

中等职业学校规划教材·化工中级技工教材

ZHONGDENG ZHIYE XUEXIAO GUIHUA JIAOCAI

HUAGONG ZHONGJI JIGONG JIAOCAI

电工电子技术基础

DIANGONG DIANZI JISHU JICHU

冉勇宁 主编 王建平 主审



化学工业出版社

中等职业学校规划教材·化工中级技工教材

电工电子技术基础

冉勇宁 主编

王建平 主审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书集电工电子技术和应用于一体,在内容和结构上对电工电子技术课程进行了整合,以项目的方式组织教学,全书共分十二个项目,包括机械万用表的使用、安装和检修,民用住房电气安装,变压器和电动机的使用与拆装,继电-接触器控制线路的安装,直流稳压电源的安装与调试,收音机电路的安装与调试,简易信号发生器的安装与调试,单相可控调压装置的安装与调试,简易抢答器的安装,数字钟的安装,简易数字频率计的安装,数字电压表的安装与扩展。

本书可作为中等职业学校电仪类专业的教材,也可作为机电类专业和相关专业的教材。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术基础/冉勇宁主编. —北京:化学工业出版社, 2008.7

中等职业学校规划教材·化工中级技工教材

ISBN 978-7-122-03310-9

I. 电… II. 冉… III. ①电工技术-专业学校-教材
②电子技术-专业学校-教材 IV. TM TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 102163 号

责任编辑:张建茹
责任校对:战河红

文字编辑:徐卿华
装帧设计:韩 飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷:北京市永鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 19 字数 497 千字 2008 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:29.80 元

版权所有 违者必究

**中等职业学校规划教材
全国化工中级技工教材编审委员会**

主 任 毛民海

副主任 (按姓氏笔画排列)

王黎明 刘 雄 苏靖林 张文兵 张秋生
律国辉 曾繁京

委 员 (按姓氏笔画排列)

马武飏 王 宁 王跃武 王黎明 毛民海
刘 雄 米俊峰 苏靖林 李文原 李晓阳
何迎建 宋易骏 张 荣 张文兵 张秋生
陈建军 林远昌 周仕安 郑 骏 胡仲胜
律国辉 郭养安 董吉川 韩 谦 韩立君
程家树 曾繁京 雷 俊

前言

本书是根据中国化工教育协会批准颁布的《全国化工中级技工教学计划》，由全国化工高级技工教育教学指导委员会领导组织编写的全国化工中级技工教材，也可作为化工企业工人培训教材使用。全书共分十三个项目。主要内容包括直流电路和正弦交流电路知识，电工测量基础及万用表知识，电工基本操作技能及安全知识，电机和变压器知识，继电-接触器控制线路知识，模拟电子技术知识和数字电子技术知识。本书具有如下特点。

① 本书以项目的方式组织教学，所选取的都是一些实用、典型的项目，故实用性强。

② 采用任务（问题）驱动的编写方式，便于激发学习兴趣。

③ 采用项目方式，把理论教学与实践教学有机地结合起来，让学生在学中做，在做中学，能更好地激发学习兴趣，发掘学生的创造潜能，提高学生分析问题和解决实际问题的能力，使学生尽早学会学习并从中获得乐趣。

④ 每个项目中都有一个任务，由学生（以个人或小组工作方式）按照实际工作的完整程序，共同制定计划、共同或分工完成整个任务，并进行展示与交流，使学生在项目实践过程中，提高专业能力、方法能力和社会能力。

⑤ 力求实现以下目标：内容精练，基本概念清楚；系统性强，使学生建立完整的概念、知识结构，为进一步学习后续专业课程和实际应用打下良好的基础。

本书由冉勇宁主编，并负责全书的统稿。王建平主审。冉勇宁编写了项目一、九、十、十一、十二和项目六中的任务二、三、四，李宗孔编写了项目二、三、四，姜秀亮编写了项目五和项目六中的任务一，方红云编写了项目七、八。

在本书编写过程中，参考了其他教材和资料，在此对张爱辉、李明亮老师和对本书给予帮助和支持的各位老师表示衷心的感谢。

由于编者水平有限和编写时间仓促，书中疏漏、不妥之处在所难免，恳请广大读者和同行提出宝贵意见，以便改正。

编者
2008年6月

目 录

项目一 机械万用表的使用、安装和检修	1
任务一 直流电路的学习	1
任务二 万用表的使用	24
任务三 机械万用表的结构和工作原理的分析（以 500 型万用表为例）	28
任务四 MF47 型万用表的安装与调试	32
任务五 机械万用表的检修	35
思考与练习一	36
项目二 民用住房电气安装	40
任务一 正弦交流电路的学习	40
任务二 安全知识学习	60
任务三 住宅配电箱的安装	65
任务四 常用室内配线的认识	66
任务五 白炽灯、开关和插座的安装	71
任务六 日光灯电路的装接	75
任务七 安装一套住房照明	77
思考与练习二	78
项目三 变压器和电动机的使用与拆装	81
任务一 磁场与电磁感应的学习	81
任务二 变压器的原理分析和使用	92
任务三 三相异步电动机的结构和工作原理	98
任务四 三相异步电动机的选择与使用	102
任务五 三相异步电动机的拆装	104
思考与练习三	110
项目四 继电-接触器控制线路的安装	112
任务一 常用低压电器的认识	112
任务二 电动机控制线路图的绘制及安装知识的学习	118
任务三 点动与连续控制线路的安装	120
任务四 正反转控制线路的安装	124
任务五 降压启动控制线路的安装	128
任务六 制动控制线路的安装	130
任务七 多速控制线路的安装	132
任务八 电气控制线路的设计与安装	134
思考与练习四	136

项目五 直流稳压电源的安装与调试	138
任务一 半导体基础知识的学习	138
任务二 直流稳压源的组成及工作原理的分析	148
任务三 印刷电路板的制作	155
任务四 常用仪器的使用与元器件的检测	158
任务五 串联型稳压电源的安装与调试	163
任务六 输出正负电压的稳压电源的设计、安装与调试	164
思考与练习五	165
项目六 收音机电路的安装与调试	167
任务一 基本放大电路的学习	167
任务二 超外差收音机电路工作原理的分析	193
任务三 超外差收音机电路的安装与调试	195
任务四 AM/FM 集成收音机电路的分析	197
思考与练习六	198
项目七 简易信号发生器的安装与调试	201
任务一 集成运算放大器的学习	201
任务二 信号发生器工作原理的分析	212
任务三 信号发生器的安装与测试	213
任务四 设计、安装简易信号发生器	214
思考与练习七	215
项目八 单相可控调压装置的安装与调试	216
任务一 晶闸管电路的学习	216
任务二 单相可控调压电路工作原理的分析	224
任务三 单相调压电路的安装与测试	224
任务四 自动调压恒温系统的设计、安装与测试	226
思考与练习八	227
项目九 简易抢答器的安装	228
任务一 门电路和触发电路的学习	228
任务二 4 路简易抢答器工作原理的分析	247
任务三 4 路简易抢答器的安装与测试	249
任务四 8 路抢答器的设计、安装与测试	249
思考与练习九	250
项目十 数字钟的安装	252
任务一 计数译码显示器的学习	252
任务二 数字钟工作原理的分析	266
任务三 数字钟的安装与测试	269
任务四 带整点报时功能数字钟的设计、安装与测试	269
思考与练习十	271
项目十一 简易数字频率计的安装	272
任务一 脉冲波形的产生与整形电路的学习	272
任务二 数字频率计工作原理的分析	280
任务三 数字频率计的安装与测试	282

任务四 再设计、安装数字频率计.....	283
思考与练习十一.....	285
项目十二 数字电压表的安装与扩展	286
任务一 数/模和模/数转换器的学习.....	286
任务二 数字电压表工作原理的分析.....	292
任务三 数字电压表的安装与测试.....	293
任务四 温度表的设计、安装与测试.....	293
思考与练习十二.....	295
参考文献	296

项目一 机械万用表的使用、安装和检修

项目教学目标

- 掌握电路的基本知识、基本定律和电路的基本分析方法。
- 了解电工测量的基本知识，理解万用表的工作原理，学会万用表的使用、安装和检修。

万用表是一种多用途、多量程的电工仪表，可用来测量电路中的直流电流、直流电压、交流电压以及电阻等，甚至还可以测量交流电流、电容、电感以及半导体三极管的参数等。那么，什么是电路？什么是电压、电流、电阻？如何组成万用表？万用表如何工作？如何使用？如何检修？

任务一 直流电路的学习

一、电路及主要物理量

（一）电路和电路的组成

1. 电路的组成和作用

在日常生活中，把一个电灯通过开关、导线和干电池连接起来，就组成了一个简单的照明电路，如图 1-1（a）所示（建议采用仿真演示）。

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。把电源、导线、开关和负载按一定方式连接起来的电流通路称为电路，换句话讲，电流所流经的路径称为电路。

（1）电路 通常由电源、负载和中间环节（导线和开关）等基本部分组成。

① 电源。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、发电机等。

② 负载。即用电器，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、电加热器、电动机等。

③ 中间环节（导线和开关）。导线是用来连接电源和负载的导体，如铜线、铝线等。开关是控制电路接通和断开的装置，如刀开关、组合开关等。此外，电路中根据需要还装配有其他测量保护设备，如测量仪表是用来测量电路中的电量，熔丝用来保护电路设备的安全等。

（2）电路的作用

① 电路可以实现电能的传输、分配和转换。

② 电路可以实现电信号的传递、存储和处理等。

任何用电设备的实物图形表示的实际电路，都可以用规定的图形符号表示电路实际设备和连接情况，画出其电路模型图，如图 1-1（b）所示。这种用统一规定的图形符号画出的电路模型图称为电路图。它便于分析和研究电路。

2. 电路的三种工作状态（建议采用仿真演示）

电路有三种工作状态，即通路、开路、短路。

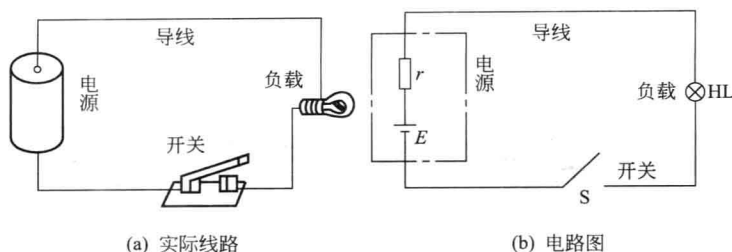


图 1-1 简单照明电路

(1) 通路 是指电路中的开关闭合，电源与负载接成的回路，这时电路中有电流流过，电源和用电器都能正常工作。

(2) 开路 开路也称断路，是指电路中开关断开或某处没有连接好。电源不带负载时也称电源开路，即指电源与负载未接成闭合电路，这时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 是指电路中电源两端或部分用电器两端用导线直接接通或因其他原因（如设备的绝缘层损坏等）造成的直接接通。短路时，电路中流过比正常工作时大得多的电流，可能烧坏电源和其他设备，甚至引起火灾事故，所以，应严防电路发生短路。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。

（二）电路的重要物理量

1. 电流

(1) 电流的形成 任何物质都是由分子组成，分子是由原子组成，而原子又是由带正电的原子核和带负电的电子组成。在通常状况下，原子核所带的正电荷数与核外电子所带的负电荷数相等，所以物质不显电性。当人们给予一定外加条件时（如接上电源加上电压），就能迫使金属或某些溶液中的电荷（电子、离子）发生有规则的运动。把电荷有规则的定向运动称为电流。在金属导体中，电流是电子有规则地定向运动形成的。在某些液体或气体中，电流则是正离子或负离子有规则地定向运动形成的。

电流形成的内因条件是物体内部要有可移动的自由电荷，外因条件是有电场（或者说有电压）作用于物体，两者缺一不可。

(2) 电流的方向 在不同的导电物质中，形成电流的运动电荷可以是正电荷，也可以是负电荷，或者两者都有，人们规定正电荷移动的方向为电流的方向。

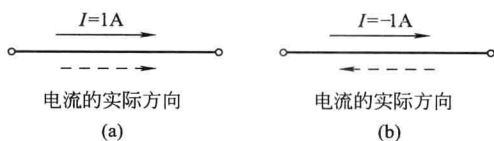


图 1-2 电流方向的确定

在分析或计算比较复杂的电路时，某段电路中电流的实际方向往往难以确定，此时可先假定电流的参考方向，然后列方程求解，当解出的电流为正值时，表明电流实际方向与参考方向一致，如图 1-2 (a) 所示。当电流为负值时，表明电流实际方向与参考方向相反，如图

1-2 (b) 所示。

(3) 电流的大小 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。通常规定用单位时间 t 内通过导体横截面的电量 q 来表示电流的大小，用字母 I 表示，即

$$I = \frac{q}{t}$$

式中, I 的单位是安培, 符号为 A; q 的单位是库仑, 符号为 C; t 的单位是秒, 符号为 s。

此式表明在相同时间内通过导体横截面的电荷量越多, 则流过该导体的电流就越强, 反之越弱。

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。

电流的常用单位还有 kA (千安)、mA (毫安) 和 μA (微安), 其换算关系是

$$1\text{kA}=10^3\text{A}$$

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

电流又分直流电流和交流电流两大类。凡大小和方向不随时间变化的电流, 称为稳恒直流电流, 简称直流 (简写作 DC); 凡大小和方向随时间变化的电流, 称为交变电流, 简称交流 (简写作 AC)。

2. 电压与电位

(1) 电压 带电体的周围存在着电场, 电场对处在电场中的电荷有力的作用。当电场力使电荷移动时, 电场力对电荷做了功。如图 1-3 所示。

人们规定: 电场力把正电荷从电场中 a 点移动到 b 点所做的功 A_{ab} 与被移动电荷的电荷量 q 的比值称为 a、b 两点间的电压, 用 U_{ab} 表示, 即

$$U_{ab}=\frac{A_{ab}}{q}$$

式中, 电压 U_{ab} 的单位为 V (伏特); q 的单位为 C (库仑); A_{ab} 的单位为 J (焦耳)。

根据此公式可得: 在 q 一定时, 若电压 U_{ab} 大, 则 A_{ab} 大, 表明电场力把单位正电荷从电场中 a 点移动到 b 点所做的功多, 反之则少。可见, 电压是衡量电场力做功本领大小的物理量。

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), 其换算关系是

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

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

(2) 电位 在电路中, 常常选择一个参考点, 利用电位的概念进行分析、计算, 显得很方便。

人们规定: 电场中某点的电位等于电场力把单位正电荷从该点移动到参考点 o 所做的功, 用 φ 表示, 即 $\varphi=\frac{A}{q}$, 或者说电路中某点的电位就是该点到参考点之间的电压。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。

电位的单位与电压相同。

(3) 电压与电位的关系 如图 1-3 所示, 以 o 点为参考点时, 则 a 点与 b 点的电位分别为 $\varphi_a=U_{ao}$, $\varphi_b=U_{bo}$, 则 $U_{ab}=U_{ao}-U_{bo}=\varphi_a-\varphi_b$ 。

可见, 电路中任意两点间的电压就等于这两点间的电位之差, 所以电压又称电位差。

由于电场力对正电荷做功的方向是电位降低的方向, 因此规定电压的方向 (实际方向) 由高电位指向低电位, 即电位降低的方向, 故电压又称电位降。

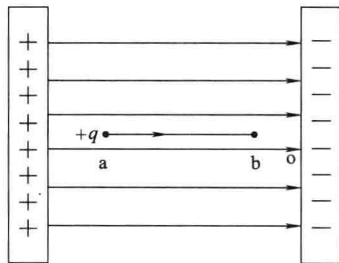


图 1-3 电场力对电荷做功

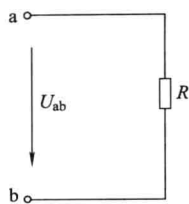


图 1-4 电压参考方向的表示方法

电压的参考方向可任意假设，通常有两种表示方法，如图 1-4 所示：第一种表示方法是用箭头表示，箭头由假定的高电位指向低电位端；第二种表示方法是用双下标字母表示，如 U_{ab} 中，前一个下标字母 a 表示假定的高电位点，后一个下标字母 b 表示假定的低电位点。

当计算出的电压为正值时,表明电压实际方向与参考方向一致,当电压为负值时,表明电压实际方向与参考方向相反。

应当注意的是，电位的大小与参考点选择有关，当参考点改变时，各点的电位值随着改变（称电位的相对性），一旦参考点确定，某点的电位就是唯一的（称电位的单值性），而某两点间的电压值与参考点的选择

无关，不管参考点如何变化，两点间的电压总是不变的。

3. 电动势

(1) 电动势 如图 1-5 所示电路, 在电场力的作用下, a 极板上的正电荷由 a 极沿导线和灯泡到达 b 极, 与负电荷中和。正负电荷将逐渐减少, 当正负电荷中和完毕, 两极之间电压为零, 电流中断。为了得到持续不断的电流, 极板间就必须有一种非电场力 (称为电源力) 将正电荷从负极源源不断地移到正极, 从而在两极形成一定的电压, 形成持续不断的电流。提供电源力的装置就是电源, 在不同的电源中, 电源力的来源有所不同。例如, 电池中的电源力是电解液和极板间的化学作用产生的, 发电机的电源力则是电磁作用产生的。

电源力在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。为了衡量电源力做功的能力，人们引入电动势这个物理量。

在电源内部，电源力将单位正电荷从电源负极 b 移到正极 a 所做的功叫作电源的电动势，用符号 E 表示，即

$$E = \frac{A_{ba}}{q}$$

等,单位也相同,但它们是两个不同的物理量。

第一,电动势与电压的物理意义不同。电动势是衡量电源力做功本领的大小,而电压是衡量电场力做功本领的大小。

第二,电动势与电压的方向不同。电动势的方向是由低电位指向高电位,即电位升的方向;而电压的方向是由高电位指向低电位,即电位降的方向。

第三,电动势仅存于电源内部,而电压不仅存在于电源内部,而且也存在于电源外部。

4. 电阻

(1) 电阻 当电流通过金属导体时,作定向运动的自由电子会与金属中的带电粒子发生碰撞,这说明电流流过导体时要受到阻碍作用。不同的导体由于其原子、分子结构的组成不同,对电流的阻碍作用也不同。为了反映导体对电流产生阻碍作用大小,人们引入了电阻这一个物理量,其定义是:某段导体两端的电压 U 和通过这段导体的电流 I 的比值,叫作这段导体的电阻,用符号 R 表示,即

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

电阻的单位是欧姆,简称欧,用符号 Ω 表示。此外,常用的单位还有 $\text{k}\Omega$ (千欧) 和 $\text{M}\Omega$ (兆欧),其换算关系是

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

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

(2) 电阻定律 导体的电阻是客观存在的,是导体的固有参数,它的大小与导体两端的电压和流过导体的电流大小无关,而是由导体的几何尺寸和导体的材料性质决定。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,这一规律称为电阻定律。其电阻可用公式表示为

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

式中, ρ 为电阻率,其值由电阻材料的性质决定, $\Omega \cdot \text{m}$; l 为导体的长度, m ; S 为导体的横截面积, m^2 ; R 为导体的电阻, Ω 。

几种常用材料在 20°C 时的电阻率见表 1-1。

表 1-1 几种常用材料在 20°C 时的电阻率

材料名称	电阻率 ρ / $\Omega \cdot \text{m}$	温度系数 $\alpha/^\circ\text{C}^{-1}$	材料名称	电阻率 ρ / $\Omega \cdot \text{m}$	温度系数 $\alpha/^\circ\text{C}^{-1}$
银	1.6×10^{-8}	0.0036	铁	9.8×10^{-8}	0.0062
铜	1.7×10^{-8}	0.004	碳	1.0×10^{-5}	-0.0005
铝	2.8×10^{-8}	0.0042	锰铜	44×10^{-8}	0.000006
钨	5.5×10^{-8}	0.0044	康铜	48×10^{-8}	0.000005

【例 1-1】 一根铜导线长 $l=100\text{m}$, 横截面积 $S=1\text{mm}^2$, 导线的电阻是多少?

解 查表 1-1 可知铜的电阻率 $\rho = 1.7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$, 根据电阻定律可求得

$$R = \rho \frac{l}{S} = 1.7 \times 10^{-8} \times \frac{100}{1 \times 10^{-6}} = 1.7 \Omega$$

(3) 电阻与温度的关系 导体的电阻不仅与本身的几何尺寸和材料有关,而且还受温度的影响。实验发现,导体的温度变化,它的电阻也随着变化。一般的金属材料,温度升高后,导体的电阻增加。把温度升高 1°C 时,电阻所产生的变动值与原电阻的比值,称为电阻温度系数,用字母 α 表示,即

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

式中, R_1 为温度在 t_1 时的电阻; R_2 为温度在 t_2 时的电阻; 温度系数 α 的单位是 $^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。

查表 1-1 可知一般金属材料的电阻温度系数的数值是很小的, 在常温下, 温度变化又不大, 温度产生的影响极小, 完全可以忽略, 但当导体工作温度很高时, 电阻的变化很显著, 此时则不能忽视。

(三) 直流电流、直流电压和电位的测量

实践操作

1. 实验元件与仪器

- ① 直流稳压电源、万用表、标准电阻箱。
- ② 连接导线若干。

2. 实验内容与步骤

(1) 万用表的使用 参看万用表的使用方法和注意事项。

(2) 直流电流的测量 按图 1-8 所示电路接线, 然后将万用表的转换开关旋至直流电流挡, 量程按被测电流的大小确定, 此时的万用表就是一块直流电流表。测量电流时, 应将直流电流表与被测电路串联, 使电流由标“+”的接线柱流入, 由标“-”的接线柱流出。合上开关 S, 读出电流大小, 填入表 1-2 中。

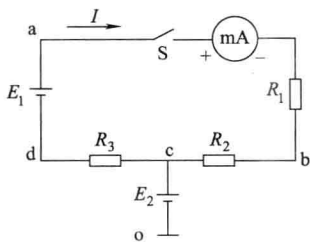


图 1-8 直流电流、电压和电位的测量电路

(3) 直流电压的测量 将万用表的转换开关旋至直流电压挡, 量程按被测电压的大小确定, 此时的万用表就是一块直流电压表。测量直流电压时, 直流电压表应与被测负载并联, 即直流电压表要跨接在被测两点之间, 标“+”的接线端应接被测电压的前一个下标字母所指的端点, 标“-”的接线端则接

被测电压的后一个下标字母所指的端点。测出读数填入表中, 若直流电压表的指针反偏, 应立即交换测试棒, 使直流电压表正偏, 这时的读数取负。按表 1-2 的要求, 测量各两点间的电压。

(4) 电位的测量 测量电位时, 应首先选定参考点。然后将直流电压表跨接在被测点与参考点之间, 标“+”的接线端应接被测点, 标“-”的接线端则接参考点。测出读数填入表中, 若直流电压表的指针反偏, 应立即交换测试棒, 使直流电压表正偏, 这时的电位取负。按表 1-2 的要求, 测量各点的电位。

表 1-2 测量结果

参考点	电流/mA	电位/V				电压/V			
	I	φ_a	φ_b	φ_c	φ_d	U_{ab}	U_{bc}	U_{cd}	U_{ca}
c									
o									

3. 注意事项

① 按图 1-8 接线时, 应先调准各电阻的阻值, 然后接通电源, 以免因短路而造成仪器仪表损坏。

② 正确选择直流电流表和直流电压表的量程。若量程过大, 指针偏转角度很小, 会造成较大的测量误差; 若量程过小, 指针偏转超过满刻度, 不仅无法读数, 甚至还会损坏仪表。

③ 切忌用电流挡测电压。

4. 分析与思考

用测量数据说明电路中各点电位与参考点的选择是否有关, 电压与参考点的选择是否有关。

二、电路基本定律

(一) 欧姆定律

1. 部分电路欧姆定律

图 1-9 为一段无源电路。当在电阻两端加上电压时, 就有电流流过电阻。实验证明: 流过电阻的电流 I 与加在电阻两端的电压 U 成正比, 与电阻 R 成反比, 即

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{或} \quad U = RI$$

这一结论称为部分电路欧姆定律 (建议采用仿真实验验证)。

欧姆定律反映了电阻的电压、电流关系, 这种关系还可以用图形表示。如果以电压为横坐标, 电流为纵坐标, 可画出电阻的电压与电流之间的关系曲线, 简称伏安 ($V-I$) 特性曲线。

导体的电阻 R 是个常数, 它的电压、电流关系符合欧姆定律, 其伏安特性曲线是一条直线, 这种电阻称为线性电阻, 如图 1-10 (a) 所示。非线性电阻 (如半导体二极管) 的电压、电流关系不符合欧姆定律, 其伏安特性曲线不是一条直线, 它的电阻不是常数, 随电压、电流的改变而改变, 如图 1-10 (b) 所示。

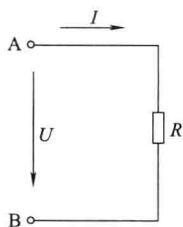


图 1-9 一段无源电路

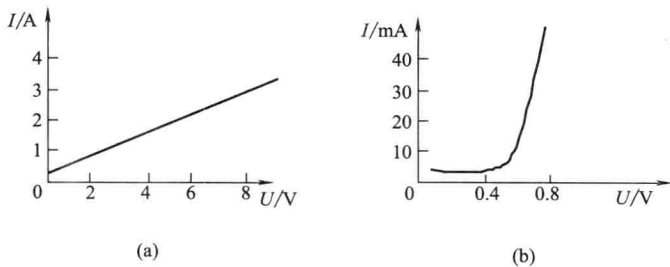


图 1-10 伏安特性曲线

【例 1-2】 某电炉电阻丝的阻值为 48.4Ω , 接在 220V 电源上, 试求流过电炉的电流。

解 流过电炉的电流为

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220}{48.4} = 4.55\text{A}$$

2. 全电路欧姆定律

全电路是指含有实际电源和负载的闭合电路, 如图 1-11 所示。图中的点划线框内代表一个实际的电源, 其中 E 为电源的电动势, r 为电源的内电阻。当开关 S 闭合时, 在闭合电路中有电流, 电流的大小与电源的电动势 E 成正比, 与电源内电阻 r 和外电阻 R 之和成反比, 即

$$I = \frac{E}{r + R}$$

这个规律称为全电路欧姆定律。

推广到任意的无分支闭合回路有

$$I = \frac{\sum E}{\sum R}$$

式中, $\sum E$ 等于无分支回路的所有电动势的代数和 (与电流方向相同的电动势取正, 反之取负); $\sum R$ 等于无分支电路的所有电阻之和。

这个规律又称为无分支电路的欧姆定律。

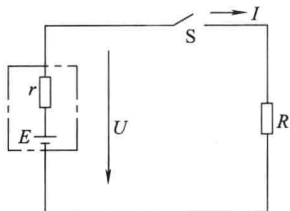


图 1-11 全电路欧姆定律

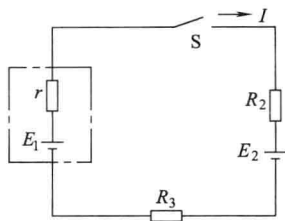


图 1-12 例 1-3 图

【例 1-3】 如图 1-12 所示, 已知 $E_1 = 24\text{V}$ 、 $E_2 = 9\text{V}$ 、 $r = 1\Omega$ 、 $R_2 = 9\Omega$ 、 $R_3 = 20\Omega$, 试求开关 S 闭合后的电流。

解 回路电流为

$$I = \frac{\sum E}{\sum R} = \frac{E_1 - E_2}{r + R_2 + R_3} = \frac{24 - 9}{1 + 9 + 20} = 0.5\text{A}$$

因为 E_1 与电流方向相同, 故取正, E_2 与电流方向相反, 故取负。

【例 1-4】 如图 1-11 所示, 已知电源电动势 $E = 12\text{V}$, 内阻 $r = 0.4\Omega$, 外接负载电阻 $R = 9.6\Omega$ 。①求电源端电压和内压降。②如果外接负载电阻改为 $R = 1.6\Omega$, 电源端电压和内压降又为多少?

解①

$$I = \frac{E}{r + R} = \frac{12}{0.4 + 9.6} = 1.2\text{A}$$

内压降

$$U_r = Ir = 1.2 \times 0.4 = 0.48\text{V}$$

端电压

$$U = E - Ir = 12 - 0.48 = 11.52\text{V}$$

或

$$U = IR = 1.2 \times 9.6 = 11.52\text{V}$$

②

$$I = \frac{E}{r + R} = \frac{12}{0.4 + 1.6} = 6\text{A}$$

内压降

$$U_r = Ir = 6 \times 0.4 = 2.4\text{V}$$

端电压

$$U = E - Ir = 12 - 2.4 = 9.6\text{V}$$

或

$$U = IR = 6 \times 1.6 = 9.6\text{V}$$

可以看出以下几点。

① 电源端电压等于电源电动势减去电源内压降即 $U = E - Ir$ 。

② 电源端电压随着电流的大小而变化, 当电路接小电阻时, 电流增大, 端电压就下降; 当电路接大电阻时, 电流减小, 端电压就上升。

③ 电源端电压的高低还与电源内阻的大小有关, 内阻越大, 内压降越大, 电源端电压就越小。

(二) 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律是分析电路的最基本的定律, 基尔霍夫定律包括电流定律和电压定律, 在介绍基尔霍夫定律之前, 先介绍电路的几个名词。

支路：电路中通过同一电流的一段无分支电路称为支路。

例如，在图 1-13 中有三条支路，即 acb、ab、adb 支路。其中 acb、adb 两支路中分别含有电源 E_1 、 E_2 ，称为有源支路；ab 支路没有电源，称为无源支路。

节点：3 条或 3 条以上支路的连接点称为节点。图 1-13 中有两个节点，a 点和 b 点都是节点。

回路：电路中任一闭合的路径称为回路。图 1-13 中有三个回路，abca、adba、adbca 都是回路。

网孔：内部不含支路的回路称为网孔。图 1-13 中有两个网孔，abca、adba 都是网孔。

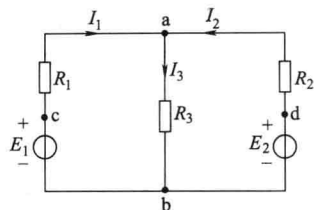


图 1-13 定义支路、节点、回路、网孔

1. 基尔霍夫电流定律（建议采用仿真实验验证）

基尔霍夫第一定律也称节点电流定律（KCL）。它反映了连接在同一节点上的各支路中电流之间的关系。

表述一：对电路中任意一个节点，流入节点的电流之和必定等于从该节点流出的电流之和，即

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}} \quad (\text{所有电流均为正})$$

表述二：对电路中任意一个节点，通过节点电流的代数和等于零，即

$$\sum I = 0 \quad (\text{若假定流入节点的电流取正，流出节点的电流取负})$$

【例 1-5】已知图 1-14，求 I_7 。

解 根据 $\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}}$ ，得

a 节点电流方程： $I_1 + I_3 = I_2 + I_4$

b 节点电流方程： $I_4 + I_5 = I_6 + I_7$

求得 $I_7 = 1\text{A}$ 。

基尔霍夫第一定律不仅适用于节点，也可推广应用于任意假定的封闭面。

如图 1-15 所示的电路，假定一个封闭面 S 把部分电路全部包围起来。则流进封闭面 S 的电流等于从封闭面流出的电流，故得 $I_1 + I_2 + I_3 = 0$ 。

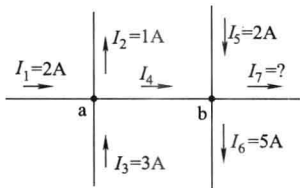


图 1-14 例 1-5 图

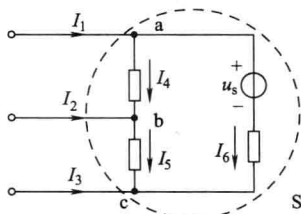


图 1-15 基尔霍夫第一定律推广应用于封闭面

2. 基尔霍夫电压定律（建议采用仿真实验验证）

基尔霍夫第二定律也称回路电压定律（KVL）。它反映了回路中各部分电压之间的相互关系。

表述一：在任一闭合回路中，沿回路绕行的各段电压的代数和等于零，即

$$\sum U = 0$$

电压参考方向与回路绕行方向一致时取正号，相反时取负号。

表述二：在任一闭合回路中，沿回路绕行的各个电阻上电压的代数和等于各个电动势的代数和，即

$$\sum IR = \sum E$$