



高等职业教育
机电类课程规划教材

电路基础

(第二版)

GAODENG ZHIYE JIAOYU
JIDIANLEI KECHENG GUIHUA JIAOCAI

新世纪高等职业教育教材编审委员会组编

主编 郝万新 荆珂 主审 张晶

大连理工大学出版社

责任编辑 赵晓艳 姜楠 封面设计 波朗

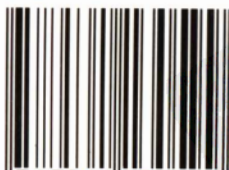


GAODENG ZHIYE JIAOYU
JIDIANLEI KECHENG GUIHUA JIAOCAI

新世纪高职教材编委会机电类课程规划教材目录

1. 模拟电子技术 (基础篇 第二版)
2. 模拟电子技术 (实训篇 第二版)
3. 数字电子技术 (第二版)
4. 电路基础 (第二版)
5. 机械制图 (机械专业 第二版)
6. 机械制图习题集 (机械专业 第二版)
7. 机械制图 (非机械专业 第二版)
8. 机械制图习题集 (非机械专业 第二版)
9. 工程力学 (第二版)
10. 电专业英语阅读教程
11. 数控编程与加工技术 (基础篇)
12. 数控编程与加工技术 (实训篇)
13. 数控加工设备
14. 机械CAD/CAM
15. 液压与气动技术 (第二版)
16. 中文版AutoCAD 2004实用教程
17. 机械设计基础
18. 机械设计基础实训指导书
19. 工程材料及成形工艺 (工程材料基础)
20. 工程材料及成形工艺 (成形工艺及实训)
21. 公差配合与测量技术 (第二版)
22. 船舶柴油机
23. 电气控制技术
24. 机械制造技术

ISBN 7-5611-3059-7



9 787561 130599 >

ISBN 7-5611-3059-7

定价: 22.00元



高等职业教育机电类课程规划教材

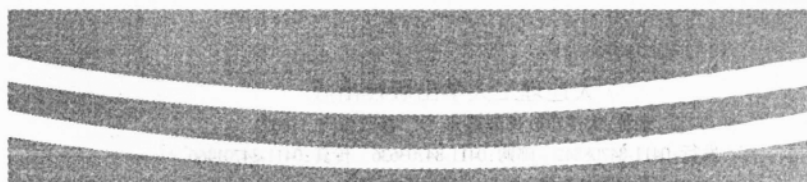
电路基础

(第二版)

新世纪高等职业教育教材编委会组编

主审 张 晶

主编 郝万新 荆 珂 副主编 赵松杰 杨俊伟



DIANLU JICHU

大连理工大学出版社

DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

PDG

© 大连理工大学出版社 2005

图书在版编目(CIP)数据

电路基础 / 郝万新, 荆珂主编. —2 版. —大连: 大连理工大学出版社, 2005.11

高等职业教育机电类课程规划教材

ISBN 7-5611-3059-7

I. 电… II. ①郝…②荆… III. 电路理论 IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 131119 号

大连理工大学出版社出版

地址: 大连市软件园路 80 号 邮政编码: 116023

发行: 0411-84708842 邮购: 0411-84703636 传真: 0411-84701466

E-mail: dutp@dutp.cn URL: <http://www.dutp.cn>

大连业发印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸: 185mm × 260mm 印张: 15 字数: 326 千字

印数: 5 001 ~ 9 000

2003 年 8 月第 1 版

2005 年 11 月第 2 版

2005 年 11 月第 2 次印刷

责任编辑: 赵晓艳 姜楠

责任校对: 王志力

封面设计: 波朗

定 价: 22.00 元

新世纪高等职业教育教材编委会教材建设 指导委员会

主任委员:

曹勇安 黑龙江东亚学团董事长 齐齐哈尔职业学院院长 教授

副主任委员(以姓氏笔画为序):

马必学	武汉职业技术学院院长	教授
王大任	辽阳职业技术学院院长	教授
冯伟国	上海商业职业技术学院副院长	教授 博士
刘兰明	邯郸职业技术学院副院长	教授 博士
刘长声	天津对外经济贸易职业学院副院长	副教授
李竹林	河北建材职业技术学院院长	教授
李长禄	黑龙江工商职业技术学院副院长	副研究员
陈 礼	广东顺德职业技术学院副院长	教授
金长义	广西工业职业技术学院院长	副教授
赵居礼	陕西工业职业技术学院副院长	副教授
徐晓平	盘锦职业技术学院院长	教授
高树德	吉林交通职业技术学院副院长	教授
戴裕崴	天津轻工业职业技术学院副院长	副研究员 博士

秘书长:

杨建才 沈阳师范大学职业技术学院院长

副秘书长(以姓氏笔画为序):

张和平 江汉大学高等职业技术学院院长
张化疆 黑龙江生态工程职业学院副院长
周 强 齐齐哈尔大学应用技术学院院长

秘书组成员(以姓氏笔画为序):

卜 军 上海商业职业技术学院
王澄宇 大庆职业学院
粟景妆 广西国际商务职业技术学院
鲁 捷 沈阳师范大学职业技术学院
谢振江 黑龙江省司法警官职业学院

会员单位(略):



第1章 电路模型和基尔霍夫定律	1
1.1 电路和电路模型	1
1.2 电路的基本物理量及其参考方向	3
1.3 无源元件	8
1.4 电源	15
1.5 基尔霍夫定律	18
习题1	22
第2章 电路基本定理及基本分析方法	26
2.1 电阻电路的等效变换	26
2.2 电源等效变换	35
2.3 叠加定理	40
2.4 戴维南定理和诺顿定理	44
2.5 支路电流法	50
2.6 网孔电流法	54
2.7 节点电压法	58
习题2	64
第3章 单相正弦交流电路分析	69
3.1 正弦交流电的概念	69
3.2 正弦量的表示法	72
3.3 正弦电路定律的相量形式和相量图	73
3.4 阻抗串并联的计算	78
3.5 正弦交流电路稳态分析	81
3.6 正弦稳态电路的功率及功率因数的提高	83
3.7 串并联电路的谐振	88
习题3	93
第4章 三相正弦交流电路	98
4.1 三相正弦交流电路概念	98
4.2 对称三相正弦交流电路的分析与计算	101
4.3 不对称三相正弦交流电路	104
4.4 三相正弦电路的功率	107
习题4	111
第5章 互感耦合电路	113
5.1 磁路的基本知识	113

5.2 铁芯线圈	118
5.3 互感和互感电压	122
5.4 互感线圈的连接及去耦等效电路	126
5.5 变压器	131
习题 5	135
第 6 章 动态电路的暂态分析	138
6.1 过渡过程的产生与换路定理	138
6.2 一阶电路的零状态响应	142
6.3 一阶电路的零输入响应	146
6.4 一阶电路的全响应	149
6.5 一阶电路的三要素	151
6.6 积分电路和微分电路	153
6.7 一阶电路的阶跃响应和冲激响应	155
6.8 二阶电路的零输入响应	163
6.9 二阶电路的零状态响应和阶跃响应	169
6.10 二阶电路的冲激响应和全响应	172
习题 6	175
第 7 章 非正弦周期电路	180
7.1 非正弦周期信号及其分解	180
7.2 非正弦周期电路中的有效值、平均值、平均功率	183
7.3 非正弦周期电路的计算	187
7.4 滤波器	189
习题 7	191
第 8 章 综合实训	192
8.1 磁电系电流表的结构与原理	192
8.2 制作万用表的电流表	195
8.3 制作万用表的电压表	198
8.4 制作万用表的欧姆表	200
8.5 制作万用表的正弦交流电压表	204
8.6 利用直流电桥测量电阻	205
8.7 功率因数提高与电能测量	208
附录 拉普拉斯变换在电路分析中的应用	214
附录 1 拉普拉斯变换的定义	214
附录 2 拉普拉斯变换的性质	214
附录 3 拉普拉斯反变换的部分分式展开	216
附录 4 运算电路	218
附录 5 应用拉普拉斯变换法分析线性电路	220
习题答案	222

第1章

电路模型和基尔霍夫定律

知 识 要 点

- 电路模型的概念
- 电流、电压的参考方向
- 功率的计算
- 电路基本元件的特性方程
- 基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路

电路是为了实现某种功能由电气器件(如电阻器、电容器、电感线圈、晶体管、变压器等)按一定方式连接而成的集合体。例如,手电筒是一个最简单的电路,它由电池、开关、灯泡、导线等组成一个电流的通路;又如,电力系统和电视机则是相当复杂的电路,它们由许多的电路元件连接组成。

因使用目的和需要的不同,电路的种类很多,作用也各不相同。

电路的作用之一是实现电能的传输和转换。如图 1-1 所示的电力系统中,发电机是电源,是供给电能的设备,它可以把热能、原子能等非电能形式的能量转换为电能;白炽灯、电动机、电热设备等是负载,是消耗电能的设备,它们把电能转换为光能、机械能、热能等其他形式的能量,从而满足生活、生产的需要;变压器、输电线以及开关等是中间环节,用

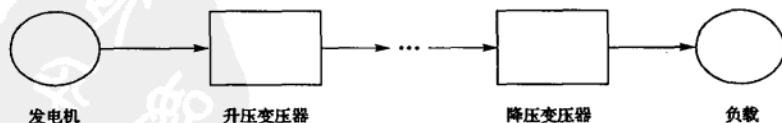


图 1-1 电力系统结构示意图

于连接电源和负载,起传输和分配电能、保证安全供电的作用。这类电路中,一般电压较高,电流较大,通常称为强电电路,要求在电能的传输和转换过程中,电路的能量损耗尽可

能小,效率尽可能高。

电路的作用之二是实现信号的传递和处理。如图 1-2 所示的扩音器结构示意图中,话筒是信号源,用于将声音信号转换为微弱的电信号;喇叭接收电信号并转换为声音,它是扩音器的负载;由于话筒输出的电信号很弱,不足以驱动喇叭发声,因此用放大器来放大电信号。在这类电路中,虽然也

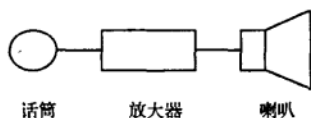


图 1-2 扩音器结构示意图

有能量的传输和转换,但因电压、电流数值通常较小,称为弱电电路,较少考虑能量的损耗和效率问题,研究的重点是如何改善电路传递和处理信号的性能(如失真、稳定性、放大倍数、级间配合等问题)。

可见,一个完整的电路应包括电源、负载和中间环节三部分,是由发生、传送和应用电能(或电信号)的各种部件组成的总体。电源是提供电能或电信号的设备,常指发电机、蓄电池、整流装置、信号发生装置等设备;负载是使用电能或输出电信号的设备,如一台电视机可看作是强电系统的负载,而其中的扬声器或显像管又是信号处理设备自身的负载;中间环节用于传输、控制电能和电信号,常指输电线、开关和熔断器等传输、控制和保护装置,或放大器等信号处理电路。

1.1.2 理想元件

组成电路的实际电路器件通常比较复杂,其电磁性能的表现是由多方面交织在一起的。但在研究时,为了便于分析,在一定的条件下要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,而将其他电磁现象忽略,或将一些电磁现象分别处理。例如连接在电路中的灯泡,通电后消耗电能而发光、发热,并在其周围产生磁场(电流周围会产生磁场),但是由于后者的作用微弱,所以只需考虑灯泡消耗电能的性能,而将其视为电阻元件。

我们将实际电路器件理想化而得到的只具有某种单一电磁性质的元件,称为理想电路元件,简称为电路元件。每一种电路元件体现某种基本现象,具有某种确定的电磁性质和精确的数学定义。常用的有表示将电能转换为热能的电阻元件、表示电场性质的电容元件、表示磁场性质的电感元件及电压源元件和电流源元件等。

电路元件按照其与电路其他部分相连接的端钮数可以分为二端元件和多端元件。二端元件通过两个端钮与电路其他部分连接,多端元件通过三个或三个以上端钮与电路其他部分连接。本章后几节将分别讲解常用的电路元件的特性。

1.1.3 电路模型

由理想电路元件互相连接组成的电路称为电路模型。电路模型是实际电路的抽象和近似,应当通过对电路的物理过程的观察分析来确定一个实际电路用什么样的电路模型表示。模型取得恰当,对电路的分析与计算的结果就与实际情况接近。本书所说的电路均指由理想电路元件构成的电路模型。理想电路元件及其组合虽然与实际电路元件的性能

不完全一致,但在一定条件下,工程上允许的近似范围内,实际电路完全可以用理想电路元件组成的电路代替,从而使电路的分析与计算得到简化。

思考与练习

1.1.1 电路由哪几部分组成?电路的作用有哪些?请列举出两个生活中常见的实际电路。

1.1.2 何谓理想电路元件?常见的理想电路元件有哪些?

1.1.3 何谓二端元件和多端元件?

1.2 电路的基本物理量及其参考方向

无论是电能的传输和转换,还是信号的传递和处理,都体现在电路中电流、电压和电功率的大小及它们之间的关系上,因此在讨论电路的分析和计算方法之前,首先概略地阐述一下这几个基本物理量。

1.2.1 电流及其参考方向

1. 电流

金属内的自由电子在电场的作用下做定向运动,形成电流。电流的强弱用电流强度来衡量。如图 1-3 所示,假设在 dt 时间内通过导体截面 S 的电量为 dq ,则电流强度为

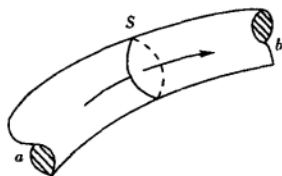


图 1-3 导体中的电流

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

即电流强度在数值上等于单位时间内通过导体某一横截面的电荷量。规定正电荷运动的方向或负电荷(金属中的自由电子)运动的相反方向为电流的实际方向。在外电场的作用下,正电荷将沿着电场方向运动,而负电荷将逆着电场方向运动,电流的实际方向总是和外电场的方向一致。电流强度习惯上简称为电流。

一般地,电流是时间的函数,随时间而变化。我们将大小和方向都随时间而变化的电流称为交流电流,用小写字母 i 表示,如图 1-4(a)、1-4(b) 所示。

如果电流的大小和方向不随时间而变化,则称其为直流电流,用大写字母 I 表示,如图 1-4(c) 所示。对于直流电流,若在时间 t 内通过导体横截面的电荷量为 Q ,则电流为 $I = \frac{Q}{t}$ 。

国际单位制(SI)中,电流的单位是安培(A),简称安。当每秒通过导体横截面的电量为 1 库仑(C)时,电流为 1A。表示微小电流时,以毫安(mA)或微安(μ A)为单位;表示大电流时,以千安(kA)为单位。它们和安的关系是:

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

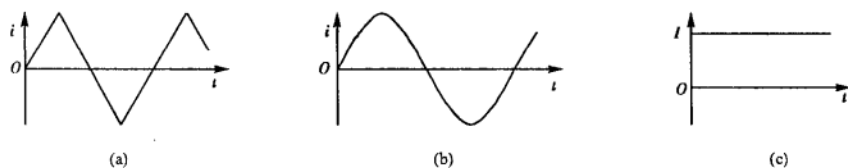


图 1-4 电流波形示意图

2. 电流的参考方向

当电路比较复杂时,在得出计算结果之前,判断电流的实际方向很困难,而进行电路的分析与计算,又必须确定电流的方向。对于交流电流,电流的方向随时间而改变,无法用一个固定的方向表示,因此我们引入电流的“参考方向”这一概念。

任意规定某一方向作为电流数值为正的方向,称为电流的参考方向,也称为电流的正方向。它是一个任意假定的电流方向,用箭头表示在电路上,并标以符号 i ,如图 1-5(a) 所示。规定了电流的参考方向以后,电流就变成了代数量而且有正有负,根据电流的参考方向和计算结果中的正、负号,就可以知道电流的实际方向。如果电流 i 为正值,则电路中电流实际方向与电流参考方向一致,如图 1-5(b) 所示;如果电流 i 为负值,则电路中电流实际方向与电流参考方向相反,如图 1-5(c) 所示。需要注意的是,未规定电流的参考方向时,电流的正负没有任何意义。

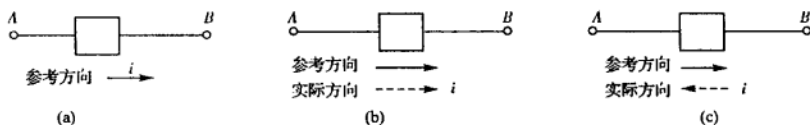


图 1-5 电流的参考方向

如通过图 1-5(a) 中元件的电流为 15mA,电流实际由 B 流向 A ,则电流 i 为 -15 mA 。

在直流电路中,测量电流时,应根据电流的实际方向将电流表串联接入待测支路中,电流表上标注的“+”、“-”号为电流表的极性。

1.2.2 电压和电动势

1. 电压

物理学中讲过,一对分别带有正、负电荷的极板之间存在着一个电场。一个电源(例如蓄电池)的两个电极上总是分别带有正负电荷,所以电源的两极间存在着一个电场。如果用导线把电源的正、负极通过负载连接成一个闭合电路,如图 1-6 所示,在电场力的作用下,正电荷要从电源正极 A 经过连接导线和负载流向电源负极 B (实际上是带负电的电子由负极 B 经负载流向正极 A),形成了电流,而电场力就对电荷做了功。

电场力把单位正电荷从 A 点经外电路(即电源以外的电路)移到 B 点所做的功,叫做

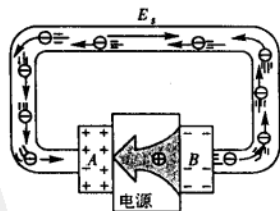


图 1-6 电荷的运动回路

A 、 B 两点之间的电压,用字母 U_{AB} 表示,电压是衡量电场力做功能力的一个物理量。

若电场力做功 dW ,使电荷 dq 经外电路由电源正极 A 移动到负极 B ,则 U_{AB} 为

$$U_{AB} = \frac{dW}{dq} \quad (1-2)$$

可以证明电场力做功与路径无关,因此上式定义的电压也与路径无关,仅取决于始末点位置。可以得出结论:电路中任意两点间的电压有确定的数值。由于电场力把正电荷从高电位点移向低电位点,因此规定电压的实际方向是从高电位点指向低电位点,即电位降的方向。所以,电压也可以用电位表示,电位即物理学中的电势,用 φ 表示,单位是伏特(V)。两点的电压就是这两点间的电位之差。这样, a 、 b 两点间的电压可表示为

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

国际单位制(SI)中,电压的单位是伏特(V),简称伏。当电场力把 1C 的电量从一点移到另一点所做的功为 1J(焦耳)时,这两点间的电压为 1V。表示微小电压时,以毫伏(mV)和微伏(μ V)为单位,表示高电压时则以千伏(kV)为单位,它们和伏的关系是:

$$1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V} \quad 1 \text{ mV} = 10^{-3} \text{ V} \quad 1 \mu\text{V} = 10^{-6} \text{ V}$$

2. 电动势

相对于电源外部正负两极间的外电路而言,通常把电源内部正负两极间的电路称为内电路。在电场力的作用下,正电荷源源不断地从电源正极经外电路到达负极,于是正极上的正电荷数量不断减少。如果要维持电流在外电路中流通,并保持恒定,就要使移动到电源负极上的正电荷经过电源内部回到电源正极。电源力把单位正电荷从电源负极经电源内部移到电源正极所做的功,叫做该电源的电动势,用字母 E 表示。电动势是衡量电源力做功能力的物理量,它把正电荷从低电位点(电源负极)移向高电位点(电源正极),故电动势的方向是从低电位点指向高电位点,即电位升的方向。

在电源力的作用下,电源不断地把其他形式的能量转换为电能。在各种不同的电源中,产生电源力的原因是不同的,例如在电池中是由于电解液和金属极板之间的化学作用,在发电机中是由于电磁感应作用,在热电偶中是由于两种不同金属连接处的热电效应等。和电压的单位相同,电动势的单位也是伏特(V)。

3. 电压和电动势的参考方向

和电流一样,电路图中所标的电压和电动势的方向也都是参考方向,只有在已经标定参考方向之后,电压和电动势的数值才有正、负之分。一般地,在元件或电路两端用符号“+”、“-”分别标定正负极性,由正极指向负极的方向为电压的参考方向,并以箭头表示。如果电压 U 为正值,则实际方向与参考方向一致;如果电压 U 为负值,则实际方向与参考方向相反。

4. 关联与非关联参考方向

一个元件的电压或电流的参考方向可以独立地任意假定。如果指定流过元件的电流参考方向是从标以电压正极性的一端指向负极性的一端,即两者的参考方向一致,则把电流和电压的这种参考方向称为关联参考方向;当两者不一致时,称为非关联参考方向。

在分析计算复杂电路时,参考方向的规定常有一些习惯的方法。

方法一,在直流电路中,如果已经知道电流、电压或电动势的实际方向,则取它们的参考方向与实际方向一致;对于不能确定实际方向的电路或交流电路,则一般采用关联参考方向。

方法二,用双下标脚注表示电压与电动势的参考方向,例如 U_{ab} 表示电路中 a 、 b 两点间电压的参考方向从 a 点指向 b 点,而 U_{ba} 则表示电压的参考方向从 b 点指向 a 点,显然, $U_{ab} = -U_{ba}$ 。

方法三,为了便于分析电路,常在电路中任意指定一点作为参考点,假定该点电位是零(用符号“ $\perp$ ”表示),则由电压的定义可以知道,电路中的 a 点与参考点间的电压即为 a 点相对于参考点的电位,因此我们可以用电位的高低(大小)来衡量电路中某点电场能量的大小。电路中参考点的位置原则上可以任意指定,参考点不同,各点电位的高低也不同,但是电路中任意两点间的电压与参考点的选择无关。在实际电路中,常以大地或仪器设备的金属机壳(或底板)作为电路的参考点,参考点又常称为接地点。

例 1-1 如图 1-7 所示的电路中,已知 $U_1 = 10\text{V}$, $U_2 = -16\text{V}$, $U_3 = -4\text{V}$,试求 U_{ab} 。

解 标定 a 、 b 两点间电压的参考方向如图 1-7 所示,则

$$\begin{aligned} U_{ab} &= -U_1 + U_2 - U_3 \\ &= -10\text{V} + (-16)\text{V} - (-4)\text{V} = -22\text{V} \end{aligned}$$

U_{ab} 为负值,表明电压的实际方向由 b 点指向 a 点,即 b 点是高电位点。

例 1-2 如图 1-8 所示的电路中有五个电路元件,电流和电压的参考方向均已标在电路图上。

实验测得: $I_1 = I_2 = -8\text{A}$, $I_3 = 12\text{A}$, $I_4 = I_5 = 4\text{A}$;
 $U_1 = 200\text{V}$, $U_2 = 120\text{V}$, $U_3 = 80\text{V}$, $U_4 = -70\text{V}$, $U_5 = -150\text{V}$ 。

(1) 试指出各电流的实际方向和各电压的实际极性。

(2) 判断哪些元件是电源?哪些是负载?

(3) 指出各元件的电压与电流的参考方向是关联方向还是非关联方向。

解 (1) 根据图中所标电流、电压方向,流过元件 1、2 的电流实际方向与参考方向相反,由右流向左;流过元件 3 的电流实际方向与参考方向相同,由左流向右,流过元件 4、5 的电流实际方向与参考方向相同,由右流向左;电压 U_1 、 U_2 、 U_3 的实际方向与参考方向相同, U_4 、 U_5 的实际方向与参考方向相反,即 a 点为高电位点, b 点为低电位点。

(2) 对于元件 1 和元件 5,电流由低电位点流向高电位点,因此它们是电源;对于元件 2、3、4,电流由高电位点流向低电位点,因此它们是负载。

(3) 按照关联参考方向的规定,元件 1、3、5 的电压与电流是关联参考方向;元件 2、4 的电压与电流是非关联参考方向。

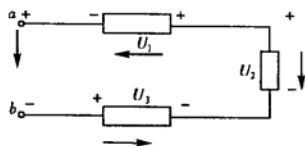


图 1-7 例 1-1 电路图

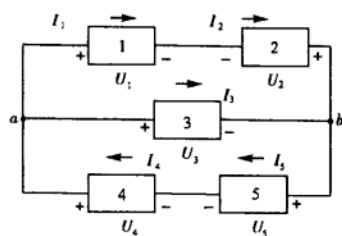


图 1-8 例 1-2 电路图

1.2.3 电功率和电能

1. 电功率

电流通过电路时传输或转换电能的速率称为电功率, 简称为功率, 用符号 p 表示。

流过二端元件的电流和电压分别为 i 和 u , 如图 1-9 所示, 关联参考方向如图中箭头所示。在电路中, 正电荷 dq 受电场力作用, 由 a 点运动到 b 点, 电场力做功 dW , 且 $dW = u dq$ 。所以, 电路吸收的电功率为

$$p = \frac{dW}{dt} = u \frac{dq}{dt} = ui \quad (1-3a)$$

上式表明, 任意瞬时, 电路的功率等于该瞬时的电压与电流的乘积。对直流电路, 有

$$P = UI \quad (1-3b)$$

当电压、电流为非关联参考方向时, 式(1-3a)、(1-3b) 应增加一个负号。

在国际单位制(SI) 中, 功率的单位是瓦特(W), 简称瓦。常用单位还有千瓦(kW) 和毫瓦(mW)。照明灯泡的功率用瓦作单位, 动力设备如电动机则多用千瓦作单位, 而在电子电路中往往用毫瓦作单位。

由于电压与电流均为代数量, 因而功率也可正可负。若 $P > 0$, 表示元件实际吸收或消耗功率; 若 $P < 0$, 表示元件实际发出或提供功率。

2. 电能

电路在一段时间内吸收的能量称为电能。根据式(1-3a), 在 t_0 到 t 时间内, 电路所吸收的电能为

$$W = \int_{t_0}^t p dt \quad (1-4a)$$

直流时

$$W = P(t - t_0) \quad (1-4b)$$

在国际单位制(SI) 中, 电能的单位是焦耳(J)。1J 等于1W的用电设备在1s内消耗的电能。电力工程中, 电能常用“度”作单位, 它是千瓦时(kWh) 的简称, 1度等于功率为1kW的用电设备在1小时内消耗的电能。即

$$1\text{kWh} = 10^3 \times 3600 = 3.6 \times 10^6 \text{J} = 3.6\text{MJ}$$

例1-3 计算图1-10中各元件的功率, 指出是吸收还是发出功率, 并求出整个电路的功率。已知电路为直流电路, $U_1 = 4\text{V}$, $U_2 = -8\text{V}$, $U_3 = 6\text{V}$, $I = 2\text{A}$ 。

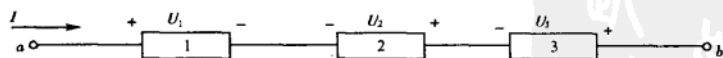
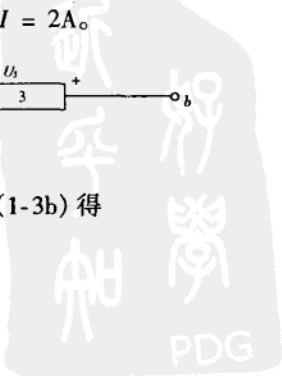


图 1-10 例 1-3 电路图

解 在图中, 元件 1 电压与电流为关联参考方向, 由式(1-3b) 得

$$P_1 = U_1 I = 4 \times 2 = 8\text{W}$$

故元件 1 吸收功率。



元件 2 和元件 3 中电压与电流是非关联参考方向, 所以得

$$P_2 = -U_2 I = -(-8) \times 2 = 16\text{W}$$

$$P_3 = -U_3 I = -6 \times 2 = -12\text{W}$$

故元件 2 吸收功率, 元件 3 发出功率。

整个电路的功率为

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = 8 + 16 - 12 = 12\text{W}$$

本例中, 元件 1 和元件 2 的电压与电流实际方向相同, 二者吸收功率; 元件 3 的电压与电流实际方向相反, 发出功率。由此可见, 当电压与电流的实际方向一致时, 电路一定是吸收功率的; 反之则是发出功率的。电阻元件的电压与电流的实际方向总是一致的, 其功率总是正值; 电源则不然, 它的功率可能是负值, 也可能是正值, 这说明它可能作为电源提供电能, 发出功率; 也可能被充电, 吸收功率。

思考与练习

1.2.1 为什么要规定电流、电压的参考方向? 何谓关联参考方向?

1.2.2 一个元件的功率为 $P = 100\text{W}$, 试讨论关联与非关联参考方向下, 该元件吸收还是发出功率?

1.2.3 何谓电动势? 若一个电池与一个灯泡组成闭合电路, 电池的端电压与电动势有何关系?

1.2.4 如图 1-11 所示的电路中有三个元件, 电流、电压的参考方向如图 1-11 中箭头所示, 实验测得

$$I_1 = 3\text{A} \quad I_2 = -3\text{A} \quad I_3 = -3\text{A}$$

$$U_1 = -120\text{V} \quad U_2 = 70\text{V} \quad U_3 = -50\text{V}$$

试指出各元件电流、端电压的实际方向, 计算元件的功率, 并指出哪个元件吸收功率、哪个元件发出功率?

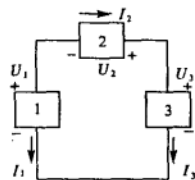


图 1-11 题 1.2.4 图

1.3 无源元件

本节讨论的无源元件有电阻元件、电容元件、电感元件, 主要分析讨论线性二端电阻元件、线性二端电容元件、线性二端电感元件的特性。

1.3.1 电阻元件

电阻元件是一种最常见的、用来反映电能消耗的一种二端元件, 在任意时刻元件的电压与电流的关系可以用一条确定的伏安特性曲线描述, 并且这条曲线可通过实验获得。

由于耗能元件电压与电流的实际方向总是一致的, 即电流流向电位降落的方向, 因此当选取电压与电流的方向为关联参考方向时, 电阻元件的伏安特性曲线是位于 I、Ⅲ象

限的曲线,电压与电流呈现某种代数关系。

若电阻元件的电压与电流关系不随时间变化,称为时不变电阻元件;否则,称为时变电阻元件。如电阻式传声器在有语音信号时,就是一个时变电阻,其电压与电流关系随时间发生变化。

若电阻元件的伏安特性曲线是通过原点的直线,称为线性电阻元件;否则,称为非线性电阻元件。如白炽灯相当于一个线性电阻元件,二极管是一个非线性电阻元件。

综上所述,电阻元件可以分为四类:线性时变电阻、线性时不变电阻、非线性时变电阻和非线性时不变电阻。图 1-12 给出了时不变电阻元件在线性与非线性两种情况下的伏安特性曲线及电路符号。

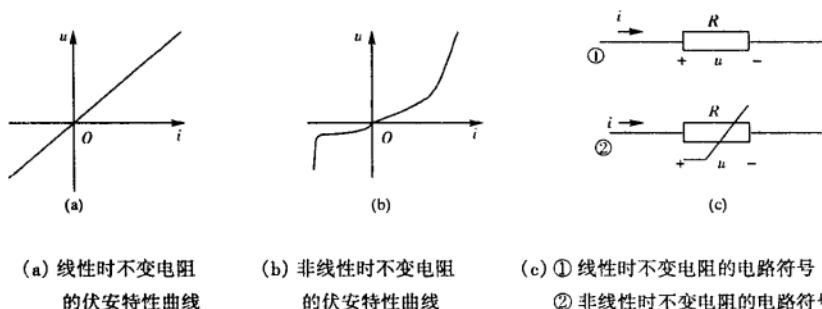


图 1-12 电阻元件的伏安特性曲线和电路符号

如无特殊说明,本书所称电阻元件一般指线性时不变的理想电阻元件。

对于线性电阻元件,由图 1-12(a) 可以知道,在关联参考方向下,流过线性电阻元件的电流与电阻两端的电压成正比,若令比例系数为 R ,则表达式为

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

这就是欧姆定律。比例系数 R 是一个反映电路中电能损耗的参数,它是一个与电压、电流均无关的常数,称为元件的电阻。可见欧姆定律用于表达一段电阻电路上的电压与电流的关系,也称为电阻元件的特性方程。若电压与电流为非关联参考方向时,式(1-5)应当变为

$$u = - Ri \quad (1-6)$$

国际单位制(SI)中,电压 u 的单位是伏(V),电流 i 的单位是安(A),电阻 R 的单位是欧姆(Ω),简称欧。当流过电阻的电流是 1A、电阻两端的电压是 1V 时,电阻元件的电阻为 1Ω 。常用单位还有千欧(k Ω)和兆欧(M Ω)等。

$$1\text{k}\Omega = 10^3\Omega \quad 1\text{M}\Omega = 10^3\text{k}\Omega = 10^6\Omega$$

实验证明,金属导体的电阻值不仅和导体材料的成分有关,还和导体的几何尺寸及温度有关。一般地,横截面积为 $S(\text{m}^2)$ 、长度为 $L(\text{m})$ 的均匀导体,其电阻 $R(\Omega)$ 为

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-7)$$

式中, ρ 为电阻率,单位是欧姆·米($\Omega \cdot \text{m}$),常用导电材料的电阻率见表 1-1。

表 1-1 常用导电材料的电阻率

材料	$\rho(\Omega \cdot \text{m})$	材料	$\rho(\Omega \cdot \text{m})$	材料	$\rho(\Omega \cdot \text{m})$
银(化学纯)	1.47×10^{-8}	钨	5.3×10^{-8}	铁(化学纯)	9.6×10^{-8}
铜(化学纯)	1.55×10^{-8}	铂	9.8×10^{-8}	铁(工业纯)	12×10^{-8}
铜(工业纯)	1.7×10^{-8}	锰铜	42×10^{-8}	镍铬铁	12×10^{-8}
铝	2.5×10^{-8}	康铜	44×10^{-8}	铝铬铁	120×10^{-8}

导体温度不同时,其电阻值一般不同,可用下式计算

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad (1-8)$$

式中, R_1 是温度为 t_1 时导体的电阻值, R_2 是温度为 t_2 时导体的电阻值, α 是材料的电阻温度系数,即导体温度每升高 1°C 时,其电阻值增大的百分数,单位是每摄氏度($1/^\circ\text{C}$)。材料的 α 值愈小,电阻的阻值愈稳定。常用导电材料的电阻温度系数见表 1-2。

表 1-2 常用导电材料的电阻温度系数

材料	$\alpha(1/^\circ\text{C})$	材料	$\alpha(1/^\circ\text{C})$	材料	$\alpha(1/^\circ\text{C})$
银(化学纯)	4.1×10^{-3}	钨	4.8×10^{-3}	铁(化学纯)	6.6×10^{-3}
铜(化学纯)	4.3×10^{-3}	铂	3.9×10^{-3}	铁(工业纯)	6.6×10^{-3}
铜(工业纯)	4.25×10^{-3}	锰铜	0.005×10^{-3}	镍铬铁	0.13×10^{-3}
铝	4.7×10^{-3}	康铜	0.005×10^{-3}	铝铬铁	0.08×10^{-3}

为了方便分析,有时利用电导来表征线性电阻元件的特性。电导就是电阻的倒数,用 G 表示,它的单位是西门子(S)。引入电导后,欧姆定律在关联参考方向下还可以写成

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

严格地说,线性时不变电阻是不存在的,但绝大多数电阻在一定的工作范围内都非常接近线性电阻的条件,因此可用线性电阻作为它们的模型。实际中使用的电阻器、白炽灯和电炉等器件,伏安特性或多或少是非线性的,但在一定条件下,这些器件的伏安特性曲线近似地为一 条直线,因此可以用线性电阻元件作为电路模型,而不至于引起明显的偏差。实际中碳膜、金属膜、线绕和敏感电阻器使用较多。

国家标准规定的电阻器的电路符号如图 1-13 所示。

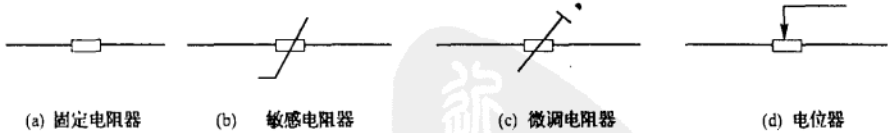


图 1-13 电阻器的电路符号

在关联参考方向下,线性电阻元件吸收(消耗)的功率可由式(1-3a)和式(1-5)计算得到

$$p = ui = Ri^2 = \frac{i^2}{G} \quad (1-10a)$$

$$p = ui = \frac{u^2}{R} = Gu^2 \quad (1-10b)$$