

目 录

第一章 直流电路	1
§ 1 基本概念	1
1. 电流	1
2. 电位与电压	3
3. 电动势	6
§ 2 欧姆定律	8
1. 欧姆定律	8
*2. 导体的电阻	12
§ 3 基尔霍夫定律	14
1. 电路图	14
2. 基氏第一定律	16
3. 基氏第二定律	18
§ 4 电阻的串并联	24
1. 串联	24
2. 并联	24
§ 5 电功率	30
1. 焦耳—楞次定律	30
2. 电源的最大功率输出条件	32
§ 6 电流表与电压表	35
1. 电表的灵敏度与准确度	35
2. 电流表	37
3. 电压表	39
4. 电表的使用	40
5. 伏安法测电阻	43
§ 7 欧姆表	45
1. 基本原理	45
2. 零点调整	47
3. 量程扩展	48
4. 欧姆表的使用	49
*5. 欧姆表的计算	50
§ 8 电桥与电位差计	53
1. 直流电桥	53

2. 电位差计.....	55
3. 电表内阻的测量.....	56
第一章 习题.....	57
第二章 电路的等效变换与分析方法.....	63
§ 9 电压源、电流源及其互换.....	63
1. 恒压源与恒流源.....	63
2. 实际电源的两种表示法.....	63
3. 电压源与电流源的互换.....	64
*4. 电源的外特性.....	67
§ 10 电路的等效.....	69
1. 等效的概念.....	69
2. 三角形 (Δ 形) 与星形 (Y形) 互换.....	72
*3. Δ -Y 互换的证明.....	75
*4. 电源的等效转移.....	76
§ 11 线性电路的迭加与互易特性.....	80
1. 迭加特性.....	80
*2. 互易特性.....	83
§ 12 等效电源定理.....	84
1. 代文宁定理.....	84
*2. 诺尔顿定理.....	88
*§ 13 参数变动定理.....	91
§ 14 支路电流法与行列式.....	93
1. 支路电流法.....	93
*2. 行列式.....	95
§ 15 回路电流法.....	105
1. 回路电流.....	105
2. 回路电流法.....	107
§ 16 节点电位法.....	114
第二章 习题.....	121
第三章 复数与矢量.....	125
§ 17 复数及其四则运算.....	125
1. 复数.....	125
2. 复数的四则运算.....	126
§ 18 复数的几何表示及其代表矢量.....	129
1. 复数的几何表示.....	129
2. 用复数表示矢量.....	132
§ 19 复数的算尺计算法.....	134

1. 极型化成代数型	134
2. 代数型化成极型	135
第四章 正弦交流电路	141
§ 20 正弦交流电	141
1. 交流电	141
2. 正弦交流电	142
§ 21 正弦量的矢量与复数表示	145
1. 矢量与复数表示	146
2. 同频率正弦交流电的矢量加法	148
§ 22 正弦交流电通过纯电阻、交流电的有效值	151
1. 电流电压关系	151
2. 功率关系	152
3. 正弦交流电的有效值	153
§ 23 正弦交流电通过纯电感	155
1. 自感	155
2. 电流电压关系	156
3. 功率关系	159
§ 24 RL串联电路	161
§ 25 正弦交流电通过纯电容	167
1. 电容	167
2. 电流电压关系	168
3. 功率关系	170
§ 26 RC并联电路	172
§ 27 基氏定律的复数形式	175
§ 28 RLC电路	177
1. RLC串联电路	178
2. RLC并联电路	180
§ 29 阻抗的串并联	183
1. 阻抗与导纳	183
2. 阻抗的串联	185
3. 阻抗的并联	186
§ 30 交流电路中的功率	191
1. 阻抗上的功率关系	191
2. 最大功率输出条件	194
§ 31 正弦交流电路的分析方法	195
1. 回路电流法	196
2. 节点电位法	197
3. 等效电源定理	199

第四章 习题	201
第五章 互感电路	206
§ 32 互感电压	206
1. 自感电压	206
2. 互感电压	206
3. 互感线圈的对应端 (同名端)	208
4. 互感电压的方向	209
§ 33 互感电路方程	210
1. 互感线圈的串联	210
2. 含互感的电路	211
§ 34 互感线圈的等效电路	214
1. T型等效电路	214
2. 初级等效电路	215
§ 35 全耦合互感线圈与理想变压器	220
1. 全耦合互感线圈	220
2. 理想变压器	220
*3. 铁心变压器的等效电路	223
*4. 自耦变压器	224
第六章 几种常用电路	227
§ 36 交流电桥	227
1. 电桥原理	227
*2. 平衡的调节	231
§ 37 谐振电路	233
1. 串联谐振电路	233
2. 并联谐振电路	237
3. 谐振法测量元件参数的原理	241
4. 频率特性的测量	243
*§ 38 RC 电路	245
1. 分压电路	245
2. 移相电路	248

注 凡有 * 号的为参考内容。

入门既不难，深造也是办得到的，只要有心，只要善于学习罢了。

第一章 直流电路

§1 基本概念

1. 电 流

在生产实践和日常生活中我们接触过很多电气设备，如电灯、电烙铁及收音机等。这些电气设备一般都用两根金属导线经过开关与电源联接而构成电路，图 1-1 就是电灯的电路。当开关 K 闭合后，经过开关、导线、灯泡和电源构成一个电流的通路，电路中有电流流通，灯泡发光。如把开关 K 断开，电流的通路被切断，电路中就没有电流流通了，因而灯泡熄灭。电流是一种客观存在的物理现象，虽然我们不能直接看到它，但可以通过它的各种效应，如热效应，电磁效应等观察到它的存在。上面的例子就是利用电流热效应，灯泡有电流通过时因热而发光的。

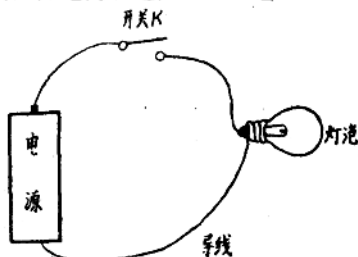


图 1-1

什么是电流呢？电荷有规则的移动形成电流。我们知道，在金属导体中存在着大量自由电子，它们在电场力的作用下便能作有规则的运动，并逆着电场的方向运动。而在另一类导体，如电解液中，电流是由离子有规则移动形成的，其中正离子顺着电场的方向，负离子逆着电场的方向运动。因此，在同一电场作用下，电荷移动有两个可能的方向，视正负电荷而定。那末我们如何决定电流的方向呢？习惯规定正电荷移动的方向为电流的实际方向。这就是说，在金属导体中，我们把实际上负电荷的移动都想像地看作是正电荷沿着相反方向的移动。

为了从数量方面衡量电流的大小，规定在单位时间内通过导体横截面的电量（图 1-2），称为电流强度，也简称电流。所以电流这个名词不仅代表一种物理现象，而且也代表一种物理量。电流强度常用符号 I 表示。如图 1-2，在导体上任取一截面 S ，如果在 Δt 时间内，流过该截面的电荷为 ΔQ ，则电流强度 I 规定为

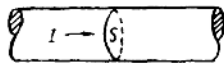


图 1-2

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

如果在导体截面 S 上 1 秒内通过 1 库仑的电量，就规定电流是 1 安培，简称 1 安。单位安培用符号 A 或 a 表示，常用单位还有毫安 (ma)，微安 (μa)。

$$1ma = 10^{-3}a$$

$$1\mu a = 10^{-6}a$$

电流强度 I 如果不随时间变化，就叫做直流或恒定电流。如果电流随时间变化，即不是直流，这时就应把 Δt 取得无限短促，用瞬时电流表示电流的大小，瞬时电流常用 i 表示。

$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{dQ}{dt} \quad (1-2)$$

〔例 1-1〕 有一根导线，每 1 秒钟通过它的横截面的电量有 0.25 库仑，问通过导线的电流是多少？

〔解〕 根据式 (1-1)，通过导线的电流

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{0.25}{1} = 0.25 a$$

或者

$$I = 250 ma$$

测量直流电流的仪表有安培表，毫安表及微安表，并常用符号 A 、 mA 、 μA 标明在相应电表的表面上。在使用中应根据电流的大小选择合适的电流表。在测量时，电流表应串接于电路中，并使被测电流由电表的“+”端进入电表，而由其“-”端流出，如图 1-3 所示。这样联接电表，它的指针才能正确偏转，如果将电表的“+”“-”端接反了，不仅表针会反转而且易损坏电表，使用时应该注意这一点。至于电流表串接在灯泡的前面或后面是没有关系的，这是因为电流具有连续性的缘故。电流的连续性是电流的一个重要性质，在这里电流的连续性表现在一方面电流仅能在闭合的电路中流动，另一方面在仅有一个闭合通路的电路中各处的电流是一样的。

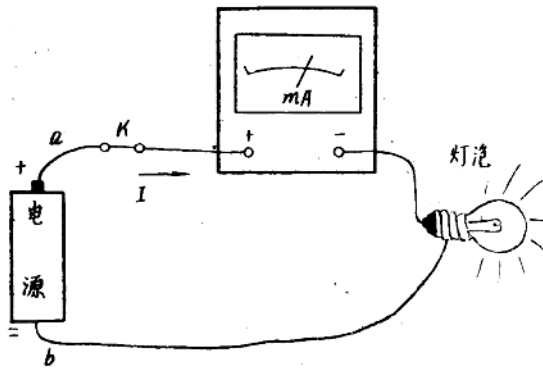


图 1-3

顺便指出，在一个复杂的电路中要事先正确的判断电流的实际方向，往往很困难。这时我们在分析问题以前可任意假定电流的方向，这个假定方向称为正方向。尔后我们按正方向

对电路进行分析和计算，如果计算结果电流得正值，它表明电流的正方向与其实际方向一致，如果计算结果电流得负值，则表明正方向与实际方向相反。由此我们可按电流的正方向以及电流的正负值来决定电流的实际方向。今后在电路图中我们只标明电流的正方向，而不标实际方向以免混淆。

2. 电位与电压

前面已提到电荷在电场力的作用下移动，这时电场力将做功。由于电荷有规则移动形成电流。因此电流与电场力所作的功有密切连系，下面我们来讨论电场力做功的问题。

在电场中电荷从某点 a 沿不同的路径移动至另一点 b 时，电场力做功的情况一般说来有两种可能，一种是沿不同路径所作的功不相同，另一种是不管走那条路径电场力所作的功是一样的。究竟属那种情况决定于电场的性质。在我们所要讨论的电路问题中，其电场具有后一种性质，即电场力所作的功与路径无关。对于具有前一种性质的某些电场问题，有时也可利用电路的理论进行近似地分析。



图 1-4

电场力做功与路径无关的这种特性与重力场做功的特性完全相同。例如物体从大楼的三层下降到二层，无论沿那条路径，重力作的功是一样的，并等于位能的改变量。在重力场中引入了位能的概念以后，分析重力做功的问题就简单多了。这里可仿照重力场在电场中引入位能的概念。我们这样认为，电荷在电场中的任一位置都具有一定的电位能，而电荷在电场中从某点 a 移动至另一点 b 时电场力所作的功等于电位能的改变量。图 1 4 表示产生电场的电荷为 Q，而电荷 Q_0 。在电场中沿图中所示的路径由 a 移动到 b，设 W_a 和 W_b 分别表示电荷 Q_0 。在路径的起点 a 和终点 b 的电位能。则电荷 Q_0 。从 a 移至 b 时，电场力所作的功 A_{ab} 为

$$A_{ab} = W_a - W_b \quad (1-3)$$

上式只能决定电场中电荷 Q_0 。（ Q_0 又称试验电荷）位置改变时电位能的改变量，并不能决定试验电荷在电场中某一点的电位能。为此我们假定产生电场的电荷 Q（正电荷）是固定的，而且试验电荷 Q_0 。（正电荷）受到的是斥力（参考图 1-4）。当试验电荷逐渐远离产生电场的电荷 Q 时，电场力作正功，而且斥力逐渐减小，电位能也逐渐减小。当试验电荷 Q_0 。离开 Q 无限远时，所受斥力为零，电位能最小。这样我们可把离开产生电场的电荷无限远处作为量度电位能的起点，即认为该点的电位能等于零。电位能取为零的点常称为参考点。参考点用符号 o 表示。根据 (1-3) 式，在电场中试验电荷从一点 a 移动到参考点 o 电场力所作的功为

$$A_{a0} = W_a - W_o \quad (1-4)$$

因

$$W_o = 0 \quad (1-5)$$

故

$$W_a = A_{a0} \quad (1-6)$$

(1-6) 式表明在电场中某点的电位能等于试验电荷 Q_0 。从该点移到参考点电场力所作的功。

因为电荷 Q_0 。在电场中移动时，电场力所作的功都正比于电荷 Q_0 。的大小。这样，我们

可将 W_a 与 Q_0 的比值定义出一新的物理量，称为电位。因此电位只与电场中给定点 a 的位置有关，而与 Q_0 无关了。常以符号 φ_a 表示 a 点的电位。

$$\varphi_a = \frac{W_a}{Q_0} \quad (1-7)$$

如果令 $Q_0 = +1$ ，则

$$\varphi_a = W_a \quad (1-8)$$

可见，电场中某点的电位等于单位正电荷从该点沿任意路径移至参考点时，电场力所作的功。

图 1-5 表示在电场中单位正电荷沿路径 abo 移动。容易看出单位正电荷由 a 到 o 电场力所作的功比由 b 至 o 电场力所作的功要大一些。也就是说在电场中 a 点的电位大于 b 点的电位。可见，在电场力的作用下，正电荷是从高电位点移向低电位点的。

在电场中，将单位正电荷 ($Q_0 = +1$) 沿路径从 a 点移至 b 点，电场力所作的功称为 ab 两点之间的电压，用 U_{ab} 表示。电压符号的两个下标，其第一个下标表示路径的起点，第二个表示终点。

由 (1-3) 式及 (1-8) 式可见

$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b \quad (1-9)$$

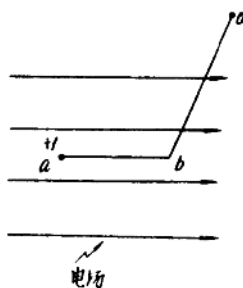


图 1-5

所以在这里电压又等于电位差。应该注意，我们这里所说的“ ab 两点之间”与“ ba 两点之间”的含义不同，前者表示单位正电荷由 a 移至 b ，而后者表示单位正电荷由 b 移至 a 。对应于后者，电压用 U_{ba} 表示，它等于

$$U_{ba} = \varphi_b - \varphi_a \quad (1-10)$$

由于在实际应用中，所需要的一般是两点之间的电位差，而不是某一点的电位。所以常取大地或其他参考点作为量度电位的起点，即认为大地或其他参考点的电位为零。显然这样的规定并不影响计算两点间电压的数值。（参考例 1-2）

在电路中由于参考点可任意选择，所以电路中各点的电位的数值是不确定的。但是参考点已经选定之后，各点电位的数值却是唯一的，这一性质称为电位的单值性。

如果功的单位为焦耳，电荷的单位为库仑，则电位及电压的单位为伏特，简称伏，常用字母 v 表示。

$$1[\text{伏特}] = \frac{1[\text{焦耳}]}{1[\text{库仑}]}$$

常用单位除伏外尚有千伏 (kv)，毫伏 (mv) 微伏 (μv)

$$1kv = 10^3v$$

$$1mv = 10^{-3}v$$

$$1\mu v = 10^{-6}v$$

[例 1-2] 图 1-6 给出某电路的一部分，如有两库仑的正电荷在电场力的作用下由 a 点经 b 点向 c 点运动，已知由 a 点至 b 点电场力做功为 5 焦耳，由 b 点至 c 点电场力做功为 2 焦耳，试求

1. 以c为参考点时各点的电位及 U_{ab} 、 U_{cb} 。
2. 以b为参考点时各点的电位及 U_{ab} 、 U_{cb} 。

[解]

(1) 以c为参考点:

选择c为参考点即表示c点的电位为零

$$\varphi_c = 0$$

b点的电位 φ_b 表示电场力将单位正电荷由b点移至参考点c时电场力所作的功, 即

$$\varphi_b = \frac{W_b}{Q} = \frac{2}{2} = 1\text{v}$$

a点的电位 φ_a 表示电场力将单位正电荷由a点移至c点时电场力所作的功, 这时电场力所作的功应等于电荷由a至b以及由b至c二者之和, 故

$$\varphi_a = \frac{5+2}{2} = 3.5\text{v}$$

电压 U_{ab} 表示ab之间的电位差

$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b = 3.5 - 1 = 2.5\text{v}$$

电压 U_{cb} 表示cb之间的电位差

$$U_{cb} = \varphi_c - \varphi_b = 0 - 1 = -1\text{v}$$

(2) 以b为参考点:

$$\varphi_b = 0$$

a点的电位 φ_a 表示单位正电荷由a移至b电场力所作的功

$$\varphi_a = \frac{5}{2} = 2.5\text{v}$$

c点的电位 φ_c 表示单位正电荷由c移至b电场力所作的功, 但由题意, 电场力使2库仑正电荷由b移至c所作出的功为2焦耳, 现作相反的运动, 这时功应取负值

$$\varphi_c = \frac{-2}{2} = -1\text{v}$$

电压 U_{ab} 和 U_{cb} 分别为

$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b = 2.5 - 0 = 2.5\text{v}$$

$$U_{cb} = \varphi_c - \varphi_b = -1 - 0 = -1\text{v}$$

由此可见, 两种情况下各点的电位数不同, 但两点间的电压是一样的。

在电路中对两点之间的电压我们常用“+”, “-”号标出其电位的高、低端。习惯上也有用在两点之间划一箭头标示的, 方法是箭头的方向是从高电位指向低电位, 即箭头指示电位降低的方向。如图1-7所示。

测量两点之间电压的电表有伏特表、毫伏表等, 并常用符号V、mV标明在相应电表的表

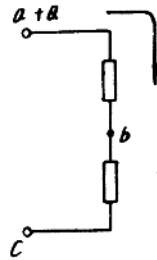


图 1-6



图 1-7

面上。在使用时应根据被测电压的大小选择合适的电压表。在测量时，电压表跨接在被测电压的两点之间，并且电压表的“+”端应接至两点之一的高电位端，电压表的“-”端接至低电位端，不能接反，否则易损坏电表。图 1-8 绘出了测量 ab 两点之间电压时电压表的正确接法。由此可见，在测量电压时最好事先知道两点之间电压的大概数值及其高低电位端，以便于正确的选择和使用电压表。

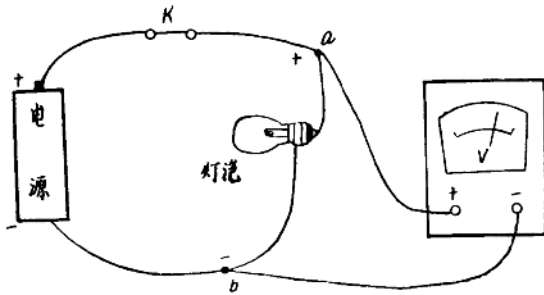


图 1-8

在复杂的电路中要正确地判断任意两点间电压的方向或者说判断任意两点电位的高低是很困难的。通常我们在分析电路以前可任意假定两点间电压的方向，这一假定方向称为电压的正方向，并将电压的正方向标明于图上，如图 1-9 中 (a) 及 (b) 所示，我们规定：

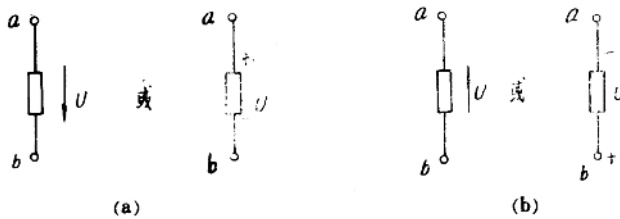


图 1-9

对于图 1-9 (a)

$$U = \varphi_a - \varphi_b \quad (1-11)$$

对于图 1-9 (b)

$$U = \varphi_b - \varphi_a \quad (1-12)$$

按照电压的正方向对电路进行分析计算以后，如果计算结果电压得正值，它表明电压的正方向与实际方向一致，如果计算结果电压得负值，则表明电压的正方向与实际方向相反。因此我们能够根据电压的正方向以及电压的正负值决定电压的实际方向。今后在电路中只标明正方向，而不标实际方向。

3. 电动势

如图 1-10 表示两个带电体 A 及 B，A 带正电荷，B 带负电荷，AB 之间存在着电场，其

方向如图所示。如果用导体将A与B连接，这样正电荷在电场力的作用下由高电位端A经导体移至低电位端B，正电荷由A移至B与B所带负电荷中和。这一过程直到两带电体所带电量平衡为止。我们知道电荷有规则的移动形成电流，在这种情况下电流是不能长久维持下去的。

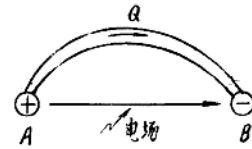


图 1-10

如果要维持电流能持续不断地流动，就必须保持A的电

位高于B的电位。这个任务是由电源来完成的。电源有两个极，一个是正极，一个是负极，将正极接到导体的高电位端A，如图(1-10)，负极接到低电位端，电源的作用就是使正电荷从其负极(即B端)经电源内部流至正极(即A端)，这就能够利用电源的作用保持A的电位高于B的电位了。正电荷从电源的负极经电源内部至正极所需的能量，是不能利用电场力做功来提供的，因为电场力仅能使正电荷从高电位移至低电位，而不能使其相反移动，这个功是非电场力即外来力完成的，例如电池中的化学力。我们将在电源中使单位正电荷从B至A所作的功称为电源的电动势，用符号E表示。

在电路中对于直流电源我们采用长短划表示，长者代表正极，短者代表负极①，如图1-11(a)所示。为了明确起见，也常常在电源的两极上标以“+”“-”号，“+”号标示电源的高电位端，“-”号标示低电位端。电源的另一种表示法如图1-11(b)所示。图中利用带箭头的圆圈表示电源，其中箭头指的是电源的高电位端。即图中a端是高电位端，b是低电位端。

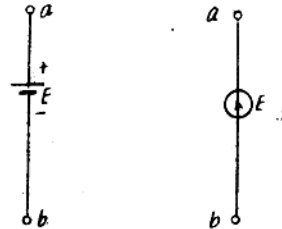


图 1-11

为了讨论问题的方便，我们常用指出电动势的方向来说明电源是怎样连接的。所谓电动势的方向指的是

是从电源负极经电源内部指向正极的方向，即指示电位升高的方向。

当我们建立了电流、电压和电动势这些基本概念以后，再来观察图1-3所示电路，认识就会深入一步。该电路中电源的作用是保持a端的电位高于b端。当开关k闭合使电路接通，由电源的正极经开关、电表、灯泡至电源负极所构成的这段电路上存在电位差或电压，正电荷在电场力的作用下沿导体由其高电位端移向低电位端，或者说在这段电路上电流由其高电位端流向低电位端。而在电源的内部电流是在电动势的作用下由电源的负极流向正极，从而在闭合的电路内电流持续不断地流动。

练 习 题

1 1. 在某半导体中取横截面s，如图1-12所示。设在0.1秒内通过该截面s的电子(负电荷)的总电量为 5×10^{-8} 库仑，同时通过s的空穴(正电荷)的总电量为 0.1×10^{-8} 库仑，电

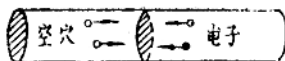


图 1-12

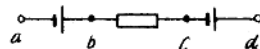


图 1-13

① 有书上用长划代表电源的负极，用短划代表电源的正极，阅读时请注意。

子与空穴的运动方向如图示。问通过该半导体的电流是多少，方向如何？(51ma) ①

1-2. 某电路(如图1-13)中，若以a为参考点，测得 $\varphi_b = 3v$ ； $\varphi_c = 1v$ ； $\varphi_d = 6v$ 。问若以b为参考点， φ_a ， φ_c ， φ_d 各是多少？若以c为参考点， φ_a ， φ_b ， φ_d 又是多少？

$$\begin{pmatrix} -3v, -2v, 3v. \\ -1v, 2v, 5v. \end{pmatrix}$$

1-3. 参考点不同时，任意两点间的电压是否相同？试求上题中在三种情况下的 U_{bc} ， U_{bd} ， U_{da} 。(2v, -3v, 6v)

§2 欧姆定律

1. 欧姆定律

前面介绍了电流电压的概念，本节研究电流电压之间的关系。

我们知道，如果一段导体的两端有电位差，那末导体中的电流总是从其高电位端流向低电位端的。电流与该电位差(电压)之间的关系可用实验的方法决定。进行实验是研究电路的基本方法，应很好掌握。为此我们利用图2-1所示电路来研究导体R两端电压U与通过它的电流I之间的关系。图中导体的a端经电流表接至电源的正极，b端接至电源的负极，故a为高电位端，b为低电位端。依此

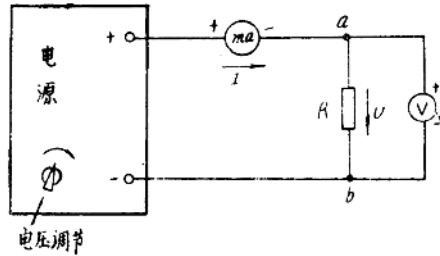


图2-1

决定电流电压的实际方向并正确地联接电表，如图所示。电源两端的电压可通过它的电压调节旋钮来进行变更。实验的方法是调整电源电压使电压表的读数为不同数值时记下电流表的相应读数，并将测量结果记入事先作好的表格中，如表2-1所示。然后按测量的数据在座标纸上绘出相应的关系曲线，如图2-2并进行讨论。

表 2 1

U (v)	0	1	2	3	4	5
I (ma)	0	0.5	1	1.5	2	2.5

从测量结果可以看出导体R两端电压与通过它的电流成正比的关系。

一段导体有电流通过时，其两端的电位分别为 φ_a 与 φ_b ，设电流由导体的a端流向b端，则a为高电位、b为低电位，如图2-3所示，其电流与电位差之间的关系，已用实验证明：当这段导体的状态(如温度等)恒定时，通过导体的电流强度I和导体两端的电位差 φ_a φ_b 成正比，即

① 习题后面的括号中均为该题答案。

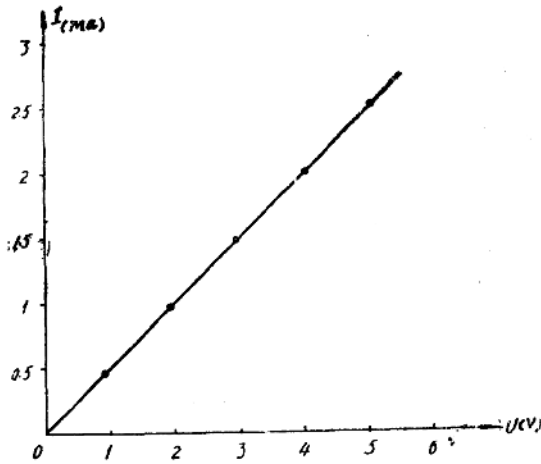


图 2-2



图 2-3

$$I = G(\varphi_a - \varphi_b) \quad (2-1)$$

式中比例常数 G 称为电导。一般用 G 的倒数 R 来表征上述关系。

如果令

$$R = \frac{1}{G} \quad (2-2)$$

于是

$$I = \frac{\varphi_a - \varphi_b}{R} \quad (2-3)$$

R 称为导体的电阻。上式说明：通过导体的电流强度和导体两端的电位差成正比而和导体的电阻成反比，这就是欧姆定律。

电阻 R 是一个与电流、电位差无关的常量，或者说流过 R 的电流与 R 两端的电位差之间存在着线性关系。实验证明这个关系对一些导体在很宽的电流强度范围内是非常精确的，凡遵守这个关系的导体我们说它具有线性电阻或欧姆电阻。以后我们还会遇到其他类型的导体作成的元件或器件，如晶体管，其电流、电位差间的关系不遵守欧姆定律，我们说它具有非线性电阻。仅由电源及线性元件构成的电路称线性电路。本课程仅研究线性电路。

电阻的单位是欧姆，简称欧，用字母 Ω 表示。如电流的单位用安，电压的单位用伏，那么

$$1 \text{ 欧姆} = \frac{1 \text{ 伏特}}{1 \text{ 安培}}$$

电阻数值很大时，常用千欧 ($k\Omega$) 或兆欧 ($M\Omega$) 即百万欧作单位。

电导的单位用姆欧表示，它表示为欧姆的倒数，用符号 \mathcal{S} 代表。

通过电阻的电流与电阻两端的电压成正比，而且电流电压的方向一致（电压的方向是从高电位指向低电位），这是电阻上电压电流所遵守的客观规律，虽然在电路分析中我们可以任意假定电流电压的正方向，但是却不能违背这一客观规律。下面举例说明之。

图2-4(a)表示电压电流的正方向一致。

由欧姆定律

$$I = \frac{\varphi_a - \varphi_b}{R}$$

按图中U的正方向应为

$$U = \varphi_a - \varphi_b$$

故

$$I = \frac{U}{R} \quad (2-4)$$

或者

$$U = IR \quad (2-5)$$

图2-4(b)表示电流与电压的正方向相反。按欧姆定律

$$i = \frac{\varphi_a - \varphi_b}{R}$$

按图中U的正方向与电位差的关系应为

$$U = \varphi_b - \varphi_a = -(\varphi_a - \varphi_b)$$

故

$$i = -\frac{U}{R} \quad (2-6)$$

或者

$$U = -IR \quad (2-7)$$

所以在运用欧姆定律时应注意电压与电流的正方向是否一致。

如果我们总是选择电阻两端电压与通过它的电流的正方向一致。则电阻两端电压的方向在图上可不必标出。这时，当我们顺电流方向从电阻一端走至另一端，则电位降低，当逆电流而行时，电位升高。

另外，由欧姆定律，若电阻两端电压为零，则电阻中没有电流。ab两点间电压为零，表示ab两点等电位。如ab两点间的电阻为零，无论有无电流，ab两点总是等电位的。

电流、电压、电阻的单位如表2-2

[例2-1] 某电路中有一10千欧的电阻，今测得它两端的电压为25伏，求通过它的电流。

[解] 由欧姆定律，通过该电阻的电流。

$$I = \frac{U}{R} = \frac{25}{10 \times 10^3} = 2.5 \times 10^{-3} \text{a} = 2.5 \text{mA}$$

表 2-2

单位 名称	符号	百万分之一	千分之一	1	千	兆(百万)
		10^{-6}	10^{-3}		10^3	10^6
		μ	m		k	M
电流 I		μa	ma	a		
电压 U		μv	mv	v	kv	
电阻 R				Ω	k Ω	M Ω

[例2-2] 有 $0\sim 100$ 微安的微安计, 已测得它的电阻是 1.5 千欧, 问当用微安计测量电流时, 它两端的电压是多少?

[解] 当微安计通过电流为 100 微安时, 它两端的电压

$$U = I \cdot R = 100 \times 10^{-6} \times 1.5 \times 10^3 = 0.15\text{v}$$

就是说, 在用微安计测量时, 它两端的电压在 $0\sim 0.15$ 伏之间。

[例2-3] 如图2-5示电路, 已知 $E = 3\text{v}$ 、 $R = 5\Omega$ 、 $I = 5\text{a}$, 求 U 。

[解] 由题意知, U 即 ab 两点间的电位差, 如果选 b 为参考点, 则 U 等于 a 点的电位 φ_a , 如果图中 c 点的电位求出后则 a 点的电位就容易决定了。由欧姆定律

$$\varphi_c - \varphi_b = IR$$

因 $\varphi_b = 0$ (参考点) 故

$$\varphi_c = IR = 5 \times 5 = 25\text{v}$$

另外由图 2-5 知

$$E = \varphi_c - \varphi_a = 3\text{v}$$

所以

$$\varphi_a = \varphi_c - 3 = 25 - 3 = 22\text{v}$$

故

$$U = 22\text{v}$$

或者从电路图上可直接看出, U 表示从 a 至 b 的电位降, 那末从 a 至 c 电位升高了 3v , 由 c 至 b 降低了 25v , 从 a 至 b 总的电位降应该是 $25 - 3\text{v}$ 即 22v 。

[例2-4] 已知一实际电源的电动势为 3v , 今将 90Ω 的电阻接到电源上发现电源两端的电压下降至 2.7v , 试求电源的内阻。

[解]

电流通过电源内部受到的阻力用电阻 R_i 代表。我们可把一实际电源看成由 R_i 及电动势 E 串联组成, 如图2-6所示。并由题意知 $E = 3\text{v}$ $R = 90\Omega$ 。

根据电流的连续性可知通过电阻 R 与通过 R_i 的电流是一样的。如能求出电流 I 及 ac 两点

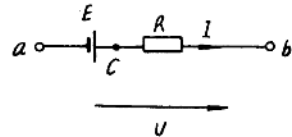


图 2-5

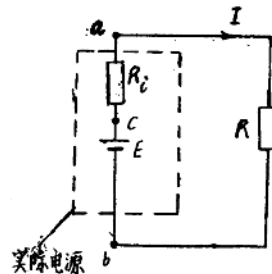


图 2-6

间的电位差则 R_i 就容易决定了。由已知条件，ab 两点间的电位差为 2.7v、设 b 点为参考点，则 $\varphi_a = 2.7v$ 、由图知 $\varphi_c = 3v$ ，故电位差

$$\varphi_c - \varphi_a = 3 - 2.7 = 0.3v$$

已知 R 两端电位差为 2.7v，而 R 为 90Ω 故电流

$$I = \frac{\varphi_a - \varphi_b}{R} = \frac{2.7}{90} = 0.03a$$

因通过 R_i 的电流亦为 I 且由 c 流向 a，根据欧姆定律

$$R_i = \frac{\varphi_c - \varphi_a}{I} = \frac{0.3}{0.03} = 10\Omega$$

故电源内阻为 10Ω 。

*2. 导体的电阻

导体的电阻与导体的长度、粗细以及材料有关。导体越长电阻越大，导体越粗电阻越小。即

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (2-8)$$

式中

R——导体的电阻， Ω

ρ ——导体的电阻率，它决定于导体的材料。欧·(毫米)²/米

L——导体长度，米

S——导体截面积，[毫米]²。

几种常用材料的电阻率见表 2-3。

实验指出，当温度改变时，导体的电阻也要改变，一般金属导体的电阻都很规则的随温度升高而增大。

在平常温度下 ($0^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$)，电阻随温度变化的关系可以表示为

$$R = R_{20}[1 + \alpha(t - 20)] \quad (2-9)$$

式中 R_{20} 是温度为 20°C ① 时的电阻，R 是温度为 $t(^\circ\text{C})$ 时的电阻，单位都是欧， α 是温度系数，即当温度上升(或下降) 1°C 时，所增加(或减少)的电阻与原来的比值，单位是 $1/^\circ\text{C}$ 。多数金属的温度系数为正值，它们的电阻随温度上升而增大。碳的温度系数为负值，它的电阻随温度上升而减小。表 2-3 列出了几种重要导电材料的性能。

常用的电阻分线绕的及薄膜的两种，线绕电阻是用温度系数小而电阻系数大的合金电阻丝绕在瓷管或绝缘片上制成的，其特点是精确度高，温度系数小，稳定性好，薄膜电阻又分炭膜及金属膜两种，这类电阻是在瓷棒上喷导电薄膜制成，金属膜电阻比炭膜电阻稳定、准确而且体积也小。

【例 2-5】 如一长 100 米的铜导线，其截面积为 0.1 平方毫米，求其在 50°C 时的电阻值。

① $^\circ\text{C}$ 表示摄氏度数，如 20°C 表示摄氏 20 度。

常用导电材料性质

表 2 3

材 料 名 称	20°C时的电阻率 ρ (欧·毫米 ² /米)	20°C 时温度系数 α (1/°C)
银	0.016	0.0036
铜	0.017	0.0039
铝	0.028	0.004
黄铜	0.07	0.002
钢	0.15	0.006
锰铜	0.43	0.00001
康铜	0.49	0.000005
碳	60~80	-(0.0002~0.0008)

〔解〕 先求在 20°C 时的电阻值, 根据式(2-8)

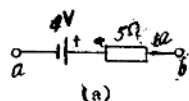
$$R_{20} = \rho \cdot \frac{L}{S} = 0.017 \cdot \frac{100}{0.1} = 17 \Omega$$

又根据式(2-9) 可得在 50°C 时的电阻为

$$R_{50} = R_{20} [1 + \alpha(t - 20)] = 17[1 + 0.0039(50 - 20)] = 19 \Omega$$

练 习 题

2-1.



求图 2-7 电路中的电压 U_{ab} 。

(1V, -9V)

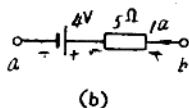


图 2-7

2-2.

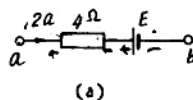


图 2-8 的电路中, 如 $U_{ab} = 10V$, 求电势 E 。

(2V, 18V)

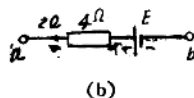


图 2-8