

中等专业学校教材



电 工 学

(非电专业适用)

武汉化工学校 徐介武 主编

化学工业出版社

TM1
X737:1

中等专业学校教材

电 工 学

(非电专业适用)

武汉化工学校 徐介武 主编

化学工业出版社

·北 京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

电工学/徐介武主编. —北京: 化学工业出版社,

1999.5

中等专业学校教材·非电专业适用

ISBN 7-5025-2328-6

I. 电… II. 徐… III. 电工学-专业学校-教材

IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 03023 号

中等专业学校教材

电 工 学

(非电专业适用)

武汉化工学校 徐介武 主编

责任编辑: 张建茹

责任校对: 陶燕华

封面设计: 田彦文

*

化学工业出版社发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010)64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787 毫米 × 1092 毫米 1/16 印张 12¹/₄ 字数 301 千字

1999 年 5 月第 1 版 2003 年 3 月北京第 3 次印刷

ISBN 7-5025-2328-6/G·632

定 价: 17.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

本书根据原化工部 1995 年 12 月颁发的化工普通中等专业学校教学计划和全国化工中专教学指导委员会 1996 年 5 月审定的化工机械和工业分析专业适用的《电工学》教学大纲所规定的内容编写的。教学时数为 100 学时,其中实验 24 学时。

本书删去了传统教材中繁琐的理论推导,强调了基础知识,加强了实际应用,体现了中专特色。每章开头都有本章内容提示,每章后有适量的复习及练习题。全书图形及文字符号采用新的国家标准。

本书由武汉化工学校徐介武主编,编写绪论,第一、二、四、五、六、七、八章;泸州化工学校文继国编写第三、九章;上海化工学校江煜编写第十、十一章。全书由主编徐介武统稿。

本书由吉林化工学校姜敏夫主审。参加审稿的有:河南化工学校孙学忠、淮南化工学校郑秀兰、北京市化工学校陈惠荣以及编者徐介武、江煜和文继国。与会者对本书初稿提出了宝贵意见,吉林化工学校许九洲、刘文军在定稿时也提出了有益的建议。本书练习题答案由武汉化工学校胡桂兰、上海化工学校江煜分别作出。

武汉化工学校、吉林化工学校、泸州化工学校、上海化工学校的有关领导和同志给予了大力支持和帮助。编者对为本书给予指导和帮助的所有同志表示衷心感谢。

由于编者经验不足,书中难免有错误及不妥之处,殷切期望使用本书的老师、同学及广大读者给予批评指正。

编 者

1998 年 7 月

目 录

绪论	1
第一章 直流电路	3
第一节 电路的组成	3
第二节 电流 电压 电位 电动势	4
第三节 电阻及电阻定律	6
第四节 欧姆定律	8
第五节 电阻的连接	9
第六节 电功 电功率 电气设备的额定值	11
第七节 电源的外特性 电路的工作状态	12
第八节 克希荷夫定律	14
第九节 戴维南定理	18
第十节 直流电桥 电位差计	19
复习及练习题	21
第二章 正弦交流电路	23
第一节 正弦交流电的基本概念	23
第二节 正弦交流电的矢量图示法	25
第三节 正弦交流电的有效值	27
第四节 纯电阻电路	28
第五节 纯电感电路	29
第六节 电容及纯电容电路	32
第七节 电阻与电感串联电路	34
第八节 电阻、电感、电容串联电路	38
第九节 线圈与电容器并联电路 功率因数的提高	40
第十节 三相交流电源	44
第十一节 三相负载的星形连接及中线的作用	46
第十二节 三相负载的三角形连接	48
第十三节 三相电功率	49
复习及练习题	51
第三章 磁路与变压器	53
第一节 铁磁物质的磁化及反复磁化	53
第二节 简单磁路	55
第三节 变压器的基本构造	56
第四节 变压器的工作原理	57
第五节 变压器的功率和效率	60
第六节 三相变压器	61

第七节 特殊变压器	62
复习及练习题	65
第四章 交流电动机	66
第一节 三相异步电动机的基本构造	66
第二节 旋转磁场	67
第三节 异步电动机的运转原理及转差率	70
第四节 异步电动机的电磁转矩及机械特性	71
第五节 异步电动机的起动、调速和制动	73
第六节 三相异步电动机的铭牌	77
第七节 单相异步电动机	78
第八节 同步电动机	79
复习及练习题	81
第五章 电力拖动	82
第一节 概述	82
第二节 常用低压电器	83
第三节 三相鼠笼式异步电动机的接触控制	89
第四节 三相鼠笼式异步电动机的自动控制	92
第五节 安全用电和节约用电	95
复习及练习题	97
第六章 晶体二极管 整流和滤波电路	99
第一节 PN 结	99
第二节 晶体二极管	101
第三节 单相整流电路	103
第四节 滤波电路	105
复习及练习题	108
第七章 晶体三极管 交流放大电路	109
第一节 晶体三极管的结构及电流放大作用	109
第二节 三极管的特性曲线	111
第三节 三极管的主要参数	113
第四节 三极管基本放大电路	114
第五节 放大电路的基本分析方法	117
第六节 静态工作点的设置与稳定	121
第七节 阻容耦合多级电压放大器	123
第八节 放大器中的负反馈	126
第九节 功率放大器	129
第十节 正弦振荡器	131
复习及练习题	132
第八章 稳压和调压电路	135
第一节 硅稳压管及简单稳压电路	135
第二节 串联型晶体管稳压电源	136

第三节 集成稳压电源	138
第四节 晶闸管	139
第五节 可控整流电路	141
第六节 晶闸管的触发电路	144
第七节 晶闸管交流调压	146
复习及练习题	147
第九章 读图练习和应用实例	148
复习及练习题	153
第十章 集成运算放大器	155
第一节 直流放大器	155
第二节 差动放大电路	156
第三节 集成运放的主要参数和工作特点	160
第四节 集成运放的基本运算电路	162
第五节 集成运放应用举例	165
复习及练习题	168
第十一章 脉冲与数字电路	170
第一节 概述	170
第二节 逻辑门电路	171
第三节 组合逻辑电路	176
第四节 译码器与数码显示	178
第五节 集成触发器	181
第六节 计数器	183
复习及练习题	185
练习题答案	187
主要参考书目	189

绪 论

一、电力在国民经济中的地位

电能是现代工业、农业、交通运输、国防及人民生活最主要的动力资源。工业上的各种生产机械、电力机车、城市电车都是用电动机来拖动的。农业上广泛采用电力排灌，粮食及饲料加工也以电力为能源。生产过程中所涉及的一些物理量，如温度、压力、流量及速度等，都可以用电的形式来自动调节，以实现生产过程的自动化。

电能是近代科学技术的主要物质基础。电子技术的飞速发展，银河巨型电子计算机的研制，捆绑式运载火箭的多次发射成功并载誉国际市场等，都标志着我国电气化事业迈向世界先进行列。

电能使人们物质生活和文化生活日益提高。随着我国国民经济的飞速发展，人们的生活水平大大提高。电冰箱、洗衣机、电视机、录像机、VCD机、电话机等也大踏步地迈向千家万户。

二、电能的特点

电能之所以得到广泛地应用，是由于它具有以下特点。

(1) 易于转换 电能可以方便地由其他形式的能量转换而来，也能方便地转换成其他形式的能量；也使电信号与非电信号之间的转换容易实现；利用整流器可将交流电能转换成直流电能，利用振荡器或逆变器可将直流电能转换为交流电能。

(2) 输送简单 电能可采用高电压远距离输送，且输送设备简单、效率高、损耗小。凡是需要用电的地方，都可以分配自如。电能还可以电磁波的形式在空中传送。

(3) 易于控制 电能便于准确而迅速地进行控制和测量。用电能来控制生产设备和生产过程，对各非电量进行遥控和遥测，以实现生产过程的高度自动化。

三、我国电力工业发展概况

我国电力工业发展十分迅速。1949年，全国的发电量仅为43亿kW·h，只能生产200kW的电动机。到1997年，全国的发电量已达到11045亿kW·h。并能生产60万kW的氢冷汽轮发电机。核能的开发和利用也卓有成效：我国已建成和投产了泰山和大亚湾核电站。目前正在长江上建设的三峡水电站，拥有26台70万kW的发电机组，总容量为1820万kW，年发电量为847亿kW·h，比世界上最大的巴西亚马逊河伊普水电站1260万kW还多40%。建成后，利用其地处我国腹地的有利位置，在1000km的半径范围内，将全国七大电网联为一体。

四、学习电工学的目的及方法

电工学是一门理论性和实践性都很强的技术基础课。它包括电工基础、电机、电机控制及电子技术等内容。学习电工学的目的，是在学习物理学的基础上，使学生掌握电工学的基本理论、基本分析方法及基本实践技能，正确地使用电工测量仪表、电子仪器以及常用的电气设备，为学习专业课和今后从事工程技术工作打下必要的基础。

在学习电工学的过程中应注意以下几点：

(1) 牢固掌握基础理论知识、基本概念、基本定律及分析方法。

第一章 直流电路

本章主要讨论有关直流电路的一些基本物理量、电路的基本定律以及应用这些定律来分析计算直流电路的方法。

第一节 电路的组成

一、电路的组成

电流通过的路径称为电路。它主要由电源、负载和中间环节组成。图 1-1 为简单的直流电路。

1. 电源

将其他形式的能量转换成电能的装置称为电源。例如发电机、蓄电池和干电池等都是电源。电源一般用电动势 E_0 和电阻 R_0 (电源的内阻) 相串联来表示。如图 1-1 中虚线框中为电源。

2. 负载

把电能转换成其他形式能量的装置称为负载。例如电灯泡是将电能转换成光能的负载; 电动机是将电能转换成机械能的负载; 电炉是将电能转换成热能的负载。图 1-1 中 R_L 表示负载。

3. 中间环节

中间环节包括连接电路的导线、控制电路的开关设备以及保护电路的熔断器等。如图 1-1 中的 QS 表示开关, FU 表示熔断器。

二、电路的作用

电路的一种作用是产生、输送、分配和变换电能。在图 1-1 中, 电源产生电能, 当开关 QS 闭合后, 由连接导线将电能传输给负载 R_L , 再由它将电能转换为其他形式的能量。这类电路应使电源产生的电能尽可能多地传递给负载, 而损耗应尽可能少。

电路的另一作用是不失真地传递和处理信号。这种电路也有能量的传递和损耗。例如收音机和电视机将载有语言或图像信息的电磁波, 通过天线接收后转换为相应的电信号, 经过选频、变频、检波、放大等中间环节进行传递和处理, 送到扬声器和显像管还原成原始信号——声音和图像。

三、电路图

电路中的电气装置种类繁多, 形态各异, 物理性质复杂, 如果画出实物及其相互间的连接关系, 不仅结构复杂, 而且不便于分析和计算。为此, 常用能够表征其主要特性的理想元件或理想元件的组合来

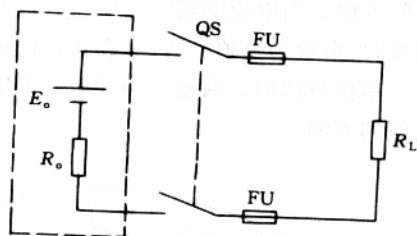


图 1-1 电路的组成

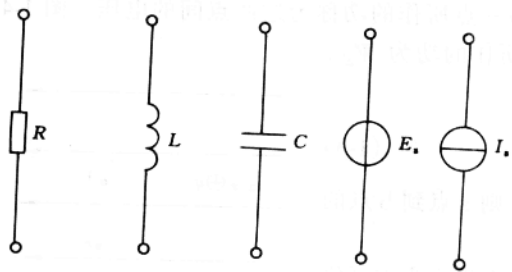


图 1-2 理想电路元件

代替实物。即用规定的图形符号及文字符号画出的电路称为原理电路图,简称电路图。如图 1-1 就是用表示电源、开关、熔断器和负载的图形符号及文字符号画出的电路图。

常用的理想电路元件有电阻、电感、电容、理想电压源和理想电流源。它们的图形符号及文字符号如图 1-2 所示。

第二节 电流 电压 电位 电动势

一、电流

导体中存在着大量的、可以自由移动的电荷,例如,金属导体中的自由电子,电解液(酸、碱、盐的水溶液)中的正、负离子。当导体中无电场时,自由电子作无规则的运动;当导体中有电场时,自由电子在电场力的作用下有规则的定向移动,就形成电流。规定正电荷移动的方向为电流的方向。电流的方向是客观存在的。在简单的直流电路中,电流的方向容易判断,但在较复杂的直流电路中,往往难于判断电路中电流的实际方向。为此,在分析计算电路时,可以任意选定某一方向作为电流的正方向(或参考方向)。所选定的电流正方向不一定是电流的实际方向。当电流的实际方向与其正方向一致时,电流为正值;当电流的实际方向与其正方向相反时,电流为负值。因此,在正方向选定之后,电流的值才有正负之分。

单位时间内,通过导体某截面的电量称为电流强度,简称电流。电流强度的方向,就是电流的方向。

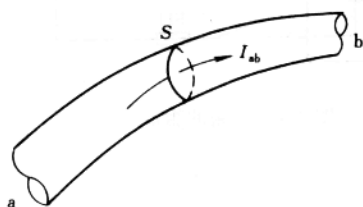


图 1-3 导体中的电流

设在极短的时间 Δt 内,通过导体某横截面 S (图 1-3 所示)的量为 Δq , 则电流为

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

若电流不随时间变化, $\frac{dq}{dt}$ 为常数, 则称这种电流为恒定电流, 简称直流, 用 I 表示, 即

$$I_{ab} = \frac{q}{t} \quad (1-2)$$

式中 q ——时间 t 内通过导体横截面的电量;

I_{ab} ——表示电流的正方向由 a 点流向 b 点。

在国际单位制中,电量的单位为 C (库仑);时间的单位为 s (秒);电流的单位为 A (安培),更小的单位为 mA (毫安)及 μA (微安),它们之间的换算关系为

$$1A = 10^3 mA = 10^6 \mu A$$

二、电压

电场力将单位正电荷从电场中的一点移至另一点所作的功称为这两点间的电压。图 1-4 中,若电场力将单位正电荷 q 从 a 点移到 b 点所作的功为 W_{ab} , 则 a 点到 b 点间的电压为

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{q} \quad (1-3)$$

假如正电荷从 a 点移至 b 点,电场力作功,则 a 点到 b 点的指向称为这两点间电压的正方向。

式 (1-3) 中,功的单位为 J (焦耳),电压的单位为 V (伏特),kV (千伏),mV (毫伏),它们之间的换算关系为

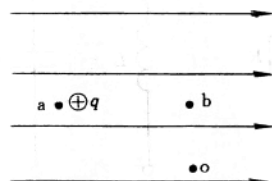


图 1-4 电压和电位的定义

$$1\text{kV} = 10^3\text{V} = 10^6\text{mV}$$

应注意, 电场力作正功时, 电压 U_{ab} 为正值; 电场力作负功时, 电压 U_{ab} 为负值。

三、电位

电场力将单位正电荷从电场中某点移至规定的参考点所作的功, 称为该点的电位。若电场中将正电荷 q 从电场中的 a 点移至参考点 o 所作的功为 W_{ao} (图 1-4), 则 a 点的电位为

$$V_a = \frac{W_{ao}}{q} \quad (1-4)$$

可见, a 点的电位 V_a 就是 a 点到参考点 o 的电压 U_{ao} , 即 $V_a = U_{ao}$ 。

由电位的定义可知, 参考点的电位为 $V_o = 0$ 。因此,

$$U_{ao} = V_a - V_o \quad (1-5)$$

即两点间的电压等于这两点的电位差。因此, 电压的正方向总是由高电位点指向低电位点的, 即为电压降低的方向, 电位的单位也是 V (伏特)。

电力系统中, 常选大地作为电位的参考点 (零电位点), 电气设备常选金属外壳作为参考点, 仪器设备常选机壳作为参考点。

四、电动势

在图 1-5 中, 两导电极板上带有等量的异电荷, 当开关 S 闭合后电路中有电流。但随着正、负电荷的中和, 电路中的电流只能短时存在, 而不能持续下去。为了维持电流不断地在电路中流通, 必须使 ab 间的电压 U_{ab} 保持恒定, 就得使 b 极板上的正电荷不断地经极间移至 a 极板, 使 a 极板上的正电荷得以补充, 电流才能维持下去。可见, 电源内部必定存在一种能克服电场力而使正电荷从 b 板移至 a 板的力——称为非电场力或电源力。

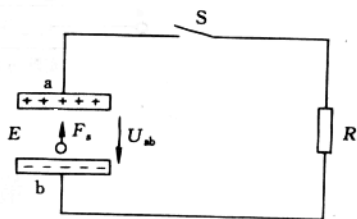


图 1-5 电源电动势

例如: 发电机中, 当导体在磁场内运动时, 导体内出现的克服电场力而移动正电荷的力, 电池中出现的克服电场力而移动正离子的力都是电源力。

在电源内, 电源力将单位正电荷由电源的负极移至电源的正极所作的功称为电源的电动势。若电量为 q 的正电荷由负极经电源内部移至正极, 电源力作的功为 W_s , 则该电源的电动势为

$$E = \frac{W_s}{q} \quad (1-6)$$

在电源力的作用下, 电源不断地把其他形式的能量转换为电能。

电动势的方向, 规定为电源的负极指向电源的正极, 即为电位升高的方向。其单位为 V (伏特)。

实际电源常用电压源和电流源两种电路模型来表示。输出电压不随负载变化的电源称为理想电压源。输出电流不随负载变化的电源称为理想电流源。一个实际电源可用理想电压源和内阻串联的电源模型表示, 也可用理想电流源和内阻并联的电源模型表示。如图 1-6。

和电流一样, 在电路图上所标的电压的方向都是参考方向。参考方向常用带箭头的短线或双下标表示。参考方向与实际方向的关系如图 1-7 所示。

一般在选择参考方向时, 常将电压和电流的正方向选择一致, 称为一致的参考方向。即电压由高电位点指向低电位点, 电流由高电位点流向低电位点。

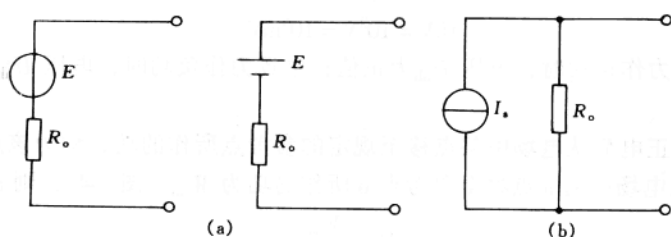


图 1-6 实际电源模型
(a) 电压源; (b) 电流源

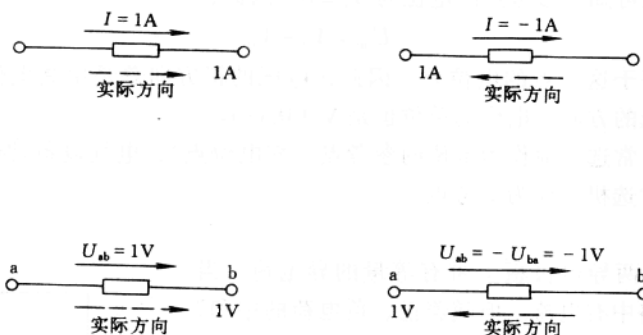


图 1-7 实际方向和参考方向

第三节 电阻及电阻定律

一、电阻

自由电子在导体中作定向移动时,不断地与原子或分子发生碰撞而受到阻碍作用。为了衡量导体对电流的阻碍作用,定义:加在导体两端的电压 U 与通过导体的电流 I 的比值,称为该导体的电阻,用 R 表示。即

$$R = \frac{U}{I} \quad (1-7)$$

电阻的单位为 Ω (欧姆), $k\Omega$ (千欧) 和 $M\Omega$ (兆欧)。它们之间的换算关系为

$$1M\Omega = 10^3k\Omega = 10^6\Omega$$

在一定的温度下,不随外加电压变化的电阻,称为线性电阻。它的伏安特性(电压与电流的关系)曲线是一条过原点的直线。如图 1-8。由电源和线性电阻组成的电路为线性电路。随外加电压变化的电阻,称为非线性电阻。它的伏安特性是一曲线。例如晶体二极管的正向

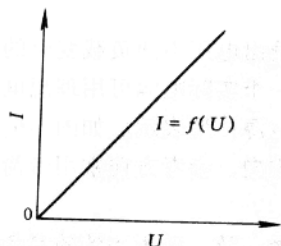


图 1-8 线性电阻的伏安特性

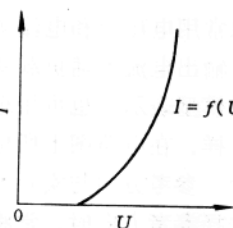


图 1-9 非线性电阻的伏安特性

电阻就是非线性的，它的伏安特性如图 1-9 所示。本书电工学部分只讨论分析线性电路。

二、电阻定律

实验证明，导体的电阻与该导体的几何尺寸、材料以及温度有关。在一定的温度下，某一导体的电阻与它的长度成正比，与它的横截面积成反比。即

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-8)$$

式中 L ——导体的长度，m；

S ——导体的横截面积， m^2 ；

ρ ——导体的电阻率， $\Omega \cdot \text{m}$ 。

ρ 反映该导体的导电性能， ρ 值越小，表明该导体的导电性能越好。

表 1-1 列出了部分常用金属材料在温度为 20°C 时的电阻率。

表 1-1 常用金属材料的电阻率及温度系数表

用 途	材料名称	20℃时的电阻率 $\rho/(\Omega \cdot \text{m})$	20℃时的电阻温度系数 $\alpha/(1/^\circ\text{C})$
导电材料	银	0.0165×10^{-6}	0.0038
	铜	0.0175×10^{-6}	0.0040
	铝	0.0283×10^{-6}	0.0042
	低碳钢	0.12×10^{-6}	0.0042
电阻材料	碳	10×10^{-6}	-0.0005
	锰铜	0.42×10^{-6}	0.000005
	康铜	0.49×10^{-6}	0.000005
	镍铬	1.08×10^{-6}	0.00013
	铁铝铬	1.35×10^{-6}	0.00005
	铂	0.105×10^{-6}	0.00389

常用的导电材料中，铜的电阻率很小，应用很广。铝的电阻率略大于铜，但它的密度比铜小，价格也较铜低，因此，应用也很广。塑料、陶瓷以及云母等的电阻率很大，都超过了 $10^{10} \Omega \cdot \text{m}$ 。它们对电流有绝缘作用，称为绝缘体，又称为电介质。故常用它们作绝缘材料。

三、电阻的温度系数

导体的电阻与温度有关。一般金属导体的电阻随温度的升高而增加（碳的电阻随温度的升高而减小）。温度每升高 1°C 时，某导体电阻的变化值与原电阻的比值称为该导体的电阻温度系数。若某导体在温度 t_1 时的电阻为 R_1 ，在温度 t_2 时的电阻为 R_2 ，则该导体的电阻温度系数为

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1(t_2 - t_1)} \quad (1-9)$$

电阻温度系数的单位为 $1/^\circ\text{C}$ 。不同的金属材料的电阻温度系数是不同的。常用金属材料在 20°C 时的温度系数如表 1-1 所示。

若已知某导体在温度 t_1 时的电阻为 R_1 ，则在温度 t_2 时的电阻为

$$R_2 = R_1[1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad (1-10)$$

锰铜和康铜的温度系数很小，它们的电阻几乎不随温度变化，常用于制作标准电阻。铂的温度系数较大，用它作为敏感元件制成的电阻温度计，其测量范围为 $-200 \sim 500^\circ\text{C}$ 。

例 1-1 某一铂丝元件放入发电机绕组内，以测定发电机运行时的内部温度。已知在 20°C 时，铂丝元件的电阻为 49.5Ω ，发电机稳定运行时，铂丝元件的电阻为 60.9Ω ，求此时发电机内部的温度。

解 查表 1-1 铂丝元件的电阻温度系数为 $\alpha = 0.00389 \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$,

由 $R_2 = R_1[1 + \alpha(t_2 - t_1)]$

$$t_2 = t_1 + \frac{R_2 - R_1}{\alpha R_1} = 20 + \frac{60.9 - 49.5}{0.00389 \times 49.5} = 79.2^{\circ}\text{C}$$

导电性能介于导体和绝缘体之间的物质称为半导体。有关半导体的一些特殊性能在第六章和第七章中介绍。

还有一类物质,当温度下降到某一特定值(称为临界温度)时,它的直流电阻值突然变为零,称这一现象为超导现象。具有超导现象的物质称为超导体。例如水银在 $4\text{K} (-269^{\circ}\text{C})$ 时其直流电阻为零。我国研制成功零电阻温度超过 80K (即 -193°C) 的超导薄膜,在寻找更高临界温度的超导材料方面,我国也处于世界领先地位。

第四节 欧姆定律

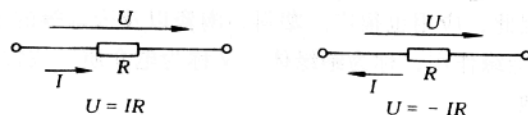
一、一段电路的欧姆定律

实验证明,一段不含电源的电阻电路中,通过电路的电流 I 与电路两端的电压 U 成正比,与电路的电阻 R 成反比,称为一段电路的欧姆定律。若电流 I 、电压 U 和电阻 R 均用国际单位,则欧姆定律可用下式表示:

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-11)$$

上式还可以写成 $U = IR$ 或 $R = \frac{U}{I}$ 。

在一段电路中,电流从高位点流向低位点,即电流与电压的方向一致。当电流与电压的方向不一致时,则 $U = -IR$ 。如图 1-10。



电流与电压的方向一致

电流与电压的方向不一致

图 1-10 一段电路的欧姆定律

由式 (1-11) 可见,当电路两端所加电压 U 一定时,电阻 R 愈大,则通过电路的电流 I 愈小。显然,电阻具有对电流的阻碍作用。

二、全电路欧姆定律

在只有一个电源的闭合电路(图 1-11)中,电流与电源电动势 E 成正比,与内外电阻之和成反比,称为全电路欧姆定律。用公式表示:

$$I = \frac{E}{R_0 + R} \quad (1-12)$$

对于含有两个电源的无分支闭合电路,如图 1-12,则电路中的电流与电路中电动势的代数和成正比,与内外电阻之和成反比,即

$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2 + R}$$

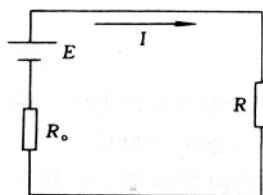


图 1-11 具有一个电源的闭合电路

或

$$I = \frac{\sum E}{\sum R} \quad (1-13)$$

图 1-12 中, 在设定电流的正方向后, 电动势的正方向与电流的方向一致时取正, 反之取负。

例 1-2 图 1-12 中, $E_1 = 18\text{V}$, $R_1 = 1\Omega$, $E_2 = 46\text{V}$, $R_2 = 1\Omega$, $R = 12\Omega$, 求电路中的电流。

解 设电路中的电流方向如图所示。根据全电路欧姆定律

$$I = \frac{\sum E}{\sum R} = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2 + R} = \frac{18 - 46}{1 + 1 + 12} = -2\text{A}$$

式中负号表示电路中的实际电流与参考方向相反。

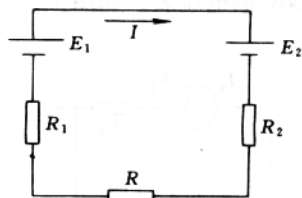


图 1-12 含有两个电源的无分支闭合电路

第五节 电阻的连接

在电路中, 电阻的连接形式是多样的, 但常见的是串联、并联及混联。

一、电阻的串联

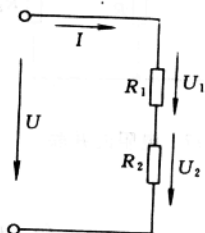


图 1-13 电阻的串联

将几个电阻首尾依次连接起来, 称为电阻的串联。图 1-13 是两个电阻串联电路。串联电路有如下特点。

- (1) 各电阻中流过同一电流 I 。
- (2) 串联电路的总电阻等于各电阻之和。即

$$R = R_1 + R_2 \quad (1-14)$$

- (3) 总电压等于各电阻电压之和。即

$$U = U_1 + U_2 \quad (1-15)$$

- (4) 各电阻两端电压与该电阻成正比。即

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= \frac{R_1}{R_1 + R_2} U \\ U_2 &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} U \end{aligned} \right\} \quad (1-16)$$

式 (1-16) 称为串联分压公式。

几个电阻串联时, 总电阻大于每一个串联电阻。当 n 个相同电阻串联时, 总电阻为一个电阻的 n 倍。

利用电阻串联分压原理, 可以扩大电压表的量程, 还可以制成电阻分压器。图 1-14 是电阻分压器的原理图。图 1-15 是由滑线电阻器和电位器组成的可变电阻器。

例 1-3 现有一只内阻 $R_g = 2\text{k}\Omega$, 量程 $I_g = 100\mu\text{A}$ 的表头, 欲将其改装成量程为 50V 和

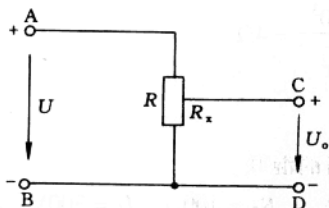


图 1-14 电阻分压器原理图

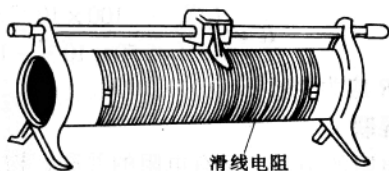


图 1-15 可变电阻器

100V 的电压表, 如图 1-16, 试计算应串联的分压电阻 R_1 和 R_2 。

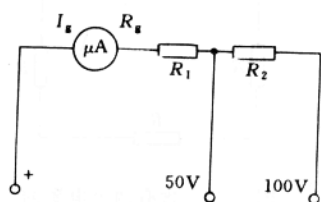


图 1-16 例 1-3 图

解 当量程为 50V 档, 表头满刻度时, 它的端电压为 $50 = I_g(R_g + R_1)$

$$R_1 = \frac{50}{I_g} - R_g = \frac{50}{100 \times 10^{-6}} - 2 \times 10^3 = 498 \times 10^3 \Omega = 498 \text{ k}\Omega$$

同理, 当量程为 100V 档

$$100 = I_g(R_g + R_1 + R_2)$$

$$R_2 = \frac{100}{100 \times 10^{-6}} - 2 \times 10^3 - 498 \times 10^3 = 500 \times 10^3 \Omega = 500 \text{ k}\Omega$$

二、电阻的并联

将几个电阻首尾分别接在两个端点之间, 称为电阻的并联。图 1-17 是两个电阻的并联电路。并联电路有如下的特点。

(1) 并联的各个电阻承受同一电压 U 。

(2) 并联电路总电阻的倒数等于各电阻的倒数和, 即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (1-17)$$

(3) 电路总电流等于通过各个电阻的电流之和, 即

$$I = I_1 + I_2 \quad (1-18)$$

(4) 通过各电阻的电流与电阻成反比, 即

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \\ I_2 &= \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \end{aligned} \right\} \quad (1-19)$$

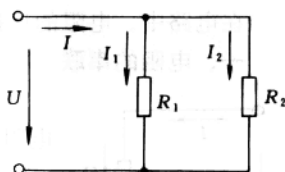


图 1-17 电阻的并联

式 (1-19) 称为并联分流公式。

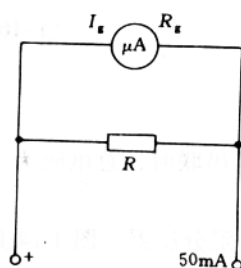


图 1-18 例 1-4 图

几个电阻并联时, 其总电阻小于每一个并联电阻。当 n 个相同电阻并联时, 总电阻为一个电阻的 $\frac{1}{n}$ 。

利用电阻并联分流原理, 可以扩大电流表的量程。

例 1-4 将一只内阻 $R_g = 2 \text{ k}\Omega$, 量程为 $I_g = 100 \mu\text{A}$ 的表头, 改装为 50 mA 的电流表, 如图 1-18, 求分流电阻 R 。

解 当电流表通入 50 mA 电流时, 表头指针满偏。根据分流公式

$$I_g = \frac{R_g}{R_g + R} I$$

得

$$R = \frac{I_g R_g}{I - I_g} = \frac{100 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^3}{50 \times 10^{-3} - 100 \times 10^{-6}} = 4 \Omega$$

即分流电阻 R 应为 4Ω 。

三、电阻的混联

电路中既有电阻的串联, 又有电阻的并联, 构成电阻的混联。

例 1-5 图 1-19 所示电路中, 已知 $R_0 = R_1 = 200 \Omega$, $R_2 = R_3 = 100 \Omega$, $U = 300 \text{ V}$, 求电流 I 、 I_1 及 I_2 。