

教育部推荐教材 ● 21世纪高职高专系列规划教材 ● 高职高专“工学结合”试点教材



电路基础

主 编 李佐平 高 英 杜寿昌

副主编 许素玲 李光兰 黄恩相 王邦林

JIAOYUBU TUIJIAN JIAOCAI

DIANLU JICHU



北京师范大学出版社
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PRESS

教育部推荐教材

21世纪高职高专系列规划教材

高职高专“工学结合”试点教材

电路基础

主 编 李佐平 高 英 杜寿昌

副主编 许素玲 李光兰 黄恩相 王邦林

参 编 (排名不分先后)

吕文珍 蒙菊香 黄瑞情

寸彦萍 杨 勇 张 化

图书在版编目(CIP)数据

电路基础/李佐平,高英等主编. —北京:北京师范大学出版社,2007.8

(21世纪高职高专系列规划教材)

ISBN 978-7-303-08744-0

I. 电… II. ①李…②高… III. 电路理论-高等学校: 技术学校-教材 IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 134557 号

出版发行:北京师范大学出版社 www.bnup.com.cn

北京新街口外大街 19 号

邮政编码:100875

印 刷:北京牛山世兴印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:170mm×230mm

印 张:17

字 数:400 千字

版 次:2007 年 8 月第 1 版

印 次:2007 年 8 月第 1 次印刷

定 价:25.50 元

责任编辑:周光明 装帧设计:李葆芬

责任校对:李 菡 责任印制:董本刚

版权所有 侵权必究

反盗版、侵权举报电话:010-58800697

本书如有印装质量问题,请与出版部联系调换。

出版部电话:010-58800825

前言

本书是由多名长期从事职业学院电路基础教师根据高职教育的特点,吸取了各校教学改革、教材建设等方面取得的经验,充分考虑到学生实际情况,按照深入浅出、循序渐进、理论联系实际、便于学生自学和教师施教的原则编写的。本教材可作为高职高专院校、职工大学、业余大学电子信息类、通信技术类、机电类、计算机类专业使用的电路基础理论课教材,也可供其他相关专业选用,并对从事电子信息行业的工程技术人员及电子爱好者有一定的参考价值。

本教材在编写中始终以高职高专培养目标和要求为指导思想,根据现代科学技术发展的需要,在内容取舍上以《电路基础》的基本知识、基本理论为主线,注重电路基本概念、基本方法和基本定律、定理的应用,淡化理论,删减了一些较为烦琐和过分强调技巧的内容,重视实用。对于重要公式和结论重点放在讲清它们的物理意义或应用上,使理论分析难点降低,重点突出,概念清楚,实用性强。这样真正能使教材有助于学生自学及兴趣培养,提高课程教学效果。

本书在每章前有每章的要点,每章后有小结,部分小节后附有练习与思考,每章后附有习题。书末有部分习题答案,可供读者参考。

本书编者如下:云南国防工业职业技术学院杜寿昌、天津电子信息职业技术学院高英(第1章),云南国防工业职业技术学院杜寿昌、天津冶金职业技术学院李光兰、天津冶金职业技术学院吕文珍(第2、3章),云南机电职业技术学院李佐平、天津石油职业技术学院许素玲、渤海石油职业学院董瑞情(第4、5章),云南能源职业技术学院王邦林、天津工程师范学院蒙香菊(第6章),云南省水利水电学校黄恩相、天津电子信息职业技术学院高英(第7章),蒙香菊、杨勇第8章,张化、寸彦萍(编写第9章)。李佐平、高英、杜寿昌担任主编,许素玲、李光兰、黄恩相、王邦林担任副主编。

在编写过程中,参考和查阅了众多文献资料,汲取了许多养分,在此向参考文献的作者致以诚挚的谢意。

限于作者学术水平和教学经验,错误和不恰当之处在所难免,恳切希望使用该书的读者批评指正。

编者
2007年5月

目录

Contents

第1章 电路的基本概念和定律

- (1)
- 1.1 电路、电路元件和电路模型 (1)
 - 1.1.1 电路 (1)
 - 1.1.2 电路元件 (2)
 - 1.1.3 电路模型 (2)
- 1.2 电路中的基本物理量 (3)
 - 1.2.1 电流及其参考方向 (3)
 - 1.2.2 电压及其参考方向 (5)
 - 1.2.3 电位 (6)
 - 1.2.4 电功率与电能 (7)
- 1.3 常用理想电路元件 (9)
 - 1.3.1 电阻元件和欧姆定律 (9)
 - 1.3.2 电容元件 (11)
 - 1.3.3 电感元件 (13)
- 1.4 电路中的独立电源 (16)
 - 1.4.1 电压源 (16)
 - 1.4.2 电流源 (17)
- 1.5 基尔霍夫定律 (19)
 - 1.5.1 几个有关的电路名词 (19)
 - 1.5.2 基尔霍夫电流定律(KCL) (20)

- 1.5.3 基尔霍夫电压定律(KVL) (21)

第2章 电阻电路的等效变换

- (28)
- 2.1 电阻的串、并联等效变换 (28)
 - 2.1.1 等效的概念 (28)
 - 2.1.2 电阻的串联 (28)
 - 2.1.3 电阻的并联 (30)
 - 2.1.4 电阻的混联 (32)
 - 2.1.5 电路中的等电位点 (34)
- 2.2 电阻 Δ 形和Y形联结的等效变换 (35)
- 2.3 两种电源模型的等效变换 (38)
 - 2.3.1 两种实际电源模型的等效变换 (38)
 - 2.3.2 电源元件的串、并联 (39)
- 2.4 受控源及其等效变换 (43)
 - 2.4.1 受控源 (43)
 - 2.4.2 受控源的等效变换 (45)

第3章 线性电路的一般分析方法

- (51)
- 3.1 支路电流法 (51)

3.2 网孔电流法	(55)	4.2.1 复数及其表示	(100)
3.2.1 网孔方程及其一般形式	(56)	4.2.2 复数运算	(103)
3.2.2 网孔电流法计算举例	(58)	4.2.3 正弦量的相量表示	(104)
3.3 回路电流法	(61)	4.2.4 正弦量的相量图表示	(105)
3.4 节点电位(电压)法	(63)	4.2.5 两个同频率正弦量之和	(106)
3.4.1 节点电位的概念	(63)	4.3 三种元件伏安特性的相量形式	(107)
3.4.2 节点电位法	(63)	4.3.1 电阻元件	(107)
3.4.3 节点电位法的解题步骤及实例	(66)	4.3.2 电感元件	(110)
3.5 叠加定理与替代定理	(70)	4.3.3 电容元件	(112)
3.5.1 叠加定理	(70)	4.4 电路基本定律的相量形式	(115)
3.5.2 替代定理	(75)	4.4.1 基尔霍夫节点电流定律的相量形式	(115)
3.6 戴维南定理与诺顿定理	(77)	4.4.2 回路电压定律的相量形式	(115)
3.6.1 单口网络	(77)	4.5 RLC 串联电路	(116)
3.6.2 戴维南定理	(77)	4.5.1 电压与电流的关系	(116)
3.6.3 诺顿定理	(80)	4.5.2 电路的三种性质	(118)
3.7 最大功率传输定理	(84)	4.6 RLC 并联电路	(119)
第4章 正弦交流电路	(93)	4.6.1 电压与电流的关系	(120)
4.1 正弦量的基本概念	(93)	4.6.2 电路的三种性质	(121)
4.1.1 交流电和直流电的区别	(93)	4.6.3 复阻抗和复导纳的等效互换	(122)
4.1.2 正弦量的三要素	(95)	4.7 用相量法分析正弦交流电路	(123)
4.1.3 正弦量的相位差	(97)		
4.1.4 正弦量的有效值	(99)		
4.2 正弦量的相量表示法	(100)		

4.7.1 复阻抗混联电路的 分析计算	(124)
4.7.2 用网孔法和节点法分 析正弦电路	(126)
4.8 正弦交流电路中的功率	(128)
4.8.1 有功分量和无功分量	(128)
4.8.2 有功功率、无功功率、 视在功率	(129)
4.8.3 功率因数的提高	(130)
4.8.4 正弦交流电路中的 最大功率	(132)
4.9 谐振电路	(135)
4.9.1 串联谐振	(135)
4.9.2 串联谐振的特点	(136)
4.9.3 串联谐振的谐振 曲线	(138)
4.9.4 并联谐振	(140)
4.9.5 并联谐振的条件	(141)
4.9.6 并联谐振的特点	(141)
第5章 三相正弦电路	(150)
5.1 三相电源与三相负载	(150)
5.1.1 对称三相正弦电压	(150)
5.1.2 三相电源的连接	(152)
5.1.3 三相负载的连接	(154)
5.2 三相电路的功率	(157)
5.3 对称三相电路的计算	(159)
5.4 不对称三相电路的特点 及分析	(161)
第6章 互感与理想变压器	(168)
6.1 互感与互感电压	(168)
6.2 互感线圈的同名端	(170)
6.2.1 同名端的标记原则 及测定	(170)
6.2.2 同名端的应用	(171)
6.3 互感线圈的连接及等效 电路	(174)
6.3.1 互感线圈的串联	(174)
6.3.2 互感线圈的并联	(175)
6.4 空心变压器	(179)
6.5 理想变压器	(181)
6.5.1 理想变压器的变压 作用	(181)
6.5.2 理想变压器的变流 作用	(181)
6.5.3 理想变压器的阻抗 变换	(183)
第7章 非正弦周期信号 ...	(189)
7.1 非正弦周期信号的谐波 分析和频谱	(189)
7.2 非正弦周期信号作用下 的线性电路	(196)
7.3 非正弦周期信号的有效值 和功率	(200)

7.3.1	有效值	(200)	9.2	二端口网络的基本方程 和参数	(237)
7.3.2	平均值	(200)	9.2.1	阻抗方程与 Z 参数	(238)
7.3.3	平均功率	(201)	9.2.2	导纳方程与 Y 参数	(239)
第8章	电路的暂态分析 ..	(206)	9.2.3	传输方程与 T 参数	(240)
8.1	电路的过渡过程	(206)	9.2.4	混合方程与 H 参数	(241)
8.1.1	过渡过程	(206)	9.3	二端口网络的输入阻抗、 输出阻抗	(242)
8.1.2	研究过渡过程的一般 方法	(207)	9.4	线性二端口网络的等效 电路	(244)
8.2	电压和电流初始值的计算	(208)	9.4.1	无源线性二端口网络 的等效 T 形网络	(244)
8.2.1	换路定律	(208)	9.4.2	无源线性二端口网络 的等效 π 形网络	(245)
8.2.2	确定初始值的方法 和步骤	(209)	9.5	二端口网络的连接	(246)
8.3	零输入响应	(212)	9.5.1	二端口网络的串联	(246)
8.3.1	电路的零输入响应	(212)	9.5.2	二端口网络的并联	(247)
8.3.2	RL 电路的零输入 响应	(215)	9.5.3	二端口网络的级联	(248)
8.4	零状态响应	(217)	部分习题答案	(253)	
8.4.1	RC 电路的零状态 响应	(217)	参考文献	(258)	
8.4.2	RL 电路的零状态 响应	(220)			
8.5	全响应	(222)			
8.6	一阶线性电路暂态分析的 三要素法	(225)			
8.7	二阶 RLC 电路的零输 入响应	(229)			
第9章	二端口网络	(235)			
9.1	什么叫二端口网络	(235)			



本章要点

1. 本章介绍电路、电路模型、理想电路元件、参考方向等基本概念；重点阐述电路中的电压、电位、电流、电功率等几个电路基本变量；
2. 定义电阻、电容、电感、电压源、电流源等基本元件并讨论其属性；
3. 介绍电路分析中最重要的两个基本定律：欧姆定律、基尔霍夫定律。

第1章 电路的基本概念和定律

1.1 电路、电路元件和电路模型

1.1.1 电 路

电路是由电气设备和电路元器件按一定方式连接起来，为电流的流通提供闭合路径的集合体。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。

实际电路在日常生活和工程上随处可见，虽然各种电路的功能和组成不同，但它们都是由最基本的三部分构成，即电源(或信号源)、负载和传输控制器件(或中间环节)。电路中提供电能或信号的器件称为电源，电路中吸收电能或输出信号的元器件称为负载，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。手电筒电路就是一个简单实用电路，这个电路是由一个电源(干电池)、一个负载(小灯泡)、一个开关和连接导体(手电筒金属壳或金属条)所组成，如图 1.1 所示。

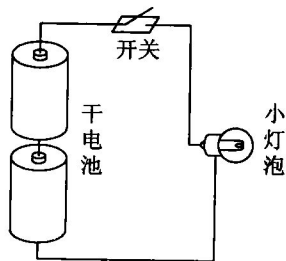


图 1.1 手电筒电路示意图

实际应用中的电路种类繁多，用途各异，但按其功能可概括为两个方面：电路的一种作用是实现电能的传输、转换和分配，各类电力系统就是典型实例。图 1.1 的实际电路中，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。电路的另一种作用是实现信号的处理，手机和电视机电路就是这类实例。手机和电视机中的调谐电路用来选择所需要的信号，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。

1.1.2 电路元件

用于构成电路的电气设备和器件统称为实际电路元件，简称为实际元件。实际元件不但种类繁多，而且对一个实际元件来说，其电磁性能也不是单一的，每种元件除了主要物理性质之外，还有次要性质。如电阻器，通过电流时还会产生磁场，因而兼有电感的性质；实际电感线圈是用金属导线绕制而成的，总要呈现一定电阻，因而兼有电阻的性质。分析电路时，若对电路元器件的全部物理性质都予以考虑，必然会带来很大困难，而且在工程实践中也没有必要这样做。因此，为了分析电路方便起见，必须在一定条件下对实际电路元器件加以近似化，忽略其次要性质，用一些足以表示实际电路元器件主要物理性质的模型来代替实际电路元器件。构成模型的元器件称为理想电路元件。电路分析中常用的三种最基本的理想元件是：表示将电能转换成热能的电阻元件；表示电场现象的电容元件；表示磁场现象的电感元件。另外还有电压源和电流源两种理想电源元件。每一种理想元件都有各自严格的数学定义式和符号。为简便起见，今后我们将省略“理想”二字，元件均指理想元件而言。

1.1.3 电路模型

将实际电路抽象为电路模型，需要将实际电路器件的主要电磁属性进行科学地抽象和概括。用抽象的理想元件及其组合近似代替实际元器件，从而构成了与实际电路相对应的电路模型。所以电路模型可定义为把实际电路的本质抽象出来所构成的理想化了的电路。将电路模型用规定的理想元件符号画在平面上形成的图形称作电路图。图 1.2 就是图 1.1 的电路图。今后我们所研究的电路都是由理想元件构成的电路模型(尽管也常简称电路)，而不是实际电路。

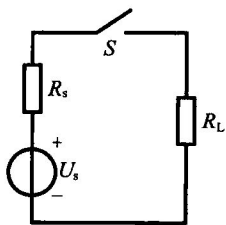


图 1.2 手电筒电路模型 路图只反映各种理想元件在电路中的作用及其相互连接方式，并不反映实际设备的内部结构、几何尺寸及其相互位置。因此有的资料也将电路图称为电路原理图，以区别于装配图。

图 1.2 中, U_s 和 R_s 是实际电压源(如干电池)的符号, 电阻 R_L 是一个以消耗电能为主的实际负载(如电灯泡)的符号, S 是控制开关, 导线是可忽略电阻的连接线。

实际电路可分为“集中参数电路”和“分布参数电路”两大类。当一个实际电路的几何尺寸远小于电路中电磁波的波长时, 就称为集中参数电路, 否则就称其为分布参数电路。集中参数电路又按其元件参数是否为常数, 分为线性电路和非线性电路。本课程讨论的都是集中参数线性电路。

练习与思考

1. 电路模型和实际电路的区别是什么?
2. 试分析几种你熟悉的电气设备, 指出电源(信号源)、负载和中间环节各是什么?

1.2 电路中的基本物理量

电路中的物理量很多, 诸如电荷、磁链、电压、电位、电流、时间、功率、能量, 等等。本节主要讨论电路的基本物理量: 电流、电压、电位、功率和电能。

1.2.1 电流及其参考方向

从物理学中知道, 电荷的定向移动形成电流, 其大小用电流强度来度量, 且规定正电荷移动的方向为电流的实际方向。单位时间内通过导体横截面的电荷量称为电流强度, 简称电流, 用 i 表示, 即

$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

式(1-1)中, Δq 为极短时间 Δt 内通过导体横截面的电荷量。 i 随时间按一定规律变化, 因此它是时间的函数。当电流的量值和方向都不随时间变化时, dq/dt 为定值, 这种电流称为恒定电流, 简称直流(DC), 这时电流强度用 I 表示, 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。

电流是客观存在的物理现象, 虽然看不见摸不着, 但可以通过电流的各种效应来体现它的客观存在。日常生活中的开灯、关灯就是体现电流的“存在”与“消失”的。所以, “电流”一词不仅代表一种物理现象, 而且也代表一个物理量。

国际单位制(SI)中, 电荷的单位是库仑(C), 时间的单位是秒(s), 电流的单位是安培, 简称安(A), 实用中还有千安(kA)、毫安(mA)、微安(μA)等, 它们之间的换算关系是

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

电流的实际方向是客观存在的, 但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; 尤其是交流电路中, 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, 为此引入参考方向这一概念。参考方向可以任意设定, 在电路用箭头表示, 并且规定, 如果电流的参考方向与实际方向一致, 电流为正值; 反之, 电流为负值, 如图 1.3 所示。这样就可以把电流看成一个代数数量了, 它既可以为正, 也可以为负。由此看来, 设定的参考方向是确定电流为正的标准, 因此参考方向也称为正方向。除了用箭头表示电流的参考方向外, 也可用双下标表示, 如 i_{ab} 就表示电流的参考方向是从 a 点指向 b 点。当参考方向改变时有 $i_{ab} = -i_{ba}$ 。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。

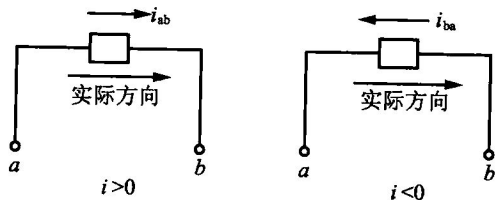


图 1.3 电流及其参考方向

顺便指出, 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入待测支路中(串联)。

例 1.1 在图 1.4 中, 各电流的参考方向已设定。已知 $I_1=10\text{A}$, $I_2=-10\text{A}$, $I_3=5\text{A}$, $I_4=-5\text{A}$ 。试确定 I_1 、 I_2 、 I_3 、 I_4 的实际方向。

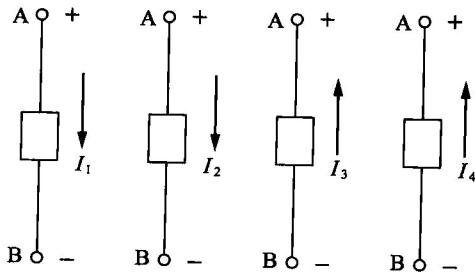


图 1.4 例 1.1 图

解: $I_1 > 0$, 故 I_1 的实际方向与参考方向相同, I_1 由 A 点流向 B 点, 大小为 10A 。

$I_2 < 0$, 故 I_2 的实际方向与参考方向相反, I_2 由 B 点流向 A 点, 大小为 10A。

$I_3 > 0$, 故 I_3 的实际方向与参考方向相同, I_3 由 B 点流向 A 点, 大小为 5A。

$I_4 < 0$, 故 I_4 的实际方向与参考方向相反, I_4 由 A 点流向 B 点, 大小为 5A。

1.2.2 电压及其参考方向

从物理学中知道, 电路中 A、B 两点的电压就是将单位正电荷由 A 点移动到 B 点时电场力所做的功。电压用 u 表示, 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。在 SI 中, 电压的单位为伏特, 简称伏(V), 实用中还有千伏(kV)、毫伏(mV)和微伏(μV)等。

电路中, 规定电位真正降低的方向为电压的实际方向。和电流的实际方向一样, 电压的实际方向也往往是很难判别的, 因此, 通常的办法是给电路中的两点电压设定参考方向(亦称参考极性)。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。当参考方向改变后, $u_{ab} = -u_{ba}$ 。同样, 有了参考方向, 电压也就成为一个代数量。不设定参考方向谈电压的正负也是没有意义的。电压的参考方向也称为电压的正方向, 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 1.5(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 1.5(b)所示。

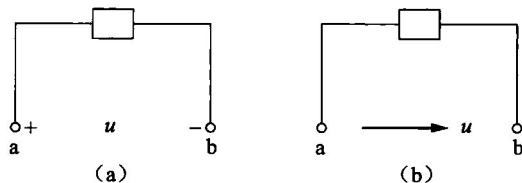


图 1.5 电压及其参考方向

(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。

分析电路时, 首先应该设定各电流、电压的参考方向, 然后根据所设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。

如果电压的大小和方向都不随时间变化,这样的电压叫做恒定电压,用 U 表示。

顺便指出,在直流电路中,测量电压时,应根据电压的实际极性将直流电压表跨接在待测支路两端(并联)。

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设定。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 1.6(a)所示。反之,电压参考方向与电流参考方向不一致时,称为非关联参考方向,如图 1.6(b)所示。

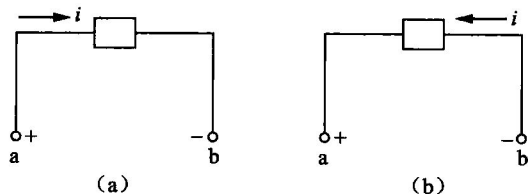


图 1.6 关联参考方向和非关联参考方向

电磁学中电动势的实际方向规定由负极指向正极,即电动势的实际方向是电位升高的方向,用符号 e 表示电动势。电动势的参考方向与电压的参考方向之间的关系由图 1.7 所示,图 1.7(a)和图 1.7(b)中 $u=e$,而图 1.7(c)中 $u=-e$ 。

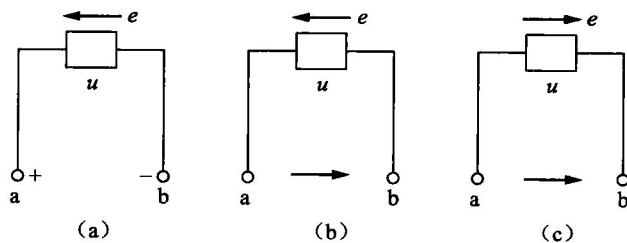


图 1.7 电压和电动势的参考方向

1.2.3 电 位

分析电子电路时常用到电位这一物理量。将单位正电荷自电场中某一点 a 移动到参考点(物理学中习惯选无穷远处作为参考点)电场力做功的大小称作 a 点的电位。在电路中,某点的电位是将单位正电荷沿电路所约束的路径移至

参考点(电路中习惯设定某点为参考点而不是无穷远处)电场力所做功的大小。

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。电位用 V (带单下标)表示,例如 a 点的电位可表示为 V_a 。电位的单位与电压相同。如果参考点为 o ,则 a 点的电位为:

$$V_a = U_{ao} \quad (1-4)$$

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:

$$U_{ab} = U_{ao} + U_{ob} = U_{ao} - U_{bo} = V_a - V_b \quad (1-5)$$

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或电压(位)降。

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。参考点原则上可以任意选取,但一经选定,各点电位的计算即以参考点为准。电子电路中常选各有关部分的公共线作为参考点,常用符号“ $\perp$ ”表示。

例 1.2 在图 1.8 中,已知 $V_a = 10V$, $V_b = 8V$, $V_d = -3V$ 。求 U_{bd} 。

解: 方法一

$$U_{bd} = V_b - V_d = 8 - (-3) = 11V$$

方法二

$$U_{bd} = V_b - V_d = V_b - V_a + V_a - V_d = U_{ba} + U_{ad}$$

而

$$U_{ba} = V_b - V_a = 8 - 10 = -2V$$

$$U_{ad} = V_a - V_d = 10 - (-3) = 13V$$

故

$$U_{bd} = U_{ba} + U_{ad} = -2 + 13 = 11V$$

以上用两种方法计算所得结果完全相同,由此可得出两条重要结论:

- (1) 两点之间的电压等于这两点之间路径上的全部电压的代数和;
- (2) 计算两点间的电压与路径无关。

1.2.4 电功率与电能

1. 电功率

上节图 1.6(a)所示图中采用了关联参考方向,设在 dt 时间内,由 a 点转移到 b 点的正电荷量为 dq , a 、 b 间的电压为 u , dq 的电荷量由 a 端移动到 b 端,电场力做功为:

$$dw = u dq \quad (1-6)$$

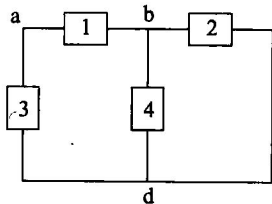


图 1.8 例 1.2 图

在此过程中,正电荷失去能量,也就是这段电路吸收或消耗了能量,因此,ab段电路所吸收或消耗的功率为:

$$p = \frac{dw}{dt} = u \frac{dq}{dt} = ui \quad (1-7)$$

在直流电路中

$$P = UI \quad (1-8)$$

在SI中,功率的单位为瓦特,简称瓦(W)。实用中还有兆瓦(MW),千瓦(kW),毫瓦(mW)等。

$$1\text{MW} = 10^6\text{W}, 1\text{kW} = 10^3\text{W}, 1\text{mW} = 10^{-3}\text{W}$$

需要强调的是:当电压、电流为非关联方向时,如图1.6(b)所示,则功率计算式应为:

$$p = -ui \quad \text{或} \quad P = -UI \quad (1-9)$$

一段电路,当 u 、 i 的参考方向一致时,若功率 $p > 0$,则表明该段电路实际吸收(消耗)功率;若功率 $p < 0$,则表明该段电路实际发出功率。

2. 电能

正电荷 dq 在时间 dt 内由电路中的a点移动到b点,ab段电路吸收的能量为 $dw = udq$,由于 $dq = idt$,故 $dw = uidt$ 就是ab段电路在时间 dt 内所吸收的电能。若通电时间由 t_0 到 t ,则电路吸收的电能为功率对时间的积分

$$w = \int_{t_0}^t ui dt \quad (1-10)$$

在直流电路中,有

$$W = UI t \quad (t \text{ 为通电时间}) \quad (1-11)$$

在SI中,电能的单位为焦耳,简称焦(J)。实用单位还有千瓦小时($\text{kW} \cdot \text{h}$), $1\text{kW} \cdot \text{h}$ 俗称1度(电)。

$$1 \text{度} = 1 \text{千瓦} \times 1 \text{小时} = 1 \text{千瓦时} (\text{kW} \cdot \text{h}) = 3.6 \times 10^6 \text{焦耳} (\text{J})$$

各种电气设备常在铭牌上给出电压、功率或电流的额定值,电气设备在额定电压下能正常安全地工作,超过额定电压有可能引发绝缘损坏,电压过低时功率不足(如电灯变暗),超过额定功率或额定电流时叫做过载,过载会引起设备因过热而损坏。

例 1.3 各元件电压和电流参考方向如图1.9所示。已知 $I_1 = -I_2 = -2\text{A}$, $I_3 = 1\text{A}$, $I_4 = 3\text{A}$, $U_1 = 3\text{V}$, $U_2 = 5\text{V}$, $U_3 = U_4 = -2\text{V}$ 。试求各元件的功率,并说明是吸收功率还是向外提供功率,整个电路的总功率是否满足能量守恒定律?

解: 根据各元件的参考方向及式(1-8)、式(1-9),可得各元件的功率为:

元件1: $P_1 = U_1 I_1 = 3 \times (-2) = -6\text{W}$ (发出功率)

元件 2: $P_1 = U_2 I_2 = 5 \times 2 = 10 \text{ W}$ (吸收功率)

元件 3: $P_3 = -U_3 I_3 = -(-2) \times 1 = 2 \text{ W}$ (吸收功率)

元件 4: $P_4 = U_4 I_4 = (-2) \times 3 = -6 \text{ W}$ (发出功率)

电路的总功率: $P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 0$ (能量守恒)

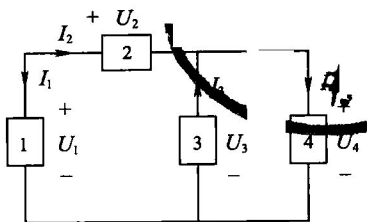


图 1.9 例 1.3 图

练习与思考

1. 如图 1.10 所示, 已知 $V_a = 5 \text{ V}$, $V_b = 0$, $V_c = 12 \text{ V}$ 。求 U_{ab} 、 U_{bc} 及 U_{ac} 。

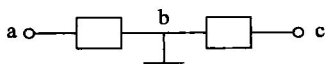


图 1.10 题 1 图

2. 比较 $U_{ab} = 5 \text{ V}$ 和 $U_{ab} = -5 \text{ V}$ 两种情况下 a、b 两点电位的高低。

3. 图 1.11(a) 中元件吸收功率为 10 W , 求电流 I 。图 1.11(b) 中元件是发出功率还是吸收功率?

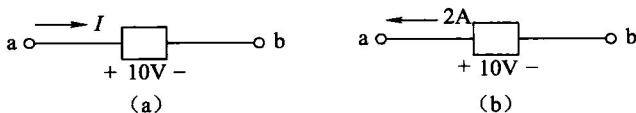


图 1.11 题 3 图

1.3 常用理想电路元件

1.3.1 电阻元件和欧姆定律

电路元件是电路的基本构造单元, 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。

电阻元件是消耗电能 ideal 电路元件, 它有阻碍电流流动的本能, 因此沿电流流动的方向必然会出现电压降。

电阻元件的端电压与流过的电流二者之间的关系称为电阻元件的伏安特性。若把电压取为纵坐标, 电流取为横坐标, 对于一系列的电压和电流值得到一条代表二者之间函数关系的曲线, 称此曲线为电阻元件的伏安特性曲线。如果一个电阻元件电压与电流的关系是线性的, 则其伏安特性曲线是一条通过坐标原点的直线, 如图 1.12(a) 所示, 则称此电阻为线性电阻元件, 其