

电工技术

DIANGONG JISHU

■主 编 吴雪琴
■副主编 程建新 吴玉琴 陆春松
■主 审 丁 锋

(第3版)



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

电工技术

(第3版)

主 编 吴雪琴
副主编 程建新 吴玉琴
陆春松
主 审 丁 锋

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书讲述了电工技术的相关知识。全书共9章,主要包括电路的基本概念和基本定律、电路的分析方法、正弦交流电路、三相电路、电路暂态分析、变压器、交流电动机、供电与安全用电、电工测量等内容。每章后面都有本章小结和习题,书中还编入了较多的例题和应用实例。

本书适合高等学校工科非电类各专业的学生使用,也可供职大、夜大、电大等各类学校使用,还可以作为有关工程技术人员参考资料。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

电工技术/吴雪琴主编. —3版. —北京:北京理工大学出版社,2013.5
ISBN 978-7-5640-7719-8

I. ①电… II. ①吴… III. ①电工技术 IV. ①TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第107219号

出版发行/北京理工大学出版社有限责任公司

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010) 68914775(总编室)

82562903(教材售后服务热线)

68948351(其他图书服务热线)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/北京正合鼎业印刷技术有限公司

开 本/787毫米×1092毫米 1/16

印 张/15.5

字 数/361千字

版 次/2013年5月第3版 2013年5月第1次印刷

定 价/45.00元

责任编辑/王艳丽

文案编辑/王艳丽

责任校对/周瑞红

责任印制/王美丽

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

第3版前言

“电工技术”是非电类专业的专业基础课程。读者可以通过本课程的学习，得到电工技术必要的基础理论、基本知识和基本技能，了解电工技术发展的概况，为学习后续课程以及从事有关的工程技术和科学研究工作打下良好的理论和实践基础。

全书共分为9章，系统全面地介绍了电路的基本概念和基本定律、电路的分析方法、正弦交流电路、三相电路、电路暂态分析、变压器、交流电动机、供电与安全用电及电工测量等。

本书的基础理论知识由浅入深，原理清晰。在重点介绍电工技术基础知识的同时，每章节给出了一些典型的和新型的应用实例，目的是使学生易于理解和掌握所学理论知识，提高学生的实践操作能力，拓展学生的知识面，如适当增加了安全用电知识，特别对电工测量部分作了相应的介绍。

本次修订，除了保持本书特点外，还对每章内容增设了任务训练环节，对有难度的知识以及新知识增设了知识拓展环节，供教师根据专业特点和学生的特点取舍。同时，为了便于教师的教学和读者的自学，制作了本书的幻灯演示（PPT）课件，还对每章后面的习题部分重新进行了修订，增补了习题答案部分。

本书从初版到现在的第3版，是一个不断完善和提高的过程。本书由吴雪琴担任主编，编写本书第5、6、8、9章，以及各章中的实训任务拓展章节；程建新编写第3章；吴玉琴编写第1、2、4章；陆春松编写第7章。还要特别感谢江南大学物联网工程学院的“太湖学者”、特聘教授、

博士生导师丁锋，他担任本书修订版的主审，还要感谢无锡隆玛科技股份有限公司高级工程师杨朝辉总经理对本书实训任务拓展章节的审核，以及郑州金路电子科技有限公司赵文广总经理对本书的关心和帮助。

由于编者能力有限，书中难免有不妥和错误之处，希望使用本书的师生和读者们能够提出批评和修改意见。

第1章 电路的基本概念和基本定律	1
1.1 电路与电路模型	1
1.2 电压和电流的参考方向	2
1.3 电阻与电导	4
1.4 欧姆定律	7
1.5 电位的概念及计算	8
1.6 任务训练——欧姆定律验证	10
第2章 电路的分析方法	17
2.1 电阻串并联的等效变换	17
2.2 电压源与电流源及其等效变换	22
2.3 基尔霍夫定律	25
2.4 支路电流法	27
2.5 节点电压法	29
2.6 叠加定理	30
2.7 戴维宁定理	31
2.8 任务训练——基尔霍夫定律验证	33
第3章 正弦交流电路	41
3.1 正弦电压与电流	41
3.2 交流电的表示方法	44
3.3 电阻元件、电感元件与电容元件	47
3.4 纯电阻交流电路	51
3.5 纯电感交流电路	52
3.6 纯电容交流电路	55
3.7 RL 串联正弦交流电路	57
3.8 RC 串联正弦交流电路	59
3.9 RLC 串联交流电路	61
3.10 RLC 并联交流电路	63
3.11 阻抗的串联与并联	66
3.12 交流电路的频率特性	68
3.13 功率因数	75

3.14 任务训练——RLC 串联正弦交流电路	77
第4章 三相电路	89
4.1 三相交流电源	90
4.2 负载的Y形连接	93
4.3 负载的 Δ 形连接	95
4.4 三相对称电路的分析和计算	97
4.5 任务训练——三相负载的星形、三角形连接	99
第5章 电路暂态分析	106
5.1 换路定则与电压、电流初始值的确定	106
5.2 RC 电路的过渡过程	109
5.3 任务训练——电容器的充放电	112
第6章 变压器	116
6.1 磁路及其基本定律	116
6.2 交流铁心线圈电路	119
6.3 变压器的基本结构和原理	121
6.4 变压器的使用	125
6.5 三相变压器与绕组连接	129
6.6 特殊变压器	130
6.7 任务训练——互感及同名端	134
第7章 交流电动机	139
7.1 三相异步电动机的构造	139
7.2 三相异步电动机的工作原理	143
7.3 三相异步电动机的电磁转矩	148
7.4 三相异步电动机的机械特性和工作特性	153
7.5 三相异步电动机的起动、制动与调速	157
7.6 任务训练——三相异步电动机的接线判别	176
第8章 供电与安全用电	183
8.1 发电与输电概述	183
8.2 工企供配电	185
8.3 安全用电	189
8.4 节约用电	194
第9章 电工测量	197
9.1 电工仪表与测量的基本知识	198

9.2	万用表	203
9.3	电压与电流的测量	208
9.4	电阻的测量	210
9.5	功率的测量	213
9.6	电能的测量	217
9.7	任务训练——万用表的使用	221
习题参考答案		225
参考文献		239

第 1 章

电路的基本概念和基本定律

本章知识点

- 1. 掌握电路的概念及组成电路的理想电路元器件；
- 2. 深刻理解电流、电压的概念，熟练掌握电流、电压参考方向的应用；
- 3. 熟练掌握欧姆定律；
- 4. 了解电位的计算方法。

先导案例

英语中，电这个名词（Electricity）来源于希腊语中的琥珀。公元前，人们就发现，用毛皮摩擦过的琥珀能够吸引羽毛，因此有了摩擦起电。无论是摩擦起的静电，还是电池或发电机发出的电，其本质是完全相同的。在现代科技日益进步的今天，电的使用非常广泛，电能不仅为工农业生产、交通运输、国防建设、广播通信以及各种科学技术提供了强大的动力，在人们日常的文化和物质生活中也是必不可少的。可以做个实验，准备一个苹果，铜片和锌片各一块，插入苹果中，然后用导线将发光二极管（LED）的正极连接到插入苹果的铜片上，将发光二极管的负极连接到插入苹果的锌片上，会有什么现象发生？

1.1 电路与电路模型

1.1.1 电路的基本组成

1. 电路

电路是由各种元器件（或电工设备）按一定方式连接起来的总体，为电流的流通提供了路径。用电源、负载、开关和导线便可组成一个最简单的电路，实际应用中电路是多种多样的，就其功能来说可归为两类：一是进行能量的转换、传输和分配，如电力系统电路，可将发电机发出的电能经过输电线传输到各个用电设备，再经过用电设备转换成热能、光能、机械能等；二是实现信号的传递和处理，如扩音器电路。

2. 电路的基本组成

如图 1.1.1 所示电路的基本组成包括以下 4 个部分。

（1）电源：为电路提供电能的设备和器件，是将其他形式的能量转换为电能的装置，如电池、发电机等。

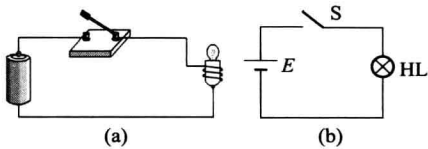


图 1.1.1 手电筒实物电路及其电路模型
(a) 实物电路; (b) 电路模型

- (2) 负载：也称用电器，是将电能转换为其他形式的能量的器件或设备，如灯泡等。
- (3) 控制器件：控制电路工作状态的器件或设备，如开关等。
- (4) 连接导线：将电器设备和元器件按一定的方式连接起来，如铜、铝电缆线等。

1.1.2 电路模型

实物电路都是由起不同作用的电路元件或器件所组成，为了便于使用数学方法对电路进行分析，可将电路实体中的各种电器设备和元器件用一些能够表征它们主要电磁特性的理想元件（模型）来代替，而对它实际的结构、材料、形状等非电磁特性不予考虑，将实际元件理想化。由这些理想元件构成的电路叫做实物电路的电路模型，它是对实物电路电磁性质的科学抽象和概括，也叫做实物电路的电路原理图，简称为电路图，例如，图 1.1.1 所示的手电筒电路。

各种电气元件都可以用图形符号或文字符号来表示，根据国标规定，部分常用的电气元件符号见表 1.1.1。

表 1.1.1 常用的电气元件及符号

名称	符号	名称	符号
电阻		电压表	
电池		接地	
电灯		熔断器	
开关		电容	
电流表		电感	

1.2 电压和电流的参考方向

关于电压和电流的方向，有实际方向和参考方向两种，要加以区别。为此在分析与计算电路时，常可任意选定某一方向作为电流（电压）的参考方向，或称电流（电压）的正方向。

1.2.1 电流

电路中电荷的定向运动形成电流，其方向规定为正电荷移动的方向（或负电荷移动的反方向），其大小等于在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），用符号 I 或 $i(t)$ 表示，讨论电流时可用符号 i 。

设在 $\Delta t = t_2 - t_1$ 时间内，通过导体横截面的电荷量为 $\Delta q = q_2 - q_1$ ，则在 Δt 时间内的电流强度可用数学公式表示为

$$i(t) = \frac{\Delta q}{\Delta t} \tag{1.2.1}$$

式中， Δt 为很小的时间间隔，时间的单位为秒（s）；电量 Δq 的单位为库仑（C）；电流 $i(t)$ 的单位为安培（A）。

常用的电流单位还有毫安 (mA)、微安 (μA)、千安 (kA) 等, 它们与安培的换算关系为

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

1. 直流电流

如果电流的大小及方向都不随时间变化, 即在单位时间内通过导体横截面的电量相等, 则称为稳恒电流或恒定电流, 简称为直流 (Direct Current), 记为 DC 或 dc。直流电流用大写字母 I 表示。若在 t 内通过导体横截面的电荷量是 q , 则电流 I 可以用下式表示为

$$I = \frac{q}{t} \quad (1.2.2)$$

2. 交流电流

如果电流的大小及方向均随时间变化, 则称为变动电流。对电路分析来说, 一种最为重要的变动电流是正弦交流电流, 其大小及方向均随时间按正弦规律呈周期性变化, 简称为交流 (Alternating Current), 记为 AC 或 ac, 其瞬时值用小写字母 i 或 $i(t)$ 表示, 即

$$i(t) = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

【例 1.2.1】某导体在 5 min 内均匀通过的电荷量为 4.5 C, 求导体中的电流是多少毫安?

解:
$$I = \frac{q}{t} = \frac{4.5}{5 \times 60} \text{ A} = 0.015 \text{ A} = 15 \text{ mA}$$

3. 电流的方向

在分析或计算电路时, 常常要确定电流的方向。当电路比较复杂时, 某段电路中电流的实际方向往往难以确定, 可先假定电流的参考方向。如图 1.2.1 所示, 当电流的实际方向与其参考方向一致时, 则电流为正值; 当电流的实际方向与其参考方向相反时, 则电流为负值。

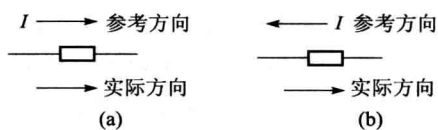


图 1.2.1 电流的方向
(a) $I > 0$; (b) $I < 0$

【例 1.2.2】如图 1.2.2 所示, 请说明电流的实际方向。

解: (1) 如图 1.2.2 (a) 所示电流的参考方向由 a ~ b, $I_1 = 2 \text{ A} > 0$ 为正值, 说明电流的实际方向和参考方向一致, 即电流的实际方向是从 a 流向 b。

(2) 如图 1.2.2 (b) 所示电流的参考方向由 c ~ d, $I_2 = -2 \text{ A} < 0$ 为负值, 说明电流的实际方向和参考方向相反, 即电流的实际方向是从 d 流向 c。

(3) 如图 1.2.2 (c) 所示电流的实际方向不能确定, 因为没有给出电流的参考方向。

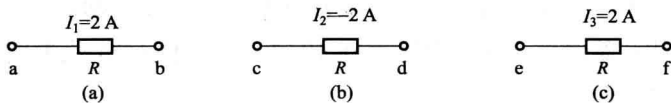


图 1.2.2 电流的实际方向

1.2.2 电压

电压是指电路中 A、B 两点之间的电位差 (简称为电压), 其大小等于单位正电荷因受电场力作用从 A 点移动到 B 点所做的功, 电压的方向规定为从高电位指向低电位的方向。记为

$$U_{AB} = \frac{W}{q} \quad (1.2.3)$$

式中, W 为电场力由 A 点移动电荷到 B 点所做的功, 单位为 J; q 为由 A 点移到 B 点的电荷量, 单位为 C; U_{AB} 为 A、B 两点间的电压, 单位为 V。

电压的单位为伏特 (V), 常用的单位还有毫伏 (mV)、微伏 (μV)、千伏 (kV) 等, 它们与伏特的换算关系为

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

1. 直流电压和交流电压

如果电压的大小及方向都不随时间变化, 则称为稳恒电压或恒定电压, 简称为直流电压, 用大写字母 U 表示。

如果电压的大小及方向随时间变化, 则称为变动电压。对电路分析来说, 一种最为重要的变动电压是正弦交流电压 (简称交流电压), 其大小及方向均随时间按正弦规律呈周期性变化, 其瞬时值用小写字母 u 或 $u(t)$ 表示。

2. 电压的方向

电压不但有大小, 而且也有方向。在电路图中, 电压的方向也称为电压的极性, 用 “+”、“-” 两个符号表示。与电流一样, 电路中任意两点之间的电压的实际方向往往不能事先确定, 因此可以任意设定该段电路电压的参考方向, 并以此为依据进行电路分析和计算。电压的方向规定为由高电位 (“+” 极性) 端指向低电位 (“-” 极性) 端, 即为电压降低的方向。如果计算电压结果为正值, 说明电压的假定参考方向与实际方向一致; 若计算电压结果为负值, 说明电压的假定参考方向与实际方向相反。

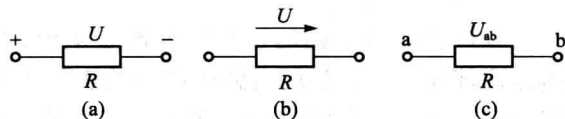


图 1.2.3 电压参考方向的表示方法

电压的参考方向有 3 种表示方法, 如图 1.2.3 所示。

1.3 电阻与电导

1.3.1 电阻

自然界中的各种物质, 按其导电性能来分有 3 种: 导体、绝缘体和半导体。通常将很容易导电、电阻率小于 $10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 的物质, 称为导体, 例如, 铜、铝、银等金属材料; 将很难导电、电阻率大于 $10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 的物质, 称为绝缘体, 例如, 塑料、橡胶、陶瓷等材料; 将导电能力介于导体和绝缘体之间、电阻率在 $10^{-4} \sim 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 范围内的物质, 称为半导体。常用的半导体材料是硅和锗。

金属导体中的电流是自由电子的定向移动形成的。自由电子在运动中会不断地与金属中的离子和原子相互碰撞, 使自由电子的运动受到阻碍。因此, 导体对于通过它的电流呈现一定的阻碍作用。反映导体对电流阻碍作用大小的物理量称为电阻, 用 R 表示。

1. 电阻元件

电阻元件是对电流呈现阻碍作用的耗能元件, 例如, 灯泡、电热炉等电器。导体的电阻是客观存在的, 它与导体两端有无电压无关, 即使没有电压, 导体仍然有电阻。实验证明:

当温度一定时，均匀导体的电阻与导体的长度成正比，与导体的横截面积成反比，并与导体的材料性质有关，即

$$R=\rho \frac{l}{S}$$

(1.3.1)

式中， ρ 为制成电阻的材料电阻率，单位为 $\Omega \cdot \text{m}$ ； l 为绕制成电阻的导线长度，单位为 m ； S 为绕制成电阻的导线横截面积，单位为 m^2 ； R 为电阻值，单位为 Ω 。

经常用的电阻单位还有千欧（ $\text{k}\Omega$ ）、兆欧（ $\text{M}\Omega$ ），它们与 Ω 的换算关系为

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

不同的材料有不同的电阻率，电阻率的大小反映了各种材料导电性能的好坏。电阻率越大，导电性能越差。通常将电阻率小于 $10^{-6}\text{ }\Omega \cdot \text{m}$ 的材料称为导体；电阻率大于 $10^7\text{ }\Omega \cdot \text{m}$ 的材料称为绝缘体。生产中的导体一般用银、铜、铝等电阻率小的金属制成；为了安全，电工器具都采用电阻率较大的绝缘材料与导体隔离，如橡胶、塑料等。表 1.3.1 列出了几种常见材料的电阻率。

表 1.3.1 常见材料的电阻率

材 料 名 称		20 ℃时的电阻率 $\rho / (\Omega \cdot \text{m})$	电阻温度系数 $\alpha / (1/^\circ\text{C})$
导 体	银	1.6×10^{-8}	3.6×10^{-3}
	铜	1.7×10^{-8}	4.1×10^{-3}
	铝	2.9×10^{-8}	4.2×10^{-3}
	钨	5.3×10^{-8}	5×10^{-3}
	铁	9.78×10^{-8}	6.2×10^{-3}
	镍	7.3×10^{-8}	6.2×10^{-3}
	铂	1.0×10^{-7}	3.9×10^{-3}
	锡	1.14×10^{-7}	4.4×10^{-3}
	锰铜（铜 86%、锰 12%、镍 2%）	4.0×10^{-7}	2.0×10^{-5}
	康铜（铜 54%、镍 46%）	5.0×10^{-7}	4.0×10^{-5}
	镍铬（镍 80%、铬 20%）	1.1×10^{-6}	7.0×10^{-5}
半 导 体	纯锗	0.6	
	纯硅	2 300	
绝 缘 体	橡胶	$10^{13} \sim 10^{16}$	
	塑料	$10^{15} \sim 10^{16}$	
	玻璃	$10^{10} \sim 10^{14}$	
	陶瓷	$10^{12} \sim 10^{13}$	
	云母	$10^{11} \sim 10^{15}$	
	琥珀	5×10^{14}	
	熔凝石英	75×10^{16}	

【例 1.3.1】欲制作一个小电炉，炉丝电阻为 $30\ \Omega$ ，现选用直径为 $0.5\ \text{mm}$ 的镍铬丝，试计算所需镍铬丝的长度。

【解】查表 1.3.1 得镍铬丝的电阻率 $\rho = 1.1 \times 10^{-6}\ \Omega \cdot \text{m}$ 。

根据式 (1.3.1)，有

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

得

$$l = \frac{RS}{\rho} = \frac{R (\pi r^2)}{\rho} = \frac{30 \times 3.14 \times \left(\frac{\frac{1}{2} \times 0.5}{10^3} \right)^2}{1.1 \times 10^{-6}} \text{m} = 5.35 \text{ m}$$

故所需镍铬丝的长度为 $5.35\ \text{m}$ 。

2. 电阻与温度的关系

电阻元件的电阻值大小一般与温度有关。不同的材料，当温度升高时，电阻变化的情况不同，衡量电阻受温度影响大小的物理量是温度系数。其定义为温度每升高 $1\ ^\circ\text{C}$ 时，电阻值所产生的变动值与原阻值的比值，用字母 α 表示，单位是 $1/^\circ\text{C}$ 。

设任一电阻元件在温度 t_1 时的电阻值为 R_1 ，当温度升高到 t_2 时电阻值为 R_2 ，则该电阻在 $t_1 \sim t_2$ 温度范围内的电阻温度系数为

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1 (t_2 - t_1)} \quad (1.3.2)$$

如果 $R_2 > R_1$ ，则 $\alpha > 0$ ，将 α 称为正温度系数电阻，即电阻值随着温度的升高而增大；如果 $R_2 < R_1$ ，则 $\alpha < 0$ ，将 α 称为负温度系数电阻，即电阻值随着温度的升高而减小。显然 α 的绝对值越大，表明电阻受温度的影响也越大。 R_2 可表示为

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha (t_1 - t_2)] \quad (1.3.3)$$

【例 1.3.2】有一台电动机，它的绕组是铜线。在室温 $26\ ^\circ\text{C}$ 时，测得电阻为 $1.25\ \Omega$ ；转动 $3\ \text{h}$ 后，测得的电阻增加到 $1.5\ \Omega$ 。求此时电动机线圈的温度是多少？

【解】由式 (1.3.2) 得

$$t_2 = \frac{R_2 - R_1}{\alpha R_1} + t_1 = \left(\frac{1.5 - 1.25}{0.004 \times 1.25} + 26 \right) ^\circ\text{C} = 76\ ^\circ\text{C}$$

故此时电动机线圈的温度是 $76\ ^\circ\text{C}$ 。

1.3.2 电导

电阻的倒数叫做电导，用符号 G 表示，即

$$G = \frac{1}{R} \quad (1.3.4)$$

导体的电阻越小，电导就越大，表明导体的导电性能越好。电阻和电导是导体同一性质的不同表示方法。

电导的单位是西门子，简称西，用字母 S 表示。

1.4 欧姆定律

1.4.1 部分欧姆定律的内容

德国科学家欧姆从大量实验中得出结论,在一段不包括电源的电路中,电路中的电流 I 与加在这段电路两端的电压 U 成正比,与这段电路的电阻 R 成反比。这一结论叫做欧姆定律,它揭示了一段电路中电阻、电压、电流三者的关系。

如图 1.4.1 所示一段电阻电路,电压、电流参考方向如图所示,则 I, U, R 三者之间满足:

$$I = \frac{U}{R}$$

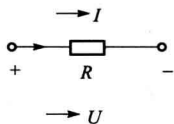


图 1.4.1 部分电路

式中, I 为电路中电流,单位为安培 (A); U 为电路两端的电压,单位为伏特 (V); R 为电路的电阻,单位为欧姆 (Ω)。

由图 1.4.1 所示电路可以看出,电阻两端的电压方向是由高电位指向低电位,并且电位是逐点降落的,因而通常把电阻两端的电压称为电压降。

【例 1.4.1】运用欧姆定律对图 1.4.2 的电路列出式子,并求电阻 R 。

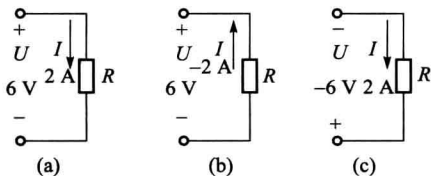


图 1.4.2 例 1.4.1 的电路图

【解】图 1.4.2 (a): $R = \frac{U}{I} = \frac{6}{2} = 3 \Omega$;

图 1.4.2 (b): $R = -\frac{U}{I} = -\frac{6}{-2} = 3 \Omega$;

图 1.4.2 (c): $R = -\frac{U}{I} = -\frac{-6}{2} = 3 \Omega$ 。

【例 1.4.2】有一电灯泡接在 220 V 的电压上,通过灯丝的电流是 0.8 A,求灯丝的热态电阻。

解:根据欧姆定律有:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{220 \text{ V}}{0.8 \text{ A}} = 275 \Omega$$

即灯丝的热态电阻为 275 Ω 。

1.4.2 线性电阻与非线性电阻

电阻值 R 与通过它的电流 I 和两端电压 U 无关 (即 $R = \text{常数}$) 的电阻元件叫做线性电阻。如图 1.4.3 所示,其伏安特性曲线在 $I-U$ 平面坐标系中为一条通过原点的直线。

电阻值 R 与通过它的电流 I 和两端电压 U 有关 (即 $R \neq \text{常数}$) 的电阻元件叫做非线性电阻,其伏安特性曲线在 $I-U$ 平面坐标系中为一条通过原点的曲线。

通常所说的“电阻”,如不做特殊说明,均指线性电阻。

1.4.3 全电路欧姆定律

含有电源的闭合电路,叫做全电路。如图 1.4.4 所示电路是最简单的全电路。图中虚线框中部分表示电源,电流通过电源内部时与通过外电路一样,要受到阻碍,就是说电源内部也有电阻,称为电源的内阻,一般用符号 r_0 表示。为了看起来方便,通常在图上可把内电阻 r_0 单独画出 (如图 1.4.4 所示)。

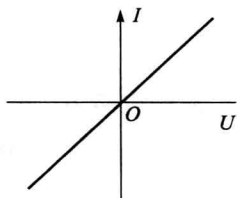


图 1.4.3 线性电阻的伏安特性曲线

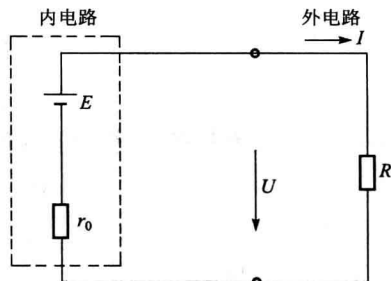


图 1.4.4 简单全电路

电源内部的电路称为内电路，电源外部的电路称为外电路。全电路欧姆定律内容是全电路中的电流 I 与电源的电动势 E 成正比，与电路的总电阻（外电路的电阻 R 和内电路的电阻 r_0 之和）成反比，即

$$I = \frac{E}{R + r_0} \quad (1.4.1)$$

式中， I 为电路中的电流，单位为安培 (A)； E 为电源的电动势，单位为伏特 (V)； R 为外电路电阻，单位为欧姆 (Ω)； r_0 为电源内阻，单位为欧姆 (Ω)。

由式 (1.4.1) 可得

$$E = IR + Ir_0 = U + U_{r_0} \quad (1.4.2)$$

即

$$U = E - Ir_0 \quad (1.4.3)$$

式 1.4.3 中 U 是外电路中的电压降，也是电源两端的电压， Ir_0 是电源内部的电压降。

【例 1.4.3】 在如图 1.4.4 所示电路中，已知电源电动势 $E = 24 \text{ V}$ ，内阻 $r_0 = 2 \Omega$ ，负载电阻 $R = 10 \Omega$ ，求 (1) 电路中的电流；(2) 电源的端电压；(3) 负载电阻 R 上的电压；(4) 电源内阻上的电压降。

解： 根据全电路欧姆定律，有如下关系式：

$$(1) \text{ 电路中的电流: } I = \frac{E}{R + r_0} = \frac{24}{10 + 2} \text{ A} = 2 \text{ A}$$

$$(2) \text{ 电源的端电压: } U = E - Ir_0 = (24 - 2 \times 2) \text{ V} = 20 \text{ V}$$

$$(3) \text{ 负载 } R \text{ 上的电压: } U = IR = 2 \times 10 \text{ V} = 20 \text{ V}$$

$$(4) \text{ 电源内阻上的电压降: } U_{r_0} = Ir_0 = 2 \times 2 \text{ V} = 4 \text{ V}$$

1.5 电位的概念及计算

1. 电位的定义

电路的工作状态可通过电路中各点的电位反映出来，因此在电工和电子技术中经常要用到电位的计算。

电路中往往有很多元件或电源相互连接在一起，一个电气元件的工作状态常常是由两点间的电压所决定的，这一工作状态又会影响到电路中其他各点的电位。而电路中各点的电位是针对参考点而言，因此，在计算电位时，必须首先选择电路中的某点作为参考点。

在电路中选定某一点 O 为电位参考点, 就是规定该点的电位为零, 即 $V_O = 0$ 。电位参考点的选择方法是:

- (1) 在工程中常选大地作为电位参考点;
- (2) 在电子线路中, 常选一条特定的公共线或机壳作为电位参考点。

在电路中通常用符号 “ $\perp$ ” 标出电位参考点, 说明已指定该点的电位为零。一个电路只能有一个参考点。

当电路中的零电位点确定后, 电路中任意一点的电位等于该点与参考点之间的电位差。电路中各点电位的值是相对参考点而言的, 它与参考点的选择有关。参考点改变后, 各点电位也随之改变, 即电位的多值性。但是无论参考点怎样变化, 电路中任意两点间的电压值是不变的, 电压的值是唯一的, 即电压的单值性。

2. 电位的计算

要计算电路中某点电位, 可从这一点通过一定的路径到零电位点, 此路径上全部电压的代数和即等于该点的电位。该点的电位与选择的路径是无关的, 但要注意确定各段路径电压的正、负号。因为电流是从高电位流向低电位, 所以对于电阻两端电压如果在绕行过程中从高端到低端, 则此电压取正值, 反之取负值。电路中的电位也可正可负。因为参考点的电位为零, 所以规定比参考点高的电位为正值, 叫正电位; 比参考点低电位为负值, 叫负电位。

综上所述, 计算电路中某点电位的方法是:

(1) 选择电位参考点的位置, 确定电路中的参考点。一般来说, 参考点的选择是任意的, 但一个电路只能有一个参考点。通常规定大地电位为零, 与接地机壳相接的点或许多元器件汇集的公共点都可确定为参考点。

(2) 确定绕行路径。计算某点电位, 从此点到参考点的一条绕行捷径。

(3) 计算电路中的电流方向和各元器件两端电压并确定其正负极性。

(4) 某点的电位等于此路径上各段电压的代数和。列出选定路径上部分电压代数值的方程, 以确定该点电位, 但要注意每部分电压的正、负值。

【例 1.5.1】求如图 1.5.1 所示电路中 B 点的电位。

$$\begin{aligned} \text{解: } I &= \frac{U_A - U_C}{R_1 + R_2} = \frac{6 - (-9)}{(100 + 50) \times 10^3} \text{ A} \\ &= \frac{15}{150 \times 10^3} \text{ A} = 0.1 \times 10^{-3} \text{ A} = 0.1 \text{ mA} \\ U_{AB} &= U_A - U_B = R_2 I \end{aligned}$$

$$U_B = U_A - R_2 I = [6 - (50 \times 10^3) \times (0.1 \times 10^{-3})] \text{ V} = (6 - 5) \text{ V} = 1 \text{ V}$$

【例 1.5.2】如图 1.5.2 所示电路, 已知: $E_1 = 45 \text{ V}$, $E_2 = 12 \text{ V}$, 电源内阻忽略不计, $R_1 = 5 \Omega$, $R_2 = 4 \Omega$, $R_3 = 2 \Omega$ 。求 B、C、D 三点的电位 U_B 、 U_C 、 U_D 。

解: 利用电路中 A 点为电位参考点 (零电位点), 电流方向为顺时针方向。

$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2 + R_3} = 3 \text{ A}$$

$$\text{B 点电位: } U_B = U_{BA} = -R_1 I = -15 \text{ V}$$

$$\text{C 点电位: } U_C = U_{CA} = E_1 - R_1 I = (45 - 15) \text{ V} = 30 \text{ V}$$

$$\text{D 点电位: } U_D = U_{DA} = E_2 + R_2 I = (12 + 12) \text{ V} = 24 \text{ V}$$