

学习情境一 电工基础及电动机的认识

1.2 单相变压器

1.2.1 单相变压器的结构、原理与用途

1. 变压器的分类

1) 按用途分类

用于输配电系统的电力变压器；

用于工业动力系统中直流拖动的专用电源变压器；

用于电力系统或实验室等场合的调压变压器；

用于测量电压的电压互感器、测量电流的钳形电流表等测量变压器；

用于潮湿环境或人体常常接触场合的隔离变压器。

2) 按结构分类

按绕组结构分：

双绕组变压器、三绕组变压器、多绕组变压器、自耦变压器

按铁心结构形式分：

壳式变压器、心式变压器

3) 按相数分类

单相变压器、三相变压器、多相变压器

2. 变压器的结构

变压器主要由**铁心和线圈**（也称为绕组）两部分组成。

铁心是变压器的磁路通道，采用导磁率较高的而又相互绝缘的硅钢片叠装而成。

变压器按铁心的结构形式，可分为**芯式和壳式**两种。芯式的绕组套在铁心柱上，如图 1-12（a）所示；壳式的绕组部分被铁心所围绕，如图 1-12（b）所示。电力变压器多用芯式，而小型变压器多用壳式。

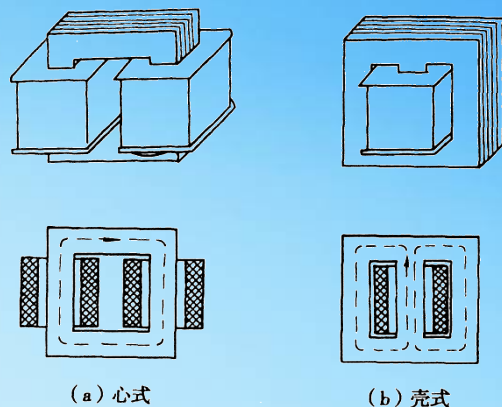


图 1-12 芯式和壳式变压器

变压器的绕组通常用其有良好的绝缘的优质漆包线在线圈框架上绕成，

在工作时，和电源相连的线圈叫做原线圈（也叫初级绕组、一次绕组或原边），而与负载相连的线圈叫做副线圈（也叫次级绕组、二次绕组或副边）。

3. 变压器的工作原理

如图 1-13 (a) 所示是一个最简单变压器，它由一个闭合铁心和套在铁心上的两个绕组组成。原边的匝数为 N_1 ，副边的匝数为 N_2 。图 1-13 (b) 为变压器的符号，变压器一般用 T 表示。

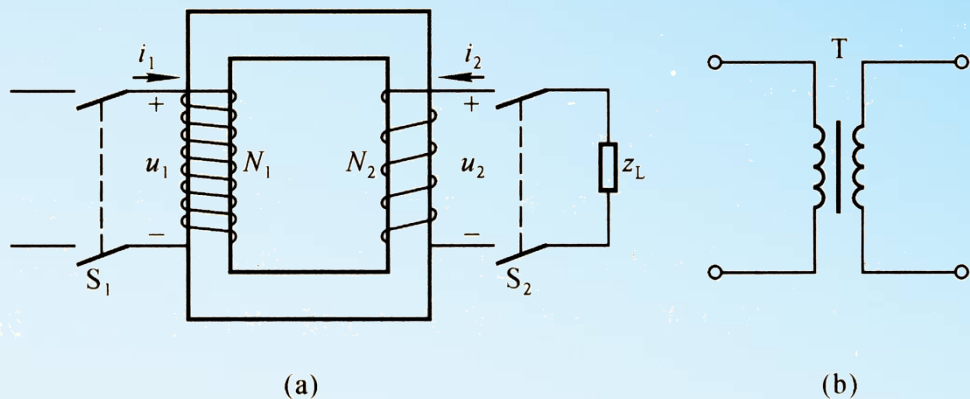


图 1-13 单相变压器

1) 变压器的空载运行及变压比

当把图 1-13a 电路中的开关 S_1 闭合、开关 S_2 断开时，电压起点的原边就直接与电源接通，副边为开路。此时变压器工作在空载运行状态。在空载运行状态下副边的电流为零，原边中流过的交变电流 i_0 称为空载电流， i_0 约为电压起额定电流的 3%~8%。

此时，原边的磁电动势为 $i_0 N_1$ ，它在铁心磁路中产生交变磁通， Φ_m 穿过副边绕组而闭合，因此在原副边中分别感应出电动势 E_1 与 E_2 。由于变压器原线圈输入的正弦交流电，根据电磁感应定律，原边的感应电动势为

$$e_1 = -N_1 \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

《机床电气控制系统运行与维护》

由于 $\Phi = \Phi_m \sin \omega t$ ，经过数学推导 $e_1 = N_1 \omega \Phi_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$

令 $E_{1m} = N_1 \Phi_m \omega$ ，它的有效值为 $E_1 = \frac{E_{1m}}{\sqrt{2}} = \frac{N_1 \Phi_m 2\pi f}{\sqrt{2}} = 4.44 N_1 \Phi_m f$

同理，副边中电动势的有效值为 $E_2 = \frac{E_{2m}}{\sqrt{2}} = \frac{N_2 \Phi_m 2\pi f}{\sqrt{2}} = 4.44 N_2 \Phi_m f$

由上式可得 $\frac{E_1}{E_2} = \frac{4.44 N_1 \Phi_m f}{4.44 N_2 \Phi_m f} = \frac{N_1}{N_2}$

《机床电气控制系统运行与维护》

由于变压器的空载电流 i_0 很小，原边的电压降可略去不计，故原边的外加电压 $U_1 \approx E_1$ 。而在副边中，因为是开路，故其端电压 $U_2 \approx E_2$ 。那么

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{4.44N_1\Phi_m f}{4.44N_2\Phi_m f} = \frac{N_1}{N_2} = K$$

K 叫做变压器的变压比或变比（匝数比）。

当 $K > 1$ 时， $N_1 > N_2$ ， $U_1 > U_2$ ，这种变压器叫做降压变压器；当 $K < 1$ 时， $N_1 < N_2$ ， $U_1 < U_2$ ，这种变压器叫做升压变压器；当 $K=1$ 时， $N_1=N_2$ ， $U_1=U_2$ ，这种变压器既不升压，也不降压，只能作隔离变压器用。所以，取不同的 K 值，可获得不同数值的输出电压，使变压器具有不同的用途。

2) 变压器的负载运行和变流比

当把图 3-2 (a) 电路中的开关 S_1 、 S_2 闭合时, 此时, 变压器在带负载的情况下运行。

变压器工作时, 绕组电阻、铁心的磁滞及涡流总会产生一定的能量损耗, 但是比负载上消耗的功率小得多, 一般情况下可以忽略不计。可将变压器视为理想变压器, 其内部不消耗功率, 输入变压器的功率全部消耗在负载上, 即

$$P_1 = P_2 \quad \text{或} \quad U_1 I_1 \cos \varphi_1 = U_2 I_2 \cos \varphi_2$$

《机床电气控制系统运行与维护》

式中， $\cos\varphi_1$ 为原边的功率因数， $\cos\varphi_2$ 为副边的功率因数； φ_1 和 φ_2 通常相差很小，在实际计算中可以认为它们相等，因而可以得到

$$U_1 I_1 \approx U_2 I_2$$

即

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{1}{K}$$

这表明，变压器在带负载工作时，原、副边中电流跟线圈的匝数成反比。也就是说，只要适当改变变压器的匝数比，就可改变电流。通常使用的电流互感器就是根据这一原理制成的。

《机床电气控制系统运行与维护》

3) 变压器的阻抗变换作用

变压器不仅可用于变换电压，而且还可用以变换电流，此外还具有阻抗变换的作用。

设变压器的初级输入阻抗为 Z_1 ，次级负载阻抗为 Z_2 ，则

$$Z_1 = \frac{U_1}{I_1}$$

将 $U_1 = \frac{N_1}{N_2} U_2$ 、 $I_1 = \frac{N_2}{N_1} I_2$ 代入 $Z_1 = \frac{U_1}{I_1}$ 得： $Z_1 = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \frac{U_2}{I_2}$

又 $\frac{U_2}{I_2} = Z_2$ 所以有： $Z_1 = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \frac{U_2}{I_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 Z_2 = K^2 Z_2$

这表明变压器的次级接上负载 Z_2 后，对电源而言，相当于接上阻抗 $Z'_2 = K^2 Z_2$ 的负载。

《机床电气控制系统运行与维护》

【例 1-3】有一台电压为 **220/36V** 的降压变压器，次级接一个白炽灯（**36V**，**40W**）求：①若变压器的初级 **$N_1=1100$** 匝，次级应为多少匝？②白炽灯点亮后流过初级、次级侧的电流各是多少？

①由变压比的公式 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$ 可求出次级侧的匝数

$$N_2 = \frac{U_2}{U_1} N_1 = \frac{36}{220} \times 1100 = 180 \text{匝}$$

② 白炽灯是纯电阻性负载，所以 $\cos \varphi = 1$ ，由功率公式 $P = UI \cos \varphi$ ，求出流过次级侧的电流

$$I_2 = \frac{P_2}{U_2} = \frac{40}{36} \text{ A} = 1.11 \text{ A}$$

又由变流公式，可求出流过初级的电流 $I_1 = I_2 \frac{N_2}{N_1} = 1.11 \times \frac{180}{1100} \text{ A} = 0.18 \text{ A}$

【例 1-4】 变压器电路如图 1-14 所示，把电阻 $R_L=8\ \Omega$ 的扬声器接到电压有效值 $U=10V$ 、内阻 $r=200\ \Omega$ 的交流信号源上，为使负载得到最大输出功率，在信号源与负载之间接入的变压器的变压比应是多少

解：由公式 $Z'_2 = K^2 Z_2$ 得

$$R'_L = K^2 R_L$$

要使负载获得最大功率，必须使

$$R'_L = r, \text{ 即 } r = R'_L = K^2 R_L$$

$$\text{所以, } K = \sqrt{\frac{r}{R_L}} = \sqrt{\frac{200}{8}} = 5$$

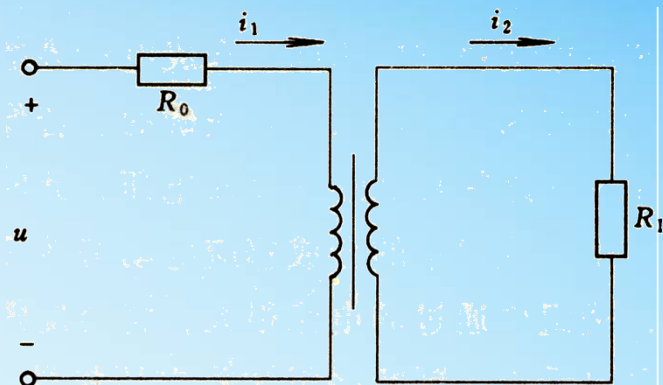


图 1-14 例 3-2 图

4 . 变压器的用途

在输电方面，当输送功率 $P=UI\cos\phi$ ，当负载的功率因数 $\cos\phi$ 为定值时，电压 U 越高，则 I 就越小，在实际输送电能时，就是采用高电压低电流输电，这不仅可以减小输电线的截面积，节省材料，同时还可以减少线路的功率损耗。

用电设备所需的电压值是多种多样的，例如机床上的三相交流电动机的额定电压为 **380V**，而机床照明灯为了安全使用是 **36V** 的电压，这就需要用过变压器把电网电压调至合适的工作电压。

在实际生产中，为了安全起见，常使用变压比为 1 的隔离变压器；在电子技术中大量利用变压器变换电压、电流和进行阻抗变换，实现阻抗匹配，使负载获得最大功率；在自动控制中，利用变压器可获得不同的控制电压，此外，变压器在通信、冶金、电器测量等方面均有广泛的应用。

Thank You !

