



教育部
高等职业教育示范专业规划教材

电工电子技术

上册

主编 储克森



教育部高等职业教育示范专业规划教材

电工电子技术

上册

主 编 储克森
参 编 王秋根 张 莉
主 审 程 周



机械工业出版社

本书分上、下两册,共十四章。其中上册内容有:直流电路、正弦交流电路、线性动态电路的分析、磁路基础知识、晶体管及整流电路、晶体管放大电路、数字电路基础;下册内容有:变压器、电工测量、电机、电动机控制电路、电力电子技术、PLC 控制技术、供用电技术简介。

本书简明实用,图文并茂,方便于自学。本书可作为高等职业学院非电专业“电气类”课程的教材,也可作为成人高等教育或工程技术人员的培训教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术,上册/储克森主编. —北京:机械工业出版社,2006.1

教育部高等职业教育示范专业规划教材

ISBN 7-111-18202-2

I. 电... II. 储... III. ①电工技术—高等学校:技术学校—教材 ②电子技术—高等学校:技术学校—教材 IV. ①TM ②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 157177 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:于宁 责任编辑:于宁 版式设计:霍永明

责任校对:张晓蓉 封面设计:鞠杨 责任印制:李妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2006 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm $\frac{1}{16}$ ·10.75 印张·264 千字

0001—3000 册

定价:16.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

封面无防伪标均为盗版

前 言

本教材是根据教育部最新制定的“高职高专教育电工电子技术课程教学要求”编写的。教材编写过程中紧扣高职高专培养目标，结合高职高专教育特点、要求及当前生源的文化基础和教改精神，正确处理教材的知识传授和能力培养这两者之间的关系。在原理的叙述中以定性分析为主，在应用技术上突出了实用性和先进性。

教材在内容的组织上以必须、够用为度，淡化理论、突出应用，内容结构上循序渐进，语言文字精炼，简洁、好教、易学。书中有典型例题，各章附有丰富的思考题和习题，便于学生掌握和巩固所学知识。另外各章还附有相应的实验与实训项目，可供不同专业选做以培养学生的动手能力。

教材分上下两册，上册为电工电子技术基础部分，下册为电工电子技术应用部分，两册可配套使用也可单独使用，书中打“△”的内容为相对独立章节可供不同专业选用。

本教材上册由安徽机电职业技术学院储克森任主编，并编写了第一、二、三章及上册统稿；王秋根编写第四、六章；张莉编写第五、七章。由安徽职业技术学院程周担任主审。他详细审阅了编写提纲及文稿，提出了许多宝贵意见和建议，在此深表感谢！

为方便教师授课，本书特备有免费电子教案，凡选用此书作教材的学校，均可向责任编辑索要(010-88379758)。

本教材在编写时，参阅了许多同行专家编著的教材和资料，得到了不少启发和教益，在此向编著者致以诚挚的谢意。

由于编者水平有限，书中难免存在错误和不妥之处，敬请读者指正。

编 者

目 录

前言

绪论 1

第一章 直流电路 2

第一节 电路的基本概念 2

第二节 电阻及欧姆定律 6

第三节 电功率及电气设备的额定值 10

第四节 基尔霍夫定律 13

第五节 实际电源的等效变换 15

第六节 复杂电路的计算 18

第七节 电路运行状态 23

本章小结 25

习题一 26

实验与实训一 基尔霍夫定律与电位的测定 30

第二章 正弦交流电路 32

第一节 正弦交流电路的基本概念 32

第二节 正弦量的相量表示法 38

第三节 纯电阻、纯电感、纯电容
正弦交流电路 41

第四节 电阻、电感串联电路 48

第五节 R 、 L 、 C 串联电路 50

第六节 正弦交流电路的功率及
功率因数 51

第七节 三相交流电路 57

本章小结 65

习题二 66

实验与实训二 三相负载的星形、
三角形联结 69

实验与实训三 荧光灯电路安装与功率
因数的提高 71

第三章 线性动态电路的分析 74

第一节 基本概念 74

第二节 RC 、 RL 串联电路的
瞬态过程 76

第三节 一阶线性电路动态过程分析 81

本章小结 85

习题三 85

第四章 磁路基础知识 88

第一节 铁磁材料 88

第二节 直流磁路简介 93

第三节 交流铁心线圈 95

本章小结 97

习题四 98

第五章 晶体二极管及整流电路 99

第一节 晶体二极管 99

第二节 单相整流电路 101

第三节 滤波电路 103

第四节 稳压电路 106

本章小结 107

习题五 108

实验与实训四 二极管的特性测试 108

第六章 晶体管放大电路 111

第一节 晶体三极管及其放大作用 111

第二节 单管交流放大电路 115

第三节 功率放大电路 121

第四节 多级放大电路 123

第五节 集成运算放大电路 124

第六节 稳压电源 127

本章小结 128

习题六 129

实验与实训五 晶体管共射极单管 放大器测试	130	第六节 数字电路应用举例	157
第七章 数字电路基础	132	本章小结	160
第一节 数字电路概述	132	习题七	161
第二节 基本逻辑门电路	134	实验与实训六 集成与非门和集成 JK 触发器的功能测试	162
第三节 集成触发器	141	实验与实训七 计数、译码和显示 电路	164
第四节 基本数字部件	145	参考文献	166
第五节 半导体存储器	155		

绪 论

电能的应用极其广泛，它是全球可持续发展的关键，是当前网络世界的前提，是现代工业、农业、国防、交通、商业、通信及科研等部门所依赖的能源。

电能之所以得到广泛的应用，是因为它具有易于转换、便于输送和控制三大优点，这是其他能源所无可比拟的。

新世纪将是高新技术产业发展的时代，电气化、信息化将渗透到各行各业中，这就要求各行各业中从事技术及管理的高、中级技术人员必须掌握电工与电子技术的应用，以适应形势发展的需要。

随着生产和科学技术的发展，电子技术得到了快速的发展和广泛应用，特别是计算机的出现，对人类社会的发展和进步起着变速性的推动作用。

“电工与电子技术”是研究电与磁的自然规律在工程技术上应用的科学。是一门技术基础和技术应用课程。通过本课程的学习，可获得电工学和电子学方面必要的基本理论、基础知识和基本技能。本教材分上下两册，上册内容主要为：直流、交流电路、磁路基础知识、晶体二极管整流电路、晶体管放大电路及数字电路等；下册内容主要为：常用电工测量技术、变压器与电机、电动机控制电路、电力电子技术、PLC 控制技术及供用电技术简介。

本课程实践性较强，教学过程中应注意实验和实训内容的落实。同时，结合本课程的特点，进行辩证唯物主义观点的教育、素质教育和创新教育，培养学生观察、分析和解决问题的能力。

第一章 直流电路

所有电气设备的运行都必须有电流的作用。产生电流的一个必要条件就是要构成闭合电路。电流通过的路径称为电路，电路是电工技术的主要研究对象。

本章将讲述直流电路的组成及其模型，电路的基本物理量，常用电路元件及其特性，电路的基本定律和分析方法。学好本章内容，将为以后各章的学习打下良好的基础。

第一节 电路的基本概念

一、电路及电路模型

1. 实际电路的构成和作用

实际电路是为了实现某种特定要求，由电源设备、用电器具、导线和控制装置相互连接而构成的，它提供了电流流通的路径。图 1-1 和图 1-2 所示的就是两个实际电路的例子。

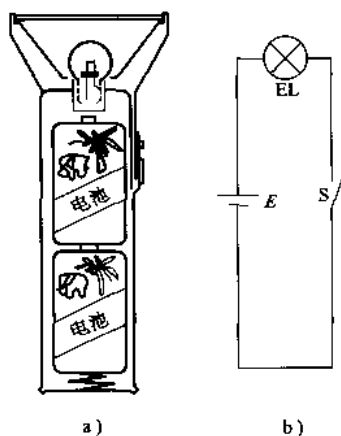


图 1-1 手电筒电路

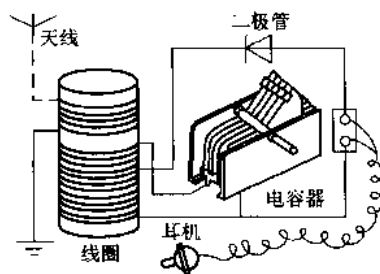


图 1-2 简单收音机电路

图 1-1 是手电筒电路。开关 S 合上后，随着电流的通过，电池将非电能——化学能转换成电能，沿着导电的筒壁将电能传送给电珠，电珠将它吸收的电能转换成所需的非电能——光能。电工技术中，把提供电能的设备或器件称为“电源”，如图 1-1 中干电池 E 就是电源；把吸取电能的设备或器件称为“负载”，如图 1-1 中的电珠 EL 就是负载。电力系统中，发电厂的发电机组就是电源，经传输线将电能传送到各用电单位。这一类电路的作用是进行能量的转换、传输和分配。

图 1-2 是一个最简单的收音机电路。该电路将施加的电信号——线圈感应出的电压，经过处理转换成耳机所需要的电信号，该电信号是电路的输出信号。这一类电路主要作用是对电信号的处理和传递。通常把输入信号称作“激励”，把输出信号称作“响应”。电信系统进

行的也是类似的处理,不过它是一个很复杂的实际电路。

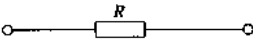
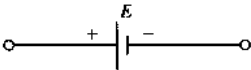
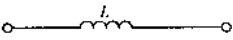
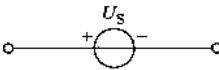
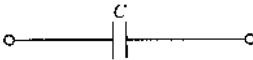
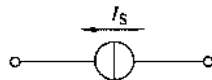
复杂的电路有时也称为电网络。

在其他一些场合,如自动控制设备、计算机等方面,为了实现不同要求有各式各样的具体电路。

2. 电路模型

为了便于研究各类具体电路,在电工技术中,常用一些理想电路元件及其组合来表征电气设备和器件的主要电性能。表 1-1 中列出了常用的几种理想电路元件及其图形符号。所谓理想电路元件,就是把实际电路元件忽略次要性质,只表征它的主要电性能的“理想化了”的“元件”。

表 1-1 常用的几种理想电路元件及其图形符号

元件名称	图 形 符 号	元件名称	图 形 符 号
电阻		电池 ^①	
电感		理想电压源	
电容		理想电流源	

① 电池是具体实物,不是理想电路元件,如果不考虑内阻,可视为理想直流电压源。

用理想元件及其组合代替实际电路中的电气设备和器件,便形成该实际电路所对应的由理想电路元件构成的“电路模型”。

今后本书中未加特殊说明时,我们所说的电路均指这种抽象的电路模型,所说的元件均指理想元件。

二、电流和电压(电位)

1. 电流 I

电荷的定向运动形成电流。单位时间内通过导体截面的电荷量定义为电流。在金属导体内,电流是自由电子的定向运动形成的,习惯上将正电荷移动的方向规定为电流的方向。

对直流电流

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

对交流电流

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-2)$$

式中, I 和 i 分别为直流电流和交流电流; Q 和 dq 分别为在时间 t 和 dt 内通过导体的电荷量。

在国际单位制中,电荷量的单位是库(C);时间的单位是秒(s);电流的单位是安(A);电流的倍数单位有千安(kA)及毫安(mA)等。

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

在电路中,有时对电流的实际方向很难预先准确判断;也有时电流的实际方向随时间在

不断地变化,如交流电流就是这样。这就是说,在电路中难以标出电流的实际方向,为了分析与计算方便,引入了电流“参考方向”。

如图 1-3 所示,图中箭头是任意指定的该段电路中电流的“参考方向”,这个方向不一定就是电流的实际方向。在规定了参考方向后,电流成为代数量;若电流值为正,则电流的实际方向与参考方向一致;若电流值为负,则电流的实际方向与参考方向相反。这样,在规定的电流参考方向下,根据计算出的电流值的正负,电流的实际方向也就知道了。

例如,在图 1-3 所选定的电流参考方向下,已算出电流 $I = 5\text{A}$,可知这 5A 的电流实际方向是由 A 端流向 B 端;如果算出的电流 $I = -5\text{A}$,说明电流的实际方向与选定的参考方向相反,那么这 5A 的电流实际方向是从 B 端流向 A 端。

必须指出,电流的参考方向可以任意假定,而电流的实际方向是客观存在的,不会因参考方向选取不同而改变。今后电路图上所标定的都是任意选取的电流参考方向。本书将电流的(参考)方向标在所流经的电路段的旁侧。

【例 1-1】如图 1-4 所示的一段电路上的电流参考方向已选定,对图 1-4a,已知 $I_A = -10\text{A}$;对图 1-4b,已知 $I_B = 8\text{A}$,试指出各图中电流的实际方向。

解:对图 1-4a, $I_A < 0$, 电流实际方向与参考方向相反,电流实际方向由 B 端流向 A 端;对图 1-4b, $I_B > 0$, 电流实际方向与参考方向相同,电流实际方向由 C 端流向 D 端。电流实际方向是不必在图上标出的。

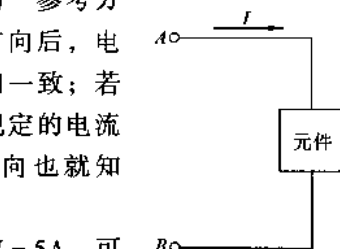


图 1-3 电流参考方向

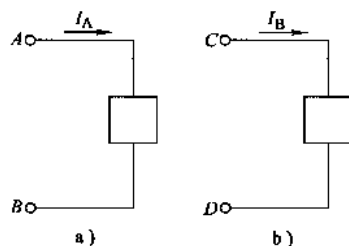


图 1-4 例 1-1 图

2. 电压 U

电荷在电场力作用下形成电流。在这个过程中,电场力推动电荷运动做功。为了表示电场力对电荷做功的能力,我们引入“电压”这个物理量。

如图 1-5 所示的一段电路中,若正电荷 Q 在电场力作用下从 A 点运动到 B 点时,电场力做功是 W , A 、 B 两点之间的电压 U_{AB} 定义为

$$U_{AB} = \frac{W}{Q} \quad (1-3)$$

从数值上看, A 、 B 之间的电压就是电场力把单位正电荷从 A 点移动到 B 点所做的功。在国际单位制中,电荷的单位是库仑(C),功的单位是焦耳(J),电压的单位是伏特(V),电压的倍数单位是千伏(kV)及毫伏(mV)等。

电压也是有方向的,电压的实际方向是电场力移动正电荷的方向,如图 1-5 所示。

有时,电压的实际方向在电路中很难标出。和对待电流一样,可以在所研究的电路两点之间任意选定一个方向作为“参考方向”,在电压参考方向下,再依据电压值的正负,就可以确定电压的实际方向。电压实际方向不必标出。两点间电压的标法可以用箭头,也可用正负号,本书一般情况下用箭头标注参考方向。

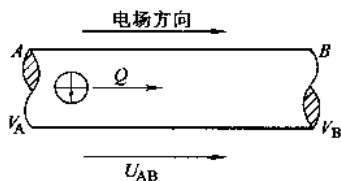


图 1-5 电压的概念

如图 1-6 所示, 在一段电路上选定电压的参考方向由 A 点指向 B 点。若某一电压值大于零 ($U > 0$), 则电压的实际方向与参考方向相同; 如果某电压值小于零 ($U < 0$), 则该电压的实际方向与参考方向相反。电压实际方向是客观存在的, 它不因电压参考方向的选取不同而改变。由上述可知, 若采用双下标来写电压, 则 $U_{AB} = -U_{BA}$ 。

【例 1-2】如图 1-6 所示的电压参考方向下, 若已知 $U = -100\text{V}$, 试回答电压的实际方向。

解: 因为 $U < 0$, 电压的实际方向与参考方向相反, 即由 B 点指向 A 点。

3. 电位 V

除电压之外, 在电路分析中常使用电位 V 这个物理量(在物理学中, 把电位称为电势)。在电路中若指定某点(可任意选取)为参考点, 如 O 点, 电路中其他点, 如 A 点, 把 A 点到 O 点之间的电压称为 A 点的电位, 即

$$V_A = U_{AO}$$

电路中某点的电位就是该点到参考点之间的电压, 这就是说, 求电位的问题实质上就是求电压的问题。

电位参考点也称零电位点, 即 $V_O = 0$ 。电路中的参考点可以任意选取, 但同一电路中只能选一个参考点(如接地点或设备的外壳)。当电位参考点确定后, 电路中各点的电位也只有一个数值, 称为“电位单值性”。比零电位点高的点为正电位点, 比零电位点低的点称为负电位点。

下面简要说明一下, 电路中任意两点 A 和 B 的电位 (V_A 和 V_B) 与这两点间的电压 (U_{AB}) 的关系。

如图 1-7 所示的一段电路中, 取 O 为电位参考点, 图中符号 ($\perp$) 表示接地。由电位定义可知

$$V_A = U_{AO} \quad V_B = U_{BO}$$

则两点电位之差为

$$V_A - V_B = U_{AO} - U_{BO} = U_{AO} + U_{OB} = U_{AB}$$

这里的 $U_{AO} + U_{OB}$ 就是将单位正电荷从 A 点经 O 点再移到 B 点电场力作的功, 也就是 A 、 B 两点间的电压, 可写成

$$U_{AB} = V_A - V_B \quad (1-4)$$

这就是说, 某两点间的电压, 就是该两点电位之差。一般电压用两个字母标注下脚, 电位用一个字母标注下脚。不难看出电位的单位和电压一样, 也是伏 (V)。在引入电位概念后, 就可以说, 电压的实际方向是由高电位点指向低电位点。

需要指出: 当所选的电位参考点变动时, 各点的电位值也相应地变动, 但电路中两点间的电压不会改变, 这一点不难理解, 各点电位值作相同的变化, 不会影响它们的差值。

三、电压源与电流源

1. 电压源

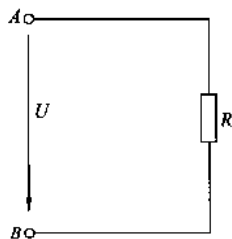


图 1-6 电压参考方向

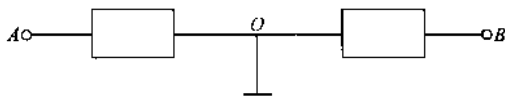


图 1-7 电压与电位差

电压源是理想电压源的简称。“电压源”是从实际电源中抽象出来的一种理想电路元件。以电池为例，在理想状态下，如电池本身没有能量损耗，这时电池的端电压(用 U_S 表示)是一个确定不变的数值。凡能够维持端电压为定值的二端元件则称为“电压源”，电路图形符号如图 1-8a 所示。

电压源不仅是电池、发电机之类，也可由电子线路来实现，如半导体稳压电源等。

电压源提供恒定不变的电压，至于通过电压源的电流是多少，要取决于外接电路。其电流可以是零(外电路断开)和无穷大(外电路短接)之间的任意值。图 1-8b 绘出了直流电压源的电压与电流特性曲线，它是一条平行于电流轴的直线，表明其端电压与电流大小无关。

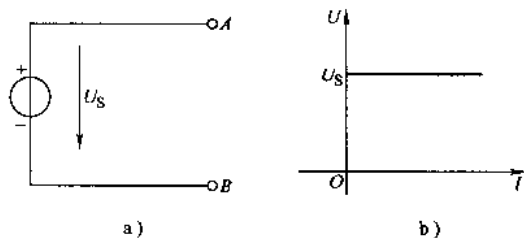


图 1-8 电压源

2. 电流源

电流源是理想电流源的简称。与电压源相对应，电流源也是一种电路理想元件。它向外输出定值电流 I_S 。常用的电源，其特性多与电压源较接近，而与电流源接近得较少。光电池、晶体管一类器件构成的电源，其工作特性在某一段与电流源十分接近。电流源的文字及图形符号如图 1-9a 所示。

电流源向外输出定值电流 I_S ，至于电流源两端的电压是多少，则取决于外接电路，可以是零(外电路短接)与无穷大(外电路断开)之间的任意值。

图 1-9b 绘出了电流源的电流与电压特性曲线，它是一条平行于电压轴的直线，表示其电流值与电压大小无关。

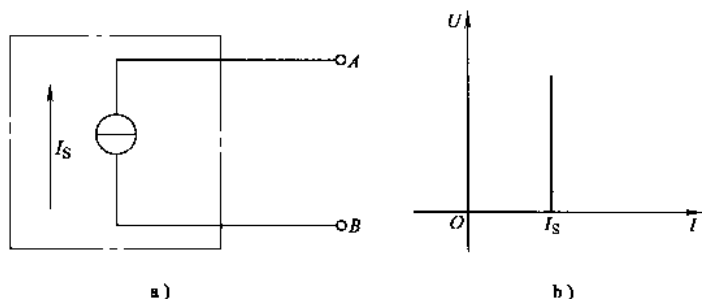


图 1-9 电流源

第二节 电阻及欧姆定律

一、电阻与电阻元件

电流在导体中流动通常要受到阻碍作用，反映这种阻碍作用的物理量称为电阻。在电路图中常用“理想电阻元件”来反映物质对电流的这种阻碍作用。电阻元件的图形符号如图 1-10 所示，文字符号用 R 表示。

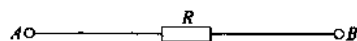


图 1-10 电阻元件符号

就长直导体而言,在一定温度下,电阻值可用下式计算

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-5)$$

式中 l ——导体长度(m);

S ——导体截面积(m^2);

ρ ——材料的电阻率($\Omega \cdot \text{m}$)。

电阻 R 的单位是欧(Ω),电阻的倍数单位有千欧($\text{k}\Omega$)、兆欧($\text{M}\Omega$)等。

如图 1-11 所示,电阻元件两端加电压 u ,通过电阻元件的电流为 i ,它们的参考方向一致,如图上所标。电压和电流选取这样相互一致的参考方向称为“关联参考方向”。

电阻的电气特征可以通过电流 i 和电压 u 之间的函数关系来表达,即

$$u = f(i) \quad (1-6)$$

或

$$i = F(u) \quad (1-7)$$

电流和电压的这种函数关系称为“伏—安特性”。伏安特性通常是由实际电阻通过实验取得数据将其绘成曲线,称为“伏—安特性曲线”。电阻元件的伏—安特性曲线是通过 $u-i$ 直角坐标系原点的曲线。图 1-12 是一组通过原点的直线,表示这些电阻元件上的电压与电流成正比。

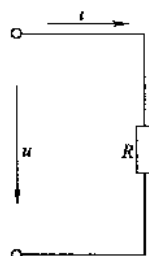


图 1-11 关联参考方向

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

或

$$i = \frac{u}{R} \quad (1-9)$$

可以说 R 是 u 、 i 函数关系中的一个系数,由图 1-12 可见,不同的电阻值,只是直线的斜率不同,即

$$\tan \alpha = \frac{u}{i} = R \quad (1-10)$$

若电阻元件的伏—安特性曲线是一条通过原点的直线,则称为“线性电阻元件”,电阻值是一个常数,与 u 或 i 的数值大小无关。在图 1-12 中,可知 $R_1 > R > R_2$ 。

图 1-13 所示的一组伏—安特性曲线,不是通过原点的直线,这种电阻元件称为“非线性电阻元件”。非线性电阻伏安关系只能用式(1-6)或式(1-7)表示,而不能用式(1-8)或式(1-9)表示。

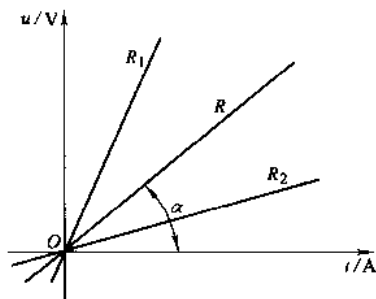


图 1-12 线性电阻伏—安特性曲线

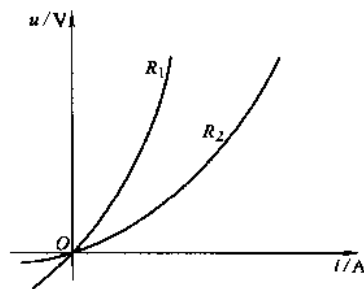


图 1-13 非线性电阻伏—安特性曲线

二、电阻值与温度的关系

通过实验可以发现,导体的温度变化,电阻值也跟着变化。如一般金属材料,温度升高后,导体的电阻值会增加。这是因为温度升高会使导体分子的热运动加剧,自由电子在导体中的碰撞、摩擦增多,所以电阻值也就增大了。

各种导电材料的电阻值随温度变化的情况是不一样的。我们取电阻值为 1Ω 的导电材料,测量它的温度变化 1°C 时电阻的变化值,并把这个数值称为“电阻温度系数”,用字母“ α ”表示。在 $0\sim 100^\circ\text{C}$ 的范围内,各种金属的 α 近似为常数。

按电阻温度系数的定义,每欧电阻温度上升 1°C 电阻的增加值为 $\alpha (1/^\circ\text{C})$,如果原来的电阻为 $R_1 (\Omega)$,温度从 $t_1 (^\circ\text{C})$ 增加到 $t_2 (^\circ\text{C})$,则电阻的总增加值为 $R_1 \alpha (t_2 - t_1) (\Omega)$,再加上原来电阻 R_1 ,就是温度升高后的电阻值 R_2 ,即

$$R_2 = R_1 + R_1 \alpha (t_2 - t_1) \quad (1-11)$$

一般金属材料的 α 是很小的,因此,在温度变化不大时,可近似地认为不变。钨丝的 α 虽然也不大,但白炽灯泡中的钨丝,由于工作温度高达 1800°C 左右,所以它的电阻随温度的上升而增加的现象很显著。

也有一些导体,如碳、电解液及大多数半导体材料等,温度增加,电阻值反而减小,即电阻温度系数为负值。这是由材料的内因决定的,如电解液由于温度升高,使其离子数增加,导电性能变得更好。

不同材料的电阻率和电阻温度系数,通常可从《电工手册》中查取。

近年来,科学工作者们正在研究超导理论,就是某些金属的电阻随着温度的下降而不断减小。当温度下降到临界温度以下时,其电阻值突然变为零,这种现象称为“超导”现象。我国超导理论的研究一直处于世界领先地位。

三、欧姆定律

1827 年德国物理学家欧姆,在一篇电路的数学研究论文中,论述了用测量电压和电流并用数学方法来描述其相互关系的研究成果,称为欧姆定律,其内容是:通过线性电阻 R 的电流 I 与作用在其两端的电压 U 成正比,即

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

式(1-12)即欧姆定律的表达式。需要强调指出的是,若将欧姆定律用于电路的分析和计算,式(1-12)只有在电压与电流取“关联参考方向”时,如图 1-14a 才是正确的。当电压与电流取“非关联参考方向”,如图 1-14b 所示,欧姆定律公式应写成

$$U = -RI$$

这一点必须引起重视。不难理解,在电阻上,电流总是由高电位点流向低电位点,就是说电压的“实际方向”与电流的“实际方向”总是一致的。在电流、电压选取“关联参考方向”的情况下,电压是正值,电流也一定是正值;电流是负值,电压也一定是负值。而在“非关联参考方向”下,电压、电流中一个是正值,则另一个必定是负值,线性电阻值永为正,所以此

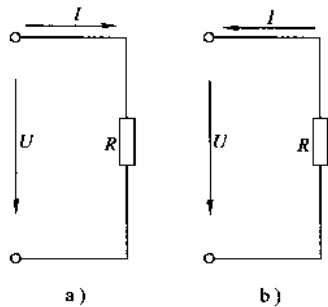


图 1-14 一段电阻电路

时公式中电流前应加负号。公式中的正负号与电流、电压的正负值含义不同。

如图 1-15 所示, 这段电路除含有线性电阻 R 之外, 还有一个电压源 U_S 。写出这段电路“端点之间电压”与通过该段电路电流函数关系的方程式, 在电路分析和计算中是经常碰到的。

若选取端电压与电流为关联参考方向, 如图 1-15a 所示, 可以写出

$$U_{AC} = V_A - V_C; U_{CB} = V_C - V_B$$

从而得到

$$U_{AC} + U_{CB} = V_A - V_B$$

又因为

$$U_{AB} = V_A - V_B$$

则

$$U_{AB} = U_{AC} + U_{CB} \quad (1-13)$$

式(1-13)说明, 一段电路的总电压等于各分段电压之和。再将 $U_{AC} = U_S$ 和 $U_{CB} = IR$ 代入式(1-13)得

$$U_{AB} = U_S + IR \quad (1-14)$$

不难看出, 若电流方向选为图 1-15b 所示, 式(1-14)将改成

$$U_{AB} = U_S - IR \quad (1-15)$$

综上所述, 写一段有源支路两端电压与电流的关系方程, 其步骤如下:

- 1) 在该段电路的端点之间标出电压的参考方向(任意选取)。
- 2) 标出该段电路中电流参考方向(也任意选取)。
- 3) 列写方程: 等号左边——为该段电路端点间电压。

等号右边——沿所选端电压参考方向, 对 U_S , 若与端电压方向一致, 则取正号, 与端电压方向相反, 则取负号; 对电阻电压, 若电流与端电压为关联参考方向, 则取正号, 反之取负号。

根据上述步骤, 对图 1-16 所示一段电路的参考方向, 可很快写出电压与电流关系方程:

$$U_{AB} = U_{S1} - IR_1 - U_{S2} - IR_2$$

如图 1-17 所示, 这是具有两个电压源和两个电阻的无分支闭合电路。根据一段有源支路端电压与电流关系, 从左半边看, 可以写出

$$U_{AB} = U_{S1} - IR_1$$

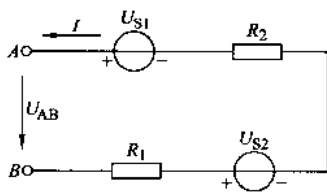


图 1-16 一段有源电路

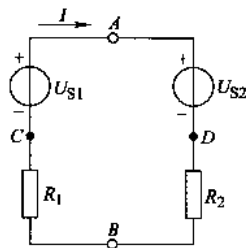


图 1-17 无分支闭合电路

从右半边看, 可以写出

$$U_{AB} = U_{S2} + IR_2$$

两式相等, 即

$$U_{S1} - IR_1 = U_{S2} + IR_2$$

经整理可得

$$I = \frac{U_{S1} - U_{S2}}{R_1 + R_2}$$

或

$$I = \frac{\sum U_S}{\sum R} \quad (1-16)$$

式(1-16)也可称“全电路欧姆定律”。式中, 分母 $\sum R$ 为闭路电路全部电阻之和; 分子 $\sum U_S$ 为闭合电路中电压源电压 U_S 的代数之和。如果 U_S 方向与电流 I 参考方向相反, 则取正号; 相同, 则取负号。

【例 1-3】如图 1-17 所示, $U_{S1} = 10V$, $U_{S2} = 15V$, $R_1 = 4\Omega$, $R_2 = 6\Omega$, 求无分支闭合电路中的电流及任意两点间电压。

解: 任选的电流参考方向已标在图中(取顺时针方向), 利用式(1-16)得

$$I = \frac{\sum U_S}{\sum R} = \frac{U_{S1} - U_{S2}}{R_1 + R_2} = \frac{(10 - 15)V}{(4 + 6)\Omega} = -0.5A$$

计算出的电流小于零($I < 0$), 说明图中电流的实际方向与所选参考方向相反。如果电流的参考方向选逆时针方向, 算出的电流将大于零, 实际方向就与所选参考方向相同。这就再次证明, 参考方向可以任意选择, 实际方向是客观存在的, 不会因参考方向的选取不同而改变。

按图中的方向求出电流 $I = -0.5A$ 之后, 再利用一段有源支路端电压和电流的关系方程, 不难求取任意两点之间的电压, 如

$$U_{AB} = U_{S1} - IR_1 = [10 - (-0.5) \times 4]V = 12V$$

或

$$U_{AB} = U_{S2} + IR_2 = [15 + (-0.5) \times 6]V = 12V$$

再如

$$U_{CD} = -IR_1 - IR_2 = [-(-0.5) \times 4 - (-0.5) \times 6]V = 5V$$

或

$$U_{CD} = -U_{S1} + U_{S2} = (-10 + 15)V = 5V$$

通过上述计算, 可更深刻地领会: 没有电路图, 或画出了电路图而没有标出参考方向, 计算公式是写不出来的, 还可以看到, 公式中的正负号与物理量的正负值含义不同。所以在进行电路计算时, 为避免错误, 应先依据选定的参考方向写出方程式, 然后再代入物理量的数值。此例还可说明, 计算两点间的电压与所选路径无关, 因此, 在计算两点间电压时应选最短路径。

第三节 电功率及电气设备的额定值

一、电功率和电能

在通电流的电路中, 存在着能量的转换。电源把其他形式的能量转换成电能, 负载把电

能转换成其他形式的能量。“功”是对能量转换的一种度量，“功率”反映了能量转换的速率。

如果电路元件两端的电压(U)和通过它的电流(I)确定后,则该元件的功率(P)为

$$P = UI \quad (1-17)$$

功率的单位是瓦(W)。这里需要指出的是:式(1-17)是在电路元件上电压、电流取“关联参考方向”下写出的。如果是“非关联参考方向”,在电压、电流乘积之前应冠以“-”号($P = -UI$)。按照这样的规定,如果计算出的功率大于零($P > 0$),则该元件为“耗能或吸收能量”;若小于零($P < 0$),则该元件“提供或放出能量”。

[例 1-4] 如图 1-18 所示,已知: $U_{S1} = 10V$, $R_1 = 1\Omega$, $U_{S2} = 5V$, $R_2 = 2\Omega$, $R_3 = 3\Omega$, $R_4 = 4\Omega$, 试计算电路中各元件的功率。

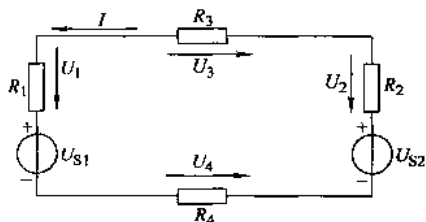


图 1-18 例 1-4 图

解:这是无分支闭合电路,可先将电路中的电流求出,电流参考方向已标在图上,可得

$$I = \frac{-U_{S1} + U_{S2}}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = \frac{-10 + 5}{1 + 2 + 3 + 4} A = -0.5A$$

再求各元件上的电压。电压源的正负极是给定的,电压 U_S 的方向已知由正极指向负极。电阻上的电压在选定参考方向后,由图 1-18 可知

$$U_1 = IR_1 = (-0.5A) \times 1\Omega = -0.5V$$

$$U_2 = -IR_2 = -(-0.5A) \times 2\Omega = 1V$$

$$U_3 = -IR_3 = -(-0.5A) \times 3\Omega = 1.5V$$

$$U_4 = IR_4 = (-0.5A) \times 4\Omega = -2V$$

根据计算出的电压、电流值,参照参考方向求取各元件上的功率(注意:公式中的正负号与物理量的正负值的区别)。

电阻上的功率

$$P_1 = IU_1 = (-0.5A) \times (-0.5V) = 0.25W \quad (\text{耗能})$$

$$P_2 = -IU_2 = -(-0.5A) \times 1V = 0.5W \quad (\text{耗能})$$

$$P_3 = -IU_3 = -(-0.5A) \times 1.5V = 0.75W \quad (\text{耗能})$$

$$P_4 = IU_4 = (-0.5A) \times (-2V) = 1W \quad (\text{耗能})$$

电压源的功率

$$P_{S1} = IU_{S1} = (-0.5A) \times 10V = -5W \quad (\text{供能})$$

$$P_{S2} = -IU_{S2} = -(-0.5A) \times 5V = 2.5W \quad (\text{耗能})$$

从计算结果可以看出,电阻元件的功率总是大于零(正值),所以称电阻为“耗能元件”。如果将电阻元件的电流与电压关系($U = IR$, 或 $I = \frac{U}{R}$)代入式(1-17),可得

$$P = I^2 R \quad (1-18)$$

$$\text{或} \quad P = \frac{U^2}{R} \quad (1-19)$$

不论电流、电压是正值还是负值,二次方之后恒为正。因此,在计算电阻上的功率时,只要