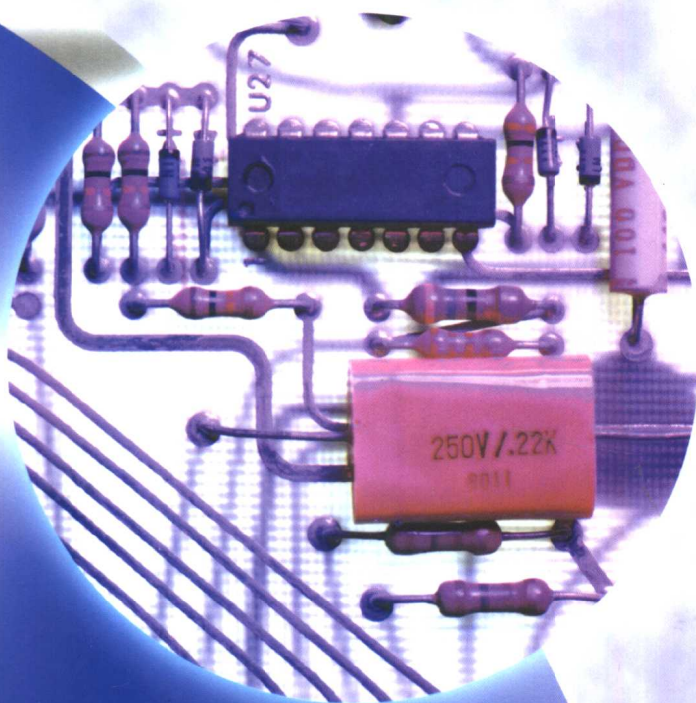


高等职业技术教育规划教材

电工基础

储克森 主编



高等职业技术教育规划教材

电 工 基 础

主编 储克森

参编 周元一

眭 玲

王秋根

主审 姜孝定



机 械 工 业 出 版 社

本教材根据高等职业教育的培养目标和特点,突出实用性,以必需、够用为度,讲述电工技术中电路与磁路的基本概念、基本规律和基本分析方法。

主要内容有直流电路、电容、电感、正弦交流电路、互感耦合电路、磁路与铁心线圈电路等。

本书可供高等职业学院电类专业使用,也可作为职业培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

电工基础/储克森主编. —北京:机械工业出版社, 2003.9

高等职业技术教育规划教材

ISBN 7-111-12757-9

I. 电... II. 储... 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(2003)第 065250 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:周 娟 版式设计:霍永明 责任校对:李秋荣

封面设计:张 静 责任印制:路 琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2003 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·13.5 印张·328 千字

0 001—4 000 册

定价:19.00 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) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

前 言

本教材是根据高等职业技术教育的培养目标和当前高职生源实际情况而编写的。基本内容符合《高等职业技术教育电路及磁路课程教学基本要求》，可供高等职业技术学院电气类各专业教学使用。

本教材基本内容包括电路的基本概念和基本定律，直流电阻电路的分析，电容、电感，正弦交流电路，互感耦合电路，磁路与铁心线圈电路等。除基本内容外，书中还编入了四章标有“△”号的内容，可供不同专业选用。此外，书中还编写了阅读与应用课题，以拓宽学生的知识面。

本教材在编写时，考虑到高等职业教育的特点，力图做到“必需、够用、实用、能用”，着重讲述基本概念、基本规律，注重基本分析方法和培养学生分析问题和解决问题的能力。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。

本教材由安徽机电职业技术学院高级讲师姜孝定审阅。参加本书编写工作的有：安徽机电职业技术学院储克森（第一、二、三章）；周元一（第四、十、十一章）；陆玲（第五、六章）；王秋根（第七、八、九章）。全书由储克森统稿。赵静和陶玲同志为本书初稿的文字录入和插图做了大量工作，在此谨表示衷心感谢。

本教材在编写时，参阅了许多同类教材和资料，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 电路的基本概念和基本定律 2

第一节 实际电路和电路模型 2

第二节 电流、电压及其参考方向 3

第三节 电阻元件 6

阅读与应用一 电阻器简介 9

第四节 电压源与电流源 11

第五节 欧姆定律 12

第六节 基尔霍夫定律 15

第七节 实际电源的等效变换 17

第八节 电功率及电气设备的额定值 20

本章小结 22

思考题与习题一 23

第二章 直流电阻电路的分析 26

第一节 电路运行状态 26

第二节 电路的等效变换 28

第三节 支路电流法 33

第四节 节点电压法 35

第五节 戴维宁定理和诺顿定理 38

第六节 叠加定理 42

本章小结 43

思考题与习题二 44

△第三章 受控电源电路分析 48

第一节 受控源的基本概念及模型 48

第二节 受控电压源与受控电流源的

等效变换 49

第三节 受控源电路的一般分析法 51

第四节 应用叠加定理和戴维宁定理

求解含受控源电路 53

本章小结 56

思考题与习题三 56

第四章 电容·电感 58

第一节 电容器与电容量 58

第二节 电容元件上电流与电压的关系 59

第三节 电容器的充放电及电场能量 60

第四节 电容的连接 61

IV

阅读与应用二 电容器简介 64

第五节 电感器与电感量 67

第六节 电感元件上电压与电流的关系 68

第七节 电感中的磁场能量 70

阅读与应用三 电感器简介 70

本章小结 73

思考题与习题四 73

第五章 正弦交流电路 75

第一节 正弦交流电路的基本概念 75

第二节 正弦交流电的有效值和

平均值 79

第三节 正弦量的相量表示法 81

第四节 纯电阻、纯电感、纯电容正弦

交流电路 84

第五节 电阻、电感串联电路 91

第六节 R 、 L 、 C 串联电路 94

第七节 复阻抗并联电路及复导纳 96

第八节 正弦交流电路的功率 99

第九节 功率因数的提高 102

第十节 正弦交流电路的分析计算 105

阅读与应用四 交流电路的实际参数 108

本章小结 110

思考题与习题五 111

第六章 三相交流电路 115

第一节 三相交流电源 115

第二节 三相负载的星形联结 119

第三节 三相负载的三角形联结 123

第四节 三相电路的功率 125

阅读与应用五 电流对人体的伤害 128

本章小结 129

思考题与习题六 130

第七章 互感耦合电路 132

第一节 互感系数和互感电压 132

第二节 互感线圈的串联 136

第三节 互感线圈的并联 137

第四节 理想变压器 140

本章小结 142

思考题与习题七	143	第四节 并联谐振电路	178
第八章 磁路与铁心线圈电路	145	本章小结	183
第一节 铁磁材料的磁化	145	思考题与习题十	183
第二节 磁路定律	149	△第十一章 非正弦周期性电路	185
第三节 交流铁心线圈	152	第一节 非正弦周期量的产生	185
第四节 电磁铁	154	第二节 非正弦周期量的谐波分析	186
本章小结	156	第三节 对称非正弦周期波形的傅里 叶级数	188
思考题与习题八	156	第四节 非正弦周期性电路电流的计算	191
△第九章 线性动态电路的分析	158	第五节 非正弦周期量的有效值、平均 值及功率	194
第一节 基本概念	158	阅读与应用六 滤波电路简介	198
第二节 RC 串联电路的瞬态过程	160	本章小结	201
第三节 RL 串联电路的瞬态过程	163	思考题与习题十一	202
第四节 一阶线性电路动态过程分析	165	附录	204
本章小结	169	附录 A 希腊字母表	204
思考题与习题九	169	附录 B 常用物理量单位换算表	205
△第十章 正弦谐振电路	172	附录 C 绝缘材料的电性能	206
第一节 串联谐振的条件与特征	172	参考文献	207
第二节 串联谐振电路的频率特性	175		
第三节 谐振电路的选择性与通频带	176		

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，这就要求从事电气专业的高、中级技术人员牢固掌握电工技术，以适应形势发展的需要。

电工基础是电气专业的一门重要技术基础课，其任务是使电气专业的高、中级技术人员获得电工技术的基本理论、基本知识、基本技能，为进一步学习专业基础课及专业课打下必要的基础。同时，通过电工技术基础课程的学习，使学员们树立辩证唯物主义的观点和实事求是的科学态度，培养分析问题和解决问题的能力。

电工技术基础是一门理论与实践相结合的课程。学习这门课程时，首先要注意掌握基本概念，理解这些概念的物理意义，弄清各个概念间的区别与联系；第二是要掌握电路和磁路的基本定律和定理，理解这些定律和定理所反映的客观规律及使用条件；第三是要逐步学会分析和解决电工技术问题的原理和方法，学会把复杂的问题化解为若干简单的问题来解决。

教材各章后编排了适当数量的思考题与习题，同学们要在理解基本理论的基础上，独立完成一定数量的习题，通过做习题，可以巩固和加深对所学理论的理解，并培养分析能力和运算能力。

学习电工基础课程的同时，必须同步开设一定数量的电工技术实验。通过实验可以训练操作技能，学会正确使用常用电工仪表、电工仪器及电气设备；通过实验可以培养实践能力和严谨的科学作风；通过实验也可巩固所学的理论。

随着电工技术的发展，电路元件的概念、电路分析的理论和方法将有新的发展，更为广阔的、日新月异的领域还有待大家去学习和探索。

第一章 电路的基本概念和基本定律

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。电路是电工技术的主要研究对象，为了对各种电路进行分析和研究，必须熟悉电路的基本概念和基本规律。学好本章内容，是为以后各章的学习打下良好的基础。

第一节 实际电路和电路模型

一、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、导线等相互连接而构成的，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 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 中的干电池 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 R 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。通常把输入信号称做“激励”，把输出信号称做“响应”。电信系统进行的也是类似的处理，不过它也是一个很复杂的实际电路。

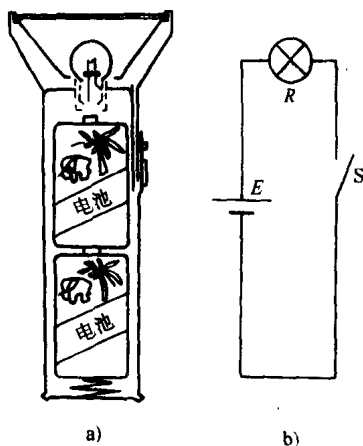


图 1-1 手电筒电路

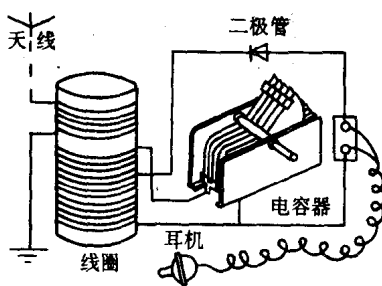


图 1-2 简单收音机电路

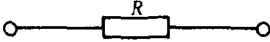
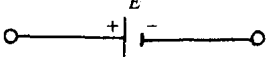
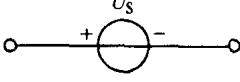
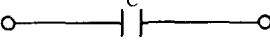
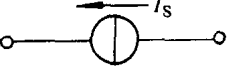
复杂的电路有时也称为电网络。

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。

二、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。

第二节 电流、电压及其参考方向

不论电能的输送和转换，还是信号的传递和处理，常离不开电流和电压这两个物理量。所以在对电路进行分析或计算之前，需要再认识一下这两个基本物理量。电流和电压在物理学中已经讲过，这里再认识，是要强调它们的参考方向。

一、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

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

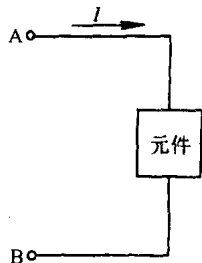
式中， I 和 i 分别为直流电流和交流电流； Q 和 dq 分别为在时间 t 和 dt 内通过导体的电荷量。

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；当电流值为正，则电流的实际方向与参考方向一致；当电流值为负，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，由计算出的电流值的正负，电流的实际方向也就知道了。



例如，对图 1-3 所选定的电流参考方向下，已算出电流 $I = 5\text{A}$ ，图 1-3 电流参考方向可知这 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。

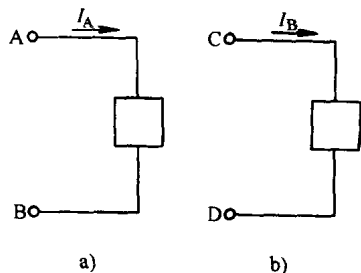


图 1-4 例 1-1 图

二、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，电场力做的功是 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。

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

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。

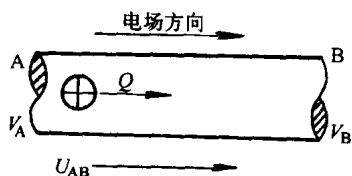


图 1-5 电压的概念

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来标注参考方向。

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。

三、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

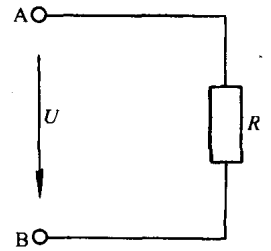


图 1-6 电压参考方向

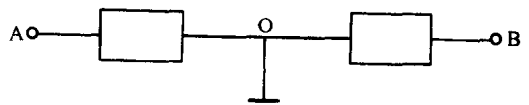


图 1-7 电压与电位差

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。

四、电动势 E

图 1-8 所示的两个电极 A 和 B，A 带正电称为正极，B 带负电称为负极，电荷在 A、B 间的电场中具有电场力。用导线经过负载把 A、B 两极连接起来，在电场力的作用下，正电荷沿着导线从 A 移到 B，形成了电流 I 。随着正电荷不断地从 A 移到 B，A、B 两极间的电场逐渐减弱，以至消失，这样，导线中的电流也会减至零。为了维持连续不断的电流，必须保持 A、B 间有一定的电位差，即保持一定的电场。这就需要有一种力来克服电场力把正电荷不断地从 B 极移到 A 极去。电源就是能产生这种力的装置，这种力称为非静电力。例如，在发电机中，导体在磁场中运动时，就有磁场能产生为非静电力；在电池中，就有化学能产生为非静电力。

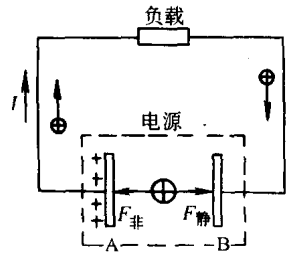


图 1-8 非静电力做功的示意图

非静电力把单位正电荷从电源的负极移到正极所做的功称为电源的电动势。对直流电动势，表示为

$$E = \frac{W}{Q} \quad (1-5)$$

电动势的单位也是伏 (V)。

电动势的实际方向习惯规定为从电源的负极指向其正极，或者从低电位点指向高电位点。

电动势与电压是两个不同的概念，但是，都可以用来表示电源正负极之间的电位差。且从电源对外部电路所表示的客观效果来看，既可用正、负极间的电动势来表示，也可用其间的电压来表示，但要注意两者的区别和联系。

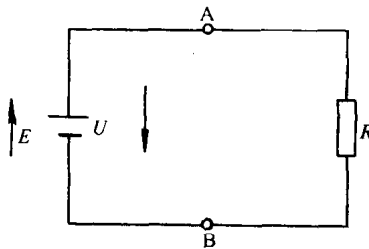


图 1-9 电动势与电压的关系

图 1-9 为图 1-8 的电路模型， E 和 U 的方向刚好相反。这是因为它们的物理意义不同：电动势的方向表示电位升；电压的方向表示电位降，但它们反映的都是 A 点电位比 B 点电位高。正因为如此，有许多电路常用一个与电源电动势大小相等、方向相反的电压来表示电源。

第三节 电阻元件

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。

就长直导体而言，在一定温度下，电阻值可用下式计算

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-6)$$

式中 l ——导体长度 (m)；

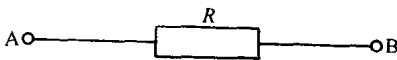


图 1-10 电阻元件符号

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。几种常见金属材料的电阻率及电阻温度系数见表 1-2。

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

电阻的倒数称为电导, 用 G 表示, 即 $G = 1/R$, 电导的单位为西门子 (S)。

表 1-2 几种常用金属材料的电阻率及电阻温度系数

材料名称	电阻率 $\rho/\Omega \cdot \text{m}$ (20°C 时)	平均电阻温度系数 $\alpha/(1/^\circ\text{C})$ ($0 \sim 100^\circ\text{C}$)
银	1.59×10^{-8}	0.0038
铜	1.69×10^{-8}	0.0040
铝	2.65×10^{-8}	0.00423
铁	9.78×10^{-8}	0.0050
钨	5.48×10^{-8}	0.0045
钢	$(1.3 \sim 2.5) \times 10^{-7}$	0.006
康铜	$(4 \sim 5.1) \times 10^{-7}$	0.000005
锰铜	4.2×10^{-6}	0.000006
黄铜	$(7 \sim 8) \times 10^{-6}$	0.002
镍铬合金	1.1×10^{-6}	0.00015
铁铬合金	1.4×10^{-6}	0.00028

二、电阻元件的电压、电流关系

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

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

或

$$i = F(u) \quad (1-8)$$

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

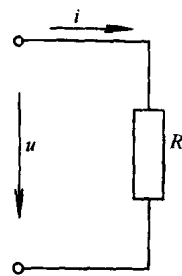


图 1-11 关联参考方向

$$u = Ri \quad (1-9)$$

或

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

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

$$\tan \alpha = \frac{u}{i} = R \quad (1-11)$$

若电阻元件的伏—安特性曲线是一条通过原点的直线, 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 (1-7) 或式 (1-8) 表示，而不能用式 (1-9) 或式 (1-10) 表示。

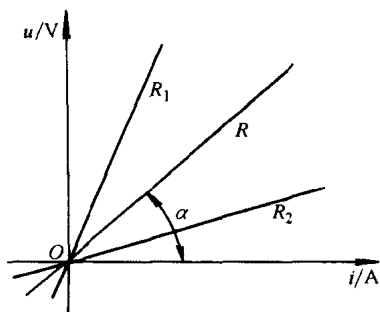


图 1-12 线性电阻伏-安特性曲线

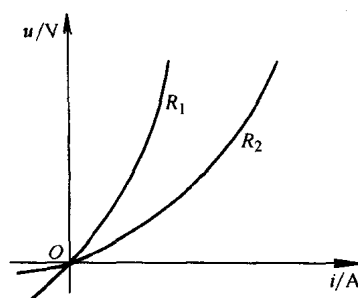


图 1-13 非线性电阻伏-安特性曲线

三、电阻值与温度的关系

通过实验可以发现，导体的温度变化，电阻值也跟着起变化。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。几种常用金属电工材料的电阻温度系数也列在表 1-2 中。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 α ($1/^\circ\text{C}$)，如果原来的电阻为 R_1 (Ω)，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 $R_1\alpha(t_2 - t_1)$ (Ω)，再加上原来电阻 R_1 ，就是温度升高后的电阻值 R_2 ，即

$$R_2 = R_1 + R_1\alpha(t_2 - t_1) \quad (1-12)$$

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。

[例 1-3] 试求截面积 $S = 95\text{mm}^2$ ，长度 $l = 120\text{km}$ 的铜质输电线在温度分别为 20°C 、 10°C 和 0°C 时的电阻值。

解：因为表 1-2 所给的电阻率 ρ 是当温度等于 20°C 时的值，所以可以把 20°C 时的电阻先求出来，即

$$R_{20} = \rho \frac{l}{S} = 1.69 \times 10^{-8} \times \frac{120 \times 10^3}{95 \times 10^{-6}} \Omega = 21.35 \Omega$$

当温度由 $t_1 = 20^\circ\text{C}$ 变成为 $t_2 = 10^\circ\text{C}$ 时，电阻为

$$\begin{aligned} R_{10} &= R_{20} + R_{20}\alpha(t_2 - t_1) \\ &= [21.35 + 21.35 \times 0.004 \times (10 - 20)] \Omega = 20.50 \Omega \end{aligned}$$

当温度由 $t_1 = 20^\circ\text{C}$ 变成为 $t_2 = 0^\circ\text{C}$ 时, 电阻为

$$\begin{aligned} R_0 &= [21.35 + 21.35 \times 0.004 \times (0 - 20)] \Omega \\ &= 19.64 \Omega \end{aligned}$$

从上例可以看出, 随着温度的降低, 导体的电阻也在减小。这可以用温度降低, 分子热运动减慢, 碰撞减少进行解释。但不能由式 (1-12) 得出这样的结论: 说温度 t_2 降到某一值, R_2 就会降为零。从纯数学的推导似乎可以得出这种结果。但是, 应当知道, 任何一个计算公式都是有条件的, 这里的条件是, 当到了一定的低温之后, 电阻温度系数将不再是表 1-2 所列的数值。

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。

阅读与应用一 电阻器简介

一、导体、绝缘体 (电介质) 和半导体

各种材料的导电性能是有很大差异的。在电工技术中, 各种材料按照它们的导电能力, 可分为三类, 即导体、绝缘体和半导体。

1. 导体

导电能力强的材料称为导体。按其导电的物理过程又可分为两类:

第一类导体为金属, 如常用的铜、铝、钢铁等属于这一类。金属导体内部含有大量的自由电子, 在电场力作用下而移动形成传导电流。这一类材料电阻率小, 约为 $10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ 。

第二类导体为电解液, 如酸、碱、盐的溶液属于这一类。它们含有大量的正、负离子, 在电场力的作用下, 也能产生定向运动而形成电流。

另外, 气体电离后, 也具有导电能力。

2. 绝缘体 (又称电介质)

这一类材料的导电性能很差, 电阻率很大, 约为 $10^7 \sim 10^{19} \Omega \cdot \text{m}$ 。这也是由这一类材料的内因决定的, 因为它的原子核对其周围的电子“束缚”得很紧, 自由电子极少。绝缘体的电阻常以兆欧 ($\text{M}\Omega$) 计算, 称为“绝缘电阻”。

绝缘体并不是绝对不导电。通常说绝缘体不导电是有条件的, 如电压高到一定数值, 使电场力超过它的原子核对外围电子的“束缚”力, 本来不自由的电子变得“自由”了, 绝缘体变成了导体。这种情况称为“绝缘击穿”, 此时的电压称为“击穿电压”。绝缘击穿往往造成设备损坏和人身触电事故。为了防止绝缘击穿, 根据材料的“击穿电压” (也称“绝缘电压”) 规定了“允许电压” (也称“额定电压”), 可见允许电压应小于击穿电压, 而实际工作电压又常小于允许电压。

应当指出: 绝缘物的绝缘性能除由它的内因决定外, 还受外因的影响, 如干燥的木材是绝缘的, 而受潮湿之后, 其绝缘性能会显著降低。这是因为水中溶解有可导电的杂质。

另外, 使用绝缘材料还应注意环境温度的高低。温度过高会使绝缘物变质, 影响其使用寿命。

3. 半导体

这类材料的导电能力介于导体与绝缘体之间。常见的半导体材料有硅、锗、硒等。它们的电阻率约为 $10^{-1} \sim 10^6 \Omega \cdot m$ 。由于半导体材料具有一些特殊的性质，所以在近代电子技术中得到极其广泛的应用。

二、常用的几种电阻器简介

1. 电阻器的作用和分类

电阻器是一种消耗电能的元件，在电路中用于控制电压、电流的大小，或与电容器和电感器组成具有特殊功能的电路等。

为了适应不同电路和不同工作条件的需要，电阻器的品种规格很多，按外形结构，可分为固定式和可变式两大类，图 1-14a、b 分别示出了固定电阻器和可变电阻器的外形。固定电阻器主要用于阻值不需要变动的电路；可变电阻器，即电位器，主要用于阻值需要经常变动的电路。

电阻器按材料和使用性质，可分为膜式、线绕式、热敏电阻、压敏电阻；按伏-安特性，可分为线性电阻和非线性电阻等。

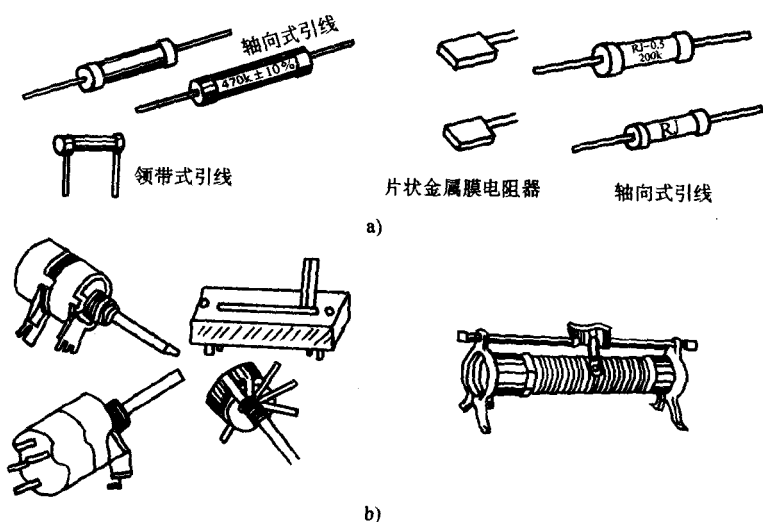


图 1-14 几种常见电阻器的外形

2. 电阻器的主要参数

电阻器的参数很多，在实际应用中，一般应常考虑标称阻值、允许误差和额定功率三项参数。

电阻器的标称阻值是指电阻器表面所标的阻值，它是按国家规定的阻值系列标注的，因此，选用电阻器时，必须按国家对电阻器的标称阻值范围进行选用。

电阻器的实际阻值并不完全与标称阻值相等，存在误差。实际阻值对于标称值的最大允许偏差范围称为电阻器的允许误差。通用电阻的允许误差等级为 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 。

电阻器接入电路后，通过电流时便要发热，如果电阻器的温度过高，就会将其烧毁。通常在规定的电压、温度条件下，电阻器长期工作时所允许承受的最大电功率称为额定功率。一般情况下，所选用电阻器的额定功率应大于实际消耗功率的两倍左右，以保证电阻器的可靠工作。

第四节 电压源与电流源

电源是将其他形式能量转换成电能的装置，称为有源元件。这一节介绍对“电源”的理想化处理，即理想电源模型。

一、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称为“电压源”，电路图形符号如图 1-15a 所示。

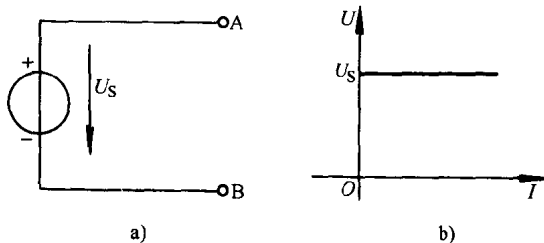


图 1-15 电压源

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。

电压源提供确定不变的电压，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 1-15b 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。

二、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 1-16a 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，也是取决于外接电路，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 1-16b 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。

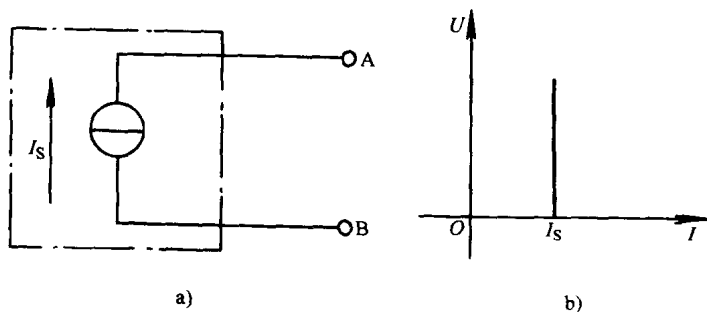


图 1-16 电流源