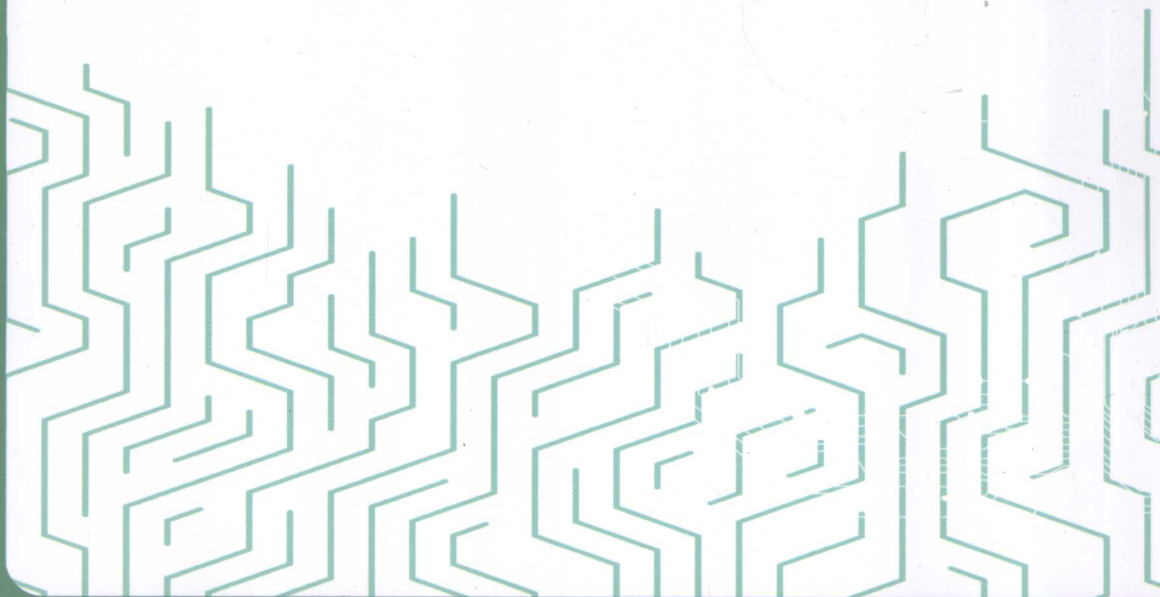


高等学校应用型本科“十三五”规划教材（电子信息类）

电路分析基础

D IANLU FENXI JICHU

主编 张昌玉



HEUP 哈尔滨工程大学出版社

高等学校应用型本科“十三五”规划教材(电子信息类)

电路分析基础

主 编 张昌玉
副主编 苑鹏涛 白亚梅 郭 宏
计京鸿 姜 桥 董 岩

 哈尔滨工程大学出版社

内容简介

本书是为满足应用型人才培养的教学需求,依据应用型人才培养的教学特点编写的。由浅入深地介绍了电路的基本概念和基本定律、常用电路元件和电路的等效变换、线性电阻电路的一般分析方法、电路的基本定理、动态电路的时域分析、正弦稳态电路的相量分析法、三相正弦交流电路、非正弦周期电流电路、二端口网络和非线性电路简介共 10 章。附录 A 和附录 B 介绍对电工仪表及常用电工工具及仪表的使用,附录 C 科普用电安全及防护常识。

本书可作为应用型高等院校应用电子、电子信息工程、通信工程、自动化、电气工程及其自动化等电气类专业的教材,也可供自学考试和成人教育有关专业选用,还可供科技人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

电路分析基础/张昌玉主编. —哈尔滨:哈尔滨
工程大学出版社,2016.2

ISBN 978 - 7 - 5661 - 1209 - 5

I. ①电… II. ①张 III. ①电路分析 - 教材 IV.
①TM133

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 008349 号

选题策划 吴振雷
责任编辑 张玮琪
封面设计 恒润设计

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451 - 82519328
传 真 0451 - 82519699
经 销 新华书店
印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂
开 本 787mm × 1 092mm 1/16
印 张 16.5
字 数 388 千字
版 次 2016 年 2 月第 1 版
印 次 2016 年 2 月第 1 次印刷
定 价 36.00 元

<http://www.hrbeupress.com>

E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

前 言

电路分析基础是高等学校电气信息类和电子信息类各专业的基础课。通过本课程的学习,学生可获得电路的基本知识、基本理论、基本的分析方法和基本电路实验技能,为学习、提高专业技能打下坚实的基础。

本书主要是针对应用型本科院校和高等职业院校电气信息类专业编写的。根据“电路分析基础”课程的性质和任务,结合应用型人才培养目标和要求,本书精挑教材内容、简化理论推导,强化应用,贴近专业需求,从而达到易教、易学、易用的教学目的。在内容编排上注重结合应用型的特点,力求做到基础理论够用,对公式、定理的推导及证明从简;重点介绍电路的基本概念、电路的基本定理、电路的基本分析方法,突出理论应用于实践的特色,提高实践应用能力,为后续课程(电子技术基础、信号与系统、高频电子线路)的学习准备必要的电路理论知识和分析方法。

本书由张昌玉担任主编,苑鹏涛、白亚梅、郭宏、计京鸿、姜桥、董岩担任副主编。

在本书编写过程中得到了各参编院校领导和教师的大力指导和帮助,在此表示衷心感谢。

由于编者的水平有限,书中难免存在错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

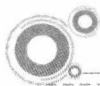
编者联系方式:z_changyu110@163.com。

编者

2016年1月

目 录

第 1 章 电路的基本概念和基本定律	1
1.1 电路的基本概念	1
1.2 电路的基本物理量	3
1.3 基尔霍夫定律	8
习题 1	14
第 2 章 常用电路元件和电路的等效变换	19
2.1 电阻元件	19
2.2 动态元件	25
2.3 有源元件及实际电源的等效变换	28
习题 2	37
第 3 章 线性电阻电路的一般分析方法	42
3.1 支路电流法	42
3.2 回路电流法	43
3.3 节点电压法	45
3.3 弥尔曼定理	48
习题 3	51
第 4 章 电路的基本定理	56
4.1 叠加定理	56
4.2 等效电源定理	58
4.3 最大功率传输定理	64
4.4 置换定理	68
习题 4	71
第 5 章 动态电路的时域分析	77
5.1 动态电路方程的建立	77
5.2 电路初始条件的确定	79
5.3 一阶电路的零输入响应	81
5.4 一阶电路的零状态响应	85
5.5 一阶电路的完全响应	87



5.6 一阶电路的三要素法	88
习题5	92
第6章 正弦稳态电路的相量分析法	98
6.1 正弦交流电的基本概念	98
6.2 正弦交流电的相量表示法	101
6.3 三种基本电路元件伏安关系的相量表示	105
6.4 阻抗和导纳	110
6.5 正弦稳态电路的分析	116
6.6 正弦交流电路的功率	119
6.7 功率因数的提高	122
6.8 电路的谐振状态	123
6.9 互感电路	126
习题6	135
第7章 三相正弦交流电路	141
7.1 三相电源	141
7.2 三相负载的连接及其电压电流关系	144
7.3 对称三相电路的计算	147
7.4 不对称三相电路的分析	149
7.5 负载的功率	150
习题7	153
第8章 非正弦周期电流电路	156
8.1 非正弦周期量	156
8.2 非正弦周期量的谐波分析	158
8.3 非正弦周期量的有效值、平均值和平均功率	164
8.4 非正弦周期电流电路的计算	168
习题8	172
第9章 二端口网络	177
9.1 二端口网络的基本概念	177
9.2 二端口网络的基本方程和参数	179
9.3 二端口网络参数的计算	186
9.4 含线性二端口网络的电路分析	189
9.5 理想变压器与互易二端口网络	190
9.6 二端口网络的连接	192

9.7 二端口网络应用——滤波器简介	195
习题9	202
第10章 非线性电路简介	207
10.1 非线性电阻元件	207
10.2 非线性电路的方程	212
10.3 小信号分析法	215
习题10	220
附录A 电工仪表简介	225
A.1 电工仪表的分类及符号	225
A.2 仪表准确度等级	226
附录B 常用电工工具及仪表的使用	228
B.1 试电笔	228
B.2 电工刀	229
B.3 螺丝刀	229
B.4 钢丝钳	229
B.5 尖嘴钳	230
B.6 斜口钳	230
B.7 剥线钳	231
B.8 电烙铁	231
B.9 高压验电器	232
B.10 钳形电流表	233
B.11 兆欧表	234
B.12 直流单臂电桥	236
B.13 指针式万用表	237
B.14 数字万用表	240
B.15 交流毫伏表	241
附录C 用电安全及防护	244
C.1 用电安全	244
C.2 防止触电的技术措施	244
习题答案	249
参考文献	254

第 1 章 电路的基本概念和基本定律

本章介绍电路模型及电路的一些基本概念,电路中常用的基本物理量,基尔霍夫定理。通过本章学习掌握基尔霍夫定理应用及参考方向在电路分析中的作用。

1.1 电路的基本概念

1.1.1 电路的组成及其基本功能

在实际生产和生活中,为了实现某种实际功能,用导线将一些具有电气特性的元件相互连接形成电流的通路,这就是实际电路。

以日常生活中的手电筒电路为例,如图 1-1(a)所示,实际电路一般由三部分构成。第 1 部分是电源电路,是为后续电路提供能量,它是产生电能和电信号的装置,如电池等;第 2 部分是负载电路,是将电能转换成其他形式的能量或者将电信号传输给其他的电路,如灯泡等;第 3 部分是传输和控制电路,它的作用是将电能传输给负载或对其进行相应的控制,如导线、控制电能通断的开关等。

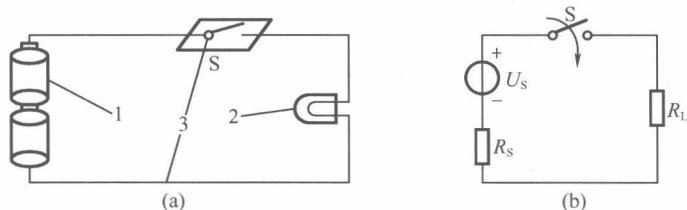


图 1-1 实际电路的组成和电路模型

实际电路概括地说有两方面作用。

一是对能量传输、转换的应用,如电力系统。发电机将其他形式的能源转换为电能,再通过变压器和输电线路将电能输送给企业生产线、办公场所及千家万户的用电设备,这些用电设备再将电能转换为机械能、热能、光能或其他形式的能量,具有这种功能的电路一般被称为电力电路。

二是实现信号的处理、转换和传输,如收音机或电视机电路,是将接收到的电信号经过调谐、滤波、放大等处理,使其成为人们所需要的其他信号。通信系统则是建立在信息的发送者和接收者之间用来完成信息的处理和传递的实际电路,这样的电路一般被称为电子电路。电路的这种作用在现代自动控制技术、通信技术和计算机技术中都得到了广泛的应用。

1.1.2 理想电路元件及电路模型

实际电气器件的电磁性质比较复杂,为了便于分析实际电路,人们根据实际器件的主要电磁性能引入一些由数学定义的假想电路元件,称为理想电路元件,简称元件。可将电路元件理想化(或称模型化),忽略其次要因素,将其近似地看作理想电路元件。例如白炽灯主要消耗电能,对电流呈现“阻力”的电阻性质,通过电流要消耗电能,又有磁能产生,磁能相对消耗的电能十分微弱,可以只考虑其消耗电能的性能而忽略其磁场的作用,故将白炽灯可近似看作纯电阻元件。

每种电路元件所表现的基本现象,都可以用精确的数字表达式来描述,都可以用确定的电磁性能和精确的数学定义。在一定条件下,用这些元件或元件的组合模拟实际电路中的器件,作为它的模型即为电路模型。

常用的电路模型有以下四种:

(1) 电阻元件,把主要电磁特性为消耗电能的实际器件用电阻元件模型来表征,其电路模型如图 1-2(a) 所示,如灯泡;

(2) 电感元件,把主要电磁特性为存储磁场能量的实际器件用电感元件来表征,其电路模型如图 1-2(b) 所示,如电感线圈等;

(3) 电容元件,把主要电磁特性为存储电场能量的实际器件用电容元件模型来表征,其电路模型如图 1-2(c) 所示,如电容器等;

(4) 电源元件,把主要电磁特性为提供电能的实际器件或设备用电源元件来表征,其电路模型如图 1-2(d)(e) 所示,如电池、发电机等。

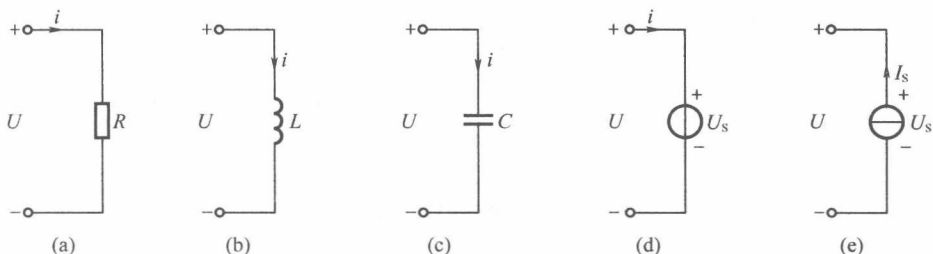


图 1-2 常用电路元件理想电路模型

用规定的电路符号表示各种理想元件而得到的电路模型图称为电路原理图,简称电路图。电路图只反映电器设备在电磁方面相互联系的实际情况,图 1-1(b) 就是一个按规定符号画出的图 1-1(a) 的电路图。

注意,理想元件不完全等同于电路器件,而一个电路器件在不同条件下的电路模型也可能不同;电路模型是对实际电路在一定程度上的近似反映,反映得越精确,建立的模型将越复杂;电路理论研究的对象不是实际电路,而是电路模型。电路模型简称为电路。从给定的电路模型研究功能就是电路分析;从给定电路的性能指标探讨如何构成一个符合要求的电路模型则是电路设计。

1.2 电路的基本物理量

1.2.1 电流及其参考方向

1. 电流

电荷定向移动形成电流。把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 来表示,即

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

习惯上规定正电荷运动的方向(即负电荷的反方向)为电流的实际方向。

大小和方向不随时间变化的电流叫作恒定电流或者直电流,简称直流(记作 DC 或 dc),一般用大写字母 I 表示,并有

$$I = \frac{q}{t} \quad (1-2)$$

式中, q 表示在时间 t 内通过的电荷量。

周期性变动且平均值为零的电流称为交变电流,简称交流(记作 AC 或 ac),其量值或方向随时间任意变化,通常用小写字母 i 或 $i(t)$ 表示。

本书物理量采用国际制单位制(SI)。电荷的单位是库仑,简称库,符号为 C;时间的 SI 单位为秒,符号为 s;电流的 SI 单位是安培,简称安,符号为 A;若每秒钟通过某处的电荷量为 1 C,电流为 1 A,则 $1 \text{ A} = 1 \text{ C}/1 \text{ s}$ 。将电流 SI 单位冠以词头(见表 1-1),即可得到电流的十进制倍数单位和分数单位,常用的有千安(kA)、毫安(mA)、微安(μA)等。

表 1-1 常用 SI 词头

因数	10^9	10^6	10^3	10^2	10^1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}
名称	吉	兆	千	百	十	分	厘	毫	微	纳	皮
符号	G	M	k	h	da	d	c	m	μ	n	p

在通信和计算机技术中常用毫安(mA)、微安(μA)作为电流的单位。它们的关系是

$$1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$$

$$1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$$

2. 电流的参考方向

电流的方向是客观存在的,为了分析计算的方便,人们应用正负数的概念,用一个代数量同时表达电流的大小和方向。例如在图 1-3 中电流可从 a 流向 b 或相反,分别用 i_{ab} 和 i_{ba} 表示。电流的方向也可以用“ \rightarrow ”表示。

对于一个给定的电路,很难直接确定某一电路元件中实际电流的方向。在电路分析

中,为了分析计算的方便,常常需要预先假设一个电流方向。这个预先假设的电流方向称为参考方向。

电流的参考方向可以任意选定,但一经选定就不能再改变,规定了参考方向以后,电流就是一个代数量。若电流为正值,则电流的实际方向与参考方向一致;若电流为负值,则电流实际方向和参考方向相反。或者说,若电流的实际方向和参考方向一致,电流为正;若电流的实际方向和参考方向相反,电流为负。这样就可以利用电流的参考方向和电流的正负值来判断电流的实际方向。应当注意,在未规定参考方向的情况下,电流的正负号是没有意义的。

例如,如图 1-3 所示,当电流 $i = 3 \text{ A} > 0$ 时,表示电流的真实方向从 a 到 b ,如图 1-4(a)所示;当电流 $i = -3 \text{ A} < 0$ 时,表示电流的真实方向从 b 到 a ,如图 1-4(b)所示。

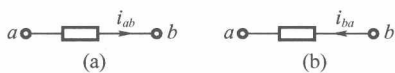


图 1-3 支路电流的参考方向

1.2.2 电压、电位与电动势及其参考方向

电路中电流的存在伴随着能量的转换,电压或电位差就是用来描述电路这一特性的物理量。

1. 电压

电荷在电场(库仑电场)中从一点移动到另一点时,它所具有的能量的改变量只和这两点的位置有关,而与移动路径无关。电压这个物理量就是根据此定义的。电路中 a 、 b 两点间的电压为单位正电荷在电场力的作用下由 a 点移动到 b 点时减少的能量(也可说是电场力所做的功),用符号 u_{ab} 表示,即

$$u_{ab} = \frac{dW_{ab}}{dq} \quad (1-3)$$

式中 dq ——由 a 点移到 b 点的电荷量;

dW_{ab} ——转移过程中电荷减少的能量。

电压表明单位正电荷在电场力作用下转移时减少的电能,减少电能体现为电位的降低(从高电位点到低电位点),所以电压的方向是电位降低的方向。电压的 SI 单位是伏特,简称伏,符号为 V,它等于 1 C 的正电荷沿电场力方向能量减少了 1 J。在工程应用中经常用千伏(kV)、毫伏(mV)等单位。它们的关系是

$$1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V}$$

$$1 \text{ mV} = 10^{-3} \text{ V}$$

2. 电位

分析电子电路,常应用电位这一物理量。在电路中任选一点 O 作为参考点,则某点 a 的电位就是由 a 点到参考点 O 的电压,用 φ_a 表示,即

$$\varphi_a = u_{aO}$$

至于参考点本身的电位,乃是参考点对参考点的电压,显然为零,所以参考点又叫零电位点。

电压和电位的关系为 a 、 b 两点间的电压等于这两点间的电位之差,即

$$u_{ab} = u_{a0} + u_{0b} = u_{a0} - u_{b0} = \varphi_a - \varphi_b \quad (1-4)$$

式中 φ_a —— a 点电位;

φ_b —— b 点电位。

所以两点间的电压等于这两点间的电位差,即电压又叫电位差。电位的单位也为伏特,符号为 V。

电位的参考点可以任意选取,参考点选择不同,同一点的电位相应不同,但电压与参考点的选择是无关的。在任意一个系统中只能选择一个参考点,至于如何选择参考点,则需要看分析计算问题的方便而定。常常选择大地、设备外壳或接地点作为参考点,电子电路中常选各有关部分的公共线上的一点作为参考点,参考电位点常用接地符号表示。

【例 1-1】 电路如图 1-4 所示,已知 $u_{ab} = 8 \text{ V}$, $u_{bc} = 2 \text{ V}$,试确定在分别以 c 、 b 作为参考点时的 a 、 b 、 c 的电位值。

解

图 1-4(a),选 c 点为参考点,则 $\varphi_c = 0$, $\varphi_a = u_{ac} = u_{ab} + u_{bc} = 10 \text{ V}$;如图 1-4(b)所示,选 b 点为参考点,则 $\varphi_b = 0$, $\varphi_a = u_{ab} = 8 \text{ V}$, $\varphi_c = u_{cb} = -2 \text{ V}$ 。

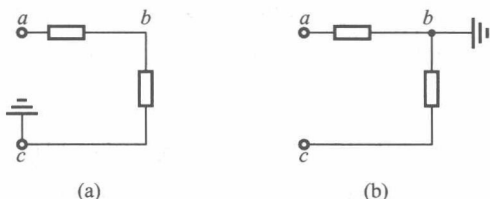


图 1-4 【例 1-1】图

3. 电动势

在电场力的作用下,正电荷是从高电位点向低电位点移动。为了形成连续的电流,在电源中正电荷必须从低电位点移到高电位点。这就要求在电源中有一种电源力,正电荷在电源力的作用下将从低电位处移向高电位处。例如在发电机中,当导体在磁场中运动时,导体内便出现这种电源力,这种电源力是由电磁作用产生的,电池中的电源力是由电解液和极板间的化学作用产生的。由于电源力而使电源两端具有的电位差叫作电动势。电动势表明了单位正电荷在电源力的作用下转移时增加的电能,用 e 表示,即

$$e = \frac{dW_s}{dq} \quad (1-5)$$

式中 dq ——转移的电荷量;

dW_s ——转移过程中电荷增加的电能。

增加电能体现为电位的升高(从低电位点到高电位点),所以规定电动势的方向是电位升高的方向。把电位高的一端叫作正极,电位低的一端叫作负极,则电动势的方向规定从负极到正极。电动势的单位为伏特,符号为 V。

按电压和电动势随时间变化的情况,可以分为直流电和交流电。如果电压、电动势的量值与方向都不随时间而变动,则分别称为直流电压、直流电动势,分别用符号 U 和 E 表示。周期性变动且平均值为零的电压和电动势称为交变电压、交变电动势,分别用符号 u 和 e 表示。

4. 电压、电动势的参考方向

电压也像电流一样,需要指定参考方向。如图 1-5 所示,假设 a 为高电位, b 为低电位,电压的参考方向有以下三种表示方法:

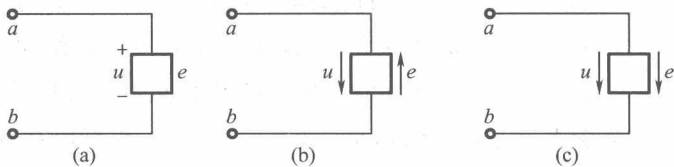


图 1-5 电压和电动势的参考方向

(1) 采用参考极性表示

“+”号表示高电位端,“-”号表示低电位端。当表示电压的参考方向时,标以电压符号 u ,这时正极指向负极的方向就是参考方向;当表示电动势的参考方向时,标以电动势符号 e ,负极指向正极就是电动势的参考方向,如图 1-5(a) 所示。

(2) 采用带箭头的实线表示

用“→”的起点表示高电位,终点表示低电位,如图 1-5(b) 所示,用带箭头的实线表示在电路图上,并标以电压符号 u 或电动势符号 e 。对于同一个处于开路状态的电源设备,它的电动势与电压方向相反而量值相等。若选择电动势和电压的参考方向相反时,如图 1-5(b) 所示,则有 $e = u$;若选择电动势的参考方向和电压的参考方向一致时,如图 1-5(c) 所示,则有 $e = -u$ 。

(3) 采用双下标表示

如图 1-5(c) 所示,如 u_{ab} 表示电压的参考方向是由 a 指向 b ; e_{ba} 表示电动势的参考方向是由 b 指向 a 。

在电路分析中,经计算如果 $u_{ab} > 0$,表示实际电位是 a 点高于 b 点;如果 $u_{ab} < 0$ 则表示实际电位是 b 点高于 a 点。电路中电压的实际方向由参考方向和计算的结果共同决定。

5. 关联参考方向

支路的电流和端钮间的电压分别叫作支路电流和支路电压。支路电流参考方向和支路电压参考方向可以分别独立规定。一个支路电流、支路电压,可以选择一致的参考方向,叫作关联参考方向,即电流的参考方向是从电压的“+”极流入,“-”极流出,如图 1-6(a) 所示;也可以选择不一致的参考方向,即电流从电压参考方向的负极性端流入,

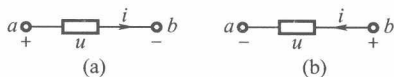


图 1-6 关联和非关联参考方向

正极性端流出,叫作非关联参考方向,如图 1-6(b)所示。

1.2.3 电功率和电能

电路分析中除了电流和电压以外,电功率和能量也是常用物理量。用来衡量传送或转换电能的速率,简称功率。其量值定义为微时间段 Δt 内所传送或转换的电能 ΔW 与 Δt 之比,当后者趋于零时的极限,即

$$P \stackrel{\text{def}}{=} \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{dW}{dt} \quad (1-6)$$

实际的电气设备、元器件本身都有功率的限制,即额定功率。在使用时要注意其电压、电流是否超过额定值。若超过额定值(即过载),设备或元器件就会损坏,或是不能正常工作。

电路元件的电功率取决于元件两端电压和所在支路和电流。当正电荷从元件的高电位经过元件移动到低电位点时,电场力对电荷做正功,此时称元件吸收(消耗)电能或吸收(消耗)功率;当正电荷从元件的低电位经过元件移动到高电位点时,电场力对电荷做负功,此时称该元件为发出电能或发出功率。

某一电路元件两端电压和电流取关联参考方向时,定义吸收功率

$$P = \frac{dw}{dt} = ui \quad (1-7)$$

功率的 SI 单位为瓦特(W), $1 \text{ W} = 1 \text{ V} \times 1 \text{ A}$ 。常用的单位还有千瓦(kW)、毫瓦(mW)等。它们的关系是

$$1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}$$

$$1 \text{ mW} = 10^{-3} \text{ W}$$

如果所选定的电压和电流取非关联参考方向,则式(1-7)就代表从该电路“发出”的功率。一段电路实际是吸收功率还是发出功率,要同时依据计算时所选择的电压、电流参考方向和计算结果的符号来判定。

【例 1-2】 电路如图 1-7 所示,已知 $U_1 = 1 \text{ V}$, $U_2 = -6 \text{ V}$, $U_3 = -4 \text{ V}$, $U_4 = 5 \text{ V}$, $U_5 = -10 \text{ V}$; $I_1 = 1 \text{ A}$, $I_2 = -3 \text{ A}$, $I_3 = 4 \text{ A}$, $I_4 = -1 \text{ A}$, $I_5 = -3 \text{ A}$,试求各元件的功率,并判断实际是吸收功率还是发出功率。

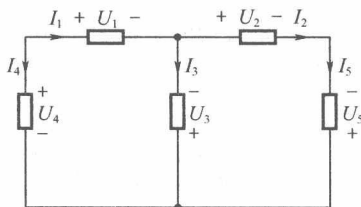


图 1-7 【例 1-2】图



解

根据已知条件得

(1) U_1 、 I_1 关联参考方向, 定义吸收功率, 则

$$P_1 = U_1 I_1 = 1 \text{ V} \times 1 \text{ A} = 1 \text{ W} > 0$$

实际电路元件确实吸收 1 W 功率。

(2) U_2 、 I_2 关联参考方向, 定义吸收功率, 则

$$P_2 = U_2 I_2 = (-6 \text{ V}) \times (-3 \text{ A}) = 18 \text{ W} > 0$$

实际电路元件确实吸收 18 W 功率。

(3) U_3 、 I_3 非关联参考方向, 定义发出功率, 则

$$P_3 = U_3 I_3 = (-4 \text{ V}) \times 4 \text{ A} = -16 \text{ W} < 0$$

发出 -16 W 功率, 实际电路元件确实吸收 16 W 功率。

(4) U_4 、 I_4 关联参考方向, 定义吸收功率, 则

$$P_4 = U_4 I_4 = 5 \text{ V} \times (-1 \text{ A}) = -5 \text{ W} < 0$$

吸收 -5 W 功率, 实际电路元件确实发出 5 W 功率。

(5) U_5 、 I_5 非关联参考方向, 定义发出功率, 则

$$P_5 = U_5 I_5 = (-10 \text{ V}) \times (-3 \text{ A}) = 30 \text{ W} > 0$$

实际电路元件确实发出 30 W 功率。

注意: 电路中各元件发出功率的总和等于吸收功率的总和, 这就是电路的“功率平衡”。

判断实际电路元件是吸收功率还是发出功率的一般分析方法:

(1) 当 u 和 i 在关联参考方向下时, 定义吸收功率。

如 $P > 0$, 元件确实吸收功率;

如 $P < 0$, 元件确实发出功率。

(2) 当 u 和 i 在非关联参考方向下时, 定义发出功率。

如 $P > 0$, 元件确实发出功率;

如 $P < 0$, 元件确实吸收功率。

元件吸收的电功可根据电压的定义求得, 从 t_0 到 t 时间段内的电功可表示为

$$W = \int_{q(t_0)}^{q(t)} u dq = \int_{t_0}^t u(\xi) i(\xi) d\xi \quad (1-8)$$

判断元件是吸收电功还是发出电功与判断吸收功率和发出功率一样, 要由式(1-8)的计算结果和电流电压的参考方向共同决定。

1.3 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律是于 1845 年由德国物理学家古斯塔·基尔霍夫提出的。基尔霍夫定律是电路理论中的最基本也是最重要的定律之一, 它包括基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律。它是对电路结构的约束, 概括了电路中电流和电压分别遵循的基本规律。为了说明

基尔霍夫定律,有必要介绍电路结构中常用的基本术语。

1.3.1 电路结构的基本术语

电路是由多个电路元件按照一定的实际电路功能要求,用导线将它们互相连接而成。电路元件是构成电路的基本单元。元件互相连接方式不同,电路的结构也不同,电路结构通常用支路、节点、回路、网孔等术语来描述。下面就以图 1-8 为例说明各术语的描述对象。

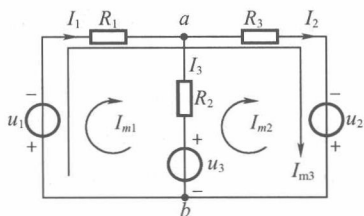


图 1-8 描述电路的基本术语电路图

1. 集总参数电路

实际电路中使用的电路部件一般都和电能的消耗现象及电、磁能的储存现象有关,它们交织在一起并发生在整个部件中。假定在理想条件下,这些现象可以分别研究,并且这些电磁过程都分别集中在各元件内部进行,这样的元件称为集总参数元件,简称为集总元件。由集总参数元件构成的电路称为集总参数电路。

2. 分布参数电路

分布参数电路是必须考虑电路元件参数分布性的电路。参数的分布性指电路中同一瞬间相邻两点的电位和电流都不相同。这说明分布参数电路中的电压和电流除了是时间的函数外,还是空间坐标的函数,如远距离的输电线和电视天线的馈线等。

3. 支路

流过相同电流的电路分支为一条支路。如图 1-8 所示电路中有三条支路。

4. 节点

两条以上支路的汇合点称为节点。如图 1-8 所示电路有两个节点,分别为节点 a 和节点 b 。

5. 路径

在节点 a 到节点 b 之间,由 k 条不同的支路和 $(k-1)$ 个不同的节点(不含 a 和 b)依次连接成的一条通路称为 a 到 b 的路径,节点 a 和 b 分别称为节点的起点和节点的终点。两个节点路径通常不是唯一的。

6. 回路

回路是由支路构成的闭合路径。回路有顺时针和逆时针两个方向,可以用箭头“ \odot ”或“ \ominus ”直接在电路图上表示回路的方向。如图 1-8 所示电路有三个回路。

平面电路是将电路画在平面上,除了节点之外,任意两条支路都不交叉,否则称为非平面电路。

7. 网孔

平面电路的内部或外部不包含任何支路,将这样的平面电路称为网孔。

(1) 内网孔

内部不存在任何支路的网孔称为内网孔,如图 1-8 所示电路中网孔 1 和网孔 2 为内

网孔。

(2) 外网孔

外部不存在任何支路的网孔称为外网孔,如图 1-8 所示电路中网孔 3 为外网孔。

1.3.2 基尔霍夫电流定律(KCL)

1. 基尔霍夫电流定律(简称 KCL)

基尔霍夫电流定律内容:在集总参数电路中,针对任一节点(或封闭曲面 S),在任一时刻流出(或流入)该节点(或封闭曲面 S)的支路电流代数和恒等于零,即

$$\sum i_k = 0 (i_k \text{ 表示第 } k \text{ 条支路电流}) \quad (1-9)$$

电流的“代数和”是根据电流是流入节点(或封闭曲面 S)还是流出节点(或封闭曲面 S)来判断的。当流出电流取“+”号时,流入电流取“-”号。

对上述形式进行转换,KCL 可以说成任一时刻,流出任一节点(或封闭曲面)电流的代数和等于流入该节点(或封闭曲面)电流的代数和,即

$$\sum i_{\text{流出}} = \sum i_{\text{流入}} \quad (1-10)$$

若电路含有 n 个节点,具有 $(n - 1)$ 个独立节点,可列写 $(n - 1)$ 个独立的 KCL 方程,此时独立 KCL 方程对应的独立节点可任意选择。

【例 1-3】 如图 1-9 所示,已知 $I_1 = 5 \text{ A}$, $I_6 = 3 \text{ A}$, $I_7 = -8 \text{ A}$, $I_5 = 9 \text{ A}$, 试计算图所示电路中的电流 I_8 。

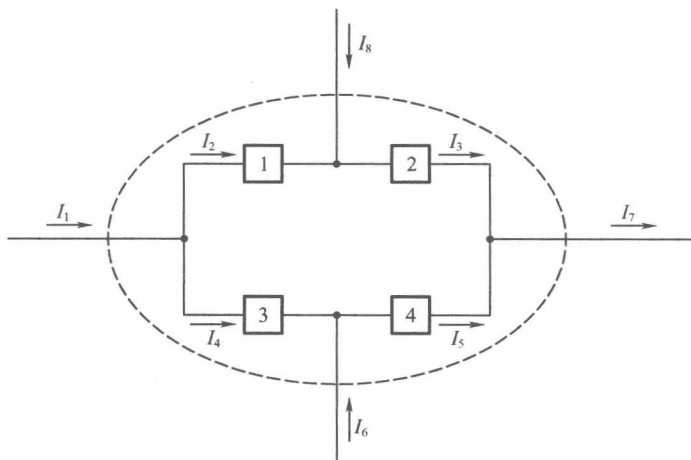


图 1-9 【例 1-3】图

解

在电路中选择一个封闭曲面,如图 1-9 中虚线所示,根据 KCL 定律可知:

$$I_1 + I_6 + I_8 = I_7$$

则

$$I_8 = I_7 - I_1 - I_6 = -8 - 5 - 3 = -16 \text{ A}$$