

第一章 电工基础知识

第一节 电的基本概念

一、电荷

自然界中一切物质都是由分子组成的，分子是由原子组成的，原子是由原子核和电子组成的，这些电子沿着一定轨道绕原子核不停地运动。原子核带正电荷，电子带负电荷，原子核所带的正电荷与电子所带的负电荷数量相等，正负电荷的相互作用使整个原子不显电性。这就是说，一般情况下，物体内正电荷的总量和负电荷的总量相等，不呈现带电的特性。

当物体由于某种原因使电子增多或减少时，物体内的正负电荷的总量不再相等，这时物体就显出电性。摩擦起电就是使物体带电的最简单的例子，当两种不同材料的物体互相摩擦时，一种物体要失去电子，另一种物体要得到电子，失去电子的物体带正电，得到电子的物体带负电。

由此可见，物体带电是由于失去或得到电荷造成的。电荷是物质的属性，它不会凭空产生或消失，只能从一个物体转移到另一个物体上，这叫做电荷守恒定律。

我们通常把物体所带电荷数量的多少叫做电量，用 $Q(q)$ 表示，并取库仑做电量的单位。1库仑的电量为 6.25×10^{18} 个电子所带的电量。

二、电场

通过摩擦生电的实验表明，带有正负电荷的两个物体之间有力的作用，而且同性相斥，异性相吸。这是因为在带电体周围存在着电场。电场的主要特性是对处于电场中的电荷产生作用力，称之为电场力。电场的强弱可由电荷在电场中受力的大小来表示。同一电荷，在电场中受力大的地方电场强，而受力小的地方电场弱。实验证明，靠近产生电场的带电体的地方电场强；离带电体越远，电场越弱；而且带电体所带电量越多，它周围的电场也越强。

电场的方向为处于电场中的正电荷“ $+q$ ”所受力 F 的方向 r 。电场的强弱用电场强度衡量，电场强度的常用单位是伏/米。

三、电流

接通电源以后，电气设备才能工作，如合上电源开关，电动机立即就转动起来。这是因为在电动机中有电流通过的缘故。

电流是电荷的定向移动。

电流可以由自由电子定向移动形成，也可以由其它带电微粒的定向移动形成。

电流是用肉眼看不见的，但它的各种表现是可以被觉察到的。我们知道，照明用的灯泡，其照度大小不同，发光的强弱也不同。这是因为通过灯泡的电流大小不同，在灯泡内所做的功不一样的缘故。那么如何来决定电流的大小呢？

电流强度就是用来表示电流大小的一个物理量，电流强度简称电流，用 I 表示。电流强度就是在电场的作用下，单位时间通过导体截面的电量。

设在时间 t 内通过导体截面 S 的电量为 Q ，则电流强度为

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

电流的单位是安培，简称安，用 A 表示。如果每秒钟内通过导体截面的电量为 1 库仑则通过该导体的电流是 1 安。在计算大电流时，常以千安 (kA) 为单位，计算小电流时，常以毫安 (mA) 或微安 (μA) 为单位。它们的换算关系如下：

$$1 \text{ 千安} = 10^3 \text{ 安}$$

$$1 \text{ 毫安} = \frac{1}{1000} \text{ 安} = 10^{-3} \text{ 安}$$

$$1 \text{ 微安} = \frac{1}{1000} \text{ 毫安} = 10^{-6} \text{ 安}$$

电流的大小可以用电流表来测量，我们常用的电灯，电流一般在 $0.1 \sim 0.5$ 安之间，而大型电动机的电流可达几百安。当电力系统发生短路时，其短路电流可达数十千安。如果有 0.05 安的电流通过人体的心脏，就要危及生命，因此在工作中要注意安全用电。

电流是有一定方向的。人们开始发现电流的时候，认为是正电荷在运动，所以规定正电荷运动的方向为电流方向，即规定的正方向与电子运动的方向刚好相反。

在我们日常生活、工作中常用到的电流有直流和交流两种。电流的大小和方向不随时间变化的叫直流。如手电筒、半导体收音机及发电厂的事故照明和发电机的励磁等用的是直流电。电流的大小和方向随时间变化的称做交流。目前工农业生产和人们生活中广泛用的是交流电，有些直流电也是

由交流电经整流得到的，一般发电厂发出的电都是交流电。

四、电压与电位

导体中形成电流的内在因素是导体内有自由电子，而外界因素则是导体两端存在电场。电场对电子产生作用力，使电子产生定向移动。不同的电场对电子产生的作用是不同的，我们常用电压这个物理量来表示电场对电荷作用的大小。

1. 电压

设有两个带电体 A、B 并分别带有异性的电荷（A 带正电、B 带负电）形成电场。当用导体把这两个带电体连接起来后，在电场的作用下，正电荷则沿着电场力的方向由 A 向 B 运动，如图 1—1 所示。

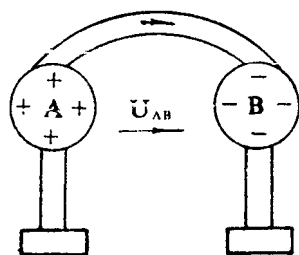


图 1—1 正电荷在导体中的运动

如果电场力将电量为 Q 的电荷从 A 移到 B 所做的功为 W_{AB} ，那么 A、B 间的电压为

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q} \quad (1-2)$$

即电压是电场力移动单位正电荷所做的功。

式(1—2)中如果电场力所做的功 W_{AB} 的单位为焦耳，电量 Q 的单位为库仑，则电压 U_{AB} 的单位是伏特，简称伏或用 V 表示。

照明电压通常为 220 伏，手电池的电压只有 1.5 伏，对于高压，常用千伏 (kV) 做单位，电压很低时，用毫伏 (mV) 做单位。它们之间的关系是：

$$1 \text{ 千伏} = 1000 \text{ 伏} = 10^3 \text{ 伏}$$

$$1 \text{ 毫伏} = \frac{1}{1000} \text{ 伏} = 10^{-3} \text{ 伏}$$

2. 电位

在分析电子电路时，常用到电位这个概念，以便分析各点之间的电压。如果在电路中任选一参考点，令其电位为零（工程中常选大地为参考点），则电路中某一点的电位就等于从该点到参考点之间的电压。如将电位用 φ 表示，则任一点A的电位为

$$\varphi_A = U_{A0} \quad (1-3)$$

某点电位实际上就是某点对参考点的电压。因此它的单位也是伏特。在电场中任意两点的电位之差，就等于这两点间的电压。即

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = U_{A0} - U_{B0} \quad (1-4)$$

所以，电压也称为电位差。我们把电位相等的点叫作等位点，把各点电位相等的物体称为等位体。

五、电源与电势

1. 电源

电源实质上是一种能量的转换装置，即将其它形式的能转换为电能的一种设备，如发电机、干电池和蓄电池等。各种电源都具有一个共同点，就是能在电源内移动电荷，使得一个极具有一定量的正电荷，另一个极具有一定量的负电荷，这样就在两极之间形成电场，产生了电位差。电源内部这种能移动电荷的作用力称为电源力。图1—2为电源工作的示意图，电源力能够不断地将正电荷从负极移到正极，从而保持了两极之间的电位差，使电流在电路中持续不断地流通。

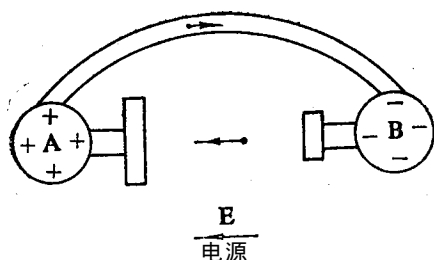


图 1—2 电源工作示意图

2. 电动势

电源的电动势（简称电势）就是电源力将单位正电荷由电源负极移到正极所做的功，常用 E 表示。如图 1—2 所示，当电源力将正电荷 Q 从负极 B 经电源内部移到正极 A 所做的功为 W_{BA} 时，则电源的电动势为

$$E = \frac{W_{BA}}{Q} \quad (1-5)$$

其中 W_{BA} 的单位是焦耳， Q 的单位是库仑，故 E 的单位与电压相同，也用伏特表示。

电动势的方向为电源力移动正电荷的方向，即由低电位指向高电位。

一般将电势的大小和方向不随时间变化的电源，叫做直流电源。如干电池、蓄电池和直流发电机等都是直流电源。电势的大小和方向均随时间变化的电源，称为交流电源。如交流发电机就是交流电源。

六、电阻、导体和绝缘体

1. 电阻

电流通过导体时会受到阻力的作用，这种阻力叫做电阻，用 R 表示。

电阻的单位是欧姆，或用欧（ Ω ）表示。大电阻常用千欧（ $k\Omega$ ）或兆欧（ $M\Omega$ ）做单位。它们的换算关系如下：

$$1 \text{ 千欧} = 1000 \text{ 欧} = 10^3 \text{ 欧}$$

$$1 \text{ 兆欧} = 1000 \text{ 千欧} = 10^6 \text{ 欧}$$

实验证明，导体电阻与导体长度成正比，与导体截面积成反比，还与导体的材料有关。不同材料的导电能力不同，因而电阻的大小也就不同。因此，导体电阻可由下式计算，即

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-6)$$

式中 R 导体电阻（欧）；

L 导体长度（米）；

S 导体截面（毫米²）；

ρ 电阻率（欧·毫米²/米）

电阻率 ρ 表示长度为 1 米，截面是 1 平方毫米的导体所具有的电阻值。不同材料有不同的电阻率，几种常用电工材料的电阻率可由表 1—1 查得。

由表 1—1 可见，银、铜、铝的电阻率较小，它们都具有良好的导电性能。由于银较贵重，不宜大量使用，因此应用较广泛的导电材料是铜和铝。如高压输电线大都采用钢芯铝绞线。

电阻的倒数称为电导，即 $G = \frac{1}{R}$ 。电导是与导电能力有关的参数。电导的单位为西门子，简称西（ S ）。

几种常用材料的电阻率

表 1—1

材 料	电 阻 率 (欧·毫米 ² /米)	材 料	电 阻 率 (欧·毫米 ² /米)
银	0.0165	钨	0.055
铜	0.0175	镍铬合金	1.5
铝	0.0283	硬 橡 胶	1×10^{22}

2. 导体和绝缘体

物体按其导电性能大致可分为导体、绝缘体和半导体三类。导体具有良好的导电性能，导体材料的电阻率一般在 $10^{-2} \sim 1$ 欧·毫米²/米范围内，金属材料大部分为良导体。如银、铜和铝等。

通常将导电能力非常差，电流几乎不能通过的物体称为绝缘体。绝缘体的电阻率一般在 $10^{12} \sim 10^{22}$ 欧·毫米²/米范围内。所以一般认为绝缘体是不能导电的。电工常用的绝缘材料有橡胶、塑料、云母、陶瓷、油类、石棉及干燥的木材等。

绝缘材料因长时间受温度、湿度和灰尘的影响而使绝缘性能下降，这种现象叫做绝缘老化。绝缘材料老化后，由于绝缘强度的降低，可能在电气设备运行中造成绝缘损坏（或称为绝缘击穿），影响设备的正常工作。运行中的电气设备都要定期检查绝缘强度，以保证运行安全。

此外，还有一类材料，它们的导电性能介于导体和绝缘体之间，称为半导体。这一类材料有硅、锗、硒等。半导体材料在电子工业中有广泛的应用，如半导体二极管、晶体三极管及可控硅等元件都是由半导体材料制成的。

第二节 直流电路

一、电路

在电的实际应用中，从最简单的手电筒的工作到复杂的电子计算机的运算，都是由电路来完成的。

1. 电路的组成及电路元件的作用

电路就是电流所流经的路径，它由电路元件组成。当我们合上电动机的刀闸开关时，电动机立即就转动起来。这是因为电动机通过导线经开关与电源接成了电流的通路，并将电能转换成为机械能。电动机、电源等叫做电路元件，电路元件大体可分为四类：

(1) 电源：即发电设备，其作用是将其他形式的能量转换为电能。如电池是将化学能转换为电能，而发电机是将机械能转换为电能。

(2) 负载：即用电设备，它的作用是把电能转换为其他形式的能。如电炉是将电能转换为热能，电动机则把电能转换为机械能。

(3) 控制电器和保护电器：在电路中起控制和保护作用。如开关、熔断器、接触器等。

(4) 导线：由导体材料制成，其作用就是把电源、负载和控制电器连接成一个电路，并将电源的电能传输给负载。

由此可见，电路的作用是产生、分配、传输和使用电能。

图1—3就是一个最简单的电路。

2. 电路图

在实际工作中，为了便于分析、研究电路，通常将电路

的实际元件用图形符号表示在电路图中，称为原理电路图，也叫电路图。图1—4就是图1—3的原理电路图。一般电路图中，常用的电路元件的符号如表1—2所示。

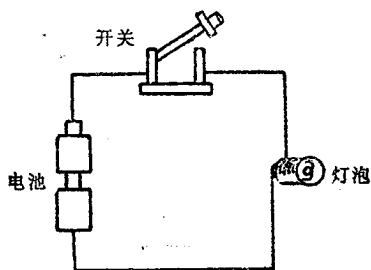


图 1—3 简单电路

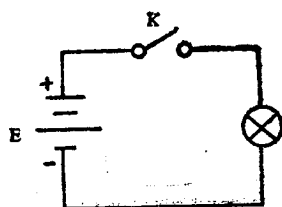


图 1—4 简单电路图

常用电路元件的符号

表 1—2

元件名称	电路符号	元件名称	电路符号
电 源		导 线	
		开 关	
		熔 断 器	
电 灯		电 压 表	
电 阻		电 流 表	
电 感 线 圈		功 率 表	
电 容 器		接 地 点	
负 载			

在电路中，只有两个端点与电路其他部分相连的无分支电路叫做支路。在图1—5中共有3条支路。通常将3条支路

以上的连接点称为节点。如图1—5中的A点和B点即为节点。在电路中由支路组成的任一闭合路径叫做回路，图1—5中共有3个回路。

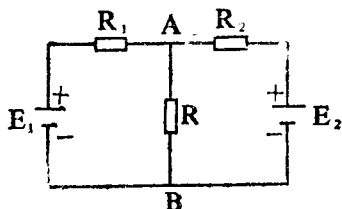


图 1—6 具有三个回路的电路

二、电路的欧姆定律

电流、电压和电阻是电路中的三个基本物理量，分析计算电路，就是研究以上各量之间的关系，确定它们的大小。欧姆定律就是反映电阻元件两端的电压与电流同电阻三者关系的定律，是解决电路问题的一个基本定律。其表达式为：

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-7)$$

式中 I 电流（安）；
 U 电压（伏）；
 R 电阻（欧）；

由式(1—7)可知，通过电阻元件的电流与电阻两端的电压成正比，而与电阻成反比。

对于任一支路的电阻电路，只要知道电路中的电压、电流和电阻这三个量中的任意两个量，就可由欧姆定律求得第三个量。下面举例说明。

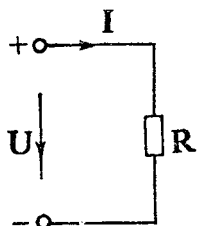


图 1—6 欧姆定律电路

例1 一盏200瓦、220伏的电灯，灯泡的电阻是484欧，当电源电压为220伏时，求通过灯泡的电流。

解：已知电灯的电压和电阻，通过灯泡的电流可由式（1—7）求得：

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220}{484} \approx 0.455 \text{ (安)}$$

由欧姆定律可知，电阻有电流通过时，两端必有电压。这个电压习惯上叫做电压降。通常导线都是有电阻的，当用导线传输电流时，就产生电压降。因此输电线路末端的电位总是比始端的电位低。输电线路电压降低的数值叫做电压损失。如果线路较长，线路电流较大，其电压损失就较大，供给负载的电压将会明显下降，影响设备的正常工作。

三、电路的基尔霍夫定律

欧姆定律可以确定电阻元件上电压与电流的关系，但只能用于无分支的电阻电路。对于一个比较复杂的电路，如图1—7所示的电路，如何来确定各支路电流和各部分电压的关系呢？只用欧姆定律一般是不能解决的。利用基尔霍夫定律即可表明支路电流之间的关系和回路电压间的关系。

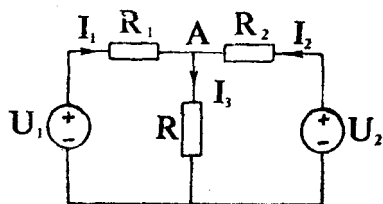


图1—7 说明基尔霍夫电流定律的电路

1. 基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律也叫做基尔霍夫第一定律，它确定了电路中任一节点所连的各支路电流之间的关系。

基尔霍夫电流定律指出：对于电路中的任一节点，流入节点的电流之和必等于流出该节点的电流之和。

在图1—7电路中，对于节点A， I_1 、 I_2 是流入节点的，而 I_3 是由节点流出的。由基尔霍夫电流定律可将三个电流之间的关系用下式表示：

$$I_1 + I_2 = I_3$$

如果将上式 I_3 移到左边可得

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

即流入（或流出）电路任一节点的各电流的代数和等于零。

$$\sum I = 0 \quad (1-8)$$

式中符号 \sum 是“代数和”的意思，说明各项电流可为正或负，如果规定流入节点的电流为正，那么流出节点的电流就是负的，反之也成立。在应用时应注意各支路电流的方向。

例2 如图1—8所示，已知 I_1 为1安， I_2 为2安， I_3 为1安，试求电源发出的总电流 I 。

解：根据基尔霍夫电流定律列出电流的方程式：

$$I - I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = 1 + 2$$

$$+ 1 = 4 \text{ (安)}$$

即电源输出的电流为4安。

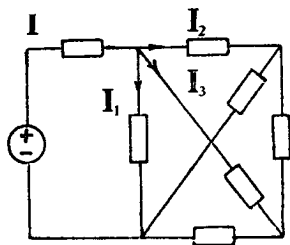


图1—8

2 基尔霍夫电压定律

基尔霍夫电压定律也叫基尔霍夫第二定律，它确定了电路任一回路中各部分电压之间的相互关系。

基尔霍夫电压定律指出：对任一回路，沿任一方向绕行一周，各电源电势的代数和等于各电阻电压降的代数和。即

$$\sum E = \sum IR \quad (1-9)$$

或

$$\sum E = \sum U$$

如图 1—9 所示电路，如沿顺时针方向绕行，由基尔霍夫电压定律可列出该回路的电压方程。

$$E_1 - E_2 = IR_1 + IR_2$$

在应用基尔霍夫电压定律时应注意，先选定绕行方向，回路中凡是与绕行方向相同的电势或电流在式 (1—9) 中取正号，反之取负号。

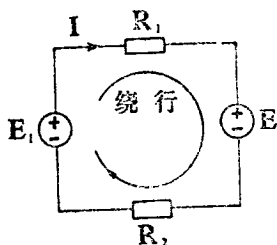


图 1—9 具有一个回路的电路

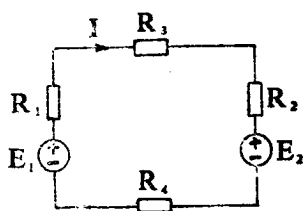


图 1—10

例 3 在图 1—10 所示电路中，已知电源电势 E_1 、 E_2 和各电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 ，试求回路中的电流 I 。

解：此电路为一分支的回路，故利用基尔霍夫电压定律，按顺时针绕行方向列出回路方程为：

$$E_1 - E_2 = IR_1 + IR_2 + IR_3 + IR_4$$

$$= I(R_1 + R_2 + R_3 + R_4)$$

则：

$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$$

由此可见，利用基尔霍夫电压定律即可求解回路上的电压和电流。

基尔霍夫定律是电路理论的基本定律，在应用基尔霍夫定律时必须注意：电流、电压、电势的方向及所选定的绕行方向的关系。

四、电阻的串联电路

在电路中，电阻的连接方式是多种多样的，串联电路是最简单的一种。

将两个以上的电阻，依次首尾相联，使各电阻通过同一电流，这种连接方式叫做电阻的串联。图 1—11 所示为三个电阻的串联电路。

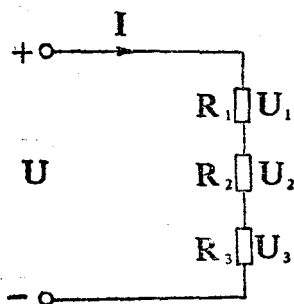


图 1—11 三个电阻串联电路

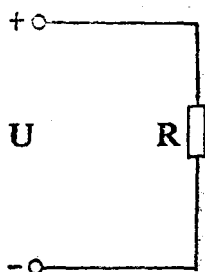


图 1—12 等效电阻

串联电路的总电压等于各电阻上电压降之和。

由欧姆定律可知，

$$U_1 = IR_1; U_2 = IR_2; U_3 = IR_3$$

所以总电压为

$$U = IR_1 + IR_2 + IR_3 = I(R_1 + R_2 + R_3) = IR$$

$$R = R_1 + R_2 + R_3 \quad (1-10)$$

由此可见， R 为串联电路的总电阻， R 通常叫做等效电阻。这样就可以将三个电阻的串联电路用图1—12所示的等效电路来表示。

由串联电路的特点可看出：如果在电路中串联一个电阻，那么电路的等效电阻就要增大。在电源不变的情况下，电路中的电流将要减小。所以串联电阻可起到限流作用。例如，在较大型的电动机起动时，为了防止起动电流过大，常在起动回路中串入一个起动电阻，以减小起动电流。

串联电阻的另一个用途就是可以起到分压作用，因为，电阻通过电流要产生电压降，承担了电路的一部分电压。如电阻分压器和多量程电压表就是利用了这个原理。

例4 如图1—11所示的三个电阻串联电路中， $R_1 = 10$ 欧、 $R_2 = 5$ 欧、 $R_3 = 20$ 欧、电流为5安，试求串联电路的总电压。

解：电路的等效电阻为：

$$R = R_1 + R_2 + R_3 = 10 + 5 + 20 = 35 \text{ (欧)}$$

电路的总电压为：

$$U = IR = 5 \times 35 = 175 \text{ (伏)}$$

此题也可先将每个电阻上的电压降求出，然后根据基尔霍夫电压定律求总电压。例如：

$$U_1 = IR_1 = 5 \times 10 = 50 \text{ (伏)}$$

$$U_2 = IR_2 = 5 \times 5 = 25 \text{ (伏)}$$

$$\dot{U}_3 = IR_3 = 5 \times 20 = 100 \text{ (伏)}$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = 50 + 25 + 100 = 175 \text{ (伏)}$$

五、电阻的并联电路

几个电阻头尾分别连在一起，即电阻都接在两个节点之间，各电阻承受同一电压，这种连接方式叫做电阻的并联。

图 1—13 即为三个电阻的并联电路。

并联电路的总电流为各电阻支路电流之和。由基尔霍夫电流定律可知，图 1—13 电路中的总电流为

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

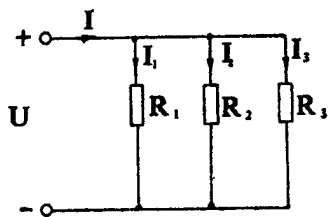


图 1—13 三个电阻并联电路

并联电路等效电阻的倒数为各电阻的倒数之和。由欧姆定律可知，图 1—13 中各支路的电流为：

$$I_1 = \frac{U}{R_1}; \quad I_2 = \frac{U}{R_2}; \quad I_3 = \frac{U}{R_3}$$

因为总电流：

$$I = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} = U \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) = \frac{U}{R}$$

所以

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (1-11)$$

也可用电导来表示：

$$G = G_1 + G_2 + G_3 \quad (1-12)$$

即并联电路等效电导为各电导之和。

对于常见的两个电阻并联的电路，其等效电阻的例数为：