

第 3 章 磁路与变压器

✚ 在电工和电子设备中，经常用电磁转换来实现能量的转换。变压器、电动机、电磁铁、磁电式电工测量仪表等都离不开铁心绕组。本章介绍由铁心绕组构成的磁路与变压器。

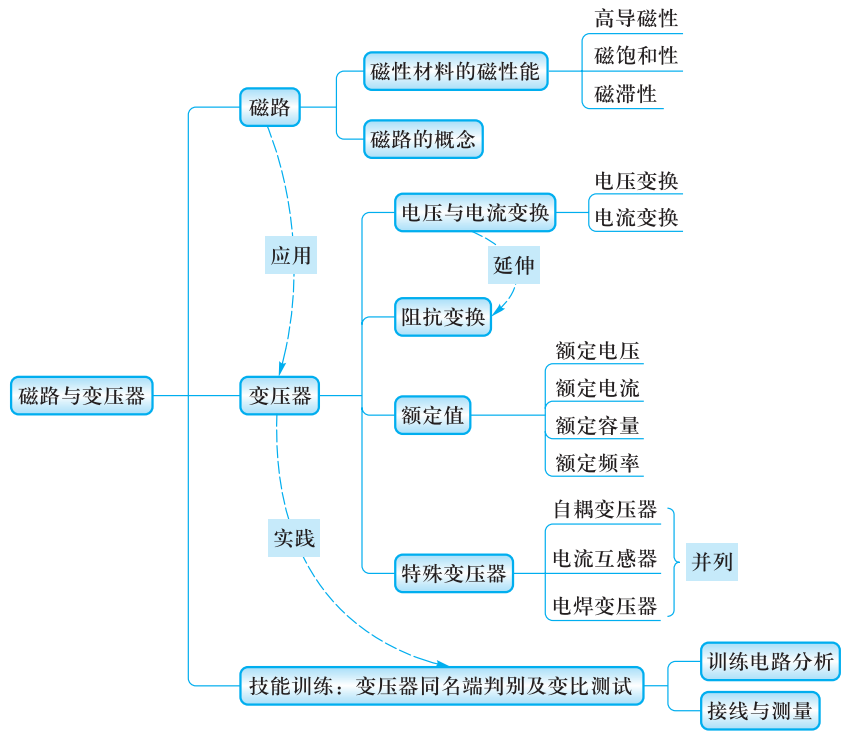
📖 学习目标

- 了解磁路、磁通的概念。
- 了解磁性材料的主要磁性能。
- 理解磁滞回线的概念及意义。
- 了解变压器的结构。
- 了解一次绕组、二次绕组的概念。
- 理解变压器变比的概念。
- 理解变压器的电压变换、电流变换、阻抗变换的概念，掌握计算方法。
- 了解变压器各项额定值的概念。
- 了解自耦变压器、电流互感器、电焊变压器的结构和原理。

📖
延伸读物
我国的磁悬浮
列车



知识导图



3.1 磁路

变压器、电动机、电磁铁、磁电式电工测量仪表等电工设备，为了获得较强的磁场，常常将绕组（线圈）缠绕在一定形状、具有良好导磁性能的铁磁性材料的铁心上，如图 3-1 所示，使绝大部分磁通从铁心中通过，铁心被绕组磁场磁化后产生较强的附加磁场。它与绕组磁场叠加，使磁场大大增强，或者说，绕组通以较小的电流便可产生较强的磁场。

磁通集中通过的闭合路径称为磁路。通过铁心的磁通称为主磁通，如图 3-1 中的 Φ ；不通过铁心，仅与绕组交链的磁通称为漏磁通，如图 3-1 中的 Φ_{σ} 。

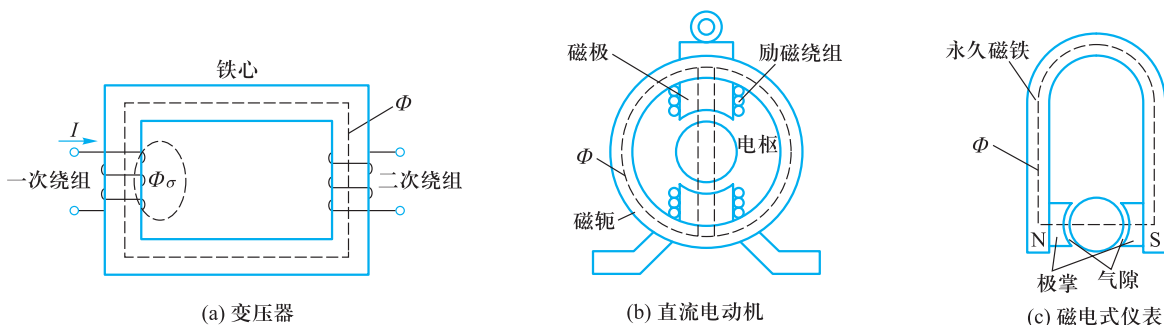


图 3-1 电工设备中常见的磁路

主磁通的磁路有纯铁心磁路，如图 3-1 (a) 所示，也有含有空气隙的磁路，如图 3-1 (b) (c) 所示；磁路又分为无分支磁路 [如图 3-1 (a) (c) 所示] 和有分支磁路 [如图 3-1 (b) 所示]；磁路中的磁通可由绕组通以电流产生，如图 3-1 (a) (b) 所示，也可由永久磁铁产生，如图 3-1 (c) 所示。用来产生磁通的电流称为励磁电流，流过励磁电流的绕组称为励磁绕组。由直流电流励磁的磁路称为直流磁路，由交流电流励磁的磁路称为交流磁路。

提示

在实际应用中，由于漏磁通很小，通常被忽略不计。

3.1.1 磁性材料的磁性能

1. 高导磁性

磁性材料在外磁场作用下会被磁化，达到很高的磁导率，这是由于在磁性材料内部有许多称为磁畴的小区域。在无外磁场作用时，各个磁畴间的磁性相互抵消，对外不显示磁性。在外磁场 H 作用下，磁畴逐渐转到与外磁场相同的方向上。开始时由于外磁场较小，磁畴转向外磁场方向的较少，故显示的磁感应强度 B 不大，如图 3-2 中 Oa 段所示。当外磁场 H 继续增大时，随着外磁场 H 的增强，转向外磁场 H 方向的磁畴也增加，且增加较多，便产生了一个很强的与外磁场 H 同方向的磁化磁场，而使磁性材料内的磁感应强度 B 大大增加，如图 3-2 中 ab 段所示。

2. 磁饱和性

磁性材料磁化所产生的磁场不会随外磁场的增强而无限增强。当外磁场 H 增大到一定值时，全部磁畴的磁场方向都转到与外磁场方向一致，这时磁性材料内的磁感应强度 B 将达到饱和值，如图 3-2 中 bc 段所示。

3. 磁滞性

所谓磁滞，就是指在外磁场 H 值作正负变化（如绕组中通以交变电流）的反复磁化过程中，磁

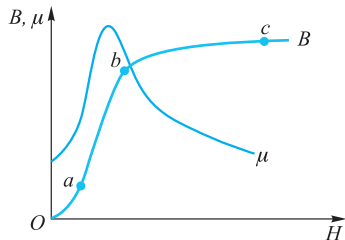


图 3-2 磁性材料的 $B-H$ 曲线

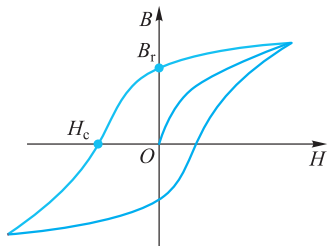


图 3-3 磁滞回线

性材料中磁感应强度 B 的变化总是落后于外磁场的变化。磁性材料反复磁化后, 可得到图 3-3 所示的磁滞回线。

当外磁场被去除后, 即 $H=0$ 时, 磁性材料将产生剩磁, 如图 3-3 中 B_r 点所示。但有时又需要去掉剩磁, 如当工件在平面磨床上加工完毕后, 由于电磁吸盘有剩磁, 还将工件吸住。为此, 应加反方向的外磁场, 即通入反向去磁电流, 去掉剩磁, 才能将工件取下。使 $B=0$ 所需的 H_c 值, 称为矫顽磁力, 如图 3-3 中 H_c 点所示。

铁磁性材料按其磁滞回线形状不同, 可分成 3 类: 第 1 类是软磁材料, 如纯铁、铸铁、硅钢、坡莫合金、铁氧体等, 这类材料的磁滞回线狭窄, 剩磁和矫顽磁力均较小, 常用来做成电动机与变压器的铁心、录音机的磁头; 第 2 类是硬磁材料, 如碳钢、钨钢、钴钢及铁镍合金, 这类材料的磁滞回线较宽, 剩磁和矫顽磁力都较大, 宜做永久磁铁; 第 3 类是矩磁材料, 如镁锰铁氧体、1J51 型铁镍合金, 其磁滞回线接近矩形, 在计算机和控制系统中, 可用作记忆、开关和逻辑元件。

3.1.2 磁路的概念

磁路中的磁通通常由通入励磁绕组的励磁电流产生。改变励磁电流 I 或绕组匝数 N , 磁通的大小就会变化。 I 越大, 所产生的磁通 Φ 越大; 绕组的匝数越大, 所产生的磁通 Φ 也越大。因此, 把励磁电流 I 和绕组匝数 N 的乘积称为磁动势, 用 IN 表示, 单位为 A 。

磁路中磁通的大小除与磁动势 IN 有关外, 还与铁心材料的磁导率 μ 、铁心磁路的截面积 A 、铁心磁路的长度 l 等有关, 它们之间的关系是

$$\Phi = \frac{IN\mu A}{l} = \frac{IN}{\frac{l}{\mu A}} = \frac{IN}{R_m} \quad (3-1)$$

式中, $R_m = \frac{l}{\mu A}$, 称为磁阻, 是表示磁路对磁通起阻碍作用的物理量, 它仅与磁路材料及几何尺寸有关。

式 (3-1) 与电路欧姆定律相似, 故称为磁路欧姆定律。

3.2 变压器

变压器是利用电磁感应原理传输电能或信号的器件。它利用一次绕组与二次绕组之间匝数 (圈数) 的不同来改变电压或电流, 实现电能或信号的传输与分配。其主要作用有降低交流电压、提升交流电压、信号耦合、变换阻抗、隔离等作用。

变压器由铁心和绕在铁心上的多个绕组两部分组成。铁心的作用是构成磁路, 一般用导磁性能好的磁性材料制成, 用以增强磁感应强度, 减小变压器体积, 减少铁心损耗。常用铁心的形式有心式和壳式, 如图 3-4 所示, 目前一般采用心式铁心。绕组采用高强度漆包线绕成, 它是变压器的电路部分, 要求各绕组与铁心之间相互绝缘。

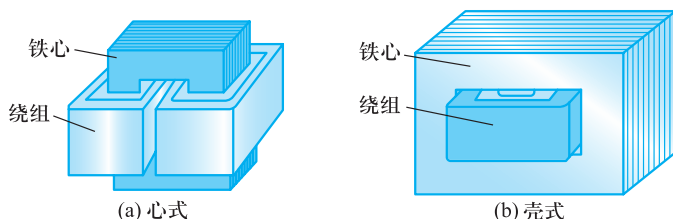


图 3-4 变压器的结构

模拟动画
磁路



提示

由于 μ 不是常数, 它随励磁电流而变, 所以不能直接应用磁路欧姆定律来计算, 只能用于定性分析。

演示课件
变压器

复习讲解
变压器



实物图片
变压器



为了便于分析,把与电源相连的绕组称为一次绕组(又称初级绕组、原绕组或原边),与负载相连的绕组称为二次绕组(又称次级绕组、副绕组或副边)。

3.2.1 电压与电流变换

1. 电压变换

变压器的一次绕组接上交流电压,二次绕组不接负载,这种运行状态称为变压器空载运行状态,如图3-5所示。在外加电源电压 u 的作用下,一次绕组内通过的电流为空载电流 i_{10} ,称为励磁电流,以产生磁路中的感应磁通 Φ ;二次绕组中的电流 $i_2=0$,二次绕组两端电压 u_2 为开路电压 u_{20} 。各量的参考方向如图3-5所示, N_1 和 N_2 分别为一次、二次绕组的匝数。

由于二次绕组开路,变压器的一次绕组相当于一个交流铁心绕组电路。于是,由 $i_{10}N_1$ 产生的主磁通 Φ 通过铁心闭合,主磁通 Φ 既穿过一次绕组,又穿过二次绕组,在一次侧、二次侧分别产生感应电压 u_1 、 u_{20} ,在忽略漏磁通和绕组电阻的情况下,经计算可得一次绕组电压的有效值为

$$U_1=U=4.44fN_1\Phi_m \quad (3-2)$$

同样,在 Φ 的作用下,二次绕组电压的有效值为

$$U_{20}=U_2=4.44fN_2\Phi_m \quad (3-3)$$

由式(3-2)和式(3-3)可得

$$\frac{U_1}{U_2}=\frac{4.44fN_1\Phi_m}{4.44fN_2\Phi_m}=\frac{N_1}{N_2}=K \quad (3-4)$$

由式(3-4)可知,变压器空载运行时,一次、二次电压的比值等于一次侧、二次侧的匝数比,比值 K 称为变压器的变比。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 $K>1$ 时,称为降压变压器;反之,当 $N_1<N_2$,即 $K<1$ 时,称为升压变压器。

2. 电流变换

变压器的一次绕组接有交流电源电压,二次绕组接有负载 $|Z|$ 的运行状态称为负载运行状态,如图3-6所示。

二次绕组接上负载 $|Z|$ 后,其中就有电流 i_2 流过。 i_2 流过二次绕组将产生磁通,使主磁通变化,但因当电源电压有效值 U_1 和电源频率 f 一定时, Φ_m 近似于常数。故为维持主磁通基本不变,一次绕组的励磁电流 i_{10} 将变为 i_1 。因此,带负载时一次绕组的 i_1N_1 和二次绕组的 i_2N_2 共同产生的主磁通,应该与空载时一次绕组 $i_{10}N_1$ 产生的主磁通相等,即

$$i_1N_1+i_2N_2=i_{10}N_1 \quad (3-5)$$

变压器空载电流 i_{10} 是励磁用的,由于铁心质量高,空载电流很小,只占一次绕组额定电流 I_N 的3%~10%。因此,与 i_1N_1 相比, $i_{10}N_1$ 常可忽略。于是式(3-5)可写成

$$i_1N_1 \approx -i_2N_2 \quad (3-6)$$

由式(3-6)可知,一次、二次绕组的电流有效值关系为

$$\frac{I_1}{I_2} \approx \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{K} \quad (3-7)$$

式(3-7)表明变压器一次、二次绕组的电流有效值之比与它们的匝数成反比。

提示

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

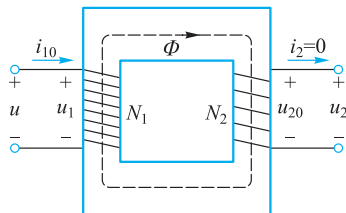


图3-5 变压器空载运行



模拟动画
空心变压器



模拟动画
铁心变压器

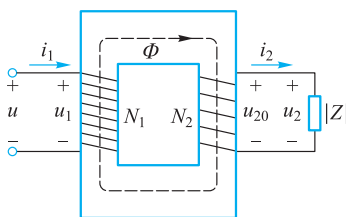


图3-6 变压器负载运行



例题趣讲
变压器电压与
电流变换

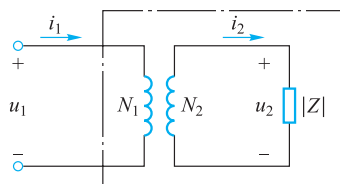


实物图片
变电站

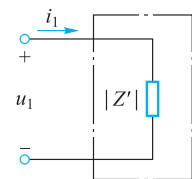


提示

理想变压器的输入功率与输出功率相同。



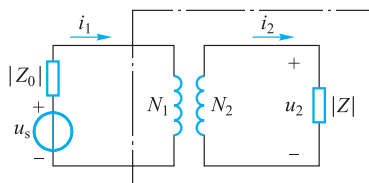
(a) 阻抗变换电路



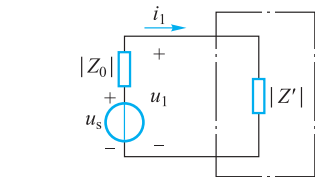
(b) 等效阻抗示意图

图 3-7 变压器的阻抗变换

例题趣讲
变压器阻抗
变换



(a) 阻抗变换电路



(b) 等效阻抗

图 3-8 例 3-2 图

由于二次绕组的内阻抗很小,二次绕组带负载时的电压与空载时的电压接近相等,即

$$u_2 \approx u_{20} \quad (3-8)$$

根据式(3-4)和式(3-7)可得

$$\frac{U_1}{U_{20}} \approx \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (3-9)$$

或

$$U_1 I_1 = U_2 I_2 \quad (3-10)$$

式(3-10)表明变压器一次绕组、二次绕组中电压高的一边电流小,电压低的一边电流大。同时又表明,变压器可以把一次绕组的能量 $U_1 I_1$ 通过 Φ 传输到二次绕组,作为 $U_2 I_2$ 输出,实现了能量的传输。

例 3-1 已知变压器 $N_1=800$ 匝, $N_2=200$ 匝, $U_1=220$ V, $I_2=8$ A, 负载为纯电阻, 求变压器的二次电压 U_2 、一次绕组电流 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。)

解:

$$K = \frac{N_1}{N_2} = \frac{800}{200} = 4$$

$$U_2 = \frac{U_1}{K} = \frac{220}{4} \text{ V} = 55 \text{ V}$$

$$I_1 = \frac{I_2}{K} = \frac{8}{4} \text{ A} = 2 \text{ A}$$

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

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

3.2.2 阻抗变换

变压器除了变换电压和电流外,还可进行阻抗变换,以实现阻抗“匹配”,如图 3-7(a)所示。负载阻抗 $|Z|$ 接在变压器二次侧,对电源来说,点画线框内部分可用另一个阻抗 $|Z'|$ 来等效代替,如图 3-7(b)所示。两者的关系可通过下面的公式计算得到。

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

即

$$|Z'| = K^2 |Z| \quad (3-11)$$

式中, $|Z'|$ 又称为折算阻抗。它表明,在忽略变压器损耗的情况下,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。

例 3-2 有一信号源的电压为 1.5 V, 内阻抗为 300 Ω , 负载阻抗为 75 Ω 。要使负载获得最大功率,必须在信号源和负载之间接一阻抗匹配变压器,使变压器的输入阻抗等于信号源的内阻抗,如图 3-8 所示。问: 变压器的变比和一次、二次电流各为多少?

解:

$$|Z'| = K^2 |Z| = |Z_0| = 300 \Omega$$

变比

$$K = \frac{N_1}{N_2} = \sqrt{\frac{|Z'|}{|Z|}} = \sqrt{\frac{300}{75}} = 2$$

一次电流

$$I_1 = \frac{U_s}{|Z_0| + |Z'|} = \frac{1.5}{300 + 300} \text{ A} = 2.5 \text{ mA}$$

二次电流

$$I_2 = K I_1 = 2 \times 2.5 \text{ mA} = 5 \text{ mA}$$

3.2.3 额定值

变压器正常运行的状态称为变压器的额定工作状态。表征变压器额定工作状态下的电压、电流和功率,称为变压器的额定值。

变压器的额定值主要有以下几个。

1. 额定电压 U_{1N} 和 U_{2N}

一次绕组额定电压 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。

二次绕组额定电压 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。

三相变压器的 U_{1N} 和 U_{2N} 均指线电压。

2. 额定电流 I_{1N} 和 I_{2N}

一次、二次绕组额定电流 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 是指变压器二次绕组额定电压和额定电流的乘积, 即二次绕组的额定视在功率, 单位为 $V \cdot A$ 或 $kV \cdot A$ 。

在单相变压器中
$$S_N = U_{2N} I_{2N} \approx U_{1N} I_{1N} \quad (3-12)$$

在三相变压器中
$$S_N = \sqrt{3} U_{2N} I_{2N} \approx \sqrt{3} U_{1N} I_{1N} \quad (3-13)$$

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

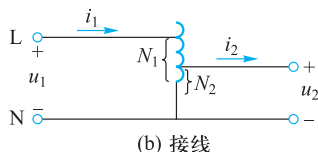
额定频率 f_N 是指变压器应接入的电源频率。我国规定标准工业用电频率为 50 Hz。

提示

额定值标明在变压器的铭牌上。



(a) 外形



(b) 接线

图 3-9 自耦变压器

提示

自耦变压器不允许作为安全变压器来使用。

3.2.4 特殊变压器

1. 自耦变压器

图 3-9 所示为一种自耦变压器或称调压器, 其结构特点为二次绕组是一次绕组的一部分。因此, 一次、二次绕组之间不仅有磁场的联系, 而且还有电的联系。

自耦变压器的工作原理与普通的双绕组变压器相同, 一次、二次绕组电压之比和电流之比为

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = K, \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{K}$$

实验室中常用的调压器就是一种利用滑动触头改变二次绕组匝数的自耦变压器, 其外形和电路图如图 3-10 所示。

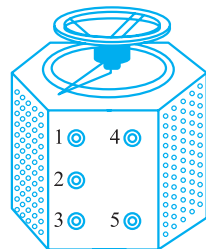
应该注意, 由于自耦变压器的一次绕组与二次绕组之间有电的直接联系, 当高压侧发生接地或二次绕组断线等故障时, 高压电将直接窜入低压侧, 形成风险。一次绕组和二次绕组不可以接错, 否则很容易造成电源被短路或烧坏自耦变压器。另外, 当自耦变压器绕组接地端误接到电源相线时, 即使二次绕组电压很低, 人触及二次绕组任一端时还是会有触电的风险。

2. 电流互感器

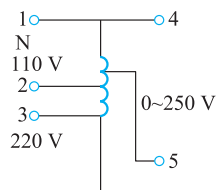
电流互感器是一种将大电流变换为小电流的变压器, 其工作原理与普通变压器的负载运行相同。接线图和符号如图 3-11 所示。

电流互感器的一次绕组用粗导线绕成, 匝数很小, 与被测线路串联。二次绕组导线细, 匝数大, 与测量交流电流仪表相连接, 二次绕组的额定电流通常设计成 5 A。

由于 $I_1/I_2=1/K$, 即 $I_2=KI_1$, 则测量仪表读得的电流 I_2 为被测

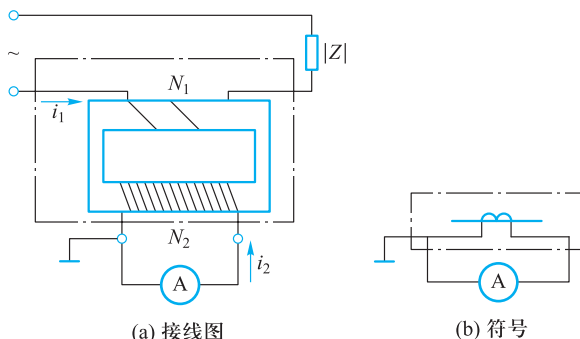


(a) 外形



(b) 接线

图 3-10 调压器外形和接线



(a) 接线图

(b) 符号

图 3-11 电流互感器的接线图及其符号

模拟动画
互感现象



线路电流 I_1 的 K 倍。

电流互感器接于高压电路，二次绕组的一端及互感器铁心必须接地。同时，电流互感器二次绕组电路在运行时严禁开路，且不允许在二次绕组电路中接熔断器，以免造成人身及设备事故。

电流互感器中经常使用的钳形电流表（俗称卡表）如图 3-12 所示。它是电流互感器的一种，电流互感器的一次绕组为待测电流的导线，铁心 1、二次绕组 2 与交流电流表 3 构成闭合回路，其铁心可以开合。在测量时，先将交流电流表置于某一电流量程，用手捏紧操作手柄 4 张开铁心，将待测电流的导线 5 卡入，然后放开手柄，使铁心闭合。于是在交流电流表上就能直接读出被测电流的大小。

3. 电焊变压器

电焊变压器的工作原理与普通变压器相同，但它们的性能却有很大差别。电焊变压器的一次、二次绕组分别装在两个铁心柱上，两个绕组漏抗都很大。电焊变压器与可变电抗器组成交流电焊机，如图 3-13 所示。

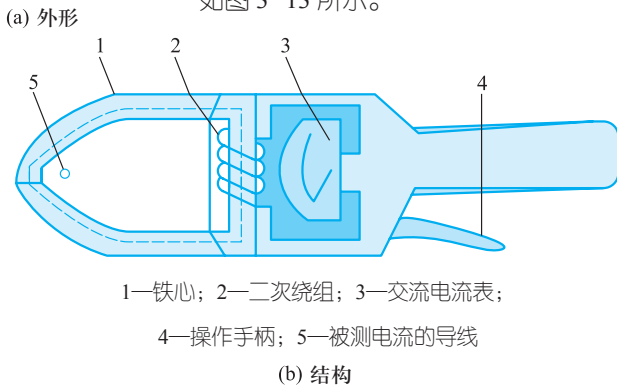


图 3-12 钳形电流表

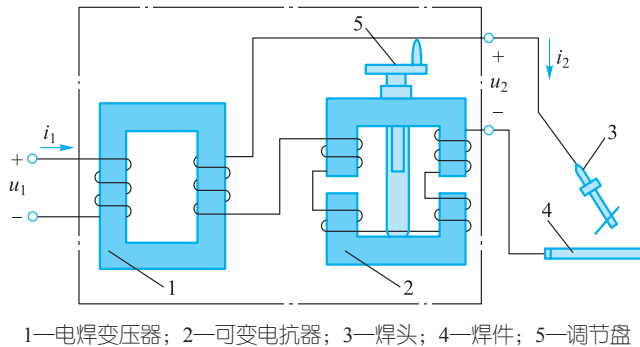


图 3-13 交流电焊机

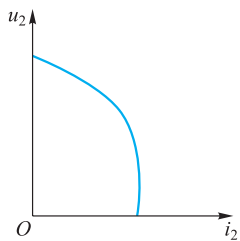


图 3-14 交流电焊机
的外特性

交流电焊机具有图 3-14 所示的陡降外特性。空载时， $I_2=0$ ， I_1 很小，漏磁通很小，可变电抗器无电压降，有足够的电弧点火电压，其值约为 60~80 V。焊接开始时，交流电焊机的输出端被短路，但由于漏抗及可变电抗器的感抗作用，短路电流虽然较大，但不会剧烈增大。焊接时，焊料与焊件之间的电弧相当于一个电阻，电阻上的电压降约为 30 V。当焊件与焊料之间的距离发生变化时，相当于电阻发生了变化，但由于电路的电抗比电弧的阻值大得多，故焊接时电流变化不明显，保证了电弧的稳定燃烧。

当焊接不同的焊件需要不同大小的焊接电流时，可通过调节可变电抗器的电抗大小来满足要求。

3.3 技能训练：变压器同名端判别及变比测量

变压器是电工电子技术中一种常见的器件。变压器的同名端用来描述一次绕组和二次绕组的绕线方向。变压器的变比是变压器的一项重要技术指标。本训练采用直流法和交流法两种方法对变压器的同名端进行判断，并用交流电压表和电流表来测量其变比。

3.3.1 训练电路分析

1. 判别变压器的同名端

直流法判别变压器同名端的训练电路如图 3-15 所示。在开关 S 闭合瞬

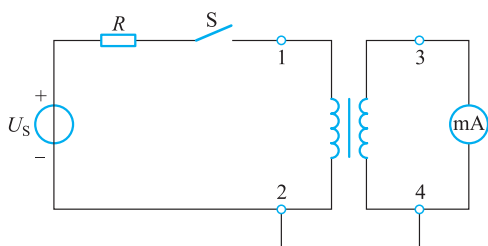


图 3-15 直流法判别变压器同名端训练电路

间,若电流(毫安)表正向偏转,则1、4为同名端。

交流法判别变压器同名端的训练电路如图3-16所示。将待判断的两个绕组的端点分别以1、2和3、4标注,然后连接2、4两端,在1、2两端加适当的电压,并将3、4两端开路,用交流电压表测量两绕组的电压 U_1 、 U_2 以及1、3两端的电压 U 。若 U 为 U_1 、 U_2 之和,则1、4端为同名端;若 U 为 U_1 、 U_2 之差,则1、3端为同名端。

2. 测量变压器的变比 K

变压器的变比测试训练电路如图3-17所示。变比表示一次、二次绕组的额定电压之比。一次绕组的额定电压是指电源所加的额定电压 U_1 ;二次绕组的额定电压是指一次绕组加额定电压后,二次绕组开路(即空载)时的电压 U_{20} ,变压器的变比为

$$K = \frac{U_1}{U_{20}}$$

变压器的变比也等于一次、二次绕组的匝数比,即

$$K = \frac{U_1}{U_{20}} = \frac{N_1}{N_{20}}$$

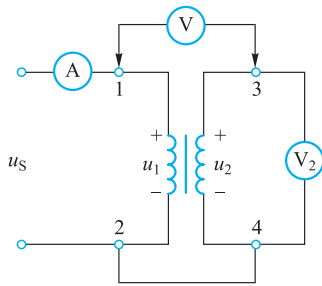


图 3-16 交流法判别变压器同名端训练电路

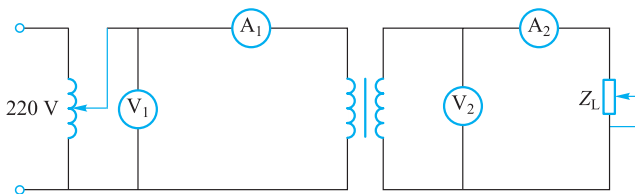


图 3-17 变压器的变比测试训练电路

3.3.2 接线与测量

本训练所需仪器与设备包括:交流电压表 1 只;交流电流表 1 只;交流电路实验单元 1 个。

1. 判别变压器的同名端

按训练电路图 3-15 所示接线后,在合上开关的瞬间观察并记录实验现象,写出判别结论。

2. 测量变压器的变比 K

按训练电路图 3-17 接线,调节调压器,使原边绕组输入电压 U_1 达到其额定定值 36 V,测量二次绕组空载时的额定电压 U_{20} ,这样可求出 K 。将测量数据填入表 3-1。

表 3-1 变压器的变比测量数据

U_1/V	U_{20}/V	K



总结

1. 磁性材料具有高导磁、磁饱和及磁滞性能。根据磁滞回线中剩磁和矫顽磁力的不同,磁性材料可分为软磁材料、硬磁材料和矩磁材料。

2. 磁路是磁通集中通过的闭合路径。

3. 变压器是利用电磁感应原理传输电能或信号的器件。它主要由铁心和绕在其上的一次、二次绕组构成。变压器按其一次、二次绕组的匝数比,可以变换电压、变换电流和变换阻抗,常用公式为

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = K, \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{K}, \quad |Z'| = K^2 |Z|$$

4. 变压器的额定值主要有额定电压、额定电流、额定容量、额定频率等。

5. 自耦变压器的一次、二次绕组之间有电的直接联系,使用时应注意:一次侧、二次侧不能接反;相线与中性线不能接反;调压时必须从零位开始。

6. 电流互感器的二次侧严禁开路运行和接入开关或熔断器。

7. 电焊变压器的一次、二次绕组分别装在两个铁心柱上,两个绕组漏抗都很大。



模拟动画
同名端的实验
判别——直流
法判定



技能训练
交流电压表的
使用





习 题

一、填空题

1. 磁性材料在外磁场作用下可被磁化, 达到很高的磁导率, 这是由于在磁性材料内部具有许多称为_____的小区域。
2. 铁磁材料被反复磁化形成的封闭曲线称为_____, 根据其形状可将铁磁物质分为_____材料和_____材料。硅钢和铝镍合金分别是_____和_____材料。
3. 各类变压器的构造基本相同, 主要包括两部分: _____是变压器的磁路通道, _____是变压器的电路部分。
4. 变压器的一次绕组接上交流电压, 二次绕组不接负载, 这种运行状态称为_____, 在外加电源电压 u 作用下, 一次绕组内通过的电流称为_____。
5. 自耦变压器的一次绕组与二次绕组之间有电的_____联系, 当高压侧发生接地或二次绕组断线等故障时, 高压将_____, 造成人身事故。

二、选择题

1. 软磁材料具有的性能和用途是 ()。
 - A. 磁滞回线面积大
 - B. 磁滞损耗大
 - C. 适用于制作永久磁铁
 - D. 适用于制作交流电器设备铁心
2. 单相变压器的变压比为 K , 若一次绕组接入直流电压 U_1 , 则二次绕组电压为 ()。
 - A. U_1/K
 - B. 0
 - C. KU_1
 - D. ∞
3. 变压器一次、二次绕组中不能改变的物理量是 ()。
 - A. 电压
 - B. 电流
 - C. 阻抗
 - D. 频率
4. 某降压变压器输入电压的最大值为 220 V。某负载 R 接到 22 V 电源上时消耗的功率为 P 。若将该负载接在此变压器的二次电路上, 消耗的功率为 $\frac{1}{4}P$, 则此变压器的 K 为 ()。
 - A. 10:1
 - B. 1:10
 - C. 1:20
 - D. 20:1
5. 通常规定电流互感器二次侧电流的标准值为 ()。
 - A. 1 A
 - B. 2 A
 - C. 5 A
 - D. 10 A

三、判断题

1. 1 个线圈的磁动势大小与其中的电流成正比。 ()
2. 磁路欧姆定律适用于铁心的任何工作状态。 ()
3. 因为变压器一次、二次绕组之间没有导线连接, 所以一次、二次绕组电路是独立的, 相互之间无任何联系。 ()
4. 自耦变压器一次、二次绕组之间不仅有磁的联系, 还有电的联系。 ()
5. 根据自耦变压器结构可知, 其始终只能作为降压变压器使用。 ()

四、分析计算题

1. 磁性材料的磁导率为何不是常数?
2. 理想变压器一次、二次绕组的匝数比为 55:9, 一次绕组接入 $u=311\sin 100\pi t$ V 的交流电源上, 求: (1) 变压器的输入电压、输出电压; (2) 二次绕组接入一盏 60 Ω 电灯时, 变压器的输入功率、输入电流。
3. 一个理想变压器有 1 个一次绕组和 2 个二次绕组, 它们的匝数比为 $N_1:N_2:N_3 = 10:1:2$, 加在一次绕组上的电压为 220 V, 2 个二次绕组中的电流分别为 2 A、0.4 A, 求通过一次绕组的电流。
4. 有一个空载变压器, 一次侧加额定电压 220 V, 并测得一次绕组电阻 $R_1 = 10 \Omega$, 一次电流是否等于 22 A?

习题答案
第3章习题详解
第3章