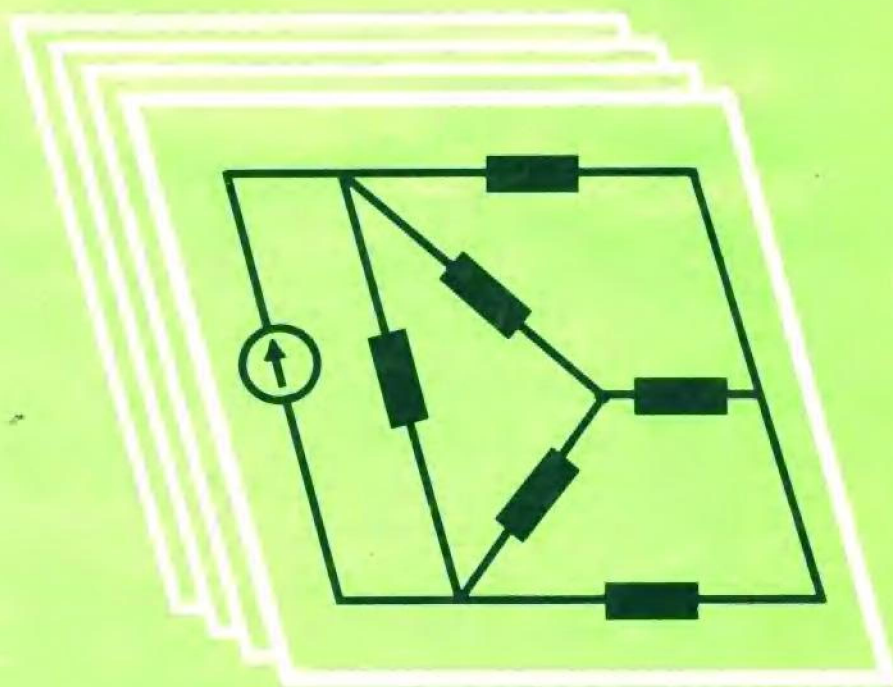


高等学校教材

电路

Circuit

孙宪君 黄锦安 编
钱建平 康泰兆



兵器工业出版社

电 路

孙宪君 黄锦安 编
钱建平 康泰兆

兵器工业出版社

内 容 简 介

本书是根据国家工科电工课程教学指导委员会制订的高等工业学校电路课程教学的基本要求编写的。全书执行了国家关于量和单位的最新标准。

全书共十四章。内容有电路模型和电路定律、简单电阻电路分析、电阻电路的一般分析、电路定理、一阶电路与二阶电路、正弦电流电路基础、正弦稳态电路的分析、含耦合电感的电路、三相电路、非正弦周期电流电路、运算法和网络函数、电路方程的矩阵形式、二端口网络和多端元件、非线性电阻电路。各章提供习题并附参考答案。

本书可作为普通高校电类专业电路、电路分析基础等课程的教材,也可供成人高校电类专业的学生和有关科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路/孙宪君等编. - 北京:兵器工业出版社, 1998.8
ISBN 7-80132-521-4

I. 电… II. 孙… III. 电路理论 IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 07261 号

兵器工业出版社 出版发行
(邮编: 100081 北京市海淀区车道沟 10 号)
各地新华书店经销
河南济源国营五三一印刷厂印装

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 25.75 字数: 631.8 千字
1998 年 8 月第 1 版 1998 年 8 月第 1 次印刷
印数: 1~6000 定价: 31.00 元

前 言

本书是根据国家工科电工课程教学指导委员会制订的高等工业学校电路课程教学的基本要求编写的,供电类各专业教学用书。

本书共十四章,按 108 学时教学要求编写。内容有电路模型和电路定律、简单电阻电路分析、电阻电路的一般分析、电路定理、一阶电路与二阶电路、正弦电流电路基础、正弦稳态电路的分析、含耦合电感的电路、三相电路、非正弦周期电流电路、运算法和网络函数、电路方程的矩阵形式、二端口网络和多端元件、非线性电阻电路。本书各章提供习题,并附有部分习题参考答案,有助读者掌握教材内容。

本书的编写是我们教研室为全面提高我校电路课程教学质量进行课程教学改革措施,也是电路课程重点建设的组成内容。教材的编写是在总结我校多年教学实践的基础上,参考已出版的同类优秀教材,根据我校各专业的具体需要以及教学时数较少的特点,在选材上突出基本内容和传统内容,强调基本概念和基本原理,力求少而精。编写时尽量做到教材内容的系统性、完整性、科学性和教学适用性的有机结合。

本书可作为普通高校电类专业电路、电路分析基础和电工基础等课程的教材,任课教员可根据各专业的特点、需要和教学时数,取舍其有关内容。本书也可供成人高校电类专业的学生和有关科技人员参考。

参加本书编写的有南京理工大学 1009 教研室孙宪君(第一、二、三、四章)、黄锦安(第六、七、八、十章)、钱建平(第五、九、十二章)、康泰兆(第十一、十三、十四章),全书由孙宪君统稿。

本书由余庆健教授、俞天锡教授仔细审阅并提出了很多宝贵意见。在编写过程中还得到校教材科、编辑出版中心、校教务处教学研究科、校自动化系有关领导以及电工教研室同志的大力支持和协助,在此一并表示深切的谢意。

限于编者的水平,对书中的不足与错误之处,希望使用本书的读者和教师给予批评指正。

编者

1997 年 10 月

目 录

第一章 电路模型和电路定律	1
§ 1-1 电路和电路模型	1
§ 1-2 电流和电压的参考方向	2
§ 1-3 功率和能量	4
§ 1-4 电阻元件	6
§ 1-5 电压源和电流源	8
§ 1-6 受控源	10
§ 1-7 基尔霍夫定律	11
习题一	16
第二章 简单电阻电路分析	21
§ 2-1 电阻的串联、并联和混联	21
§ 2-2 电阻的 Y- Δ 等效变换	27
§ 2-3 电压源、电流源的串联和并联	31
§ 2-4 电源的等效变换	34
§ 2-5 运用等效变换分析含受控源的电阻电路	36
习题二	38
第三章 电阻电路的一般分析	43
§ 3-1 支路电流法	43
§ 3-2 网孔电流法和回路电流法	47
§ 3-3 节点电压法	55
习题三	62
第四章 电路定理	66
§ 4-1 叠加定理	66
§ 4-2 替代定理	72
§ 4-3 戴维南定理和诺顿定理	74
§ 4-4 特勒根定理	82
§ 4-5 互易定理	85
§ 4-6 对偶原理	89
习题四	91

第五章 一阶电路和二阶电路	97
§ 5-1 电容元件	97
§ 5-2 电感元件	100
§ 5-3 一阶电路	103
§ 5-4 电路的初始条件	104
§ 5-5 一阶电路的零输入响应	106
§ 5-6 一阶电路的零状态响应	111
§ 5-7 一阶电路的全响应	116
§ 5-8 一阶电路的三要素法	117
§ 5-9 一阶电路的阶跃响应	122
§ 5-10 一阶电路的冲激响应	126
§ 5-11 卷积积分	132
§ 5-12 二阶电路的零输入响应	134
§ 5-13 二阶电路的零状态响应和阶跃响应	143
习题五	144
第六章 正弦电流电路基础	151
§ 6-1 正弦量	151
§ 6-2 正弦量的有效值	154
§ 6-3 相量法的基本概念	155
§ 6-4 基尔霍夫定律的相量形式	162
§ 6-5 正弦交流电路中的三种基本电路元件	163
习题六	170
第七章 正弦稳态电路的分析	174
§ 7-1 阻抗和导纳	174
§ 7-2 简单正弦稳态电路的分析, 相量图	180
§ 7-3 正弦稳态电路的功率	185
§ 7-4 正弦稳态电路的一般分析方法	192
§ 7-5 最大平均功率的传输	198
§ 7-6 正弦稳态电路的谐振	201
习题七	212
第八章 含耦合电感的电路	222
§ 8-1 互感	222
§ 8-2 含耦合电感的电路计算	226
§ 8-3 空芯变压器	233

§ 8-4 理想变压器	237
习题八	240
第九章 三相电路	246
§ 9-1 三相电源	246
§ 9-2 负载星形联接的三相电路	249
§ 9-3 负载三角形联接的三相电路	254
§ 9-4 三相电路的功率	257
§ 9-5 三相功率的测量	258
习题九	261
第十章 非正弦周期电流电路	264
§ 10-1 非正弦周期电流	264
§ 10-2 非正弦周期函数分解为傅里叶级数	265
§ 10-3 非正弦周期电流电路的计算	269
§ 10-4 非正弦周期电流电路的有效值和平均功率	273
习题十	276
第十一章 运算法和网络函数	279
§ 11-1 拉普拉斯变换	279
§ 11-2 拉氏变换的主要性质	280
§ 11-3 拉氏反变换	284
§ 11-4 电路定律的运算形式	288
§ 11-5 线性电路的复频域分析——运算法	290
§ 11-6 网络函数、极点和零点	295
习题十一	300
第十二章 电路方程的矩阵形式	308
§ 12-1 电路的图	308
§ 12-2 回路、树、割集	309
§ 12-3 关联矩阵、回路矩阵、割集矩阵	314
§ 12-4 矩阵 A 、 B_f 、 Q_f 之间的关系	319
§ 12-5 节点电压方程的矩阵形式	320
§ 12-6 状态方程	328
习题十二	333
第十三章 二端口网络和多端元件	337
§ 13-1 二端口网络	337

§ 13-2 二端口网络的方程和参数	338
§ 13-3 二端口网络的等效电路	345
§ 13-4 具有端接的二端口网络	347
§ 13-5 二端口网络的联接	351
§ 13-6 运算放大器	354
§ 13-7 回转器	360
习题十三	363
第十四章 非线性电阻电路	370
§ 14-1 非线性电阻	370
§ 14-2 非线性电阻的串联和并联	373
§ 14-3 分段线性化法	375
§ 14-4 小信号分析法	379
习题十四	382
部分习题参考答案	385

第一章 电路模型和电路定律

本章的内容源于物理,但又不同于物理,主要从电路理论方面提出问题。本章的内容是全书的基础,许多概念在以后各章中都要用到,因此,必须充分重视。

§ 1-1 电路和电路模型

当今社会,几乎处处可见电路。实际电路是由电路器件(例如电阻器、电容器、电感线圈、晶体管、变压器、电动机等)相互联接构成。在电路中随着电流的通过,可以完成能量的转换、传输、分配和信号的处理。例如,图 1-1(a)所示的一个简单的实际电路,其中电池供给

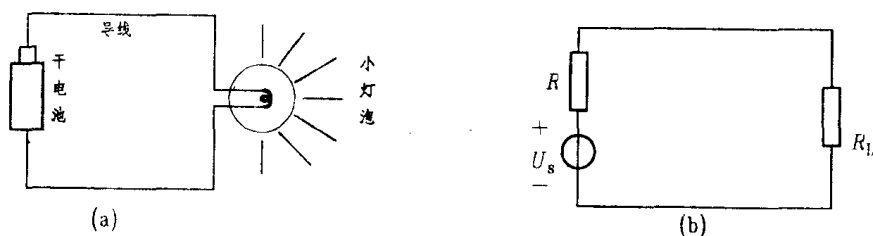


图 1-1 一个实际电路与其电路模型

电能,两根联接导线把电能传输到小灯泡,小灯泡把电能转换成热能和光能。通常把供给电能的电路器件称为电源,把利用电能的电路器件称为负载。又例如,在收音机中,天线接收的微弱的高频信号通过调谐电路、检波电路与放大电路的信号处理,最后变成了可供输出的音频信号。电路的信号处理作用广泛地应用于通讯和无线电技术中。

实际的电路器件多种多样,其工作过程都与电路中的电磁现象有关。有时由于电路器件的电磁性能交织在一起,使问题比较复杂,分析和研究也较困难,因此,实际电路分析需要建立电路模型。这种电路模型并非实际电路,而是在一定条件下对实际电路的科学抽象与近似描述,但是,能够足够准确地反映实际电路的电磁现象和性质。

电路模型由各种理想电路元件组成,每一种理想电路元件都有一种数学模型,都有各自的精确定义。理想电路元件虽然不是实际电路器件,但是,有一些理想电路元件是实际电路器件的理想化或者近似模拟。例如,理想电阻元件表示消耗电能的特征,白炽灯、电阻器和电炉等实际电路器件,在一定条件下都可以用理想电阻元件作为电路模型。理想电容元件表示储存电场能量的特征,各式各样的实际电容器在一定条件下都可以用理想电容元件作为电路模型。理想电感元件表示储存磁场能量的特征,各种类型的实际电感线圈在一定条件下都可以用理想电感元件作为电路模型。理想电压源元件表示提供固定电压的特征,干电池、蓄电池和发电机等实际电源在一定条件下都可以用理想电压源元件或者用理想电压源元件串联理想电阻元件作为电路模型。图 1-(a)所示的简单实际电路的电路模型如图 1-1

(b)所示。另外,有一些理想电路元件并没有与之对应的实际电路器件,然而可以用理想电路元件或者它们的组合来反映某些比较复杂的实际电路器件的主要特性和电路功能。例如,理想受控源元件便是这类理想电路元件。

尽管理想电路元件只是实际电路器件的理想化、近似化,只是用来反映实际电路器件的主要电磁性能,但是,在一定条件下,由理想电路元件组成的电路模型得出的数学关系却能够反映实际电路的基本物理规律。大量的实践已经充分证明:只要电路模型建立得恰当,对电路模型的分析结果与对应的实际电路的测试结果基本上是一致的。

应该说明,理想电路元件不完全等同于实际电路器件,就是同一个实际电路器件在不同的条件下可能要用不同的电路模拟。例如,当工作频率比较低时,一个电感线圈可以用一个理想电阻元件与一个理想电感元件的串联组合作为它的电路模型。但是,当工作频率比较高时,电感线圈绕线之间的电容效应便不可忽略,因此,其比较精确的电路模型中还应当包含理想电容元件。本书不讨论如何建立实际电路的电路模型问题,讨论的电路一般均指由理想电路元件组成的电路模型,并非实际电路。今后凡是提到的电路元件均指理想电路元件,并非实际电路器件。

上述把消耗电能、储存电场能量、储存磁场能量的特征分别集中在理想电阻元件、理想电容元件、理想电感元件的假设称为集总参数假设(简称集总假设)。对于集总参数元件(简称集总元件),在任何时刻,流入元件任意一端钮的电流和元件任意的端钮之间的电压都是单值的物理量。由集总元件组成的电路称为具有集总参数的电路,简称集总电路。

应该指出,在一定条件下建立的集总电路是符合实际情况而且是可行的,条件是要求实际电路的整体尺寸要远远小于电路正常工作频率对应的信号波长。例如,在音频范围内,频率约为 20Hz 到 20kHz,对应的信号波长约为 1500km 到 15km。对于实验室常用电路尺寸而言,与此信号波长相比较完全可以忽略,因此,应用集总电路模型是适用的。但是,对于数百千米甚至上千千米的电力系统输电线路而言,如果采用集总电路模型进行分析,误差就会相当大。也就是说,此时集总电路模型不适宜了,要用分布参数电路模型进行分析。又例如,电视机从接收天线得到的电视信号可达 100MHz,对应的信号波长约 3m,因此,电视机与天线之间的联接导线并非一般普通导线,而要用同轴线或馈线,也就是说用集总电路模型分析就不适宜了。至于正常工作频率更高的电子计算机、微波电路,对应的信号波长更短,显然用集总电路模型进行分析不适宜。本书只讨论满足集总假设条件的集总电路。

电路理论是研究电路分析和电路综合或设计的一门基础工程学科。所谓电路分析是指在已知电路结构和参数的条件下分析由输入(或激励)产生的输出(或响应)或者网络函数。所谓电路综合或设计是指在已知输入和输出的条件下综合或设计满足条件的电路的结构和参数。电路分析的内容十分丰富,应用相当广泛,本书主要介绍电路分析的基本理论和方法。

§ 1-2 电流和电压的参考方向

电路中的物理量主要有电流、电压、电荷和磁通,功率和能量也很重要。这些物理量可以定量地描述电路元件的特性和电路的性状,它们一般都是时间的函数,互有联系,可以相

互表示。在电路分析中,一般选用电流和电压做为基本物理量,通过这两个基本物理量可以比较方便地表示电路中其他物理量。

电荷的定向运动形成电流。在导线中或在电路元件中,电流流动的实际方向只有两种可能,如图 1-2 所示。当有正电荷的净流量从元件的 A 端流入并从其 B 端流出时,习惯上认为电流的实际方向是从元件的 A 端流向其 B 端;反之,则认为电流实际方向是从元件的 B 端流向其 A 端。



图 1-2 电流方向

在电路分析中,有时对于比较复杂电路中某一段电路的电流实际流动方向很难直观预测,况且电流的实际方向有时又在不断地改变,因此,直接标明电路中电流的实际方向是比较困难的。为此,引入电流的参考方向概念。

为了分析需要,把电流视为代数量,首先对电路元件中电流的某一个可能方向指定为电流的方向,称此方向为电流的参考方向。所指定的电流参考方向具有任意性,并非一定就是电流的实际方向。然后,在指定电流参考方向下,如果电流为正值($i > 0$),则表示该电流的实际方向与指定的电流参考方向相同。反之,如果电流为负值($i < 0$),则表示该电流的实际方向与指定的电流参考方向相反,如图 1-3 所示,图中实线箭头表示电流的参考方向,虚线箭头表示电流的实际方向。



图 1-3 电流的参考方向

在指定电流参考方向下,根据电流数值的正与负便可以确定电流的实际方向;反过来讲,电流数值的正与负只有在指定电流参考方向下才具有明确的物理意义。

电流参考方向是任意指定的,一般用实线箭头标明在电路中。今后,除了特别说明外,凡是本书提及的电流方向均指电流参考方向。

类似地,电路中任意两点之间的电压的实际方向(或极性)也只有两种可能,习惯上把高电位点指向低电位点的方向规定为电压的实际方向(或极性)。为了分析方便,把电压视为代数量,在指定电压参考方向下,如果电压为正值($u > 0$),则表示该电压的实际方向与指定的电压参考方向相同。反之,如果电压为负值($u < 0$),则表示该电压的实际方向与指定的电压参考方向相反,如图 1-4 所示,图中实线箭头(或+、-号)表示电压的参考方向(或极性),而虚线箭头(或+、-号)表示电压的实际方向(或极性)。

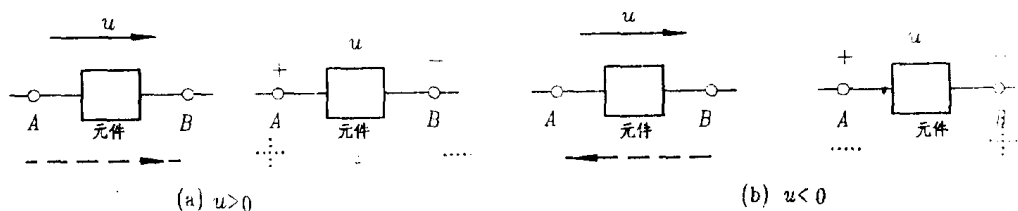


图 1-4 电压的参考方向(或极性)

电路中任意两点之间的电压等于该两点的电位之差,因此,电压又称为电位差。例如 $u_{AB} = u_A - u_B$, 当 $u_{AB} > 0$ 时表示 A 点电位 u_A 高于 B 点电位 u_B 。反之, $u_{AB} < 0$ 时表示 A 点电位 u_A 低于 B 点电位 u_B , 即 B 点电位高于 A 点电位。在指定电压参考方向下,根据电压数值的正与负,便可以确定该电压的实际方向。反过来讲,电压数值的正与负,也只有在指定的电压参考方向下才具有明确的物理意义。

电压参考方向是任意指定的,一般在电路中用实线箭头表示或者用正(+)、负(-)极性表示,正(+)极指向负(-)极的方向是电压参考方向。另外还可以采用双下标表示。例如电压 u_{AB} 表示电路中 A 点和 B 点之间的电压,其参考方向是由 A 点指向 B 点(或 A 点为正(+)极, B 点为负(-)极)。

在电路分析中,电流和电压的参考方向是相当重要的概念。对于一个电路元件或一段电路电流和电压的参考方向可以彼此独立地任意指定。为了分析方便,常常指定电流参考方向和电压参考方向一致,如图 1-5(a)所示,即指定电流从标明电压“+”极性的一端流入并从标明电压“-”极性的一端流出,称此参考方向为关联参考方向。这样,在电路图中只需标出电流的参考方向,如图 1-5(b)所示;或者只标出电压的参考极性,如图 1-5(c)所示。

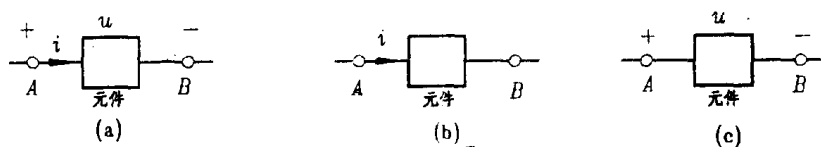


图 1-5 电流和电压的关联参考方向

§ 1-3 功率和能量

在电路分析中,通常把任意时刻 t (瞬时)的物理量用小写字母表示,例如电流用 $i(t)$ 、电压用 $u(t)$ 、功率用 $p(t)$ 、能量用 $w(t)$ 表示,而且分别简写为 i 、 u 、 p 、 w 。

在图 1-6(a)所示电路中,电路元件的电流和电压采取关联参考方向。根据电流和电压的物理含义,可以知道在 t 时刻电路元件吸收的瞬时功率为

$$p = ui \quad (1-1)$$

如果式(1-1)中电压 u 单位为伏(V),电流 i 单位为安(A),则功率 p 单位为瓦(W)。

根据由式(1-1)计算得到 t 时刻功率数值的正或负,便可以确定该时刻元件是吸收功

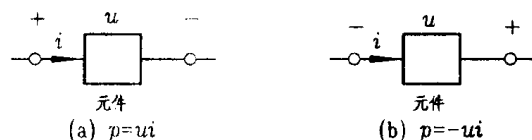


图 1-6 电路元件吸收功率的计算

率还是发出功率。当 $p > 0$ 时表示该时刻元件吸收功率 p 瓦, 当 $p < 0$ 时表示该时刻元件实际上向外发出功率 $|p|$ 瓦。

注意, 如果电流和电压的参考方向相反, 即采取非关联参考方向, 如图 1-6(b) 所示, 则在 t 时刻电路元件吸收的瞬时功率为

$$p = -ui \quad (1-2)$$

根据式(1-2)和式(1-1)计算得到 t 时刻电路元件吸收瞬时功率数值的正或负的意义是相同的, 即当 $p > 0$ 时表示该时刻电路元件吸收功率 p 瓦, 当 $p < 0$ 时表示该时刻电路元件实际上向外发出功率 $|p|$ 瓦。

上述有关功率的讨论同样适用于任何一段电路, 不局限于一个电路元件。

例 1-1 在图 1-7 所示的一段电路中, 已知电流、电压的参考方向和某时刻的数值, 分别计算该时刻各段电路的功率。

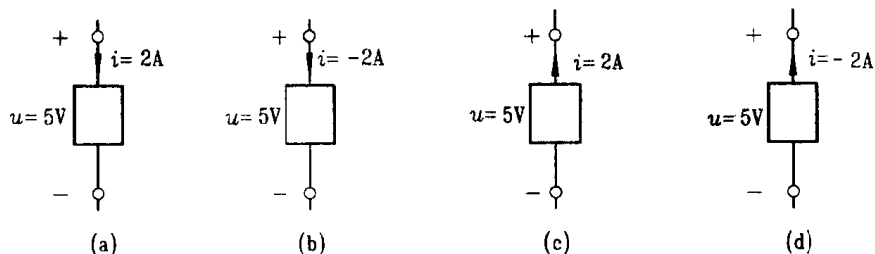


图 1-7 例 1-1 电路

解 图 1-7(a) 和 (b) 所示电路中电流和电压均采取关联参考方向, 因此, 可以应用式(1-1)计算电路在该时刻吸收的功率。

对于图 1-7(a)

$$p = ui = 5 \times 2 = 10\text{W}$$

说明该电路在该时刻吸收功率 10W。

对于图 1-7(b)

$$p = ui = 5 \times (-2) = -10\text{W}$$

说明该电路在该时刻吸收功率 -10W, 实际上该电路在该时刻向外发出功率 10W。

图 1-7(c) 和 (d) 所示电路中电流和电压均采取非关联参考方向, 因此, 要应用式(1-2)计算该电路在该时刻吸收的功率。

对于图 1-7(c)

$$p = -ui = -5 \times 2 = -10\text{W}$$

说明该电路在该时刻吸收功率 -10W, 实际上该电路在该时刻向外发出功率 10W。

对于图 1-7(d)

$$p = -ui = -5 \times (-2) = 10\text{W}$$

说明该电路在该时刻吸收功率 10W。

在电流和电压采取关联参考方向下,对式(1-1)等号两边从时刻 t_0 到 t 进行积分,便得到电路从时刻 t_0 到 t 吸收的能量

$$W = \int_{t_0}^t p d\tau = \int_{t_0}^t u i d\tau \quad (1-3)$$

如果电流和电压采取非关联参考方向,则电路从时刻 t_0 到 t 吸收的能量

$$W = - \int_{t_0}^t p d\tau = - \int_{t_0}^t u i d\tau \quad (1-4)$$

根据应用式(1-3)或式(1-4)计算得到的能量为正值或负值,便可以确定从时刻 t_0 到 t 电路是吸收能量还是发出能量。当 $W > 0$ 时说明电路从时刻 t_0 到 t 吸收能量,当 $W < 0$ 时说明电路从时刻 t_0 到 t 向外发出能量 $|W|$ 。当电流和电压的单位分别为 A 和 V、时间单位为秒(s)时,则能量单位为焦(J)。

§ 1-4 电阻元件

本书讨论的电路是由理想电路元件组成的电路模型,本节和后续有关章节将陆续介绍一些理想电路元件,其中无源二端元件包括线性二端电阻元件、线性二端电容元件、线性二端电感元件等,有源二端电路元件包括理想电压源和理想电流源,还有四端电路元件——受控源,受控源也称为非独立源。

本节讨论线性二端电阻元件,为了简化,下面将略去“二端”和“元件”四字,线性电阻的电路图形符号如图 1-8 所示。

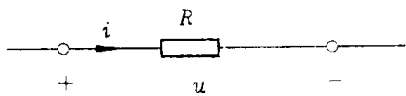


图 1-8 线性电阻

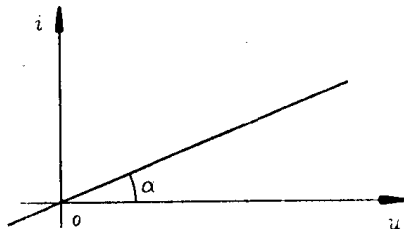


图 1-9 线性电阻的伏安特性

线性电阻是一个二端理想电路元件,在任何时刻,其两端电压与其电流的关系遵循欧姆定律,即在电流和电压关联参考方向下,任何时刻线性电阻的电压 u 和电流 i 的关系为

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

式(1-5)也称为线性电阻的伏安关系,式中 R 称为线性电阻的参数——电阻,它是联系线性电阻的电压和电流的一个正实常数。式(1-5)说明线性电阻的电流与其电压成正比。当式(1-5)中电压和电流的单位分别为 V 和 A 时,电阻的单位为欧(Ω)。习惯上,既用电阻表示电阻元件的电阻值,又把电阻元件简称为电阻。

如果把电阻电压取为横坐标,把电阻电流取为纵坐标,则可以在 $u-i$ 平面上画出电阻

电压和电流的关系曲线,称该曲线为电阻的伏安特性(曲线)。线性电阻的伏安特性(曲线)是一条通过 $u-i$ 平面上坐标原点的直线,如图 1-9 所示。

根据图 1-9 所示的 $u-i$ 平面的伏安特性(曲线),可以由下式确定线性电阻的电阻值

$$R = \frac{u}{i} = \frac{m_u}{m_i} \operatorname{ctg} \alpha \quad (1-6)$$

式中 m_u 或 m_i 分别为电阻电压和电流在 $u-i$ 平面的坐标比例尺, α 为伏安特性曲线与电压坐标轴之间的夹角。

如果令 $G=1/R$, 则式(1-5)变为

$$i = Gu \quad (1-7)$$

式中 G 称为线性电阻的另一个参数——电导,它也是一个正实常数,其单位为西门子,简称西(S)。

应当注意,在线性电阻的电流和电压采取关联参考方向下才能应用式(1-5)和式(1-7)。当线性电阻的电流和电压采取非关联参考方向时,其伏安关系应该为

$$u = - Ri \quad (1-8)$$

$$i = - Gu \quad (1-9)$$

也就是说,线性电阻的伏安关系式必须与其电流、电压的参考方向配套使用。

在电流和电压采取关联参考方向下,任何时刻,线性电阻吸收的功率为

$$p = ui = Ri^2 = Gu^2 \quad (1-10)$$

由式(1-10)可知,由于线性电阻的电阻 R 和电导 G 均为正实常数,故其吸收的功率恒为非负值,这说明线性电阻在任何时刻都不可能向外发出功率,它吸收的功率(电能)将全部转变成其它非电能量消耗掉或者作为其他用途。因此,线性电阻($R>0$)不仅是无源元件,而且是耗能元件。

如果线性电阻吸收的电能全部转变为热能,那末从时刻 t_0 到 t 产生的热能为

$$Q = \int_{t_0}^t p d\tau = \int_{t_0}^t ui d\tau = \int_{t_0}^t Ri^2 d\tau = \int_{t_0}^t Gu^2 d\tau \quad (1-11)$$

即线性电阻从时刻 t_0 到 t 产生的热能 Q 在数值上等于它从时刻 t_0 到 t 所消耗的电能 W , 式中热能 Q 的单位与电能 W 的单位相同,均为焦耳,简称焦(J)。

线性电阻是遵循欧姆定律的无源、耗能的二端理想电路元件。对于某些实际电阻器,例如金属膜电阻器、碳膜电阻器、线绕电阻器等,在一定的工作范围内,它们的电阻值基本不变,用线性电阻作为电路模型可以得到满意的结果。但是应当注意,实际电阻器的电压和电流都有一定的限额,超过这些限额将会由于过电压或过电流而损坏电阻器。通常把上述限额称为额定值,例如额定电压、额定电流、额定功率等。在使用时不仅选择正确的电阻值,而且不应该超过额定值,保证实际电阻器正常安全地工作。

例 1-2 图 1-10 所示线性电阻 $R=2\Omega$, 某时刻其电压 $u=5V$, 求该时刻流过该电阻的电流和它吸收的功率。

解 图 1-10 所示线性电阻 R 的电流和电压采取非关联参考方向,因此,应用式(1-8),得

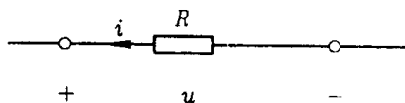


图 1-10 例 1-2 的电路

$$i = -u/R = -5/2 = -2.5\text{A}$$

说明电流实际方向与图示参考方向相反,其电流为2.5A。

该电阻吸收的功率,应用式(1-10)得到

$$p = u^2/R = 5^2/2 = 12.5\text{W}$$

或

$$p = Ri^2 = 2 \times (-2.5)^2 = 12.5\text{W}$$

也可以应用式(1-2)得到

$$p = -ui = -(5) \times (-2.5) = 12.5\text{W}$$

§ 1-5 电压源和电流源

本节介绍另外两个理想电路元件——电压源和电流源。

电压源是理想二端有源元件,它具有下列两个特点:(1)电压源输出电压 u 是恒定值或者是一定的时间函数,不会因为它联接不同的外电路而改变,即电压 $u = u_s$,其中电压 u_s 是电压源电压;(2)电压源的电流将随着与其联接的外电路不同而改变。

电压源的电路图形符号如图 1-11(a)所示,图中 u_s 是电压源电压,“+”、“-”号是其参考极性。如果电压源电压为常数,即 $u_s = U_s$,则称其为直流电压源。直流电压源的电路图形符号也可以用图 1-11(b)表示,其中长细线段表示电压源的高电位端(正极),短粗线段表示电压源的低电位端(负极)。直流电压源的伏安特性曲线如图 1-12 所示,在 $i - u$ 平面上,任何时刻其电压都是一条与电流轴平行的直线。

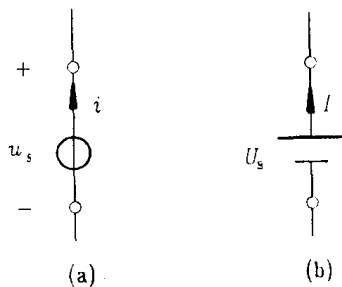


图 1-11 电压源

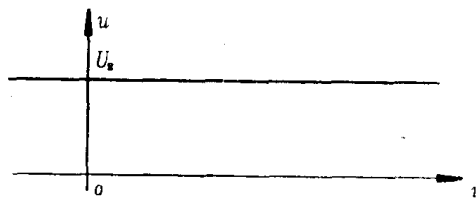


图 1-12 直流电压源伏安特性

在电压源的电压是已知的情况下,其电流数值和方向与电压源联接的外电路有关。当电压源联接外电路后,如果实际电流从电压源的高电位端流出经过外电路流回电压源的低电位端,则该电压源向外发出功率,起到电源作用;反之,如果实际电流从电压源的低电位端流出经过外电路流向电压源的高电位端,则该电压源吸收功率,此时的电压源不起电源作用,而是外电路的负载。

某些实际电源,例如化学电池、直流发电机等,在一定的工作电流范围内可以提供恒定的电压,因此,可以用直流电压源作为它们的电路模型。一般讲,实际电压源输出电压都会随其电流的变化而改变,电流越大,电压就会越降低,因此,可以用一个电压源和一个电阻的串联组合作为其电路模型。实际直流电压源的电路模型与其伏安特性,分别如图 1-13(a)和(b)所示。在图 1-13(a)所示电压与电流的参考方向下,实际直流电压源的输出电压 U 、电路模型中电压源电压 U_s 和串联电阻 R 两端电压 RI 之间的关系为

$$U = U_s - RI \quad (1-12)$$

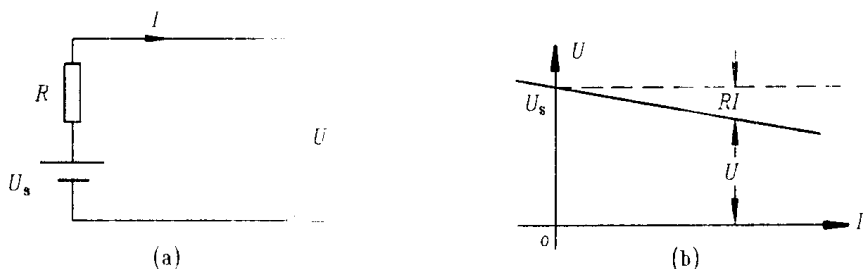


图 1-13 实际直流电压源的电路模型及其伏安特性

电流源也是一种理想二端有源元件,它具有下列两个特点:(1)电流源输出的电流 i 是恒定值或者是一定的时间函数,不会因为它联接不同的外电路而改变,即 $i = i_s$,其中 i_s 是电流源电流;(2)电流源的电压将随着与其联接的外电路不同而改变。

电流源的电路图形符号如图 1-14 所示,图中 i_s 是电流源电流,箭头所指方向是其参考方向。如果电流源电流为常数,即 $i_s = I_s$,则称其为直流电流源。直流电流源的伏安特性曲线如图 1-15 所示,在 $u-i$ 平面上任何时刻它都是一条与电压轴平行的直线。

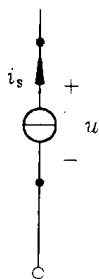


图 1-14 电流源

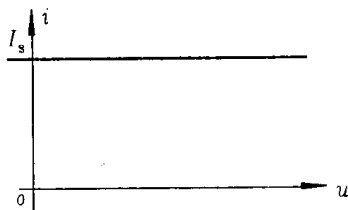


图 1-15 直流电流源的伏安特性

当电流源的电流是已知时,但其电压数值和极性却与电流源联接的外电路有关。当电流源联接外电路后,如果电流流出端是其实际电压的高电位端,则该电流源向外发出功率,起电源作用;反之,如果电流流出端是其实际电压的低电位端,则该电流源吸收功率,此时的电流源不起电源作用,而是作为外电路的负载。

某些实际电源,例如光电池等,在一定的工作电压范围内可以提供恒定的电流,因此,可以用直流电流源作为电路模型。一般讲,实际电流源输出电流都会随其电压的变化而改变,因此,可以用一个电流源和一个电导的并联组合作为电路模型。实际直流电流源的电路模型与其伏安特性分别如图 1-16(a)和(b)所示。实际直流电流源的输出电流 I 、电路模型中电流源电流 I_s 和并联电导 G 中电流 GU 之间关系在图 1-16(a)所示参考方向下为

$$I = I_s - GU \quad (1-13)$$

电压源电压和电流源电流都不受其联接的外电路的影响。当它们作为发出功率的电源时,在电路中起“激励”作用,称这类电源为独立电源,简称独立源。

如果一个电压源的电压 $u_s = 0$,则其伏安特性曲线为 $i-u$ 平面上的电流轴,也就是说,电压为零的电压源相当于短路,可以用“短路”替代。如果一个电流源的电流 $i_s = 0$,则其伏安特性曲线为 $u-i$ 平面上的电压轴,也就是说,电流为零的电流源相当于开路,可以用“开