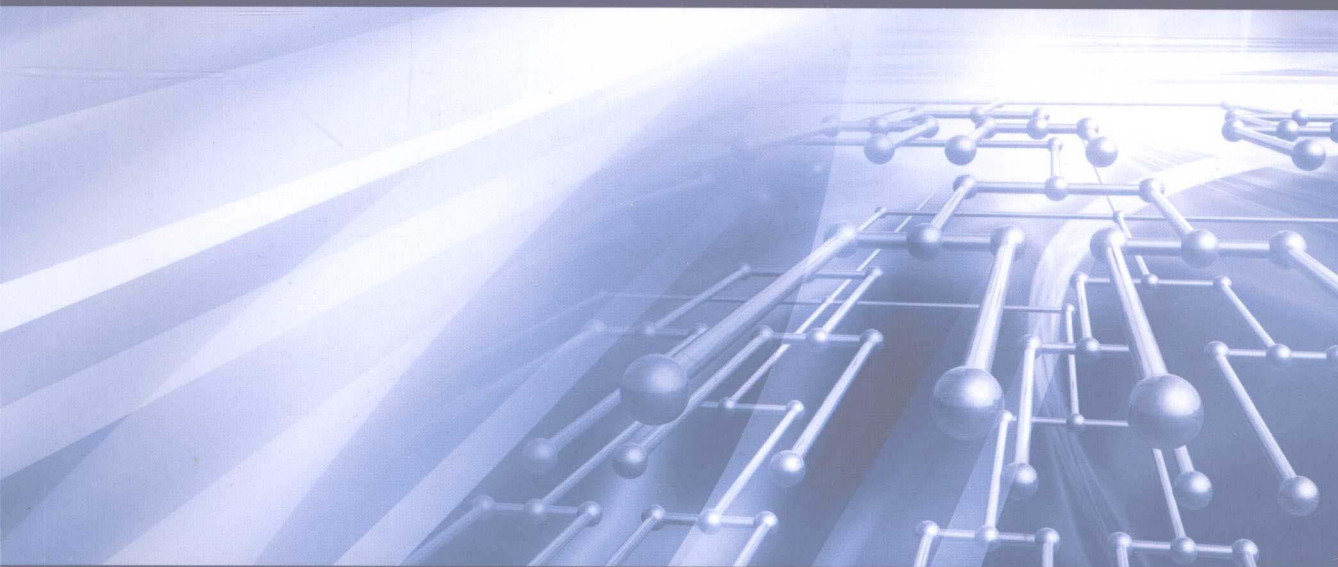




普通高等教育“十二五”规划教材



电子信息类专业

电路分析基础

蔺金元 张 伶 田 茸 编



中国电力出版社



普通高等教育“十二五”规划教材

电路分析基础

蔺金元 张 伶 田 茸 编
侯卓生 主审



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书系统地讲述了电路理论的基本概念、基本定理和基本分析方法。全书共十一章,内容主要包括:电路的基本概念和基本定律、简单等效变换、电路的基本分析方法、电路的基本定理、正弦交流电路的稳态分析、三相交流电路分析、耦合电感和理想变压器、非正弦周期电路的分析、动态电路的时域分析、二端口网络和计算机辅助电路分析。各章均配有与基本内容密切相关的例题和习题。

本书可作为电子、通信、计算机、自动化等电类专业的教材,也可供相关专业、相关领域的研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路分析基础/蔺金元,张伶,田茸编. —北京:中国电力出版社, 2012. 7

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5123 - 3282 - 9

I. ①电… II. ①蔺…②张…③田… III. ①电路分析—高等学校—教材 IV. ①TM133

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 157055 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 [http: //www. cepp. sgcc. com. cn](http://www.cepp.sgcc.com.cn))

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 9 月第一版 2012 年 9 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 18.5 印张 454 千字

定价 33.50 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



前言

“电路分析基础”这门课程是电子信息、通信、自动化等电类专业的专业基础课。由于现代计算机技术发展迅速，我们在授课过程中感觉到，经典电路分析中的某些供手工求解电路的技巧已经不再需要反复强化，这部分内容可以删减。在后续的电子技术、自动控制理论等课程中必须使用的分析方法，其内容应全面、突出。为了解决这些问题，我们决定编写本教材，并加入了我们多年教学工作中总结出的经验和思路，以便使学生更好、更有效地学习。现代工程教育提倡以教会学生分析问题、提高应用能力作为教学的重点。本着这种理念，我们在教材内容编排的过程中始终贯穿学习本课程的思想方法及设计理念，尽可能教会学生思考，使思想方法的传承重于简单知识的传输。

本课程的基本内容是以一个假设、两类约束、三大方法为主线来讲解的，即在一个集总假设的前提下，运用两类约束（拓扑约束、元件约束）列方程求解电路变量。同时，为了便于分析和计算，介绍了三大常用的方法（叠加、分解、变换域），这三种方法虽然应用的侧重点不同，但都是将复杂网络转变为简单电路去求解。本书就是围绕着这样的主线展开讨论的，重点讲解了电阻电路、动态电路以及正弦交流稳态电路的主要分析方法。

全书内容共分成两大部分：经典电路分析和现代电路分析。经典电路分析包括电路的基本概念和基本方法、线性电阻电路的分析、动态电路的时域分析、正弦稳态电路的相量分析；现代电路分析包括双端口网络的参数分析、基于拓扑结构的电路分析方法。

在保证教材结构体系完整的前提下，本书注重基本概念、基本方法和基本原理的分析，注重电路理论与实际电路的有机结合。编写过程中力求内容通俗易懂，深入浅出，压缩烦琐的理论推导，便于教授又便于自学。本书配有大量的例题和习题，例题和习题紧扣基本概念、基本方法和基本原理，注重应用、实用、适用，避免偏题。同时考虑到电工技术的发展和计算机辅助分析的需要，在最后一章增设了计算机辅助分析的基础知识，并利用电子电路的计算机辅助分析和设计软件 Multisim 对一些教学内容和实践进行了仿真。

全书共分为十一章，由蔺金元、张伶、田茸执笔编写，具体分工如下：

第一章、第三章、第四章、第五章：蔺金元（宁夏大学）。

第六章、第七章（第一节，第三～五节）、第八章、第十章、第十一章：张伶（北方民族大学）。

第二章、第五章（第二节）、第九章：田茸（宁夏大学）。

本书由银川能源学院侯卓生教授担任主审。

在本书的编写过程中，参考了众多国内外同行的优秀教材，从中受到了不少教益和启发，在此表示衷心的感谢！

限于编者的水平，不妥之处在所难免，恳请同行和读者们批评指正。

编者

2012年3月



目 录

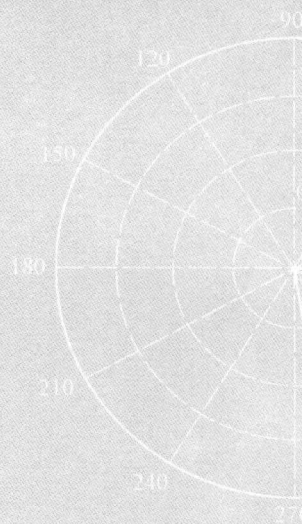
前言

第一章 电路的基本概念和基本定律	1
第一节 实际电路与电路模型	3
第二节 电路基本变量	5
第三节 常见电路元件	10
第四节 基本定律及两类约束	21
第五节 $2b$ 法和 $1b$ 法	29
习题	31
第二章 简单等效变换	35
第一节 电阻的串联、并联电路	37
第二节 电阻的星形连接 (Y) 和三角形连接 (Δ)	41
第三节 理想电源的串联、并联电路	44
第四节 实际电源两种模型间的等效变换	45
习题	47
第三章 电路的基本分析方法	51
第一节 网孔分析法	53
第二节 节点分析法	56
第三节 含运算放大器电路的分析	62
习题	69
第四章 电路的基本定理	73
第一节 叠加定理	75
第二节 戴维南定理	80
第三节 诺顿定理	88
第四节 最大功率传输定理	90
习题	94
第五章 正弦交流电路的稳态分析	99
第一节 正弦量	101
第二节 变换域的方法	106
第三节 相量	108
第四节 阻抗和导纳	115
第五节 正弦稳态电路的分析	119
第六节 正弦稳态电路的功率	127
第七节 谐振	135
习题	142

第六章 三相交流电路分析	149
第一节 三相交流电路概述	151
第二节 对称三相电路的分析	154
第三节 不对称三相电路的分析	159
第四节 三相电路的功率	162
习题	165
第七章 耦合电感和理想变压器	169
第一节 互感	171
第二节 耦合电感的连接及其等效去耦	174
第三节 含耦合电感电路的计算	180
第四节 空心变压器	181
第五节 理想变压器	184
习题	186
第八章 非正弦周期电路的分析	189
第一节 非正弦周期信号及其傅里叶分解	191
第二节 非正弦周期电路的谐波分析法	194
第三节 非正弦周期信号的有效值及电路中的平均功率	198
习题	199
第九章 动态电路的时域分析	201
第一节 动态电路基本概念	203
第二节 一阶电路零输入响应	207
第三节 一阶电路零状态响应	213
第四节 一阶电路的全响应与三要素法	219
第五节 一阶电路的阶跃响应	228
第六节 一阶电路的冲激响应	232
第七节 一阶动态电路的应用	237
第八节 二阶电路	239
习题	246
第十章 二端口网络	253
第一节 二端口网络的描述	255
第二节 二端口网络的连接与等效	263
第三节 二端口网络的分析	267
习题	268
第十一章 计算机辅助电路分析	273
第一节 Matlab 工具在电路分析中的应用	275
第二节 Multisim 电路分析与仿真	283
习题	289
参考文献	290

普通高等教育“十二五”规划教材

电路分析基础



第一章 | 电路的基本概念和基本定律

本章主要介绍电路的基本概念及基本定律。内容包括：从实际电路入手，通过集总假设的条件，引出电路模型；集总电路的两大分类(电阻电路和动态电路)；基本电路变量(电压、电流、功率)；集总参数电路的基本定律(基尔霍夫定律)，阐明了电压、电流应该服从的两类约束关系；基本的电路元件(电阻、独立源、受控源)。这些内容是全书的基础知识。

第一节 实际电路与电路模型

一、实际电路

电能主要来自其他形式能量的转换,同时它也可转换成其他所需能量形式。它能够以有线或无线的形式作远距离的传输。电在人们的日常生活、生产工作、通信、科学研究等方方面面都得到了十分广泛的应用,大到庞大的电力系统,小到身边的手机、电视机、计算机等家用电器,都可以看到各种各样的电路。这些电路虽然千差万别,但都是为了完成某种目的而设计、安装、运行,由电气器件和设备相互连接而成的电流通路装置。它们的共性是建立在同一电路理论基础上,其功能有两方面:①能量的传输、分配与转换;②信息的传递与处理。

综上所述,通常把这些由电阻器、电容器、线圈、变压器、晶体管、运算放大器、传输线、电池、发电机和信号发生器等电气器件和设备连接而成的电路,统称为实际电路。其中,电能或电信号的发生器称为电源,也称为激励源或激励;用电设备称为负载,负载中的电压和电流是由激励产生的,称为响应。所以,实际电路就是为了实现电能的利用,由电源、负载和传输导线构成的用电通路。有时,根据激励和响应之间的因果关系,也把激励称为输入,响应称为输出。

二、电路模型

由于实际电路的形式和功能是多种多样的,各种元器件的性能也千差万别,直接分析和计算这种电路就比较困难。因此,需要对实际电路进行理想化、抽象化和近似化处理,用几种典型的理想元件代表现实中种类繁多的实际元器件,从而构成一个便于分析和计算的简单电路,称为电路模型。如图 1-1 所示,就是将一个实际的简单照明电路抽象成电路模型。 U_S 表示电源(干电池), R_S 表示电池的内阻, R 表示灯泡,由于灯泡主要是消耗电能(转换成光能),因此用电阻来表示。连接导线用理想导线(其电阻设为零)即线段表示。

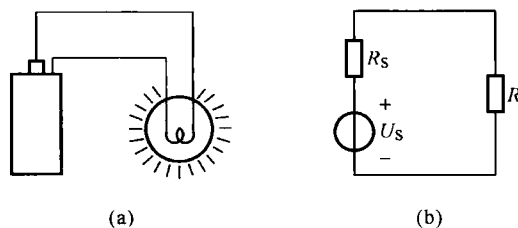


图 1-1 简单照明电路

(a) 实际电路; (b) 电路模型

电路模型是用来描述实际电路的。通常,把用理想元件组合起来模拟实际器件的过程叫做建模,即建立模型。在建模时,不一定一个实际器件只用一个理想元件去描述,这里必须考虑工作条件,并按不同准确度的要求把给定工作情况下的主要物理现象和功能反映出来。例如图 1-1 中,灯泡中有电流流过时还会产生磁场,相当于电感元件,但相对而言电感极其微小,可以忽略不计。而电池内阻消耗的能量在整个电路中占的比较大,所以一个电池要抽象成两部分(提供电能的理想电压源 U_S 和消耗电能的内阻 R_S)。有时候,一个实际器

件在不同情况下需要用不同的模型来描述。如图 1-2 (a) 所示, 实际中的一个线圈, 在低频交流工作条件下, 用一个电阻和电感的串联电路来模拟, 如图 1-2 (b) 所示; 在高频交

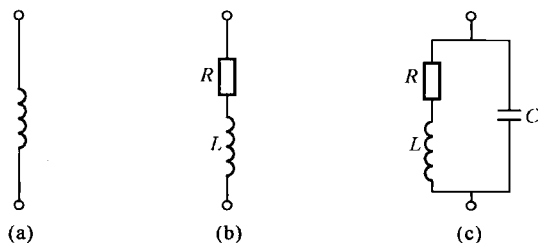


图 1-2 线圈的几种不同电路模型

(a) 线圈的图形符号; (b) 线圈通过低频交流信号的模型;
(c) 线圈通过高频交流信号的模型

流工作条件下, 还要再并联一个电容来模拟, 如图 1-2 (c) 所示。因此, 建模的过程就是在一定条件下, 忽略实际器件的次要性质, 用一个或多个足以表征其主要性质的理想元件组合成电路模型的过程。至于如何建模的细节问题不是本书的主要内容, 本书后面所讨论的电路都是已经抽象好的电路模型。在本书后面的章节中常把电路模型简称为电路, 对于复杂的电路, 也常常称之为网络。

在分析集总参数电路时, 只采用有限多个 (几十种) 集总参数元件 (理想元件) 去模拟千差万别的实际元器件。表 1-1 列举了常用的几种电路元件的图形符号。

表 1-1

常用的几种电路元件的图形符号

名 称	符 号	名 称	符 号	名 称	符 号
独立电流源		理想导线		电 容	
独立电压源		连接的导线		电 感	
受控电流源		电位参考点		理想变压器 耦合电感	
受控电压源		理想开关		回转器	
电 阻		开 路		理想运放	
可变电阻		短 路		二端元件	
非线性电阻		理想二极管			

三、电路分类及集总假设

按照实际电路的几何尺寸 d 与工作时其最高频率所对应的波长 λ ($\lambda=c/f$, 电的传播速度以光速计算, 即 $c=3\times 10^8\text{m/s}$) 之间的关系, 可以将电路分成两大类: 集总参数电路和分布参数电路。

满足 $d\ll\lambda$ 条件的电路称为集总参数电路, 其特点是电路中的电压、电流与器件的几何尺寸和空间位置无关。集总参数电路中的每一种元件只反映一种基本电磁现象, 并可以用数学方法定义, 不考虑电路中电场与磁场的相互作用。例如, 电阻元件只涉及消耗电能的现象, 电容元件只涉及与电场有关的现象, 电感元件只涉及与磁场有关的现象。相反, 不满足 $d\ll\lambda$ 条件的另一类电路称为分布参数电路, 其特点是电路中的电压、电流与器件的几何尺寸和空间位置有关, 导线电阻不能忽略不计。远距离输电线路就属于分布参数电路。大多数的用电设备, 使用的都是国家电网的标准频率 50Hz, 根据公式, 50Hz 频率所对应的波长 λ 为 6000km, 所以, 大多数的用电设备都满足集总假设条件。本书只讨论集总参数电路, 即满足集总假设条件 ($d\ll\lambda$) 的电路。

集总参数电路又可以分为两类: 电阻电路和动态电路。电阻电路只含有电阻元件和电源元件, 而动态电路中至少含有一个动态元件 (电容元件或电感元件)。本书将分别对这两种电路进行详细讨论。

研究集总参数电路特性的一种方法就是用电气仪表对实际电路直接进行测量, 另一种更重要的方法就是将实际电路抽象成电路模型, 然后用电路理论的方法去分析计算出电路的电气特性, 如图 1-3 所示。现在, 运用现代电路理论, 借助于计算机, 可以模拟各种实际电路的特性, 从而设计出电气性能良好的各种电路, 包括大规模集成电路。

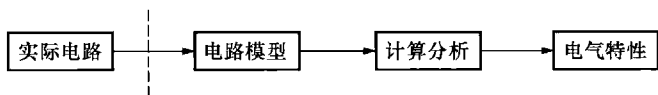


图 1-3 研究电路的基本方法

第二节 电路基本变量

在电路分析中, 常用的基本变量 (即基本物理量) 有电压 u 、电流 i 、电荷 q 、磁通 Φ 、功率 P 和能量 W 。通过这些基本变量可以反映出电路具有的性能和特征, 本课程的主要任务就是学会分析给定电路和计算出这些电路变量的具体参数值。以上基本变量的物理含义在物理学中已经学过, 这里就不再详细介绍, 本节重点讨论电压、电流、功率和能量在电路分析中的应用。

一、参考方向

电路中, 电压和电流变量都是矢量, 既有大小, 又有方向。方向的不同, 直接影响到物理量之间的数学表达式和对分析结果的解释, 因此, 确定电压和电流的方向是非常重要的。

对于简单电路而言, 电压和电流的实际方向是可以判断出来的, 但对于复杂电路和方向不断变化的交流电来说, 在求解之前就事先判别出它们的方向是相当困难的。为了解决这个

问题,在电路分析中,引用了一个假设的方向——参考方向。所谓参考方向,就是在求解电路之前事先为电路里各个电压和电流假设一个自己的方向,这个假设的方向是任意规定的,没有正确和错误一说。当把规定好的方向标注在电路图上之后,就可以按照这个参考方向进行分析了。标注方向时,电压方向一般用+、-极表示,电流方向一般用箭头表示。

参考方向并不等于实际方向。引入参考方向只是为了解题方便,使复杂的方向问题简单化。参考方向虽然是自己任意规定的,但并不是与实际方向完全没有关系,可以根据参考方向及其量值的正、负来确定实际方向。当电压或电流的取值为正,则其规定的参考方向与实际方向相同;当电压或电流的取值为负,则其规定的参考方向与实际方向相反。电流的参考方向如图 1-4 所示。当完成电路的分析计算后,如果求得电流 i 为正时,说明电流的参考方向即是电流的实际正方向,实际电流由 A 流向 B;如果求得电流 i 为负时,说明电流的参考方向与电流实际正方向相反,实际电流由 B 流向 A。

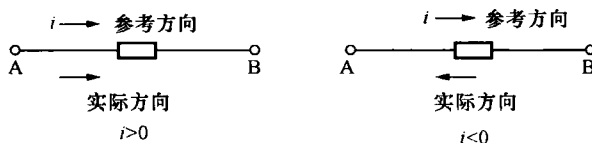


图 1-4 电流的参考方向

电压的参考方向与实际方向的关系也可以进行同样处理,如图 1-5 所示。如果 $u > 0$,则实际电压极性与参考极性一致;如果 $u < 0$,则实际电压极性与参考极性相反。

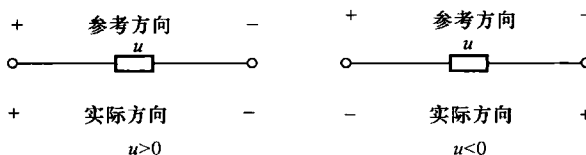


图 1-5 电压的参考方向

可见,实际方向很容易根据参考方向确定。完全可以先按任意假定的参考方向进行分析、计算,最后再判断实际方向。在后面的分析计算中,如果没有特别说明,则采用的都是参考方向。计算出的结果也不需要特意说明实际方向,因为它很容易确定。

二、电流及其参考方向

带电粒子有规则的定向运动形成电流。电子带负电荷,质子带正电荷,粒子所带电荷的多少称为电荷量。电荷量用符号 q 表示,它的标准国际单位(SI 单位)为库[仑](C)。

电流的定义:单位时间内通过导体横截面的电荷量。电流用符号 i 表示,用来衡量电流的大小。其数学表达式为

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

电流的 SI 单位为安[培](A),常用的单位还有千安(kA)、毫安(mA)等。

表 1-2 列出了部分国际单位制的词头,它们与 SI 单位加在一起构成不同数量级的单位表示方法。

表 1-2

部分国际单位制词头

因数	10^9	10^6	10^3	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}
名称	吉	兆	千	毫	微	纳	皮
符号	G	M	k	m	μ	n	p

电流和电压都是矢量，不仅有大小，还有方向。习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的方向（实际方向）。为了方便计算，在电路分析中，均采用参考方向。表示电流参考方向的方式主要有两种：用箭头的指向来表示电流的方向；用双下标表示电流的方向，如 i_{AB} ，表示电流的方向是由 A 流向 B，如图 1-6 所示。

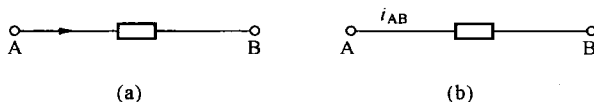


图 1-6 电流参考方向的两种表示方式

(a) 用箭头表示；(b) 用双下标表示

量值和方向均不随时间变化的电流，称为恒定电流，简称为直流（DC），用符号 I 表示；量值和方向随时间变化的电流，称为时变电流，用符号 i 表示；量值和方向作周期性变化且平均值为零的时变电流，称为交流（AC）。

三、电压及其参考方向

电荷在电路中移动，就会有能量的交换发生。单位正电荷由电路中一点 A 移至另一点 B 时电场力做功的大小，称为 AB 两点的电压。电压用符号 u 表示，用来衡量电压的大小。其数学表达式为

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

电压的 SI 单位为伏 [特] (V)，常用的单位还有千伏 (kV)、毫伏 (mV)、微伏 (μV) 等。

若将电路中某一点选作参考点，假设参考点为零电势点，则把 A 点到参考点的电压称为 A 点的电位，即单位正电荷从电路中 A 点移至参考点 ($\phi=0$) 时电场力做功的大小，用 u_A 或 ϕ_A 表示。同理，B 点的电位用 u_B 或 ϕ_B 表示。而 AB 两点的电压 $u_{AB} = u_A - u_B$ ，即两点之间的电位差。若计算出的电压 $u_{AB} > 0$ ，表明 A 点的电位比 B 点的电位高；若计算出的电压 $u_{AB} < 0$ ，表明 A 点的电位比 B 点的电位低。例如， $u_{AB} = 20V$ 时，表明 A 点的电位比 B 点的电位高 20V。对电路中同一电压规定相反参考极性时，相应的电压表达式相差一个负号，即 $u_{AB} = -u_{BA}$ 。当参考点位置发生改变时，电位值也会发生相应的变化，但两点之间的电压始终保持不变。

【例 1-1】 电路中有 A、B、C 三点，选 C 作为参考点，即 $u_C = 0$ 。假设此时 $u_B = 2V$ ， $u_{AB} = 7V$ ，那么当改选 B 点为参考点时，A 点和 C 点的电位分别是多少？

解 原来 C 点为参考点时：

$$u_A = u_{AB} + u_B = 7 + 2 = 9 (V)$$

$$u_{BC} = u_B - u_C = 2 - 0 = 2 (V)$$

参考点改变为 B 点，电位变化但两点之间电压不变：

$$u_{AB} = 7 \text{ (V)}, u_{BC} = 2 \text{ (V)}$$

$$u_A = u_{AB} + u_B = 7 + 0 = 7 \text{ (V)}$$

$$u_C = u_B + u_{BC} = 0 - 2 = -2 \text{ (V)}$$

由上面计算可知，A 点的电位从原来的 9V 变化到了 7V，C 点的电位从原来的 0V 变化到了 -2V。可见，所选参考点（B 点）的电位比原来降低了 2V，其他各点的电位也相应降低了 2V。同理，如果新选参考点的电位比原来升高了 1V，则其他各点的电位也相应升高 1V。

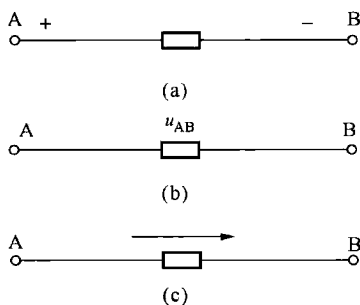


图 1-7 电压参考方向的三种表示方式

(a) 用正负极性表示；(b) 用双下标表示；

(c) 用箭头表示

习惯上认为电压的实际方向是从高电位指向低电位。高电位称为正极，用 + 表示；低电位称为负极，用 - 表示。与电流相似，在电路分析中，电压均采用参考方向。电压参考方向的表示方法主要有三种：通常，在元件两端用 +、- 极表示；或者使用双下标，如 u_{AB} ，表示从 A 点到 B 点的电压降；有时，在元件旁边用箭头的指向来表示电压降的方向，如图 1-7 所示。

四、关联与非关联

当一个元件或一段电路上电流和电压参考方向一致时，称为关联参考方向。换句话说，流过一个元件或一段电路的电流从这个元件或这段电路自己的正极流入、负极流出，此元件或电路电压和电流的参考方向就是关联的；否则，称为非关联。

对于二端元件而言，电压和电流参考方向的选择有四种可能的形式，如图 1-8 所示。用来计算元件伏安关系的公式都是按电压、电流的实际方向推导出来的，也就是说，是按关联关系推导出来的。因此，在分析电路时，如果电路图中电压和电流的方向是关联的，则直接套用公式；如果电路图中电压和电流的方向是非关联的，则要在公式前添加一个负号。

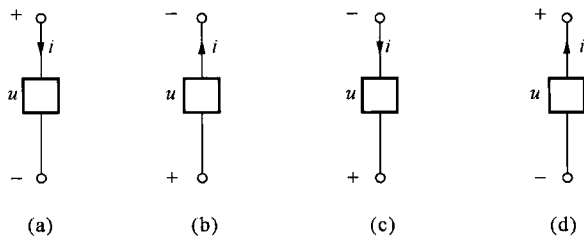


图 1-8 二端元件电压、电流参考方向

(a)、(b) 关联参考方向；(c)、(d) 非关联参考方向

五、功率和能量

功率是电路分析中常用的物理量。电路在工作状态下总伴随有电能与其他形式能量的相互交换，此外，电气设备、电路部件本身都有功率的限制，在使用时要注意其电流值或电压

值是否超过额定值,过载会使设备或部件损坏,或是不能正常工作。所以,分析计算电路中的能量和功率意义重大。

功率就是电路中的某一段所吸收或提供能量的速率,即功率是能量的导数。根据电压公式 $u = \frac{dW}{dq}$ 和电流公式 $i = \frac{dq}{dt}$, 可以推出元件的吸收功率为

$$P(t) = \frac{dW}{dt} = ui \quad (1-3)$$

功率用符号 P 表示,其 SI 单位为瓦 [特] (W),常用的单位还有千瓦 (kW)。

在分析计算过程中,若元件电流和电压为关联参考方向,则 $P=ui$; 若电流和电压为非关联参考方向,则 $P=-ui$ 。计算完毕,可以根据计算结果判断电路中能量的流动。如果计算结果 $P>0$,表示元件吸收(消耗)功率;如果计算结果 $P<0$,则表示元件提供(产生)功率。综上所述,功率的计算可以归纳为表 1-3。

表 1-3 功率计算

电流、电压关联参考方向	$P=ui$	$P>0$, 吸收功率 (提供负功率)
		$P<0$, 提供功率 (吸收负功率)
电流、电压非关联参考方向	$P=-ui$	$P>0$, 吸收功率 (提供负功率)
		$P<0$, 提供功率 (吸收负功率)

在关联参考方向下,电路二端元件或二端网络从 t_0 到 t 时间段内所吸收的能量为

$$W(t_0, t) = \int_{t_0}^t P(\xi) d\xi = \int_{t_0}^t u(\xi) i(\xi) d\xi \quad (1-4)$$

能量用符号 W 表示,其 SI 单位为焦 [耳] (J),常用的单位还有千焦 (kJ)。

生活中还有一个习惯上用以计量电能的单位——度,即千瓦时 (kWh)。1000W 的用电设备,在 1h 内消耗 1kWh 的电能,简称 1 度电。

【例 1-2】 在图 1-9 所示电路中,元件 A 吸收功率 30W,元件 B 吸收功率 15W,元件 C 产生功率 30W,分别求出三个元件中的电流 I_1 、 I_2 、 I_3 。

$$\text{解 } I_1 = \frac{P}{u} = \frac{30}{5} = 6(\text{A})$$

$$I_2 = \frac{P}{u} = \frac{15}{-5} = -3(\text{A})$$

$$I_3 = \frac{P}{-u} = \frac{-30}{-5} = 6(\text{A})$$

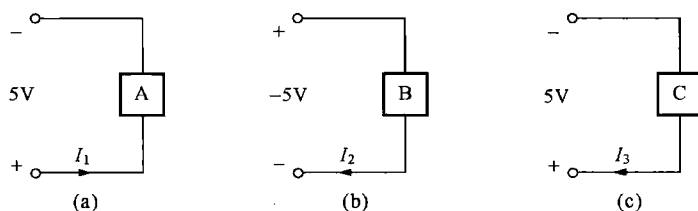


图 1-9 [例 1-2] 图

第三节 常见电路元件

集总参数电路（模型）是由多个电路元件连接而成的。这些电路元件是为建立实际电气器件的模型而提出的一种理想元件，它们都有精确的定义。通过定义可以分析元件自身的特性。本节主要介绍几种线性电阻电路中常用的基本元件。

按电路元件与外电路连接端点的数目，电路元件可分为二端元件、三端元件、四端元件等。顾名思义，元件只有两个外接引出端子，就称为二端元件，常见的有电阻、电容、二极管等。元件有三个外接引出端子，就称为三端元件，常见的有三极管。图 1-10 所示是元件的实物及模型示意图。在集中参数假设条件下，通常只关心元件端子上的特性（称为外部特性），而不注意其内部的情况。按照不同的分类角度，电路元件还可以分为有源元件和无源元件、线性元件和非线性元件、时变元件和非时变元件。

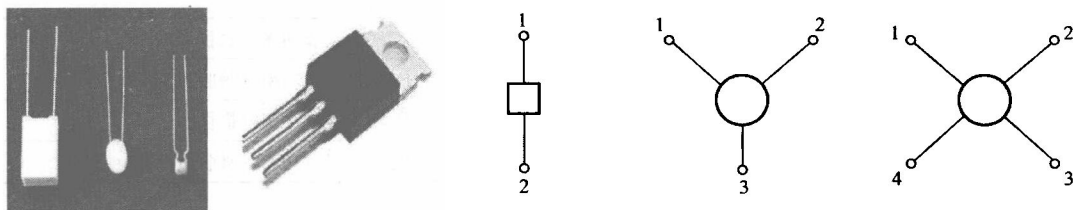


图 1-10 元件实物及模型示意图

一、电阻元件

如果一个二端元件在任一时刻，其电压 u 与其电流 i 的关系由 $u-i$ 平面上一条曲线所确定，则称此二端元件为电阻元件，其伏安关系数学表达式为

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

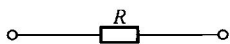


图 1-11 电阻元件
图形符号

电阻是一种对电流呈现阻力的元件。它在电路图中的图形符号如图 1-11 所示，用参数 R 表示。电阻的 SI 单位为欧〔姆〕(Ω)。

电阻的特性曲线表明了电阻的电压与电流间的约束关系 (Voltage Current Relationship, VCR)。根据特性曲线不同可以对电阻进行分类：①线性电阻与非线性电阻。其特性曲线为通过坐标原点直线的电阻，称为线性电阻；否则称为非线性电阻。②时变电阻与时不变电阻。其特性曲线随时间变化的电阻，称为时变电阻；否则称为时不变电阻或定常电阻。图 1-12 分别描述了几种不同电阻的特性曲线。

本书中主要研究线性时不变电阻，如图 1-12 (a) 所示，电阻元件的伏安特性曲线是 $u-i$ 平面上通过原点的一条直线。线性时不变电阻有以下特点：

(1) 满足欧姆定律。写为 $u=Ri$ ，任何时刻端电压与其电流成正比。注意：如果电阻上的电压与电流参考方向非关联，欧姆定律公式中应增加负号， $u=-Ri$ 。

(2) 无记忆性。在任一时刻，线性电阻的电压（或电流）是由同一时刻的电流（或电压）决定的，与它之前或之后的任何电流（或电压）无关。

(3) 双向性。元件特性曲线关于原点对称，对来自不同方向的电流或不同极性的电压有

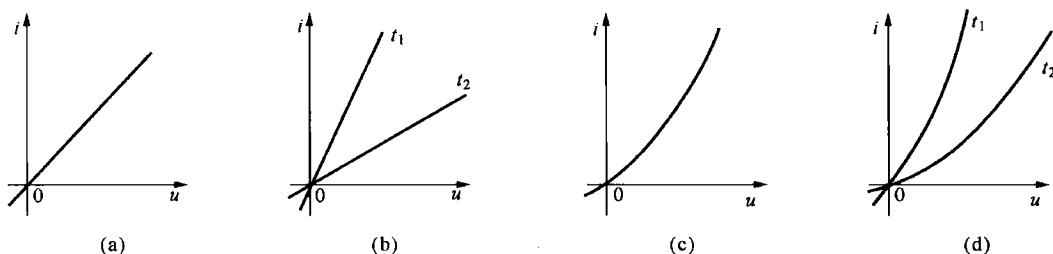


图 1-12 电阻元件特性曲线

(a) 线性时不变电阻; (b) 线性时变电阻; (c) 非线性时不变电阻; (d) 非线性时变电阻

相同的表现。使用时, 两个端钮没有区别。

(4) 无源性。只消耗能量, 从不向外电路提供能量。

电阻有两种特殊情况: $R \rightarrow \infty$ 称为开路; $R=0$ 称为短路。

电阻元件也可以用另一个参数——电导来表示, 电导的符号是 G , 其 SI 单位为西门子 (S)。用电导表征线性电阻元件时, 欧姆定律写为 $u = \frac{1}{G}i$ 。电导和电阻的关系互为倒数, $R = \frac{1}{G}$ 。

在电阻元件取关联参考方向的情况下, 如图 1-13 (a) 所示, 电阻吸收的功率为式 (1-6); 在电阻元件取非关联参考方向的情况下, 如图 1-13 (b) 所示, 电阻吸收的功率为式 (1-7)。

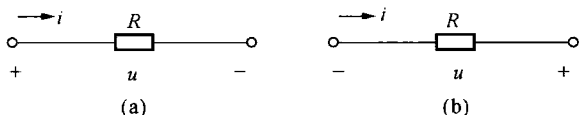


图 1-13 电阻元件电压与电流的参考方向

(a) 关联参考方向; (b) 非关联参考方向

$$P = ui = (iR)i = i^2R \quad \text{或} \quad P = ui = u \frac{u}{R} = \frac{u^2}{R} \quad (1-6)$$

$$P = -ui = -(-iR)i = i^2R \quad \text{或} \quad P = -ui = -u\left(-\frac{u}{R}\right) = \frac{u^2}{R} \quad (1-7)$$

由式 (1-6) 和式 (1-7) 可知, 电阻元件在任何时刻总是消耗功率的, 是耗能元件。

从 t_0 时刻到 t 时刻时间段内, 电阻消耗的能量为

$$W_R = \int_{t_0}^t P d\xi = \int_{t_0}^t ui d\xi = \int_{t_0}^t i^2 R d\xi = \int_{t_0}^t \frac{u^2}{R} d\xi \quad (1-8)$$

二、电容元件

如果一个二端元件在任一时刻, 其电荷与电压之间的关系由 $u-q$ 平面上一条曲线所确定, 则称此二端元件为电容元件, 其数学表达式为

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

电容是一种储能元件。它在电路图中的图形符号如图 1-14 所示, 用参数 C 表示。电容的 SI 单位为法 [拉] (F)。