

高级技工学校教材

电工电子技术

张爱辉
方文钦

主编
主审



化学工业出版社
教材出版中心

高级技工学校教材

电工电子技术

张爱辉 主编
方文钦 主审



化学工业出版社
教材出版中心

· 北京 ·

内 容 提 要

本书共十章,第一~第三章为电工技术基础,第四~第十章为电子技术基础。内容包括直流电路、正弦交流电路、变压器与电动机、半导体二极管及其应用、半导体三极管及其应用、多级交流放大电路、集成运算放大器、场效应管与晶闸管应用电路、数字电路、数/模和模/数转换器。

本书体现了职业技术教育的特点,注重基础理论和实用性,把握概念,推进认知,淡化公式的推导,降低理论的深度,注重培养学生的技术应用能力和职业素质。书中每章末有小结和相应的实训课题及操作方法,并附有习题,全书例题丰富,信息量大。

本书适用于高级技工学校仪表自动化、计算机、机械、机电一体化等专业选作教材,也可作为相关专业的岗位培训、电大、中专用书及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术/张爱辉主编. —北京:化学工业出版社, 2005.12
高级技工学校教材
ISBN 7-5025-7981-8

I. 电… II. 张… III. ①电工技术-技工学校-教材
②电子技术-技工学校-教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 145955 号

高级技工学校教材

电工电子技术

张爱辉 主编

方文钦 主审

责任编辑:张建茹 唐旭华

责任校对:王素芹

封面设计:尹琳琳

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码 100029)

购书咨询:(010)64982530

(010)64918013

购书传真:(010)64982630

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

*

新华书店北京发行所经销

化学工业出版社印刷厂印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 19 字数 521 千字

2006 年 5 月第 1 版 2006 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7981-8

定 价: 29.00 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

全国化工高级技工学校教材编审委员会

主 任 毛民海

副主任 孔广友 王黎明 刘 雄 张文兵 苏靖林
曾繁京 律国辉

委 员 (排名不分先后顺序)

毛民海	孔广友	王黎明	刘 雄	张文兵	苏靖林
曾繁京	律国辉	王跃武	王万侠	李文原	胡仲胜
雷 俊	林远昌	李晓阳	韩立君	武嘉陵	简 祁
周仕安	米俊峰	王春湘	黄益群	郑 骏	王 宁
程家树	金跃康	韩 谦	张 荣	马武飏	宋易骏
何迎健	董吉川	郭养安			

前 言

《电工电子技术》是根据劳动和社会保障部颁布的《高级技工学校电仪类专业教学计划》，由全国化工高级技工教育教学指导委员会组织编写的高级技工电仪类专业的统编教材。

本书根据“以市场需求为导向，以职业能力为本位，以培养应用型高级技术人才为中心”的原则，注重以先进和科学的发展观组织教学内容，增强认知结构与能力结构的有机结合，强调培养对象对职业岗位的适应程度，对电仪类专业教材的整体优化力图有所突破，有所创新。

本书立足高级技校教育人才培养目标，注意精选内容，以必需、够用为度。内容上分电工技术基础和电子技术基础两部分，电工技术基础主要包括直流电路、正弦交流电路、变压器与电动机；电子技术基础主要包括半导体二极管及其应用、半导体三极管及其应用、多级交流放大电路、集成运算放大器、场效应管与晶闸管应用电路、数字电路、数/模和模/数转换器。

本书的内容尽量做到结构紧凑、内容简明、脉络清晰。在每章末有小结、习题和相应的实训课题及操作方法。既便于教师讲授，又起到了对学生引导提高和自我检查的目的。

参加本书编写的人员都是在各高级技工学校从事电工电子技术教学的一线教学人员，由张爱辉担任主编，毛振红编写第一～第三章，张爱辉编写第四～第六章，张应金编写第九章的一～四节，刘纪信编写第九章的五～七节及第十章，李明亮编写第七、八章。本书由方文钦主审，冉永宁老师参加了本书的审阅工作，在审阅的过程中提出了许多具体的、宝贵的意见。

本书在编写过程中得到了中国化工教育协会、化学工业出版社、全国化工高级技工教育教学指导委员会及有关学校的大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢。

由于编者的实践经验和水平所限，不妥之处在所难免，敬请使用本书的老师和读者给予批评指正。

编 者
2006年3月

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 电工技术基础

第一章 直流电路	3
第一节 电路及其基本物理量	3
第二节 电阻及欧姆定律	7
第三节 电阻的串联、并联和混联	9
第四节 电功与电功率	12
第五节 电路中电位的概念及计算	13
第六节 基尔霍夫定律	13
第七节 支路电流法、回路电流法及电桥电路	15
第八节 叠加原理	17
第九节 戴维南定理	18
第十节 电压源、电流源及其等效变换	20
本章小结	22
习题	23
实训课题一 电烙铁的使用及焊接基本功训练	26
实训课题二 常用电工工具、电工仪表的使用	27
实训课题三 万用表的使用	30
实训课题四 直流电位差计的使用	32
实训课题五 直流单臂电桥、电阻箱的使用	34
实训课题六 不平衡电桥	35
第二章 正弦交流电路	37
第一节 正弦交流电的基本概念	37
第二节 正弦交流电的表示法	41
第三节 电容元件及应用	43
第四节 电感器及应用	45
第五节 单相交流电路	46
第六节 三相交流电路	54
第七节 安全用电	59
本章小结	61
习题	62
实训课题七 示波器的使用	65
实训课题八 常用低压电器的认识	66
第三章 变压器与电动机	69
第一节 变压器的基本知识	69
第二节 仪用变压器简介	72

第三节 三相异步电动机	74
第四节 单相异步电动机	77
第五节 直流电动机简介	78
第六节 微型电动机简介	80
本章小结	81
习题	82
实训课题九 三相异步电动机定子绕组的极性判别	83
实训课题十 电动机匝间短路和绕组断路的检查	85
实训课题十一 三相异步电动机的正反转控制电路	86

第二篇 电子技术基础

第四章 半导体二极管及其应用	90
第一节 半导体的基本知识	90
第二节 半导体二极管	91
第三节 单相整流电路	93
第四节 滤波电路	97
第五节 稳压二极管及简单稳压电路	101
本章小结	102
习题	102
实训课题十二 二极管极性的判别及伏安特性的测试	105
实训课题十三 简单并联稳压电源	106
第五章 半导体三极管及其应用	109
第一节 半导体三极管及其特性	109
第二节 三极管基本放大电路	116
第三节 放大电路的分析方法	119
第四节 三极管放大电路静态工作点的稳定	123
第五节 放大器的三种组合状态	126
本章小结	127
习题	128
实训课题十四 三极管输入、输出特性的测试	130
实训课题十五 共射放大电路有关参数的测试	131
第六章 多级交流放大电路	134
第一节 多级电压放大电路	134
第二节 放大器中的负反馈	136

第三节 负反馈对放大器性能的影响	139	第三节 数字逻辑基础	213
第四节 功率放大电路	141	第四节 组合逻辑电路	222
第五节 正弦波振荡器	146	第五节 集成触发器	231
本章小结	152	第六节 时序逻辑电路	241
习题	153	第七节 脉冲波形的产生和整形电路	248
实训课题十六 双级负反馈放大器	155	本章小结	261
实训课题十七 功率放大器	159	习题	262
实训课题十八 正弦波振荡器	161	实训课题二十三 逻辑门集成电路逻辑功能的测试	266
第七章 集成运算放大器	164	实训课题二十四 组合逻辑电路的设计与测试	269
第一节 直流放大电路	164	实训课题二十五 集成触发器逻辑功能的测试	271
第二节 差动放大电路	165	实训课题二十六 脉冲计数的数显与电压指示电路	274
第三节 集成电路简介	168	第十章 数/模和模/数转换器	280
第四节 集成运放构成的运算电路	170	第一节 数/模转换器 DAC	280
第五节 集成运放的典型应用	171	第二节 模/数转换器 ADC	283
第六节 集成功率放大器	174	本章小结	286
第七节 集成稳压器	174	习题	286
本章小结	177	实训课题二十七 积分式 A/D 转换电路	287
习题	177	附录 I 电阻器的标称值及精度色环标志法	290
实训课题十九 集成运放的主要应用	178	附录 II 半导体器件型号命名方法 (国家标准 GB 249—74)	292
实训课题二十 串联式稳压电源的安装与调试	181	附录 III 半导体集成电路型号命名方法 (国家标准 GB 3430—82)	293
第八章 场效应管与晶闸管应用电路	185	附录 IV 部分集成运放技术指标	294
第一节 场效应管及其放大电路	185	附录 V 几种 TTL 电路的主要参数	295
第二节 晶闸管的结构和工作原理	188	主要参考文献	296
第三节 晶闸管应用电路	191		
第四节 晶闸管触发器	192		
本章小结	194		
习题	194		
实训课题二十一 场效应管放大器	195		
实训课题二十二 单相桥式可控整流电路	197		
第九章 数字电路	200		
第一节 概述	200		
第二节 逻辑门电路	201		

绪 论

一、电工电子技术的应用及其重要作用

随着人类社会的进步,科学技术获得了空前的发展。当今,由于电子计算机技术、现代通信技术的进步,使人们在空间和时间上的距离都大大缩短了;人类的生产、生活方式、乃至社会结构都随之发生了巨大的变化。而支撑现代科学技术大厦的重要基石之一就是电工、电子技术。

电工电子技术是极富生命力的技术领域,它的快速发展,对各行各业都产生了巨大的影响。在现代工业生产中,各种现代化的生产机械和设备的制造都广泛应用了电工、电子技术;在现代国防中,雷达、导弹、军舰等现代化军事设备的生产和使用无不依赖于电工、电子技术;电气机车、飞机、轮船等现代化的交通工具以及各种现代化的科研设备、医疗设备等也与电工、电子技术有着密不可分的关系;现代家庭所使用的电视机、影碟机、电脑、冰箱、微波炉、空调机等各种电器产品以及办公自动化和信息网络化的实现等都离不开电工、电子技术。

本书仅对电工、电子技术的基础知识进行讲述。

二、电工电子技术在自动控制领域的应用

自动控制是指在化工、炼油等类型的生产过程中,配备各种自动化装置,使生产过程能够在不同程度上自动地运行。

随着现代工业生产技术的发展,各种生产工艺过程变得越来越复杂,使得自动化技术的应用更加广泛,新型自动化系统不断出现,各种新型的自动化仪表和自动化设备层出不穷,这些设备、仪器、仪表的不断涌现,完全依赖于现代电工、电子技术的不断发展和进步。电工电子技术主要用来产生、传输或处理信号(如信号的放大、运算等)。新的电工、电子元器件、集成电路的不断出现和生产工艺的不断进步,使得各种自动化仪表的精度不断提高、体积逐渐变小、使用方法更加简便,从而使对生产工艺对象的远距离控制和使生产过程的高度自动化更易于实现。例如,应用现代化的自动控制仪表可以对生产过程或设备实现程序控制、数字控制或最佳状态控制;可检测生产过程的各种参数并转换成标准信号,实现自动调节和智能化管理等。此外,还可以实现对多个控制点的巡回检测、数据分析、程序显示、故障处理等功能。

三、本课程的性质、内容、任务和要求

电工、电子技术是中等职业技术学校生产过程自动化技术专业的一门专业基础课,是研究和应用电路、信号产生与放大基本原理及基本规律的一门学科。主要内容包括两大部分:一是电工技术部分,内容包括直流电路和交流电路的基本概念、基本定律和基本分析计算方法,谐振电路的谐振特性,电容器、磁场与电磁感应、变压器的基本知识,周期性非正弦交流电路和线性电路中过渡过程的分析等;二是电子技术部分,内容包括各种常见的模拟及数字电子元器件的结构原理及应用方法,基本放大电路、多级交直流放大电路、负反馈电路、功率放大电路、振荡电路以及各种数字逻辑电路的基本知识及应用。

本课程的任务是通过学习掌握较系统的电工、电子理论基础知识,培养一定的电工、电子实验技能,为进一步学习其他专业课打下基础。具体要求是:

① 掌握直流电路与交流电路的基本概念、基本定律和基本分析计算方法;

② 掌握串、并联谐振电路的谐振条件、谐振频率、谐振特征及其应用,理解电流谐振曲线、电压谐振曲线、选择性和通频带的概念;

- ③ 了解电容器、磁场与电磁感应、变压器的基本知识；
- ④ 了解周期性非正弦交流电路、线性电路中过渡过程的基本概念和基本分析方法；
- ⑤ 掌握电路中基本物理量的测量方法，能用实验的方法验证有关定律，培养实验技能；
- ⑥ 掌握常用的电子元器件（包括模拟电子和数字电子两部分）的测量和电子测量仪器的使用方法；
- ⑦ 理解各种放大电路的工作原理、特点及其参数的测量、调整方法。

四、学习本课程应注意的问题

- ① 要端正学习态度，明确学习目的。学习过程中做到肯动脑思考、善动口提问、多动手练习，课前认真预习，课堂上认真听讲做笔记，课后扎扎实实复习。
- ② 对基本内容要正确理解，对基本概念、基本定律、定理和公式要熟记掌握，并能灵活运用，举一反三，逐步掌握对各种电路进行分析、调整的基本思路和方法。
- ③ 把握每章、每节的知识要点，注意各部分内容之间的联系和区别，学会归纳总结，不断提高自学能力和分析问题、解决问题的能力。
- ④ 充分重视电工、电子实验。实验前要认真准备；实验时要集中精力，积极思考，做到正确联接电路，正确使用常用的电工仪表和电子仪器，准确读取数据，减小误差，并做到安全用电和文明实验；实验后要对实验现象和实验数据认真整理分析，编写出正确、整洁的实验报告。

第一篇 电工技术基础

第一章 直流电路

所有电气设备的运行，都要依靠电流的作用。而要产生电流，就需要构成电路。本章主要介绍有关电路的基本概念、电路中的一些物理量的概念和电路的基本定律。

第一节 电路及其基本物理量

一、电路的基本形式

电路就是电流流通的闭合路径。

如图 1-1 所示是一个最简单的电路。将开关合上，电路中有电流流过，电灯发亮；断开开关，电灯熄灭，说明电路中没有电流流过。

一个简单电路一般由电源、负载、开关和导线四部分组成。

1. 电源

电源是向电路提供电能的装置。其作用是把其他形式的能转换为电能。常见的电源有干电池、蓄电池、发电机、信号源等。

2. 负载

负载也称用电器，是各种用电设备的总称。其作用是把电能转换成其他形式的能，如电灯、电动机、电加热器、电阻、电感、电容等。

3. 开关

开关是控制和保护电路的电器设备。其作用是接通和断开电路，保护电路的安全，使电路能正常工作，如刀开关、组合开关、熔断器、继电器等。

4. 导线

导线是联接电源和负载的导体。其作用是输送和分配电能，如铜线、铝线等。

电路根据其电源性质可分为直流电路和交流电路。根据电流流通的路径可分为内电路和外电路。电源内部的电路称为内电路，其电流由电源的负极流向正极。从电源一端经过开关、负载和导线，再回到电源另一端的电路称为外电路，其电流是由电源的正极流向负极。内电路和外电路构成的闭合电路称为全电路。

任何电路都可以用电路图来表示，它是用统一规定的图形符号画出的表示电路实际联接情况的电路模型图，用来分析和计算电路，如图 1-1 所示。

二、电路中的基本物理量

电路的作用一是实现电能的传输、分配和转换，二是传递和处理信号。这些作用都是通过电流、电压和电动势来实现的。本节就讨论这几个物理量。

(一) 电流

电荷的定向运动称为电流。它实际上是由带电粒子作定向移动形成的。

电流是一种客观存在的物理现象，形成的内因是物体内部要有自由电荷；外因是有电场（或者说有电压）作用于物体，两者缺一不可。

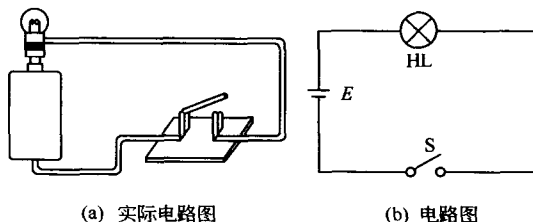


图 1-1 电路图

电流既是一种物理现象，又是一个用来衡量导体中电流大小（或者说带电粒子定向运动的强弱）的物理量。电流在数值上等于单位时间 t (1s) 内通过导体横截面的电荷量 q ，用符号 I 表示。用公式表示

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

式中 Q ——通过导体横截面的电荷量，单位 C(库仑)；

t ——通过电荷量 Q 所用的时间，单位 s(秒)；

I ——电流，单位 A(安培，简称安)。

如果在 1s 内，通过导体横截面的电荷量是 1C，导体中的电流就是 1A。

在国际单位制中，电流的常用单位还有 mA(毫安) 和 μ A(微安)，即

$$1\text{A} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A}$$

【例 1-1】 某导体在 4min 内均匀流过横截面的电荷量为 6C，问流过该导体的电流是多少 mA？

已知： $Q=6\text{C}$ ， $t=4\times 60=240\text{s}$ 。求： I 。

解 $I = \frac{Q}{t} = \frac{6}{240} = 25\text{mA}$

(二) 电流的方向

习惯上规定正电荷运动的方向为电流方向。在金属导体中，电流的方向与自由电子定向运动的方向是相反的。电流的方向在电路图中用带箭头的线段表示，如图 1-2 所示。

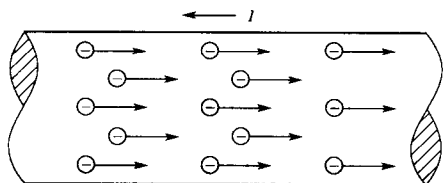


图 1-2 电荷与电流的方向

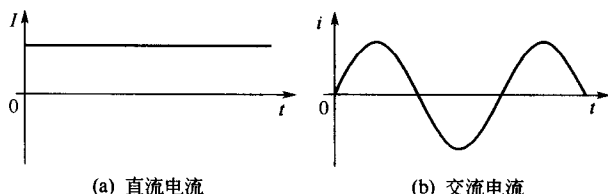


图 1-3 直流电流与交流电流的波形图

凡大小和方向都不随时间变化的电流称为直流电流或稳恒电流，简称 DC。凡大小和方向都随时间变化的电流称为交流电流或交变电流，简称 AC。直流电流和交流电流的波形图如图 1-3 所示。

对于交流电流，若在 Δt 时间内通过某一横截面的电荷量变化了 ΔQ ，则电流 i 可表示为

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

在分析和计算电路时，经常会遇到某段电路的电流方向难以确定的问题，此时可先任意假定电流的参考方向（也称正方向），用箭头在电路图中表明电流的参考方向，然后根据电流的参考方向列方程求解，若求得的电流为正值，则表明电流的实际方向与参考方向相同；若求得的电流为负值，则表明电流的实际方向与参考方向相反，如图 1-4 所示。

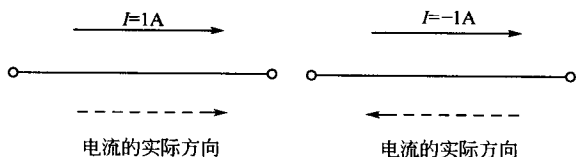


图 1-4 电流的参考方向

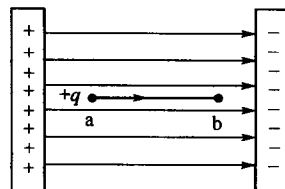


图 1-5 电场力做功

(三) 电压与电位

1. 电压

当电荷处于电场中受电场力作用而移动时, 电场力要对电荷做功。在图 1-5 所示的匀强电场中, 电荷 q 在电场力的作用下, 由 a 移动到 b , 如果电荷 q 移动的距离是 L_{ab} , 那么电场力对电荷做的功为

$$W = FL_{ab} \quad (1-2)$$

电压是衡量电场力做功本领大小的物理量, 其定义是: 电场力把单位正电荷从电场中的一点移到另一点所做的功, 叫做这两点间的电压, 用符号 U 表示。

a 、 b 两点间的电压 U_{ab} 在数值上等于电场力把电荷由 a 移到 b 所做的功与被移动的电荷量 q 之比值, 可用下式表示

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

式中 q ——由 a 点移到 b 点的电荷量, 单位 C(库仑);

W_{ab} ——电场力将 q 由 a 移到 b 所做的功, 单位 J(焦耳);

U_{ab} —— a 、 b 两点间的电压, 单位 V(伏特, 简称伏)。

若电场力把电荷量为 1C 的正电荷从电场中的 a 点移到 b 点所做的功为 1J, 则这两点之间的电压就是 1V。电压的常用单位还有 kV(千伏)、mV(毫伏) 和 μV (微伏), 即

$$1\text{kV} = 10^3\text{V} = 10^6\text{mV} = 10^9\mu\text{V}$$

电压的方向规定为由高电位指向低电位, 即电场力移动正电荷做功的方向。电压的方向在电路图中既可以用带箭头的线段表示, 也可以用“+”“-”表示。若采用双下标时, 则由第一个下标指向第二个下标表示电压方向。在实际应用中可以在电路中标定电压的参考方向, 若按参考方向得出的电压为正值, 则说明参考方向与实际电压方向一致, 若为负值, 则参考方向与实际方向相反。

电路中电压的大小可以用电压表测量。测量时, 首先要选择好电压表的量程, 使其大于实际电压的数值, 然后把电压表并联在待测电路的两端。对直流电压表, 还要使“+”接线柱接高电位端, “-”接线柱接低电位端。

2. 电位

在电路中, 常常选择一个点作为参考点, 而电路中其他各点对该点的电压就称为各相应点的电位, 参考点的电位规定为零。高于参考点的电位是正电位, 低于参考点的电位是负电位。在电力系统中, 常选大地作为参考点; 而在电子设备中, 一般以金属底板、机壳等公共点作为参考点。

在图 1-5 中, 如果用 U_a 表示 a 点电位, U_b 表示 b 点电位, 若 $U_b = 0$, 则 $U_a > 0$; 若 $U_a = 0$, 则 $U_b < 0$ 。不管如何选定参考点, a 点电位永远高于 b 点电位, 即 $U_a > U_b$ 。由此可见, 电场力对正电荷做功的方向就是电位降低的方向。因此规定电压的方向由高电位指向低电位, 即电位降低的方向。电压的方向可以用高电位指向低电位的箭头表示, 也可以用高电位标“+”, 低电位标“-”来表示。

在电路中 a 、 b 两点间的电压等于 a 、 b 两点间的电位之差, 即

$$U_{ab} = U_a - U_b$$

两点间的电压也叫两点间电位差。讲到电压必须说明是哪两点间的电压。

注意, 电位虽然也是电压, 但电位的值具有相对性, 当参考点改变时, 各点的电位值会随着改变, 而两点间的电压值是不变的。即电位的值与参考点的选择有关, 但两点间的电压值与参考点的选择无关。电位的参考点可任意选择, 但一个电路只能选择一个参考点。

(四) 电动势

水在重力的作用下, 只能从高处向低处流。若要把水从低处移到高处, 必须用外力克服

重力来实现,例如,用抽水机把水从低处移到高处。同样,在电场力的作用下,正电荷只能从高电位处移向低电位处,负电荷只能从低电位处移向高电位处。显然,要使正电荷从低电位处移向高电位处,或者把负电荷从高电位处移向低电位处,电场力是做不到的,这就需要

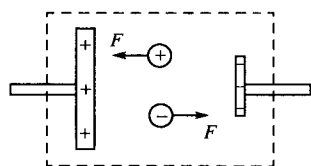


图 1-6 电源内部的电荷移动

一种不同于电场力的其他力,称之为电源力。电源内部就存在着电源力,它能使正电荷从电源的负极(低电位)经电源内部移到电源的正极(高电位),使负电荷从电源的正极(高电位)经电源内部移到电源的负极(低电位),从而在电源两端产生一定的电位差,如图 1-6 所示。

电源力移动电荷的过程中要反抗电场力做功,这个做功的过程就是电源将其他形式的能转换成电能的过程。对于不同的电源,电源力做功的性质和大小不同,为此引入电动势这个物理量。

在电源内部,电源力把正电荷从低电位(负极板)移到高电位(正极板)反抗电场力所做的功与被移动电荷的电荷量的比,叫做电源的电动势,用公式表示为

$$E = \frac{W}{q} \quad (1-4)$$

式中 q ——电场力移动的电荷量,单位 C;

W ——电场力移动正电荷所做的功,单位 J;

E ——电源电动势,单位 V。

电动势的方向规定为由电源负极经电源内部指向正极,即从电源的低电位端指向高电位端。电源的几种画法及电动势的方向如图 1-7 所示。

电源两端的电位差,称为电源的端电压,简称电源电压,其方向由电源的正极指向负极。

应特别注意,虽然电动势与电压的单位相同,但它们是两个不同的物理量。

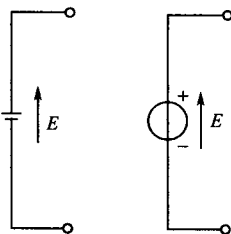


图 1-7 电源的表示法

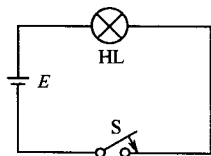
① 电动势与电压的物理意义不同。电动势是用来衡量电源力做功本领的大小,而电压是用来衡量电场力做功本领的大小。

② 电动势与电压的方向不同。电动势方向是由低电位指向高电位,即电位升的方向;电压方向是由高电位指向低电位,即电位降的方向。

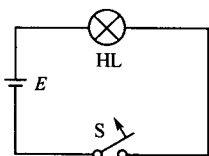
③ 电动势仅存于电源内部,而电压不仅存在于电源两端,也存在于电源外部。

(五) 电路的三种状态

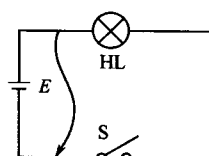
通常接触到的电路有三种状态,即通路、开路、短路,如图 1-8 所示。



(a) S 闭合电路为通路



(b) S 打开电路为开路



(c) 短路

图 1-8 电路的三种状态

1. 通路

通路是指电路中的开关闭合,电路中有电流流过。

2. 开路

开路也称断路。是指电路中开关断开或某处没有联接好。电源不带负载时也称电源开路。开路状态的明显特征是:电路中没有电流流过,电源两端的电压在数值上与电动势

相等。

3. 短路

短路分电源短路和负载短路。电源短路是电源两端用导线直接接通或因其他原因(如设备的绝缘层损坏,错误地操作等)将电源两极联接在一起;负载短路指负载损坏或错误的操作引起的两端短路。应注意,绝对不允许使电源短路,否则会引起强大的短路电流烧坏电源及其他电器设备,甚至引起火灾事故,为此在电路中应该安装熔断器(保险丝)或其他自动保护装置。短路状态的明显特征是:电路中的电流急剧增大,电源两端的电压明显降低。

第二节 电阻及欧姆定律

一、电阻定律

电阻是导体的固有参数,它的大小与导体的几何尺寸和导体的材料性质有关;而与导体两端的电压和流过导体的电流大小无关。实验证明:在一定的温度下,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,并与导体材料的性质有关,这一实验规律称为电阻定律。均匀导体的电阻可用公式表示

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

式中 ρ ——电阻率,其值由导体材料的性质决定,单位 $\Omega \cdot \text{m}$ (欧姆米);

L ——导体的长度,单位 m (米);

S ——导体的横截面积,单位 m^2 (平方米);

R ——导体的电阻,单位 Ω (欧姆,简称欧)。

电阻的单位除 Ω 外,常用的单位还有 $\text{k}\Omega$ (千欧)和 $\text{M}\Omega$ (兆欧),即

$$1\text{M}\Omega = 10^3\text{k}\Omega = 10^6\Omega \quad (1-6)$$

几种常用材料在 20°C 时的电阻率见表 1-1。

表 1-1 20°C 时材料的电阻率

用 途	材料名	$\rho/\Omega \cdot \text{m}$	用 途	材料名	$\rho/\Omega \cdot \text{m}$	用 途	材料名	$\rho/\Omega \cdot \text{m}$
导电材料	银	1.65×10^{-8}	导电材料	低碳钢	1.7×10^{-7}	导电材料	康铜	5.0×10^{-7}
	铜	1.75×10^{-8}		铂	1.06×10^{-7}		镍铬铁	1.0×10^{-6}
	铝	2.83×10^{-8}		钨	5.3×10^{-8}		碳	1.0×10^{-6}
	铁	10×10^{-8}		锰铜	4.4×10^{-7}			

由表 1-1 可以看出,纯金属的电阻率较小,故其导电性能比较好,其中,银的导电性能最好,其次是铜和铝。但由于银的价格昂贵,用它做导线不经济,因此多用铜和铝来做导线。又因铝矿丰富、价格便宜,所以在很多场合下又以铝代替铜做导线。

导体的电阻值不仅与材料的性质、尺寸有关,还和温度有关。例如,当温度升高后,一般金属材料的电阻值就会增大,而半导体、电解液及某些合金材料的电阻值会减小。在一般情况下,电阻随温度的变化不大,其影响可不用考虑。

电阻的倒数叫做电导,用符号 G 表示,即

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

可见,导体的电阻越小,电导就越大,导体的导电性能越好。电导和电阻一样,都反映了物体的导电能力,只是表示方法不同。

电导的单位 S (西门子,简称西)。

【例 1-2】 一根钢导线长 $L=1500\text{m}$, 截面积 $S=3\text{mm}^2$, 导线的电阻是多少?

解 查表可知铜的电阻率 $\rho=1.75 \times 10^{-8}\Omega \cdot \text{m}$, 由电阻定律可求得

$$R = \rho \frac{L}{S} = 1.75 \times 10^{-8} \times \frac{1500}{3 \times 10^{-6}} = 8.75 \Omega$$

二、常用电阻器

利用导体的电阻性能制成具有一定阻值的实体元件，称为电阻器，通常简称电阻。电阻器是各种电路中经常使用的基本元件之一，主要用来稳定和调节电路中的电流和电压，作为分流器和分压器以及消耗电能的负载电阻器。

电阻器的种类很多，结构形式各异。一般根据其工作特性及电路功能可分为固定电阻器、可变电阻器、敏感电阻器三大类。

(1) 固定电阻器 其阻值固定不变，一般有线绕电阻器、实心电阻器和薄膜电阻器三种。

(2) 可变电阻器 其阻值可以在一定范围内变化，又称变阻器，具有三个引出端的常称为电位器。

(3) 敏感电阻器 其阻值对于某种物理量（如温度、电压、光通、机械力、磁通、湿度以及气体浓度等）表现敏感，根据所对应的表现敏感的物理量不同，可分为热敏、压敏、光敏、力敏、磁敏、湿敏和气敏七种主要类型。由于敏感电阻器所用的材料几乎都是半导体材料，所以又称半导体电阻器。

电阻器应根据其规格、性能指标以及在电路中的作用和技术要求来选用。一般场合下，是根据电阻器的主要指标来选择合适的电阻器。具体选用原则是：电阻器的标称阻值应与电路的要求相符；额定功率应比该电阻在电路中实际消耗的功率大 1.5~2 倍；允许偏差应在要求的范围之内。

三、欧姆定律

1. 部分电路欧姆定律

部分电路欧姆定律是德国科学家欧姆（1787~1854）在研究了不包含电源的一段电路中的电流、电路两端的电压及电阻三者的关系后，首先于 1872 年得出的实验定律，如图 1-9

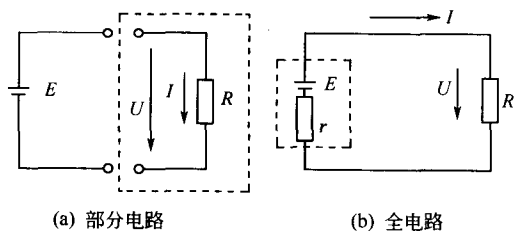


图 1-9 欧姆定律

(a) 所示。部分电路的欧姆定律指出：通过导体的电流与这段导体两端的电压成正比，与这段导体的电阻成反比，其数学式为

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-8)$$

式中 I ——导体中的电流，单位 A；

U ——导体两端的电压，单位 V；

R ——导体的电阻，单位 Ω 。

注意：电阻值不随电压、电流变化的电阻叫线性电阻，由线性电阻组成的电路叫线性电路；阻值随电压、电流的变化而变化的电阻叫非线性电阻，含有非线性电阻的电路叫非线性电路。欧姆定律只适用于线性电路。

2. 全电路欧姆定律

全电路是指含有电源的闭合电路，如图 1-9(b) 所示，虚线框中的 E 代表电动势， r 代表电源内阻。通常把电源内部的电路称作内电路，电源外部的电路称作外电路。

全电路的欧姆定律的内容是：全电路中的电流与电源的电动势成正比，与整个电路（即内电路和外电路）的电阻成反比，其数学式为

$$I = \frac{E}{R + r} \quad (1-9)$$

式中 I ——电路中的电流，单位 A；

E ——电源的电动势，单位 V；

R ——外电路的电阻, 单位 Ω ;

r ——内电路电阻, 单位 Ω 。

由式 (1-9) 得知 $E = IR + Ir = U_{\text{外}} + U_{\text{内}}$ (1-10)

式 (1-10) 中, $U_{\text{外}}$ 是指外电路电压, 它是电路接通时电源两端的电压, 简称端电压。 $U_{\text{内}}$ 是指内电路电压。这样, 全电路欧姆定律又可叙述为: 电源电动势在数值上等于闭合电路中各部分的电压之和。

根据式 (1-10) 可得 $U_{\text{外}} = E - Ir$ 。当 R 增大时, I 减小, Ir 减小, $U_{\text{外}}$ 增大。当 $R \rightarrow \infty$ (断路), $I \rightarrow 0$, 则 $U_{\text{外}} = E$, 即断路时端电压等于电源电动势; 当 R 减小时, I 增大, $U_{\text{外}}$ 则减小, 当 $R = 0$ 时, 电路即为短路状态。此时 $I = \frac{E}{r}$, 由于 r 很小, 所以短路电流 I 很大, 可能烧毁电源, 甚至引起火灾, 为此电路中必须有短路保护装置。

一般地, 电源电动势和内阻基本不会改变, 且 r 很小, 所以可以近似认为电源的端电压就等于电源电动势, 今后若不特别指出电源内阻时, 就表示电源内阻很小, 可以忽略不计。

【例 1-3】 有一闭合电路, 电源电动势 $E = 12\text{V}$, 其内阻 $r = 2\Omega$, 负载电阻 $R = 10\Omega$, 试求: 电路中的电流, 负载两端的电压, 电源内阻上的电压降。

解 根据全电路欧姆定律

$$I = \frac{E}{R + r} = \frac{12}{10 + 2} = 1 \text{ A}$$

由部分电路欧姆定律, 可求出负载两端电压

$$U_{\text{外}} = IR = 1 \times 10 = 10 \text{ V}$$

电源内阻上的电压降为

$$U_{\text{内}} = Ir = 1 \times 2 = 2 \text{ V}$$

第三节 电阻的串联、并联和混联

一、电阻的串联及应用

两个或两个以上电阻依次相联, 中间无分支的联接方式叫电阻的串联。图 1-10(a) 所示是两个电阻的串联, 图 1-10(b) 是图 1-10(a) 的等效图。

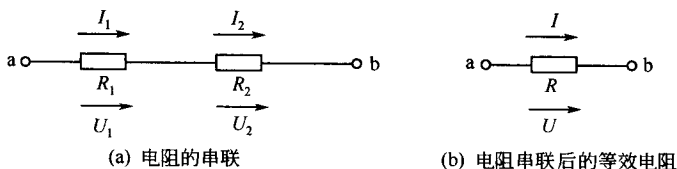


图 1-10 电阻的串联

串联电路有以下性质。

① 串联电路中流过每个电阻的电流都相等。即

$$I = I_1 = I_2 = \cdots = I_n \quad (1-11)$$

电阻串联电路接通电源后, 整个闭合回路流的是同一个电流。因串联电路没有分支, 只有惟一的一条通路, 且在电路的任何地方, 都不会产生电荷的积累, 所以在相同的时间内, 通过电路任一截面的电量都相等。

② 串联电路两端的总电压等于串联电阻上分电压之和, 即

$$U = U_1 + U_2 + \cdots + U_n$$

③ 串联电路的总电阻等于各串联电阻之和, 即

$$R = R_1 + R_2 + \cdots + R_n$$

④ 串联电路中, 各个电阻上所分配的电压与各电阻的阻值成正比。

根据欧姆定律 $U_1 = I_1 R_1$ $U_2 = I_2 R_2$ $U = IR$ 及串联电路的性质可得

$$\frac{U_1}{U_n} = \frac{R_1}{R_n} \quad \text{或} \quad \frac{U_n}{U} = \frac{R_n}{R} \quad (1-12)$$

式 (1-12) 是串联电路的重要推论, 用途很广。

若有两只电阻串联, 则有

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U \quad U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U$$

串联电路的应用很广泛, 实际工作中常见的用法如下。

① 用几个电阻串联来获得阻值较大的电阻。

② 采用几个电阻串联构成分压器, 使一个电源能提供几种不同的电压, 如图 1-11 所示。

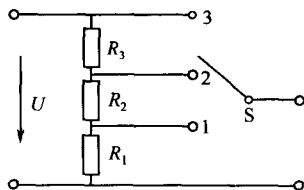


图 1-11 分压器

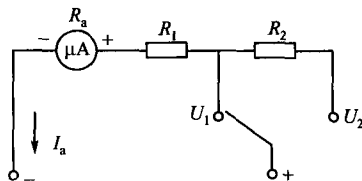


图 1-12 万用表的部分电路

③ 当负载的额定电压低于电源电压时, 可用串联的方法来满足负载接入电源使用的需要。例如: 可将两个相同的 6V 指示灯串接后接到 12V 电源上使用。

④ 利用串联电阻的方法来限制和调节电路中电流的大小。

⑤ 电工测量中广泛使用串联电阻来扩大电压表量程。

【例 1-4】 图 1-12 所示是 500 型万用表测直流电压的部分电路。图中仅画出两个量程, 其中 $U_1 = 10\text{V}$, $U_2 = 250\text{V}$; 已知表头的等效电阻 $R_a = 10\text{k}\Omega$, 允许流过的最大电流为 $I_a = 50\mu\text{A}$, 试求各串联电阻的阻值。

解 因表头是一只微安表, 根据欧姆定律可知该表所能测量的最大电压为

$$U_a = I_a R_a = 50 \times 10^{-6} \times 3 \times 10^3 = 0.15 \text{ V}$$

显然要用这只表头来测量大于 0.15V 的电压, 就会把表头烧坏。为扩大量程, 最方便的办法就是串联电阻。根据已学知识, 各串联电阻阻值的求解步骤如下

因为

$$U_{R_1} = U_1 - U_a$$

而

$$U_a = I_a R_a \quad U_{R_1} = I_1 R_1 = I_a R_1$$

则

$$I_a R_1 = U_1 - I_a R_a$$

所以

$$R_1 = \frac{U_1 - I_a R_a}{I_a} = \frac{10 - 3 \times 10^3 \times 50 \times 10^{-6}}{50 \times 10^{-6}} = 197 \text{ k}\Omega$$

同理

$$U_{R_2} = U_2 - U_1$$

而

$$U_{R_2} = I_a R_2$$

$$\text{则 } R_2 = \frac{U_2 - U_1}{I_a} = \frac{250 - 10}{50 \times 10^{-6}} = 4.8 \text{ M}\Omega$$

二、电阻的并联及应用

两个或两个以上电阻接在电路中相同的两点之间的联接方式, 叫做电阻的并联。图 1-13 (a) 是两个电阻的并联电路, 图 1-13 (b) 是其等效电路。

电阻并联电路有如下性质。

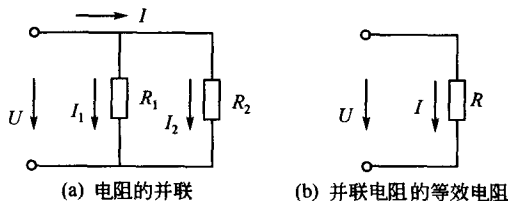


图 1-13 电阻的并联