

中等职业教育系列教材

电工基础

主 编 薛鉴章

副主编 黄 璟 王莉莉 吴 琦



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

中等职业教育系列教材

电工基础

主 编 薛鉴章

副主编 黄 璟 王莉莉 吴 琦

江苏工业学院图书馆
藏书章

西安电子科技大学出版社

2008

内 容
简 介

本书以中等职业学校电子技术应用专业学生所必备的电工基础知识为主线,分别讲述了电路的基本概念、直流电阻电路、复杂直流电阻电路、电容和电感、正弦交流电路、三相交流电路、谐振电路、磁路与变压器等内容。各章均配有精选的例题和习题。

本书体系完整,注重基础,贴近中职教学实际,可作为中等职业学校电子技术应用专业“电工基础”课的教材,也可作为相关工种的岗位培训参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电工基础/薛鉴章主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2008.9
(中等职业教育系列教材)

ISBN 978-7-5606-2070-1

I. 电… II. 薛… III. 电工学—专业学校—教材 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 091013 号

策 划 杨丕勇

责任编辑 张 玮 杨丕勇

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西光大印务有限责任公司

版 次 2008年9月第1版 2008年9月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 13.25

字 数 303千字

印 数 1~4000册

定 价 18.00元

ISBN 978-7-5606-2070-1/TM·0048

XDUP 2362001-1

如有印装问题可调换

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

中等职业教育系列教材

编审专家委员会名单

主任：彭志斌（广东省佛山市顺德区陈村职业技术学校校长 中学高级教师）

副主任：徐益清（江苏省惠山职业教育中心校教务主任 高讲）

孙 华（张家港职业教育中心校机电工程部主任 中学高级教师）

计算机、电子组 组长：徐益清(兼)（成员按姓氏笔画排列）

王霁虹（深圳龙岗职业技术学校教务副主任 高级工程师）

王新荣（杭州市萧山区第三中等职业学校计算机教研组组长 中学高级教师）

甘里朝（广州市无线电中等专业学校计算机科副主任 讲师）

江国尧（苏州工业职业技术学院苏高工校区 中学高级教师）

吕小华（深圳华强职业技术学校计算机教研组组长 中学高级教师）

毕明聪（南京市江宁职业教育中心校教务处主任 中学高级教师）

严加强（杭州市电子信息职业学校电子教研组组长 高级教师）

陈 栋（广东省佛山市顺德区陈村职业技术学校实训处主任 中学高级教师）

徐伟刚（江苏省苏州职业教育中心校专业办主任 工程师）

机电组 组长：孙 华(兼)（成员按姓氏笔画排列）

王明哲（陕西国防工业职业技术学院机电系主任 副教授）

冯彦炜（陕西省机电工程学校机电专业科科长 讲师）

张 俊（西安航空职业技术学院机械系主任助理 讲师）

杨荣昌（陕西省机电工程学校科长 高级讲师）

周兴龙（南京市江宁职业教育中心校机电专业办主任 中学高级教师）

前 言

本书是根据 2000 年教育部颁发的《中等职业学校电工基础教学大纲》而编写的，编写时参考了有关行业的职业技能鉴定规范及中级技术工人等级考核标准。

为了适应电工技术在各领域的广泛应用，本书在编写时既考虑到电工基础作为一门专业基础课的特点，又考虑到各生产领域中强弱电的日益融合，同时还考虑到目前中等职业教育所面对的形势，从学生实际出发，突出重点，降低难度，适当减少部分内容，强调定性分析，减少定量计算。每章前设有知识目标、技能目标，每章后有本章小结，有利于学生自学。各章节之间、各知识点之间尽可能构成由浅入深、循序渐进的逻辑体系；注重概念、定理的理解和掌握，采用实验的方法验证定理、运用定理。深入浅出的讲解使本教材既适用于中等职业技工学校三年制电子、电工、机电专业，也可作为相关工种的岗位培训教材。

本书各章学时安排参考意见如下：

内 容	课时分配	内 容	课时分配
电路的基本概念	14	单相正弦交流电路	30
直流电阻电路	16	三相交流电路	14
复杂直流电路	18	谐振电路	8
电容和电感	18	磁路与变压器	18

本书由苏州工业职业技术学院老师编写。其中，第 3、7 两章由薛鉴章老师编写；第 1、2 两章由黄璟老师编写；第 5、6 两章由王莉莉老师编写；第 4、8 两章由吴琦老师编写。

由于编者水平有限，本书难免会有不妥之处，恳请使用本书的师生及其他读者予以批评指正。

编 者

2008 年 5 月

第1章 电路的基本概念

本章内容在初中物理的基础上，用工程的观点对电路的基本概念加以阐述，为今后各章的学习打好扎实的理论基础。

知识目标

- ◆ 理解电流、电压、电位、电动势、电阻、电能、电功率等电路的基本概念。
- ◆ 掌握电阻定律、欧姆定律、焦耳定律等基本定律。
- ◆ 熟练运用全电路欧姆定律。
- ◆ 掌握电路中各点电位以及任意两点间电压的计算。

技能目标

- ◆ 能区分电位与电压、电压与电动势、电能与电功率；具有计算实际电路中基本物理量的能力。
- ◆ 会应用电阻定律、欧姆定律、焦耳定律，分析和解决生产、生活中的实际问题。
- ◆ 会使用仪表测量电流、电压等。

1.1 电 流

我们知道生活中的白炽灯之所以会发光发热，是因为有电流流过电灯内部。那么到底什么是电流？电流是怎么形成的，又是怎样流动的，人们又是怎样来控制它的呢？

1.1.1 电流的形成

如图1-1所示，有A、B两个带电体，A带正电，B带负电。我们用一根金属导线连接两个带电体，发现导线中有电荷的定向移动。这是为什么呢？

因为金属导线中存在着大量带负电的自由电子，在无外加电场时，这些自由电子做着无规则的热运动。当导线两端在A、B带电体的作用下产生电场时，根据同性相斥、异性相吸的原理，导体中的自由电荷不仅做无规则的热运动，还在电场力的作用下做定向移动，使导线中的自由电子由物体B流向物体A，和A中的正电荷中和。导线中自由电子中和完后，物体B上的



图1-1 电流的形成

负电荷不断补充,这样,导线中一直存在着电子流,直到 A、B 两带电体上的电荷完全中和为止。这种电荷沿一定方向有规律的定向移动称为电流。

不同的导电材料中,可以自由移动的电荷不同。在金属导体中是带负电荷的自由电子在外电场的作用下,逆着电场方向运动形成电流,如图 1-1 所示。在某些电解液或气体中,电流是正离子或负离子在外电场作用下规则运动形成的。

因此,产生电流必须具备两个基本条件:① 内部条件,要有可做定向移动的带电粒子;② 外部条件,要有使带电粒子做定向移动的电场,二者缺一不可。

1.1.2 电流的类型

电流的类型一般有四种,其波形如图 1-2 所示。

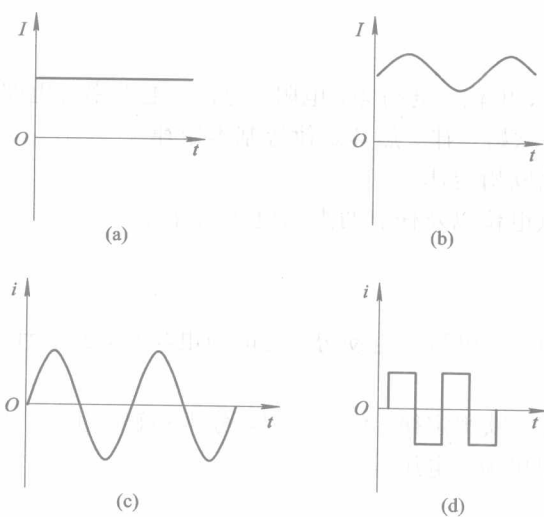


图 1-2 电流的类型

(a) 稳恒直流电流; (b) 脉动直流电流; (c) 正弦交流电流; (d) 非正弦周期交流电流

1. 稳恒直流电流

直流电流的方向是单向的,用 I 表示。电池的电流即属于这种类型。图 1-2(a)所示的波形是一种大小和方向都不随时间而改变的电流,称为稳恒直流电流。直流电通常用 DC (Direct Current) 或 dc 表示。

2. 脉动直流电流

脉动直流电流的特点是电流的方向不变,电流的大小随时间做周期性变化,也记作 DC。图 1-2(b)所示的波形是一种脉动直流电流。某些蓄电池的充电电流即属于这种类型。

3. 正弦交流电流

交流电流的大小和方向都随时间做周期性的变化。交流电流的瞬时值要用小写字母 i 表示。图 1-2(c)所示的波形是一种按正弦函数规律变化的交流电,即正弦交流电流。交流电通常用 AC (Alternating Current) 或 ac 表示。多数企业用电以及日常生活中家用电器和照明使用的电流即属于这种类型。

4. 非正弦周期交流电流

电子技术中还有不按正弦规律做周期性变化的交流电流,叫做非正弦周期交流电流。图1-2(d)所示的波形是矩形波。

1.1.3 电流的大小

电流的大小常用电流强度(简称电流)来表示,用单位时间内通过导体横截面的电荷量来定义。对于直流电流,在任一瞬间 t 通过电路的电荷量 q 都不变,其电流为

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

式中: I ——电流强度,单位为安(A)。

q ——电荷量,单位为库(C)。

t ——时间,单位为秒(s)。

对于交流电流,由于通过电路的电荷量一直在变化,只能取一个非常小的时间间隔 Δt ,若在此时间间隔内通过导体横截面的电荷量为 Δq ,则此时电流为

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

在国际单位制中,电流的单位是安[培],符号为A(安)。如果在1s内通过导体横截面的电荷量是1C,则电流为1A。工程上还常用kA(千安)、mA(毫安)或 μ A(微安)作单位,其关系如下:

$$1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A}, \quad 1 \text{ A} = 10^3 \text{ mA}, \quad 1 \text{ mA} = 10^3 \mu\text{A}$$

电流的大小可以用电流表(安培表)或万用表的电流挡进行测量。先选择好电流表的量程,使其大于实际电流的数值,否则可能烧坏电流表。测量时必须把电流表串联在电路中,使电流从表的正端流入,负端流出,如图1-3所示。

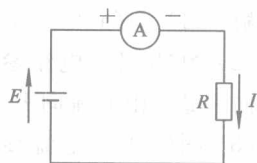


图1-3 电流的测量

1.1.4 电流的方向

电流不仅有大小,而且有方向。正、负电荷有规则的运动都能形成电流,以哪个为准呢?习惯上规定正电荷定向移动的方向为电流方向。因此,在金属导体中电流方向与自由电子定向移动的方向相反,在电解液中电流方向与正离子的移动方向相同,与负离子的移动方向相反。

电路中的电流方向是客观存在的,不借助仪表很难知道。这就给具体分析电路,尤其是分析复杂电路带来了困难。为解决这一问题,引入电流参考方向的概念。参考方向一经选定,电流就成为一个代数量,有正负之分。

分析电路前,先任意假设一个电流的参考方向。

分析电路时,计算结果为正值,表明电流的实际方向与参考方向相同,如图1-4(a)所示;若计算结果为负值,则表明电流的参考方向与实际方向相反,如图1-4(b)所示。

今后电路中所标注的电流方向都是指参考方向,根据电流计算结果的正负和参考方向,就可以确定实际的电流方向了。在未设定参考方向的情况下,讨论电流的正负是毫无意义的。

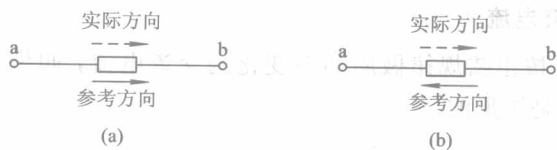


图 1-4 电流参考方向与实际方向

(a) $I > 0$; (b) $I < 0$

电流的参考方向一般用实线箭头表示,可以画在线上,如图 1-5(a)所示;也可以画在线外,如图 1-5(b)所示;还可以用双下标表示,如图 1-5(c)所示,其中, I_{ab} 表示电流的参考方向是由 a 点指向 b 点。这三种表示方式其意义相同,可以互相代用。

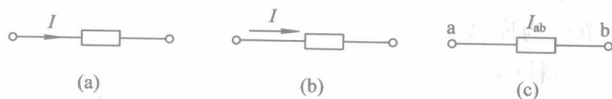


图 1-5 电流参考方向的标注法

【例 1.1】 电路如图 1-6 所示,说明电流的实际方向。

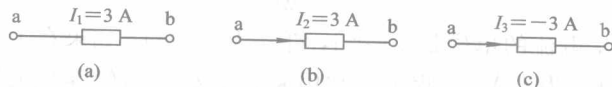


图 1-6 例 1.1 图

解: (1) 图(a)中,没有给出电流的参考方向,所以实际方向不能确定。

(2) 图(b)中,电流参考方向由 a 指向 b, $I_2 = 3 \text{ A} > 0$, 为正值,说明电流实际方向和参考方向一致,由 a 流向 b。

(3) 图(c)中,电流参考方向由 a 指向 b, $I_3 = -3 \text{ A} < 0$, 为负值,说明电流实际方向和参考方向相反,由 b 流向 a。

1.2 电动势、电压和电位

1.2.1 电动势

我们知道日常生活中,高大建筑楼顶都装有水塔,目的是让水能很好地流入高层住户的家中,缓解由于自来水供水压力不足带来的不便。我们利用水泵将水从低处提到高处,使水塔中蓄满水,只有水塔中有水,水管中才有持续不断的水流。

与此类似,图 1-7 所示为一个闭合电路,电源内部的电路叫内电路,电源外部的电路叫外电路。当正电荷由电源正极 a 经外电路移动至负极 b 后,与极板 b 上的负电荷中和,这样两极板上的电荷数就减少了,电流也将减小,直至正、负电荷完全中和,电

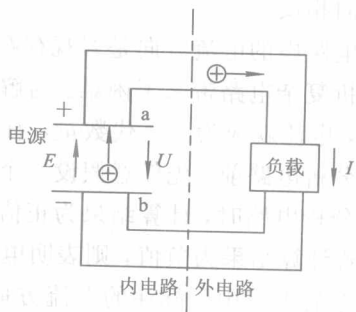


图 1-7 电路中电荷的运动

流中断。要使电路中有持续的电流,需要利用电源内部的电源力(非电场力)不断将正电荷从电源的负极移到电源的正极。电源内部的电源力做功的过程是将其其他形式的能转换为电能的过程。例如:电池中的电源力由化学作用产生,发电机中的电源力由电磁作用产生。因此,电源是把非电能转换成电能的设备。

衡量电源力移动正电荷做功能力的物理量是电动势,用字母“ E ”表示,它等于电源力将单位正电荷从负极移动到正极所做的功,即

$$E = \frac{W}{q}$$

式中: E ——电源电动势,单位为伏(V)。

W ——电源力做的功,单位为焦(J)。

q ——被移送的电荷量,单位为库(C)。

国际单位制中,电动势的单位是伏特,符号为V(伏)。不同的电源具有不同的电动势,例如普通干电池的电动势为1.5 V,我国照明系统的正弦交流电的电动势有效值为220 V。

电动势的方向规定为由电源的负极经电源内部指向正极,如图1-8所示。

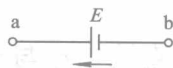


图 1-8 电源电动势方向

1.2.2 电压

我们知道,水总是从水位高的地方流向水位低的地方,水在流动的过程中会做功。电与水类似,如图1-9所示,带正电的带电体A相对大地来说电位高,带负电的带电体B相对大地来说电位低,导线中的电流从高电位端流向低电位端。电流流动也会做功,那是因为电荷在电场中受到电场力的作用而做功。电压就是衡量电场力做功能力大小的物理量。

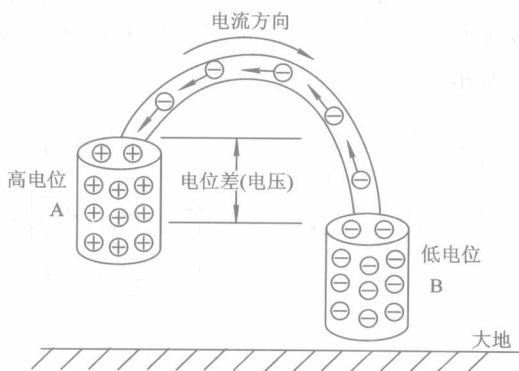


图 1-9 电流与电压示意图

A、B两点间的电压 U_{AB} 在数值上等于电场力将单位正电荷从A点移动到B点所做的功,即

$$U_{AB} = \frac{W}{q}$$

式中: U_{AB} ——A、B两点间的电压,单位为伏特(V)。

W ——电场力将电荷由 A 点移到 B 点所做的功, 单位为焦耳(J)。

q ——由 A 点移到 B 点的电荷量, 单位为库(C)。

国际单位制中, 电压的单位是伏特, 用符号 V(伏)表示。如果将 1 C 的正电荷从 A 点移到 B 点, 电场力所做的功为 1 J, 则 A、B 两点间的电压为 1 V。常用的单位还有千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μ V)等, 它们之间的关系为

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

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

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

电压的大小可用电压表(伏特表)或万用表的电压挡进行测量。测量时应将电压表并联在被测电路两端, 同时将挡位开关设置在适当的量程上。表的“+”端接高电位点, “-”端接低电位点, 如图 1-10 所示。

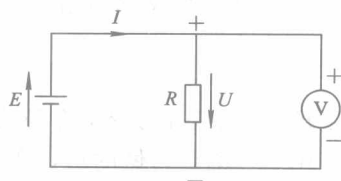


图 1-10 电压的测量

1.2.3 直流电压与交流电压

如果电压的大小及方向都不随时间变化, 则称之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都随时间变化, 则称为交流电压。对电路分析来说, 一种最为重要的交流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做周期性变化。交流电压的瞬时值要用小写字母 u 表示。

1.2.4 电压的方向

电压不但有大小, 而且有方向。电压总是对电路中两点而言的, 电压方向从高电位指向低电位, 因而可用双下标表示。如图 1-11(a)所示, U_{ab} 表明电压方向由高电位(a点)指向低电位(b点)。在电路图中, 电压的方向也可用电压的极性(+、-符号)表示, 由正极指向负极, 如图 1-11(b)所示。

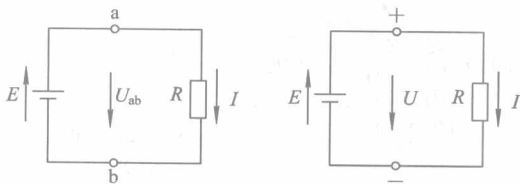


图 1-11 电路中电压的方向

(a) 高电位指向低电位; (b) 正极性指向负极性

和电流一样, 在计算时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。若计算结果为正值, 则说明电压的实际方向与参考方向一致; 若计算结果为负值, 则说明电压的实际方向与参考方向相反。

电压的参考方向可以用实线箭头表示, 见图 1-12(a); 也可以用正负极性表示, 见图 1-12(b), 正极性指向负极性的方向就是电压的参考方向; 还可以用双下标表示, 见图

1-12(c), 其中前一个下标代表正电荷运动的起点 a , 后一个下标代表正电荷运动的终点 b , U_{ab} 表示电压参考方向由 a 指向 b 。这三种表示方式的意义相同, 可以互相代用。

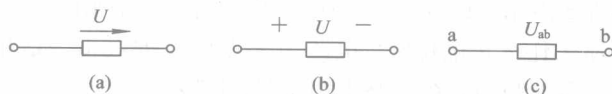


图 1-12 电压参考方向的标注

例如: $U_{ab}=5\text{ V}$, 说明 a 点电位相对于 b 点的电位为正, 两点之间的电压是 5 V ; 同理, $U_{ba}=5\text{ V}$, 说明 b 点电位相对于 a 点的电位为正。同一电路, 两者关系为: $U_{ab}=-U_{ba}$, 即同一电路中, 若 $U_{ab}=15\text{ V}$, 则 $U_{ba}=-15\text{ V}$ 。

对电路进行分析、计算时, 必须在电路图中标出电压的参考极性, 否则讨论电压的正负毫无意义。今后除特别说明外, 电路图中所标极性都是参考极性。

【例 1.2】 电阻 R 上的电压参考极性如图 1-13 所示, 已知 $U_1=3\text{ V}$, $U_2=-2\text{ V}$, 说明电压的实际方向。



图 1-13 例 1.2 图

解: (1) $U_1=3\text{ V}>0$, 为正值, 说明电压实际方向和参考方向一致, 即从 a 指向 b 。

(2) $U_2=-2\text{ V}<0$, 为负值, 说明电压实际方向和参考方向相反, 即从 b 指向 a 。

1.2.5 电动势和电压的区别

电动势和电压的单位都是伏特, 但两者有本质的差别。

电动势衡量的是电源内部电源力(非电场力)做功的本领; 而电压是衡量电场力做功的本领。电源把其他形式的能转换成电能, 在电源两端产生电动势。所以电源力做功是产生电能, 电场力做功是消耗电能。

对于同一个电源来说, 既有电动势又有电压, 如图 1-14(a) 所示。电动势存在于电源内部, 而电压存在于电源两端和外电路上, 如图 1-14(b) 所示。电源电动势在数值上等于电源两端的开路电压。

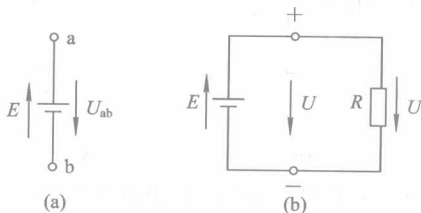


图 1-14 电源电动势和端电压方向

(a) 电源电动势和端电压方向; (b) 闭合电路中电动势和端电压方向

电动势与电压的方向相反, 电动势是从低电位经电源内部指向高电位, 即电位升高的方向; 而电压是从高电位指向低电位, 即电压降低的方向。

1.2.6 电位

电压是电工技术中经常使用的概念,在电子电路中,经常用到的是电位概念。电压和电位是相互关联的,那么什么是电位呢?电路中某点电位的高低,是相对于一个参考点而言的。这个参考点称为零电位点,在电路中用符号“ $\perp$ ”表示。

如图 1-15 所示,“C”为零电位点。

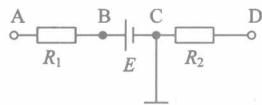


图 1-15 电位分析

原则上,零电位点(参考点)选择是任意的,但习惯上取大地为参考点,即认为大地的电位为零。因为大地容纳电荷的能力非常强,它的电位很稳定,不受局部电荷量变化的影响。电子线路中常取公共点或机壳作为电位的参考点,因此机壳的电位为零,弱电中称为“虚地”。

生活中我们也常使用参考点。例如,某人身高 1.8 m,指的是头顶到脚底的高度。当他站在某建筑物三楼时,如果以大地为基准,三楼楼面离大地的高度为 6 m,则此人头顶离基准(大地)为 7.8 m,脚底离基准为 6 m;若以建筑物二楼楼面为基准,则此人头顶离基准(二楼楼面)为 4.8 m,脚底离基准为 3 m。不管以什么为基准,此人身高始终不变,而身高可看成头顶离基准的距离与脚底离基准的距离的差。

电位在数值上等于电场力把单位正电荷从某点移动到参考点所做的功。电路中某点 A 和参考点之间的电压即为 A 点的电位,用字母 V_A 表示,单位伏特(V)。电位实际上就是电压,是某点和零电位之间的电压。而我们一般所提的电压指的是任意两点间的电压,电压等于两点间的电位差。

因此, A、B 两点间的电压为

$$U_{AB} = V_A - V_B$$

根据 V_A 和 V_B 的大小,分析以下三种情况:

(1) 当 $U_{AB} > 0$, 说明 A 点电位 V_A 高于 B 点电位 V_B 。

(2) 当 $U_{AB} < 0$, 说明 A 点电位 V_A 低于 B 点电位 V_B 。

(3) 当 $U_{AB} = 0$, 说明 A 点电位 V_A 等于 B 点电位 V_B 。

【例 1.3】 分别说出图 1-16 中 A 点的电位、B 点的电位和 AB 两点间的电压。



图 1-16 电位与参考点的关系

(a) C 点为参考点; (b) B 点为参考点

解: (1) 图(a)中, C 点为零电位点, 因此 $V_C = 0$ 。B 点相对于零电位的电位为 $V_B = E_2 = 5\text{ V}$, A 点相对于零电位的电位为 $V_A = E_1 + E_2 = 8\text{ V}$, AB 两点间的电压为 $U_{AB} = V_A - V_B = 8 - 5 = 3\text{ V}$ 。

(2) 图(b)中, B 点为零电位点, $V_B = 0$, A 点相对于零电位的电位为 $V_A = E_1 = 3\text{ V}$, AB 两点间的电压为 $U_{AB} = V_A - V_B = 3 - 0 = 3\text{ V}$ 。

因此,电路中选择不同的参考点,各点的电位也将随之改变。但任意两点间的电压不变。就和某人的身高不随基准点而变化的道理一样。

电路中某点的电位,也用电压表测量,即将表的“-”端接参考点,“+”端接被测点,其读数即该点电位。若电压表反偏,表示被测点电压为负值,调换“+”、“-”表棒再次测量即可。

1.3 电 路

前面我们分别讲解了电流、电动势、电压和电位,现在我们来研究一个闭合回路——电路。图1-17(a)所示是一个实际的门铃电路,门铃的开关按钮装在门外,电源装在墙里,电铃装在室内。有客人按下按钮,电路闭合,有电流流过喇叭,电铃响。这就是电路。生活中的电视机、洗衣机、电冰箱都要和电源、导线构成闭合电路,电视机才出画面,洗衣机才转动,电冰箱才制冷。

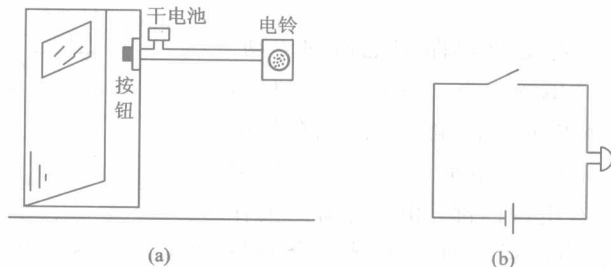


图1-17 门铃电路

(a) 门铃的实际电路;(b) 电路原理图

1.3.1 电路的组成

电路就是电流通过的路径,由电源、负载、导线、开关组成。初学者往往不能一目了然各元件间是怎样连接的,但是,用符号把电路连接情况表示出来,那就很容易看出电路中各元件的连接情况了。如图1-17(b)所示是门铃电路的原理图,其电路的组成如图1-18所示。

1. 电源

电源是提供电能的设备,即能够将其其他形式的能转换成电能的装置。例如:干电池将化学能转换成电能,发电机将机械能转换成电能等。

2. 负载

负载是指电路中的用电设备,能够将电能转换成其他形式能的装置。通常所说的用电器就是电源的负载。例如:电灯将电能转换成光能和热能,电炉将电能转换成热能,电动机将电能转换成机械能等。

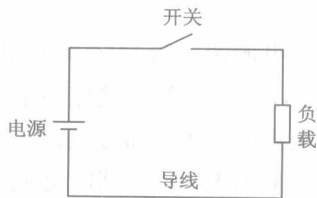


图1-18 电路的组成

3. 导线

导线起连接作用,用来传输和分配电能。导线常用铜、铝等金属材料制成。

4. 开关

开关起控制作用,控制电源与负载的接通或断开。

图 1-18 所示电路的作用是实现电能的传输与转换,常用于电力及一般用电系统中,称为电力电路。电路的另一个作用是实现电信号的传递、处理和存储,这类电路称为信号电路,例如:计算机中的逻辑电路,收音机、电视机中的调谐电路和放大电路等。

1.3.2 电路的状态

电路的状态有通路、开路和短路。

1. 通路

通路指整个电路是闭合回路,电路中有电流流过。

我们来看一下通路状态下电路中电荷的运动。如图 1-19 所示, a 端为电源正极, b 端为电源负极,电源在导线中施加从 a 指向 b 的电场,因此在外电路中,由于电场力的作用,正电荷从 a 经过外电路运动到 b,形成电流。在电源内部,由于电源力的作用,正电荷从 b 经过内电路运动到 a,形成闭合回路。因此,在图中电源内外电流方向都是顺时针的,在电源外部电流是从电源正极流向负极,在电源内部电流是从负极流向正极。

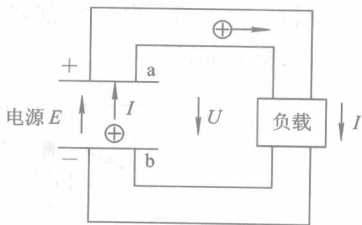


图 1-19 电路中电荷的运动

2. 开路(断路)

开路指电路断开,电路中没有电流,只有电源电动势,此时用电压表测得的电源端电压即电源电动势,如图 1-20 所示。

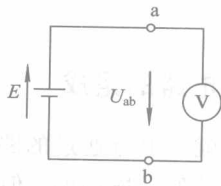


图 1-20 电源电动势的测量

3. 短路

当电源两端被导线直接相连,电流从电源正极流出,经连接导线直接流回电源负极,并未流经负载,这种状态称为短路状态。当负载部分被短接时,即为部分短路。

一般情况下,短路时电流很大,会损坏电源和导线,在电力电路中,应尽量避免。但在电子设备调试过程中,为避免各部分的干扰,有时要将电路某一部分短路,使与调试无关的部分电路无电流而不工作,仅需要调试的部分电路正常工作。

1.3.3 电路图

用规定的图形符号表示电路连接情况的图,称为电路图。

各种电气元件都可以用图形符号来表示,根据国家标准规定,常用的部分电气元件符号如表 1-1 所示。

表 1-1 常用电气元件符号

元件名称	符号	元件名称	符号
电阻器		电感器	
可调电阻器		有铁芯电感器	
电池		电容器	
电灯		可调电容器	
开关		电压表	
相连接的交叉导线		电流表	
不相连接的交叉导线		电压源	
接地		电流源	
熔断器			

1.4 电阻和欧姆定律

1.4.1 电阻

导体中的电荷在定向移动时，常与其他原子或电子碰撞而受到阻碍，这种导体对电流的阻碍作用称为电阻。例如灯泡、电热炉等电器中都存在这种阻碍作用。不仅金属导体有电阻，其他物体都有电阻。电阻用符号 R 表示，单位为欧姆(Ω)。常用的单位还有千欧($k\Omega$)、兆欧($M\Omega$)等，它们之间的关系如下：

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

导体的电阻由它本身的物理条件所决定。实验证明，当温度一定时，金属导体的电阻与导体的长度成正比，与横截面积成反比，还与材料的导电性能有关，即符合电阻定律：

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

式中： ρ ——导体的电阻率，单位为欧·米($\Omega\cdot\text{m}$)。

l ——导体的长度，单位为米(m)。

S ——导体的横截面积，单位为平方米(m^2)。

R ——导体的电阻值，单位为欧(Ω)。

电阻率 ρ 是反映材料导电性能的参数，与材料的几何形状无关，而与导体材料的性质和导体所处的条件有关。在一定温度下，对同一种材料， ρ 是常数。表 1-2 列出了 20°C 时几种常用材料的电阻率。

表 1-2 常用材料的电阻率和电阻温度系数

材料名称		电阻率 $\rho/\Omega \cdot \text{m}(20^\circ\text{C})$	平均电阻温度系数 $\alpha(1/^\circ\text{C})(0^\circ\sim 100^\circ)$
导 体	银	1.59×10^{-8}	3.6×10^{-3}
	铜	1.69×10^{-8}	4.1×10^{-3}
	铝	2.65×10^{-8}	4.2×10^{-3}
	钨	5.48×10^{-8}	4.4×10^{-3}
	镍	7.28×10^{-8}	6.2×10^{-3}
	铁	9.78×10^{-8}	6.2×10^{-3}
	锡	1.14×10^{-7}	4.4×10^{-3}
	铂	1.05×10^{-7}	4.0×10^{-3}
	锰铜	$(4.2 \sim 4.8) \times 10^{-7}$	0.6×10^{-5}
	康铜	$(4.8 \sim 5.2) \times 10^{-7}$	0.5×10^{-5}
	镍铬丝	$(1.0 \sim 1.2) \times 10^{-6}$	15×10^{-5}
	铁铬铝	$(1.3 \sim 1.4) \times 10^{-6}$	28×10^{-5}
半 导 体	碳(纯)	3.5×10^{-5}	-0.5×10^{-3}
	锗(纯)	0.60	
	硅(纯)	2300	
绝 缘 体	塑料	$10^{15} \sim 10^{16}$	
	陶瓷	$10^{12} \sim 10^{13}$	
	云母	$10^{11} \sim 10^{15}$	
	石英(熔凝)	75×10^{16}	
	玻璃	$10^{10} \sim 10^{14}$	
	琥珀	5×10^{14}	

不同的物质有不同的电阻率,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,表示导电性能越差;反之,表示导电性能越好。通常根据材料电阻率的大小,将材料分为导体($\rho < 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$,如金属)、绝缘体($\rho > 10^7 \Omega \cdot \text{m}$,如石英、塑料)和半导体(ρ 的大小介于导体与绝缘体之间,如锗、硅)。起连接作用的导线,电阻要尽可能小,故常用铜、铝等电阻率小的纯金属制成。有些场合需使用电阻率较大的材料,如灯泡的灯丝用钨丝制作;镍铬合金及铁铬合金常用来制作电热元件,它们在高温时有足够的机械和抗氧化性,且加工性能好。电工用具上的手柄起保护作用,故用橡胶、木头等电阻率很大的绝缘材料制作。

1.4.2 电阻与温度的关系

导体的电阻随温度变化的情况如图 1-21 所示。可见,导体的电阻随温度的变化而改变。