



电路 (上册)

唐瑞尹 主编

清华大学出版社

电路 (上册)

唐瑞尹 主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书根据教育部高等院校电子信息类专业的“电路分析教学基本要求”编写而成。全书分为上下两册,共17章。其中上册包括第1章~第9章,主要内容包括电路模型和电路定律,电阻电路的等效变换,电阻电路的一般分析方法,电路定理,含运算放大器的电阻电路分析,一阶电路分析,二阶电路分析,相量法,正弦稳态电路的分析。下册包括第10章~第17章,主要内容有三相电路分析,耦合电感和变压器电路分析,非正弦周期电流电路分析,线性动态电路的复频域分析、电路方程的矩阵形式、二端口网络,非线性电路分析等。各章例题、习题难易适中,便于学生自学和教师施教。

本书面向全国各类高等院校,可作为自动化、仪器仪表、电子信息工程、通信工程、电气工程及其自动化、计算机科学与技术、电子科学与技术等专业的教材,也可供有关科技人员参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电路.上册/唐瑞尹主编.--北京:清华大学出版社,2011.7

ISBN 978-7-302-26060-8

I. ①电… II. ①唐… III. ①电路 IV. ①TM13

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第120777号

责任编辑:张占奎

责任校对:赵丽敏

责任印制:杨 艳

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

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260

印 张:12.5

字 数:302千字

版 次:2011年7月第1版

印 次:2011年7月第1次印刷

印 数:1~4000

定 价:25.00元

产品编号:042485-01

“电路”是高等工科院校电子信息类、电气信息类、仪器仪表类、电气工程及其自动化类专业一门重要的技术基础课程。本书根据高等院校电子信息类专业基础课程教学指导委员会的“电路分析教学基本要求”编写而成。

“电路”课程的最大特点是理论性强,而但凡理论性强的课程同时也具有另一个特点,就是规律性强。因此本书在讲述电路分析的基本概念、基本原理及基本分析方法的同时,重点归纳和提炼了书中较系统性、规律性的内容,便于学生掌握,进而解决了学生“课上在老师的讲解下能听懂,但课下自己做题还是不会”的问题。为了提高学生的学习效果,增强学生分析问题和解决问题的能力,本书精选一些经典的例题、习题,尤其是习题的题型包括选择题、填空题和计算题,改变过去繁而多的全是主观分析题的面目,使学生愿意动手去做,愿意动手去分析,从而理解和掌握电路的基本概念,分析方法和规律。每章末配有小结,主要是对本章重点内容的总结,起到画龙点睛的作用;为增强电路分析的工程应用性,开拓学生的视野,每章末还配有应用实例,用来帮助学生在掌握基本内容的基础上培养其分析问题和解决实际问题的能力。另外,为了使学生了解有关电学的发展历史和发展过程,本书各章末配有相应的科学家成才之路,以故事的形式讲述了科学家们献身科学、探索真理的真实的曲折的道路,从精神上激励学生上进和成才,进而使学生从中得到鼓舞,也增加了本书的趣味性。

全书在选材上立足于加强基础,精选内容,突出重点,由浅入深,利于教学,便于自学;注意与先修的“高等数学”、“大学物理”和后续“自动控制原理”、“模拟电子电路”、“信号与系统”课程的衔接和配合,在巩固先修课程的前提下,力图为后续课程打好基础。

全书分为上、下两册,也是对不同专业不同学时要求的专业的考虑,上册约64学时,下册约60学时,可供电子信息工程、通信工程、计算机科学与技术、电子科学与技术、测控技术及仪器、电气工程及其自动化等专业灵活选用。

全书是在河北联合大学电气工程学院电工电子教学中心全体教师多年教学经验积累的基础上编写而成的。全书由唐瑞尹主编,史涛、刘海涛、吴勇中、何鸿鲲、赵静宜、葛超参编,其中第1章~第6章、第10章~第14章由唐瑞尹编写;第7章~第9章由刘海涛编写;第15章~第17章由史涛编写;各章习题由何鸿鲲编写;各章应用实例由吴勇中编写;由赵静宜、葛超绘

制书中电路图并对书稿进行校对。全书由唐瑞尹统稿。

在本书的编写过程中,始终得到河北联合大学各级领导的大力支持。其中,教务处处长张锦瑞教授和副处长张艳博教授以及电气工程学院院长陈至坤教授对本书的编写给予了热情的鼓励和帮助,在此,对所有帮助过我们的同志表示衷心的感谢;另外,在编写过程中,我们参阅了大量国内外其他同类教材和相关的文献资料,在此一并对这些教材和文献的作者深表谢意。

最后,由于本书内容较多,有大量的绘图和打印工作,在此,对本书中绘图及打印工作付出辛劳的同志们以及所有支持本书出版工作的同志们也表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中不妥和疏漏之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2011年5月于唐山

第 1 章 电路模型和电路定律	1
1-1 电路和电路模型	1
1-2 电流和电压	2
1-3 电功率	4
1-4 电路的基本元件	5
1-5 电阻元件	6
1-6 电容元件	8
1-7 电感元件	10
1-8 电压源和电流源	12
1-9 受控源	14
1-10 基尔霍夫定律	15
小结	19
应用实例 手电筒实际电路	20
科学家成才之路	20
习题	22
第 2 章 电阻电路的等效变换	26
2-1 电路等效的概念	26
2-2 电阻的串联和并联	27
2-3 电阻的三角形联接与星形联接的等效变换	30
2-4 电压源和电流源的串联与并联	33
2-5 实际电源的两种模型及其等效变换	35
2-6 输入电阻	38
小结	40
应用实例 万用表内阻的确定	41
科学家成才之路	43
习题	44
第 3 章 电阻电路的一般分析方法	48
3-1 电路的图	48
3-2 KCL 和 KVL 的独立方程	49

3-3 支路电流法	52
3-4 节点电压法	55
3-5 网孔电流法和回路电流法	60
小结	66
应用实例 人体电路模型与安全用电(一)	66
科学家成才之路	68
习题	69
第4章 电路定理	70
4-1 叠加定理	70
4-2 替代定理	74
4-3 戴维宁定理和诺顿定理	76
4-4 特勒根定理	83
4-5 互易定理	84
4-6 对偶原理	86
小结	87
应用实例 实际电源模型及电桥法测电阻	88
科学家成才之路	89
习题	90
第5章 含运算放大器的电阻电路分析	93
5-1 运算放大器的电路模型	93
5-2 比例电路分析	95
5-3 含理想运算放大器的电路分析	96
小结	100
应用实例 A/D 转换器	101
科学家成才之路	103
习题	104
第6章 一阶电路分析	106
6-1 动态电路的方程及其初始条件	106
6-2 一阶电路的零输入响应	110
6-3 一阶电路的零状态响应	115
6-4 一阶电路的全响应	117
6-5 一阶电路的阶跃响应	120
6-6 一阶电路的冲激响应	122
小结	125
应用实例 实际中的充、放电电路	126
科学家成才之路	128

习题.....	128
第 7 章 二阶电路分析	131
7-1 二阶电路的零输入响应	131
7-2 二阶电路的零状态响应和全响应	139
小结.....	144
应用实例 电火花加工.....	144
科学家成才之路.....	145
习题.....	146
第 8 章 相量法	147
8-1 正弦电流和电压	147
8-2 正弦量的相量表示	150
8-3 电路定律的相量形式	153
小结.....	156
应用实例 安全用电(二).....	157
科学家成才之路.....	158
习题.....	159
第 9 章 正弦稳态电路的分析	162
9-1 阻抗与导纳	162
9-2 阻抗(导纳)的串联和并联	165
9-3 正弦电流电路的分析	167
9-4 正弦稳态电路的功率	172
9-5 最大传输功率	176
9-6 串联谐振	179
9-7 并联谐振	183
小结.....	185
应用实例 交流电桥.....	185
科学家成才之路.....	186
习题.....	188
参考文献	191

第 1 章 电路模型和电路定律

内 容 提 要

本章是全书的基础,将介绍电路最基本的概念、电路基本的变量、电路基本的元件和电路基本的定律等,应重点掌握贯穿电路分析始终的三个变量(u 、 i 、 p)、元件的伏安关系(VCR)和与元件性质无关的反映电路拓扑关系的基尔霍夫定律(KCL 和 KVL)。

1-1 电路和电路模型

电路在日常生活、生产和科学研究工作中得到了广泛应用。在我们每个人的身边,都存在着很多电路,如手机、收录机、电视机、录像机、音响设备、计算机、通信系统和电力系统等都是各种各样的电路。

所谓电路,是由电气设备和元器件按一定方式联接起来,为电流流通提供路径的总体。电路也叫网络或称为系统。电路的结构形式和所能完成的任务是多种多样的。但是所有电路从本质上来说都是由三部分组成,即电源、负载、中间环节。

(1) 电源是给电路提供能源的设备、器件,其作用是把化学能、光能、机械能等非电能转换为电能。常见的电源有蓄电池、干电池、太阳能电池和发电机等。

(2) 负载通常也称为用电器,它是将电能转换成其他形式能的元器件或者设备,如电灯、电动机、扬声器等。

(3) 中间环节的作用是将电源和负载联接起来形成闭合电路,并对整个电路实行控制、保护及测量。主要包括联接导线、控制电器(如开关、插头、插座等)、保护电器(如熔断器等)及测量仪表(如万用表等)。

电路的基本作用可概括为两个方面:其一,实现电能的传输和转换,例如电力网络将电能从各个发电厂输送到各工厂、农村和千家万户,供各种电气设备使用。其二,实现电信号的传输、处理和存储,例如电视机接收含有声音和图像信息的高频电视信号通过高频传输线送到电视机中,这些信号经过选择、变频、放大和检波等处理,恢复出原来的声音和图像信息,在扬声器中发出声音并在屏幕上呈现图像。

电路分析是指根据已知的电路结构和元件参数求解电路的特性或求解电路的响应。人们在工作 and 生活中遇到的电路都是实际电路。实际电路是由实际的电路器件按一定方式组合起来的。实际电路是为完成某种预期目的而设计、安装和运行的。实际的电路器件通常包括:电源类的,有各种电池、发电机、信号发生器等;负载类的,如各种电阻器、电感线圈、电

容器、晶体管、电动机等。图 1-1(a)所示为简易的实际电路示意图,图(b)为其电路模型。

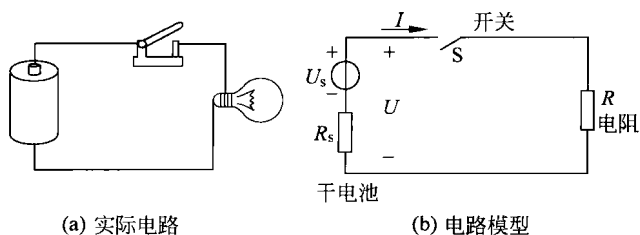


图 1-1 实际电路及电路模型

而发电机、变压器、电动机、电池、晶体管等都是实际的电器元件或设备,在电源频率不高的情况下,不仅具有一定的磁场,而且能释放出热能;在频率较高时,还存在一定的电场。在分析电路时,要把实际电路元件的所有电磁性质都加以考虑,是非常困难的,而且也没有必要。为了便于对实际电路进行分析和用数学方法描述,将实际电路元件理想化,即在一定条件下突出其主要的电磁性质,忽略次要因素,把它近似地看做理想电路元件或理想电路元件的组合。例如,一个白炽灯除具有消耗电能的性质(电阻性)外,当通有电流时还会产生磁场,即具有电感性,但电感微小,可忽略不计,于是通常认为白炽灯是一电阻元件。

由理想电路元件按一定方式所组成的电路就称为实际电路的电路模型,它是对实际电路电磁性质的科学抽象和概括。

理想电路元件(以下简称电路元件)分为两大类,即有源元件和无源元件。有源元件分为电压源和电流源,它们反映了电路的能源形式和对电路的作用;无源元件分为电阻元件、电感元件和电容元件,分别反映将电能转换成其他某种形式能量的性能。电路元件分别由相应的符号和参数来表征,如图 1-2 所示。

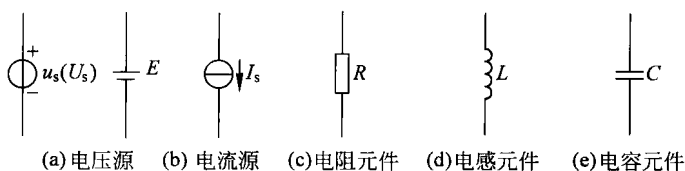


图 1-2 理想电路元件的符号和参数

在图 1-1(a)的实际电路中,电灯泡是电阻元件,其参数为电阻 R ;干电池是电源,由一个电压源 U_s 和电阻 R_s 的组合表征;其导线看成是中间环节(包括开关),其电阻忽略不计,认为是一无电阻的理想导体。因此与其对应的电路模型如图 1-1(b)所示。本书所讨论的电路分析都是指电路模型,简称电路。

1-2 电流和电压

电子和质子都是带电的粒子,电子带负电荷,质子带正电荷。电荷在导体中的定向运动形成电流。

单位时间内通过导体横截面的电荷量定义为电流强度,简称电流,用符号 i 表示,即

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

式中, q 表示电荷量, t 表示时间。电荷量在国际单位制(SI)中的基本单位为库[仑], 单位符号为 C; 时间的基本单位为秒, 单位符号为 s; 电流的基本单位为安[培], 单位符号为 A。

通常我们规定正电荷移动的方向或负电荷移动的相反方向为电流的方向(实际方向)。电流的方向是客观存在的, 但却常常由于其实际方向是未知的或随时间变动的而无法得知。电流通过导线或元件的方向只有两种可能, 选定其中一个方向作电流的方向, 即为电流的参考方向。在参考方向下, 电流的正、负可反映电流的实际流向。若 $i > 0$, 表明电流实际方向与参考方向相同; 若 $i < 0$, 表明电流实际方向与参考方向相反。电流的参考方向可任意指定, 不一定就是电流的实际方向。在电路中电流的方向可以用箭头表示, 也可用双下标表示(如 i_{AB}), 如图 1-3 所示。

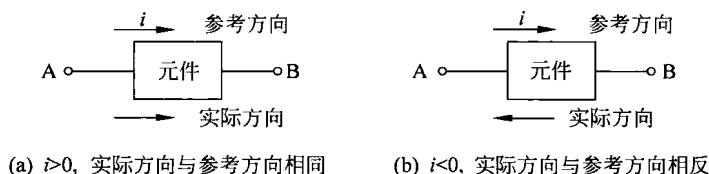


图 1-3 电流的参考方向

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。电路中任意两点 A、B 间的电压被定义为: 单位正电荷从 A 点移动到 B 点时所失去的能量, 用符号表示为

$$u = \frac{dw}{dq} \quad (1-2)$$

式中, w 表示能量, 单位为焦[耳], 单位符号为 J; q 表示电荷量, 单位为库[仑], 单位符号为 C; 电压的基本单位为伏[特], 单位符号为 V。

当 $u > 0$ 时, 就认定 A 点为高电位点(正极性点)并标以“+”号, B 点为低电位点(负极性点)并标以“-”号。电压(降)的方向规定为从“+”极性点指向“-”极性点。如同讨论电流的方向一样, 此处也引用参考极性或参考方向的概念。

电压和电动势都是标量, 但为了便于分析电路, 与电流一样, 我们也说它们具有方向。电压的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。两点间的电压实际方向也有两种可能, 可任选一种方向作为电压的参考方向。在参考方向下, 电压的正、负可反映其电压的实际方向。 $u > 0$ 表明电压的实际方向与参考方向相同, $u < 0$ 表明电压的实际方向与参考方向相反, 如图 1-4 所示。

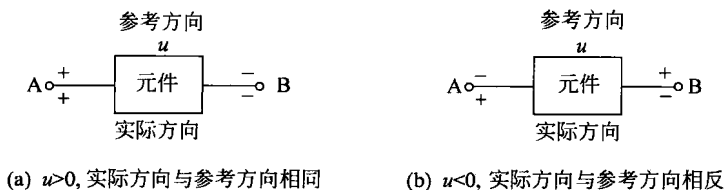


图 1-4 电压的参考方向

一个元件的电流和电压的参考方向原则上是可以任意独立地加以设定的。但如果电压的参考方向指定后,指定电流从标以电压参考方向的“+”端流入,并从“-”端流出,即电流的参考方向与电压的参考方向一致,也称电流和电压为关联参考方向;反之,为非关联参考方向,如图 1-5 所示。

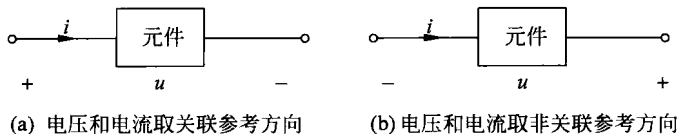


图 1-5 电压和电流的不同参考方向

在分析和计算电路时,一般在电路图中先标出电压或电流的参考方向。若已知实际方向,则选参考方向与实际方向一致。该方向一旦选定,在以后的电路分析和计算过程中不能中途更改。

在国际单位制(SI)中,电流的单位为 A,电荷的单位为 C,电压的单位为 V。表 1-1 列出了 SI 单位中规定的用来表示十进倍数和分数单位的词头。

表 1-1 常用单位及与国际单位制的换算关系

词	换算	词	换算	词	换算
幺(y)	10^{-24}	毫(m)	10^{-3}	吉(G)	10^9
仄(z)	10^{-21}	厘(c)	10^{-2}	太(T)	10^{12}
阿(a)	10^{-18}	分(d)	10^{-1}	拍(P)	10^{15}
飞(f)	10^{-15}	十(da)	10^1	艾(E)	10^{18}
皮(p)	10^{-12}	百(h)	10^2	泽(Z)	10^{21}
纳(n)	10^{-9}	千(k)	10^3	尧(Y)	10^{24}
微(μ)	10^{-6}	兆(M)	10^6	—	—

1-3 电 功 率

物理上定义,单位时间所做的功称为功率 p ,数学上的描述为

$$p = \frac{dw}{dt} \quad (1-3)$$

式中,时间的单位为 s;功的单位为 J;功率的单位为 W。

设元件中的电流和电压参考方向相关联,如图 1-5(a)所示,应用式(1-1)和式(1-2),可将式(1-3)改写为

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \frac{dq}{dt} = ui \quad (1-4)$$

上式表明,电路元件所吸收的电功率等于元件中的电压和电流的乘积,当电压和电流的单位分别取 V 和 A 时,功率的单位为 W。

可见,电路中任一元件的功率等于该元件电压与电流的乘积。元件实际上是有吸收功率和发出功率之分的,可由电压、电流的参考方向是否关联和功率值的正或负来确定。在电流和电压参考方向相关联的条件下,如图 1-6(a)所示,可得如下判断:当 p 大于零时,表明该元件是吸收(消耗)功率;当 p 小于零时,表明该元件是发出功率(或吸收负功率)。若电流和电压参考方向非关联时,如图 1-6(b)所示,计算功率的公式要加负号,即 $p = -ui$ 。

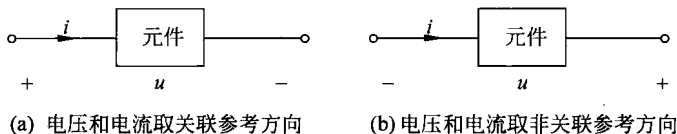


图 1-6 不同参考方向时功率的判断

对整个电路而言,任一时刻电路中各元件吸收的电功率总和应等于发出的电功率总和,或总功率的代数和必为零,即必须满足能量守恒定律。

例 1-1 各元件电流和电压参考方向如图 1-7 所示。已知 $U_1 = 6 \text{ V}$, $U_2 = 10 \text{ V}$, $U_3 = U_4 = -4 \text{ V}$, $I_1 = -I_2 = -4 \text{ A}$, $I_3 = 2 \text{ A}$, $I_4 = 6 \text{ A}$ 。试求各元件的功率,并指出是吸收功率还是发出功率,整个电路的总功率是否满足能量守恒定律?

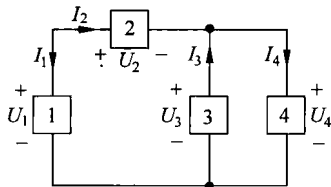


图 1-7 例 1-1 图

解 依题意,各元件的功率为

$$P_1 = U_1 I_1 = 6 \times (-4) = -24 \text{ W} \quad \text{发出功率 } 24 \text{ W};$$

$$P_2 = U_2 I_2 = 10 \times 4 = 40 \text{ W} \quad \text{吸收功率 } 40 \text{ W};$$

$$P_3 = -U_3 I_3 = -(-4) \times 2 = 8 \text{ W} \quad \text{吸收功率 } 8 \text{ W};$$

$$P_4 = U_4 I_4 = (-4) \times 6 = -24 \text{ W} \quad \text{发出功率 } 24 \text{ W}。$$

上述结果表明,各元件发出功率与吸收功率相等,即满足能量守恒定律。

1-4 电路的基本元件

电路理论中有一个重要的假设:若构成电路的器件及电路本身的尺寸远小于电路工作时电磁波的波长,或者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量。在这种近似条件下,可用足以反映其电磁性质的一些理想电路元件或它们的组合来模拟实际电路中的器件。这种理想电路元件称为集总元件或集总参数元件。由集总元件构成的电路称为集总电路,或称为具有集总参数的电路。本书只考虑集总电路。

电路元件从不同的视觉点分类可以得到不同的分类方法。根据元件与外电路相联接的端子数目来分,电路元件可分为二端元件、三端元件、多端元件等;根据电路元件是否是线性可以将电路元件分为线性元件和非线性元件;根据电路元件是否含源可将电路元件分为有源元件和无源元件。不向外电路提供净能量的元件称为无源元件;否则称为有源元件。构成电路的基本电路元件在本章重点讲电阻元件、电容元件、电感元件、电压源元件、电流源元件。在这里,它们都是二端元件,重点分析线性元件,其中电阻元件、电容元件和电感元件属

于无源元件；电压源元件和电流源元件属于有源元件。

集总电路元件端子间的电压与通过它的电流都有确定的关系，这个关系称为元件的伏安关系(voltage-current relationship, VCR)。该关系由元件性质所决定，元件不同，其 VCR 则不同。这种由元件性质给元件中的电压、电流施加的约束称为元件约束。元件约束是分析和计算电路的另一类基本依据。

1-5 电阻元件

电阻元件是一种集总电路元件，它是由实际电阻器件抽象出来的模型。实际的电阻器件如图 1-8 所示。像电阻器、灯泡、电炉、电烙铁等实际电阻器件，当忽略其电感等作用时，可将它们抽象为只消耗电能的电阻元件。有些电子器件只要其端子间的 VCR 满足线性电阻元件的定义，就可以将线性电阻元件作为它的模型，而不论其内部结构和物理过程如何。

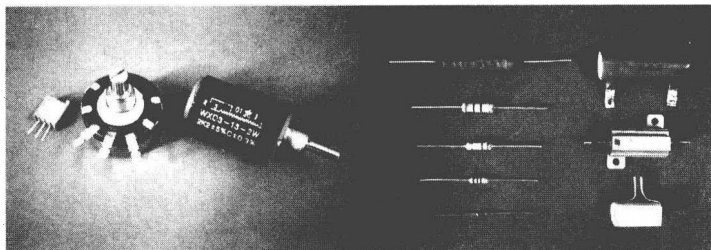


图 1-8 实际的电阻器件

线性电阻元件的电路符号如图 1-9(a)所示，它是这样的理想元件：在电压和电流取关联参考方向下，在任何时刻它两端的电压和电流都满足正比例关系。这就是著名的欧姆定律。这条表示元件电压与电流关系的曲线称为 VCR 曲线。图 1-9(b)是线性电阻元件的 VCR 曲线，线性电阻元件的 VCR 曲线是通过坐标原点的一条直线，其 u 与 i 成正比，故称该元件为线性电阻元件。

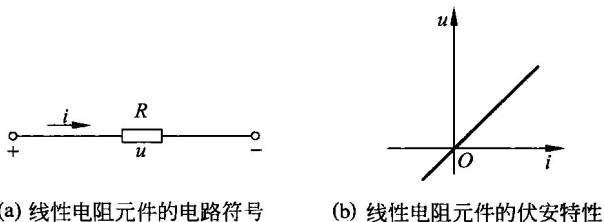


图 1-9 线性电阻元件及其伏安特性

由图 1-9(b)可知，线性电阻元件的 VCR 为

$$u = Ri \quad (1-5)$$

式(1-5)便是著名的欧姆定律。它表明线性电阻元件的端电压与流过它的电流成正比，比例常数 R 称为电阻，是一个正实常数。它也是图 1-9(b)中直线的斜率，是表明电阻元件的参数。当 u 的单位为 V， i 的单位为 A 时，电阻 R 的单位为 Ω ，较大的单位有千欧

(k Ω)、兆欧(M Ω)等, $1\text{ M}\Omega=10^3\text{ k}\Omega=10^6\text{ }\Omega$ 。习惯上常把电阻元件简称为电阻。所以,电阻这个名词及其相应符号 R 都有两个含义,既表示电阻这个元件,也表示元件的参数。除非特别指明,电阻均指线性时不变电阻元件。

式(1-5)是在 u 、 i 的参考方向一致的情况下得出的,若 u 、 i 的参考方向不一致,则应表示为

$$u = - Ri$$

令 $G = \frac{1}{R}$, 式(1-5)变为

$$i = Gu \quad (1-6)$$

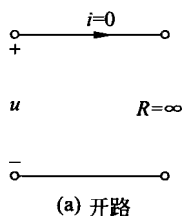
式中, G 称为电导,单位为西[门子](S)。 R 和 G 都是电阻元件的参数。

线性电阻有两种特殊情况,即开路和短路。

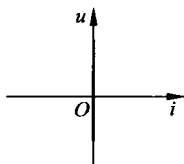
一个电阻元件无论其端电压如何,其电流恒为零,则此时 $R = \infty$ 或 $G = 0$,称为开路,如图 1-10(a)所示,开路的 VCR 曲线如图 1-10(b)所示。

类似地,一个电阻元件无论其电流如何,其端电压恒为零,则此时 $R = 0$ 或 $G = \infty$,称为短路,如图 1-11(a)所示,短路的 VCR 曲线如图 1-11(b)所示。

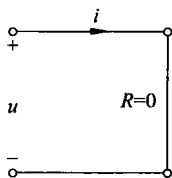
任何一个二端元件(或电路)开路时,均相当于 $R = \infty$;任何一个二端元件(或电路)短路时,均相当于 $R = 0$ 。



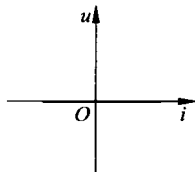
(a) 开路



(b) 开路的 VCR 曲线



(a) 短路



(b) 短路的 VCR 曲线

图 1-10 开路特性

图 1-11 短路特性

在 u 、 i 取关联参考方向时,电阻元件的功率计算式为

$$p = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} \quad (1-7)$$

当 u 、 i 为非关联参考方向时,其计算结果相同。由上式看出, R 和 G 都是正实常数,故电阻的功率 p 恒为非负值。所以线性电阻元件永远是一个耗能元件。

电阻元件从 t_0 到 t 时间内吸收的能量计算式为

$$W = \int_{t_0}^t Ri^2(\xi) d\xi \quad (1-8)$$

它将吸收的全部电能转化为热能消耗掉,因此这类电阻元件也是无源元件。大多数电阻元件都属于这种情况。

工程上常利用电阻器件来实现限流、分压和分流等。常用的电阻器有碳膜电阻、金属膜电阻及绕线电阻等。工程上还常利用电阻器消耗电能转化为热能的效应做成各种电热器,如电烙铁、电炉等。在实际使用电器设备和器件时,为了使其安全、可靠、经济地工作,制造厂家都对每个电器设备和器件规定了工作时允许的最大电流、最大电压和最大功率,这些数

值统称为额定值,如额定电流、额定电压和额定功率,分别用 I_N 、 U_N 和 P_N 表示。

在选用电器设备和器件时,应使其工作时的电流、电压和功率不超过额定值。由于电流、电压和功率之间存在一定的关系,因此 I_N 、 U_N 和 P_N 也不需要全部标出。例如,白炽灯只给出 U_N 和 P_N (如 220 V, 100 W),电阻器只标出 R 和 P_N (如 1 K, 2 W)。

例 1-2 一电阻元件值为 1 k Ω ,额定功率为 0.5 W,则它在使用中能承受的最大电压及允许通过的最大电流各是多少?

解 由 $P = \frac{U^2}{R}$, 有

$$U = \sqrt{PR} = \sqrt{0.5 \times 1000} \approx 22.36 \text{ V}$$

又由 $P = I^2 R$ 得

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{0.5}{1000}} \approx 22.36 \text{ mA}$$

计算表明,该电阻元件允许加上的最大电压为 22.36 V,允许通过的最大电流为 22.36 mA。

当电阻元件的 VCR 曲线不是通过坐标原点的一条直线,而是一条曲线,则称该元件为非线性电阻元件。例如,电子电路中的二极管模型是非线性电阻元件,如图 1-12 所示。

VCR 曲线不随时间而变化的电阻元件称为时不变电阻元件;否则称为时变电阻元件。例如,电阻式传声器在有语音信号时就是时变电阻。图 1-13 为线性时变电阻元件的 VCR 曲线。

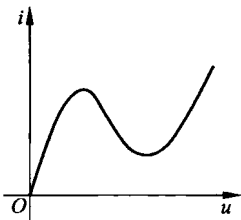


图 1-12 隧道二极管的 VCR 曲线

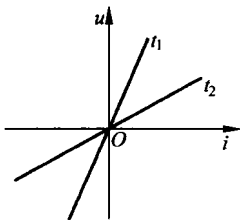


图 1-13 线性时变电阻元件的 VCR 曲线

本书着重介绍线性时不变电阻元件,因为在通常的应用条件下,工程实际中遇到的大部分电阻器件都可以用它作为模型。关于非线性电阻元件将在第 17 章中介绍。

1-6 电容元件

电容元件也是一种集总电路元件,它是由实际电容器抽象出来的模型。在工程技术中,电容器的应用极为广泛,品种、规格也很多,例如云母电容器、电解电容器、瓷质电容器、可变电容器、聚丙烯膜电容器、空气可调电容器等(如图 1-14 所示)。电容器虽然品种、规格众多,但就构成原理来讲,通常都是由两块金属极板中间充满介质(如云母、绝缘纸等)构成。在电容器加上电压后,极板上聚集着等量异号电荷,于是在两块极板间形成一个电场,并储存能量。当忽略电容器的漏电阻和介质损耗时,可将其抽象为只具有储存电场能量特性的电容元件。

如果一个二端元件在任一时刻 t ,其电荷 q 同端电压 u 之间为代数关系,即这一关系可由 q - u 平面上的一条曲线所确定,则此二端元件称为电容元件,这条曲线称为电容元件的库

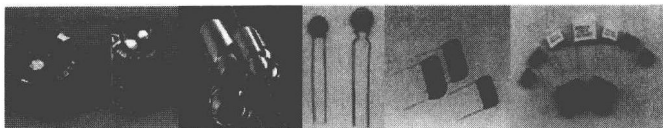


图 1-14 实际的各种类型的电容器

伏特性曲线。如果 $q-u$ 平面上的库伏特性曲线是通过原点的一条直线,且不随时间而变化,则此电容元件称为线性时不变电容元件,如图 1-15(a)所示;反之,如果不是通过原点的一条直线,则此电容元件称为非线性电容元件,如图 1-15(b)所示。

线性电容元件在电路图中的符号如图 1-16 所示。

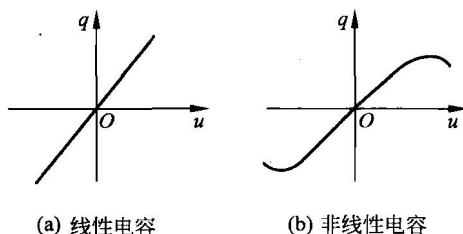


图 1-15 电容元件的特性曲线

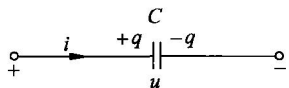


图 1-16 线性电容元件的符号

由图 1-15(a)可知,线性电容元件 q 与 u 的关系式为

$$q = Cu \quad (1-9)$$

式中,比例常数 C 称为电容,它就是图 1-15(a)中直线的斜率,是表征电容元件的参数。当 q 的单位为 C, u 的单位为 V 时,电容 C 的单位为法[拉](F)。

实际电容器的电容量通常很小,故常以较小的微法(μF)或皮法(pF)为单位, $1 \text{ pF} = 10^{-6} \mu\text{F} = 10^{-12} \text{ F}$ 。习惯上也常把电容元件简称为电容,因此,电容这个名词及其相应符号 C 既表示电路元件,也表示元件的参数。除非特别指明,电容均指线性电容元件。

当电容的端电压 u 发生变化时,极板上的电荷 q 相应地发生变化,因而在导线上形成电流。当 u, i 为关联参考方向(如图 1-16 所示)时,有 $i = \frac{dq}{dt}$,将式(1-9)代入此式得

$$i = \frac{d(Cu)}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1-10)$$

这就是电容元件的 VCR。

电容元件的 VCR 与电阻元件的 VCR 不同,是导数关系,而不是代数关系,因此,电容元件称为动态元件。当电容中 u, i 的参考方向为非关联时,电容元件的 VCR 为

$$i = -C \frac{du}{dt}$$

式(1-10)表明, i 与 u 的变化率成正比,只有当电容元件的端电压随时间变化时,电容中才有电流通过。如果电压不变化(直流电压),即 $\frac{du}{dt} = 0$,则虽有电压,电流却为零,这时电容相当于开路,所以电容元件有隔断直流的作用。

式(1-10)两边同时对 t 积分,即变为如下积分形式:

$$u = u(t_0) + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i(\xi) d\xi \quad (1-11)$$