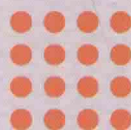


高等学校教材



HIGHER

EDUCATION



DIANLU FENXI JICHU

电路分析基础

范世贵 主编

西北工业大学出版社

／ 高等学校教材

电路分析基础

范世贵 主编

范世贵 冯晓毅 郭 婷 编著

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书是根据教育部颁布的高等工业学校“电路分析基础课程教学基本要求”编写的。全书共 13 章:电路基本概念与定律,电阻电路等效变换,电路分析基本方法,电路定理,正弦电流电路,耦合电感与理想变压器电路,非正弦周期电流电路,三相电路,网络图论与网络方程,含运算放大器电路,二端口网络,动态电路时域分析和非线性电阻电路。

本书可作为本科院校电子、通信、自动化、信息控制、计算机、信号检测、电力等专业的教材,也可供高职高专院校选择部分章节内容作为教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

电路分析基础/范世贵主编. —西安:西北工业大学出版社,2010.8
ISBN 978-7-5612-2889-0

I. ①电… II. ①范… III. ①电路分析 IV. ①TM133

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 160086 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电 话:(029)88493844 88491757

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:陕西向阳印务有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:25.125

字 数:613 千字

版 次:2010 年 8 月第 1 版 2010 年 8 月第 1 次印刷

定 价:39.00 元

前言

电路分析基础是电子、通信、自动化、计算机、信息控制、信号检测、电力等专业的一门重要技术基础课。它主要研究电路分析理论的基本概念、基本定律、基本定理与基本方法及其在工程实践中的应用,并结合实验,培养学生电路操作、测试和科学实验能力。

本书在编写中遵循了以下原则:

精选传统内容,适度反映新内容,加强基本概念和基本分析方法,降低习题的难度、复杂度和求解的技巧性,尽力克服烦琐哲学,使本书成为既具有一定深度和新度,又具有一定广度和量度的基本教材。

讲究教学法,遵循学生接受知识的规律,深入浅出,循序渐进,概念准确,结构严密,条理清楚,论述严谨,详略得当,努力做到既适于学生自学,又适于教师施教。

本书的宏观体系是先静态电路,后动态电路;先恒定电流电路,后正弦电流电路;先正弦电路,后非正弦电路;先稳态电路,后瞬态电路;先线性电路,后非线性电路。在微观结构上,努力做到主题突出,思路清晰,理论与实际结合,精选典型例题和习题,以掌握基本概念、基本理论、基本方法并学会应用为目标,自始至终贯彻辩证思维和创新思维的思想方法。

为适应 21 世纪高新科技的需要和发展,本书始终贯穿了现代电路理论的观点与方法。对电路元件以物理原型为基础,但最终升华到严格从数学模型上进行定义;引用拓扑学的成果,把电路视做特定拓扑结构的支路集与节点集;把 KCL, KVL 严谨地建立在电荷守恒、磁链守恒、能量守恒、电路参数集中化假设的基础上;把电路的基本变量定为四个:电流、电压、电荷、磁链和两个复合变量(功率和能量);把电路的基本规律分成三个组成部分:电路元件的规律性,电路的拓扑(互连)规律性,电信号的规律性;加强了端口等效、端口特性、端口线性的概念;将全响应分解为三种方式:零输入响应与零状态响应,自由响应与强迫响应,瞬态响应与稳态响应;把运算放大器作为多端元件引入电路分析中,把图论作为数学基础用来列写矩阵形式的电路方程;等等。

教材除了作为知识载体向读者传授知识外,同时也应起到发展智力,培养能力,培养科学思维方法和优良学风的积极作用。本书自觉注意了坚持传授知识,发展智力与培养能力相统一的教学原则。在培养能力方面,着重培养学生的科学思维能力,创新思维能力,分析问题和解决问题的能力,科学研究与技术研究的方法。

另外,还重视培养学生良好的非智力素质,严谨的治学态度和科学工作作风,激励学习精神和学习动力。

本书符合课程教学的基本要求,符合学生的实际,可以适合不同层次的院校和学生使用。本科院校使用时,可全部讲授,或视学时多少和学生实际,筛选一些章或节讲授,这不会给教师的施教和学生的自学造成困难;对于高职、大专院校,建议只讲授第1~8章和第12章,习题数量也相应减少。

本书内容共13章:电路基本概念与定律,电阻电路等效变换,电路分析基本方法,电路定理,正弦电流电路,耦合电感与理想变压器电路,非正弦周期电流电路,三相电路,网络图论与网络方程,含运算放大器电路,二端口网络,动态电路时域分析,非线性电阻电路。书中打“*”号的为自学和选学内容,不计在总学时之内。

西北工业大学出版社出版的《电路分析基础重点、难点、考点辅导与精析》一书,是与本书配套的自学、复习、课程考试、考研指导用书,该书每章内容包括四个部分:知识脉络图解,重点、难点辅导与精析,考点与考研真题辅导与精析,习题解答。在学习时,若能同时选用此书,对于提高本课程的教学和学习质量定有裨益。

本书的编写与出版,得到了西北工业大学明德学院和西北工业大学出版社的支持与推荐,编者谨致诚挚的谢意。

编 者

2010年4月

目 录

第 1 章 电路基本概念与定律	1
1.1 电路与电路模型	1
1.2 电路的基本物理量	2
1.3 电功率与电能	4
1.4 电阻元件与欧姆定律	7
1.5 电感元件	9
1.6 电容元件	12
1.7 理想电源	15
1.8 受控电源	20
1.9 基尔霍夫定律	23
1.10 电子习惯电路	28
习题一	31
第 2 章 电阻电路等效变换	34
2.1 等效电路与电路等效变换的概念	34
* 2.2 电阻串联与电导并联	37
2.3 无源三端电路及其相互等效变换	42
2.4 实际电源的电路模型及其相互等效变换	45
2.5 单口电路的输入电阻	52
习题二	57
第 3 章 电路分析基本方法	61
3.1 支路电流法	61
3.2 网孔电流法	66
* 3.3 回路电流法	70
3.4 节点电位法	72
习题三	80

第 4 章 电路定理	83
4.1 叠加定理与齐次定理	83
4.2 替代定理	89
4.3 等效电源定理	93
4.4 最大功率传输定理	100
* 4.5 互易定理	105
习题四	112
第 5 章 正弦电流电路	116
5.1 正弦量	116
* 5.2 复数	120
5.3 正弦量的相量表示	123
5.4 电路元件伏安关系的相量形式	126
5.5 KCL, KVL 的相量形式	134
5.6 阻抗与导纳及其相互等效变换	139
5.7 正弦电流电路分析——相量法	148
5.8 正弦电流电路的功率	154
5.9 最大功率传输定理	162
* 5.10 电路中的谐振	165
习题五	170
第 6 章 耦合电感与理想变压器电路	175
6.1 耦合电感元件	175
6.2 耦合电感元件的伏安关系	177
6.3 耦合电感的去耦等效电路	182
6.4 含耦合电感电路的分析计算	188
6.5 理想变压器	193
6.6 含理想变压器电路的分析计算	197
习题六	200
第 7 章 非正弦周期电流电路	203
7.1 非正弦周期电压与电流	203
7.2 非正弦周期函数展开成傅里叶级数	203
7.3 非正弦周期电量的有效值	205
7.4 非正弦周期电流电路稳态分析	207
7.5 非正弦周期电流电路的平均功率	212
* 7.6 滤波电路的概念	216
习题七	219

第 8 章 三相电路	223
8.1 三相电源	223
8.2 对称三相电路分析计算	226
* 8.3 不对称三相电路的概念	229
8.4 三相电路的功率及其测量	230
习题八	237
第 9 章 网络图论与网络方程	240
9.1 网络图论的基本定义与概念	240
9.2 节点-支路关联矩阵与基尔霍夫定律的矩阵形式	243
9.3 节点法	246
9.4 回路法	252
* 9.5 割集法	256
* 9.6 特勒根定理	262
习题九	266
第 10 章 含运算放大器电路	269
10.1 运算放大器及其理想化电路模型	269
10.2 含运算放大器电路的分析	272
10.3 简单运算电路	275
* 10.4 RC 有源滤波电路	280
习题十	283
第 11 章 二端口网络	285
11.1 二端口网络的定义与概念	285
11.2 二端口网络的方程与参数	286
11.3 二端口网络的网络函数	295
* 11.4 二端口网络的特性参数	301
* 11.5 二端口网络的连接	305
11.6 二端口网络的等效二端口网络	310
* 11.7 二端口元件	315
11.8 有载二端口网络分析计算	321
习题十一	327
第 12 章 动态电路时域分析	331
12.1 常用的电信号	331
12.2 换路定律	336
12.3 电路变量初始值的求解	339

12.4	线性电路的性质	341
12.5	RC 一阶电路响应分析	343
12.6	RL 一阶电路响应分析	349
12.7	求一阶电路阶跃激励全响应的三要素公式	352
* 12.8	一阶电路的正弦激励响应	359
* 12.9	RLC 串联电路的零输入响应	364
* 12.10	RLC 串联电路的阶跃响应	368
	习题十二	370
第 13 章	非线性电阻电路	374
13.1	非线性电阻元件	374
13.2	图解分析法	377
13.3	小信号等效电路分析法	383
* 13.4	分段线性化分析法	385
* 13.5	非线性电阻电路方程的列写	388
	习题十三	389
	参考文献	393

第 1 章 电路基本概念与定律

内容提要

本章讲述电路的基本概念与定律,包括电路与电路模型,电路基本物理量,电功率与电能,电阻元件与欧姆定律,电感元件,电容元件,理想电源,受控电源,基尔霍夫定律,电子习惯电路。本章内容是电路理论的基本概念与基础。

1.1 电路与电路模型

一、电路的定义^①

电流流通的路径称为电路。

二、电路的功能

电路的功能有两个。

1. 实现电能的产生、传输、分配和转化。例如高电压、大电流的电力电路等。
2. 实现电信号的产生、传输、变换和处理。例如低电压、小电流的电子电路及计算机电路、控制电路等。

在电路的两个功能中,前者矛盾的主要方面是“电功率”和“电能”;后者矛盾的主要方面是“电信号”,即电压信号或者电流信号。

三、实际电路

为了实现电路的功能,人们将所需的实际电器元件或设备,按一定的方式连接而构成的电路称为实际电路,如图 1.1.1(a) 所示即为最简单的实际手电筒电路。它是由 4 个部分组成的:干电池(作为电源)、导线(作为传输线)、开关 S(起控制作用)、灯泡(作为用电器,也称负载)。

四、电路模型

把实际的电路加以科学抽象和理想化以后而得到的电路,称为理想化电路,也称电路模型。

实际的电器元件和设备的种类是很多的,如各种电源、电阻器、电感器、电容器、变压器、晶

^① 电路的严格定义,见 1.9 节中的叙述。

体管、固体组件等等,它们中发生的物理现象是很复杂的。因此,为了便于对实际电路进行分析和数学描述,进一步研究电路的特性和功能,就必须进行科学的抽象,用一些模型来代替实际电器元件和设备的外部特性和功能,这种模型即称为电路模型,构成电路模型的元件称为模型元件,也称理想电路元件。理想电路元件只是实际电器元件和设备在一定条件下的理想化模型,它能反映实际电器元件和设备在一定条件下的主要电磁性能,并用规定的模型元件符号来表示。如图 1.1.1(a) 所示的实际手电筒电路,即可用图 1.1.1(b) 所示的电路模型来代替。其中电压 U_s 和电阻 R_s 的串联组合即为干电池的模型,电阻 R_l 为导线的模型,电阻 R_L 为电灯的模型。

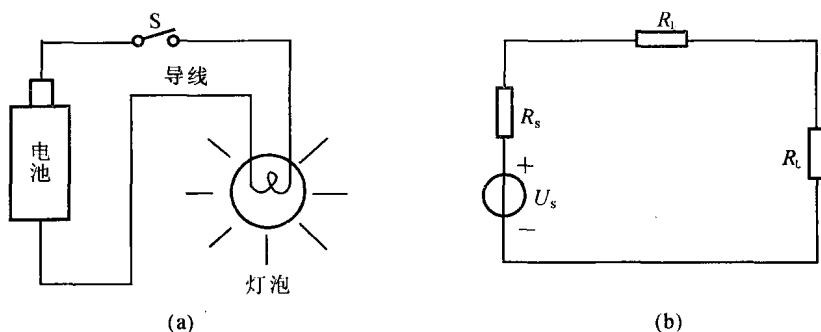


图 1.1.1 实际手电筒电路及其电路模型

以理想电路元件及其组合作为电路理论的研究对象,即形成了电路模型理论。今后我们研究的电路均为模型电路。

五、电路图

将电路模型画在平面上而形成的图称为电路图。电路图只反映各理想电路元件的作用及其相互连接方式,并不反映实际设备的内部结构、几何形状及相互位置。

1.2 电路的基本物理量

电路的基本物理量有电流、电位、电压。

一、电流

1. 定义:电荷(包括正电荷与负电荷)的定向移动即形成电流。
2. 电流的大小,即电流强度。单位时间内通过导体横截面的电量称为电流强度,即

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

式中, $dq(t)$ 为 dt 时间内通过导体横截面的电量; $i(t)$ 为电流强度。电流强度 $i(t)$ 的国际单位是安[培](A), $1\text{A}(\text{安}[\text{培}]) = 1 \frac{\text{C}(\text{库}[\text{仑}])}{\text{s}(\text{秒})}$; 另外还有千安(kA), 毫安(mA), 微安(μA)。 $1\text{ kA} = 10^3\text{ A}$, $1\text{ mA} = 10^{-3}\text{ A}$, $1\text{ }\mu\text{A} = 10^{-6}\text{ A}$ 。

电流是电路中的一种物理现象,电流强度 $i(t)$ 是描述电流大小的物理量,不可把电流与电

流强度混淆。但在实用中为了表述的简便,人们往往把电流强度 $i(t)$ 简称为“电流”,所以,在本书中谈到“电流”,大多指的就是电流强度 $i(t)$,但有时也兼有双重意义。

当 $i(t)$ 随时间变量 t 变化时,称为变化电流,用 $i(t)$ 表示,也直接把 $i(t)$ 写成小写字母 i ,即 i 指的就是 $i(t)$ 。当 $i(t)$ 不随时间 t 变化时,称为恒定电流,用大写字母 I 表示,此时 $i(t) = I$ 。

3. 电流的实际方向:人们已取得共识与认同,规定正电荷定向移动的方向为电流的实际方向(或者负电荷定向移动的反方向为电流的实际方向)。

4. 电流的参考正方向,简称参考方向。电路中电流的实际方向,在人们对电路未进行分析计算之前是不知道的,因此为了对电路进行分析计算和列写电路方程,就需要对电流设定一个参考正方向,简称参考方向,如图 1.2.1 所示电路中电流 $i(t)$ 的方向就是参考方向(不一定是电流 i 的实际方向)。若所求得的 $i(t) > 0$,就说明电流 $i(t)$ 的实际方向与参考方向一致;若所求得的 $i(t) < 0$,就说明 $i(t)$ 的实际方向与参考方向相反。可见,电流 $i(t)$ 是一个标量。

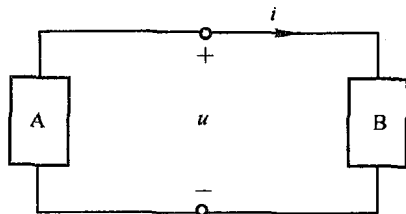


图 1.2.1 电流的参考方向与电压的参考极性

电路中电流的参考方向是任意规定的。电路图中电流 $i(t)$ 的方向恒为参考方向。

二、电位

电场力把单位正电荷从电场中的 a 点沿任意路径移动到无穷远处(此处的电场强度为零)电场力所做的功,称为电场中 a 点的电位,用 φ_a 表示,国际单位为伏[特](V), $1\text{V}(\text{伏}[\text{特}]) = 1 \frac{\text{J}(\text{焦}[\text{尔}])}{\text{C}(\text{库}[\text{仑}])}$ 。电位 φ_a 为标量, φ_a 可为正($\varphi_a > 0$),可为负($\varphi_a < 0$),可为零($\varphi_a = 0$)。

三、电压

1. 定义:电场中 a, b 两点之间的电位之差,称为 a, b 两点之间的电压,用 u_{ab} 表示,国际单位也为伏[特](V),即

$$u_{ab} = \varphi_a - \varphi_b$$

若 $u_{ab} > 0$,则 a 点的实际电位 φ_a 就高于 b 点的实际电位 φ_b ,即 $\varphi_a > \varphi_b$;若 $u_{ab} < 0$,则 a 点的实际电位 φ_a 就低于 b 点的实际电位 φ_b ,即 $\varphi_a < \varphi_b$;若 $u_{ab} = 0$,则 a, b 两点的实际电位相等,即 $\varphi_a = \varphi_b$ 。可见,电压 u_{ab} 也是标量。

同理 $u_{ba} = \varphi_b - \varphi_a$,且 $u_{ab} = -u_{ba}$,即表示 u_{ab} 与 u_{ba} 互为相反数。

为避免数值的过大或过小,有时用加词头的单位表示电压值:千伏(kV),毫伏(mV),微伏(μV)。 $1\text{ kV} = 10^3\text{ V}$, $1\text{ mV} = 10^{-3}\text{ V}$, $1\text{ }\mu\text{V} = 10^{-6}\text{ V}$ 。

2. 电压的实际“+”、“-”极性:人们已取得共识与认同,把实际电位高的点标以“+”极,把实际电位低的点标以“-”极。

3. 电压的参考“+”、“-”极性:简称电压的参考极性。电路中电压的实际“+”、“-”极性,在人们对电路未进行分析计算之前是未知的,因此,为了对电路进行分析计算和列写电路方程,就需要对电压设定一个参考“+”、“-”极性。如图 1.2.1 所示电路中电压 u 的“+”、“-”极就是参考极性(不一定是电压 u 的实际“+”、“-”极性)。若所求得的 a, b 两点间电压 $u_{ab} >$

0,就说明 a 点的实际电位 φ_a 高于 b 点的实际电位 φ_b ;若 $u_{ab} < 0$,就说明 a 点的实际电位 φ_a 低于 b 点的实际电位 φ_b ;若 $u_{ab} = 0$,就说明 a, b 两点的实际电位相等。

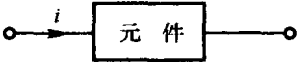
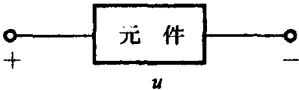
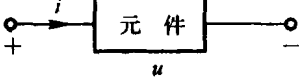
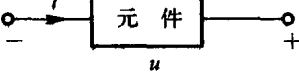
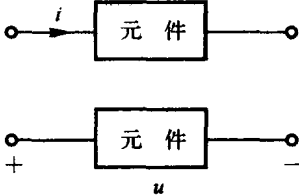
电压的参考极性是任意设定的。电路图中的“+”、“-”极性恒为电压的参考极性。

四、电流与电压的关联参考方向

对一个确定的电路元件而言,若电流 i 的参考方向是从电压 u 参考极性的“+”极流向“-”极,则称电流 i 与电压 u 为关联参考方向,简称关联方向,否则即为非关联方向。如图 1. 2. 1 所示电路,对元件 A 而言,则 u 与 i 为非关联方向;对元件 B 而言,则 u 与 i 为关联方向。

现将电流的参考方向与电压的参考极性汇总于表 1. 2. 1 中,以便复习和记忆。

表 1. 2. 1 电流的参考方向与电压的参考极性

名 称	电路元件	说 明
电流参考方向		电流的参考方向可任意设定
电压参考极性		电压的参考极性可任意设定
u 与 i 为关联方向		电流 i 从“+”流向“-”
u 与 i 为非关联方向		电流 i 从“-”流向“+”
“不言而喻”的意义		“不言而喻”, u 与 i 为关联方向

注:“不言而喻”的意义见 1. 4 节中的叙述。

1. 3 电功率与电能量

一、电功率

电场力在单位时间内所做的功,称为电功率,即

$$p(t) = \frac{dW(t)}{dt}$$

式中, $dW(t)$ 为 dt 时间内电场力所做的功; $p(t)$ 为电功率。电功率也简称功率,电功率 $p(t)$ 是描述电场力做功快慢的物理量。

电功率 $p(t)$ 的国际单位是瓦[特](W), $1 \text{ W} = 1 \frac{\text{J(焦[尔])}}{\text{s(秒)}}$; 兆瓦(MW), 千瓦(kW), 毫瓦(mW), 微瓦(μW) 也可表示电功率。 $1 \text{ MW} = 10^6 \text{ W}$, $1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}$, $1 \text{ mW} = 10^{-3} \text{ W}$, $1 \mu\text{W} = 10^{-6} \text{ W}$ 。

为了简便, 以后也把 $p(t)$ 简写为 p 。

二、电功与电能

电场力在时间区间 $t \in [0, t]$ 内所做的功, 称为电功, 也称电能, 用 $W(t)$ 或 W 表示, 其计算公式为

$$W(t) = W = \int_0^t p(\tau) d\tau$$

式中, $p(\tau)$ 为电功率。电功(电能)的国际单位为焦[尔](J), 另一个单位为千瓦时($\text{kW} \cdot \text{h}$) (旧称度), $1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$ 。

三、电路元件的功率

描述电路元件的功率可以有两种定义: “吸收功率”与“发出功率”。对同一个电路元件而言, “吸收的功率”与“发出的功率”互为相反数, 即 $P_{\text{吸}} = -P_{\text{发}}$ 或 $P_{\text{发}} = -P_{\text{吸}}$ 。

如图 1.3.1(a) 所示的电路中, 若电压 u 与电流 i 为关联方向, 用“吸收功率”描述, 则电路元件吸收的功率为

$$P_{\text{吸}} = ui$$

当 $P_{\text{吸}} > 0$ 时, 说明电路元件实际是吸收功率; 当 $P_{\text{吸}} < 0$ 时, 说明电路元件实际是发出功率。

若用“发出功率”描述, 如图 1.3.1(a) 电路元件发出的功率为

$$P_{\text{发}} = -ui$$

当 $P_{\text{发}} < 0$ 时, 则说明电路元件实际是吸收功率; 当 $P_{\text{发}} > 0$ 时, 则说明电路元件实际是发出功率。

从上述结果可知 $P_{\text{吸}} = -P_{\text{发}}$ 或 $P_{\text{发}} = -P_{\text{吸}}$, 即对同一个电路元件而言, $P_{\text{吸}}$ 与 $P_{\text{发}}$ 互为相反数, 即不论用哪一种“功率定义”描述, 所得结果都是相同且正确的。

如果电压 u 与电流 i 为非关联方向, 如图 1.3.1(b) 所示, 用“吸收功率”的定义描述, 则电路元件吸收的功率为

$$P_{\text{吸}} = -ui$$

当 $P_{\text{吸}} > 0$ 时, 则说明电路元件实际是吸收功率; 当 $P_{\text{吸}} < 0$ 时, 则说明电路元件实际是发出功率。

若用“发出功率”的定义描述, 则图 1.3.1(b) 所示电路元件发出的功率为

$$P_{\text{发}} = ui$$

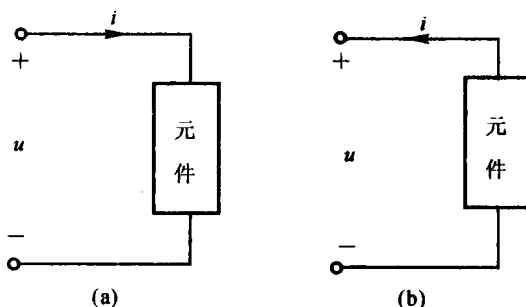


图 1.3.1 电路元件的功率

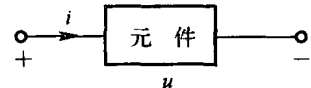
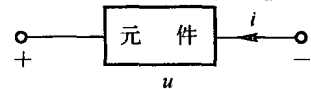
当 $P_{\text{发}} < 0$ 时,则说明电路元件实际是吸收功率;当 $P_{\text{发}} > 0$ 时,则说明电路元件实际是发出功率。

从上述结果同样可知 $P_{\text{吸}} = -P_{\text{发}}$ 或 $P_{\text{发}} = -P_{\text{吸}}$,即对同一个电路元件而言, $P_{\text{吸}}$ 与 $P_{\text{发}}$ 互为相反数,即不论用哪一种“功率定义”描述,所得结果都是相同且正确的。

因为电压 u 与电流 i 都是标量,故电功率 $P = ui$ 或 $P = -ui$ 也是标量。

现将电路元件功率的计算公式汇总于表 1.3.1 中,以便查用和复习。

表 1.3.1 电路元件功率的计算公式

参考方向	电 路	吸收的功率	发出的功率
关联方向		$P_{\text{吸}} = ui$	$P_{\text{发}} = -ui$
非关联方向		$P_{\text{吸}} = -ui$	$P_{\text{发}} = ui$

例 1.3.1 如图 1.3.1(a) 所示,已知 $u = 10 \text{ V}$, $i = -2 \text{ A}$;如图 1.3.1(b) 所示,已知 $u = -10 \text{ V}$, $i = 2 \text{ A}$ 。试判断电路元件实际是吸收功率还是发出功率。

解 不论是用“发出功率”的定义,还是用“吸收功率”的定义求解,都会得到正确的解答。对于图 1.3.1(a),用“发出功率”的定义求解。因为 u 与 i 为关联方向,故该电路元件发出的功率为

$$P_{\text{发}} = -ui = -10 \times (-2) = 20 \text{ W}$$

因为 $P_{\text{发}} = 20 \text{ W} > 0$,故该电路元件实际是发出功率。

对于图 1.3.1(b),用“吸收功率”的定义求解。因为 u 与 i 为非关联方向,故该电路元件吸收的功率为

$$P_{\text{吸}} = -ui = -(-10) \times 2 = 20 \text{ W}$$

因为 $P_{\text{吸}} = 20 \text{ W} > 0$,故该电路元件实际是吸收功率。

四、思考与练习

1.3.1 图 1.3.2 所示电路,试求图(a) 电路元件 A 吸收的功率和图(b) 电路元件 B 发出的功率。(答:0.5 W;0.5 W)

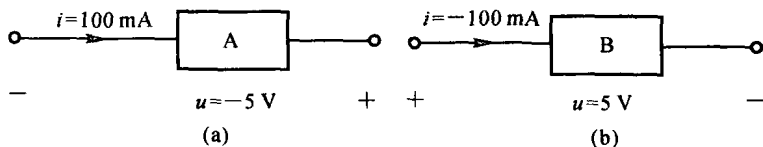


图 1.3.2

1.3.2 图 1.3.3 所示电路,已知 $u = 10 \text{ V}$, $i = -2 \text{ A}$,试求元件 A 发出的功率和元件 B 吸收的功率,并说明这两个功率之间的关系。(答: -20 W, -20 W, 相等)

1.3.3 图 1.3.4 所示电路,已知 $u_1 = 2 \text{ V}$, $u_2 = -4 \text{ V}$, $u_3 = 6 \text{ V}$, $i = 2 \text{ A}$ 。试判断 A, B, C 3 个元件哪个实际是发出功率的,哪个实际是吸收功率的。(答:吸,吸,发)

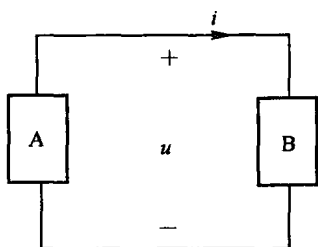


图 1.3.3

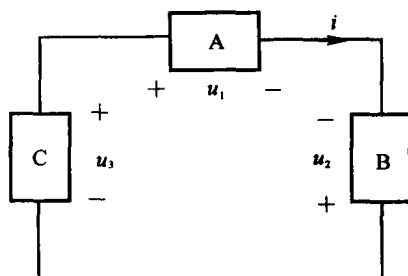


图 1.3.4

1.4 电阻元件与欧姆定律

一、定义

实际的电阻器以及电灯、电炉、电烙铁等家用电器,在实际使用时,若不考虑它们的电场效应和磁场效应,而只考虑其热效应,即可将它们视为理想电阻元件,简称电阻元件。可见,电阻元件就是实际电阻器的电路模型,它向外有两个引出端,所以电阻元件是二端电路元件,简称二端元件,如图 1.4.1 所示。

从数学上,电阻元件定义为:一个二端电路元件,若在任意时刻 t ,其端电压 u 与其中电流 i 之间的关系,可用 $u-i$ (或 $i-u$)平面上过坐标原点的曲线确定,即称此二端元件为电阻元件。

二、线性电阻元件

设电阻元件两端的电压 u 与其中的电流 i 为关联方向,如图 1.4.1 所示。若电阻元件的电压 u 与电流 i 的关系曲线(称为伏安关系曲线),为通过 $u-i$ (或 $i-u$)平面上坐标原点的直线,如图 1.4.2(a),(b)所示,则称此电阻元件为线性电阻元件,简称线性电阻。线性电阻元件有如下的性质:

1. 直线的斜率为电阻元件的电阻值 R ,即

$$\tan \alpha = \frac{u}{i} = R = \text{定值}$$

可见,直线的斜率 $\tan \alpha$ 即为电阻元件的电阻值 R ,这样就可用一个电阻 R 来作为电阻元件的电路模型,如图 1.4.2(c)所示。电阻 R 的单位为欧[姆](Ω)。当 α 为锐角时(见图 1.4.2(a)), $\tan \alpha = R > 0$,电阻为正电阻,正电阻为消耗电能的元件。当 α 为钝角时(见图 1.4.2(b)), $\tan \alpha = R < 0$,电阻为负电阻,负电阻为产生电能的元件。

电阻 R 的倒数 G 称为电导,即

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

电导 G 的单位为西[门子](S)。

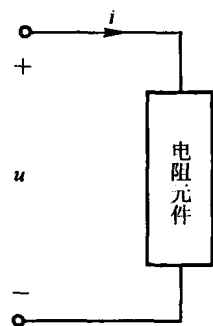


图 1.4.1 电阻元件

2. $u-i$ 关系曲线关于坐标原点对称,这说明线性电阻元件具有双向性。因此在使用线性电阻元件时,它的两个引出端是没有区别的,在电路中可以任意连接。

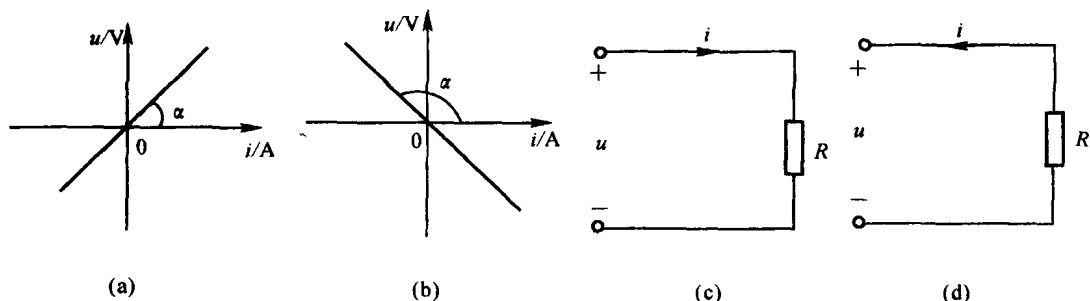


图 1.4.2 线性电阻元件

3. 线性电阻元件的伏安关系遵循欧姆定律。对于图 1.4.2(c) (u 与 i 为关联方向), 欧姆定律为

$$u = Ri$$

或

$$i = \frac{1}{R}u = Gu$$

但若对于图 1.4.2(d) (u 与 i 为非关联方向), 则欧姆定律为

$$u = -Ri$$

或

$$i = -\frac{1}{R}u = -Gu$$

可见, 欧姆定律方程中等号右端是取“+”号还是取“-”号, 与电压 u 的参考极性和电流 i 的参考方向密切相关。当 u 与 i 为关联方向时, 等号右端取“+”号; 当 u 与 i 为非关联方向时, 等号右端取“-”号。

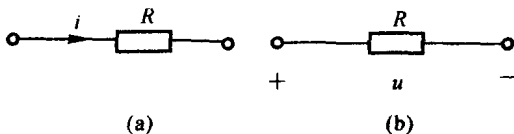


图 1.4.3 “不言而喻”的意义

在电路分析中, 为了叙述的简便, 往往并不把电阻 R 中电流 i 的参考方向及其两端电压 u 的参考极性同时设定出来, 而是只设定两者中之一, 如图 1.4.3(a), (b) 所示, 此时“不言而喻”, 就认为 u 与 i 相互是关联方向, 即欧姆定律方程一定为 $u = Ri$, 等号右端取“+”号。

三、线性电阻元件的功率与能量

1. 功率: 当 u 与 i 为关联方向时 (见图 1.4.2(c)), 电阻 R 吸收的功率为

$$P = ui = Ri^2 = \frac{1}{R}u^2$$

当 u 与 i 为非关联方向时 (见图 1.4.2(d)), 电阻 R 吸收的功率为

$$P = -ui = Ri^2 = \frac{1}{R}u^2$$

从以上两式都可看出, 当电阻元件为正电阻 (即 $R > 0$) 时, 恒有 $P > 0$, 即正电阻恒为消耗功率的元件; 当电阻元件为负电阻 (即 $R < 0$) 时, 恒有 $P < 0$, 即负电阻恒为发出功率的元件。