

中等专业学校教学用书

电工基础

冶金工业出版社

TM1
41
3

中等专业学校教学用书

电工基础

吉林冶金电气化学校 沙石心等 编

B269/15

出版社

A 675779

中等专业学校教学用书

电 工 基 础

吉林冶金电气化学校 沙石心等 编

*

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张 32 3/4 字数786千字

1980年1月第一版 1980年1月第一次印刷

印数00,001~28,000册

统一书号: 15062·3527 定价 2.60 元

前 言

本书是根据冶金工业部教材会议制订的中等专业学校电气化与矿山机电等专业教学计划和“电工基础”教学大纲编写的。

全书共分十七章。其主要内容包括：直流电路；电场、磁场与电磁感应；交流电路；线性电路的过渡过程；电工测量及常用仪表等。在各章末均有小结和习题。

“电工基础”是电工类各专业的重要技术基础课。为加强基础理论课的教学，这次重点增编了非线性直流电路，结点电位法，定势源、定流源的等值变换，四端网路，电磁场的初步概念，电介质极化和高斯推广定理，对称分量法，三相电路中的高次谐波， r 、 L 、 C 电路的过渡过程及运算法等内容。书中带有*号的章节和内容，根据专业具体要求，授课时可由教师灵活掌握，决定取舍。

本书由吉林冶金电气化学校沙石心（第一章至第十二章）、李文杰（第十三章至第十七章）编写，最后由沙石心修改定稿。

在本书初稿完成后，曾邀请鞍山冶金工业学校、本溪钢铁学校、太原冶金工业学校、贵州有色金属学校和吉林冶金电气化学校的有关教师对初稿进行了会审。与会人员对本书的初稿提供了许多宝贵的意见，在此致以衷心感谢。

本书为中等专业学校电气化、矿山机电专业教学用书，其他各类电工专业亦可选用。亦可供有关专业人员参考。

编 者

一九七九年二月

目 录

前 言

第一章 直流电路的基本概念	1
1-1 电路	1
1-2 电流	2
1-3 电压和电位	4
1-4 电动势	6
1-5 欧姆定律	8
1-6 电阻与电导、电阻与温度的关系	11
1-7 全电路的欧姆定律	13
1-8 电功与电功率、电能转变为热能	15
1-9 具有几个电势的电路	18
1-10 电路中各点电位的计算	23
1-11 克希荷夫定律	25
习 题	28
第二章 线性直流电路的分析与计算	33
2-1 简单电路	33
2-2 支路电流法	40
2-3 回路电流法	42
*2-4 结点电位法	46
2-5 结点电压法	50
2-6 重迭原理	52
2-7 有源二端网路定理	55
2-8 定势源与定流源的等值变换	59
2-9 电阻的星形联接与三角形联接的等值变换	63
*2-10 四端网路	68
习 题	83
第三章 非线性直流电路	92
3-1 非线性电阻元件	92
3-2 非线性电阻的联接	94
3-3 有源支路及其复联的图解法	98
3-4 计算非线性直流电路的猜试法	100
习 题	103
第四章 电流的磁场及磁路计算	105
4-1 电流的磁场	105
4-2 磁感应强度、磁通	107
4-3 载流导体所受的电磁力、左手定则	111
4-4 毕奥-萨伐尔定律	114

4-5	导磁系数, 磁场强度, 磁压	117
4-6	全电流定律	120
4-7	载流平行导线间的相互作用力	124
4-8	铁磁材料的磁化、磁滞循环	126
4-9	磁路及磁路定律	131
4-10	磁路计算	133
	习 题	140
第五章 电磁感应		144
5-1	直导线中的感应电势	144
5-2	机械能和电能的相互转换	146
5-3	回路中的感应电势	149
5-4	电磁感应定律的本质、电流的三种形态	155
5-5	涡流	159
5-6	自感应、自感电势	160
5-7	磁场能量、能量密度	163
5-8	电感的计算	165
5-9	互感应、互感电势	170
5-10	电磁耦合回路及其磁场能量	173
	习 题	178
*第六章 电场与电容		183
6-1	高斯定理及其应用	183
6-2	电容器及其联接	189
6-3	电容的计算	193
6-4	电介质与高斯推广定理	195
	习 题	202
第七章 交流电的基本概念		204
7-1	交流电及其特点	204
7-2	正弦交变电势的产生	207
7-3	相位和相位差	210
7-4	交变量的有效值与平均值	214
7-5	正弦量的矢量表示法	217
7-6	正弦量的复数表示法	223
附录 运用三角函数计算两个相同频率正弦量的相加		226
	习 题	226
第八章 单相交流电路		229
8-1	电阻电路	229
8-2	电感电路	232
8-3	电容电路	238
8-4	电阻、电感、电容的串联电路	243
8-5	电阻、电感、电容的并联电路	253
8-6	复数形式的克希荷夫定律	257
8-7	阻抗的联接	260

8-8 波形图	268
8-9 交流电路中的谐振现象	270
8-10 功率因数的提高	278
8-11 交流复杂电路计算简介	281
8-12 交流电路中的实际元件	286
习 题	293
第九章 三相交流电路	299
9-1 三相电势的产生	299
9-2 三相发电机绕组的联接	302
9-3 对称负载的星形、三角形联接	307
9-4 三相不对称负载的星形联接	314
9-5 三相不对称负载的三角形联接	322
9-6 三相电路中的功率	323
9-7 三相电路中电流之和与线电压之和的性质	326
9-8 对称分量法	330
习 题	338
第十章 非正弦交流电路	342
10-1 非正弦电流的产生及其研究方法	342
10-2 非正弦周期函数的种类及其分解	344
10-3 在非正弦电势(或电压)作用下线性电路的计算	348
10-4 非正弦电流的有效值与功率	354
10-5 三相电路中的高次谐波	358
习 题	367
第十一章 具有铁心线圈的交流电路	370
11-1 铁磁饱和对磁通、电流波形的影响	371
11-2 磁滞及涡流对电流波形的影响	374
11-3 电阻与漏磁通的影响	377
11-4 铁心线圈的等值矢量图与等值电路图	378
第十二章 电路的过渡过程	380
12-1 过渡过程的产生及换路定律	380
12-2 解线性电路过渡过程的经典法	383
12-3 电阻、电感串联电路的过渡过程	384
12-4 电阻、电容串联电路的过渡过程	395
*12-5 r 、 L 、 C 串联电路的过渡过程	404
*12-6 运算法简介	424
习 题	434
附录 复数变换的计算尺拉法	439
第十三章 电工测量的一般知识	447
13-1 概述	447
13-2 电工测量方法及测量设备的分类	447
13-3 测量误差的概念	448
13-4 电测仪表的技术指标	449

13-5 常用直读指示仪表简介	450
习 题	454
第十四章 电流和电压的测量	456
14-1 概述	456
14-2 磁电系测量机构	457
14-3 磁电系电流表——分流器	459
14-4 磁电系电压表——附加电阻	462
14-5 磁电系直流检流计	463
14-6 直流电位差计	465
14-7 电磁系电流表和电压表	466
14-8 电动系、铁磁电动系电流表和电压表	468
14-9 整流系、热电系和静电系仪表	470
14-10 复用电表	472
习 题	477
第十五章 电功率和电能的测量	480
15-1 直流电功率的测量	480
15-2 单相交流有功功率的测量	481
15-3 低功率因数功率表	483
15-4 三相有功功率的测量	485
15-5 单相交流电能的测量——电度表	486
15-6 三相交流电能的测量	488
15-7 三相无功功率和无功电能的测量	490
习 题	492
第十六章 电参数的测量	495
16-1 用电流表和电压表测量电阻	495
16-2 欧姆表、复用电表的欧姆档	496
16-3 直流单臂电桥	498
16-4 直流双臂电桥	501
16-5 兆欧表	503
16-6 交流电桥	505
习 题	508
第十七章 相位表和频率表	511
17-1 电动系相位(功率因数)表	511
17-2 电动系频率表	512
17-3 振簧系频率表	513

第一章 直流电路的基本概念

1-1 电 路

在日常生活中，大家知道，一合上电闸，电动机就转动起来或电灯就亮起来。这是因为在电动机和电灯中有电流通过，致使电能转换成电动机中的机械能和灯泡中的光能和热能。

电流流通的路径叫做电路，图1-1表示一个最简单的实物电路。通常，一个电路至少应包括下列组成部分：

1. 电源 它的作用是把别种形式的能量转换成电能以供给用电器(如电动机或灯泡)。它是形成电流的能量。常用的电源有干电池、蓄电池、整流电源、发电机等；

2. 负载 即各种用电器的总称。它是把电能转换成别种能量的装置。负载包括各种用电设备：如电灯、电动机、电炉、电风扇等等；

3. 导线 它把电源和负载连接起来以构成电流的通路。其本质起到传输电能的作用；

4. 控制、保护装置 如各种开关、保险丝等。

电能的生产、传输或使用，主要的是通过电路来进行的。由于实用中电路的多样化和复杂性，在理论研究上为了方便起见，都用电路图来代替实物电路。电路图是用规定的图形、符号来代表组成电路的实物的图形。例如图1-2就是图1-1的电路图；图中两条平行线段代表干电池(或蓄电池)，细长线段代表正极，粗短线段代表负极。灯泡用 $\otimes$ ，开关用 $\text{---}\overset{K}{\diagup}\text{---}$ 表示。电路图中还用到许多别的图形、符号，以后要逐步介绍。图1-2是一个无分支电路。结构上比较复杂些的电路多具有分支，叫做分支电路。如图1-3所示的电路，就是由一个电源和四个负载电阻组成的分支电路。在电路中经常会用到下列术语：

支路：就是电路图中的一个分岔电路。如在图1-3中，共有三条支路：即 BF 、 $BCDF$ 、 $BAGF$ 。

结点：三个或三个以上支路的会聚点叫做结点(或节点)。在图1-3中只有 B 或 F 两个结点。 A 、 G 等都不是结点。支路就是连接在两个结点之间的电路。

回路：电路中任何一个闭合的路线，都叫做回路。在图1-3中 $ABFGA$ 、 $BCDFB$ 及 $ABCD FGA$ 等都是回路。此电路中计有三个回路。任何一个回路，都是由两个或两个以上的支路组成的。

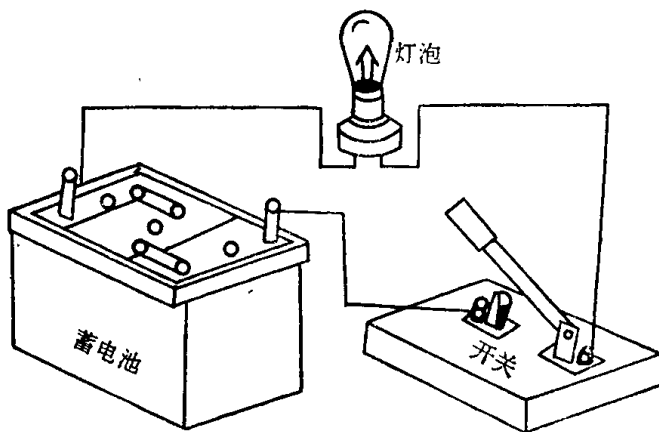


图 1-1 最简单的实物电路

在电路中能量转换和传输的媒质是电流，本章将着重讨论电流在电路中如何流通并如何实现能量转换的基本规律。

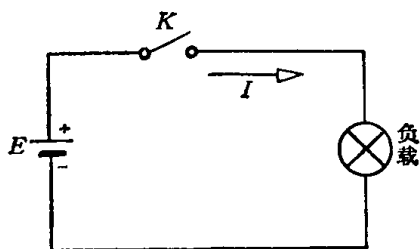


图 1-2 电路图

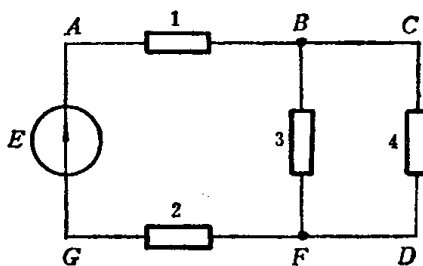


图 1-3 分支电路

思考题

1. 电路由哪些部分组成，各起什么作用？
2. 什么叫做支路、结点、回路？

1-2 电 流

由物理学中知道：导体中存在着大量的自由电荷，它可以在导体中自由运动。平时由于自由电荷的热运动，其运动规律是紊乱的、无规则的，因而不能形成电流。当把导体接到电源上形成闭合电路后，电源就会在导体中形成电场，自由电荷便在电场力的作用下朝着一定方向移动。自由电荷在导体中的定向运动构成了电流。因此，电流就是电荷的定向运动。

在什么条件下才能形成电流呢？首先，必须由导体构成(闭合)回路，其中存在着大量的可以自由移动的自由电荷，这是产生电流的内部根据。在绝缘体中就是由于几乎没有自由电荷，所以很难形成电流。其次，还需要一定的外部条件，即必须对自由电荷加上一定方向的作用力，才能驱使自由电荷朝着一定的方向运动。通常这个外部条件就是由电源提供：即由电源在导体中形成一定方向的电场，自由电荷便在电场力的作用下产生定向运动。图1-4(a)是金属导体中的自由电子逆着电场强度(ϵ)方向移动而形成电流。图1-4(b)是表示在电解液中正离子顺着电场方向、负离子逆着电场方向发生位移形成电流的情形。

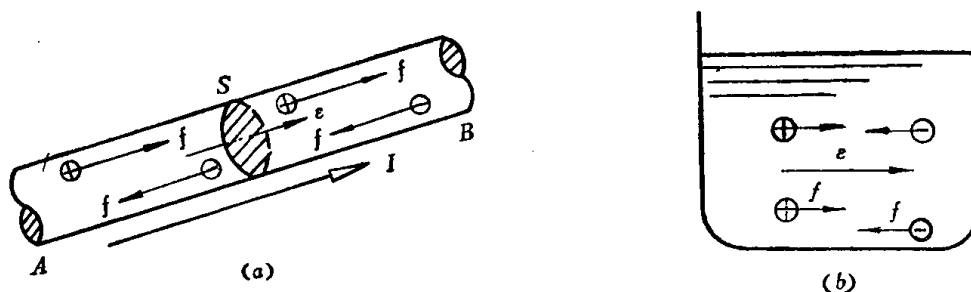


图 1-4 电流的形成

(a) 金属导体中的电流；(b) 电解液中的电流

电流的方向 由于历史上的原因，在习惯上都规定正电荷运动的方向为电流的实际方向。因此，在图1-4中，因为场强(ϵ)是表示正电荷受力方向的，故知：电流的实际方向是

和导体中电场(ε)的方向是一致的。

电流的大小用电流强度表示。电流强度(I)是以单位时间内通过导体横截面的电荷量来计算的,即

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

式中 I ——电流强度,单位为安培(A);

Q ——电荷量,单位为库仑(C);

t ——时间,单位为秒(s)。

假如在单位时间内通过导体横截面的电量不是定值而是变量时,则电流强度,可用下式表示

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

由于经常用到电流强度这一概念,为了简便简称为电流。

在电路图中,电流的方向按照习惯上的画法,用空心箭头表示。

电流的单位,除实用制(安培)以外,尚用下列一些单位

$$1 \text{ 毫安(mA)} = \frac{1}{10^3} \text{ 安} = 10^{-3} \text{ 安}$$

$$1 \text{ 微安}(\mu\text{A}) = \frac{1}{10^6} \text{ 安} = 10^{-6} \text{ 安}$$

$$1 \text{ 千安(kA)} = 10^3 \text{ 安}$$

在电路中还用到电流密度,它表示在导体中与电流垂直的横截面上每单位面积中所通过的电流用 δ 表之,则

$$\delta = \frac{i}{S} \quad (1-2 a)$$

如果,电流在横截面上不是均匀分布的。则电流密度可表为

$$\delta = \frac{di}{dS} \quad (1-2 b)$$

电流密度的单位是每平方米安培(A/m^2),在实际中多用安/厘米²或安/毫米²,其关系是

$$1 \text{ 安/米}^2(\text{A}/\text{m}^2) = 10^{-4}(\text{A}/\text{cm}^2) = 10^{-6}(\text{A}/\text{mm}^2)$$

所以有

$$1 \text{ A}/\text{mm}^2 = 10^6 \text{ A}/\text{m}^2 = 10^4 \text{ A}/\text{cm}^2$$

电流强度是一个标量;因为它沿着电路仅有两个可能的方向,可为正可为负;但电流密度却是一个矢量,它不仅可为正或负,而且它还有许多可能的取向。

如果电路中的电流的实际方向始终不变,则叫做直流,假如电流的大小和方向都保持不变,则叫做恒定电流;仅方向不变但大小却有变化的电流,叫做脉动电流。对于大小和方向都随时间而改变的电流,则叫做交变电流,简称为交流电。

电路除了按结构可分为分支的或无分支的以外,按电流来分,则有直流电路与交流电路。本章讨论的是直流电路;至于交流电路,将在第八章中进行讨论。

思考题

在无分支的直流电路中，若各段导体的材料、截面、粗细都不相同时，各段导体中通过的电流是否相同？又各段导体中的电流密度是否相同？说明其理由。

1-3 电压和电位

一、电压

从上节知道电路中的电流，其大小应与导体中电场的强弱有关。尽管这样，通常很少直接应用电场强度 ε 来说明电路的工作状态，而多采用电压来描述电路的工作情形。这主要是因为：二点间的电压可以很方便地运用仪表进行测量的缘故。

图1-5(a)表示长度为 l_{AB} 的一段导体，其中有电场在作用，设场强为 ε 。在电场作用下，正电荷 Q 将受力 f 而移动。设在电场力 f 作用下有电荷 Q 由 A 移到 B ，移动的距离为 l_{AB} ，则电场力将作功

$$A = f \cdot l_{AB}$$

从物理学中知道：电场力移动单位正电荷由 A 点到 B 点所做的功，定义为 A 、 B 两点间的电压(电位差)，即

$$U_{AB} = \frac{A}{Q} \quad (1-3)$$

式中 A 的单位为焦耳(J)， Q 的单位为库仑时，则电压的单位为伏特，简称为伏(V)。

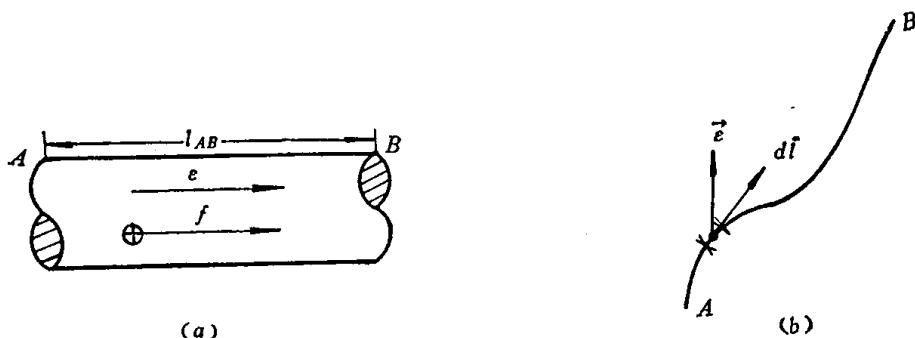


图 1-5 电压

(a) 均匀电场；(b) 非均匀电场

在均匀电场中 $A = f \cdot l_{AB}$ ，代入式(1-3)中，可得到均强电场中的电压为

$$U_{AB} = \frac{f l_{AB}}{Q} = \frac{f}{Q} \cdot l_{AB} = \varepsilon \cdot l_{AB} \quad (1-4)$$

即对一定长度的导体来说，电压是与电场强度成正比的。在实践中我们发现导体两端电压越高，电流就越大，就是因为电压越高、导体中的电场越强的缘故。

① 在非均匀电场中[参照图1-5(b)]，因为功 $A = \int_l \vec{f} \cdot d\vec{l}$ ，而 $\vec{f} = \vec{\varepsilon} \cdot Q$ ，

故

$$A = \int_l \vec{\varepsilon} \cdot Q \cdot d\vec{l} = Q \int_l \vec{\varepsilon} \cdot d\vec{l}$$

根据电压的定义，则有

$$U_{AB} = \frac{A}{Q} = \int_l \vec{\varepsilon} \cdot d\vec{l} = \int_A^B \vec{\varepsilon} \cdot d\vec{l}$$

故知：两点间的电压仅决定于场强 ε 以及起点与终点的位置，而与所循行的路径无关。

在电路中用电压来表明电场的作用强弱是比较方便的, 因为电压不仅容易测量, 而且将会看到运用电压还便于计算功率和电能。

不过在使用中要注意电压的正负。

首先, 必须明确电压总是指电路中两点之间的电压。既是两点, 就有一个先后次序问题; 例如图 1-5 中的 A 、 B 两点, 如果正电荷从 A 到 B , 是电场力做了正功, 电压为正; 那么, 反过来从 B 到 A , 则必须有外力做功, 电场将获得能量, 或者说电场力将做负功, 电压就应为负。可见两点间次序颠倒了, 电压就会差一个负号:

$$U_{AB} = -U_{BA} \quad (1-5)$$

所以, 在说到电压时, 必须明确从哪点到哪点, 除用文字下标来表示次序(如 U_{AB} 或 U_{BA}) 外, 在电路图上通常用实心箭头来表示这种次序。例如在图 1-6 中, 用箭头 U_1 表示从 A 到 B 的电压, 即 $U_1 = U_{AB}$; 箭头 U_2 表示从 B 到 C 的电压, 即 $U_2 = U_{BC}$, 同理, $U_3 = U_{CD}$, $U_4 = U_{AD}$ 。

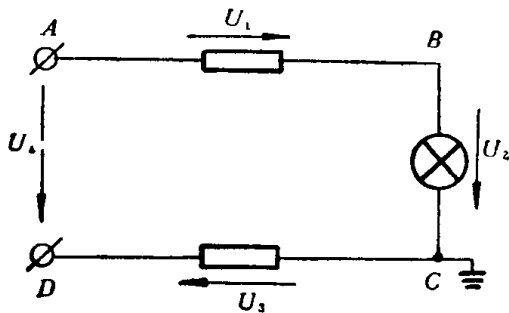


图 1-6 例1-1用图

例1-1 在图1-6电路中, 已知: $U_1=1$ 伏, $U_2=3$ 伏, $U_3=0.5$ 伏。试求电压 U_4 , U_{AC} 和 U_{DB} 。

解 由图可知

$$U_4 = U_{AD} = U_{AB} + U_{BC} + U_{CD} = U_1 + U_2 + U_3$$

故
$$U_4 = 1 + 3 + 0.5 = 4.5(\text{V})$$

同理,
$$U_{AC} = U_{AB} + U_{BC} = U_1 + U_2 = 1 + 3 = 4\text{V}$$

计算 U_{DB} 时, 要注意正负号

$$U_{DB} = U_{DC} + U_{CB} = -U_3 + (-U_2) = -0.5 - 3 = -3.5\text{V}$$

或
$$U_{DB} = U_{DA} + U_{AB} = -U_4 + U_1 = -4.5 + 1 = -3.5\text{V}$$

二、电位

为了方便起见, 可在电路中选择一点做为参考点(电位为零), 而把电路中各点对于参考点的电压定义为各点的电位。例如在图 1-6 中, 如选取 C 点为参考点($\varphi_C=0$)时, 则 A 点的电位为

$$\varphi_A = \varphi_A - \varphi_C = U_{AC} \quad (1-6)$$

即 A 点对 C 点(参考点)的电压, 就是 A 点的电位。

同理, B 点对 C 点的电压, 就等于 B 点的电位

$$\varphi_B = U_{BC}$$

显然, D 点的电位就是 D 点对 C 点的电压

$$\varphi_D = U_{DC}$$

总之, 在电路中, 欲求各点的电位, 只要求出各点对参考点的电压即可。

反之, 若知道了两点的电位, 那么, 两点间的电压就容易求得。例如图 1-6 中 B D 两点间的电压

$$U_{BD} = U_{BC} + U_{CD} = U_{BC} - U_{DC} = \varphi_B - \varphi_D \quad (1-7)$$

就等于 B D 两点间的电位之差。所以, 电压也叫做电位差。从上式可知: 由高电位点到低

电位点的电压为正，反之则为负。所以电压的方向，就是从高电位到低电位的方向。因此，电压又叫电位降落。

工程上常取大地为参考点，即通常认为大地的电位为零。把电路某一点接地，则该点就是参考点。参考点常以接地符号($\equiv$)表示。在电子线路中，常选某一公共线作参考点，这条线又叫“地线”，地线与电子仪器的金属外壳连在一起。

例1-2 在图1-6电路中，如取C点为参考点($\varphi_C=0$)时，求A、B、D各点的电位。

解 在例1-1中已求得 $U_{AC}=4V$

$$\text{故} \quad \varphi_A = U_{AC} = 4V$$

$$\text{又} \quad \varphi_B = U_{BC} = U_2 = 3V$$

$$\varphi_D = U_{DC} = -U_{CD} = -U_3 = -0.5V$$

假如改为B点接地(C点不再接地)，则 $\varphi_B=0$ ，

$$\text{于是:} \quad \varphi_A = U_{AB} = U_1 = 1V \quad \varphi_C = U_{CB} = -U_{BC} = -U_2 = -3V$$

$$\varphi_D = U_{DB} = -U_{BD} = -(U_2 + U_3) = -(3 + 0.5) = -3.5V$$

$$\text{或} \quad \varphi_D = U_{DB} = U_{DA} + U_{AB} = -U_4 + U_1 = -4.5 + 1 = -3.5V$$

$$\text{而电压} \quad U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = 1 - 0 = 1V$$

$$U_{BC} = \varphi_B - \varphi_C = 0 - (-3) = 3V$$

$$U_{CD} = \varphi_C - \varphi_D = -3 - (-3.5) = -3 + 3.5 = 0.5V$$

$$U_{AD} = \varphi_A - \varphi_D = 1 - (-3.5) = 1 + 3.5 = 4.5V$$

两相比较可知：改变参考点的结果，仅会影响到各点电位的数值，而不会改变各点间的电压。

思考题

1. 电压 U_{AB} 为负值的物理意义是什么？为什么 $U_{AB} = -U_{BA}$ 。
2. 电位与电压间的关系是什么？改变参考点对电位和电压各有什么影响？

1-4 电 动 势

前面说到，导体中产生电流的必要条件是：在导体中存在着电场(电压)。如图1-7(a)所示的灯泡中要想有电流通过，就必须在A、B两点间保持一定的电压，或者说A点电位必须经常高于B点电位，这正象图(b)所示水流的情形相似，要保持水流不断，必须维持水位差，而水泵就起着维持水位差的作用。在电路中，电位差的产生和维持都要靠电源的作用。电源依靠外部能量的作用，在它的正负极之间经常保持着一定的电位差，图1-7(a)中的开关一合，灯泡中就会有电流源源不断地流通。

电源实质上是一个能量转换装置。例如发电机是把机械能转换成电能，电池则是把化学能转换成电能。实际上，在电源内部存在着一种电源力(或非静电力)，它驱使正、负电荷各朝相反的方向移动，于是在电源的两极上，积聚不同极性的电荷、形成了正负极。正负两极的电荷在电源内部也要产生电场和电压，电场的强弱与两极上电荷的数值有关，这个电场(即库仑场)对带电质点的作用力(库仑力)与电源力的方向是相反的(在电源内部如图1-8所示)，但是只要电源力大于库仑力，就会在两极上继续积累电荷，直到在电源内部库仑力与电源力大小相等方向相反时，达到动态平衡为止。

电源力将单位正电荷从负极移到正极(反抗库仑力)所做的功，定义为电源的电动势，

或简称为电势，如用 E 代表，则有

$$E = \frac{A}{Q} \text{ (伏)} \tag{1-8}$$

式中 A ——电源力把正电荷 Q ，从负极移向正极所做的功，单位为焦耳；
 Q ——电源力移动的电荷量，单位为库仑。

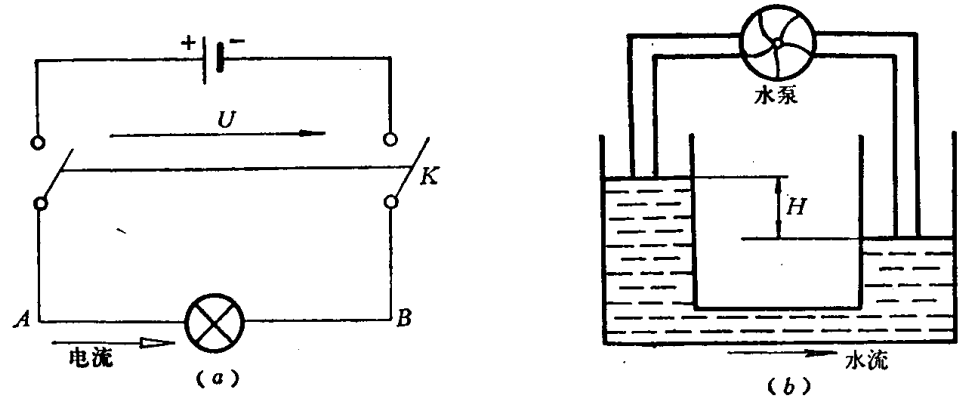


图 1-7 电流和水流

电动势的定义与电压的定义基本相同，单位也相同，都是伏。所不同的是：电压是衡量电场力做功本领的，它表示把单位正电荷从高电位移向低电位电场力所做的功；而电动势是衡量电源力做功本领的，表示把单位正电荷从低电位(负极)移向高电位(正极)电源力所做的功。所以，电势代表了单位正电荷电位升高的数值，而电压则代表了单位正电荷电位降低的数值。由此可知：在电源内部，电势的正方向是从负极指向正极，而电压的正方向却是从正极指向负极，它们的正方向是相反的。显然在外电路断开的条件下

$$U = E \tag{1-9}$$

因此，想要测出电源电动势 E ，只要在开路条件下，用电压表测量电源端电压即可。

由于电源的正负极积累有一定的正负电荷，形成一定的电压，所以，接通负载后，在外电路，电流就从正极经过负载流向负极，结果两极上电荷将减少，破坏了电源内部的平衡(电源力大于库仑力)，这时电源力就要继续分离电荷，以维持一定的电位差，使整个电路源源不断地有电流流通。

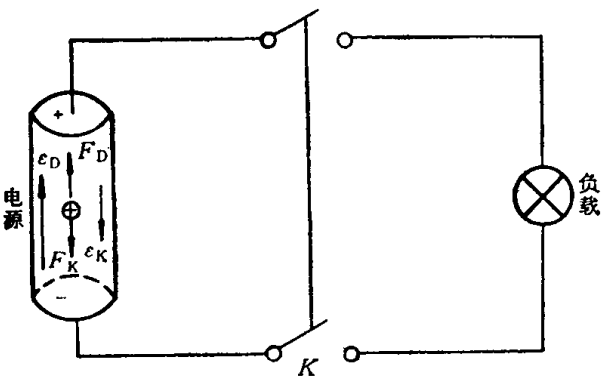


图 1-8 电动势的建立

思考题

1. 试把电动势的定义及方向与电压的定义及方向作一比较，指出其异同，又在式(1-9)中 $U = E$ ，这种表示方法对不对？
2. 开路时，用电压表测出的电源电压，就等于电动势，对不对？为什么？
3. 电动势是怎样维持电流不断流通的？

1-5 欧姆定律

上面几节说明了电路中产生电流的原因。概括地说，就是：由电源电动势产生一定的电位差，在外电路的导体中造成电场，使导体中的自由电荷朝一定方向移动，于是形成了电流。电流在外电路中是从高电位流向低电位，而在内电路中，则依靠电源力的作用，从低电位移向高电位，如此循环不断地流通。

现在进一步确定电流、电压和电动势在数量上的关系。欧姆定律与克希荷夫定律就是概括它们三者之间关系的基本规律。先来讨论欧姆定律，至于后者将在第1-11节中讨论。

一、欧姆定律

在一段不含电源的支路上，加上电压 U （如图1-9），结果电路中通过的电流与所加电压成正比：

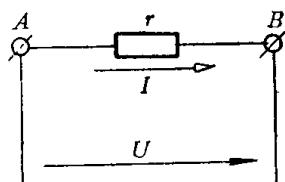


图 1-9 欧姆定律

$$\frac{U}{I} = r \quad (1-10)$$

比例常数 r 叫做这段电路的电阻。电阻的实用制单位是欧姆（ Ω ）简称“欧”。电阻在电路图中用一长方块— $\square$ —，并标以符号 r （或 R ）来表示。显然导体的电阻越大，在同样电压下，通过导体的电流就越小。因此，电阻是表示导体对电流阻碍作用的物理量。式（1-10）也可以改写成

$$U_{AB} = I \cdot r = \varphi_A - \varphi_B \quad (1-11)$$

即当电流 I 通过电阻 r 时产生的电位差等于电流与电阻的乘积。由于电流是从高电位流向低电位的，所以，这种电位差称为电位降落，简称电位降（或电压降）。把式（1-10）改写成下列形式

$$I = \frac{U}{r} \quad (1-12)$$

就是说，通过一段无源电路的电流与所加电压成正比而与电路的电阻成反比。式（1-12）习惯上称为一段无源支路的欧姆定律。它是电工理论中最基本的定律之一，应能牢固掌握，灵活运用。

二、有源支路的欧姆定律

一段无源支路的欧姆定律仅适用于支路中没有电源的条件下才是正确的。这时驱动电荷运动仅靠库仑场的作用。如果支路中不仅有电压 U 而且还有电势 E 同时作用，如图（1-10）所示。那么，支路中的电流 I 和电压 U ，电势 E ，及电阻 r 之间，有什么规律呢？在图示正方向的前提下，因为电势代表电位升：

$$E = \varphi_+ - \varphi_- = \varphi_C - \varphi_A$$

在CB段则根据无源支路的欧姆定律[式(1-11)]，则有

$$Ir = \varphi_C - \varphi_B = U_{CB}$$

从后式减去前式，得到

$$Ir - E = \varphi_C - \varphi_B - (\varphi_C - \varphi_A) = \varphi_A - \varphi_B = U_{AB} = U$$

整理后可得：

$$I = \frac{U + E}{r} \quad (1-13)$$

式 (1-13) 叫做一段含源支路的欧姆定律，它是在电路计算中非常有用的关系式。可以这样来理解它：在图1-10所示的正方向下，电势 E 和电压 U 都与 I 的正方向相同，因此它们都有驱动电流通过电阻的作用，因此都取正号。假如选定的正方向如图1-11 (a) 所示。则由于电势 E 与电流 I 方向相同，故 E 是驱动电流通过电阻的，而电压 U 与 I 的方向相反，是阻碍电流通过的，故

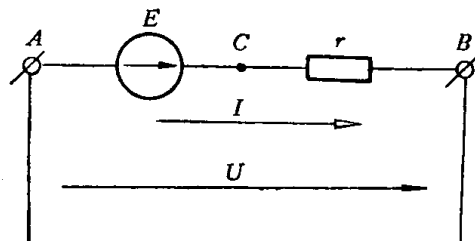


图 1-10 有源支路

$$I = \frac{E - U}{r} \quad (1-14)$$

在图1-11 (b) 中，根据电流的正方向，显然电压与电流方向一致，而电势与电流方向相反，因此有

$$I = \frac{U - E}{r} \quad (1-15)$$

在学习了含源支路欧姆定律后，再观察无源支路欧姆定律可知，后者只是前者的一个特例，因为在图1-10和图1-11 (b) 的电路图中，令电势 $E = 0$ ，即可得到式 (1-10)。并且可知，若在图1-11 (a) 的电路图中，令 $E = 0$ 则

$$I = -\frac{U}{r} \quad (1-16)$$

式中负号说明在支路中电流的正方向是与电压的正方向相反的。

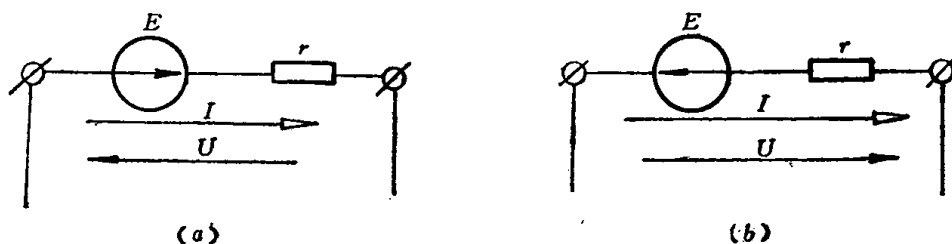


图 1-11 含源支路

实际上，电源内部也是有电阻的，叫做内电阻或简称内阻，用 r_0 表示，如图1-12 (a)，一般情形下因为电源的内阻较小可忽略其影响。若必须考虑电源内阻时，则当有电流（设与 E 的方向相同）通过电源内部时，既需要考虑其电位升 (E)，又要考虑到电位的降落，根据欧姆定律则可表为

$$U_0 = I \cdot r_0 \quad (1-17)$$

习惯上，称为内阻电位降落，或简称内阻压降。因此，有电流通过电源内部时，电位实际升高的数值是：

$$\varphi_A - \varphi_B = E - I \cdot r_0 = U \quad (1-18)$$

比较式 (1-18) 与 (1-14)，两者在形式上是一样的，因此，图1-12 (a)，完全可以改造成成为图1-12 (b)，也就是说内阻可以从电源内部移出而画在电源外部，这样做对电路的分析和计算，并不会有什么影响。