_O = 5 + 0 = 5V$$

$$U_{AB} = V_A - V_B$$

$$V_B = V_A - U_{AB} = 5 - 2 = 3V$$

(2) 若以 A 为电位的参考点，即 $V_A=0$

$$U_{AB} = V_A - V_B$$

$$V_B = V_A - U_{AB} = 0 - 2 = -2V$$

$$U_{AO} = V_A - V_O$$

$$V_O = V_A - U_{AO} = 0 - 5 = -5V$$

$$U_{OB} = V_O - V_B = -5 + 2 = -3V$$

通过例 1-1 可以归纳总结出关于电位、电压、电流概念中带有共性的几点重要结论:

(1) 电路中电流数值的正负与参考方向密切相关, 参考方向设的不同, 计算结果将相差一个负号。

(2) 电路中各点的电位数值随所选参考点的不同而改变, 但参考点一经选定, 那么各点的电位数值就是唯一的, 这就是电位的相对性与单值存在性。至于选哪一点为参考点, 则要根据所分析问题的方便而定, 在实际中常选一条公共线或公共点作为参考点, 这条公共线(点) 常是诸多元件的汇集处, 常用符号 “ $\perp$ ” 表示。

(3) 电路中任意两点之间的电压数值不因所选参考点的不同而改变。今后在分析电路问题时, 如只求电压, 并不需要知道参考点选在何处, 往往电路图上不标出参考点; 而求电位, 则必须要有参考点, 没有参考点, 谈论某点电位的大小是没有意义的。

1.3 电功率和电能

单位时间做功的大小称为功率, 或者说做功的速率称为功率。在电路中涉及的电功率就是电场力做功的速率, 用符号 P 表示。功率的数学定义式为

$$P = \frac{dW(t)}{dt} \quad (1-4)$$

式中 dW 为 dt 时间内电场力所做的功。在国际单位制(SI)中, 功率的单位为瓦特(W), 简称瓦。此外, 还常用到千瓦(kW)、毫瓦(mW)等单位。

对式(1-4)进一步推导可得

$$P = \frac{dW(t)}{dt} = \frac{dW(t)}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} = ui \quad (1-5)$$

即电路的功率等于该段电路电压与电流的乘积。直流时, 式(1-5)应写为

$$P = UI \quad (1-6)$$

由式(1-5)可得 $dW = Pdt$, 因此在 t_0 到 t_1 时间段内, 电路消耗的电能应为

$$W = \int_{t_0}^{t_1} Pdt \quad (1-7)$$

直流时, P 为常数, 则

$$W = P(t_1 - t_0) \quad (1-8)$$

在国际单位制中, 电能 W 的单位是焦耳(J), 它表示功率为 1W 的用电设备在 1s 时间内

所消耗的电能。实际中还常用到千瓦小时($\text{kW} \cdot \text{h}$)的电能单位,称为1度电,即

$$1 \text{ 度电} = 1 \text{ kW} \cdot \text{h} = (1 \times 10^3 \times 3600) \text{ J} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

需要强调的是,在电压、电流参考方向关联的条件下,一段电路所吸收的电功率为该段电路两端电压、电流之乘积。此时电压和电流均为代数量,有正负之分。将 U 、 I 数值代入公式(1-6)计算,若 $P > 0$,说明这段电路上的电压与电流的实际方向一致,正电荷在电场力作用下做了功,该段电路吸收功率(消耗功率);若 $P < 0$,说明这段电路上的电压与电流的实际方向不一致,一定是电源力克服电场力做了功,该段电路吸收负功率,即该段电路向外供出功率,或者说产生功率。例如,计算出某段电路的吸收功率为 -4W ,那么说成该段电路产生 4W 的功率也是正确的。如果遇到电路中电压、电流参考方向非关联的情况,在计算吸收功率的公式中需冠以负号,即 $P = -UI$ 。应特别注意根据电压、电流参考方向是否关联,来选用相应的计算吸收功率的公式。

有时要计算一段电路的产生功率(供出功率),无论 U 、 I 参考方向关联或非关联,所用公式与计算吸收功率时的公式相反。即若 U 、 I 参考方向关联,计算产生功率用 $-UI$ 计算;若 U 、 I 参考方向非关联,计算产生功率用 UI 计算。这是因为“吸收”与“供出”二者就是相反的含义,所以计算吸收功率与供出功率的公式符号相反是理所当然的事。

例 1-2 图 1-10 为某一电路的一部分,三个元件流过相同的电流 $I = -2\text{A}$, $U_a = 2\text{V}$ 。

(1) 求元件 a 的功率 P_a ,并说明是消耗功率还是发出功率。

(2) 若已知元件 b 发出功率为 20W ,元件 c 消耗功率为 10W ,求 U_b 、 U_c 。

解 (1) 元件 a 上电压与电流为非关联方向,此时,计算消耗功率的公式应为

$$P_a = -U_a I = -2 \times (-2) = 4\text{W}$$

(2) 元件 b 上电压与电流为关联方向,此时,计算消耗功率的公式应为

$$P_b = U_b I = -20\text{W} \quad U_b = \frac{P_b}{I} = \frac{-20}{-2} = 10\text{V}$$

同理,元件 c 消耗的功率为

$$P_c = U_c I = 10\text{W} \quad U_c = \frac{P_c}{I} = \frac{10}{-2} = -5\text{V}$$

表 1-1 给出部分国际制(SI)词头,供读者换算单位时查阅(表中[]内文字为可省略的中文词头名称部分)。

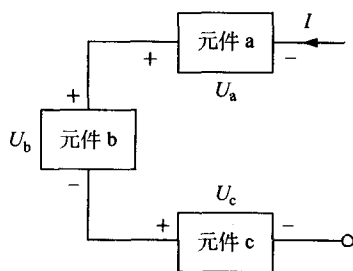


图 1-10

表 1-1 国际制 (SI) 词头表

因数	词头名称		符号
	英文	中文	
10 ⁹	giga	吉 [咖]	G
10 ⁶	mega	兆	M
10 ³	kilo	千	k
10 ⁻³	milli	毫	m
10 ⁻⁶	micro	微	μ
10 ⁻⁹	nano	纳 [诺]	n
10 ⁻¹²	pico	皮 [可]	p

1.4 电阻元件

理想电路元件，简称电路元件。电路元件是电路最基本的组成单元。每种元件都有其特定的表示符号和数学定义如前 1.1.2 所述，在讨论各种元件的性能时，重要的是确定其电压与电流之间的关系，这种 U - I 特性(关系)称为元件的电压电流约束关系，简称 VCR 。

1.4.1 电阻元件及其伏安特性

如前所述对于一个二端元件，如果流过该元件的电流与其两端产生的电压成正比，则该元件就叫线性电阻，简称为电阻。

电阻元件是电路中应用最广泛的元件。许多实际的电路器件如电阻器、电热器、电灯泡、扬声器等都可以用电阻元件来表示。任一时刻电阻元件的电压电流约束关系遵循欧姆定律。在电压 u 与电流 i 为关联参考方向下，欧姆定律的表达式为

$$u = Ri$$

(1-9)

式中， R 为电阻元件的电阻值，单位有欧姆(Ω)、千欧($k\Omega$)、兆欧($M\Omega$)等。线性电阻元件的阻值 R 与其工作电压或电流无关，是一个常数，在电路中的符号如图 1-11a 所示。在 uOi 坐标平面上画出元件的端电压与电流的关系曲线称为该元件的伏安特性曲线，简称伏安特性。线性电阻的伏安特性是一条通过原点的直线(图 1-11b)。

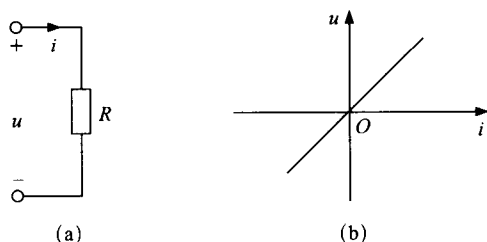


图 1-11 线性电阻及其伏安特性

应用欧姆定律时要注意电压和电流的参考方向。在电阻元件中,若电压和电流为非关联方向,则欧姆定律的表达式应为 $u = -Ri$ 。

电阻的倒数称为电导,用 G 表示,即

$$G = \frac{1}{R}$$

电导的单位为西门子(S)。

同一个电阻元件,既可以用 R 表示,也可以用 G 表示,引入电导后欧姆定律表达式可写成

$$i = Gu$$

如果电阻元件的电阻值不是一个常数,而是随着其工作电压或电流的变化而变化,这样的电阻元件称为非线性电阻元件,它的伏安特性就不再是一条通过原点的直线。图 1-12 所示为一个二极管的伏安特性曲线,二极管是非线性电阻元件。实际的电阻元件如电阻器、电炉、电灯泡等或多或少都有非线性因素存在,但这些元件在通常情况下其电阻值变化很小,可以近似地看作线性元件,以便于电路分析。在后面章节中,若无特殊说明,一般所说的电阻元件均指线性电阻元件,简称为电阻。

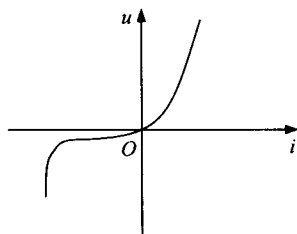


图 1-12 非线性电阻元件的伏安特性

1.4.2 电阻元件上消耗的功率与能量

将式(1-9)代入式(1-5),可得电阻 R 上吸收的电功率为

$$P = ui = Ri \cdot i = Ri^2 \quad (1-10)$$

或

$$P = ui = u \cdot \frac{u}{R} = \frac{u^2}{R} \quad (1-11)$$

同理,可得电导上吸收的电功率为

$$P = Gu^2 \quad (1-12)$$

或