

电工基础知识

本章学习重点

- * 了解电路基本知识，掌握欧姆定律的灵活应用。
- * 了解电磁感应和磁路的基本知识。
- * 了解交流电和三相交流电路的基本知识。
- * 了解电子技术基本常识。

第一节 电路基础知识

一、电流、电压和电动势

1. 电流

当我们合上电源开关时，电灯就会发光、电动机就会转动，这是由于电灯和电动机中有电流通过的缘故。什么叫电流呢？金属导体中的自由电子在电场力的作用下，会向电场强度的反方向移动，电荷的有规则的定向运动就形成了电流。电流的方向与电子的运动方向相反。在电工学中用每秒钟通过某一截面电荷量的多少来衡量电流的强度，称为电流强度（简称电流），用符号 I 表示。若用符号 Q 表示通过导线某一截面的电荷量、 t 表示通过电量 Q 所用的时间，则得

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

电流的单位是安培（简称安），用符号 A 表示。若 1 秒内 1 库仑的电量通过导线的某一截面，这时的电流就是 1 安培，即

$$1 \text{ 安培} = \frac{1 \text{ 库仑}}{1 \text{ 秒}}$$

$$1 \text{ 安培 (A)} = 1\,000 \text{ 毫安 (mA)}$$

$$1 \text{ 毫安 (mA)} = 1\,000 \text{ 微安 (}\mu\text{A)}$$

2. 电压

(1) 电场与电场强度。

带电体周围存在电场，该电场能对位于电场中的电荷产生作用力，即电场力。电场力的



大小与电场强度有关，又与带电体所带的电荷量有关。电场中任一点的电场强度，在数值上就等于放在该点的单位正电荷所受到的电场力的大小，其方向就是正电荷所受到的电场力的方向，用数学表达式就是

$$E = \frac{F}{Q}$$

式中， E ——电场强度，单位为牛顿/库仑 $\left(\frac{\text{N}}{\text{C}}\right)$ ；

F ——电荷所受的电场力，单位为牛顿（N）；

Q ——正电荷的电量，单位为库仑（C）。

(2) 电位与电压。

电场力将单位正电荷从电场中的某点移到参考点（参考点的单位规定为零）所做的功，称为该点的电位。而电场力把单位正电荷由高电位点移到低电位点所做的功，称为这两点间的电压。其实电压就是电场中某两点之间的电位差。其数学表达式是

$$U = \frac{W}{Q}$$

式中， U ——电压，单位为伏特（V）；

W ——电荷所做的功，单位为焦耳（J）；

Q ——电量，单位为库仑（C）。

在实际应用中，也常用千伏和微伏作为单位，其相互关系为：

$$1 \text{ 千伏 (kV)} = 1\,000 \text{ 伏特 (V)};$$

$$1 \text{ 伏特 (V)} = 1\,000 \text{ 毫伏 (mV)};$$

$$1 \text{ 毫伏 (mV)} = 1\,000 \text{ 微伏 (}\mu\text{V)}。$$

3. 电动势

当我们把电灯或电烙铁接到电源上时，电灯就会发光，电烙铁就会发热，说明它们中间有电流流过。而电流是由电位差（即电压）引起的，这就说明电源的两极之间存在电位差。在电工学中把电源内部能推动电荷移动的力统称为电源力。电源力将单位正电荷从电源负极移到正极所做的功，称为电源的电动势，用符号 E 表示。其实电动势就是电路两端产生并保持一定电位差的能力。这里需要搞清楚的概念就是：电压是电场力把单位正电荷从高电位点移到低电位点做的功；电动势是由电源力把单位正电荷从低电位点（电源负极）移到高电位点（电源正极）所做的功；两者的主要区别是电压的方向是从正极指向负极，电动势的方向是从负极指向正极，单位都是伏特。

二、电阻与欧姆定律

1. 电阻和电阻率

电子在导体中运动会受到一定的阻力，导体对于电流的阻碍作用称为电阻，用 R 表示。

衡量电阻大小的单位是欧姆，用 Ω 表示。欧姆的单位较小，可以用兆欧（ $\text{M}\Omega$ ）、千欧（ $\text{k}\Omega$ ）和毫欧（ $\text{m}\Omega$ ）作为单位，其相互关系为：



1 兆欧 ($M\Omega$) = 1 000 千欧 ($k\Omega$);

1 千欧 ($k\Omega$) = 1 000 欧姆 (Ω);

1 欧姆 (Ω) = 1 000 毫欧 ($m\Omega$)。

导体的电阻不仅和导体的材料有关,而且还和导体的尺寸有关。实践证明,同一材料导体的电阻和导体的长度成正比,和导体的截面积成反比。用公式表示就是

$$R = \frac{\rho \cdot L}{S}$$

式中, L —— 导体长度, 单位为米 (m);

S —— 导体截面积, 单位为平方毫米 (mm^2);

ρ —— 导体的电阻率, 单位为欧姆·米 ($\Omega \cdot m$)。

材料不同, 导体的电阻率也不同。铜的电阻率是 0.0175, 铝的电阻率是 0.0283, 而有的金属及合金的电阻率很高, 所以它们不能做导体。还有的物质电阻率特别高, 且能够可靠地隔绝电流, 称为绝缘体。还有的物质的导电能力介于导体和绝缘体之间, 称为半导体。大量试验证明, 各种导体材料的电阻都和温度有关, 银、铜、铝等金属导体的电阻随温度的增高而增大, 但碳的电阻却随温度的升高而减小。

2. 欧姆定律

我们已经知道, 当电阻的两端有电压时, 在电阻中就有电流流过。那么, 电流、电压、电阻之间有什么关系呢? 物理学家欧姆已通过大量的试验总结出这三个物理量之间关系的定律, 称为欧姆定律。该定律表明了, 在温度不变的情况下, 流过某一导体中的电流与加在导体两端的电压成正比, 与导体中的电阻成反比, 其数学表达式为

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{或} \quad U = I \cdot R \quad \text{或} \quad R = \frac{U}{I}$$

式中, U —— 导体两端的电压, 单位为伏特 (V);

I —— 流经导体的电流, 单位为安培 (A);

R —— 导体中的电阻, 单位为欧姆 (Ω)。

从欧姆定律可知, 当电路中的电压保持不变时, 电阻越大电流越小, 电阻越小电流越大; 当电阻趋近于零时, 电流就特别大, 该状态称为短路; 当电阻趋近于无穷大时, 电流就几乎为零, 该状态称为开路。

以上是局部电路的欧姆定律表达情况, 如要考虑电源内阻, 这就要用到全电路欧姆定律。该定律表明: 在闭合电路中, 电流与电源电动势成正比, 与电路中电源内阻和负载电阻之和成反比, 其表达式为

$$I = \frac{E}{R + R_0}$$

式中, E —— 电源电动势, 单位为伏特 (V);

R —— 负载电阻, 单位为欧姆 (Ω);

R_0 —— 电源内阻, 单位为欧姆 (Ω)。



三、电功与电功率

1. 电功

电路的主要任务就是传递、控制和转换电能。当电能转换成其他形式的能时，电流就要做功，电流所做的功称为电功，单位为焦耳（J）。用字母 A 表示电功。根据公式 $I = Q/t$ 、 $U = A/Q$ 和欧姆定律，可得电功 A 的数学表达式为

$$A = U \cdot Q = I \cdot U \cdot t$$

$$\text{或} \quad A = I^2 \cdot R \cdot t = \frac{U^2}{R} \cdot t$$

2. 电功率

单位时间内电流所做的功称为电功率，用字母 P 表示，单位为瓦特（W）。其数学表达式为

$$P = \frac{A}{t}$$

根据部分电路欧姆定律可得出功率的计算公式为

$$P = U \cdot I = I^2 \cdot R = \frac{U^2}{R}$$

在实际应用中，常用千瓦（kW）作为单位，有时也用毫瓦（mW）作为单位。它们的关系是： $1\text{kW} = 10^3\text{W} = 10^6\text{mW}$ 。

而电源的电功率等于电动势与电流的乘积： $P_1 = E \cdot I$

负载功率等于负载两端的电压和通过负载电流的乘积： $P = U \cdot I$

电源和负载的功率原理图如图 3-1 所示。

3. 电能与电流的热效应

能量有许多种，如机械能、电能、热能、光能、化学能等，各种能量之间可以互相转换。水力发电机转动是将机械能转换电能，电动机转动是将电能转换为机械能。电路中有电流通过时，电源要输出电能，在外电路要消耗电能。电能的单位是千瓦·小时（kWh），简称度。人们常说“火表转了一个字”，就是电度表指示数值增加了 1 度，即负载消耗了 1 度或 1 千瓦时的电能。

实践证明，当电流通过电阻时，电阻的温度会逐渐升高，这是因为吸收的电能转换成了热能的缘故，这种现象称为电流的热效应。科学家经过长期的实践和试验发现，电流通过导体时所产生的热量和电流值的平方、导体本身的电阻值及电流通过的时间成正比。其数学表达式为

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t$$

式中， Q ——电流在电阻上产生的热量，单位为焦耳（J）；

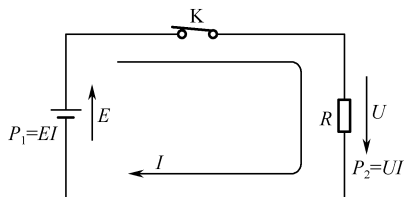


图 3-1 电源和负载的功率原理图



I ——通过导体的电流，单位为安培（A）；

R ——导体的电阻，单位为欧姆（ Ω ）；

t ——电流通过的时间，单位为秒（s）。

这个关系式又称为楞次—焦耳定律。为了避免设备和导体过度发热，根据绝缘材料的允许温度，对于各种导线规定了不同截面积下的最大允许电流值（又称安全电流值）。

四、电阻的串联与并联

1. 电阻的串联

在电路中把几个电阻首尾相接地连接起来，在这几个电阻中通过的是同一电流，这种连接方法称为串联，如图 3-2 所示。

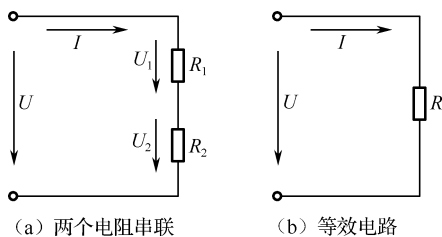


图 3-2 电阻的串联

根据图 3-2，可推导分析出串联电路的特点：

(1) 串联电路中，流过各个电阻的电流都相等，且等于总电流，即

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I$$

(2) 串联电路两端的总电压等于各个串联电阻两端的电压之和，即

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n$$

(3) 串联电路的总电阻（即等效电阻）等于各串联

电阻之和，即

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

不管串联多少个电阻，根据以上公式，都可以计算出电路的总电阻，而且可以用一个等效电阻代替。

2. 电阻的并联

在电路中，两个或两个以上的电阻首端连在一起，末端也连在一起，接在同一个电源电压上，这种连接方法称为电阻的并联，如图 3-3 所示。

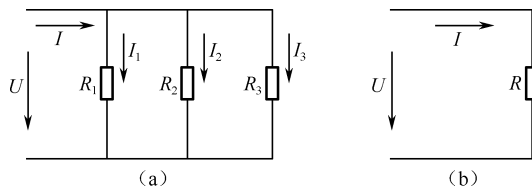


图 3-3 电阻的并联

图 3-3 (a) 是三个电阻的并联，图 3-3 (b) 是等效电路。根据图 3-3 可推导分析出并联电路的特点：

(1) 并联电路中，各电阻两端的电压都相等，且等于电路中的总电压，即

$$U = U_1 = U_2 = U_3 = \dots = U_n$$

(2) 并联电路中的总电流等于各电阻流过的分电流之和，其表达式为



$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \cdots + I_n$$

(3) 并联电路的总电阻（即等效电阻）的倒数，等于各支路电阻的倒数之和，其表达式为

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots + \frac{1}{R_n}$$

由以上公式计算出总电阻以后，图 3-3 (a) 可等效为图 3-3 (b)。若在电路中有 n 个相同的电阻并联，则总电阻 R 可由 $R = \frac{R_n}{n}$ 公式计算出。由此可见，多个电阻并联后的等效电阻值比任何一个支路的电阻值都小。如果是两个不同阻值的电阻 R_1 、 R_2 并联，其等效电阻为

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

(4) 并联电路中，各支路分配到的电流与该支路的电阻值成反比，其表达式为

$$I_n = \frac{R}{R_n} \cdot I$$

上式称为并联电路的分流公式， $\frac{R}{R_n}$ 称为分流比。

五、思考与练习

1. 电流是怎样形成的？其大小与哪些因素有关？
2. 0.03A 等于多少 mA？
3. 串联电路中电流处处相等，电路总电压与各段电阻上的分电压是什么关系？
4. 并联电路中的总电阻与各支路上的电阻是什么关系？并联电路中各支路电流的大小是否可以不相等？

第二节 电磁感应、基尔霍夫定律和磁路基本知识

电流能够产生磁场，磁场又对电流有作用力。变动的磁场能够在导体中产生电动势的现象，称为电磁感应现象。

一、电磁感应

1. 电流的磁场

电流流过导体，在导体的周围必定产生磁场，磁场的大小用磁感应强度 B 表示。 B 的常用单位是特斯拉 (T) 和高斯 (G)， $1\text{T} = 10^4\text{G}$ 。

磁感应强度 B 与磁场前进方向（即磁力线方向）上的某一面积的乘积称为磁通。磁通的符号是 Φ ，单位是韦伯 (Wb) 和麦克斯韦 (Mx)， $1\text{Wb} = 10^8\text{Mx}$ 。例如，有某一面积 S 与磁感应强度 B 垂直，则

$$\Phi = BS \qquad B = \frac{\Phi}{S}$$



式中, B ——磁感应强度, 单位为特斯拉 (T);

Φ ——磁通, 单位为韦伯 (Wb);

S ——面积, 单位为平方米 (m^2)。

由于平方米这个单位较大, 在实际应用中常用平方厘米表示, 则磁感应强度 B 的单位也常用高斯表示。

2. 电磁感应现象

实践证明: 将一个导体在磁场中做切割磁力线运动, 导体两端便产生感应电动势 e , 而且感应电动势的大小与导体在磁场中的有效长度和运动速度成正比, 即

$$e = B L V \times 10^{-8}$$

式中, e ——感应电动势, 单位为伏特 (V);

B ——磁感应强度, 单位为高斯 (G);

L ——导体的有效长度, 单位为厘米 (cm);

V ——导体在垂直于磁力线方向上的运动速度, 单位为厘米/秒 (cm/s)。

另一种电磁感应现象就是当线圈内磁通 Φ 发生变化时, 线圈内即刻产生感应电动势 e 。如线圈是闭合的, 线圈内部就会产生感应电流。

3. 定律

实践证明: 线圈中感应电动势的大小和线圈内磁通变化的速率成正比, 即

$$e = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

式中, e ——感应电动势, 单位为伏特 (V);

N ——线圈匝数, 单位为匝;

$\Delta \Phi$ ——线圈中磁通变化量 $\Phi_2 - \Phi_1$, 单位为麦克斯韦 (Mx);

Δt ——磁通变化所需的时间, 单位为秒 (s)。

该表达式即是法拉第电磁感应定律。

上式中的负号表示感应电动势所产生的感应电流反抗磁通的变化。即当磁通 Φ 增大时, 线圈中感应电动势和感应电流的实际方向是与所表示的电动势 e 的方向相反的, 反之是相同的。也就是说感应电流产生的磁场总是力图阻止原磁场的变化, 这一规律就是我们常说的楞次定律。楞次定律其实就是确定感应电动势 (或感应电流) 方向的定律。

4. 右手定则与右手螺旋定则

直导体在磁场中做切割磁力线运动, 直导体两端就会产生感应电动势, 其电动势的方向用右手定则判定。右手定则的应用是: 伸开右手, 大拇指与四指垂直, 让磁力线穿过手心, 大拇指指向运动方向, 则四指所指的方向就是感应电动势的方向。

在直导体中电流与磁力线的方向关系由右手螺旋定则来判定。其应用是: 将右手拇指伸直表示电流方向, 其余四指弯曲, 好像握住导线的样子, 此时四指所指的方向就是磁力线的方向。另外, 通电线圈内磁力线的方向也可用右手螺旋定则来判定。即: 右手四指弯曲并指向电流流入的方向, 则大拇指所指的方向即为磁力线方向。注意: 线圈内磁力线的方向不但



与流入电流的方向有关，而且与线圈的绕制方向有关。

二、基尔霍夫定律

1. 基尔霍夫第一定律

电流通过导体时，在同一时间内，从任意横截面的一侧流入的电荷量，总是等于从另一侧流出的电荷量。因此，对于电路中任一节点处，流入节点的电流总是等于该节点流出的电流，这就是基尔霍夫第一定律。如果设流入节点的电流为正，流出节点的电流为负，这样就可把基尔霍夫第一定律用一个普通的公式表达出来，即在电路的任一节点上，流入（或流出）节点的电流的代数和恒等于零。用公式表示就是： $\sum I = 0$ 。

2. 基尔霍夫第二定律

在电路图中，任何一个闭合的电路都称为回路。图 3-4 是由两个电源和两个负载组成的回路。

基尔霍夫第二定律是说明回路中各部分电压之间相互关系的一条基本定律。在上图中可得出这样的结论：从回路任意一点出发，沿回路循行一周，电动势（电位升）的代数和等于电阻上电压降（电位降）的代数和，这就是基尔霍夫第二定律。其数学表达式是

$$\sum E = \sum IR$$

用数学表达式列方程计算电路参数时，首先要选择一个回路方向，以这个回路方向作为标准，当电动势方向与回路方向一致时，电动势 E 取正号，方向相反取负号；当电流（或电压）的方向与回路方向一致时，电压降取正号，方向相反则取负号。

例：在图 3-4 中， $E_1 = 12\text{V}$ ， $E_2 = 24\text{V}$ ， $R_1 = 5\Omega$ ， $R_2 = 10\Omega$ ，求电流 I 。

解：在图 3-4 中，根据设置的电流方向和回路方向，电动势 E_2 取正号， E_1 取负号，电压降都取正号。由基尔霍夫第二定律可列出如下方程式

$$E_2 - E_1 = IR_1 + IR_2$$

$$I = \frac{E_2 - E_1}{R_1 + R_2} = \frac{24 - 12}{5 + 10} = 0.8 \text{ (A)}$$

可算出回路中的电流 I 为 0.8A。

三、磁路基本理论

磁通经过的路径称为磁路。依靠电磁感应原理工作的电气设备，如变压器、电磁铁、电动机等都具有不同类型的磁路。有的磁路由线圈和铁芯组成，有的磁路由线圈、铁芯和空气隙组成。变压器、电动机、电磁铁的磁路如图 3-5 所示。

磁通 Φ 是由线圈中的电流产生的。线圈匝数 N 与线圈电流 I 的乘积 IN 称为磁动势。磁通在磁路中的阻力称为磁阻。磁阻的计算公式为

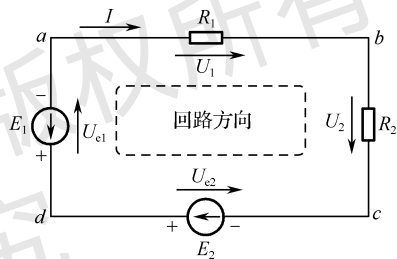


图 3-4 回路中的闭合电路图

$$R_m = \frac{L}{\mu S}$$

式中, R_m —— 磁阻, 单位为 1/亨 (1/H);

L —— 导磁体的长度, 单位为米 (m);

S —— 导磁体截面积, 单位为平方米 (m^2);

μ —— 材料磁导率, 单位为亨/米 (H/m)。

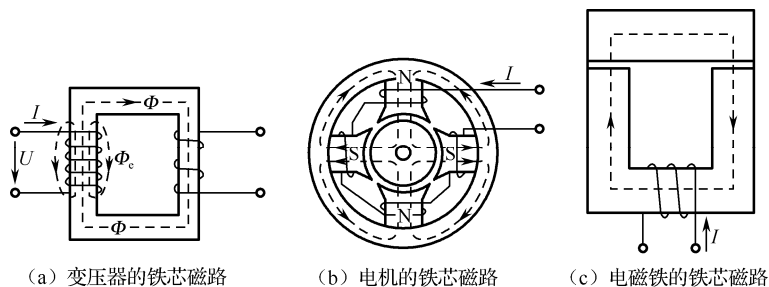


图 3-5 磁路图

磁阻与材料有关, 不同物质的磁阻也不同。若铁芯中存在空气隙, 则磁阻会增大很多。磁导率又称导磁系数, 磁导率越高, 磁阻越小, 说明材料导磁性能越好。铁磁性材料 (如硅钢片等) 就比空气的导磁能力强得多。在电动机和变压器中使用硅钢片, 就是为了在磁路中获得较好的导磁性能, 进而使设备获得较好的电气性能。

在磁路中, 当磁阻不变时, 磁通 Φ 与磁动势 NI 成正比, 与磁阻成反比。这一规律就是我们通常说的磁路欧姆定律。其公式为: $NI = \Phi R_m$, $\Phi = N \frac{I}{R_m}$ 。磁路的欧姆定律只适用于铁芯的非饱和状态。

四、思考与练习

1. 电压与电动势有什么区别?
2. 电磁感应定律的数学表达式是什么? 磁通变化量大, 感应电动势就一定大吗?
3. 感应电动势的方向用什么定律来判定?
4. 基尔霍夫第一定律又叫什么定律? 它是反映电路中什么关系的? 基尔霍夫第二定律是如何表述的?
5. 磁力线是一条闭合曲线, 线圈内磁场的方向与哪些因素有关?

第三节 交流电路基础知识

一、交流电

在生产和生活实践中, 交流电比直流电应用更广泛, 主要是因为它在生产、输送和使用方面比直流电优越得多。所谓交流电就是指大小和方向都随时间周期性变化的电动势、电压和电流。交流电又分为正弦交流电和非正弦交流电两大类。正弦交流电就是按正弦规律变化



的交流电。而非正弦交流电的电流、电压或电动势随着时间的变动是不按正弦规律变化的，其电压波形有可能是方波或锯齿波等。

二、正弦交流电的表示

正弦交流电的大小和方向每时每刻都在随时间的变化而变化。发电机发出来的交流电动势其最大值、频率、初相位是交流电的三要素。正弦量在 $t=0$ 时的相位称为初相位，其波形如图 3-6 所示。

正弦交流电瞬时值的计算公式为

$$e = E_m \sin(\omega t + \varphi)$$

式中， e —— 电动势瞬时值；

E_m —— 电动势最大值；

ω —— 角频率 $2\pi f$ ；

φ —— 初相位。

电压 u 和电流 i 的瞬时值计算公式分别为： $u = U_m \sin(\omega t + \varphi)$ ；

$i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$ 。

需要特别说明的是：以上计算公式中的角频率 ω 是表示正弦交流电变化的快慢的。由于正弦交流电完成一次循环对应的角度变化为 2π 弧度，若每秒钟完成 f 次循环，则相应的角度变化为 $2\pi f$ 弧度，故 $\omega = 2\pi f$ 。 f 就是我们常说的交流电的频率，单位是赫兹，用字母 Hz 表示。我国供电系统采用的交流电频率为 50Hz。周期是指交流电变化一次所需要的时间，用 T 表示，单位是秒 (s)。频率与周期互为倒数，即

$$f = \frac{1}{T} \quad T = \frac{1}{f}$$

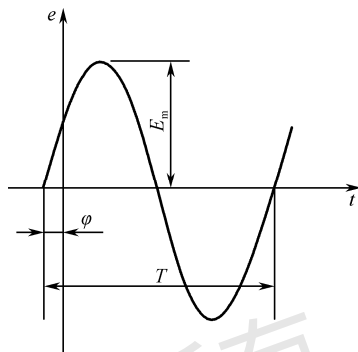


图 3-6 正弦电动势波形图

三、正弦交流电的有效值

正弦交流电的最大值就是在一个周期的变化过程中所出现的最大瞬时值。而有效值是根据“发热等效”的原则来定义的，即正弦交流电在同一时间内的发热量与某直流电流的发热量相同，则该直流电流的数值为交流电流的有效值。交流仪表和电器铭牌上标注的电流和电压所指的都是有效值。正弦交流电的最大值除以 $\sqrt{2}$ 为有效值，即

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

四、三相交流电路

三相交流电源是由三相交流发电机产生的。电路中的电源同时有三个交变电动势，这三个电动势的最大值相等、频率相同、相位互差 120° 。三相电源的三个绕组和负载，有两种常用连接方法，一个是星形接法，另一个是三角形接法。

1. 三相交流电源的表达式

三相交流电源的对称三相电动势的数学表达式为



$$e_U = E_m \sin \omega t$$

$$e_V = E_m \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$e_W = E_m \sin(\omega t - 240^\circ)$$

根据该表达式，还可以画出对称三相电动势的相量图和波形图。把任意瞬间三个电动势的大小加起来都会得出同一结论：三相对称电动势在任一瞬间的代数和都等于零。三相电压和三相电流的表达式也与此相同，其相位都是互差 120° 。

2. 三相电源两种连接方法的特点

(1) 星形连接。

将电源三相绕组的末端 U_2, V_2, W_2 连成一个节点，将首端 U_1, V_1, W_1 分别用导线引出接输电线路，这种连接方法称为星形连接，或称 Y 连接。三相绕组末端所连成的公共点称为电源的中性点，其引出线称为中性线，或称零线，用 N 表示。每相绕组的首端引出的线称为相线，俗称火线。三相电源星形连接时，可以输出两种电压，即相电压和线电压。

相电压：即每相绕组的首端与末端之间的电压（相线与零线之间的电压）。

线电压：即任意两根相线之间的电压（相线与相线之间的电压）。

在电工技术中，通常用 U_L 表示线电压，用 U_P 表示相电压，它们之间的关系为

$$U_L = \sqrt{3} U_P$$

(2) 三角形连接。

将电源的三相绕组依次首末端相连构成一个闭合回路，再从首端 U_1, V_1, W_1 引出导线接负载，这种连接方法称为三角形连接，或称 Δ 连接。三相电源三角形连接时，线电压等于相电压，即

$$U_L = U_P$$

特别要注意的是，当发电机绕组接成三角形时，在三个绕组构成的回路中总电势为零，在该回路中不会产生环流；当一相绕组接反时，回路电势就不再为零。由于发电机绕组的阻抗很小，将产生很大的环流，有可能会烧毁发电机。

3. 三相负载的连接

在生产实践中，用来带动机械的三相交流电动机和大功率的三相电炉等，均为三相负载。三相负载的连接也分为星形连接和三角形连接。

(1) 三相负载的星形连接。

三相负载的星形连接与三相电源的星形连接类似，即把三相负载的首端分别接到三相电源线上，把三相负载的末端连成一点 N（称为中性点），再接到三相电源的中性线上，如图 3-7 所示。这种由三根相线和一根中性线构成的电路称为三相四线制电路。

在三相四线制电路中的电流有相电流和线电流之分。每根相线中的电流称为线电流，每相负载中的电流称为相电流。只要三相电源是对称的，则加在每相负载上的电压都相等，即

$$U_U = U_V = U_W = \frac{U_L}{\sqrt{3}}$$

需要注意的是，若三相负载都相等，因为电压是对称的，所以负载相电流也是相等的，这时，中性线电流等于零。故可省去中性线，不影响三相电路的工作，各相负载上的电压依



然为对称的电源相电压。常用的三相异步电动机和三相电阻炉等都是三相对称负载，其特点是线电流与相电流相等，即

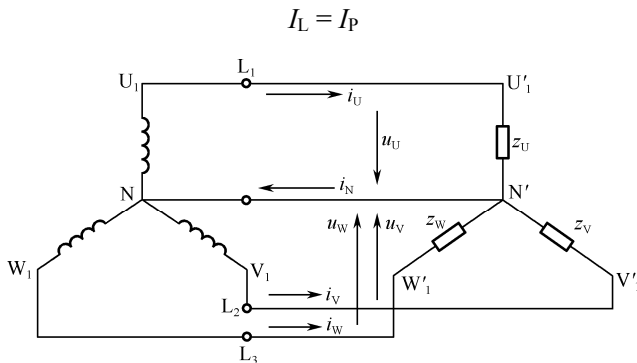


图 3-7 三相负载星形连接电路图

如果三相负载不相等，三个相电流的向量和不为零，中性线上就有电流通过，此时中性线不能省略，否则会造成严重事故。因为中性线不断开，即使三相负载不平衡，每个负载相线对零线之间的电压都是 220V，各相负载的使用互不干扰。一旦中性线断开，就会出现两组负载串联起来接到两根相线之间（380V）的现象。这样，各组单相负载上所承受的电压就不一定相等了，内阻大的负载承受的电压高，就会烧毁，内阻小的负载达不到额定电压。因此，三相四线制电路中的中性线（总零线）上，绝不允许装开关和熔断器。

(2) 三相负载的三角形连接。

三相负载的三角形连接如图 3-8 所示。各相负载阻抗分别为 Z_{UV} 、 Z_{VW} 、 Z_{WU} 。

三相负载的电源只需要三根相线采用三相三线制供电即可。由于各相负载都直接接在电源的端线之间，所以，各相负载的相电压与电源的线电压相等，即 $U_L = U_P$ 。但线电流是相电流的 $\sqrt{3}$ 倍，即 $I_L = \sqrt{3} I_P$ 。在相同的电源作用下，对称负载三角形连接的线电流是星形连接时的线电流的 3 倍。

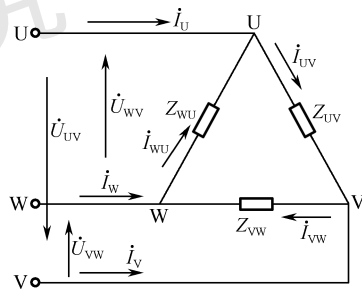


图 3-8 三相负载三角形连接电路图

4. 三相交流电路的功率

在单相交流电路中有功功率 P 等于相电压 U 与相电流 I 和功率因数 $\cos\Phi$ 的乘积，即

$$P = U_P I_P \cos\Phi$$

三相交流电路是由三个单相交流电路组合而成的，因此，不管三相负载采用何种连接方式或三相负载是否对称，均有以下公式成立

$$\begin{aligned} P &= P_U + P_V + P_W \\ Q &= Q_U + Q_V + Q_W \\ S &= \sqrt{P^2 + Q^2} \end{aligned}$$

式中， P ——有功功率，单位为瓦（W）；

Q ——无功功率，单位为乏（var）；



S ——视在功率，单位为伏安（VA）；

P_U, P_V, P_W ——每一相的有功功率，单位为瓦（W）；

Q_U, Q_V, Q_W ——每一相的无功功率，单位为乏（var）。

特别注意的是，在对称三相负载中，无论负载是星形连接还是三角形连接，其总功率都可以用下式表示

$$P = 3U_P I_P \cos\Phi = \sqrt{3} U_L I_L \cos\Phi$$

$$Q = 3U_P I_P \sin\Phi = \sqrt{3} U_L I_L \sin\Phi$$

$$S = 3U_P I_P = \sqrt{3} U_L I_L$$

常用的电力变压器和三相交流电动机的实际电流都可以用以上公式计算出来。计算出线路的实际电流后，再根据电流密度的选择要求，可计算出导线的截面积。

5. 功率因数的提高

交流电路中的负载性质一般分为电阻性、电感性 and 电容性三种。电阻性负载就是我们常用的白炽灯、电炉等。纯电阻性负载的特点是电路中电流与电压同相位，功率因素 $\cos\Phi$ 为 1，直接消耗电能。纯电感性负载的电路电流滞后于电压 90° ，（即电压超前于电流 90° ）；而纯电容性负载的电路电流超前于电压 90° （即电压滞后于电流 90° ）。它们本身不消耗电能，而功率因数为零，但在实际的电路中，几乎找不到纯电感性负载和纯电容性负载。任何一个实际的电感线圈，都是用导线绕制而成的，导线必定有一定的电阻，线圈的各匝之间也存在着电容。电动机是典型的电感性负载，其功率因数较低，一般为 $0.7\sim 0.85$ 。普通日光灯镇流器采用的电感线圈，其功率因数也是较低的。任何一个实际的电容器，也或多或少存在着漏电现象和介质损耗。所谓功率因数就是负载的有功功率与视在功率的比值，即 $\cos\Phi = \frac{P}{S}$ 。由功率计算公式可知，功率因数越低，要保证输出同样的有功功率，则线路上的电流就会增大，线路上的电能损耗就越大，同时，线路上的电压降也随之增大，会影响负载的正常运行。

因此，提高电力系统的功率因数，既能减少线路上的电压损失，又能使发、配电设备容量得到充分利用，从而节约大量电能。

五、思考与练习

1. 什么是交流电的周期？它与频率是什么关系？
2. 交流发电机是利用什么原理发电的？
3. 交流电的有效值是什么？它与最大值是什么关系？
4. 三相负载星形连接时，其线电压与相电压是什么关系？
5. 为什么说提高线路功率因数可以减少线路上的电压损失？

第四节 电子技术常识

电气物质有导体、半导体和绝缘体之分。所谓半导体是指导电能力介于导体和绝缘体之间的物质，如硅、锗等。本节主要介绍由硅、锗半导体材料制成的晶体二极管和晶体三极管的结构特性。



一、晶体二极管

1. 晶体二极管的结构

晶体二极管（可简称二极管）主要由管芯、管壳和两个电极组成。其管芯就是一个 PN 结。用特殊工艺把 P 型和 N 型半导体结合在一起，其交界面上形成一个带电薄层，称为 PN 结。

P 型半导体又称空穴型半导体，其内部空穴数量多于自由电子数量。例如，在硅单晶体中加入微量的硼元素就可得到 P 型硅。

N 型半导体又称电子型半导体，其内部自由电子数量多于空穴数量。例如，在硅单晶体中加入微量的磷元素，就可得到 N 型硅。

PN 结具有单向导电性。当 PN 结加上正向电压，即 P 区外接电源正极，N 区外接电源负极，此时电阻很小，PN 结处于导通状态；反之，当 PN 结加上反向电压，即 P 区外接电源负极，N 区外接电源正极，此时电阻很大，PN 结处于截止状态。在 PN 结的两端各引出一根引线，并用塑料、玻璃或金属材料作为外壳，就构成了晶体二极管。其结构和电气符号如图 3-9 所示。

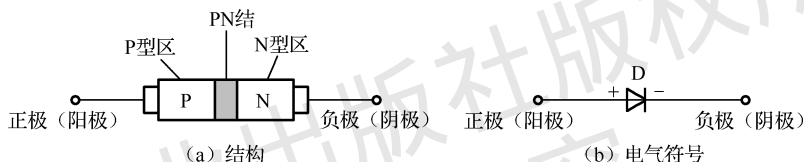


图 3-9 晶体二极管结构和电气符号

在上图中，P 区引出的电极称为正极（或阳极），N 区引出的电极称为负极（或阴极）。晶体二极管按材料不同，可分为硅管和锗管两大类。

2. 晶体二极管的伏安特性

所谓晶体二极管的伏安特性就是加在晶体二极管上的电压和流过晶体二极管的电流之间的关系。该关系可用一条曲线表示，图 3-10 (a) 表示的是硅二极管的伏安特性曲线，图 3-10 (b) 表示的是锗二极管的伏安特性曲线。

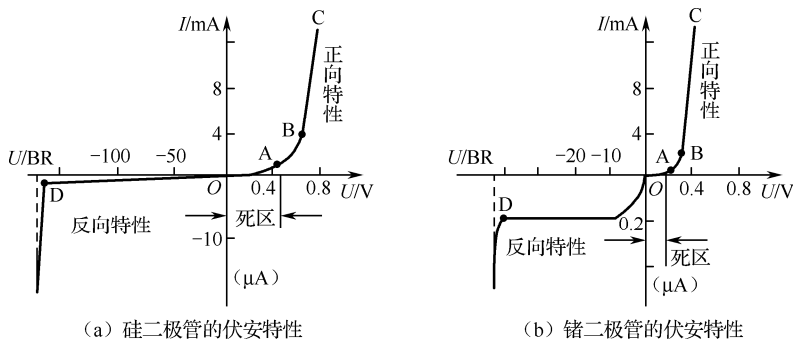


图 3-10 晶体二极管伏安特性曲线

从晶体二极管的伏安特性曲线中可看出，当给晶体二极管加上正向电压时，开始一段由于电压较低，二极管未导通，该段电压称为“死区电压”。死区电压，硅管为 0.6~0.7V，锗管为 0.2~0.3V。只有当正向电压高于死区电压时，管中电流才会明显增大。

另外，从晶体二极管的伏安特性曲线中还可看出，当晶体二极管反向电压增大到 V_D 时，反向电流开始急剧增大，这时的反向电压称为晶体二极管击穿电压。利用这一特性制造出的稳压二极管，只要反向电流小于它的最大允许值，稳压二极管就不会发生热击穿而损坏。从伏安特性曲线上看出，当反向电流的变化量很大时，管子两端电压的变化量却很小，这就是稳压二极管的稳压特性。

根据晶体二极管的特性，它除了可以制成稳压二极管外，在实际应用中主要还是用来整流。其整流电路有单相整流电路和三相整流电路等。

3. 晶体二极管的主要参数

(1) 最大正向电流（即整流电流）：即晶体二极管长期运行时，允许通过的最大正向平均电流，通常称为额定电流。晶体二极管在使用时，不可超过该电流值，否则会烧坏。

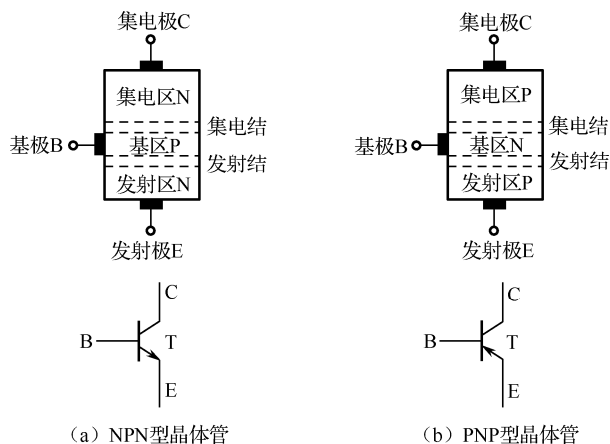
(2) 最高反向工作电压：是指晶体二极管不被反向击穿而规定的最高反向电压，通常称为额定工作电压。

以上是晶体二极管在选用时要考虑的两个最主要的额定参数，还有反向饱和电流、最高工作频率等也是选用时需要考虑的参数。

二、晶体三极管

1. 晶体三极管的结构

晶体三极管（可简称三极管）的结构与晶体二极管的相比，主要区别在于多了一个 PN 结、三个电极。三个电极依次为发射极（E）、基极（B）和集电极（C），它们分别由发射区、基区和集电区引出。晶体三极管的类型有 NPN 和 PNP 两种。发射区与基区之间的 PN 结称为发射结，集电区与基区之间的 PN 结称为集电结，如图 3-11 所示。



(a) NPN型晶体管

(b) PNP型晶体管

图 3-11 晶体三极管的结构示意图与电气符号



电气符号中,发射极箭头的方向表示发射结加正向电压(正偏)时的实际电流方向。NPN和PNP的电流方向正好相反。根据管芯所用半导体材料的不同,晶体三极管也同样有硅管和锗管之分。

2. 晶体三极管的主要参数

(1) 电流放大倍数 β 。

晶体三极管在电子线路中主要用于放大和开关,在实际应用中大多用来进行电流放大。所谓电流放大就是当晶体三极管基极电流有一个很微小变化时,集电极电流就有一个较大的变化。用 β 表示共发射极接法的晶体三极管交流电流放大倍数,则 $\beta = \Delta I_C / \Delta I_B$ 。

β 值的大小除了与晶体三极管的材料、结构有关外,还与工作电流有关。一般情况下,只要求晶体三极管满足放大条件:发射结加正向电压,集电结加反向电压,集电极电流 $I_C \approx \beta I_B$ 。

(2) 极间反向饱和电流。

① 集电极—基极反向饱和电流 I_{CBO} 。

② 集电极—发射极反向漏电流(又称穿透电流) I_{CEO} 。

I_{CEO} 和 I_{CBO} 存在下列关系

$$I_{CEO} = (1 + \beta) I_{CBO}$$

(3) 晶体三极管的极限参数。

① 集电极最大允许电流 I_{CM} 。若集电极电流过大, β 值会严重下降。

② 集电极最大允许耗散功率 P_{CM} 。这是晶体三极管最大允许平均功率,若功率长时间超过此值,晶体三极管会因过热而损坏。

③ 集电极—发射极间的反向击穿电压 V_{CEO} 。它是基极开路时,加在集电极与发射极之间的最大允许电压,若此电压太高会导致热击穿损坏晶体三极管。

以上所述的晶体三极管是利用输入电流控制输出电流的半导体器件,称为电流控制型器件。另外,在晶体管中还有一种单极型半导体器件,称为场效应管,又称单极型三极管,是一种电压控制型器件。

三、思考与练习

1. 晶体二极管有什么特性?如何用万用表测量晶体二极管的好坏?
2. 稳压晶体二极管正常工作是处在什么状态?
3. 晶体三极管处于放大状态要满足什么条件?