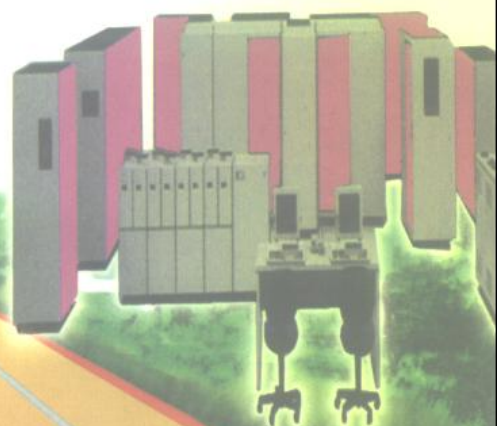


高等学校计算机系列丛书

电路分析基础

张金栋 主编
韩家富



重庆大学出版社

11/33

Z 16

464391

电路分析基础

张金栋 主编
韩家富

重庆大学出版社

内 容 简 介

本书内容包括:电路的基本概念和基本定律、直流电路分析、非线性电阻电路分析、正弦交流电路分析、具有互感的电路、三相电路、非正弦周期交流电路、线性动态电路分析、二端口网络、磁路和铁芯线圈及常用电工仪器仪表简介等。并附有习题和思考题。可供高等专科学校计算机专业师生使用,也可供本、专科院校非电类专业师生及从事计算机应用的技术人员、计算机爱好者使用。

031567

电路分析基础

张金栋 韩家富 主编
责任编辑 谭敏

*

重庆大学出版社出版发行
新华书店经销
重庆建筑大学印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:19.25 字数:480千
1998年9月第1版 2000年6月第2次印刷
印数:6001—10000

ISBN 7-5624-1454-8/TM·57 定价:24.00元

序

面对知识爆炸,社会学家们几乎都开出了一个相同的药方:计算机。计算机也深孚众望,以其强大的功能,对人类作出了巨大的贡献,取得了叹观止矣的成就。自它1946年2月14日在美国费城诞生以来,至今已过“知天命”的年龄了。现在,计算机已是一个庞大的家族。如果说,它的成员占据了世界的每一个角落和每一个部门也并不过分,甚至找不到这样一个文明人,他的生活不直接或间接与计算机有关。目前,全世界计算机的总量已达数亿台,而且,现在正以每年几千万台的速度增长。

作为计算机在信息传递方面的应用,计算机加上网络,被认为是和能源、交通同等重要的基础设施。这种设施对信息的传递起着异常重要的作用。西方发达国家和我们国家对此都非常重视。例如,美国的信息高速公路计划,全球通讯的“铍”计划,我国也开始实行一系列“金”字头的国民经济管理信息化计划。这些计划中唱主角的设备便是计算机。计算机在各个方面的应用不胜枚举,我们每个人都自觉不自觉地处于计算机包围中。

计算机对社会生产来说是一个产业大户,对每个现代人来说是一种工具,对学生们来说,它是一个庞大的知识系统。面对计算机知识的膨胀,面对计算机及其应用产业的膨胀,计算机各个层次的从业人员的需要也在不断膨胀,计算机知识的教育也遍及从小学生到研究生的各个层次。

为了适应计算机教学的需要,重庆大学出版社近几年出版了大量的计算机教学用书,这一套教材就是一套适应专科层次的系列教材。我们将会看到,这一套教材以系列、配套、适用对路,便于教师和学生选用。如果再仔细研究一下,将会发现它的一系列编写特色:

1. 这些书的作者们是一些长期从事计算机教学和科研的教师,不少作者在以前都有大量计算机方面的著作出版。例如本系列书中的《Visual Fox Pro 中文版教程》的作者,十年前回国后最早将狐狸软件介绍到祖国大陆,这一本书已是他的第八本著作了。坚实的作者基础,是这套书成功的最根本的保证。

2. 计算机科学是发展速度惊人的科学,内容的先进性、新颖性、科学性是衡量计算机图书质量的重要标准,这一套书的作者们在这方面花了极大的功夫,力求让读者既掌握计算机的基础知识,又让读者了解最新的计算机信息。

3. 在内容的深度和知识结构上,从专科学学生的培养目标出发,在理论上,从实际出发,满足本课程及后续课程的需要,而不刻意追求理论的深度。在知识结构上,考虑到全书结构的整体优化,而不过分强调单本书的系统性。这样,在学过这一套系列教材后,学生们就可在浩瀚的计算机知识中,建立起清晰的轮廓,就会知道这些知识的前因后果,就会了解这些知识的前接后续。使学生们能在今后的工作实践中得心应手。

4. 计算机是实践性很强的课程,仅靠坐而论道是学习不了这些知识的。所以从课程整体设置来讲,包括有最基本的操作技能的教材。对单本书来说,在技术基础课和专业课中,都安排有一定的上机实习或实验,这样可使学生既具备一定的理论知识以利今后发展和深造,又掌握实际的工作技能胜任今后的实际工作。

编写一套系列教材,这是一个巨大的工程。这一套书的作者们,重庆大学出版社的领导和编辑们,都为此付出了辛勤的劳动。作为计算机工作者,以此序赞赏他们的耕耘,弘扬他们的成绩。

周明民

1997年6月15日

前 言

本书是根据原国家教委制定的《电路分析基础》基本要求编写的,是计算机类专科系列教材之一,供专科计算机类专业使用,也可供其它专业参考。全书讲课约需 80 学时。

在编写本书时,注意了专科教学特色,基础理论教学以应用为目的,以必须够用为度,以讲清概念、强化应用为重点。理论叙述尽可能简明扼要、易懂,减少不必要的数理论证和数学推导,同时注意课程内容保持一定的完整性和系统性。

全书共十章。根据专业需要选取基本知识、传统知识作为本书主要内容,适当选取部分新内容。根据教学实践,按照电路基本概念和基本定律,电阻电路分析,正弦稳态电路分析,非正弦周期电路分析,线性动态电路分析等的顺序安排,在保持各部分相对独立的同时重视其衔接,使用时,可根据需要对前后顺序做灵活处理。书末增加了常用电工仪器仪表的内容作为附录,以满足非电类专业教学需要。全书注重理论联系实际,编选了大量例题,并在各章末安排了小结、思考题和较多的习题(附有参考答案),以利于读者自学。

本书标有 * 号的内容,属选讲内容。

本书由张金栋和韩家富主编。第一、四章由张金栋编写,第二、九章由韩家富编写,第三、十章由谢实编写,第六、八章由罗克义编写,第五、七章及附录 A 由刘保录编写。

重庆大学出版社对本书的编写和出版给予了通力合作和大力支持;西部地区兄弟院校的同行为提供了许多宝贵意见和建议;编者所在学校的领导及有关同志给予了强有力的支持和帮助,在此一并表示感谢。

由于编者水平和经验有限,书中不足和错误之处在所难免,恳请读者批评指正。

目 录

第一章 电路的基本概念和基本定律	1
1.1 电路和电路模型	1
1.2 电流、电压和功率	3
1.3 电阻元件、欧姆定律	8
1.4 电感元件	11
1.5 电容元件	15
1.6 电压源、电流源	19
1.7 受控源	22
1.8 基尔霍夫定律	24
小结	28
思考题	29
习题一	29
第二章 直流电路分析	36
2.1 电阻的串联、并联和串并联	36
2.2 电阻 Y 形联接与 Δ 形联接的等效变换	40
2.3 电源的等效变换	43
2.4 支路电流法	50
2.5 回路法	53
2.6 节点法	56
2.7 叠加定理与替代定理	61
2.8 戴维南定理与诺顿定理	64
2.9 电能输送与负载获得最大功率的条件	68
小结	70
思考题	73
习题二	74
第三章 非线性电阻电路分析	80
3.1 几种非线性电阻元件的伏安特性	80
3.2 非线性电阻电路的图解法	83
3.3 小信号分析法	87
小结	90
思考题	90
习题三	90
第四章 正弦交流电路分析	92
4.1 正弦交流电的三要素及有关问题	92
4.2 正弦量的相量表示法	95
4.3 正弦交流 R 、 L 、 C 电路	101
4.4 相量形式的欧姆定律与基尔霍夫定律	108

4.5	复导纳	112
4.6	复阻抗与复导纳的等效变换	114
4.7	复阻抗(导纳)的串联和并联电路	117
4.8	正弦交流电路的功率	121
4.9	功率因数的提高	124
4.10	正弦交流电路中的谐振	126
4.11	复杂交流电路的计算	132
* 4.12	交流电路中的实际参数	137
	小结	140
	思考题	143
	习题四	144
第五章	具有互感的电路	149
5.1	互感	149
5.2	互感电路计算	153
5.3	空心变压器与理想变压器	159
	小结	163
	思考题	164
	习题五	164
第六章	三相电路	167
6.1	三相交流电路	167
6.2	对称三相电路的分析	170
* 6.3	不对称三相电路的概念	175
6.4	三相电路的功率	177
	小结	179
	思考题	180
	习题六	180
第七章	非正弦周期交流电路	184
7.1	非正弦周期量的产生	184
7.2	非正弦周期函数分解为傅立叶级数	184
7.3	非正弦波周期交流电的有效值、平均值和平均功率	192
7.4	非正弦周期交流电路的计算	194
7.5	滤波器简介	200
	小结	201
	思考题	202
	习题七	203
第八章	线性动态电路分析	206
8.1	稳态与暂态	206
8.2	线性动态电路的初始值 换路定则	207
8.3	一阶电路的零输入响应	209
8.4	一阶电路的零状态响应	213
8.5	一阶电路的全响应	218
8.6	求解一阶电路过渡过程的三要素法	220

8.7 一阶电路的阶跃响应	223
8.8 一阶电路的冲激响应	227
8.9 二阶电路的零输入响应	230
小结	236
思考题	238
习题八	238
第九章 二端口网络	244
9.1 二端口网络	244
9.2 二端口网络的参数方程和参数	245
9.3 二端口网络的特性参数	252
9.4 无源二端口网络的等效电路	256
9.5 二端口网络的联接	258
小结	262
思考题	263
习题九	263
第十章 磁路和铁芯线圈	266
10.1 磁路和磁路定律	266
10.2 恒定磁通磁路的计算	271
10.3 交流铁芯线圈中的电压、电流和磁通	273
10.4 铁心损耗	275
10.5 铁心线圈的相量图及等效电路	278
10.6 变压器的基本原理	280
10.7 交流电磁铁	282
小结	284
思考题	284
习题十	285
附录 常用电工仪器仪表简介	287
参考文献	297

第一章 电路的基本概念和基本定律

内容提要

本章介绍电路模型和电阻、电容、电感、独立电源、受控电源等理想电路元件；电流、电压、电功率等基本物理量，并引入电流、电压参考方向的概念。讨论描述元件电特性的关系以及集总电路的基本定律。

1.1 电路和电路模型

实际电路是由各种电气器件联接而成的。所谓电气器件泛指实际的电路部件，如电源、开关、电阻器、电容器、电感线圈、晶体管、电表、电动机、变压器等等。

图 1.1(a) 是手电筒照明电路，由三部分组成：①电源(干电池)，它是提供电能的能源，简称电源，其作用是将其其它形式的能量转换成电能(如干电池是将化学能转换成电能，发电机是将机械能转换成电能等)；②用电装置，统称为负载，它是将电能转换成其它形式的能量(如灯泡将电能转换成光和热能，电动机将电能转换成机械能等)；③联接电源与负载的传输电能的金属线，简称导线。由上例可看出电路的一个重要作用是进行将其其它形式的能量转换成电能、电能的传输和分配、以及把电能转换成其它形式的能量。能量的转换、传输和分配都是通过电路中的电流进行的。

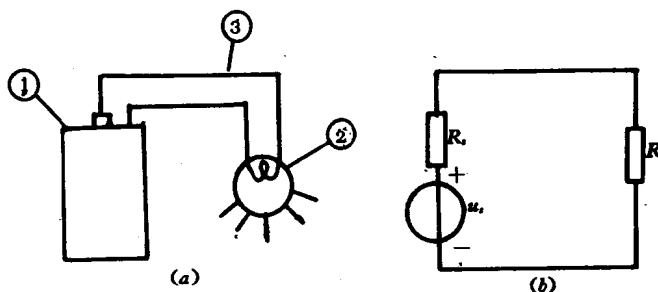


图 1.1 手电筒电路及其电路模型

电路的另一个重要作用是信号的处理。通过电路把施加的信号(称为激励)变换或“加工”成为其它所需要的输出(称为响应)。如收音机、电视机、计算机等的电路，它们的主要作用不是传输电能，而是用以产生、传输、处理和贮存信号。

在其它许多场合，如自动控制设备，通讯设备等方面，有种类繁多，完成不同任务的各种电路。

实际电路的几何尺寸相差很大。例如，电力系统或通讯系统可能长达数百、数千甚至上万公里，而集成电路可在很小的芯片上集中成千上万甚至数十万个晶体管，相互联接成为一个复

杂的电路或系统。

电路理论主要研究电路中发生的电磁现象,用电流、电压或磁通等物理量来描述其过程。电路理论的目标是计算电路中各电气器件的端电流和端子间的电压,一般不涉及电气器件内部发生的物理过程。

电路理论中有一个重要假设:当电路的几何尺寸远远小于电路工作时的电磁波的波长时,即电磁波通过电路的时间可认为是瞬时的,则电磁场理论和实践均证明在任意时刻流入各器件任一端子的电流和任两个端子间的电压都将是单值的。在这种近似条件下,我们可以用足以反映其电磁性质的一些理想电路元件或其组合来模拟实际电路中的电气器件。这种理想电路元件称为集总元件或集总参数元件。理想电路元件是具有某种确定的电磁性质的假想元件,它是一种理想化的模型并具有精确的数学定义。电路理论中我们用抽象的理想元件及其组合近似代替实际器件,从而构成了与实际电路相对应的电路模型。实际电路中各器件的端子是通过导线相互联接的,而在电路模型中各理想元件的端子是用“理想导线”联接的。如图 1.1(a)手电筒照明电路,其电路模型如图 1.1(b)所示,电阻元件 R 表示小灯泡,干电池用电压源 U 和电阻元件 R_s 来表示,而联接导线在电路模型中用相应的理想导线(即认为其电阻为零)或线段表示。

理想电路元件是通过端子与外部相联接,根据端子的数目可分二端和三端、四端等多端元件。我们认为在任何时刻,从二端集总元件的一个端子流入的电流恒等于从另一个端子流出的电流,并且元件的端电压是单值的。对于多端的集总元件来说,在任何时刻流入任一端子的电流和任意两端子之间的电压是单值的。

由集总电路元件构成的电路称为具有集总参数的电路或网络^①,简称集总电路(网络)。从电磁场理论的观点,集总电路的尺寸可以完全忽略不计。如果实际电路的尺寸不远远小于工作时电磁波的波长,则不能按集总电路处理。本书只介绍集总电路,具有分布参数的电路请参阅其它教材。本章最后几节将介绍各种理想电路元件,由于今后涉及的一般均为理想元件,故常常略去“理想”二字,如二端电阻元件、电容元件、电感元件等等。

应注意电路元件与实际电气器件的区别。例如在实验室电子仪器中常用的各式各样的电阻器、电容器、电感线圈、晶体管等,一般都可用电路元件及其组合来模拟,但两者是不完全相同的。通常在一定的工作条件下,根据实际器件的主要物理功能,可按不同的精确度用电路元件及其组合来模拟。例如,当工作频率较低时,一个线圈就可以用电阻和电感元件的串联组合的模型描述。当工作频率高时,线圈绕线间的电容效应就不容忽视,在这种情况下表征这个线圈的较精确的模型还应当包含电容元件。总之在不同的条件下,同一个实际器件可能要用不同的电路模型来模拟(本书不涉及如何建立模型的问题)。

今后我们所说的电路一般均是指由理想电路元件构成的抽象的电路而非指实际电路。实践充分证明只要电路模型取得恰当,按抽象的电路分析计算的结果与对应的实际电路中测量所得的结果基本是一致的。根据已建立的电路模型(简称电路),研究其中电压、电流和电功率之间的联系规律(有时还须涉及电荷和磁通),为分析、综合和设计实际电路准备理论基础,这就是本课程的主要任务。

^① 本书中,“电路”与“网络”通用。

1.2 电流、电压和功率

1.2.1 电流

在电路中,十分重要的物理现象是电荷的运动,而电荷有规则地移动便形成电流。虽然人们看不见摸不着电流,但可通过它的各种效应来感觉到它的客观存在,所以电流是客观存在的物理现象。表征电流强弱的物理量叫电流强度。电流仅仅是物理现象,但习惯上往往把电流强度也简称为电流。这样一来,“电流”一词,有时指物理现象,有时指物理量。电流强度在数值上等于单位时间内通过导体某一截面的电荷量,用符号 i 表示。于是

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

其中 q 表示电荷量,在国际单位制(SI)中,基本单位为库仑,简称库(C)。电流的基本单位为安培,简称安(A),其量纲为

$$[A] = [C][S]^{-1} = [\text{库}][\text{秒}]^{-1}$$

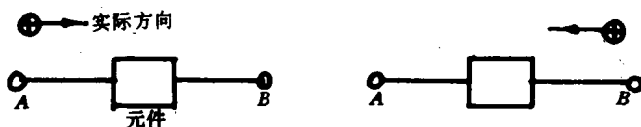


图 1.2 电流方向

电流在导线中或一个电路元件中流动的实际方向只有两种可能,习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的方向,如图 1.2 所示。当有正电荷的净流量从 A 端流入并从 B 端流出时,就认为电流是从 A 端流向 B 端,反之,则认为电流是从 B 端流向 A 端。电路分析中,有时某段电路中电流的实际方向很难预先判断出来,有时电流的实际方向还在不断地改变,因此很难在电路中标明电流的实际方向。因此,我们引入了电流“参考方向”的概念。

在图 1.3 中先选定其中某一个方向作为电流的方向,这个方向叫做电流的参考方向(图中用实线表示)。参考方向不一定就是电流的实际方向(图中用虚线表示)。把电流看成代数量,若电流的参考方向与它的实际方向一致,则电流为正值($i > 0$);反之,若电流的参考方向与它的实际方向相反,则电流为负值($i < 0$),如图 1.3 所示。这样,在假定的电流参考方向下,电流值的正和负就可以反映出电流的实际方向。

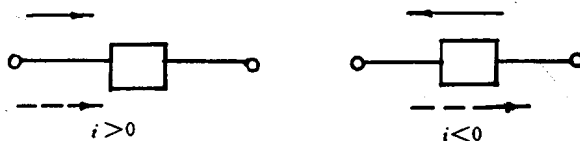


图 1.3 电流的参考方向

电流的参考方向是任意假定的,在电路中一般用箭头表示,也可以用双下标表示,如 i_{AB} 表

示参考方向从 A 指向 B 。显然, $i_{AB} = -i_{BA}$ 。在电路分析中,重要的不是实际方向,而是参考方向,故常把参考方向简称为方向。

1.2.2 电压

电路中电流的存在伴随着能量的转换,电压(电压降的简称)或电位差就是用来描述电路这一特性的物理量。物理学中我们已经知道,将单位正电荷自电场中某一点 A 移动到参考点(物理中习惯选无穷远处作参考点)电场力做功的大小称作 A 点的电位。在电路中,电位的物理意义同物理静电场中所讲电位是一样的,只不过电路中某点的电位是将单位正电荷沿电路所约束的路径移至参考点(习惯选电路中的某点而不是选无穷远处)电场力所作功的大小。

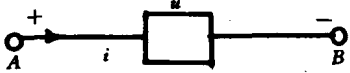


图 1.4 定义电压示意图

两点之间的电位之差即是两点间的电压。从电场力作功的概念,电路中任意两点之间的电压定义为:将单位正电荷从电路中一高电位点移至电路中一低电位点,电场力所作功的大小。如图 1.4 所示。其数学表达式为

$$u = \frac{dw}{dq} \tag{1.2}$$

式中 dq 为由 A 点移至 B 点的电荷量,在国际单位制中,单位为库仑(C); dw 是为转移电荷 dq 电场力所做的功,单位为焦耳,简称焦(J);电位、电压的基本单位都是伏特,简称伏(V)。移动 1C 的正电荷电场力所做的功为 1J,相当于电压为 1V。

两点之间的电压的实际方向(即由高电位点指向低电位点的方向)也只有两种可能,如同讨论电流的方向一样,也引用参考方向的概念。这样,我们可以选定其中任意一个方向为电压的参考方向,同时把电压看成代数量。当电压的参考方向与它的实际方向一致时,电压为正值($u > 0$);反之,当电压的参考方向与它的实际方向相反时,电压为负值($u < 0$)。

电压的参考方向也是人为任意设定的。在电路中,电压的参考方向可以用正(+)、负(-)极性来表示,由正极指向负极的方向就是电压的参考方向,如图 1.5 所示。电压的参考方向也可以用双下标表示,如 u_{AB} 表示 A 、 B 两点之间电压的参考方向由 A 指向 B 。显然, $u_{AB} = -u_{BA}$ 。

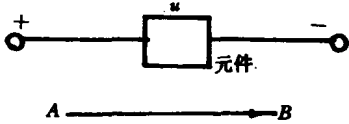


图 1.5 电压的参考方向

电流和电压的参考方向又称为正方向。对于一个元件或一段电路来说,电流和电压的方向可以彼此独立地任意设定。如果电流的参考方向设定为从电压的参考“+”极指向“-”极,即电

流的参考方向与电压的参考方向一致,则称这种参考方向为关联参考方向(图 1.6)。否则,称为非关联参考方向。在关联参考方向的设定下,电流或电压的参考方向(今后简称方向)只标示其中的一个即可。为分析方便,电压、电流常取关联方向。

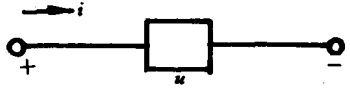


图 1.6 电压和电流的关联参考方向

在引入电流和电压的参考方向后,电流和电压便可以用函数来表示,如图 1.7 所示的正弦曲线(又称波形图),表示电流是按正弦规律随时间变化的,则可以用如下时间函数表示

$$i(t) = I_m \sin \omega t$$

其中 $\omega = 2\pi/T = 2\pi f$ 。必须强调,对任何电路进行分析时都必须先设定各处的电流和电压的参考方向。

大小和方向都不随时间变化的电流和电压,称为恒定电流和恒定电压,亦称直流电流和直流电压,用 I 和 U 表示。大小或方向随时间变化的电流和电压称为时变电流和时变电压,任意时刻 t 的电流和电压用 $i(t)$ 和 $u(t)$ 表示,且往往简写为 i 和 u 。

1.2.3 电功率

我们知道,做功的速率称作功率。在电路中,我们要研究的电功率就是电场力做功的速率,电功率常简称为功率,用符号 p 表示,有

$$p = \frac{dw}{dt} \quad (1.3)$$

式中 dw 为在 dt 时间内电场力所做的功。在国际单位制(SI)中,功率的单位是瓦特,简称瓦(W)。

电路中人们感兴趣的是功率与电路中的基本描述量电流、电压之间的关系。以图 1.8 所示电路为例来讨论。图 1.8(a)表示正电荷从电路元件的电压“+”极,经元件移到电压的“-”极,是电场力对电荷做功的结果,这时元件吸收能量。相反,正电荷从电路元件的电压“-”极经元件移到电压“+”极,元件向外释放能量(图 1.8(b))。

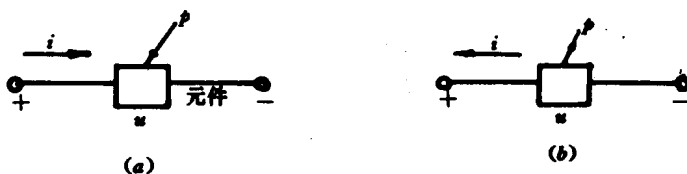


图 1.8 功率

从 t_0 到 t 的时间内,元件吸收的电能 w 不难根据电压的定义($u = dw/dq$)求得

$$w = \int_{q(t_0)}^{q(t)} u dq$$

在电流和电压关联参考方向下,由于 $i = dq/dt$,所以

$$w = \int_{t_0}^t u(\xi) i(\xi) d\xi$$

将上式与 $p = dw/dt$ 式对比,不难得出

$$p(t) = u(t)i(t) \quad (1.4)$$

上列式中, u 和 i 都是时间的函数,并且是代数量,因此电能 w 和功率 p 也都是时间的函数,且是代数量。

式(1.4)中, p 是元件吸收的功率。当 $p > 0$ 时,表示元件的确吸收电能;当 $p < 0$ 时,表示元

件实际上是释放电能。

如果电压的参考方向与电流的参考方向相反,则 $p=ui$ 中的 p 代表元件发出的功率。在这种情况下, $p>0$ 时,元件发出电能; $p<0$ 时,元件实际上是吸收电能。

图 1.8(a)中 p 的箭头表示 p 是元件吸收的功率;图 1.8(b)中 p 的箭头表示 p 是元件发出的功率。一般没有必要标出 p 的箭头。

以上关于一个元件功率和能量的讨论,适用于任何一段电路。

最后,再谈一下有关单位制的问题。如前所述,在国际单位制(SI)中,电流的单位是安(A),电压的单位是伏(V),功率的单位是瓦(W),能量的单位是焦(J)。国际单位制中的这些单位,在实际应用中有时嫌太小或太大,使用不便。所以常常在这些单位前加上如表 1.1 所示的词头,形成十进倍数或分数的辅助单位,如 $1\mu\text{A}$ (微安) $=1\times 10^{-6}\text{A}$ (安), 5kV (千伏) $=5\times 10^3\text{V}$ (伏), 2GW (吉瓦) $=2\times 10^9\text{W}$ (瓦)等等。应指出的是,按照“国际标准化组织”推荐的使用方法,不允许用两个以上国际词头并列而成的组合词头。例如:常用的“毫微”、“微微”和“千兆”等均不符合国际规则,应分别用“纳”、“皮”和“吉”等代替。

表 1.1 部分国际单位制词头

因 数	词 头 名 称		符 号
	原 文	中文(简称)	
10^{12}	tera	太[拉]	T
10^9	giga	吉[咖]	G
10^6	mega	兆	M
10^3	kilo	千	k
10^{-3}	miui	毫	m
10^{-6}	micro	微	μ
10^{-9}	nano	纳[诺]	n
10^{-12}	pico	皮[可]	p

例 1.1 如图 1.9(a)所示一段电路,若已知两秒钟内有 4C 正电荷均匀地由 A 点经 B 点

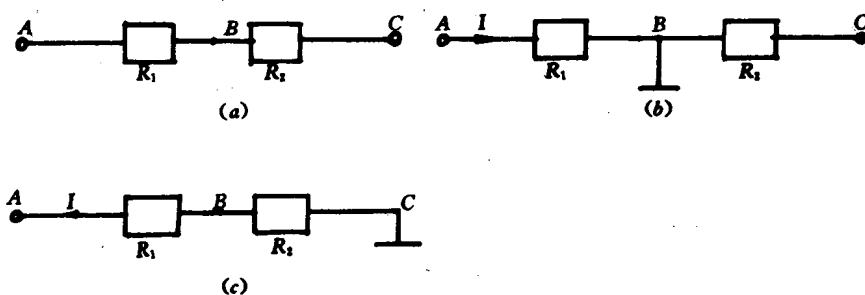


图 1.9 例 1.1 图

移至 C 点,且知由 A 点移至 B 点电场力做功为 10J ,由 B 点移至 C 点电场力做功为 4J 。图中用

R_1 和 R_2 分别代表两个元件。求(1)标出 A 、 B 、 C 这段电路中电流的方向(参考方向),并求出电流数值。(2)若以 B 点作参考点,求电位 u_A 、 u_B 、 u_C ,电压 u_{AB} 、 u_{BC} ,功率 p_1 、 p_2 。(3)若以 C 点作参考点,求电位 u_A 、 u_B 、 u_C ,电压 u_{AB} 、 u_{BC} ,功率 p_1 、 p_2 。

解 (1)设电流方向如图(b)所示,则依电流定义得

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{4}{2} = 2\text{A}$$

若设电流方向如图(c)所示,则

$$i = -\frac{dq}{dt} = -\frac{4}{2} = -2\text{A}$$

这“-”号表示电流的实际方向与参考方向相反。

(2) B 点为参考点((b)图中 $\perp$ 表示接地符号),依电压定义得

$$u_A = \frac{dw_{AB}}{dq} = \frac{10}{4} = 2.5\text{V}$$

$$u_B = 0$$

$$u_C = -\frac{dw_{BC}}{dq} = -\frac{4}{4} = -1\text{V}$$

“-”表示 C 点电位比参考点 B 的电位低

$$u_{AB} = u_A - u_B = 2.5 - 0 = 2.5\text{V}$$

$$u_{BC} = u_B - u_C = 0 - (-1) = 1\text{V}$$

$$p_1 = iu_{AB} = 2 \times 2.5 = 5\text{W}$$

$$p_2 = iu_{BC} = 2 \times 1 = 2\text{W}$$

由于(b)图电流和电压参考方向关联,所以计算出的 $p > 0$,说明两个元件均为吸收电能。

(3) C 为参考点,如(c)图所示,则

$$u_A = \frac{dw_{AC}}{dq} = \frac{10 + 4}{4} = 3.5\text{V}$$

$$u_B = \frac{dw_{BC}}{dq} = \frac{4}{4} = 1\text{V}$$

$$u_C = 0$$

$$u_{AB} = u_A - u_B = 3.5 - 1 = 2.5\text{V}$$

$$u_{BC} = u_B - u_C = 1 - 0 = 1\text{V}$$

$$p_1 = iu_{AB} = (-2) \times 2.5 = -5\text{W}$$

$$p_2 = iu_{BC} = (-2) \times 1 = -2\text{W}$$

由于(c)图电流和电压方向相反,故计算出的功率为负值,同样说明元件实际上是吸收电能。

通过上例,我们可以看到:(1)电路中电流的正与负与参考方向密切相关,参考方向设定的不同,计算结果仅差一负号。(2)电路中某点电位(即某点到参考点之间的电压)数值随参考点的不同而改变,但参考点一经选定,那么某点电位就是唯一确定的数值,这就是电位的相对性与单值性。(3)电路中两点之间的电压不因所选参考点的不同而改变。今后在分析电路时,如果只求电压,则不需选参考点。而求电位,则必须选参考点,没有参考点,谈论电位大小是没有意义的。(4)计算功率的正、负和电压、电流参考方向是否关联有关,根据电压、电流参考方向的设定及计算功率值的正、负来正确判断电路元件是吸收电能或是释放电能。

1.3 电阻元件、欧姆定律

从本节开始介绍线性二端电阻元件、线性二端电容元件和线性二端电感元件等无源理想二端元件,以及电压源和电流源等有源理想二端元件(为简化将略去“二端”两字)。重点讨论元件的电压和电流间的关系(VCR)^①及能量特性。

日常生活中常见的二端耗能器件,如电炉、电烙铁、白炽灯泡等在一定条件下都可用线性电阻元件来模拟。

所谓线性电阻元件是这样的理想元件,在任何时刻它两端的电压与电流的关系服从欧姆定律。其代表符号如图 1.10 所示。

在电压和电流为关联方向的条件下,电阻元件的电压、电流关系为

$$u = Ri \quad (1.5)$$



图 1.10 线性电阻元件

上式为欧姆定律的数学表达式。式中 R 称为元件的电阻值,它是联系电阻元件的电压和电流的一个电气参数。 R 是一个正实常数。在国际单位制中,电压单位为伏、电流单位为安时,电阻的单位为欧姆,简称欧(Ω)。

电阻元件还可以用另一个电气参数——电导来表征,用符号 G 表示,它是电阻的倒数,即 $G=1/R$ 。在国际单位制中,电导的单位是西门子,简称西(S)。引入 G 后,则式(1.5)变成

$$i = Gu$$

如果电阻元件电压的参考方向与电流的参考方向相反(见图 1.10(b)),则欧姆定律应写为

$$u = - Ri$$

或

$$i = - Gu$$

所以,应用欧姆定律时必须与参考方向配套使用。

如果把电阻元件的电流取为横坐标(或纵坐标),电压取为纵坐标(或横坐标),画出电流和电压的关系曲线,此曲线称为该元件的伏安特性。线性电阻元件的伏安特性 $i-u$ (或 $u-i$)平面(惯例:当横轴为 $i(u)$ 、纵轴为 $u(i)$ 时称为 $i-u(u-i)$ 平面)上是通过坐标原点的直线,如图 1.11 所示。利用在 $i-u$ 平面的伏安特性,可以按下式确定电阻值。

$$R = \frac{u}{i} = \frac{m_u}{m_i} \tan \alpha$$

^① VCR 为“Voltage Current relation”的缩写,代表电压、电流关系。