

第一章 电工基础知识

第一节 基本物理量及电工术语

一、基本物理量

1. 电 流

电荷的定向移动形成电流。电流有大小，有方向。

1) 电流的方向

人们规定正电荷定向移动的方向为电流的方向。金属导体中，电流是电子在导体内电场的作用下定向移动的结果，电子流的方向是负电荷的移动方向，与正电荷的移动方向相反，所以金属导体中电流的方向与电子流的方向相反，如图 1-1 所示。

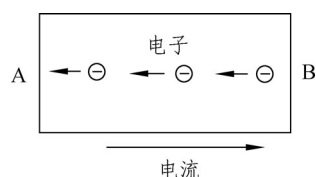


图 1-1 金属导体中的电流方向

2) 电流的大小

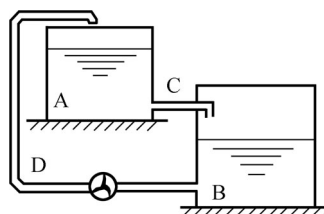
电学中用电流强度来衡量电流的大小。电流强度就是 1 s 内通过导体截面的电量（见图 1-2）。电流强度用字母 I 表示，计算公式如下：

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

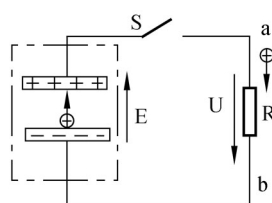
式中 I —— 电流强度，单位安培 (A)；

Q —— 在 t 秒时间内，通过导体截面的电量数，单位库仑 (C)；

t —— 时间，单位秒 (s)。



(a) 水流的形成



(b) 电流的形成

图 1-2 水流和电流形成

实际使用时，人们把电流强度简称为电流。电流的单位是安培，简称安，用字母 A 表

示。如果 1 s 内通过导体截面的电量为 1 C，则该电流的电流强度为 1 A。实际应用中，除单位安培外，还有千安（kA）、毫安（mA）和微安（ μA ）。它们之间的关系为：

$$1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A}$$

$$1 \text{ A} = 10^3 \text{ mA}$$

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

2. 电 压

电场内任意两点间的电位差，称为两点间的电压，用 U 表示，它的方向一般规定为高电位指向低电位。

3. 电 阻

电子在导体内移动时，导体阻碍电子移动的能力称为电阻，用 R 或 r 表示。电阻的单位为欧姆，简称欧，用字母 Ω 表示。

如果导体两端的电压为 1 V，通过的电流为 1 A，则该导体的电阻就是 1 Ω 。

实验表明，导体的电阻跟导体的长度成正比，跟导体的横截面面积成反比，并与导体的材料有关。对于长度为 L 、截面面积为 S 的导体，其电阻为：

$$R = \rho \times L / S$$

式中的 ρ 是与导体的材料有关的物理量，称为电阻率或电阻系数，单位是欧姆·米（ $\Omega \cdot \text{m}$ ）。电阻率的大小反映了某种材料导电性能的好坏，电阻率越大，其导电性能越差。另外，温度的高低使导体内阻值亦随之变化，一般情况下，温度高，电阻值大；温度低，电阻值小。

电阻的单位有欧姆（ Ω ）、千欧（ $\text{k}\Omega$ ）、兆欧（ $\text{M}\Omega$ ）。换算关系为：

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

导体传导电流的能力称为电导。电导与电阻的含义相反，所以电导的数值是电阻的倒数，即： $1/R$ 。因此，导体的电导越大，则表明该导体的电阻越小；相反，导体的电导越小，则表明该导体的阻值越大。

4. 电 感

因为变化的电流通过导体或线圈而产生自感电动势，这个自感电动势的大小和导线及线圈形式有关。

当一个线圈通过 1 安（A）的电流可以产生 1 韦伯（Wb）的磁通时，我们就说这个线圈具有 1 亨（H）的电感量。较小的电感单位有毫亨（mH）和微亨（ μH ）。

$$1 \text{ H} = 1000 \text{ mH}; 1 \text{ mH} = 1000 \mu\text{H}$$

二、电子元件及电工术语

1. 电 容 器

由两片金属导体中间隔着电介质组成的封闭物体叫电容器。两片金属板叫极板，它能储

存电荷。如果把电容器的两端接到电源上，则电容就被充电，此时在极板上出现电荷。电容器所带的电荷量与两极板间的电压的比值，称为电容器的电容量，用 C 表示。其表达式为：

$$C = Q/U$$

电容的单位有法拉 (F)、微法 (μF) 及皮法 (pF)。

$$1\text{ F} = 10^6\ \mu\text{F}; 1\ \mu\text{F} = 10^6\ \text{pF}。$$

1) 电容器的分类

电容器的种类很多，一般工业生产上所用的电容器按其结构可以分为固定电容器、可变电容器和半可变电容器 3 种。此外还可以按介质所用材料的不同分为空气电容器、纸介质电容器、云母电容器、金属膜电容器、油质电容器、陶瓷电容器、电解电容器等。一般电解电容器有正负极之分，它的极性是固定的，称为有极性电解电容器，主要供交流电路中使用。

2) 电容器额定电压

如果一个电容器两极板间所加的电压高到某一数值时，电容器的介质就会被击穿。电容器被击穿后它的介质从原来不导电变成导电。也就是说介质不再绝缘，该电容器也就不能再使用了(金属膜电容器及空气介质电容器除外)，因此电容器的外壳上一般都标有它的额定工作电压值，使用时加在电容器上的电压不应超过它的额定工作电压值。

3) 电容器的充电和放电

电容器得电荷的过程叫作充电，失电荷的过程叫作放电。为清楚说明其充、放电的特性，我们可参考充、放电实验电路，如图 1-3 所示。

当电容器 C 与电源并联接通时，电源 E 开始向电容器充电。刚开始电流较大，灯泡 D 较亮。经过一段时间后，灯泡逐渐变暗，直至灯泡不亮，说明电流的变化是从最大逐渐到小，直至变为 0。此时电容器两端的电压等于电源 E 的电压 (即 $U_c = E$)，这个过程就叫作电容器的充电。

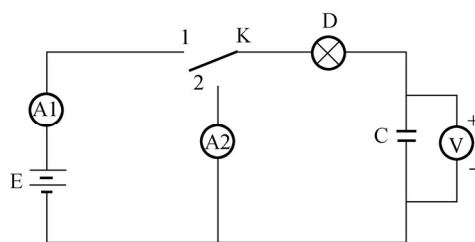


图 1-3 电容器充放电实验电路

电容器充电结束后，将电容器的两端与一个闭合的外电路接通时，电容器就开始放电，此时电流流过灯泡 D ，开始时灯泡 D 较亮，逐渐变暗，经过一段时间后不亮了，说明电流是由大变小直至为 0，电容器放电即结束，电容器两端的电压等于零，这个过程就叫作电容器的放电。

如果电容器接通交流电源，由于交流电的大小和方向不断交替变化，使电容器反复进行充放电，使电路中出现持续的交变电流，因此电容器具有“隔直通交”的作用。

4) 电容器的两端电压不能突变

电容器两端电压不能突变的原因是由于电容器有一个充电的时间，也有一个放电的时间，所谓充电就是电容器两端刚接上电源开始充电后，随着时间的推移，极板上电荷积聚慢慢增加，电容器两端电压才能建立，并逐渐上升至与电源电压相等。同理，所谓放电，就是电容器极板上两端电荷慢慢中和，所以电容器刚开始放电时，电压 U_c 不能立即降至为零，这个电荷中和的时间就是电容器的放电时间，因此，电容器两端电压的增高或降低是需要一定时间的，这个时间的大小由电容 C 的容量及充、放电电路中的电阻值大小来决定。如图 1-4 所示。

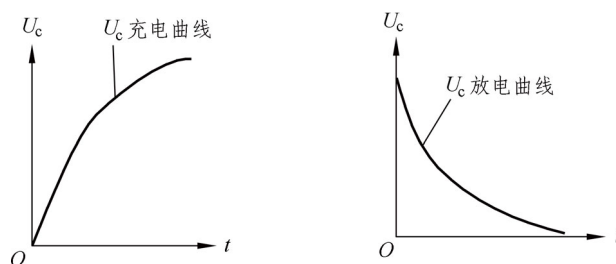


图 1-4 电容器充、放电曲线

2. 短 路

电路中发生不正常接触而使电流通过了电阻几乎等于零的电路称为短路。一般电源被短路时，由于电路电阻极小，因而电流会立即上升到很大值，使电路产生高热，从而使电源、各用电器及仪表等部件损坏。

3. 断 路

使电流中断而不能流通的电路或者状态称为断路。

4. 通 路

电路中电流正常流通称为通路。

5. 二极管

二极管是指具有一个阳极和一个阴极的最简单的电子管，二极管由一个 PN 结构成，具有单向导电性。

6. 三极管

三极管在中文含义里面只是对 3 个引脚的放大器件的统称。三极管顾名思义具有 3 个电极，二极管是由一个 PN 结构成的，而三极管是由两个 PN 结构成，共用的一个电极成为三极管的基极（用字母 b 表示），其他的两个电极为集电极（用字母 c 表示）和发射极（用字母 e 表示），如图 1-5 所示。

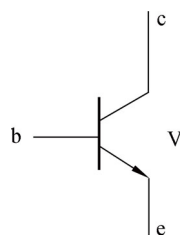


图 1-5 三极管

三极管按 PN 结的结构可以分成 PNP 型三极管与 NPN 型三极管，如图 1-6 所示

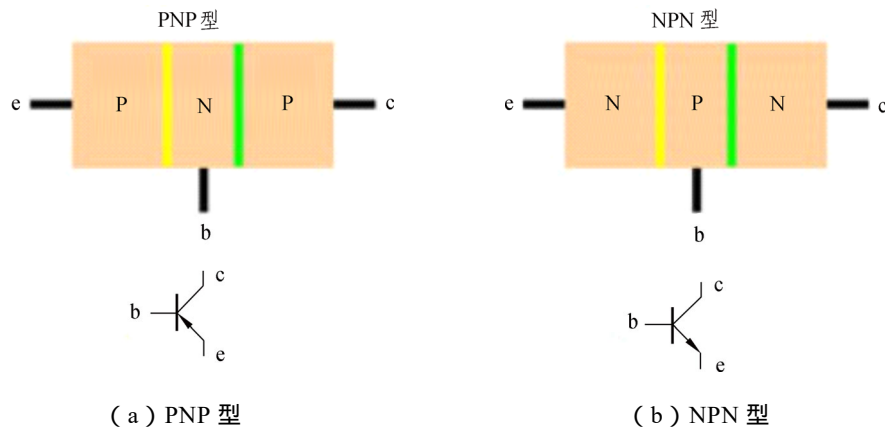


图 1-6 三极管的结构

7. 晶闸管

可控硅又称晶闸管，是一种新型功率半导体器件，在调压、整流、逆变装置等方面具有广泛用途。它由两层 N 型半导体、两层 P 型半导体相互叠加，形成 3 个 PN 结，具有阳极、阴极和控制极 3 个电极（阳极由最外层 P 型半导体引出，阴极由最外层 N 型半导体引出，控制极由中间 P 型半导体引出）。

晶闸管是由一个 P-N-P-N 4 层（4 layers）半导体构成的，中间形成了 3 个 PN 结，如图 1-7 所示。

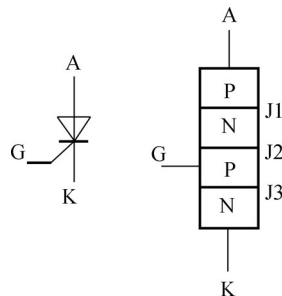


图 1-7 晶闸管

第二节 直流电路

一、欧姆定律

在同一电路中，导体中的电流跟导体两端的电压成正比，跟导体的电阻成反比，这就是欧姆定律。

公式为：

$$I = U / R$$

式中 I 、 U 、 R ——3 个量是属于同一部分电路中同一时刻的电流强度、电压和电阻。

二、电 路

电流所流过的路径称为电路，它是由电源、负载、开关和连接导线等 4 个基本部分组成的，如图 1-8 所示。

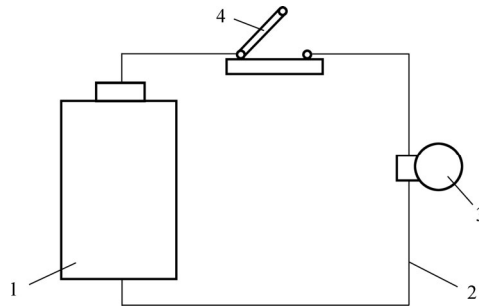


图 1-8 电路的组成

1—电流；2—导线；3—灯光；4—开关

三、电路图

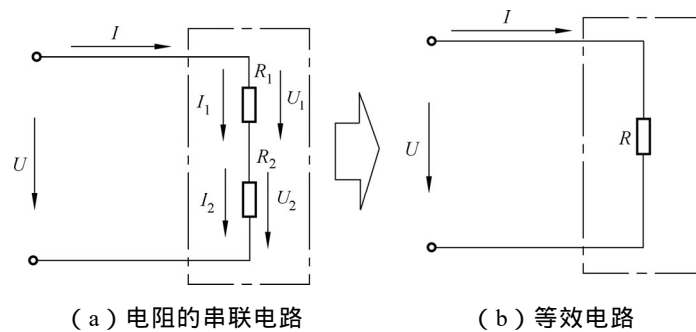
用电路元件符号表示电路连接的图，叫电路图。

电路图是人们为研究、工程规划的需要，用物理电学标准化的符号绘制的一种表示各元器件组成及器件关系的原理布局图。由电路图可以得知组件间的工作原理，为分析性能，安装电子、电器产品提供规划方案。在设计电路时，工程师可从容地在纸上或电脑上进行，确认完善后再进行实际安装。通过调试改进、修复错误，直至成功。采用电路仿真软件进行电路辅助设计、虚拟的电路实验，可提高工程师的工作效率、节约学习时间，使实物图更直观。

SS_{4B} 型电力机车电路图，是用于说明机车在工作过程中电路的逻辑关系、动作原理的。机车根据电气线路主要分为主电路、辅助电路与控制电路三大部分。

四、电阻的串联

在一段电路上，将几个电阻的首尾依次相连所构成的一个没有分支的电路，叫作电阻的串联电路，如图 1-9 所示。



(a) 电阻的串联电路

(b) 等效电路

图 1-9 电阻的串联电路及等效电路

电流计算

串联电路电流处处相等： $I_{\text{总}} = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n$

电压计算

串联电路总电压等于各处电压之和： $U_{\text{总}} = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n$

电阻计算

串联电阻的等效电阻等于各电阻之和： $R_{\text{总}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$

五、电阻的并联

将两个或两个以上的电阻两端分别接在电路中相同的两个节点之间，这种连接方式叫作电阻的并联电路，如图 1-10 所示。

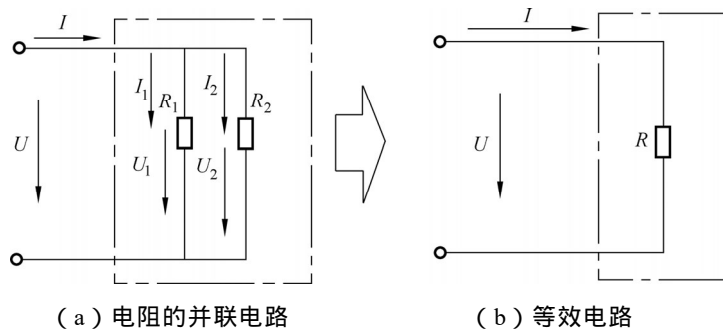


图 1-10 电阻的并联电路及等效电路

电流计算：

$$I_{\text{总}} = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

即总电流等于通过各个电阻的电流之和。

电压计算：

$$U_{\text{总}} = U_1 = U_2 = \dots = U_n$$

并联电路各支路两端的电压相等，且等于总电压。

电阻计算：

$$1/R_{\text{总}} = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n$$

即总电阻的倒数等于各分电阻的倒数之和。

第三节 交流电路

一、单向交流电

在交流发电机的定子上只有一组线圈，所以只能产生一个交变电势，这样的发电机叫作单相交流发电机。单相交流发电机所发出的电，称为单相交流电。

交流电是由交流发电机发出来的，若该磁场的空间是按正弦规律分布的，则导线在磁场中做圆周运动而切割磁力线时，便会产生一种按周期性变化的正弦波电动势。即从零开始逐渐增大到最高，然后又降回零，再按反方向（负值）增至最大值，最后回到零。这就是发电机产生交流电的过程。把这一周期性的电动势用坐标图表示出来，就是正弦波交流电的波形，如图 1-11 所示。

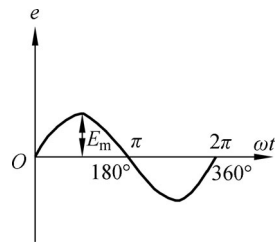


图 1-11 正弦波交流电波形

表达单相正弦交流电的 3 个要素是最大值、频率和初相。单相正弦交流电的函数表达式是：

$$i = I_m \sin(\omega t + \Phi)$$

式中 i —— 正弦交流电的瞬时值；

I_m —— 正弦交流电的最大值；

ω —— 以弧度表示的频率称为角频率， $\omega = 2\pi f$ ；

Φ —— 正弦交流电的初相位，也就是计时开始的相位，简称初相。

正弦函数简称正弦量。当最大值、频率和初相三者都是已知量时，这个正弦量才能完全确定。

1. 交流电的有效值、最大值和平均值

周期性电流的最大瞬时值叫作最大值，又叫振幅，交流电在半个周期内的平均数值称为平均值。交流电的有效值是为了便于计算，根据热效应相等的原则确定的。当交流电通过电阻 r 所产生的平均热效应与直流电通过同一电阻所产生的平均热效应相同时，这个直流电的大小，就是交流电的有效值。通常各种交流用电设备标出的都是有效值。

正弦交流电的最大值、平均值和有效值之间有如下关系：

$$U_{\text{有效值}} = \frac{1}{\sqrt{2}} U_{\text{最大值}} \quad I_{\text{有效值}} = \frac{1}{2} I_{\text{最大值}}$$

$$U_{\text{平均值}} = \frac{2}{\pi} U_{\text{最大值}} \quad I_{\text{平均值}} = \frac{1}{\sqrt{2}} I_{\text{最大值}}$$

2. 交流电的周期、频率

交流电压或电流一次循环所需要的时间叫周期。用字母 T 表示，单位是秒。交流电压或电流每秒钟完成循环的次数叫作频率，用符号 f 表示，单位是周/秒（又叫赫兹）。频率等于周期的倒数，即