



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
五年制高等职业教育电子电工类专业教学用书

电工基础

(第二版)

主编 白乃平



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

教育部职业教育与成人教育司推荐教材
五年制高等职业教育电子电工类专业教学用书

电 工 基 础

(第二版)

主 编 白乃平
副主编 唐政平
参 编 杨荣昌 刘 军 汪宏武
主 审 陈生潭

西安电子科技大学出版社

2005

内 容 简 介

本书是依据教育部最新制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》编写的。主要包括:电路的基本概念和基本定律,直流电阻电路的分析计算,电感元件与电容元件,正弦交流电路,三相正弦交流电路,互感电路,非正弦周期电流电路,线性电路的过渡过程,磁路与铁芯线圈等。附录中介绍了常用的电工仪表。

本书可作为高等职业院校电子电工类专业或相近专业的教材,也可供相关专业的工程技术人员参考。

★ 本书配有电子教案,需要者可与出版社联系,免费索取。

图书在版编目(CIP)数据

电工基础/白乃平主编. —2版. —西安:西安电子科技大学出版社,2005.6
教育部职业教育与成人教育司推荐教材. 五年制高等职业教育电子电工类专业教学用书
ISBN 7-5606-1520-1

I. 电… II. 白… III. 电工学-高等学校;技术学校-教材 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 050300 号

策 划 马乐惠

责任编辑 龙 晖 马乐惠

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http://www.xduph.com

E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印 刷 陕西画报社印刷厂

版 次 2002年1月第1版 2005年6月第2版 2005年7月第9次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 16.375

字 数 383千字

印 数 50 001~58 000册

定 价 18.00元

ISBN 7-5606-1520-1/TM·0020

XDUP 1811002 · 9

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

第一版前言

本书是依据 1999 年 8 月教育部高教司制定的《高职高专教育基础课程教学

第二版前言

随着社会的发展、科技的进步,我国的高等职业技术教育也得到了进一步的发展壮大。2001年正值高职教育大力发展之时,我们组织编写了高等职业技术教育电子电工类专业《电工基础》教材。该书考虑高职的特点,以精练为原则,注意深度和广度的结合,注意知识的内在联系和相互之间的逻辑关系,避免繁琐的数学分析,加强物理概念的阐述,叙述深入浅出,通俗易懂。《电工基础》一书出版后,受到了全国各高职院校的欢迎,2004年9月被中国大学出版社协会评为优秀畅销书一等奖。

2004年6月,根据教育部教职成司函[2004]13号,关于制定《2004~2007年职业教育教材开发编写计划》的通知中“已出版的五年制高等职业教育教材,经使用教学效果良好的,可以择优推荐”的文件精神,《电工基础》也参加了此次选题申报活动,并于2004年10月获得批准,有幸入选为“国规”教材。为了使原书内容更加完善,2005年初作者广泛征求了使用本教材的任课老师的意见和企业单位对本教材的看法,对第一版内容进行了认真的修订,现编写了《电工基础》第二版。

本书第1、2章由杨凌职业技术学院白乃平编写,第3、5章由西安铁路职业技术学院刘军编写,第4章由西安航空职业技术学院汪宏武编写,第6、7章由陕西省机电工程学校杨荣昌编写,第8、9章和附录由陕西省机电工程学校唐政平编写。全书由白乃平统稿。西安电子科技大学的陈生潭老师审阅了全稿,石头河电站薛海平站长、杨凌电站的赵军良站长也对本书提出了修改意见,在此谨表谢意。

由于作者水平有限,疏漏之处在所难免,敬请广大师生提出宝贵意见和建议。

编者
2005年4月

目 录

第 1 章 电路的基本概念和基本定律	1
1.1 电路和电路模型	1
1.1.1 电路	1
1.1.2 理想电路元件	2
1.1.3 电路模型	2
1.2 电流、电压及其参考方向	3
1.2.1 电流及其参考方向	3
1.2.2 电压及其参考方向	4
1.2.3 电位	5
1.3 电功率和电能	5
1.4 电阻元件和欧姆定律	7
1.5 电压源和电流源	8
1.6 基尔霍夫定律	10
1.6.1 基尔霍夫电流定律(KCL)	11
1.6.2 基尔霍夫电压定律(KVL)	11
本章小结	14
习题	15
第 2 章 直流电阻电路的分析计算	18
2.1 电阻的串联和并联	18
2.1.1 等效网络的定义	18
2.1.2 电阻的串联	19
2.1.3 电阻的并联	20
2.1.4 电阻的串、并联	21
2.2 电阻的星形连接与三角形连接的等效变换	23
2.3 两种实际电源模型的等效变换	26
2.4 支路电流法	28
2.5 网孔法	30
2.6 节点电压法	33
2.7 叠加定理	36
2.8 戴维南定理	39
2.9 含受控源电路的分析	41
2.9.1 受控源	41
2.9.2 含受控源电路的分析	42
本章小结	44
习题	45

第3章 电感元件与电容元件	51
3.1 电容元件	51
3.1.1 电容元件的基本概念	51
3.1.2 电容元件的 $u-i$ 关系	52
3.1.3 电容元件的储能	52
3.2 电容的串、并联	54
3.2.1 电容器的并联	54
3.2.2 电容器的串联	55
3.3 电感元件	57
3.3.1 电感元件的基本概念	57
3.3.2 电感元件的 $u-i$ 关系	58
3.3.3 电感元件的储能	58
本章小结	61
习题	62
第4章 正弦交流电路	64
4.1 正弦量的基本概念	64
4.1.1 正弦交流电的三要素	64
4.1.2 相位差	66
4.2 正弦量的有效值	68
4.2.1 有效值的定义	68
4.2.2 正弦量的有效值	69
4.3 正弦量的相量表示法	69
4.3.1 复数及四则运算	70
4.3.2 正弦量的相量表示法	71
4.4 正弦电路中的电阻元件	73
4.4.1 电阻元件上电压与电流的关系	73
4.4.2 电阻元件上电压与电流的相量关系	74
4.4.3 电阻元件的功率	75
4.5 正弦电路中的电感元件	77
4.5.1 电感元件上电压和电流的关系	77
4.5.2 电感元件上电压和电流的相量关系	78
4.5.3 电感元件的功率	78
4.6 正弦电路中的电容元件	80
4.6.1 电容元件上电压与电流的关系	80
4.6.2 电容元件上电压与电流的相量关系	81
4.6.3 电容元件的功率	82
4.7 基尔霍夫定律的相量形式	84
4.7.1 相量形式的基尔霍夫电流定律	84
4.7.2 相量形式的基尔霍夫电压定律	84
4.8 复阻抗、复导纳及其等效变换	86
4.8.1 复阻抗与复导纳	86
4.8.2 复阻抗与复导纳的等效变换	88
4.9 RLC 串联电路	89

4.9.1 电压与电流的关系	89
4.9.2 电路的性质	90
4.9.3 阻抗串联电路	90
4.10 RLC 并联电路	93
4.10.1 阻抗法分析并联电路	93
4.10.2 导纳法分析并联电路	94
4.10.3 多阻抗并联	96
4.11 正弦交流电路的相量分析法	98
4.11.1 网孔电流法	98
4.11.2 节点法	99
4.12 正弦交流电路的功率	99
4.12.1 瞬时功率 p	100
4.12.2 有功功率 P	100
4.12.3 无功功率 Q	101
4.12.4 视在功率 S	101
4.12.5 功率三角形	101
4.13 功率因数的提高	103
4.13.1 提高功率因数的意义	103
4.13.2 提高功率因数的方法	103
4.14 谐振	105
4.14.1 串联谐振	106
4.14.2 并联谐振	108
本章小结	110
习题	113
第 5 章 三相正弦交流电路	119
5.1 三相电源	119
5.1.1 三相对称正弦交流电压	119
5.1.2 三相电源的星形(Y)连接	120
5.1.3 三相电源的三角形(Δ)连接	121
5.2 三相负载	122
5.2.1 负载的星形(Y)连接	123
5.2.2 负载的三角形(Δ)连接	125
5.3 对称三相电路的分析计算	126
5.3.1 对称星形电路的特点	127
5.3.2 对称三相电路的一般解法	128
* 5.4 不对称三相电路的分析计算	132
5.4.1 位形图	132
5.4.2 中点电压法	132
5.5 三相电路的功率	135
5.5.1 三相电路的有功功率、无功功率、视在功率和功率因数	135
5.5.2 对称三相电路的瞬时功率	137
本章小结	138
习题	140

第 6 章 互感电路	143
6.1 互感与互感电压	143
6.1.1 互感现象	143
6.1.2 互感系数	144
6.1.3 耦合系数	144
6.1.4 互感电压	145
6.2 同名端及其判定	145
6.2.1 同名端	146
6.2.2 同名端的测定	146
6.2.3 同名端原则	147
6.3 具有互感电路的计算	148
6.3.1 互感线圈的串联	148
6.3.2 互感线圈的并联	150
6.4 空芯变压器	152
本章小结	155
习题	156
第 7 章 非正弦周期电流电路	159
7.1 非正弦周期量及其分解	159
7.2 非正弦周期电流电路中的有效值、平均值和平均功率	164
7.2.1 有效值	164
7.2.2 平均值	165
7.2.3 平均功率	166
7.3 非正弦周期电流电路的计算	168
本章小结	171
习题	172
第 8 章 线性电路的过渡过程	174
8.1 换路定律与初始条件	174
8.1.1 过渡过程的概念	174
8.1.2 换路定律	175
8.1.3 初始值的计算	175
8.2 一阶电路的零输入响应	178
8.2.1 RC 串联电路的零输入响应	178
8.2.2 RL 串联电路的零输入响应	181
8.3 一阶电路的零状态响应	183
8.3.1 RC 串联电路的零状态响应	183
8.3.2 RL 串联电路的零状态响应	185
8.4 一阶电路的全响应	188
8.5 一阶电路的三要素法	191
8.6 RLC 串联电路的零输入响应	196
本章小结	201
习题	202

第 9 章 磁路与铁芯线圈	205
9.1 铁磁性物质	205
9.1.1 铁磁性物质的磁化	205
9.1.2 磁化曲线	206
9.1.3 铁磁性物质的分类	208
9.2 磁路和磁路定律	209
9.2.1 磁路	209
9.2.2 磁路定律	210
9.2.3 磁路的欧姆定律	211
9.3 简单直流磁路的计算	211
9.4 交流铁芯线圈及等效电路	214
9.4.1 电压、电流和磁通	214
9.4.2 磁滞和涡流的影响	216
9.4.3 交流铁芯线圈的等效电路	217
9.4.4 伏安特性和等效电感	219
9.5 电磁铁	220
9.5.1 直流电磁铁	221
9.5.2 交流电磁铁	222
9.5.3 交流电磁铁的特点	223
本章小结	223
习题	225
附录 常用电工仪表简介	227
附录 A 常用电工指示仪表的一般知识	227
附录 B 常用指示仪表的工作原理	229
附录 C 电流、电压的测量	233
附录 D 电功率的测量	235
附录 E 电阻的测量	238
习题	240
习题参考答案	242
参考文献	252

第 1 章

电路的基本概念和基本定律

本章介绍了电路和电路模型,电路的主要物理量,电流、电压参考方向的概念,着重阐述了电阻元件、电压源、电流源的元件特性和反映元器件连接特性的基本定律——基尔霍夫定律。

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路

电路是电流的流通过径,它是由一些电气设备和元器件按一定方式连接而成的。复杂的电路呈网状,又称网络。电路和网络这两个术语是通用的。

电路的组成方式不同,功能也就不同。电路的一种作用是实现电能的传输和转换,各类电力系统就是典型实例。图 1.1(a)是一种简单的实际电路,它由干电池、开关、小灯泡和连接导线等组成。当开关闭合时,电路中有电流通过,小灯泡发光,干电池向电路提供电能;小灯泡是耗能器件,它把电能转化为热能和光能;开关和连接导线的作用是把干电池和小灯泡连接起来,构成电流通路。

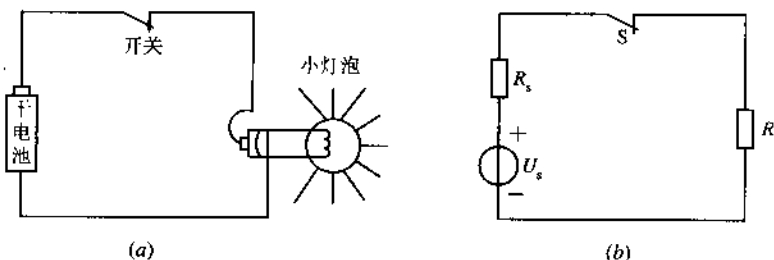


图 1.1 电路的组成

电路的另一种作用是实现信号的处理,收音机和电视机电路就是这类实例。收音机和电视机中的调谐电路是用来选择所需要的信号的。由于收到的信号很弱,因此需要采用放大电路对信号进行放大。调谐电路和放大电路的作用就是完成对信号的处理。

电路中提供电能或信号的器件称为电源,如图 1.1(a)中的干电池。电路中吸收电能或输出信号的器件称为负载,如图 1.1(a)中的小灯泡。在电源和负载之间引导和控制电流的导线和开关等是传输控制器件。电路是通过传输控制器件将电源和负载连接起来而构成的。电路的基本作用是实现电能传输或信号处理功能。

1.1.2 理想电路元件

组成电路的实际电气元器件是多种多样的,其电磁性能的表现往往是相互交织在一起的。在研究时,为了便于分析,常常在一定条件下对实际器件加以理想化,只考虑其中起主要作用的某些电磁现象,而将次要现象忽略,或者将一些电磁现象分别表示。例如图 1.1(a)中,在电流的作用下,小灯泡不但发热消耗电能,而且在其周围还会产生一定的磁场,由于产生的磁场较弱,因此,可以只考虑其消耗电能的性能而忽略其磁场效应;干电池不但在其正负极间能保持有给定的电压对外部提供电能,而且其内部也有一定的电能损耗,可以将其提供电能的性能与内部电能损耗分别表示;对闭合的开关和导线则只考虑导电性能而忽略其本身的电能损耗。

如上所述,在一定的条件下,我们用足以反映其主要电磁性能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。理想电路元件是一种理想化的模型,简称为电路元件。每一种电路元件只表示一种电磁现象,具有某种确定的电磁性能和精确的数学定义。我们常见的电路元件是一些所谓的集中参数元件,元件特性由其端点上的电流和电压来确切表示。当构成电路的元件及电路本身的尺寸远小于电路工作时的电磁波的波长时,称这些元件为集中参数元件。由集中参数元件组成的电路称为集中参数电路。例如,电阻元件是表示消耗电能的元件;电感元件是表示其周围空间存在着磁场且可以储存磁场能量的元件;电容元件是表示其周围空间存在着电场且可以储存电场能量的元件等。

上述这些电路元件通过引出端互相连接。具有两个引出端的元件称为二端元件;具有两个以上引出端的元件称为多端元件。

1.1.3 电路模型

实际电路可以用一个或若干个理想电路元件经理想导体连接起来进行模拟,这便构成了电路模型。图 1.1(b)是图 1.1(a)的电路模型。实际器件和电路的种类繁多,而理想电路元件只有有限的几种,用理想电路元件建立的电路模型将使电路的研究大大简化。建立电路模型时应使其外部特性与实际电路的外部特性尽量近似,但两者的性能并不一定也不可能完全相同。同一实际电路在不同条件下往往要求用不同的电路模型来表示。例如,一个线圈在低频时可以只考虑其中的磁场和耗能,甚至有时只考虑磁场就可以了,但在高频时则应考虑电场的影响,而在直流时就只需考虑耗能了。所以建立电路模型一般应指明它们的工作条件。

在电路理论中,我们研究的是由理想元件所构成的电路模型及其一般性质。借助于这种理想化的电路模型可分析和研究实际电路——无论它是简单的还是复杂的,都可以通过理想化的电路模型来充分描述。理想化的电路模型也简称为电路。

思 考 题

1. 什么叫电路模型?建立电路模型时应注意什么问题?
2. 电工基础课程研究的主要对象是什么?

1.2 电流、电压及其参考方向

1.2.1 电流及其参考方向

带电粒子(电子、离子等)的定向运动称为电流。电流的量值(大小)等于单位时间内穿过导体横截面的电荷量,用符号 i 表示,即

$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt} \quad (1.1)$$

式中, Δq 为极短时间 Δt 内通过导体横截面的电荷量。

电流的实际方向为正电荷的运动方向。

当电流的量值和方向都不随时间变化时, dq/dt 为定值,这种电流称为直流电流,简称直流(DC)。直流电流常用英文大写字母 I 表示。对于直流,式(1.1)可写成

$$I = \frac{q}{t} \quad (1.2)$$

式中, q 为时间 t 内通过导体横截面的电荷量。

量值和方向随着时间周期性变化的电流称为交流电流,常用英文小写字母 i 表示。

在国际单位制(SI)中,电流的 SI 主单位是安[培],符号为 A。常用的电流的十进制倍数和分数单位有千安(kA)、毫安(mA)、微安(μ A)等,它们之间的换算关系是

$$1 \text{ A} = 10^3 \text{ mA} = 10^6 \mu\text{A}$$

在复杂电路的分析中,电路中电流的实际方向很难预先判断出来;有时,电流的实际方向还会不断改变。因此,很难在电路中标明电流的实际方向。为此,在分析与计算电路时,常可任意规定某一方向作为电流的参考方向或正方向,并用箭头表示在电路图上。规定了参考方向以后,电流就是一个代数量了,若电流的实际方向与参考方向一致(如图 1.2(a)所示),则电流为正值;若两者相反(如图 1.2(b)所示),则电流为负值。这样,就可以利用电流的参考方向和正、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。

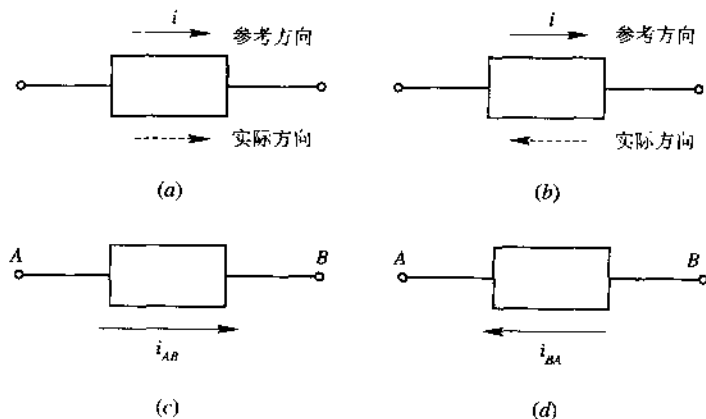


图 1.2 电流的参考方向

电流的参考方向除用箭头在电路图上表示外,还可用双下标表示,如对某一电流,用 i_{AB} 表示其参考方向为由 A 指向 B (如图 1.2(c) 所示),用 i_{BA} 表示其参考方向为由 B 指向 A (如图 1.2(d) 所示)。显然,两者相差一个负号,即

$$i_{AB} = -i_{BA}$$

1.2.2 电压及其参考方向

当导体中存在电场时,电荷在电场力的作用下运动,电场力对运动电荷做功,运动电荷的电能将减少,电能转化为其他形式的能量。电路中 A、B 两点间的电压是单位正电荷在电场力的作用下由 A 点移动到 B 点所减少的电能,即

$$u_{AB} = \lim_{\Delta q \rightarrow 0} \frac{\Delta W_{AB}}{\Delta q} = \frac{dW_{AB}}{dq} \quad (1.3)$$

式中, Δq 为由 A 点移动到 B 点的电荷量, ΔW_{AB} 为移动过程中电荷所减少的电能。

电压的实际方向是使正电荷电能减少的方向,当然也是电场力对正电荷做功的方向。

在国际单位制中,电压的 SI 单位是伏[特],符号为 V。常用的电压的十进制倍数和分数单位有千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μ V)等。

量值和方向都不随时间变化的直流电压用大写字母 U 表示。量值和方向随着时间周期性变化的交流电压用小写字母 u 表示。

与电流类似,在电路分析中也要规定电压的参考方向,通常用三种方式表示:

(1) 采用正(+)、负(-)极性表示,称为参考极性,如图 1.3(a) 所示。这时,从正极性端指向负极性端的方向就是电压的参考方向。

(2) 采用实线箭头表示,如图 1.3(b) 所示。

(3) 采用双下标表示,如 u_{AB} 表示电压的参考方向由 A 指向 B。

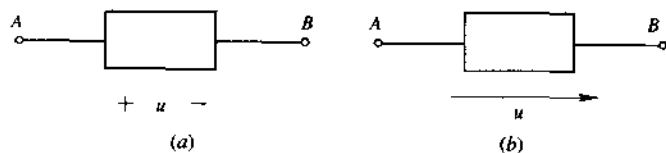


图 1.3 电压的参考方向

电压的参考方向指定之后,电压就是代数量。当电压的实际方向与参考方向一致时,电压为正值;当电压的实际方向与参考方向相反时,电压为负值。

分析电路时,首先应该规定各电流、电压的参考方向,然后根据所规定的参考方向列写电路方程。不论电流、电压是直流还是交流,它们均是根据参考方向写出的。参考方向可以任意规定,不会影响计算结果,因为参考方向相反时,解出的电流、电压值也要改变正、负号,最后得到的实际结果仍然相同。

任一电路的电流参考方向和电压参考方向可以分别独立地规定。但为了分析方便,常使同一元件的电流参考方向与电压参考方向一致,即电流从电压的正极性端流入该元件而从它的负极性端流出。这时,该元件的电压参考方向与电流参考方向是一致的,称为关联参考方向(如图 1.4 所示)。

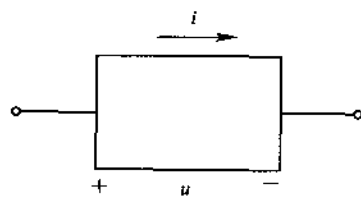


图 1.4 电流和电压的关联参考方向

1.2.3 电位

分析电子电路时常用到电位这一物理量。在电路中任选一点作为参考点,则某点的电位就是由该点到参考点的电压。也就是说,如果参考点为 O ,则 A 点的电位为

$$V_A = U_{AO}$$

至于参考点本身的电位,则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。

如果已知 A 、 B 两点的电位各为 V_A 、 V_B ,则此两点间的电压为

$$U_{AB} = U_{AO} - U_{BO} = U_{AO} - U_{BO} = V_A - V_B \quad (1.4)$$

即两点间的电压等于这两点的电位的差,所以电压又叫电位差。

参考点选择不同,同一点的电位就不同,但电压与参考点的选择无关。至于如何选择参考点,则要视分析计算问题的方便而定。电子电路中需选各有关部分的公共线作为参考点,常用符号“—”表示。

思 考 题

1. 为什么要在电路图上规定电流的参考方向?请说明参考方向与实际方向的关系。
2. 电压参考方向有哪些表示方法?

1.3 电功率和电能

电功率是电路分析中常用到的一个物理量。传递转换电能的速率叫电功率,简称功率,用 p 或 P 表示。习惯上,把发出或接受电能说成发出或接受功率。

下面分析任一支路的功率关系。当支路电流、电压实际方向一致时,因为电流的方向是正电荷运动的方向,而正电荷沿电压方向移动时能量减少,所以这时该支路接受功率。当支路电流、电压实际方向相反时,该支路发出功率。又因

$$i = \frac{dq}{dt}, \quad u = \frac{dw}{dq}$$
$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \cdot \frac{dq}{dt}$$

所以转换能量的速率,即功率为

$$p = u \cdot i \quad (1.5)$$

即任一支路的功率等于其电压与电流的乘积。

用式(1.5)计算功率时,如果电流、电压选用关联参考方向,则所得的 p 应看成支路接受的功率,即计算所得功率为正值时,表示支路实际接受功率;计算所得功率为负值时,表示支路实际发出功率。

同样,如果电流、电压选择非关联参考方向,则按式(1.5)所得的 p 应看成支路发出的功率,即计算所得功率为正值时,表示支路实际发出功率;计算所得功率为负值时,表示

支路实际接受功率。

在直流情况下, 式(1.5)可表示为

$$P = UI$$

国际单位制(SI)中, 电压的单位为 V, 电流的单位为 A, 则功率的单位为瓦[特], 简称瓦, 符号为 W, $1 \text{ W} = 1 \text{ V} \cdot \text{A}$ 。常用的功率的十进制倍数和分数单位有千瓦(kW)、兆瓦(MW)和毫瓦(mW)等。

根据式(1.5), 从 t_0 到 t 时间段内, 电路吸收(消耗)的电能为

$$W = \int_{t_0}^t p \, dt \quad (1.6)$$

直流时, 有

$$W = P(t - t_0)$$

电能的 SI 主单位是焦[耳], 符号为 J, 它等于功率为 1 W 的用电设备在 1 s 内所消耗的电能。在实际生活中还采用千瓦小时(kW·h)作为电能的单位, 它等于功率为 1 kW 的用电设备在 1 h(3600 s)内所消耗的电能, 简称为 1 度电。

$$1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 10^3 \times 3600 = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

能量转换与守恒定律是自然界的基本规律之一, 电路当然遵守这一规律。一个电路中, 每一瞬间, 接受电能的各元件功率的总和等于发出电能的各元件功率的总和; 或者说, 所有元件接受的功率的代数和为零。这个结论叫做“电路的功率平衡”。

例 1.1 图 1.5 所示为直流电路, $U_1 = 4 \text{ V}$, $U_2 = -8 \text{ V}$, $U_3 = 6 \text{ V}$, $I = 4 \text{ A}$, 求各元件接受或发出的功率 P_1 、 P_2 和 P_3 , 并求整个电路的功率 P 。

解 元件 1 的电压参考方向与电流参考方向相关联, 故

$$P_1 = U_1 I = 4 \times 4 = 16 \text{ W (接受 16 W)}$$

元件 2 和元件 3 的电压参考方向与电流参考方向非关联, 故

$$P_2 = U_2 I = (-8) \times 4 = -32 \text{ W (接受 32 W)}$$

$$P_3 = U_3 I = 6 \times 4 = 24 \text{ W (发出 24 W)}$$

整个电路的功率 P (设接受功率为正, 发出功率为负) 为

$$P = 16 - 32 - 24 = -24 \text{ W}$$

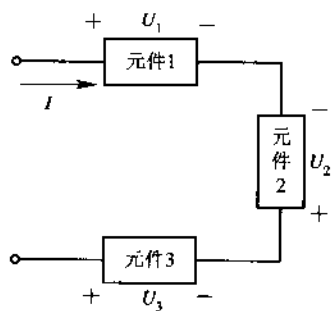


图 1.5 例 1.1 图

思考题

1. 当元件电流、电压选择关联参考方向时, 什么情况下元件接受功率? 什么情况下元件发出功率?

2. 有两个电源, 一个发出的电能为 $1000 \text{ kW} \cdot \text{h}$, 另一个发出的电能为 $500 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。是否可以认为前一个电源的功率大, 后一个电源的功率小?

1.4 电阻元件和欧姆定律

电路是由元件连接而成的,研究电路时首先要了解各种电路元件的特性。表示电路元件特性的数学关系称为元件约束。

如果一个元件通过电流时总是消耗能量,那么其电压的方向总是与电流的方向一致。电阻元件就是按此而定义的,用来反映能量的消耗。电阻元件是一个二端元件,它的电流和电压的方向总是一致的,电流和电压的大小成代数关系。

电流和电压的大小成正比的电阻元件叫线性电阻元件。元件的电流与电压的关系曲线叫做元件的伏安特性曲线。线性电阻元件的伏安特性为通过坐标原点的直线,这个关系称为欧姆定律。在电流和电压的关联参考方向下,线性电阻元件的伏安特性曲线如图 1.6 所示,欧姆定律的表达式为

$$u = iR \quad (1.7)$$

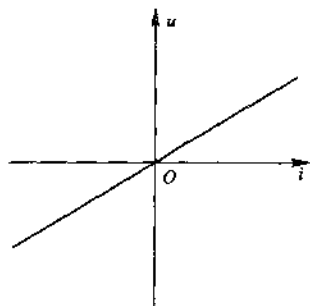


图 1.6 线性电阻的伏安特性曲线

式中, R 是元件的电阻,它是一个反映电路中电能消耗的电路参数,是一个正实常数。式(1.7)中电压用 V 表示,电流用 A 表示时,电阻的单位是欧[姆],符号为 Ω 。电阻的十进制倍数单位有千欧($k\Omega$)、兆欧($M\Omega$)等。

电流和电压的大小不成正比的电阻元件叫非线性电阻元件,本书只讨论线性电阻电路。

令 $G = 1/R$, 则式(1.7)变为

$$i = Gu \quad (1.8)$$

式中, G 称为电阻元件的电导,单位是西[门子],符号为 S 。

如果线性电阻元件的电流和电压的参考方向不关联,则欧姆定律的表达式为

$$u = -Ri \quad (1.9)$$

或

$$i = -Gu \quad (1.10)$$

在电流和电压的关联参考方向下,任何瞬时线性电阻元件接受的电功率为

$$p = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} = Gu^2 \quad (1.11)$$

由于电阻 R 和电导 G 都是正实数,因此功率 p 恒为非负值。既然功率 p 不能为负值,这就说明任何时刻电阻元件不可能发出电能,它所接受的全部电能都转换成其他形式的能。所以线性电阻元件是耗能元件。

如果电阻元件把接受的电能转换成热能,则从 t_0 到 t 时间内,电阻元件的热[量] Q ,也就是这段时间内接受的电能 W 为

$$Q = W = \int_{t_0}^t p \, dt = \int_{t_0}^t Ri^2 \, dt = \int_{t_0}^t \frac{u^2}{R} \, dt \quad (1.12)$$