

高职高专机电类专业规划教材

汽车电工电子基础

储克森◎主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

赠电子课件等

高职高专机电类专业规划教材

汽车电工电子基础

主 编 储克森
参 编 王秋根 张 莉 储 明
主 审 周元一



机械工业出版社

本教材是根据当前“汽车类专业人才培养方案要求”编写的。教材紧扣高职高专培养目标,并结合高职高专教育特点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。

本书共分九章,具体内容是: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、晶体二极管及整流电路、晶体管放大电路、数字电路基础、传感器基础知识以及电工测量与安全用电。其中打“*”号的内容可供不同专业选讲。

本书可作为高职高专院校汽车类专业“电工电子技术基础”课程教材,也可作为汽车类工程技术人员培训教材或参考书。

为方便教学,本书配有免费电子课件及模拟试卷等,凡选用本书作为授课教材的老师,均可来电索取。咨询电话:010-88379375; Email: cmp-gaozhi@sina.com。

图书在版编目(CIP)数据

汽车电工电子基础/储克森主编. —北京:机械工业出版社,2010.9
高职高专机电类专业规划教材
ISBN 978-7-111-31435-6

I. ①汽… II. ①储… III. ①汽车-电工-高等学校:技术学校-教材
②汽车-电子技术-高等学校:技术学校-教材 IV. ①U463.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第146075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 责任校对:李秋荣
封面设计:陈沛 责任印制:乔宇
北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)
2010年9月第1版第1次印刷
184mm×260mm·14.25印张·349千字
0 001—4 000册
标准书号:ISBN 978-7-111-31435-6
定价:25.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

当前我国的汽车工业作为支柱产业正以惊人的速度呈现出崭新的面貌。尤其是随着电工电子技术及微机在汽车中的运用,使汽车的经济性、安全性和舒适性得到了很大提高。汽车电子电器水平的高低已成为衡量汽车智能化程度的主要标志。为了适应汽车产业发展对人才的需求,工科类高职院校大都开办了汽车类专业。

本教材是根据当前“汽车类专业人才培养方案要求”编写的。教材紧扣高职高专培养目标,结合高职高专教育特点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既考虑电工电子基础知识和技能的学习,又考虑到与汽车类专业后续课程的衔接。教材图文并茂,内容结构上循序渐进,语言文字精炼、简洁。各章节附有一定的思考题和习题,便于学生掌握和巩固所学知识。全书附有五个相应的实验与实训,以培养学生分析问题的能力和操作技能;另外在每章后编写了知识拓展与应用,这些内容除拓宽电工电子方面的知识及为后续课程所需知识外,并选编了一些汽车实际电子电路,这部分内容可根据专业的需要作为选讲。

本教材由安徽机电职业技术学院储克森主编,他编写了第一、二、九章并对全书进行统稿;安徽机电职业技术学院王秋根编写了第三、四章;张莉编写了第五、七章;储明编写了第六、八章。安徽机电职业技术学院汽车系邓超对本教材部分初稿进行了审阅,并提出了合理建议,在此深表感谢。本教材由安徽机电职业技术学院周元一担任主审。他详细审阅了编写提纲及书稿,提出了宝贵建议,在此深表感谢!

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,敬请读者批评指正。

目 录

前言

第一章 直流电路 1

- 第一节 电路的基本概念 1
- 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 12
- 第五节 实际电源的等效变换 14
- 第六节 电路运行状态 17
- 知识拓展与应用一 电阻器简介 19
- 本章小结 21
- 习题一 21

实验与实训一 基尔霍夫定律与电位的测定 25

第二章 正弦交流电路 27

- 第一节 正弦交流电路的基本概念 27
- 第二节 正弦量的相量表示法 33
- 第三节 纯电阻、纯电感、纯电容
正弦交流电路 36
- 第四节 电阻、电感串联电路 43
- 第五节 R 、 L 、 C 串联电路 45
- 第六节 正弦交流电路的功率及
功率因数 46
- 第七节 三相交流电路 52
- 知识拓展与应用二 电容器简介 60
- 本章小结 64
- 习题二 65

实验与实训二 荧光灯电路安装与功率因数的提高 68

* 第三章 线性动态电路的分析 71

- 第一节 基本概念 71
- 第二节 RC 、 RL 串联电路的瞬态过程 73
- 第三节 一阶线性电路动态过程分析 78
- 知识拓展与应用三 电感器简介 82
- 本章小结 84

习题三 84

第四章 磁路基础知识 87

- 第一节 铁磁材料 87
- 第二节 直流磁路简介 92
- 第三节 交流铁心线圈 94
- 第四节 电磁铁 97
- 知识拓展与应用四 继电器简介 98
- 本章小结 102
- 习题四 102

第五章 晶体二极管及整流电路 104

- 第一节 晶体二极管 104
- 第二节 单相整流电路 106
- 第三节 滤波电路 108
- 第四节 稳压电路 111
- 知识拓展与应用五 晶闸管简介 112
- 本章小结 115
- 习题五 116
- 实验与实训三 二极管的特性测试 116

第六章 晶体管放大电路 119

- 第一节 晶体三极管及其放大作用 119
- 第二节 单管交流放大电路 123
- 第三节 功率放大电路 129
- 第四节 多级放大电路 131
- 第五节 集成运算放大电路 132
- 第六节 稳压电源 135
- 知识拓展与应用六 振荡器概述 136
- 本章小结 138
- 习题六 139
- 实验与实训四 晶体管单管放大器测试 141

第七章 数字电路基础 143

- 第一节 数字电路概述 143
- 第二节 基本逻辑门电路 145

第三节 集成触发器	152	第九章 电工测量与安全用电	191
第四节 基本数字部件	156	第一节 电工仪表的基本知识	191
第五节 半导体存储器	166	第二节 电流与电压的测量	194
第六节 数字电路应用举例	168	第三节 电阻的测量	198
知识拓展与应用七 电子开关简介	171	第四节 万用表	203
本章小结	174	第五节 安全用电	211
习题七	174	知识拓展与应用九 电流对人体的伤害	215
实验与实训五 集成与非门和集成 JK 触发器的功能测试	176	本章小结	216
第八章 传感器基础知识	178	习题九	216
第一节 力敏传感器	178	附录	218
第二节 温度传感器	181	附录 A 希腊字母表	218
第三节 光敏传感器	184	附录 B 常用物理量单位换算表	219
第四节 霍尔传感器	187	附录 C 常用半导体分立器件命名方 法	220
知识拓展与应用八 智能传感器简介	188	参考文献	221
本章小结	190		
习题八	190		

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。

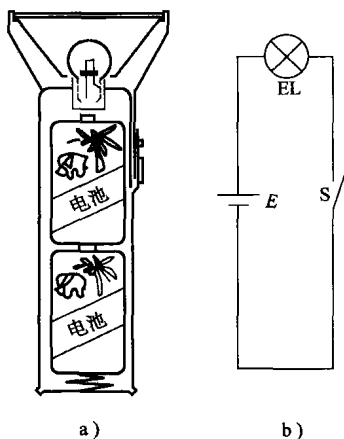


图 1-1 手电筒电路

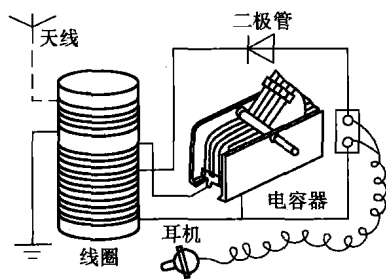


图 1-2 简单收音机电路

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。又如汽车中的照明电路，发电机和蓄电池组成电源，经导线和控制开关将电能传送到各灯泡。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。

在汽车中，为实现不同要求设计有各种具体的电器。如：点火系统电路、空调系统电路、安全系统电路、信号系统电路等。考虑到安全等因素，汽车电路的特点是：低压（12V、24V）、直流、单线制，即从电源到各种电气设备只用一根导线连接，该线称为“火线”；同时用汽车发动机，底盘等金属机体作为另一根公用导线与电源负极相连，称之为“搭铁”。

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”，如图 1-1b 即为图 1-1a 对应的电路模型。

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。

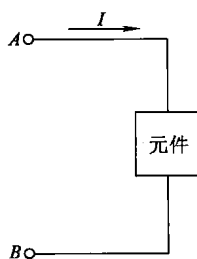


图 1-3 电流参考方向

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。

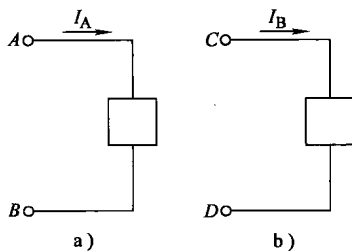


图 1-4 例 1-1 图

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。

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

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

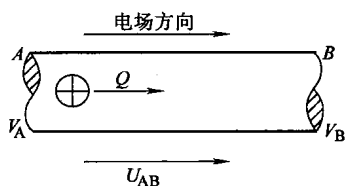


图 1-5 电压的概念

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。

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 $V_0 = 0$ 。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

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

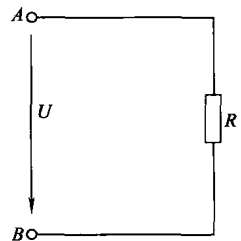


图 1-6 电压参考方向

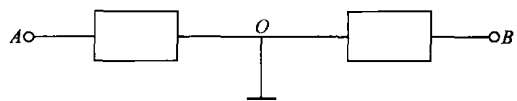


图 1-7 电压与电位差

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

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。

电压源不仅蓄电池、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。

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。

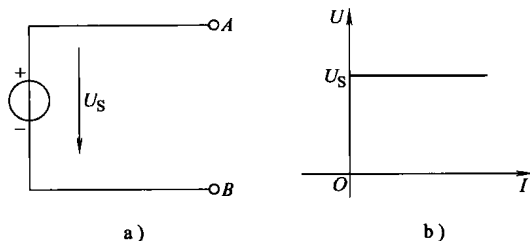


图 1-8 电压源

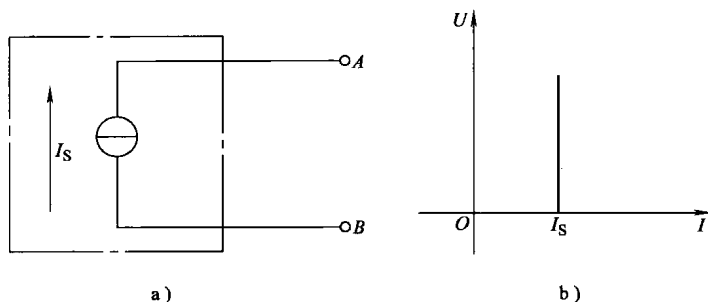


图 1-9 电流源

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。

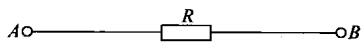


图 1-10 电阻元件符号

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。

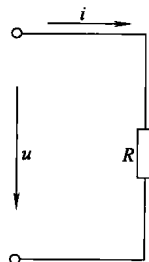


图 1-11 关联参考方向

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

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。

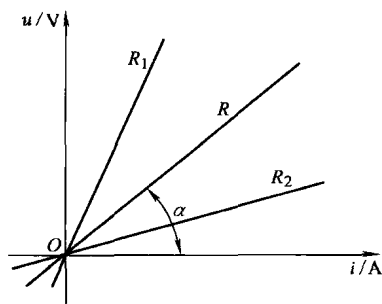


图 1-12 线性电阻伏—安特性曲线

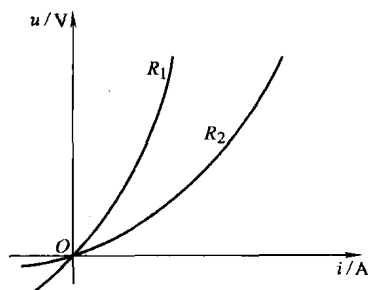


图 1-13 非线性电阻伏—安特性曲线

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，如石墨、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

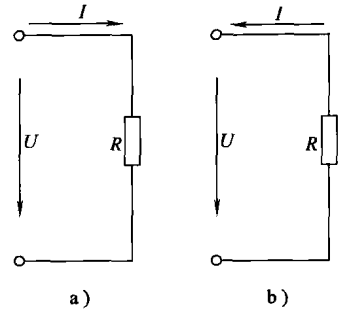


图1-14 一段电阻电路

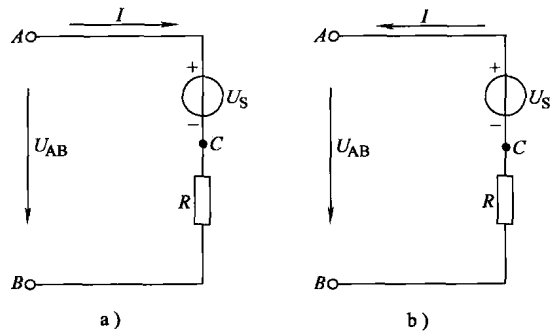


图1-15 一段有源支路

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

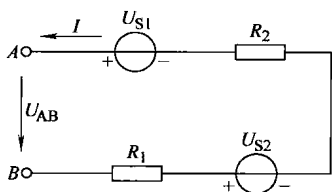


图 1-16 一段有源电路

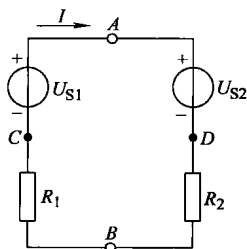


图 1-17 无分支闭合电路

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， $U_{S1} = 10\text{V}$ ， $U_{S2} = 15\text{V}$ ， $R_1 = 4\Omega$ ， $R_2 = 6\Omega$ ，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

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

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 $I = -0.5\text{A}$ 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

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

或

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

再如

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

或

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

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。

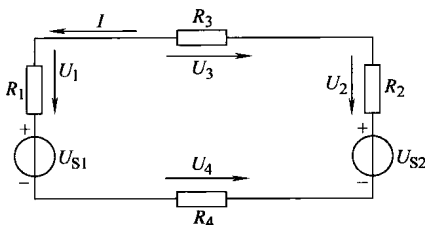


图 1-18 例 1-4 图

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

电压源的功率

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

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

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

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

或
$$P = \frac{U^2}{R} \quad (1-19)$$

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，只要知道通过电阻的电流(或电阻两端电压)，便可直接用式(1-18)或式(1-19)计算。

由图 1-18 可以看出，电压 U_{S1} 大于电压 U_{S2} ，在电路中的 U_{S2} 不但不供出电能反而消耗(吸收)电源 U_{S1} 供出的功率。被电源充电的电池就处于这种状态。可以验证，就整个电路而言

$$\sum P = 0 \quad (1-20)$$

即供出功率的和等于消耗功率之和，或者说供出功率与消耗功率的代数和为零。这是“能量守恒”的体现。

下面介绍电能的计算。

“功”和“能”是同一事物的两种形态。“电功”是由消耗“电能”而得到的。因此，“电能”的消耗量，就是用在时间(t)内所做的“电功”来度量的。电能的文字符号用“ W ”表示，即

$$W = Pt \quad (1-21)$$

电能的单位瓦·秒等于焦耳(J)。实用上，供电部门收取电费时，用度来作为能量单位。1度等于 $1\text{kW} \cdot \text{h}$ (千瓦·小时)。1kW 的电炉通电 1h 消耗 1度电；40W 的电灯使用 25h 也消耗 1度电。

二、电气设备的额定值

任何电气设备在使用过程中都有一个标准规格或规定限额的问题，在电工术语中称“额定值”。一个电气设备的额定值通常不是一个。除了不同设备的特殊要求外，大都规定了“额定电压”(U_N)，“额定电流”(I_N)或“额定功率”(P_N)等。

1. 额定电压(U_N)

额定电压是与选用材料的绝缘性能有关的。绝缘等级高，承受的电压就高。每一种材料都有“击穿电压”，有时为了防止击穿而规定了低于击穿电压的“额定电压”。另外，不同情况还规定了不同的额定电压等级，各国情况不尽相同。我国在电力供电方面有交流 500kV、220kV、380V、220V；电池有 1.5V、2V 等；电子线路有 4.5V、6V 等。

2. 额定电流(I_N)

额定电流的规定是与电流的“热效应”有关的。电气设备的导体通过电流将产生热量，使电气设备的温度升高。在“额定电流”下，温度会稳定在某一个允许值上不再升高。温度升高与散热条件及环境温度有关，所以额定电流的规定也要考虑使用环境和散热条件的影响。