

## 第3章 变压器

变压器是利用电磁感应定律制成的一种静止的电气设备，具有变换电压、电流、阻抗等功能。

在电力系统中，为减小线路上的功率损耗，实现远距离输电，一般用变压器将发电机发出的电源电压升高后再送入输电电网。在配电地点，为了用户的安全和降低用电设备的制造成本，先用变压器将电压降低，然后分配给用户。电力系统应用的变压器容量大，称为电力变压器，标志其性能的主要指标是外指标和效率。

在电子技术中，主要利用变压器进行整流、传递信号和阻抗匹配。这样的变压器的容量都较小，效率不是其主要的性能指标。除此之外，变压器还包括自耦变压器、仪用互感器及用于金属热加工的电焊变压器、电炉变压器等。

### 3.1 变压器的基本结构

变压器的主要结构包括铁芯、绕组、箱体及其他零部件。

铁芯是变压器的磁路，又是绕组的支撑骨架。为了减少铁芯内的磁滞和涡流损耗，通常采用含硅量为5%、厚度为0.35mm或0.5mm的两平面涂绝缘漆的或经氧化膜处理的硅钢片叠装而成。

按绕组套入铁芯的形式，单相变压器可分为心式和壳式两种，如图3-1所示。心式变压器的特点是绕组包围着铁芯，结构简单，用铁量较少，绕组的安装和绝缘比较容易，多用于容量较大的变压器，一般的电力变压器均采用心式结构。壳式变压器的特点是铁芯包围着绕组，用铜量较少，多用于小容量的变压器。

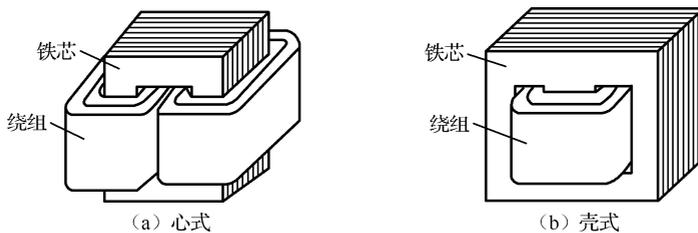


图3-1 单相变压器

绕组是变压器的电路部分，一般用高强度漆包铜线（也可用铝线）绕制而成。接高压电网的绕组称为高压绕组，接低压电网的绕组称为低压绕组，根据高、低压绕组的相对位置，可分为同心式和交叠式两种不同的排列方法。

变压器除上述几种基本组成部分外，还有分接开关、气体继电器、安全气道、测温器等组成部分，这里不一一介绍。

### 3.2 变压器的工作原理

图3-2所示为单相变压器的工作原理，为了便于分析，图中将高压绕组和低压绕组分别画在两个铁芯柱上。连接电源的线圈称为原绕组（或原边），也称一次绕组，匝数为 $N_1$ ，对应的物理量用 $u_1$ 、 $i_1$ 、 $e_1$ 表示；连接负载的线圈称为副绕组（或副边），也称二次绕组，匝数为 $N_2$ ，对应的物理量用 $u_2$ 、 $i_2$ 、 $e_2$ 表示。原绕组输入功率，副绕组输出功率。原、副绕组没有电的联系，只通过铁芯（磁路）相互联系。

变压器的原绕组接交流电源，副绕组开路，称为变压器的空载，此时原绕组电流 $i_1=i_{10}$ ，称为空载电流；副绕组电流 $i_2=0$ ，负载不消耗功率。

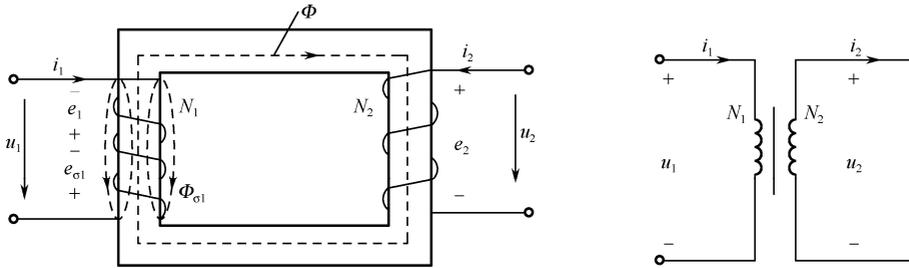


图 3-2 单相变压器的工作原理

原绕组空载电流为  $i_{10}$ ，也称励磁电流，副绕组空载电压为  $u_{20}$ 。建立磁动势  $F_0 = N_1 i_{10}$ ，磁动势  $F_0$  在铁芯中产生主磁通  $\Phi$  和漏磁通  $\Phi_{\sigma 1}$ ，主磁通  $\Phi$  分别与原绕组、副绕组相交链，产生感应电动势  $e_1$ 、 $e_2$ 。若感应电动势  $e_1$ 、 $e_2$  与主磁通  $\Phi$  的参考方向之间符合右手螺旋定则，由楞次定律可得

$$\begin{aligned} e_1 &= -N_1 \frac{d\Phi}{dt} \\ e_2 &= -N_2 \frac{d\Phi}{dt} \end{aligned} \quad (3-1)$$

漏磁通  $\Phi_{\sigma 1}$  只与原绕组交链，产生感应电动势  $e_{\sigma 1}$ 。

以上分析，就是变压器空载状态时的基本物理过程，可见变压器通过磁耦合的关系将原绕组的电能传递给副绕组。

### 3.3 变压器的功能

#### 1. 变压器的电压变换

根据电磁感应原理，主磁通在原、副绕组中产生的感应电动势  $e_1$ 、 $e_2$  分别为

$$e_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt}, \quad e_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

由于  $u_1$  是按正弦规律变化的，所以主磁通  $\Phi$  也会按正弦规律变化。设  $\Phi = \Phi_m \sin \omega t$ ，则

$$\begin{aligned} e_1 &= -N_1 \frac{d\Phi}{dt} = -N_1 \omega \Phi_m \cos \omega t = 2\pi f N_1 \Phi_m \sin(\omega t - 90^\circ) = E_{1m} \sin(\omega t - 90^\circ) \\ e_2 &= -N_2 \frac{d\Phi}{dt} = -N_2 \omega \Phi_m \cos \omega t = 2\pi f N_2 \Phi_m \sin(\omega t - 90^\circ) = E_{2m} \sin(\omega t - 90^\circ) \end{aligned} \quad (3-2)$$

感应电动势的有效值分别为

$$\begin{aligned} E_1 &= \frac{E_{1m}}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi f N_1 \Phi_m}{\sqrt{2}} = 4.44 f N_1 \Phi_m \\ E_2 &= \frac{E_{2m}}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi f N_2 \Phi_m}{\sqrt{2}} = 4.44 f N_2 \Phi_m \end{aligned} \quad (3-3)$$

根据图 3-2 所示的参考方向，可得原、副绕组回路电压的方程为

$$\begin{aligned} u_1 &= R_1 i_1 - e_1 - e_{\sigma 1} \\ u_2 &= u_{20} = e_2 \end{aligned}$$

则有

$$U_1 \approx E_1, \quad U_2 = U_{20} \approx E_2$$

可得

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = k \quad (3-4)$$

式中,  $k$  称为变压器的电压比, 它定义为变压器空载运行时, 原、副绕组上的电压比, 它也等于原、副绕组的匝数比。只要选择适当的电压比, 就可以实现变换电压的目的。当  $k > 1$  时, 变压器为降压变压器; 当  $k < 1$  时, 变压器为升压变压器。对于已制成的变压器而言,  $k$  值一定, 故副绕组电压随原绕组电压的变化而变化。

**【例 3-1】** 某单相变压器接到  $U_1=220\text{V}$  的正弦交流电源上, 已知副绕组空载电压  $U_{20}=20\text{V}$ , 副绕组匝数  $N_2=50$ , 求变压器的电压比  $k$  及原绕组匝数  $N_1$ 。

解:

$$k = \frac{U_1}{U_{20}} = \frac{220}{20} = 11$$

$$N_1 = kN_2 = 11 \times 50 = 550$$

## 2. 变压器的电流变换

变压器的副绕组接负载后, 副绕组有电流流过, 若忽略原绕组和副绕组的等效电阻和漏感抗降, 变压器的负载运行如图 3-3 所示。副绕组感应电动势  $e_2$  产生交流电流  $i_2$ , 原绕组的电流由空载励磁电流  $i_{10}$  变为  $i_1$ 。副绕组内流过电流  $i_2$  时产生交变磁动势  $F_2=N_2i_2$ , 磁动势  $F_2$  也要产生磁通, 此时变压器铁芯中的主磁通由原绕组磁动势和副绕组磁动势共同产生, 磁动势  $F_2$  有改变铁芯中原有主磁通的趋势。但是, 在原绕组且交流电压不变的情况下, 变压器的主磁通将基本保持不变, 即变压器负载运行时的总磁动势应与变压器空载时的磁动势基本相等, 因而原绕组电流由  $i_{10}$  变为  $i_1$ , 使原绕组的磁动势由  $N_1i_{10}$  变为  $N_1i_1$ , 以抵消副绕组磁动势  $F_2$  的作用, 磁动势平衡方程为

$$N_1i_1 + N_2i_2 = N_1i_{10} \quad (3-5)$$

其相量形式为

$$N_1\dot{I}_1 + N_2\dot{I}_2 = N_1\dot{I}_{10} \quad (3-6)$$

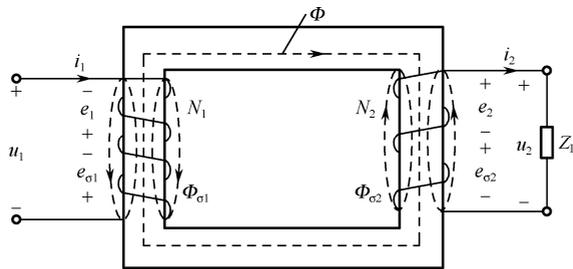


图 3-3 变压器的负载运行

变压器空载电流  $i_{10}$  主要用来励磁。由于铁芯的磁导率  $\mu$  很大, 故空载电流  $i_{10}$  很小, 常忽略不计, 于是式 (3-6) 变为

$$N_1\dot{I}_1 \approx -N_2\dot{I}_2 \quad (3-7)$$

即原、副绕组的磁动势在相位上近似反相。

原、副绕组电流有效值的关系为

$$\frac{I_1}{I_2} \approx \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{k} \quad (3-8)$$

由式 (3-8) 可知, 变压器原、副绕组电流比近似等于其匝数比的倒数。改变原、副绕组的匝数, 可以改变原、副绕组电流的比值, 这就是变压器的电流变换作用。

## 3. 变压器的阻抗变换

在图 3-4 (a) 所示的电路中, 变压器的原绕组接上电源电压  $U_1$ , 副绕组接入负载阻抗  $Z_L$ , 从原绕组看进去, 可用一个阻抗  $Z'_L$  来等效, 图 3-4 (b) 是其等效电路。

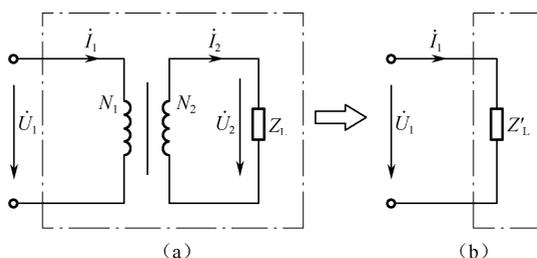


图 3-4 变压器的阻抗变换

由于  $Z_L = \frac{\dot{U}_2}{\dot{I}_2}$ ，而从原绕组看进去的等效阻抗

$$Z_L' = \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1} = \frac{k\dot{U}_2}{\dot{I}_2/k} = k^2 \frac{\dot{U}_2}{\dot{I}_2} = k^2 Z_L \quad (3-9)$$

可见，把阻抗为  $Z_L$  的负载接到电压比为  $k$  的变压器的副绕组上时，从原绕组看进去的等效阻抗就变为  $k^2 Z_L$ ，实现了阻抗的变换。当副绕组上的负载阻抗一定时，通过选取不同的匝数比的变压器，在原绕组上可得到不同的等效阻抗，因此，在电子线路和通信工程中，为了获得最大的功率输出，可以利用变压器使负载阻抗正好等于电源的内阻抗，实现阻抗匹配。

**【例 3-2】** 某交流信号源  $U_s=12\text{V}$ ，内阻  $R_0=250\Omega$ ，负载电阻  $R_L=10\Omega$ ，试求：（1）负载直接接入信号源时，负载获取的功率  $P_L$ 。（2）在信号源与负载之间接入一个输出变压器，负载获得最大功率时变压器的电压及负载获取的最大功率  $P_{L\max}$ 。

**解：**（1）负载直接接入信号源时，电路电流

$$I = \frac{U_s}{R_0 + R_L} = 0.046\text{A}$$

负载吸取的功率

$$P_L = I^2 R_L = 21.2\text{mW}$$

（2）要使负载获得最大功率，必须使负载电阻等于信号源内阻。当信号源接入输出变压器后，只要保证变压器负载折算到原绕组的等效电阻等于信号源内阻，即可实现在负载上取得最大功率，也就是存在

$$R_L = R_0 = 250\Omega$$

由阻抗变换关系可求得变压器的电压比

$$k = \sqrt{\frac{R_L'}{R_L}} = \sqrt{\frac{250}{10}} = 5$$

此时信号源输出的电流

$$I = \frac{U_s}{R_0 + R_L'} = 0.024\text{A}$$

负载获得的最大功率

$$P_{L\max} = I^2 R_L' = 0.024^2 \times 250\text{W} = 144\text{mW}$$

显然，利用变压器使其负载阻抗与电源的内阻抗相匹配，可以获得较高的功率输出。

### 3.4 变压器的运行特性

#### 1. 变压器的外特性

当变压器原绕组电压  $U_1$ 、额定频率和负载功率因数  $\cos\varphi$  一定时，副绕组电压  $U_2$  随负载电流

$I_2$  变化的关系  $U_2 = f(I_2)$  称为变压器的外特性, 如图 3-5 所示。它反映了当变压器负载性质 ( $\cos \varphi$ ) 一定时, 副绕组电压随负载电流变化的情况。

当负载是电阻或感性负载时, 输出电压  $U_2$  随输出电流  $I_2$  的增加呈下降趋势。对于相同的负载电流  $I_2$ , 负载的感性越强, 功率因数越低, 对应的输出电压  $U_2$  下降也越多。一般地, 人们总是希望副绕组电压  $U_2$  的变动越小越好, 副绕组电压的变化程度可用电压变化率  $\Delta U\%$  来表示, 即

$$\Delta U\% = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} \times 100\% \quad (3-10)$$

式中,  $U_{20}$  和  $U_2$  分别是空载和额定负载时的副绕组电压的有效值。显然变压器从空载到额定负载的运行过程中, 输出电压  $U_2$  的下降程度是衡量变压器输出电压稳定性的主要指标。电力变压器的电压调整率一般在 5% 左右。

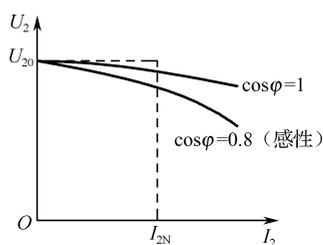


图 3-5 变压器的外特性曲线

## 2. 变压器的损耗和效率

变压器在运行时存在两种损耗: 铜损和铁损。铜损是变压器运行时其原、副绕组的直流电阻  $R_1$  和  $R_2$  上的损耗, 即  $\Delta P_{Cu} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2$ , 它与负载电流的大小有关; 铁损是交变的主磁通在铁芯中产生的磁滞损耗和涡流损耗, 即  $\Delta P_{Fe}$ , 它与铁芯的材料、电源电压  $U_1$ 、电源频率  $f$  等参数有关, 而与负载的大小无关。

设变压器的输出功率为  $P_2$ 。则输入功率  $P_1$  为

$$P_1 = P_2 + \Delta P_{Cu} + \Delta P_{Fe} \quad (3-11)$$

输出功率  $P_2$  与输入功率  $P_1$  之比称为变压器的效率, 通常用百分数表示, 即

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P_{Cu} + \Delta P_{Fe}} \times 100\% \quad (3-12)$$

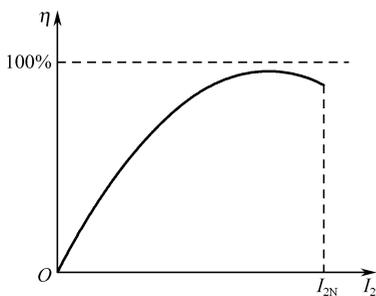


图 3-6 变压器效率与负载电流的关系

当电源电压  $U_1$  和频率  $f$  一定时, 主磁通  $\Phi$  基本不变, 铁损也基本不变, 故铁损又称为不变损耗。而铜损随负载电流的变化而变化, 故又称为可变损耗。由于变压器空载时铜损  $\Delta P_{Cu} = I_{10}^2 R_1$  很小, 电源输入的功率 (称为空载损耗) 基本上都损耗在铁芯上, 故可认为空载损耗等于铁损。随着负载的增大, 开始时  $\eta$  也增大, 但后来因铜损增加得很快,  $\eta$  反而有所下降, 在不到额定负载时出现  $\eta$  的最大值。所以变压器并非运行在额定负载时效率最高, 变压器效率  $\eta$  与负载电流  $I_2$  的关系如图 3-6 所示。通常在额定负载的 80% 左右时, 变压器的工作效率最高。小型变压器的效率为 60%~90%, 大型电力变压器的效率可达 99%。

**【例 5-3】** 有一个单相变压器,  $U_1=220\text{V}$ ,  $f=50\text{Hz}$ 。空载时  $U_{20}=110\text{V}$ ,  $I_{10}=1\text{A}$ , 空载损耗功率  $P_0=55\text{W}$ 。副绕组接电阻额定负载时,  $I_1=9.2\text{A}$ ,  $I_2=18\text{A}$ ,  $U_2=106\text{V}$ , 主绕组侧输入功率  $P_1=2120\text{W}$ 。试求: (1) 变压器的电压比  $k$ ; (2) 电压变化率  $\Delta U\%$ ; (3) 效率及变压器的铁损  $\Delta P_{Fe}$ 、铜损  $\Delta P_{Cu}$ 。

解: (1) 电压比

$$k = \frac{U_1}{U_{20}} = \frac{220}{110} = 2$$

(2) 电压变化率

$$\Delta U\% = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} \times 100\% = \frac{110 - 106}{110} \times 100\% = 3.6\%$$

(3) 效率

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% = \frac{106 \times 18}{2120} \times 100\% = 90\%$$

铁损

$$\Delta P_{\text{Fe}} \approx P_0 = 55\text{W}$$

铜损

$$\Delta P_{\text{Cu}} = P_1 - P_2 - P_{\text{Fe}} = 157\text{W}$$

## 3.5 变压器的额定值

变压器在规定的使用环境和运行条件下的主要技术数据的限定值称为额定值。额定值通常标在变压器的铭牌上，故也称为铭牌数据。铭牌数据是选择和使用变压器的依据。这里介绍几个主要的铭牌数据，其他的数据可以依据变压器的型号查看相关手册。

### 1. 型号

按照国家标准的有关规定，型号由有关字母和数字组成。字母表示的意义：S 表示三相，D 表示单相；数字代表主要的技术数据。

### 2. 额定电压

变压器在额定运行情况下，根据变压器的绝缘强度和允许温升所规定的原绕组应加的电压的有效值称为原绕组的额定电压，用  $U_{1N}$  表示。副绕组的额定电压  $U_{2N}$  在电力系统中是指变压器原绕组施加额定电压时副绕组空载电压的有效值；在仪器仪表中通常是指变压器原绕组施加额定电压、副绕组接额定负载时的输出电压的有效值。三相变压器的额定电压一律指线电压。

### 3. 额定电流

变压器在额定运行情况下，原、副绕组允许长时间通过的电流的有效值称为额定电流。三相变压器额定电流一律指线电流。

### 4. 额定容量

额定容量即额定视在功率，表示变压器输出功率的能力，用  $S_N$  表示，忽略损耗，额定容量可以表示为

$$\begin{aligned} S_N &= U_{2N} I_{2N} = U_{1N} I_{1N} \quad (\text{单相}) \\ S_N &= \sqrt{3} U_{2N} I_{2N} = \sqrt{3} U_{1N} I_{1N} \quad (\text{三相}) \end{aligned} \quad (3-13)$$

### 5. 额定频率 $f_N$

额定频率  $f_N$  是指变压器应接入的电源频率，我国电力系统的标准频率为 50Hz。

## 3.6 特殊变压器

### 3.6.1 自耦变压器

前面介绍的变压器，其原、副绕组是相互绝缘的，没有电的直接联系，称为双绕组变压器。如果原、副绕组共用一个绕组，使低压绕组成为高压绕组的一部分，这种只具有一个绕组的变压器称为自耦变压器，如图 3-7 所示，原、副绕组间不仅有磁的耦合，而且还有电的联系。自耦变压器两绕组之间仍然满足电压、电流、阻抗的变换关系。即

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{N_1}{N_2} = k, \quad \frac{I_1}{I_2} \approx \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{k} \quad (3-14)$$

自耦变压器仅用于电压比不大的场合，一般  $k$  为  $1.5 \sim 2$ 。在某些场合，我们希望电压可以平滑地被调节，因此，有的自耦变压器利用滑动触点均匀改变副绕组的匝数，从而使副绕组的电压平滑可调，这种可以平滑地调节电压的自耦变压器称为调压器。图 3-8 所示是实验室中常用的调压器的外形和原理。转动手柄可改变副绕组的匝数，从而达到调压的目的，输入电压可取 220V 或 110V 两种，输出电压的调节范围为  $0 \sim 250V$ 。

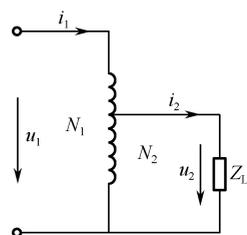


图 3-7 自耦变压器

自耦变压器也可做成三相的，通常接成星形，如图 3-9 所示。三相异步电动机的一种起动方法——自耦降压起动法，就是利用三相自耦变压器实现的。

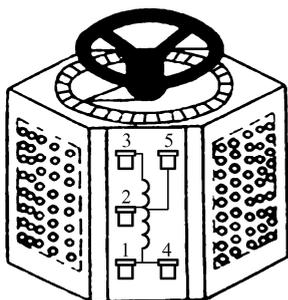


图 3-8 实验室中常用的调压器

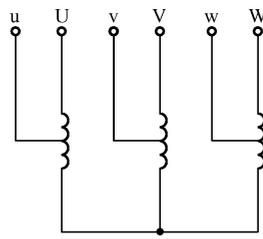
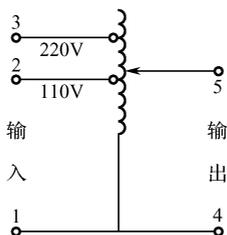


图 3-9 三相自耦变压器

使用调压器时应注意以下几点：

- (1) 原、副绕组不能对调使用，否则可能会烧坏绕组，甚至造成电源短路；
- (2) 接通电源前，先将滑动触头移至零位，接通电源后，再逐渐转动手柄，将输出电压调到所需值，而且通电前，应先将图 3-8 中的接线柱 1 和接线柱 4 相连，并一起接到零线上，以保证调压器的安全使用，用毕，再将手柄转回零位，以备下次安全使用；
- (3) 无论输出电压多低，其电流也不允许大于额定电流。

### 3.6.2 仪用互感器

用于测量的变压器称为仪用互感器，简称互感器。使用互感器的主要目的：一是扩大测量仪表的量程，使测量仪表与大电流或高电压电路隔离；二是进行继电保护。按用途分，仪用互感器可分为电流互感器和电压互感器两种。

#### 1. 电流互感器

电流互感器是根据变压器的电流变换原理制成的。它可将线路上的大电流变为副绕组上的小电流，以适应电流表的量程，并使测量仪表与高压电路隔离，以确保人身及设备安全。

电流互感器如图 3-10 所示，其原绕组用粗线绕成，通常只有一匝或几匝，串联在被测线路上，通过原绕组的电流与负载电流相等；副绕组匝数较多，与电流表或功率表的电流线圈串联成闭合回路。因为电流表或功率表的电流线圈电阻很小，所以电流互感器的副绕组相当于短路，根据变压器原理，原、副绕组的电流比如下：

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = k_i \quad \text{或} \quad I_1 = k_i I_2 \quad (3-15)$$

式 (3-15) 中， $k_i$  为电流互感器的电流比。当  $N_2 \gg N_1$  时， $k_i$  很大， $I_2 \ll I_1$ ，故利用电流互感器可用小量程的电流表来测量大电流。测量时只要把电流表的读数乘以电流比即得被测的电流值。通常电流互感器副绕组的额定电流都规定为 5A，在不同电流等级的电路中所用的电流互感器的电流

比是不同的，例如 30/5、50/5、100/5 等。

电流互感器在使用时副绕组不允许开路，当副绕组开路时，铁芯中由于失去了  $i_2$  的去磁作用，主磁通将急剧增加，使铁芯过热而烧毁绕组，同时副绕组中会感应出高电压，危及人身和设备的安全。为此在电流互感器的副绕组不允许接入熔断器和开关，在副绕组电路拆装仪表时，必须先将仪表短路。此外，为了安全，电流互感器的铁芯和副绕组都必须接地。

钳形电流表是由电流互感器和电流表组成的测量仪表，用它测量电流时不必断开被测电路，使用十分方便。图 3-11 所示是一种钳形电流表的外形及结构原理，其钳形铁芯可以开合，测量电流时先按下压块，使可动铁芯张开，将被测电流的导线套进钳形铁芯内，然后放开压块使铁芯闭合。这样，被套进的载流导线就成为电流互感器的原绕组，其匝数  $N_1=1$ 。电流互感器的副绕组绕在铁芯上并与电流表构成闭合回路，可从电流表上直接读出被测电流的大小。

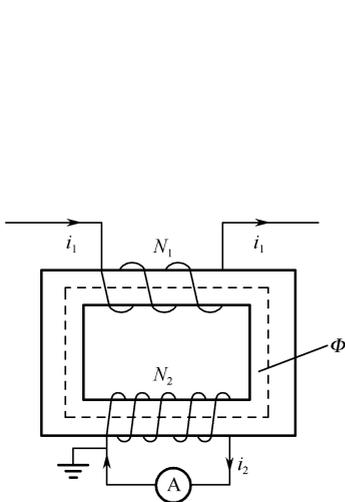


图 3-10 电流互感器

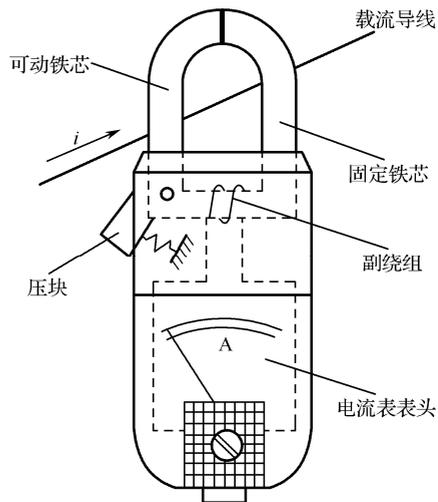


图 3-11 钳形电流表

## 2. 电压互感器

电压互感器可将高电压变换为低电压，然后连接测量仪表或继电保护等，使仪表、设备及工作人员与高压电路隔离。

电压互感器如图 3-12 所示，其原绕组匝数多，与被测的高压线路并联；副绕组匝数少，与电压表、功率表的电压线圈等并联。由于电压表或功率表的阻抗很大，因此电压互感器副绕组的电流很小，近似于变压器的空载运行状态，于是有

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = k_u \quad \text{或} \quad U_1 = k_u U_2 \quad (3-16)$$

式 (3-16) 中， $k_u$  称为电压互感器的电压比。当  $N_1 \gg N_2$  时， $k_u$  很大， $U_2 \ll U_1$ ，故可用低量程的电压表测量高电压。由于  $k_u$  是已知的，测量时只要把电压表的读数乘以电压比就可以得到  $U_1$ 。通常不论电压互感器的额定电压是多少，其副绕组的额定电压皆为 100V，可采用统一的 100V 标准电压表。因此，在不同电压等级的电路中所用的电压互感器，其电压比是不同的，例如 6000/100、10000/100 等。

为了工作安全，电压互感器的铁芯、金属外壳及低压绕组的一端都必须接地。如果不接地，万一高压、低压绕组之间的绝缘损坏，低压侧将出现高电压，这对工作人员来说是非常危险的。另外，使用时要防止副绕组短路，因为短路电流很大，会烧坏绕组，故应在原、副绕组接入熔断器进行保护。

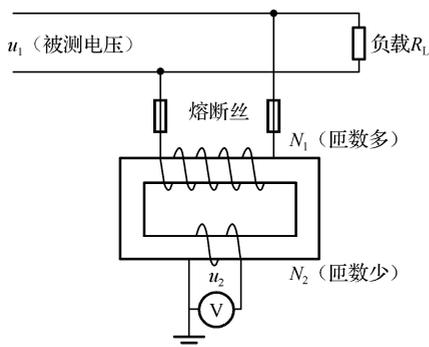


图 3-12 电压互感器的原理及实物

### 3.6.3 电焊变压器

电焊变压器又称交流电焊机，如图 3-13 所示，是一种特殊的降压变压器，它是由降压变压器、阻抗调节器、焊钳和导线等组成的，在工程技术上应用很广。

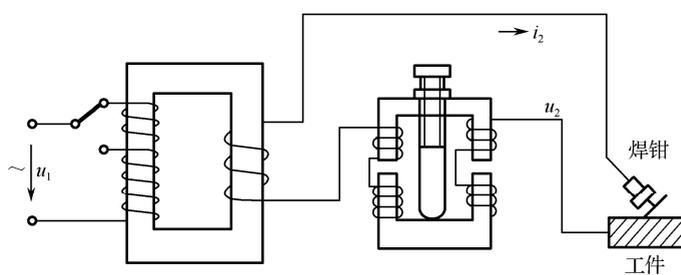


图 3-13 电焊变压器的原理及实物

为了使焊接顺利进行，这种变压器具有以下特性。

#### 1. 具有陡降的特性

这种变压器所输出的电压可随输出电流的变化而变化，开始焊接时，输出电压迅速降低，以限制短路电流，使电流不至于无限增大而烧毁电源。这种特性称为陡降特性，这就满足了焊接所需的各种电压要求。

(1) 初级电压。即接入电焊变压器的外电压，一般为 220V 或 380V，可通过改变初级绕组的分接头实现。

(2) 空载电压。为了满足引弧与安全带的需要，空载时，要求空载电压为 60~80V，这样既能顺利起弧，又对人身比较安全。

(3) 零电压。为了保证焊接过程中的频繁短路（焊条与焊件接触），要求电压能自动降低，趋近于零，以保证短路电流不至于无限增大而烧毁电源。

(4) 工作电压。焊接起弧以后，要求电压能自动下降到电弧正常工作所需的电压，即工作电压，为 20~40V，此电压也称为安全电压。

(5) 电弧电压。即电弧两端的电压，此电压应在工作电压的范围内。焊接时，电弧的长短会发生变化：若电弧长度长，则电弧电压应高些；若电弧长度短，则电弧电压应低些。因此，电焊变压器应适应电弧长度的变化而保证电弧的稳定。

#### 2. 具有焊接电流可调节的特性

为了适应不同材料和板厚的焊接要求，焊接电流能从几十安培调到几百安培，并可根据工件的厚度和所用焊条直径的大小任意调节所需的电流值。粗调时，常用改变输出线头的接法；细调时，常用改变电焊变压器内可动铁芯或可动线圈的位置的方法来得到所需电流值。

## 3.7 应用举例

### 1. 电力系统变压器

在电力系统中,从经济角度考虑,远距离输电常采用高电压等级。这是因为,若发电厂欲将  $P = 3UI \cos \varphi$  的功率输送到用电区域,在  $P$ 、 $\cos \varphi$  一定时,采用的电压越高,输电线路中的电流越小,这样可以大大减小输电线路上的损耗,且节约导电材料。事实上,目前,交流输电的电压已达 500kV 甚至以上,这样高的电压,对发电侧和用电侧会产生什么影响呢?

就发电侧而言,无论从发电机的安全运行方面还是从制造成本方面考虑,不适合也不允许由发电机直接产生高压。考虑到发电机的输出电压一般有 3.15kV、6.3kV、10.5kV 等几种,因此必须用升压变压器将电压升高才能实现电能的远距离输送。

就用电侧而言,由于多数用电器所需电压为 380V、220V。高电压的电能输送到用电区域后,为了适应用电设备的电压要求,还需要通过各级变电站利用降压变压器将电压降低为各类用电器所需要的电压值。

### 2. 隔离变压器

隔离变压器也是一种应用广泛的变压器。隔离变压器一般是指 1:1 的变压器,它的工作原理和普通变压器是一样的,都是利用电磁感应定律工作,但由于隔离变压器的原绕组和副绕组回路需要有较好的“隔离性”,因此在结构上,隔离变压器和一般变压器有一些不同。一般变压器的原、副绕组之间虽然也有隔离电路的作用,但在频率较高的情况下,两绕组之间的电容仍会使两绕组之间出现静电干扰。为避免这种干扰,隔离变压器的原、副绕组一般分置于不同的铁芯柱上,以减小两者之间的电容;也有采用原、副绕组同心放置的,但需要在绕组之间加置静电屏蔽,以获得较高的抗干扰性。除结构上的不同外,隔离变压器的副绕组不接地,副绕组任意一根线与地之间没有电位差,因此使用安全。

隔离变压器的隔离性和安全性的特点,决定了隔离变压器的主要作用:使原绕组与副绕组完全隔离,同时利用铁芯的高频损耗大的特点,抑制高频杂波传入控制回路,从而保护设备;另外,能够隔离危险电压,保护人身安全。

## 本章小结

本章介绍了变压器的基本结构、工作原理、功能、运行特性、额定值,以及特殊变压器,主要内容归纳如下。

(1) 变压器是利用电磁感应定律制成的一种静止的电气设备,它由闭合铁芯和绕在其上的原、副绕组组成。

(2) 变压器具有变换电压、电流和阻抗的功能。即

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{N_1}{N_2} = k; \quad \frac{I_1}{I_2} \approx \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{k}; \quad |Z'_L| \approx \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 |Z_L| = k^2 |Z_L|$$

(3) 变压器的电压变化率和效率是它的两个主要运行参数,其中电压变化率  $\Delta U\% = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} \times 100\%$ , 效率  $\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + P_{Cu} + P_{Fe}}$ 。

(4) 自耦变压器的特点是原绕组与副绕组共用一个绕组,原、副绕组既有磁的联系,又有电的联系。由自耦变压器构成的调压器,其副绕组绕组匝数可以通过滑动触头任意改变,因此副绕组电压可以被平滑调节。仪用互感器有电压互感器和电流互感器两种。电压互感器用于测量高电压,原绕组并联于待测电路,副绕组连接电压表,不允许短路;电流互感器用于测量大电流,原绕组串联

于待测电路，副绕组连接电流表，不允许开路。钳形电流表是由电流互感器和电流表组成的测量仪表，用它测量电流时，不必断开被测电路，使用十分方便。

### 习题 3

3-1 变压器的铁芯起什么作用？不用铁芯行不行？

3-2 为什么变压器的铁芯要用硅钢片叠成？用整块的铁芯行不行？

3-3 变压器能否用来变换直流电压？如果将变压器接到与它的额定电压相同的直流电源上，会产生什么后果？

3-4 变压器能改变原、副绕组的电压和电流，它也能改变原、副绕组的功率吗？

3-5 有一台 D-50/10 单相变压器， $S_N=50\text{kV}\cdot\text{A}$ 、 $U_{1N}/U_{2N}=10500/230$ 。试求变压器原、副绕组线圈的额定电流。

3-6 某铁芯线圈，接入 50Hz、220V 的交流电源上，线圈电流为 3A，消耗功率 100W。如果改接 12V 的直流电源，电流为 10A。试求：

(1) 铁芯线圈在直流电源作用时的铜损和铁损；

(2) 铁芯线圈在交流电源作用时的铜损、铁损及功率因数。

3-7 一台容量为 20kVA 的照明变压器，它的电压为 6600V/220V，它能够正常供应 220V、40W 的白炽灯多少盏？能够供应  $\cos\varphi=0.6$ 、电压为 220V、功率为 40W 的日光灯多少盏？

3-8 有一交流铁芯绕圈，接入 220V、50Hz 的交流电源时，通过的电流为 4A，消耗功率为 100W，若忽略线圈漏阻抗压降，试求：

(1) 铁芯线圈的功率因数；

(2) 铁芯线圈的等效电阻和等效电抗。

3-9 变压器副绕组电压  $U_2=20\text{V}$ ，在接有电阻性负载时，测得副绕组电流  $I_2=5.5\text{A}$ ，变压器的输入功率为 132W，试求变压器的效率及损耗的功率。

3-10 电阻值为  $8\Omega$  的扬声器，通过变压器接到  $E=10\text{V}$ 、 $R_0=250\Omega$  的信号源上。设变压器原绕组的匝数为 500，副绕组的匝数为 100。试求：

(1) 变压器原绕组的等效阻抗模  $|Z|$ ；

(2) 扬声器消耗的功率。

3-11 单相变压器原绕组匝数  $N_1=1000$ ，副绕组匝数  $N_2=500$ ，现原绕组加电压  $U_1=220\text{V}$ ，副绕组接电阻性负载，测得副绕组电流  $I_2=4\text{A}$ ，忽略变压器的内阻抗及损耗，试求：

(1) 原绕组的等效阻抗  $|Z'_1|$ ；

(2) 负载消耗的功率  $P_2$ 。

3-12 一台单相变压器， $S_N=50\text{kVA}$ ，额定电压  $U_{1N}/U_{2N}=6000\text{V}/230\text{V}$ ，试求：

(1) 变压器的电压比；

(2) 当变压器在满载情况下向功率因数为 0.85 的负载供电时，测得副绕组的电压为 220V，求输出的有功功率、视在功率和无功功率。

3-13 使用电压互感器时应该注意哪些事项？

3-14 使用电流互感器时应该注意哪些事项？

电子工业出版社有限公司  
版权所有  
盗版必究