



高职高专工程及交通类通用教材

电工基础

主编 陈 敏 徐亚辉 万 玉 夏卫民



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社



高职高专工程及交通类通用教材

电工基础

主编 陈 敏 徐亚辉 万 玉 夏卫民



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电工基础/陈敏,徐亚辉,万玉,夏卫民主编. —武汉:武汉大学出版社, 2012. 8

高职高专工程及交通类通用教材

ISBN 978-7-307-09952-4

I. 电… II. ①陈… ②徐… ③万… ④夏…… III. 电工学—高等职业教育—教材 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 138794 号

责任编辑:林 莉 责任校对:黄添生 版式设计:马 佳

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:cbs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.whu.edu.cn)

印刷:荆州市鸿盛印务有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:11.25 字数:264千字 插页:1

版次:2012年8月第1版 2012年8月第1次印刷

ISBN 978-7-307-09952-4/TM·30 定价:28.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

前 言

本书是为了顺应快速发展的铁路运输及城市轨道交通对高等职业教育的需要，满足技能型人才的培养目标及专业课的要求而编写的，内容以“需要为准，够用为度”，适当降低了理论深度，精简了内容，在叙述上力求通俗易懂，尽量符合学生的认识规律，突出概念的掌握及应用。本书可以作为高职高专院校机车、车辆、供电、机电类专业学生和教师的教材或参考书，适用于100个左右的教学学时。

本书第1、4章由徐亚辉编写，第2、6章由陈敏编写，第3、5章由万玉编写，第7、8章由夏卫民编写，全书由陈敏统稿。在此仅向关心和支持本书编写的各方人士表示感谢，向参考文献的作者表示感谢。由于编者水平有限，书中难免会有不少疏漏之处，敬请读者提出宝贵意见，以便今后修订。

作 者

2012年5月

目 录

第 1 章 直流电路	1
1.1 电流与电路	1
1.2 电位与电压	6
1.3 电源和电动势	9
1.4 电阻和电阻定律	12
1.5 欧姆定律	14
1.6 电功率和电能	19
1.7 电阻的串联、并联及其应用	21
1.8 电路中各点电位的计算	30
1.9 基尔霍夫定律	32
1.10 电压源和电流源	38
本章小结	44
第 2 章 磁与电磁	46
2.1 电流的磁场	46
2.2 磁感应强度和磁通	49
2.3 磁导率和磁场强度	51
2.4 铁磁物质的磁化曲线与磁滞回线	54
2.5 磁路及磁路欧姆定律	59
2.6 磁场对电流的作用	61
本章小结	66
第 3 章 电磁感应	70
3.1 直导线中的感应电动势	70
3.2 线圈中的感应电动势	72
3.3 自感和自感电动势	75
3.4 互感和互感电动势	77
本章小结	79
第 4 章 电容器	80
4.1 电容器简介	80
4.2 电容器的连接	86

4.3 电容器的充电和放电	91
4.4 电容器中的电场能量	93
本章小结	95
第5章 交流电	97
5.1 概述	97
5.2 正弦交流电的基本概念	99
5.3 正弦交流电的三种表示法	102
本章小结	105
第6章 单相交流电路	106
6.1 纯电阻电路	106
6.2 纯电感电路	109
6.3 纯电容电路	113
6.4 电阻与电感的串联电路	117
6.5 电阻与电容串联电路	121
6.6 电阻、电感和电容串联电路	124
6.7 提高功率因数的意义及一般方法	128
6.8 串连谐振电路	131
6.9 RLC 并联电路	135
6.10 并联谐振电路	138
6.11 常用电气照明电路	141
6.12 涡流与趋肤效应	144
本章小结	146
第7章 三相交流电路	150
7.1 三相交流电动势的产生	150
7.2 三相交流电源的连接	152
7.3 三相负载的联接	154
7.4 三相电路的功率	160
本章小结	161
第8章 输配电及安全用电	163
8.1 发电、输电和配电概况	163
8.2 安全用电常识	164
本章小结	174
参考文献	175

第1章 直流电路

1.1 电流与电路

1.1.1 电荷

如果一个物体带有电荷,那么它对轻小物体有吸引力,我们把这个物体称为带电体。摩擦、感应等,都可以使原本不带电的物体带电,得到电子的物体对外显负电性(带负电荷),失去电子的物体对外显正电性(带正电荷)。

在自然界中存在两种电荷:正电荷和负电荷。电荷之间存在相互作用,相互作用的规律是:同种电荷互相排斥,异种电荷互相吸引。

物体所带电荷数量的多少叫电荷量,简称电量,用 q 或 Q 表示。电量的单位为库仑(C),简称库。一个电子所带的电量的数值是 1.602×10^{-19} 库。物体所带的电量总是一个电子所带电量的整数倍,因此,把 1.602×10^{-19} 库作为基本电量,1 库仑约等于 6.24×10^{18} 个电子所带的电量。

1.1.2 电流

电荷有规则的运动称为电流。运动的电荷又称载流子。载流子是多种多样的,例如,金属导体中的自由电子、电解液中的离子等。

电流的强弱程度(大小)用电流强度(简称电流)这个物理量来表示。电流强度的大小取决于在一定时间内通过导体横截面电荷量的多少。

在单位时间内通过导体横截面的电量,称为电流强度(简称电流),用符号 I 或 $i(t)$ 表示,讨论一般电流时可用符号 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

$$i(t) = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (1.1.1)$$

式中, Δt 为很小的时间间隔,时间的国际单位制为秒(s),电量 Δq 的国际单位制为库仑(C)。电流 $i(t)$ 的国际单位制为安培(A)。

如果在 1 秒(s)内通过导体横截面的电量为 1 库仑(C),则导体中的电流强度就是 1 安培,简称安,以符号 A 表示。除安培外,常用的电流单位还有千安(kA)、毫安(mA)和微安(μA)。它们之间的换算如表 1-1 所示。

表 1-1

单 位 换 算

中文代号	吉	兆	千	百	十	个	分	厘	毫	丝	忽	微	纳	皮
国际代号	G	M	K	h	da	—	d	c	m	dm	cm	μ	n	p
倍数数	10^9	10^6	10^3	10^2	10	—	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}

电路中的电流大小，可以用电流表(安培表)进行测量，如图 1-1 所示。测量时应注意以下几点：

(1)对交、直流应分别使用交流电流表和直流电流表。

(2)电流表必须串接到被测量的电路中。

(3)直流电流表表壳接线柱上标明的“+”“-”记号，应和电路的极性相一致，不能接错，否则指针要反转，严重的甚至损坏仪表。

(4)合理选择电流表的量程。如果量程选用不当，例如用电流表小量程去测量大电流，就会烧坏电流表；若用大量程电流表去测量小电流，会影响测量的准确度。在进行电流测量时，一般要先估计被测电流的大小，再选择电流表的量程。若无法估计，可先用电流表的最大量程挡测量，当指针偏转不到 $1/3$ 刻度时，再改用较小挡去测量，直到测得正确数值为止。

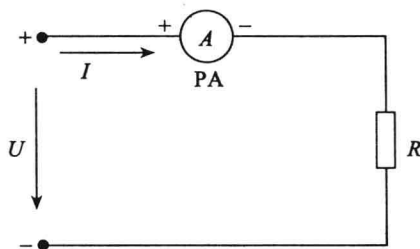


图 1-1 直流电流的测量

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，甚至两者都有。为统一起见，规定以正电荷移动的方向为电流的方向。按照这一规定可以知道，在金属导体中电子移动方向与电流的方向相反；在酸、碱、盐溶液中的正离子移动方向就是电流的方向，而负离子移动的方向与电流的方向相反。

电流的参考方向：在分析或计算电路时，常常要求出电流的方向。但当电路比较复杂时，某段电路中电流的实际方向往往难以确定，此时可先假定电流的参考方向(也称正方向)，然后列方程求解，当解出的电流为正值时，就认为电流实际方向与参考方向一致，如图 1-2(a)所示。反之，当电流为负值时，就认为电流方向与参考方向相反，如图 1-2(b)所示。

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，则称之为稳恒电流或恒定电流，简称为直流(Direct Current)，记为 DC 或 dc，直流电流要用大写字母 I 表示。

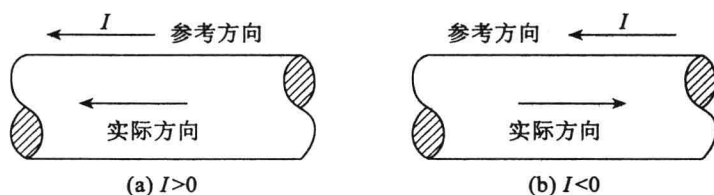


图 1-2 电流的正负

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1.1.2)$$

直流电流 I 与时间 t 的关系在 I - t 坐标系中为一条与时间轴平行的直线。如图 1-3(a) 所示。

电流的方向不随时间变化，但大小随时间改变的直流电叫做脉动直流电。如图 1-3(b) 所示。

如果电流的大小及方向均随时间变化，则称为交流电流。大小及方向均随时间按正弦规律作周期性变化的电流称为正弦交流电流，将之简称为交流 (Alternating current)，记为 AC 或 ac，交流电流的瞬时值要用小写字母 i 或 $i(t)$ 表示。如图 1-3(c) 所示。

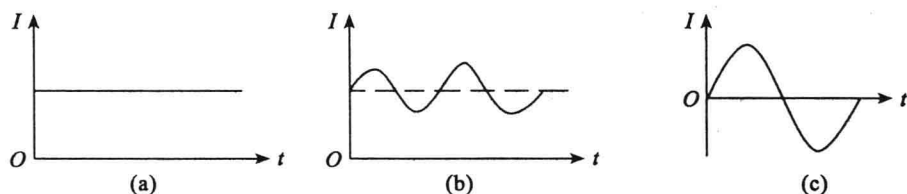


图 1-3 稳恒直流电流、脉动电流与交流电流

【例 1-1】 某导体在 5 分钟内均匀通过的电荷量为 4.5 库仑，求导体中的电流是多少毫安？

解：

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

1.1.3 电流密度

在实际工作中，有时要选择导线的粗细 (横截面)，这就涉及电流密度这一概念。所谓电流密度是指当电流在导体的截面上均匀分布时，该电流与导体横截面积的比值。用字母 J 表示，其数学表达式为：

$$J = \frac{I}{S} \quad (1.1.3)$$

式中当电流用安培 (A) 作单位、横截面积用 mm^2 作单位时，电流密度的单位是 A/mm^2 。

选择合适的导线横截面积就是使导线的电流密度在允许的范围内，保证用电安全。导

线允许的电流密度随导体横截面积的不同而不同。例如，1mm²、2.5mm²铜导线的 J 取 6A/mm²，而 120mm²铜导线的 J 取 2.3A/mm²。当导线中通过的电流超过允许值时，导线将过热，甚至着火发生事故。

【例 1-2】 某照明电路需要通过 21A 的电流，问应采取多粗的铜导线？（设 $J=6\text{A/mm}^2$ ）

解：因为

$$J = \frac{I}{S}$$

所以

$$S = \frac{I}{J} = \frac{21}{6} = 3.5\text{mm}^2$$

1.1.4 电路

电流经过的路径称为电路。电路通常由电源、负载、控制器件和联接导线组成。如图 1-4 所示，各组成部分的作用如下所述。

电源(供能元件)：为电路提供电能的设备和器件(如电池、发电机等)。

负载(耗能元件)：也称为用电器，是使用(消耗)电能的设备和器件(如灯泡等用电器)。

控制器件：控制电路工作状态的器件或设备(如开关等)。

联接导线：将电器设备和元器件按一定方式联接起来(如各种铜、铝电缆线等)。

用国家统一规定的符号来表示电路联接情况的图形称为电路原理图，简称电路图。图 1-5 就是图 1-4 所示电路的电路图。

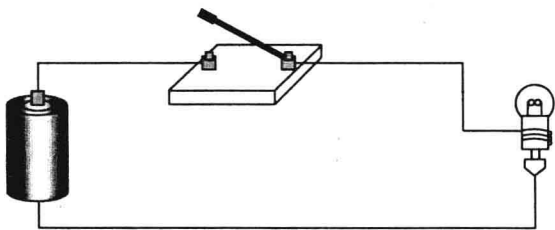


图 1-4 手电筒电路接线图

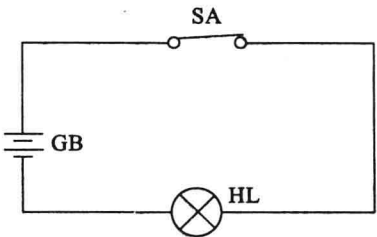


图 1-5 手电筒电路电路图

电路常用设备与元件符号如表 1-2 所示。

表 1-2 部分电工图形符号 (摘自 GB4728-85)

图形符号	名称	图形符号	名称	图形符号	名称
	开关		电阻器		接机壳
	电池		电位器		接地

续表

图形符号	名称	图形符号	名称	图形符号	名称
	发电机		电容器		端子
	线圈		电流表		连接导线 不连接导线
	铁心线圈		电压表		熔断器
	抽头线圈		二极管		灯

电路的主要功能有两类：一类是进行能量的转换、传输和分配；另一类是实现信息的传递和处理。

电路通常有以下三种工作状态：

(1)通路(闭路)：电源与负载接通，电路中有电流通过，电气设备或元器件获得一定的电压和电功率，进行能量转换。

(2)开路(断路)：电路中没有电流通过，又称为空载状态。

(3)短路(捷路)：电源两端的导线直接相连接，输出电流过大对电源来说属于严重过载，如没有保护措施，电源或电器会被烧毁或发生火灾，所以通常要在电路或电气设备中安装熔断器、保险丝等保险装置，以避免发生短路时出现不良后果。

【练习一】

一、填空题

- 规定_____定向运动的方向为电流方向。金属导体中自由电子的定向运动方向与电流方向是_____的。
- 通过一个电阻的电流是 5A，经过 3 分钟，则通过这个电阻横截面的电荷量是_____库仑。
- 自然界中只有_____、_____两种电荷。同种电荷互相_____，异种电荷互相_____。
- 若 3 分钟通过导体横截面的电荷量是 1.8 库仑，则导体中的电流是_____A。
- 导体中的电流为 0.5A，在_____分钟时，通过导体横截面的电荷量为 12 库仑。

二、简答题

- 电路由哪几部分组成？各部分的作用是什么？
- 什么是直流电流？什么是交流电流？

1.2 电位与电压

1.2.1 电位

生活实践告诉人们，水总是由高处往低处流，高处的水位高，低处的水位低。与此类似，电路中各点均有一定的电位，在外电路中电流是从高电位流向低地位。另外，在讲高度时，总有一个计算高度的起点，通常以海平面作为基准参考面。电路中讲电位也必须有一个计算电位的起点，这个点叫做参考点。通常把参考点的电位规定为零。因此参考点又称为零电位点。电位的文字符号用带下标的字母 V 表示，如 V_A ，即表示 A 点的电位。

一般选大地作为参考点(零电位点)。在电子仪器和设备中又常把金属外壳或电路的公共接点的电位规定为零电位。零电位的符号有三种：“ $\perp$ ”表示接大地，“ $\perp$ ”或“ $\perp$ ”表示接机壳或公共接点。

电位的单位为伏(V)。必须特别注意，电路中任意点电位的大小与参考点的选择有直接关系，例如在图 1-6 中，如以 A 点为参考点，则 $V_A = 0V$ ， $V_B = 3V$ ， $V_C = 9V$ ；如以 B 点为参考点，则 $V_B = 0$ ， $V_A = -3V$ ， $V_C = 6V$ 。

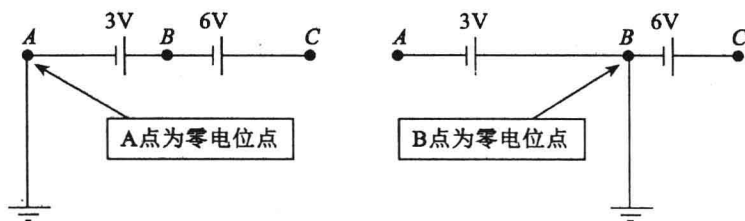


图 1-6 电位的参考点

闭合电路中各点电位高低的不同是靠电源的作用而形成的。如果没有电源的作用，也就不成其为闭合电路，也就不存在高电位和低电位的概念。正如自来水供水系统是水泵的作用把水从水平面提升到高处一样。

在电子电路中，为了使电路简明，常常将电源省略不画，而在电源端用电位(或电动势)的极性和数值标出。图 1-7 左图表示 A 点接电源 E_1 的正极，故用“ $+E_1$ ” (也可用“ $+V_1$ ”)表示， C 点接另一电源 E_2 的负极，故用“ $-E_2$ ”表示。如画出完整电路图，则如图 1-7 右图所示。

1.2.2 电压(电位差)

水位差是形成水流的原因，同样电位差是形成电流的原因。当然水流和电流在本质上是两种不同的运动形式。

电路中某两点之间的电位差称为电压，即

$$U_{AB} = V_A - V_B \quad (1.2.1)$$

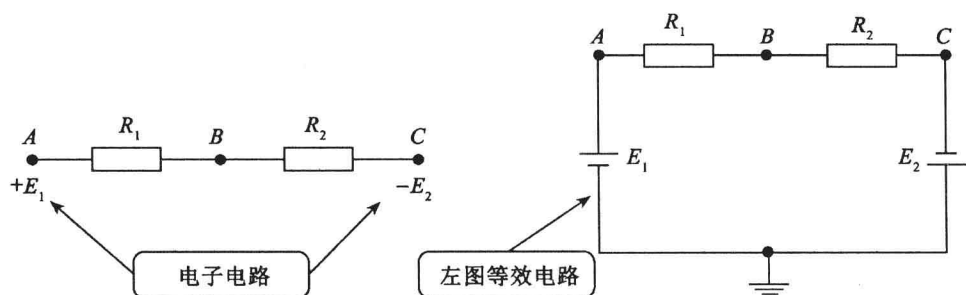


图 1-7 电子电路图中的电源表示法及等效电路图

电压是衡量电场力做功本领大小的物理量。两点之间的电压在数值等于单位正电荷在电场力作用下从一点移到另一点时所做的功，即

$$U = \frac{W}{Q} \quad (1.2.2)$$

如图 1-8 所示，在电场中若电场力将点电荷 Q 从 A 点移动到 B 点，所做的功为 W_{ab} ，则功 W_{ab} 与电荷 Q 的比值就是 A 、 B 两点之间的电压。若电场力将 1 库仑的电荷从 A 点移动到 B 点，所做的功是 1 焦耳，则 AB 两点之间的电压大小就是 1 伏特，简称伏，用符号 V 表示。除伏特以外，常用的电压单位还有千伏(kV)、毫伏(mV)和微伏(μV)。

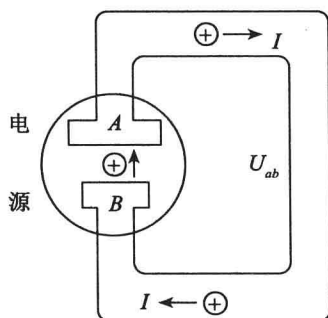


图 1-8 电源中电场力做功

电压和电流一样，不仅有大小，而且有方向，即有正负。电压的方向规定为由高电位端指向低电位端。对于负载来说，规定电流流进端为电压的正端，电流流出端为电压的负端，电压的方向为由正指向负。

电压的方向在电路图中有两种表示方法，一种用箭头表示，如图 1-9(a) 所示；另一种用极性符号表示，如图 1-9(b) 所示。

在分析电路时往往难以确定电压的实际方向，此时可任意假设电压的参考方向，再根据计算所得值的正、负来确定电压的实际方向。如图 1-10 所示。

对一段电路或一个元件上的电压参考方向和电流的参考方向，可以独立地任意指定。

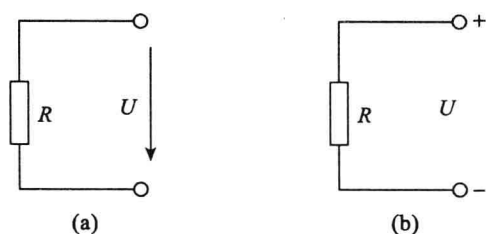


图 1-9 电压的方向

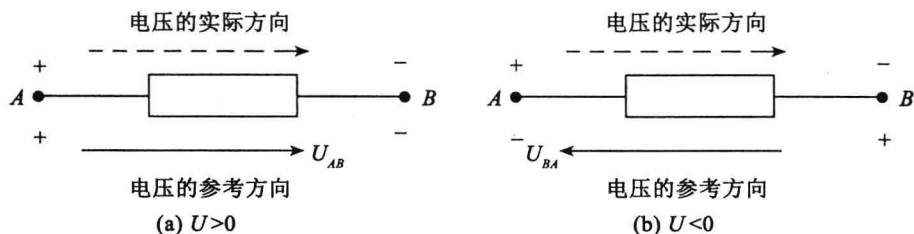


图 1-10 电压的参考方向和它的实际方向

但是为了方便起见，我们常采用关联参考方向。所谓关联参考方向，就是电流参考方向应与电压的参考方向一致，即在外电路中，电流应从高电位端流向低电位端，如图 1-11(a) 所示。这样在电路图上就只需要标出电流的参考方向或电压的参考方向中任一种就可以了。如图 1-11(b)、(c) 所示。

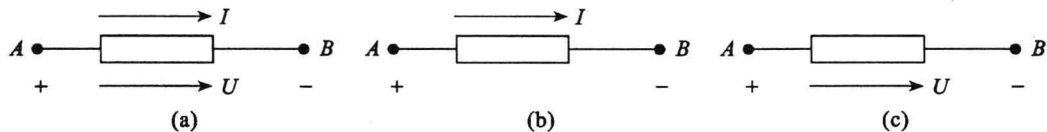


图 1-11 电流和电压的关联参考方向

电路中任意两点之间的电压大小，可用电压表(伏特表)进行测量，如图 1-12 所示。测量时应注意以下几点：

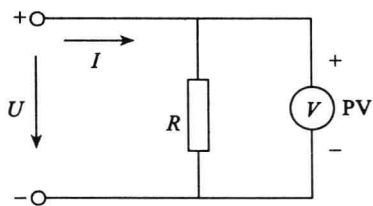


图 1-12 直流电压的测量

(1) 对交、直流电压应分别采用交流电压表和直流电压表。

(2) 电压表必须跨接(并联)在被测电路的两端。

(3) 直流电压表的表壳接线柱上标明的“+”“-”记号, 应和被测两点的电位相一致, 即表的正端(+)接高电位, 表的负端(-)接低电位, 不能接错, 否则指针要反转, 并有可能使电压表损坏。

(4) 合理选择电压表的量程, 其方法和电流表相同。

应该注意: 电位具有相对性, 即电路中某点的电位值随参考点位置的改变而改变; 而电位差具有绝对性, 即任意两点之间的电位差值与电路中参考点的位置选取无关。此外电位有正负之分, 当某点的电位大于参考点(零电位)电位时, 称其为正电位, 反之称其为负电位。例如在图 1-6 中, 若以 A 为参考点, 则 $U_{CA} = V_C - V_A = 9 - 0 = 9\text{V}$; 若以 B 为参考点, 则 $U_{CA} = V_C - V_A = 6 - (-3) = 9\text{V}$ 。

【练习二】

一、填空题

1. 在电路中, a 、 b 两点的电位分别为 V_a 、 V_b , 则 a 、 b 两点间的电压 $U_{ab} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

2. 电位是 $\underline{\hspace{2cm}}$ 值, 它的大小随 $\underline{\hspace{2cm}}$ 的改变而改变, 电位的单位是 $\underline{\hspace{2cm}}$ 。电压是 $\underline{\hspace{2cm}}$ 值。

二、计算题

1. 一盏电灯中流过的电流是 100 毫安, 合多少安培? 5 分钟通过它的电量是多少?

2. 在图 1-13 所示的电路中, 已知 $V_A = 9\text{V}$, $V_B = -6\text{V}$, $V_C = 5\text{V}$, $V_D = 0\text{V}$, 试求 U_{AB} 、 U_{BC} 、 U_{AC} 、 U_{BD} 各为多少?

3. 在图 1-14 中, 分别求出以 B 点和 C 点为参考点时, A 、 B 、 C 三点的电位及 U_{AB} 、 U_{BC} 的大小。

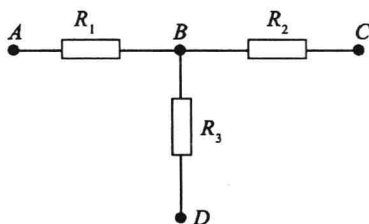


图 1-13

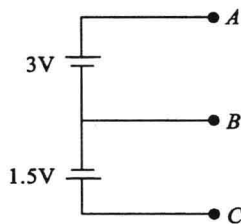


图 1-14

1.3 电源和电动势

1.3.1 电源

我们知道, 在自然状态下, 水的流动总是从高水位处流向低水位处的。同样, 在电场

力的作用下，正电荷总是从高电位移向低电位的。对带有正、负电荷的两个极板(带电体)来说，如果只有电场力对电荷的作用，那么由于电荷的不断移动和正、负电荷的不断中和，势必改变电荷的分布；随着时间的推移，正、负极板的电荷将很快减少，其间的电场也迅速减弱。因此，处于电场内导体中的电流只能是短暂的一瞬。

为了维持导体中的电流，就必须有一个能保持正、负极板间有一定电场的装置，这个装置就是电源(如发电机、电池等)。

电源是把其他形式的能转换成电能的装置。电源种类很多，如：干电池或蓄电池把化学能转换成电能；光电池把太阳能转化成电能；发电机把机械能转化成电能等。电源正极电位高，负极电位低，接通负载后，外电路中电流从高电位流向低电位；在电源内部电流则从负极流向正极。

1.3.2 电源电动势

在电场力的作用下，正电荷总是由高电位经过负载移动到低电位，如图 1-15 所示。当正电荷由极板 A 经外电路移到极板 B 时，与极板 B 上的负电荷中和，使 A 、 B 极板上聚集的正、负电荷数减少，两极板间电位差随之减少，电流随之减小，直至正、负电荷完全中和，电流中断。要保证电路中有持续不断的电流， A 、 B 极板间必须有一个与电场力 F_2 的方向相反的非静电力 F_1 存在，它能把正电荷从 B 极板源源不断地移到 A 极板，保证 A 、 B 两极板间电压不变，电路中才能有持续不变的电流。这种存在于电源内部的非静电力性质的力 F_1 叫做电源力。

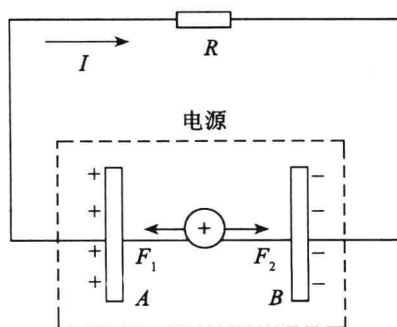


图 1-15 含有电源的电路

在电源内部，电源力不断把正电荷从低电位移到高电位。在这个过程中，电源力要反抗电场力做功，这个做功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，电源力在移动同一数量的电荷时所做的功是不同的，因而将其他形式的能量转换成电场能量的数量也是不同的。为了衡量不同电源转换能量的本领，我们把在电源力的作用下，将单位正电荷从电源负极(低电位点)移向正极(高电位点)所做的功，叫做这个电源的电动势，用符号 E 表示。即

$$E = \frac{W}{q} \quad (1.3.1)$$

式中： W ——电源力移动正电荷所做的功，单位是焦耳(J)。

q ——电源力移动的电荷量，单位是库仑(C)。

E ——电源电动势，单位是伏特(V)。

由于电源内部电源力由负极指向正极，因此电源电动势的方向规定为由电源的负极(低电位)指向正极(高电位)。因此，在电动势的方向上电位是逐点升高的。图 1-16(a)、(b)分别表示直流电动势的两种图形符号。

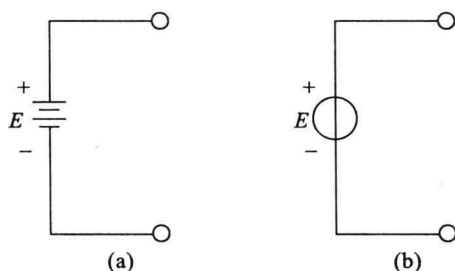


图 1-16 直流电动势的图形符号

在电源内部的电路中，电源力移动正电荷形成电流，电流的方向是从负极指向正极；在电源外部的电路中，电场力移动正电荷形成电流，电流方向是从正极指向负极。

对于一个电源来说，既有电动势，又有端电压。电动势只存在于电源内部；而端电压则是加在外电路两端的电压，其方向由正极指向负极。一般情况下，电源的端电压总是低于电源内部的电动势，只有当电源开路时，电源的端电压才与电源的电动势相等。

特别应当指出的是电动势与电压是两个物理意义不同的物理量。电动势存在于电源内部，是衡量电源力做功本领的物理量；电压存在于电源的内、外部，是衡量电场力做功本领的物理量。电动势的方向从负极指向正极，即电位升高的方向；电压的方向是从正极指向负极，即电位降低的方向。但电压和电动势的单位都是伏特。

【练习三】

一、填空题

1. 把_____的能转换成_____能的设备叫电源。在电源内部电源力把正电荷从电源的_____极移到电源的_____极。
2. 在外电路，电流由_____极流向_____极，是_____力做功；在内电路，电流由_____极流向_____极，是_____力做功。

二、计算题

在电源内部，电源力做了 12 焦耳的功，将 8 库仑的正电荷由负极移到正极，问该电源的电动势应为多少？若要将 12 库仑的正电荷由负极移到正极，那么电源力要做多大的功？