



学习目标要求

本章先介绍变压器的基本结构和工作原理,变压器的特性及应用,再介绍三相变压器和特殊变压器。读者学习本章内容应做到以下几点。

- (1) 了解磁路的基本物理量、铁磁性材料的基本特性和磁路的定律。
- (2) 掌握变压器的电压变换、电流变换及阻抗变换作用。
- (3) 理解变压器额定值的意义,了解几个特殊变压器的工作原理、用途。
- (4) 了解实际变电所内整个变电流程。
- (5) 掌握变压器的实际接线和工作原理以及电压互感器、电流互感器的接线和工作原理。
- (6) 能正确连接变压器线圈及判断绕组极性。

5.1 变压器的基本结构及工作原理

变压器是一种常见的电气设备,它利用电磁感应原理传输电能或信号,可用来把某种数值的交变电压变换为同频率的另一数值的交变电压,在电力系统和电子线路中广泛应用。

熟悉电磁知识对学习变压器尤其需要,这部分内容放入了电子资源中,供读者参阅。其中介绍了磁场的基本物理量、磁路定律、铁磁材料以及交流铁芯线圈等知识。

5.1.1 变压器的基本结构

变压器种类很多,按其用途不同,可分为电源变压器、控制变压器、电焊变压器、自耦变压器、仪用互感器等。虽然变压器种类很多,结构上也各有特点,但它们的基本结构和工作原理是类似的。

变压器具有变换交流电压、交流电流和阻抗的作用。变压器主要由套在一个闭合铁芯上的两个或多个线圈(绕组)构成,如图 5-1 所示。铁芯是变压器的磁路通道,为了减小涡流和磁滞损耗,铁芯是用磁导率较高而且相互绝缘的硅钢片叠装而成的。硅钢片厚度为 0.35~0.5mm,片间用绝缘漆隔开。变压器和电源相连的线圈称为原绕组(或原边,或初级绕组、一次绕组),和负载相

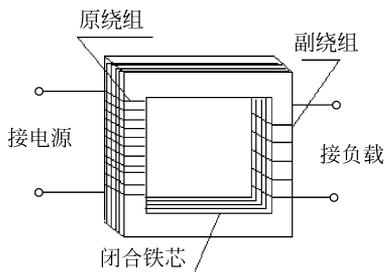


图 5-1 变压器结构示意图

连的线圈称为副绕组(或副边,或次级绕组、二次绕组)。绕组采用高强度漆包线绕成,它是变压器的电路部分,要求各部分之间相互绝缘。绕组与绕组及绕组与铁芯之间都是互相绝缘的。

除了铁芯和绕组外,较大容量的变压器还有冷却系统、保护装置以及绝缘套管等。大容量变压器通常是三相变压器。

5.1.2 变压器的工作原理

变压器原线圈接上额定的交变电压,在变压器原线圈中产生自感电动势的同时,在副线圈中也产生了互感电动势。这时,如果在副线圈上接上负载,那么电能将通过负载转换成其他形式的能。为了叙述方便,下面分两种情况分析变压器的运行状态。

1. 变压器的空载运行

变压器原线圈接上额定的交变电压,副线圈开路不接负载,称为空载运行,如图 5-2 所示。 N_1 和 N_2 分别为一次和二次绕组的匝数。

(1) 空载电流。在外加正弦电压 u_1 的作用下,原线圈内有交变电流 i_0 流过,称为变压器的空载电流,又称为励磁电流。它与原线圈匝数 N_1 的乘积 $i_0 N_1$ 称为励磁磁势。二次绕组中的电流 $i_2=0$,二次电压为开路电压 u_2 。

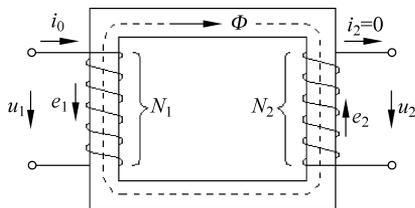


图 5-2 空载时的变压器

(2) 电压变换。由于二次绕组开路,变压器的一次绕组相当于一个交流铁芯线圈电路,励磁电流越大,一次线圈匝数越多,所产生的磁通也越大。于是由 $i_0 N_1$ 产生的主磁通 Φ 通过铁芯闭合,既穿过一次绕组,又穿过二次绕组,在一次和二次绕组内分别产生感应电压 u_1 、 u_2 ,在忽略漏磁通 Φ_δ 产生的电动势 e_δ 和线圈电阻上压降的情况下,由交流铁芯线圈上的电磁关系可得一次电压的有效值为

$$U_1 = 4.44fN_1\Phi_m \quad (5-1)$$

同样,在 Φ 的作用下,二次绕组产生的感应电压有效值为

$$U_2 = 4.44fN_2\Phi_m \quad (5-2)$$

由式(5-1)和式(5-2)可得

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{4.44fN_1\Phi_m}{4.44fN_2\Phi_m} = \frac{N_1}{N_2} = K_u \quad (5-3)$$

由式(5-3)可知,在变压器空载运行时,一次、二次电压的比值等于一次、二次绕组的匝数比,比值 K_u 称为变压器的电压比。当一次、二次绕组匝数不同时,变压器就可以把某一数值的交流电压变换为同频率的另一数值的交流电压,这就是变压器的电压变换作用。当变压器的 $N_1 > N_2$,即 $K_u > 1$ 时,称为降压变压器;反之,当 $N_1 < N_2$,即 $K_u < 1$ 时,称为升压变压器。

2. 变压器负载运行

变压器的一次绕组接上电源、二次绕组接有负载的运行状态称为负载运行状态,如图 5-3 所示。根据恒磁通原理,由于负载和空载时一次电压 u_1 不变,因此铁芯中主磁通的最大值 Φ_m 不变。

二次绕组接上负载 Z 后,经过一次、二次绕组交链形成的磁耦合,产生电压 u_2 ,二次绕

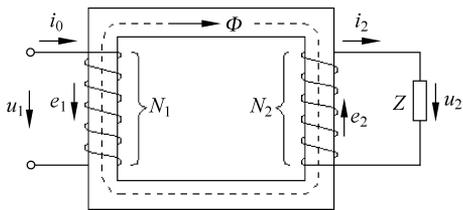


图 5-3 变压器的负载运行

组就有电流 i_2 流过, 从而有电能输出, i_2 流过二次绕组 N_2 将产生磁通, 使主磁通变化, 一次的励磁电流 i_0 将变为 i_1 。负载时, 变压器铁芯中的主磁通由磁动势 $i_1 N_1$ 和 $i_2 N_2$ 共同作用产生, 应该与空载时原绕组 $i_0 N_1$ 产生的主磁通相等, 即

$$i_1 N_1 + i_2 N_2 = i_0 N_1 \quad (5-4)$$

变压器空载电流 i_0 是励磁用的, 由于铁芯质量高, 空载电流是很小的, 只占一次绕组额定电流 I_N 的 $3\% \sim 10\%$ 。因此 $i_0 N_1$ 与 $i_1 N_1$ 相比, $i_0 N_1$ 常可忽略。于是式(5-4)可写成

$$i_1 N_1 \approx -i_2 N_2 \quad (5-5)$$

式(5-5)中的负号表明, 变压器负载运行时, 副边磁势与原边磁势相位相反, 副边磁势对原边磁势起去磁作用, 原边电流和副边电流在相位上几乎相差 180° 。

由式(5-5)可知, 一次、二次绕阻的电流有效值关系为

$$\frac{I_1}{I_2} \approx \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{K_u} = K_i \quad (5-6)$$

式中, K_i 称为变压器的变流比, 表示原、副绕组内的电流大小与线圈匝数成反比。

根据式(5-3)和式(5-6)可得

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{I_2}{I_1} \quad (5-7)$$

或

$$U_1 I_1 = U_2 I_2 \quad (5-8)$$

变压器可以把一次侧绕组的能量通过 Φ_m 的联系传输到二次侧绕组去, 实现了能量的传输。式(5-8)表明, 在不考虑变压器本身损耗的情况下(理想状态), 变压器原绕组输入的功率等于副绕组输出的功率。

【例 5-1】 已知变压器 $N_1 = 800$ 匝, $N_2 = 200$ 匝, $U_1 = 220\text{V}$, $I_2 = 8\text{A}$, 负载为纯电阻, 求变压器的二次电压 U_2 、一次电流 I_1 和输入功率 P_1 、输出功率 P_2 (忽略变压器的漏磁和损耗)。

$$\text{解: } K_u = \frac{N_1}{N_2} = \frac{800}{200} = 4$$

$$U_2 = \frac{U_1}{K_u} = \frac{220}{4} = 55(\text{V})$$

$$I_1 = \frac{I_2}{K_u} = \frac{8}{4} = 2(\text{A})$$

$$\text{输入功率} \quad P_1 = U_1 I_1 \cos\varphi_1 = 220 \times 2 \times 1 = 440(\text{W})$$

$$\text{输出功率} \quad P_2 = U_2 I_2 \cos\varphi_2 = 55 \times 8 \times 1 = 440(\text{W})$$

3. 变压器的阻抗变换作用

变压器除了变换电压和电流外, 还可以进行阻抗变换, 以实现“匹配”, 如图 5-4(a)所示。负载阻抗 $|Z|$ 接在变压器二次绕组, 对电源来说其外部分可用另一个阻抗 $|Z'|$ 来等效代替, 如图 5-4(b)所示。所谓等效, 就是两端输入的电压、电流和功率不变。

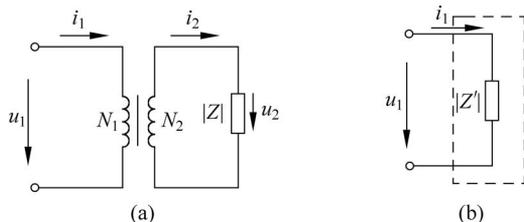


图 5-4 变压器的阻抗变换

从原边两端来看,等效阻抗为

$$|Z'| = \frac{U_1}{I_1} = \frac{N_1 U_2 / N_2}{N_2 I_2 / N_1} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \cdot \frac{U_2}{I_2}$$

而 $|Z| = U_2 / I_2$, 所以

$$|Z'| = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \cdot |Z|$$

即

$$|Z'| = K_u^2 \cdot |Z| \quad (5-9)$$

$|Z'|$ 又称为折算阻抗。式(5-9)表明,在忽略漏磁的情况下,只要改变匝数比,就可把负载阻抗变换为比较合适的数值,且负载性质不变。这种变换通常称为阻抗变换。在电子线路中常利用变压器的这种阻抗变换作用实现阻抗匹配。

【例 5-2】 在图 5-5 所示电路中,交流信号源的电动势 $E = 120\text{V}$, 内阻 $R_0 = 800\Omega$, 负载电阻 $R_L = 8\Omega$ 。

(1) 当 R_L 折算到一次侧的等效电阻 $R'_L = R_0$ 时,求变压器的匝数比和信号源输出功率。

(2) 当将负载直接与信号源连接时,信号源输出多大的功率?

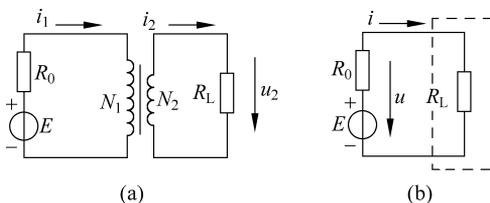


图 5-5 例 5-2 图

解: (1) 变压器的匝数比应为

$$K_u = \frac{N_1}{N_2} = \sqrt{\frac{|Z'|}{|Z|}} = \sqrt{\frac{R_0}{R_L}} = \sqrt{\frac{800}{8}} = 10$$

信号源的输出功率为

$$P = \left(\frac{E}{R_0 + R'_L}\right)^2 R'_L = \left(\frac{120}{800 + 800}\right)^2 \times 800 = 4.5(\text{W})$$

(2) 当将负载直接接在信号源上时(图 5-5(b))

$$P = \left(\frac{E}{R_0 + R_L}\right)^2 \times R_L = \left(\frac{120}{800 + 8}\right)^2 \times 8 = 0.176(\text{W})$$

此例说明了变压器的阻抗变换功能可实现负载阻抗与信号源阻抗相匹配,从而使负载

得到最大输出功率。

【思考题】

(1) 若电源电压与频率都保持不变,试问变压器铁芯中的 Φ_m 是空载时大还是有负载时大?

(2) 变压器能否变换直流电压? 若把一台电压为 220/110V 的变压器接入 220V 的直流电源,将发生什么后果? 为什么?

* 5.2 变压器的特性及应用

5.2.1 变压器的外特性、损耗和效率

1. 变压器的外特性

由于变压器的绕组电阻不为零,当初边输入电压 U_1 保持不变时,副边端电压 U_2 将随负载电流 I_2 变化。当原绕组上外加电压 U_1 和副绕组的负载功率因数 $\cos\varphi_2$ 不变时,副边端电压 U_2 随负载电流 I_2 变化的规律,称为变压器的外特性。变压器外特性曲线如图 5-6 所示。

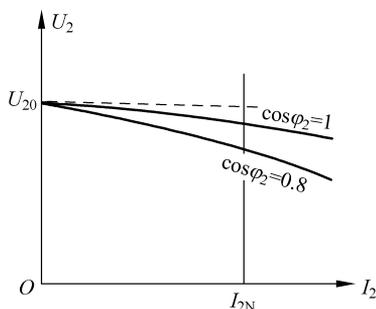


图 5-6 变压器外特性曲线

所示。

从图 5-6 中可看出,负载性质和功率因数不同时,从空载 ($I_2=0$) 到满载 ($I_2=I_{2N}$), 变压器副边电压 U_2 变化的趋势和程度是不同的,用副边电压变化率(或称电压调整率) $\Delta U(\%)$ 来表示,即

$$\Delta U(\%) = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} \times 100\% \quad (5-10)$$

式中, U_{20} 为副边的开路电压, U_2 为额定负载下的副边电压。电压变化率反映了变压器供电电压的稳定性,一般电力变压器的电压变化率为 3%~5%。

2. 变压器的损耗和效率

变压器并不理想,损耗不可避免,变压器负载运行时,原边从电源输入有功功率 P_1 , 其中很小部分消耗于原绕组的电阻(称为原边铜损)和铁芯(称为铁损,包括磁滞损耗和涡流损耗)中,其余部分以主磁通为媒介通过电磁感应传递给副绕组,称为电磁功率。副边获得的电磁功率,除去副绕组的铜损,其余的传输给负载,这就是变压器的输出功率 P_2 。输入的有功功率和输出的有功功率之差,就是变压器的损耗,变压器的效率为

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% \quad (5-11)$$

变压器的铁损和铜损可以通过空载试验和短路试验测得。小型变压器的效率为 80%~90%,大型变压器的效率可达 98%左右,一般电力变压器的效率很高,为 95%~99%。

5.2.2 变压器的额定值

为了正确、合理地使用变压器,应当熟悉其额定值及效率。变压器正常运行的状态和条件,称为变压器的额定工作情况。表征变压器额定工作情况下的电压、电流和功率,称为变压器的额定值,它标在变压器的铭牌上。变压器的主要额定值如下。

1. 额定电压 U_{1N} 和 U_{2N}

一次额定电压 U_{1N} 是指根据绝缘材料和允许发热所规定的应加在一次绕组上的正常工作电压有效值。

二次额定电压 U_{2N} 是指一次绕组上加额定电压时二次绕组输出电压的有效值。

三相变压器 U_{1N} 和 U_{2N} 均指线电压。

2. 额定电流 I_{1N} 和 I_{2N}

一次、二次额定电流 I_{1N} 和 I_{2N} 是指根据绝缘材料所允许的温度而规定的一次、二次绕组中允许长期通过的最大电流有效值。三相变压器中, I_{1N} 和 I_{2N} 均指线电流。

3. 额定容量 S_N

额定容量 S_N 是指变压器二次额定电压和额定电流的乘积, 即二次的额定视在功率, 单位为伏安(VA)或千伏安(kVA)。额定容量反映了变压器传递电功率的能力。

在单相变压器中, 有

$$S_N = U_{2N} I_{2N} \approx U_{1N} I_{1N} \quad (5-12)$$

在三相变压器中, 有

$$S_N = \sqrt{3} U_{2N} I_{2N} \approx \sqrt{3} U_{1N} I_{1N} \quad (5-13)$$

额定容量实际上是变压器长期运行时, 允许输出的最大功率, 反映了变压器传送电功率的能力, 但变压器实际使用时的输出功率是由负载阻抗和功率因数决定的。

4. 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。我国规定标准工业频率为 50Hz, 有些国家则规定为 60Hz, 使用时应注意。

5. 额定温升

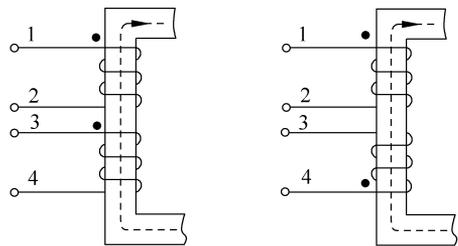
变压器的额定温升是以环境温度为 $+40^\circ\text{C}$ 作参考, 规定在运行中允许变压器的温度超出参考环境温度的最大温升。

使用变压器时一般不能超过其额定值, 除此之外, 还必须注意: 分清一次、二次绕组; 工作温度不能过高; 防止变压器绕组短路, 以免烧毁变压器。

* 5.2.3 变压器绕组的极性

绕组的极性是指在任意瞬时绕组两端产生的感应电动势的瞬时极性, 它总是从绕组的相对瞬时电位的低电位端(用符号“-”表示)指向高电位端(用符号“+”表示)。变压器绕组的同极性端是指各绕组电位瞬时极性相同的对应端, 同极性端又称为同名端。同极性端用符号“·”标记, 以便识别, 如图 5-7 所示, 图中, 1-2 表示初级绕组, 3-4 表示次级绕组。

变压器绕组极性与绕组方向有关。由图 5-7(a)不难看出, 1 端和 3 端为同极性端, 当电流从两个绕组同极性端注入(或流出)时, 产生的磁通方向相同; 或当磁通变化(增大或减小)时, 两个绕组的同极性端感应电动势的极性相同。图 5-7(b)所示的 3-4 绕组反绕, 则 1 端



(a) 两绕组绕向相同时 (b) 两绕组绕向相反时

图 5-7 变压器绕组的同极性端

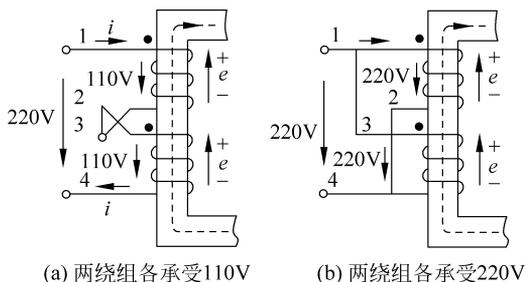


图 5-8 绕组的正确连接

和 4 端为同极性端。

在使用变压器时,应根据绕组同极性端正确连接各绕组。例如,一台变压器的原绕组有相同的两个绕组,当把变压器原边接到 220V 交流电源上时,若两个绕组分别承受耐压为 110V 时,应将绕组的 2 端与 3 端相连,如图 5-8(a)所示。如果误将 2 端与 4 端相接,将 1 端、3 端接到 220V 电源上,则两个绕组的磁通势相互抵消,铁芯中不产生磁

通,绕组中没有感应电动势,于是绕组(通常绕组的电阻是很小的)中将通过很大的电流,把原绕组烧毁。若两个绕组分别承受电压为 220V,则绕组的 1 端与 3 端相连,2 端与 4 端相连,如图 5-8(b)所示。

已制成的变压器、互感器等,通常都无法从外观上看出绕组的绕向,如果使用时需要知道它的同名端,可通过实验方法测定同名端。通过实验测定同名端的方法有直流感应法和交流感应法两种。

直流感应法测定同名端的电路如图 5-9 所示,在开关接通瞬间,若毫安表正偏,则 A 与 a 为同名端,若毫安表反偏,则 A 与 x 为同名端。

交流感应法测定同名端的电路如图 5-10 所示,将变压器两个绕组中的任一对端点相互连接(如图 x 与 X),在一个绕组两端加上一个适合测量的电压 U_1 ,再用交流电压表测量 U_2 和 U_3 的值。如果 $U_3 = U_1 - U_2$,则互连的端点 x 与 X 为同名端;如果 $U_3 = U_1 + U_2$,则互连的端点 x 与 X 为非同名端。

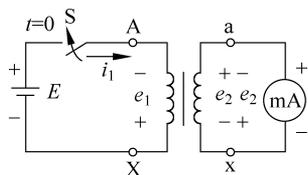


图 5-9 直流感应法测试电路

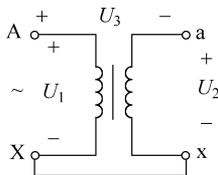


图 5-10 交流感应法测试电路

【思考题】

- (1) 一台电压为 220/110V 的变压器, $N_1 = 2000$ 匝, $N_2 = 1000$ 匝。能否将其匝数减为 400 匝和 200 匝以节省铜线? 为什么?
- (2) 应该如何选用变压器?
- (3) 思考一下直流感应法、交流感应法测试同名端的原理。

* 5.3 特殊变压器和三相变压器

5.3.1 特殊变压器

1. 自耦变压器

若变压器的原、副绕组有一部分是共用的,则这类的变压器称为自耦变压器。自耦变压器的原、副绕组之间既有磁的耦合,又有电的联系。自耦变压器分可调式和固定抽头式两种。

图 5-11 是实验室中常用的一种可调式自耦变压器,其工作原理与双绕组变压器相同,图 5-12 是它的原理电路。分接头 a 做成能用手柄操作的自由滑动的触点,从而可平滑地调节二次电压,所以这种变压器又称为自耦调压器。当一次侧加上电压 U_1 时,二次侧可得电压 U_2 ,且同样有

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = K_u \quad (5-14)$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{K_u} \quad (5-15)$$

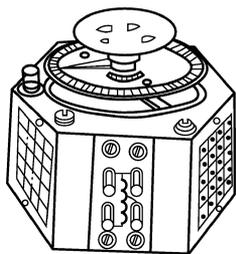


图 5-11 自耦变压器

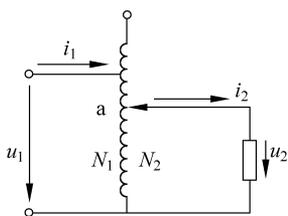


图 5-12 自耦变压器原理图

自耦变压器的优点是结构简单,节省材料,效率高。但这些优点只有在变压器变比不大的情况下才有意义(一般不大于 2)。应该注意,首先由于自耦变压器的一次、二次绕组之间有电的直接联系,因此当高压侧发生接地或二次绕组断线等故障时,高压将直接窜入低压侧,容易发生事故;其次,一次和二次绕组不可接错,否则很容易造成电源被短路或烧坏自耦变压器。另外,当自耦变压器绕组接地端误接到电源相线时,即使二次电压很低,人触及二次侧任一端时均有触电的危险。因此,自耦变压器不允许作为安全变压器来使用。

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。采用互感器的目的是扩大测量仪的量程,使测量仪表与大电流或高电压电路隔离。按用途不同,互感器可分为电压互感器和电流互感器两类。

(1) 电流互感器。电流互感器是一种将大电流变换为小电流的变压器,其工作原理与普通变压器的负载运行相同,其工作原理和电路符号如图 5-13 所示。电流互感器的一次绕组用粗导线绕成,匝数很少,与被测线路串联。二次绕组导线细,匝数多,与测量仪表相连接,通常二次绕组的额定电流设计成 5A 或 1A。

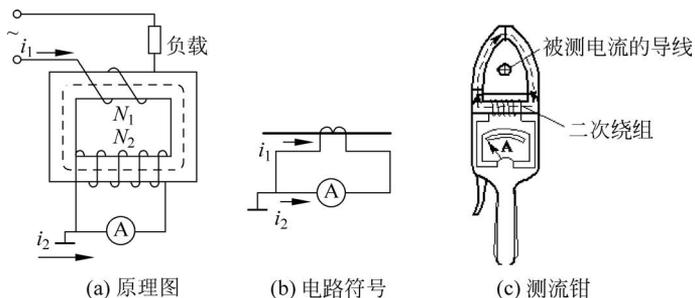


图 5-13 电流互感器工作原理和电路符号

由于 $I_2/I_1=K_i$ (K_i 为电流互感器的电流比), 则 $I_2=K_i I_1$, 则测量仪表读得的电流 I_2 为被测线路电流 I_1 的 K_i 倍。

电流互感器中经常使用的钳形电流表(俗称卡表), 如图 5-13(c)所示。它是电流互感器的一种, 由一个与电流表组成闭合回路的二次绕组和铁芯构成, 其铁芯可以开合。测量时,

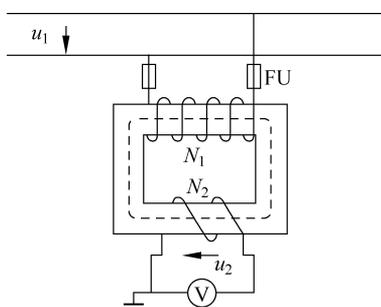


图 5-14 电压互感器的接线图

先张开铁芯, 将待测电流的导线卡入闭合铁芯, 则卡入导线便成为电流互感器的一次绕组, 经电流变换后, 从电流表就可以直接读出被测电流的大小。

(2) 电压互感器。电压互感器是一个降压变压器, 其工作原理与普通变压器空载运行相似, 如图 5-14 所示。

电压互感器的一次绕组匝数较多, 与被测高压线路并联, 二次绕组匝数较少, 并连接在高阻抗的测量仪表上。通常二次绕组的额定电压规定为 100V。

* 5.3.2 三相变压器

在电力工业中, 输配电都采用三相制。变换三相交流电电压, 则用三相变压器。因此, 三相电压的变换在电力系统中占据着特殊重要的地位。变换三相电压, 既可以用一台三铁芯柱式的三相变压器, 也可以用三台单相变压器组成的三相变压器组来完成, 后者用于大容量的变换。

三相变压器的原理结构如图 5-15 所示, 它由三根铁芯柱和三组高低压绕组等组成。高压绕组的首端和末端分别用 U_1 、 V_1 、 W_1 和 u_1 、 v_1 、 w_1 标示, 低压绕组的首端和末端分别用 U_2 、 V_2 、 W_2 和 u_2 、 v_2 、 w_2 标示。绕组的连接方法有多种, 其中常用的有 Y - Y 和 Y - Δ 。这里前者表示高压绕组的接法, 后者表示低压绕组的接法。图 5-16 列出了这两种接法的接线情况。

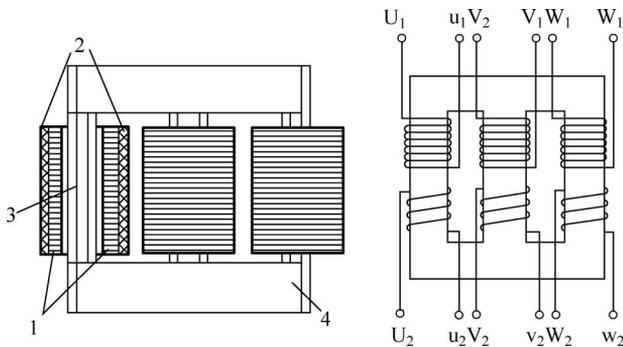


图 5-15 三相变压器的原理结构

1—低压绕组; 2—高压绕组; 3—铁芯柱; 4—磁轭

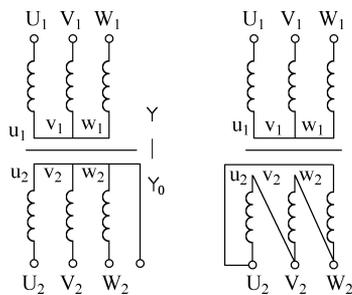


图 5-16 三相变压器绕组的连接

三相变压器比 3 个单相变压器组合效率高, 成本低, 体积小, 因此应用广泛。

三相变压器的额定容量为

$$S_e = \sqrt{3} U_{2e} I_{2e} \quad (5-16)$$

式中, U_{2e} 、 I_{2e} 分别为副边额定线电压、额定线电流。

【思考题】

- (1) 电压互感器有何特点?
- (2) 简述钳形电流表的工作原理。

习题

5-1 交流铁芯线圈在下面情况下,其磁感应强度和线圈中电流怎样变化?

- (1) 电源电压大小和频率不变,线圈匝数增加;
- (2) 电源电压大小不变,铁芯截面减小;
- (3) 电源电压大小不变,铁芯中气隙增加。

5-2 已知某单相变压器的一次绕组电压为 3000V,二次绕组电压为 220V,负载是一台 200V、25kW 的电炉,试求一次绕组、二次绕组的电流各为多少?

5-3 把电阻 $R=8\Omega$ 的扬声器接于输出变压器的二次绕组两端,设变压器的电压比为 5。

(1) 试求扬声器折合到一次绕组的等效电阻。

(2) 如果变压器的一次绕组接上 $U_s=10V$,内阻 $R_0=250\Omega$ 的信号源,求输出到扬声器的功率。

(3) 若不经过变压器,直接把扬声器接到 $U_s=10V$ 、内阻 $R_i=250\Omega$ 的信号源上,求输送到扬声器上的功率。

5-4 某机修车间的单相行灯变压器,一次绕组额定电压为 220V,额定电流为 4.55A,二次绕组额定电压为 36V,则二次绕组可接 36V、60W 的白炽灯多少盏?

5-5 已知图 5-17 所示电路,试画出当开关 S 闭合时两回路中电流的实际方向。

5-6 图 5-18 是一个有 3 个副绕组的电源变压器原理电路,试问其输出电压能有多少种电压值?

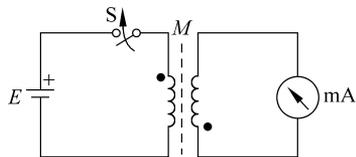


图 5-17 题 5-5 图

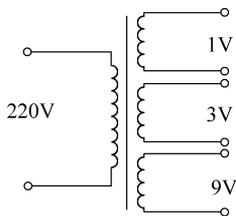


图 5-18 题 5-6 图