

项目三

特殊变压器

任务一 自耦变压器



知识目标

- (1) 了解自耦变压器的用途和特点。
- (2) 掌握自耦变压器的原理及使用方法。
- (3) 了解自耦变压器的优缺点。



技能目标

- (1) 掌握自耦变压器的正确、安全使用方法。
- (2) 掌握自耦变压器的检测及维护方法。



基本知识

一、自耦变压器的用途及特点


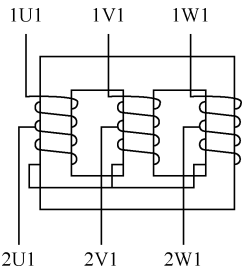
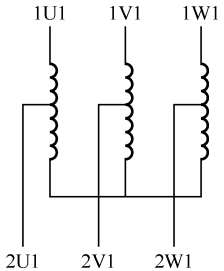
普通变压器通过一次、二次绕组电磁耦合来传递能量，一次、二次绕组之间没有直接的电的联系。自耦变压器的结构却有很大不同，即一次侧、二次侧共用一个绕组，一次侧、二次侧绕组不但有磁的联系，还有直接的电的联系。

把自耦变压器的二次侧输出改成活动触点，可以接触绕组中任意位置，使输出电压任意改变而实现调压的功能。自耦变压器按相数可分为单相自耦变压器和三相自耦变压器。其外形结构及原理图见表 3-1。

表 3-1 自耦变压器外形结构及原理图

类 型	外形结构图	示 意 图	原 理 图
单相自耦 变压器			

续表

类 型	外形结构图	示 意 图	原 理 图
三相自耦 变压器			

自耦变压器常用于升压、大容量的异步电动机降压启动, 以及把 110kV、150kV、220kV、230kV 的高压电力系统连接成大规模的动力系统等方面。

二、自耦变压器的原理

前述的变压器的一次侧、二次侧都是分开绕制的, 虽然都装在一个铁芯上, 但相互是绝缘的, 只有磁路上的耦合, 没有电路上的直接联系, 能量是靠电磁感应传过去的, 所以称为双绕组变压器。自耦变压器的结构却有很大不同, 它的低压绕组就是高压绕组的一部分, 即一次侧、二次侧共用一个绕组, 如图 3-1 所示。

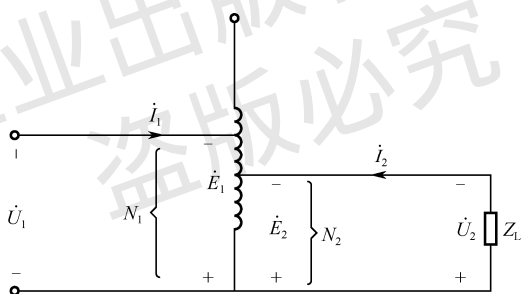


图 3-1 自耦变压器原理图

1. 变比

一次、二次绕组不仅有磁的联系, 还有直接的电的联系, 根据电磁感应定律和变压器原理, 分析图 3-1 可知:

$$U_1 \approx E_1 = 4.44 f N_1 \Phi_m$$

$$U_2 \approx E_2 = 4.44 f N_2 \Phi_m$$

因此

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = K \geq 1 \quad (3-1)$$

式中, N_1 ——一次侧绕组的匝数;

N_2 ——二次侧绕组的匝数。



2. 绕组中公共部分的电流

从式(3-1)可知, 因为输入电压 U_1 不变, 主磁通 Φ_m 也不变, 所以空载时的磁动势和负载时的磁动势是相等的, 即有

$$N_1 I_1 + N_2 I_2 = N_1 I_0$$

因为空载电流 I_0 很小, 可忽略, 则有

$$\begin{aligned} N_1 I_1 &\approx N_2 I_2 \\ I_1 &= \frac{N_2}{N_1} I_2 = \frac{1}{K} I_2 \end{aligned} \quad (3-2)$$

由式(3-2)可见, 一次侧电流 I_1 与二次侧电流 I_2 的相位是一样的, 只是大小有差别。可以知道绕组中公共部分的电流

$$I = I_2 - I_1 = (K - 1) I_1 \quad (3-3)$$

当 K 接近于 1 时, 绕组中公共部分的电流 I 就很小, 因此对于共用的这部分绕组, 导线的截面积就可以减少, 从而减少了变压器的体积和质量。

3. 自耦变压器输出功率

自耦变压器输出的视在功率(不计损耗)为

$$S_2 = U_2 I_2 = U_2 (I + I_1) = U_2 I + U_2 I_1 = S'_2 + S''_2 \quad (3-4)$$

在传输的总容量 S_2 中, $S'_2 = U_2 I$ 是 1U1、1U2 绕组与 2U1、2U2 绕组之间电磁感应传递的能量, 而 $S''_2 = U_2 I_1$ 是通过电路直接从一次侧传递过来的。这是自耦变压器在能量传递方式上与一般变压器的区别, 而且这两部分传递能量的比例完全取决于变比 K , 可以得出

$$S'_2 = \left(1 - \frac{1}{K}\right) S_2 \quad S''_2 = \frac{1}{K} S_2 \quad (3-5)$$

式(3-5)说明, 靠电磁感应传递的能量占总能量的 $\left(1 - \frac{1}{K}\right)$, 而从电路直接输送的能量占 $\frac{1}{K}$ 。由此可见, 当 $K=1$ 时, 能量全部靠电路导线传过来; 当 $K=2$ 时, S'_2 和 S''_2 各占一半, 二次侧从绕组中间引出, $I = I_1$, 绕组中公共部分的电流没有减少, 省铜效果已不明显; 当 $K=3$ 时, $S' = (2/3)S_2$, $S'' = (1/3)S_2$, 电路传输的能量少, 而靠电磁感应输送的能量多, 而且 $I = 2I_1$, 公共部分绕组电流增加了, 导线也要加粗。由此可见, 当变比 $K > 2$ 时, 自耦变压器的优点就不明显了, 所以自耦变压器通常工作在变比 $K=1.2 \sim 2$ 。

三、自耦变压器的优缺点

1. 自耦变压器的优点

(1) 可改变输出电压。

(2) 用料省、效率高。自耦变压器的功率传输中, 除了因绕组间电磁感应原理而传递的功率, 还有一部分是由电路相连直接传导的功率, 后者是普通双绕组变压器所没有的, 因此自耦变压器较普通双绕组变压器用料省、效率高。

2. 自耦变压器的缺点

(1) 因一次、二次绕组是相通的，高压侧（电源）的电气故障会波及低压侧，如高压绕组绝缘被破坏，高电压可直接进入低压侧，这是很不安全的，所以低压侧应有防止过电压的保护措施。

(2) 如果在自耦变压器的输入端把相线和零线接反，虽然二次侧输出电压大小不变，仍可正常工作，但这时输出“零线”已经为“高电位”，是非常危险的，如图 3-2 所示。

为此，规定自耦变压器不准作为安全隔离变压器用，而且使用时要求自耦变压器接线正确，外壳必须接地。接自耦变压器电源前，一定要把手柄转到零位。

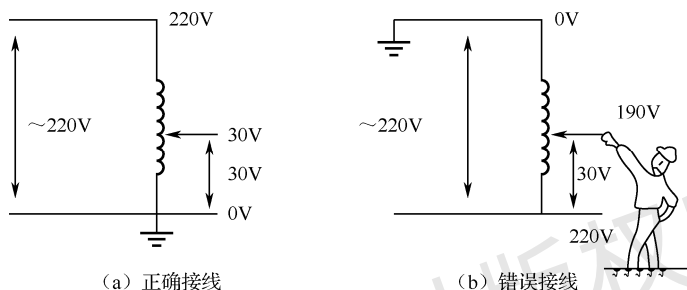


图 3-2 单相自耦变压器的接法



基本技能

一、自耦变压器的使用注意事项

(1) 由于自耦变压器的一次侧、二次侧有直接的电的联系，为防止高压侧单相接地故障而引起的低压侧电压升高，用在电网中的自耦变压器的中性点必须可靠接地。

(2) 由于一次侧、二次侧有直接的电的联系，高压侧过电压时，会引起低压侧严重过电压。为避免这种危险，须在一次侧、二次侧都加装避雷器。

(3) 由于自耦变压器短路阻抗较小，其短路电流较普通变压器大，因此必要时须采取限制短路电流的措施。

(4) 运行中注意监视公用绕组的电流，使之不过负荷，必要时可调整第三绕组的运行方式，以增加自耦变压器的交换容量。

二、自耦变压器常见故障和处理方法

自耦变压器常见故障及处理方法见表 3-2。

表 3-2 自耦变压器常见故障及处理方法

故 障	处 理 方 法
引出线端头断裂	<p>(1) 如果断裂线头处在线圈最外层，可掀开绝缘层，挑出线圈上的断头，焊上新的引出线，包好绝缘层即可</p> <p>(2) 若自耦变压器断裂线端头处在线圈内层，一般无法修复，需要拆开重绕</p>



续表

故 障	处 理 方 法
一次、二次绕组匝间短路或层间短路	<p>(1) 如果短路发生在线圈的最外层,可掀去绝缘层,在短路处局部加热(对浸过漆的绕组,可用电吹风加热),待漆膜软化后,用薄片轻轻挑起绝缘已被破坏的导线,若线芯没损伤,可插入绝缘纸,裹住后按平;若线芯已损伤,应剪断,去除已短路的一匝或多匝导线,两端焊接后垫妥绝缘纸,按平。用以上两种方法修复后均应涂上绝缘漆,吹干,再包上外层绝缘</p> <p>(2) 如果故障发生在无骨架线圈两边沿口的上、下层之间,一般也可按上述方法修复。若自耦变压器故障发生在线圈内部,一般无法修理,须拆开重绕</p>
线圈对铁芯短路	参照匝间短路的处理方法
铁芯噪声过大	<p>(1) 如果是电磁噪声,属于自耦变压器设计原因的,可换用质量较好的同规格硅钢片;属于其他原因的,应减轻负荷或排除漏电故障</p> <p>(2) 如果是机械噪声,应压紧铁芯</p>
线圈漏电故障	<p>(1) 若是受潮,只要烘干后故障即可排除</p> <p>(2) 若是绝缘老化,严重的一般较难排除,轻度的可拆去外层包缠的绝缘层,烘干后重新浸漆</p>
线圈过热故障	要对症下药,减小负荷或加强绝缘,排除短路故障等
铁芯过热故障	<p>(1) 减小负荷,加强铁芯绝缘</p> <p>(2) 改善硅钢片质量,调整自耦变压器线圈匝数等</p>
输出侧电压下降	<p>(1) 增加电源输入电压值</p> <p>(2) 排除短路、漏电过载等故障,使输出达到额定值</p>
出口短路	<p>(1) 更换自耦变压器绕组,消除短路</p> <p>(2) 修补绝缘,并进行浸漆干燥处理</p>
套管不良	<p>(1) 清除瓷套管外表面的积灰和脏污</p> <p>(2) 若套管密封不严或绝缘受潮劣化,则应更换套管</p>

三、自耦变压器的拆卸、检测与维护训练

1. 训练内容

通过拆卸自耦变压器,并进行简单检测及维护,了解自耦变压器的基本结构并掌握正确的使用、检测与维护方法。

2. 工具、仪器仪表及材料

(1) 电工工具一套(验电笔、一字和十字螺钉旋具、钢丝钳、尖嘴钳、斜口钳、剥线钳、电工刀等),扳手一把。



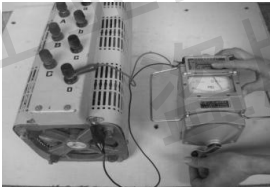

(2) 三相自耦变压器一台。

(3) 万用表、兆欧表各一只。

3. 训练步骤

自耦变压器的拆卸、检测与维护步骤见表 3-3。

表 3-3 自耦变压器的拆卸、检测与维护步骤

步 骤	图 示	描 述
熟悉自耦变压器		认真观察三相可调自耦变压器的外形结构和固定方式，以便拆卸。用抹布清洁自耦变压器外壳，进行外围的维护工作
测量一次绕组直流电阻值		用万用表的 200Ω 挡分别测量三相一次绕组直流电阻值（绕组已经接成星形，“0”端子为公共端），其余两相绕组的测量方法相同。正常情况下，三相一次绕组直流电阻值基本相等
测量二次绕组直流电阻值		用万用表的 200Ω 挡分别测量三相二次绕组直流电阻值，方法与上述一次绕组测量相同，其余两相绕组的测量方法相同。正常情况下，三相二次绕组直流电阻值基本相等
测量绕组与外壳间的绝缘电阻值		按兆欧表的正确使用方法进行验表。验表正常后将兆欧表的“L”端子与绕组的任意一端子相接，“E”端子与自耦变压器的接地螺钉可靠接触，用正确方法摇动兆欧表进行绝缘电阻值的测量。测得阻值应接近 ∞ ，如果小于 $1M\Omega$ ，说明自耦变压器有漏电现象，不能正常使用
拆卸外壳锁紧螺钉		三相自耦变压器的外壳锁紧螺钉较长，使用活扳手和电工钳进行拆卸
拆卸调节旋钮和刻度盘		用旋具将调节旋钮侧孔的螺钉拧松，取下调节旋钮；将刻度盘的四个螺钉取下，并将刻度盘取下
拆卸外壳		待外壳锁紧螺钉、调节旋钮和刻度盘取下后，将自耦变压器的外壳取出来；认真观察自耦变压器的内部结构，旋转调节旋钮，观察触片与绕组的接触情况；用抹布小心地将绕组及其他装置上的灰尘抹去，做内部维护



4. 按步骤操作，并记录测量结果

实验数据表见表 3-4。

表 3-4 实验数据表

测试项目	实测值	正常值	是否正常
一次绕组直流电阻值			
二次绕组直流电阻值			
绕组与外壳间的绝缘电阻值			



任务评价

一、思考与练习

(一) 填空题

1. 自耦变压器一次侧和二次侧之间既有_____的联系，又有_____的联系。
2. 自耦变压器的输出视在功率由两部分组成，一部分是通过_____从一次侧传递到二次侧的视在功率，另一部分是通过_____从一次侧传递到二次侧的视在功率。
3. 为了充分发挥自耦变压器的优点，其一般工作在_____ ~ _____。
4. 三相自耦变压器一般接在_____。

(二) 判断题

1. 自耦变压器绕组公共部分的电流，在数值上等于一次侧、二次侧电流数值之和。()
2. 当自耦变压器作为降压变压器使用时，它可以作为安全隔离变压器使用。()
3. 自耦变压器一次侧从电源吸取的电功率，除一小部分损耗在内部外，其余的全部经一次侧、二次侧之间的电磁感应传递到负载上。()
4. 自耦变压器较普通变压器用料省、效率高。()

(三) 简答题

自耦变压器为什么不能作为安全变压器使用？使用中应注意什么问题？

二、任务评价

1. 任务评价标准（表 3-5）

表 3-5 任务评价标准

任务检测	分值	评分标准	学生自评	教师评估	任务总评
任务知识和技能内容	10	(1) 与普通变压器的区别 (5 分) (2) 使用在哪些地方 (5 分)			
	20	(1) 理解单相自耦变压器的结构 (10 分) (2) 理解三相自耦变压器的结构 (10 分)			

续表

任务检测		分值	评分标准	学生自评	教师评估	任务总评
任务知识和技能内容	自耦变压器的工作原理	20	(1) 自耦变压器的变比 (7 分) (2) 绕组中公共部分的电流 (7 分) (3) 自耦变压器的输出功率 (6 分)			
	自耦变压器的优缺点	10	(1) 自耦变压器的优点 (4 分) (2) 自耦变压器的缺点 (6 分)			
	自耦变压器的使用方法	10	(1) 掌握使用注意事项 (6 分) (2) 掌握安全防护方法 (4 分)			
	常用自耦变压器的认知	10	(1) 掌握自耦变压器的拆装方法 (5 分) (2) 掌握自耦变压器的维护方法 (5 分)			
	自耦变压器的故障判断和检修	20	(1) 根据故障能正确做出判断 (5 分) (2) 根据故障能正确指出修理方法 (15 分)			

2. 技能训练与测试

- (1) 练习常用自耦变压器的认知。
- (2) 练习自耦变压器故障判断和检修。

技能训练评估表见表 3-6。

表 3-6 技能训练评估表

项 目	完成质量与成绩
拆装	
认知	
故障判断和检修	

三、任务小结

(1) 普通的变压器通过一次、二次绕组电磁耦合来传递能量，一次、二次绕组之间没有直接的电的联系。自耦变压器的结构却有很大不同，即一次侧、二次侧共用一个绕组，一次、二次绕组不但有磁的联系，还有直接的电的联系。

(2) 实验室里常常用到自耦变压器。把自耦变压器的二次侧输出改成活动触点，可以接触绕组中任意位置，使输出电压任意改变，从而实现调压的功能。

(3) 自耦变压器按相数可分为单相自耦变压器和三相自耦变压器。

(4) 自耦变压器的优点：可改变输出电压，用料省、效率高。

(5) 自耦变压器的缺点：因一次、二次绕组是相通的，高压侧的电气故障会波及低压侧，如高压绕组绝缘破坏，高电压可直接进入低压侧，这是很不安全的，所以低压侧应有防止过电压的保护措施；如果在自耦变压器的输入端把相线和零线接反，虽然二次侧输出电压大小不变，仍可正常工作，但这时输出“零线”已经为“高电位”，非常危险。

(6) 变比的关系 $\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = K \geq 1$ 。



任务二 电焊变压器



知识目标

- (1) 了解电焊变压器的结构特点。
- (2) 掌握电焊变压器的类型及原理。



技能目标

- (1) 掌握电焊变压器的正确、安全使用方法。
- (2) 掌握电焊变压器的故障分析及处理方法。



基本知识

一、电焊变压器的结构特点

电焊变压器实质上是一个特殊性能的降压变压器（图 3-3）。为了保证焊接质量和电弧燃烧的稳定性，电焊变压器应满足以下条件。

- (1) 二次侧空载电压应为 60~75V，以保证容易起弧。同时为了安全，空载电压最高不超过 85V。
- (2) 具有陡降的外特性，即当负载电流增大时，二次侧输出电压应急剧下降，通常额定运行时的输出电压 U_{2N} 为 30V 左右（电弧上电压）。其外特性如图 3-4 所示。



图 3-3 电焊变压器

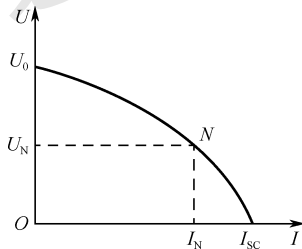


图 3-4 电焊变压器的外特性

(3) 短路电流 I_k 不能太大，以免损坏电焊变压器，同时要求电焊变压器有足够的电动稳定性和热稳定性。焊条开始接触工件而短路时，产生一个短路电流，引起电弧，然后焊条再拉起产生一个适当的电弧间隙。所以，电焊变压器要能承受这种短路电流的冲击。

(4) 为了适应不同的加工材料、工件大小和焊条，焊接电流应能在一定范围内调节。

为了满足以上要求，电焊变压器必须具有较大的漏抗，而且可以调节。因此，电焊变压器的结构特点是铁芯的气隙比较大，一次、二次绕组不是同心套装在一个铁芯柱上，而是分装在不同的铁芯柱上，再用磁分路法、串联电抗器法及改变二次绕组的接法等来调节焊接电流。

二、电焊变压器的类型及原理

影响变压器外特性的主要因素是一次、二次绕组的漏抗，以及负载功率因数。由于焊接

加工属于电加热性质，故负载功率因数基本上都一样，所以不必考虑。而改变漏抗可以达到调节输出电流的目的，根据形成漏抗和调节方法的不同，下面介绍几种不同的电焊变压器。

(一) 可调电抗器的电焊变压器

可调电抗器的电焊变压器，根据结构不同可分为外加电抗器式和共轭式。

1. 外加电抗器式

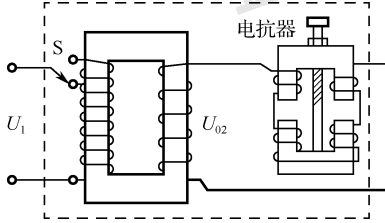
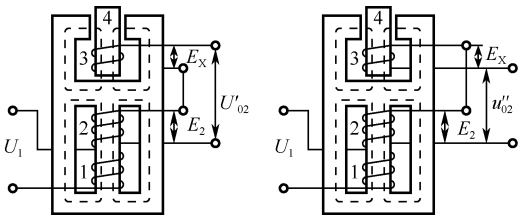
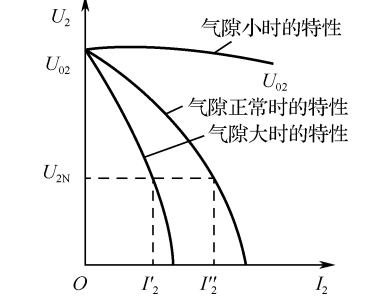
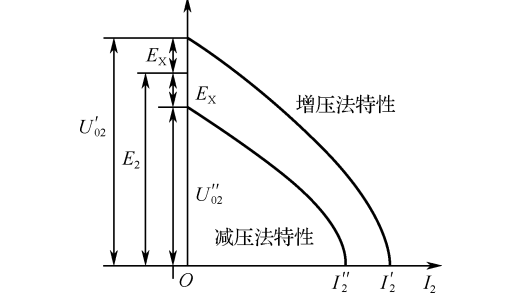
外加电抗器式电焊变压器是在一台降压变压器的二次侧输出端再串接一台可调电抗器组合而成的。为了调节二次侧空载电压，在一次绕组中备有分接头。外加电抗器式电焊变压器输出电流的调节主要通过改变电抗器的气隙大小来实现，如气隙减小，电抗增大，电焊机输出外特性下降陡度增大，电流减小。

2. 共轭式

共轭式电焊变压器是将变压器铁芯和电抗器铁芯制成一体构成共轭式结构（有部分磁轭是共用的）。它除了变压器一次、二次绕组，还有电抗线圈和动铁芯。变压器二次绕组是与电抗器线圈串联的，设 E_x 是电抗器上的电动势， E_2 是变压器二次侧电动势，当两者顺极性串联时，输出电压为两者之和；当两者反极性串联时，输出电压为两者之差。

可调电抗器的电焊变压器见表 3-7。

表 3-7 可调电抗器的电焊变压器

特性	外加电抗器式	共 轭 式
结构	一台降压变压器的二次侧输出端再串接一台可调电抗器组合而成	将变压器铁芯和电抗器铁芯制成一体构成共轭式结构
原理接线图		
外特性		
调节特点	通过改变电抗器的气隙大小来实现，如气隙减小，电抗值增大，电流减小	只要调节电抗器铁芯中间的动铁芯，通过改变气隙来改变 E_x 的大小和电抗值，从而改变 E_x 曲线的下降陡度，达到改变电流的目的



(二) 动铁式电焊变压器

动铁式电焊变压器在铁芯的两柱中间又装了一个活动的铁芯柱,称为动铁芯,如图 3-5(a)所示。一次绕组绕在左边的铁芯柱上,而二次绕组分为两部分,一部分在左边与一次绕组同在一个铁芯柱上,另一部分在右边的铁芯柱上。当改变二次绕组的接法时就达到改变匝数和改变漏抗的目的,从而起到改变起始空载电压和改变电压下降陡度的作用,以上是粗调,如图 3-5(b)所示,粗调有 I 和 II 两挡。

如果要微调电流,则要微调中间动铁芯的位置。如果把动铁芯从铁芯的中间逐步往外移动,那么从动铁芯中漏过的磁通会慢慢地减少。因为动铁芯往外移动,气隙增大,磁阻也增大,漏磁通就减少,漏抗随之减少,电流下降速度就慢,如图 3-5(c)所示。当连接片接在 I 位置时(粗调电流),次级绕组匝数较多,所以空载电压较高,为曲线 1、2。这时把动铁芯移到最里面,则漏磁通最多,漏抗最大,曲线下降最陡,即曲线 1;反之,把动铁芯慢慢移出来,曲线就慢慢向曲线 2 靠近。如果工作电压为 30V,工作电流就会从 60A 左右慢慢向 170A 变化,这就是微调电流的原理。

当粗调节器放在 II 位置时,由于二次绕组匝数少了,空载电压从 70V 降到 60V,曲线 3、4 的陡度也小了。同前面分析的一样,当动铁芯从最里面移动到最外面时,工作电流将从 130A 左右慢慢向 450A 变化,如图 3-5(c)所示。

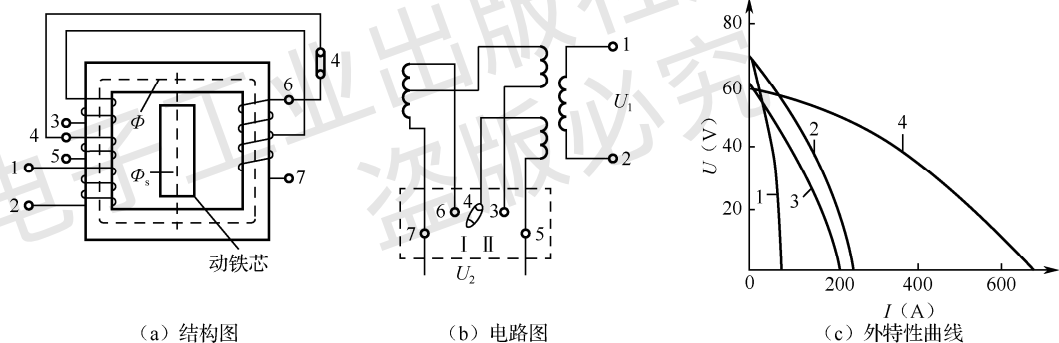
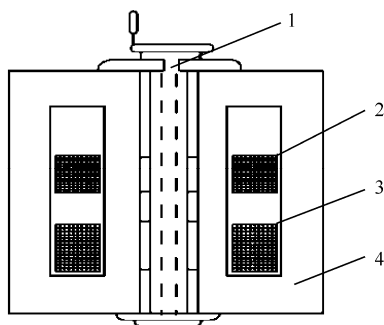


图 3-5 动铁式电焊变压器

(三) 动圈式电焊变压器

前面两种变压器的一次、二次绕组是固定不动的,只改变动铁芯位置,即改变气隙大小来改变漏磁通的大小,从而改变漏抗大小,达到改变曲线的下降陡度、调节电流的目的。动圈式电焊变压器的铁芯采用壳式结构,铁芯气隙是固定不可调的,如图 3-6 所示。一次绕组固定在铁芯下部,二次绕组置于它的上面,并且可借助手轮转动螺杆使二次绕组上下移动,从而改变一次、二次绕组的距离,调节漏磁通的大小,以改变漏抗。显然,一次、二次绕组越近则耦合越紧,漏抗越小,输出电压越高,下降陡度越小,输出电流越大;反之则电流越小。以上介绍的是微调。还可通过将一次和二次部分绕组接成串联或并联(它们均由两部分线圈构成)来扩大调节范围,这是电焊变压器的粗调。



1—二次绕组手轮转动螺杆；2—可动二次绕组；3—固定的一次绕组；4—铁芯

图 3-6 动圈式电焊变压器

动圈式电焊变压器的优点是没有活动铁芯，不会因铁芯振动而造成电弧不稳定。但是它在绕组距离较近时，调节作用会大大减弱，需要加大绕组的间距，铁芯要做得较高，增加了硅钢片的用量。



基本技能

一、电焊变压器常见故障和处理方法

电焊变压器常见故障及处理方法见表 3-8。

表 3-8 电焊变压器常见故障及处理方法

故 障	处 理 方 法
变压器过载	对过载使用的弧焊机，根据焊机容量及工作规定范围进行调整
变压器绕组短路未发觉，继续使用使变压器过热	(1) 如绕组短路，应取出绕组进行检测，找出短路处 (2) 若短路在绕组外几层，可先将绕组预烘，将外层几匝放开，清除老化的旧绝缘物，包上规定层数的新绝缘物
接线处螺栓松动或腐蚀，使接触处电阻过大，造成导线发热	(1) 若为焊机导线接触处螺栓松动，则用扳手拧紧 (2) 若螺栓、螺母锈蚀，则进行更换
电流调节失灵，使电流不稳	检查控制绕组，如有短路处应及时修复，同时将控制回路接触不良的情况排除或更换被击穿的硅元件，使电流调节正常、灵活
焊接过程中焊机动铁芯位置不稳定，出现相对移动	检查焊机动铁芯的调节手柄和动铁芯固定的情况，如发现松动，应加以固定
变压器空载电压低，造成电弧不稳定和引弧困难	检查电源电压是否正常、绕组有无局部短路等现象
电抗器绕组绝缘损坏，使电流过大	检查电抗器绕组，如绝缘损坏或短路，应重新包好绝缘，消除短路
铁芯磁回路叠片绝缘损坏，出现涡流，引起电流变小	检查铁芯叠片绝缘情况及紧固绝缘螺杆等有无损坏，如叠片锈蚀、漆皮脱落，要清除干净，重新涂漆或更换叠片
焊接导线过长或者盘成圆盘形，加大电感，使电流变小	焊接导线过长，应剪去一段，并把焊接导线拉开放置



二、交流弧焊机的拆卸与检测训练

1. 训练内容

通过拆卸交流弧焊机，了解交流弧焊机中电焊变压器的基本结构，并学习电焊变压器的故障检修方法。

2. 工具、仪器仪表及材料

(1) 电工工具一套（验电笔、一字和十字螺钉旋具、钢丝钳、尖嘴钳、斜口钳、剥线钳、电工刀等），扳手一把。

(2) 交流弧焊机一台。



(3) 万用表、兆欧表、单臂电桥各一只。

3. 训练步骤


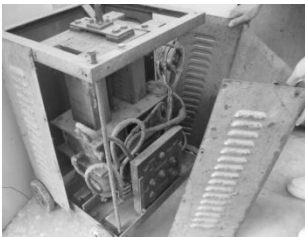
1) 交流弧焊机的拆卸步骤

交流弧焊机的拆卸步骤见表 3-9。

表 3-9 交流弧焊机的拆卸步骤

步 骤	图 示	描 述
熟悉交流弧焊机		准备好一台交流弧焊机，通过对它的拆卸来了解交流弧焊机的基本结构及工作原理。首先认真观察外形、调整机构，然后仔细查阅铭牌参数
拆卸顶盖		用活扳手将输出电流调节摇把拆下，然后将顶盖四角的锁紧螺钉拆下，并取下顶盖装置

续表

步 骤	图 示	描 述
拆卸前罩		用一字螺钉旋具将交流弧焊机的前罩螺钉松开
取出前罩		待螺钉松脱后取出前罩，同时认真观察交流弧焊机的内部结构

2) 操作电流调节机构

待前罩取出后，用抹布小心地将交流弧焊机上的灰尘清理干净。如图 3-7 所示，旋转调节输出电流的手轮摇把，可以看到电焊变压器二次绕组上下移动。



图 3-7 操作电流调节机构

3) 测量一次、二次绕组的直流电阻值

首先用万用表估测一次、二次绕组的直流电阻值，然后用单臂电桥测一次、二次绕组的直流电阻值，并将数据记录在表 3-10 中。

4) 测量一次、二次绕组的绝缘电阻值

测试方法同单相变压器的绝缘电阻值测量。

5) 重新安装

安装步骤与拆卸步骤相反。



表 3-10 实验数据表

测 试 项 目	实 测 值	正 常 值	是 否 正 常
一次绕组直流电阻值			
二次绕组直流电阻值			
一次绕组绝缘电阻值			
二次绕组绝缘电阻值			



任务评价

一、思考与练习

(一) 填空题

1. 电焊变压器是_____的主要组成部分, 它具有_____的外特性。
2. 常用的电焊变压器有_____, _____和_____三种, 它们用不同的方法, 改变_____以达到调节输出电流的目的。
3. 外加电抗器式电焊变压器是一台_____变压器的二次侧输出端串接一台_____电抗器而组成的。它主要通过改变电抗器的_____大小来实现电流的调节。若气隙增大, 电抗_____, 输出电流_____。
4. 动铁式电焊变压器粗调焊接电流的方法是_____, 微调焊接电流的方法是_____。
5. 动圈式电焊变压器的一次绕组和二次绕组越接近, 耦合就越紧, 输出电压越高, 下降陡度越小, 输出电流越大; 反之, 电流_____。

(二) 判断题

1. 交流弧焊机的主要组成部分是漏抗较大且可调的电焊变压器。 ()
2. 若要使动圈式电焊变压器的焊接电流最小, 应使一次、二次绕组间的距离最大。 ()
3. 动圈式电焊变压器的铁芯采用壳式结构, 铁芯的气隙是可调的。 ()
4. 交流弧焊机为了保证容易起弧, 应具有 60~75V 的空载电压。 ()
5. 交流弧焊机为了保证容易起弧, 应具有 100V 的空载电压。 ()
6. 电焊变压器具有陡降的外特性, 其电压调整率降低。 ()
7. 电焊变压器的输出电压随负载电流的增大而略有增大。 ()

(三) 简答题

1. 电焊变压器应满足哪些条件?
2. 动圈式电焊变压器是如何调节电流的? 它有什么缺点?
3. 简述电焊变压器导线接线处过热的原因。
4. 简述焊接电流不稳定、引弧困难或电弧不稳定的原因。
5. 简述焊接输出电流反常的处理措施。

二、任务评价

1. 任务评价标准（表 3-11）

表 3-11 任务评价标准

任务检测		分值	评分标准	学生自评	教师评估	任务总评
任务知识和技能内容	可调电抗器的电焊变压器的结构及原理	20	(1) 理解可调电抗器的电焊变压器的结构（5 分） (2) 掌握可调电抗器的电焊变压器的原理（5 分）			
	动铁式电焊变压器的结构及原理	20	(1) 理解动铁式电焊变压器的结构（10 分） (2) 理解动铁式电焊变压器的原理（10 分）			
	动圈式电焊变压器的结构及原理	10	(1) 了解动圈式电焊变压器的结构、原理（5 分） (2) 了解动圈式电焊变压器的优点（5 分）			
	电焊变压器的结构特点	10	(1) 了解电焊变压器的特点（4 分） (2) 了解电焊变压器应满足的工艺要求（6 分）			
	电焊变压器的使用方法	10	(1) 掌握使用注意事项（6 分） (2) 掌握安全防护方法（4 分）			
	认识交流弧焊机	10	(1) 掌握交流弧焊机的拆装方法（5 分） (2) 掌握交流弧焊机的维护方法（5 分）			
	电焊变压器的故障判断和检修	20	(1) 根据故障能正确做出判断（5 分） (2) 根据故障能正确指出修理方法（15 分）			

2. 技能训练与测试

- (1) 练习交流弧焊机及电焊变压器的认知。
- (2) 练习电焊变压器的故障判断和检修。

技能训练评估表见表 3-12。

表 3-12 技能训练评估表

项 目	完成质量与成绩
拆装	
认知	
故障判断和检修	

三、任务小结

(1) 电焊变压器是交流弧焊机的主要组成部分，它实质上是一个特殊性能的降压变压器。

(2) 电焊变压器应满足以下条件：二次侧空载电压应为 60~75V，以保证容易起弧；具有陡降的外特性；短路电流不能太大，以免损坏交流弧焊机；为了适应不同的加工材料、工件大小和焊条，焊接电流应能在一定范围内调节。

(3) 可调电抗器的电焊变压器根据结构不同可分为外加电抗器式和共轭式。

(4) 动铁式电焊变压器是在铁芯的两柱中间又装了一个活动的铁芯柱，称为动铁芯，一次绕组绕在左边的铁芯柱上，而二次绕组分为两部分，一部分在左边与一次绕组同在一个



铁芯柱上,另一部分在右边的铁芯柱上。当改变二次绕组的接法时就达到改变匝数和漏抗的目的。

(5) 动圈式电焊变压器的优点是没有活动铁芯,不会因铁芯振动而造成电弧不稳定。

任务三 仪用变压器



知识目标

- (1) 熟悉仪用变压器的结构及原理。
- (2) 掌握仪用变压器的使用方法。
- (3) 熟练区分电流互感器和电压互感器的特性。



技能目标

- (1) 掌握仪用变压器的正确、安全使用方法。
- (2) 学会选用、维护和检修仪用变压器。



基本知识

一、仪用变压器的特点

要做一个直接测量大电流、高电压的仪表是很困难的,操作起来也十分危险。因此,人们利用变压器能改变电压和电流的功能,制造出特殊的变压器——仪用变压器(或称互感器)。把高电压变成低电压,就是电压互感器;把大电流变成小电流,就是电流互感器。利用互感器使测量仪表与高电压、大电流隔离,既可保证仪表和人身的安全,又可大大减少测量中能量的损耗,扩大仪表量程,便于仪表的标准化。因此,仪用变压器被广泛应用于交流电压、电流、功率的测量中,以及各种继电保护和控制电路中。

二、仪用变压器的结构和原理

1. 电流互感器

1) 电流互感器的结构和工作原理

电流互感器结构上与普通双绕组变压器相似,也有铁芯和一次、二次绕组,但它的一次绕组匝数很少,只有一匝到几匝,导线都很粗,串联在被测的电路中,流过被测电流,被测电流的大小由用户负载决定,如图 3-8 所示。电流互感器的二次绕组匝数较多,它与电流表或功率表的电流线圈串联成为闭合电路,由于这些线圈的阻抗都很小,所以二次侧近似于短路状态。由于二次侧近似于短路,所以互感器一次侧的电压几乎为零,因为主磁通正比于一次侧输入电压,总磁势为零。根据变压器的变流原理 $\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = K_I$, 式中 K_I 为互感器的额定电流比; I_2 为二次侧所接电流表的读数,乘以 K_I , 就是一次侧被测大电流的数值。

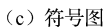


图 3-8 电流互感器

电流互感器有干式、浇注绝缘式、油浸式等多种，如图 3-9 所示。

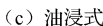
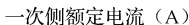


图 3-9 电流互感器的种类

电流互感器的型号由字母及数字组成，通常表示电流互感器绕组类型、绝缘种类、使用场所及电压等级等。电流互感器的型号格式为：



含义如下。

第一位字母：L—电流互感器。

第二位字母: M—母线式, Q—线圈式, Y—低压式, D—单匝式, F—多匝式, A—穿墙式, R—装入式, C—瓷箱式。

第三位字母: K—塑料外壳式, Z—浇注式, W—户外式, G—改进型, C—瓷绝缘, P—中频。

第四位字母: B—过流保护, D—差动保护, J—接地保护或加大容量, S—速饱和, Q—加强型。

第五位数字表示设计序号。

例如, LFC-10/0.5-300 表示一次侧额定电压为 10kV 的多匝式瓷绝缘电流互感器, 被测电流额定值为 300A, 准确度等级为 0.5 级。

2) 电流互感器使用中应注意的事项

① 运行中二次侧不得开路，否则会产生高压，危及仪表和人身安全，因此二次侧不能接



熔断器；运行中如要拆下电流表，必须先将二次侧短路。

② 电流互感器的铁芯和二次绕组一端要可靠接地，以免在绝缘被破坏时带电而危及仪表和人身安全。

③ 电流互感器的一次、二次绕组有同名端标记，二次侧接功率表或电能表的电流线圈时，极性不能接错。

④ 电流互感器二次侧负载阻抗大小会影响测量的准确度，负载阻抗的值应小于电流互感器要求的阻抗值，使电流互感器尽量工作在“短路状态”。并且所用电流互感器的准确度等级应比所接的仪表准确度高两级，以保证测量准确度。例如，一般仪表为 1.5 级，可配用 0.5 级电流互感器。

2. 电压互感器

1) 电压互感器的结构和工作原理

电压互感器的原理和普通降压变压器是完全一样的，它的变压比更准确；电压互感器的一次侧接有高电压，而二次侧接有电压表或其他仪表（如功率表、电能表等）的电压线圈，如图 3-10 所示。因为这些负载的阻抗都很大，电压互感器近似运行在二次侧开路的空载状态，则有 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = K$ ，式中 U_2 为二次侧电压表上的读数，只要乘以变比 K 就是一次侧的高压电压值。

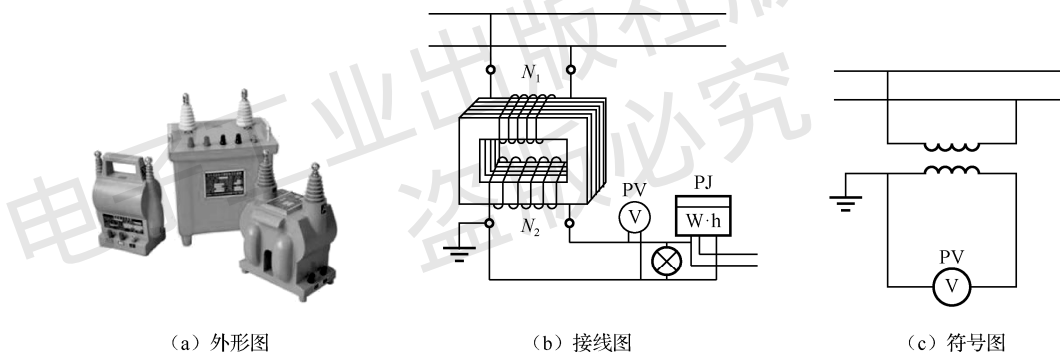


图 3-10 电压互感器

电压互感器有干式、浇注绝缘式、油浸式等多种，如图 3-11 所示。

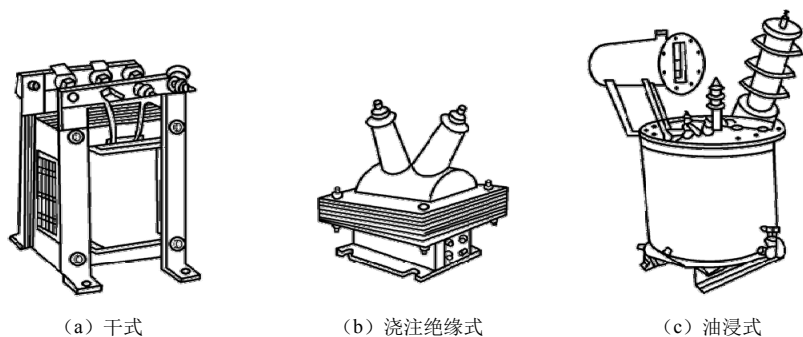
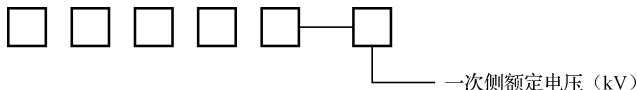


图 3-11 电压互感器的种类



电压互感器的型号格式如下：



含义如下。

第一位字母：J—电压互感器。

第二位字母：D—单相，S—三相，C—串级式。

第三位字母：J—油浸式，G—干式，Z—浇注绝缘式。

第四位字母：B—带补偿绕组，J—接地保护，W—五柱三绕组。

第五位数字表示设计序号。

例如，JDG-0.5 表示单相干式电压互感器，额定电压为 500V。

2) 电压互感器使用中应注意的事项

一般电压互感器二次侧额定电压都规定为 100V，一次侧额定电压为电力系统规定的电压等级，这样做的优点是二次侧所接的仪表电压线圈额定值都为 100V，可标准化。和电流互感器一样，电压互感器二次侧所接的仪表刻度实际上已经被放大了 K 倍，可以直接读出一侧的的被测数值。

选择电压互感器时，一要注意额定电压应符合所测电压值；二要注意二次侧负载电流总和不得超过二次侧额定电流，使它尽量接近“空载运行”状态。

使用中应注意的事项如下：

- ① 二次侧不能短路，否则会烧坏绕组。为此，二次侧要装熔断器。
- ② 铁芯和二次绕组的一端要可靠接地，以防绝缘被破坏时，铁芯和二次绕组带高电压。
- ③ 二次绕组接功率表或电能表的电压线圈时，极性不能接错。三相电压互感器和三相变压器一样，要注意连接方法，接错会造成严重后果。
- ④ 电压互感器的准确度与二次侧的负载大小有关，负载越大，即接的仪表越多，二次侧电流就越大，误差就越大。为了保证所接仪表的测量准确度，电压互感器要比所接仪表准确度高两级。

三、仪用变压器的运行与维护

1. 运行前的检查

1) 电流互感器投入运行前的检查

电流互感器投入运行前，应按电气实验规程的交接实验项目进行实验，还应进行如下几项检查：

- ① 套管无裂纹、破损，无渗油、漏油现象。
- ② 引线和线卡子及各部件接触良好，无松动现象。
- ③ 外壳及二次侧回路接地良好，接地线紧固。

2) 电压互感器投入运行前的检查

电压互感器投入运行前，应按电气实验规程的交接实验项目进行实验，还应进行如下几项检查：



- ① 充油电压互感器外观清洁，油量充足，无渗油、漏油现象。
- ② 瓷套管或其他绝缘介质无裂纹或破损。
- ③ 一次侧引线及二次侧回路各连接部分螺钉紧固，接触良好。
- ④ 外壳及二次侧回路接地良好。

2. 运行中的日常维护

1) 电流互感器运行中的日常维护

运行中的电流互感器应保持清洁，定期进行检查，每 1~2 年进行一次预防性实验。

2) 电压互感器运行中的日常维护

运行中的电压互感器应保持清洁，定期进行检查，每 1~2 年进行一次预防性实验。

3. 检修

1) 电流互感器的检修

检修电流互感器时，若绝缘电阻值低于原始值，可能是绝缘受潮引起的，应进行烘干处理；运行中，若发生短路或过电压等状况，应采用强磁场退磁或大负载退磁，直到铁芯磁回路达到出厂时的要求。

2) 电压互感器的检修

检修电压互感器时，拆装的现场和周围环境应保持清洁。油浸式电压互感器拆装后，吊出的器身应放在干净的木板上，并用洁净的布或厚纸包好，以保持清洁，防止异物落入，然后清洗箱盖和油箱；若绝缘受潮，应进行烘干处理；绕组因断路等故障烧毁时，应重绕。



基本技能

一、电流互感器和电压互感器的比较

电流互感器和电压互感器的比较见表 3-13。

表 3-13 电流互感器和电压互感器的比较

比 较 内 容	电流互感器	电压互感器
二次侧	运行中二次侧不得开路，否则会产生高压，危及仪表和人身安全，因此二次侧不能接熔断器；运行中如要拆下电流表，必须先将二次侧短路	电压互感器运行中，二次侧不能短路，否则会烧坏绕组。为此，二次侧要装熔断器保护
接地	电流互感器的铁芯和二次绕组一端要可靠接地，以免在绝缘被破坏时带电而危及仪表和人身安全	铁芯和二次绕组的一端要可靠接地，以防绝缘被破坏时，铁芯和绕组带高压电
连接方法	电流互感器的一次、二次绕组有同名端标记，二次侧接功率表或电能表的电流线圈时，极性不能接错	二次绕组接功率表或电能表的电压线圈时，极性不能接错。三相电压互感器和三相变压器一样，要注意连接方法，接错会造成严重后果
负载	电流互感器二次侧负载阻抗大小会影响测量的准确度，负载阻抗的值应小于互感器要求的阻抗值，使互感器尽量工作在“短路状态”。并且所用互感器的准确度等级应比所接的仪表准确度高两级，以保证测量准确度。例如，一般仪表为 1.5 级，可配用 0.5 级电流互感器	电压互感器的准确度与二次侧的负载大小有关，负载越大，即接的仪表越多，二次侧电流就越大，误差也就越大。与电流互感器一样，为了保证所接仪表的测量准确度，电压互感器要比所接仪表准确度高两级



二、仪用变压器常见故障和处理方法

仪用变压器常见故障及处理方法见表 3-14。

表 3-14 仪用变压器常见故障及处理方法

故 障	处 理 方 法
发生过热现象	电流互感器发生过热、冒烟、流胶等现象，其原因可能是一次侧接线接触不良、二次侧接线板表面氧化严重、电流互感器内匝线间短路或一次、二次侧绝缘被击穿
二次侧开路	此时电流表突然无指示，电流互感器声音明显增大，在开路处附近可嗅到臭氧味和听到轻微的放电声。二次侧开路的危害有： <ul style="list-style-type: none"> ① 产生很高的电压，对设备和运行人员安全造成威胁 ② 铁芯损耗增加，严重发热，有烧坏设备的可能 ③ 铁芯产生磁饱和，使电流互感器误差增大 要先分清是哪一组电流回路故障、开路的相别、对保护有无影响，然后进行修复
内部有放电声或放电现象	若电流互感器表面有放电现象，可能是互感器表面脏使得绝缘性能下降。内部放电声是电流互感器内部绝缘性能下降，造成一次绕组对二次绕组及铁芯击穿放电
内部声音异常	电流互感器铁芯紧固螺钉松动、铁芯松动，硅钢片振动增大，发出不随一次负荷变化的异常声音；某些铁芯因硅钢片组装工艺不良，造成在空负荷或停负荷时有一定的嗡嗡声；二次侧开路时因磁饱和及磁通的非正弦性，使硅钢片振荡且振荡不均匀，发出较大的噪声；电流互感器严重过负荷，使铁芯振动声增大
当电流互感器在运行中出现以上现象之一时，应转移负荷，立即进行停电处理	

三、漏电开关拆卸与检测训练

1. 相关知识

通过检测并行缠绕在零序电流互感器上的两根零线和火线电流的平衡度来识别被测线路是否漏电。在正常情况下零线和火线的电流大小相等、方向相反，因此它们在零序电流互感器铁芯上产生的合磁通为零，此时互感器二次侧输出电压为零，保护电路不工作。当线路发生漏电时，零线和火线的电流大小不再相等，它们在零序电流互感器铁芯上产生的合磁通不再为零，从而在其二次侧感应出一个电动势——漏电信号，该信号经放大处理后，驱动电磁脱扣装置切断电源而达到保护目的。

2. 训练内容

通过拆卸漏电开关来认识电流互感器及其作用。

3. 工具、仪器仪表及材料

(1) 电工工具一套（验电笔、一字和十字螺钉旋具、钢丝钳、尖嘴钳、斜口钳、剥线钳、电工刀等），扳手一把。

(2) 漏电开关一台。

(3) 万用表、兆欧表各一只。



4. 训练步骤

漏电开关的拆卸步骤见表 3-15。

表 3-15 漏电开关的拆卸步骤

步 骤	图 示	描 述
熟悉漏电开关		认真观察漏电开关的外形结构和固定方式，以便拆卸。用抹布清洁外壳，进行外围的维护工作
拆卸外壳		用旋具将外壳锁紧螺钉拧松
观察电流互感器在漏电开关中的位置及安装方法		打开漏电开关外壳，观察电流互感器的位置
测量电流互感器二次绕组的直流电阻值		用万用表测量二次绕组的直流电阻值



任务评价

一、思考与练习

(一) 填空题

1. 互感器是一种测量_____和_____的仪用变压器。用这种方法进行测量的优点是



使测量仪表与_____、_____隔离，从而保证人身和仪表的安全，同时大大减少测量中的_____，扩大仪表的量程，便于仪表的_____。

2. 电流互感器一次绕组的匝数_____，要_____连接被测电路；电压互感器一次绕组的匝数_____，要_____连接被测电路。

3. 电流互感器二次侧的额定电流一般为_____A，电压互感器二次侧的额定电压一般为_____V。

4. 用电流比为 200/5 的电流互感器与量程为 5A 的电流表测量电流，电流表读数为 4.2A，则被测电流是_____A；若被测电流为 180A，则电流表的读数为_____A。

5. 在选择电流互感器时，必须按其_____、_____、_____及_____适当选取。

6. 使用电流互感器时，其_____大小会影响测量的准确度，因此_____应小于互感器要求的阻抗值，并且所使用的互感器的准确度等级应比所接的仪表准确度_____两级，以保证测量的准确度。

7. 用变压比为 100/0.1 的电压互感器和量程为 100V 的电压表测量电压，若电压表的读数为 99.3V，则被测电压为_____V；若被测电压为 9950V，则电压表的读数为_____V。

8. 在选择电压互感器时，其额定电压应符合被测电压值，其次要使它尽量接近_____状态。

9. 使用电压互感器时，其二次绕组接功率表或接电能表的_____线圈时，要注意_____不能接错。

10. 电流互感器的二次侧严禁_____运行，电压互感器的二次侧严禁_____运行。

11. 为了保证安全，互感器的_____和_____要可靠接地。

(二) 判断题

1. 利用互感器使测量仪表与高电压、大电流隔离，从而保证仪表和人身安全，又可大大减少测量中能量的损耗，扩大仪表量程，便于仪表的标准化。()

2. 电流互感器的变流比等于二次侧匝数与一次侧匝数之比。()

3. 与普通变压器一样，当电流互感器二次侧短路时，将会产生很大的短路电流。()

4. 互感器负载的大小对测量的准确度有一定的影响。()

5. 为了防止短路造成的危害，在电流互感器和电压互感器二次侧电路中，都必须装设熔断器。()

6. 互感器既可以用于交流电路，又可以用于直流电路。()

7. 正常运行中，电流互感器二次侧近似于短路状态，而电压互感器二次侧近似于开路状态。()

8. 应根据测量准确度和电流要求来选用电流互感器。()

(三) 简答题

1. 电流互感器工作在什么状态？电流互感器为什么严禁二次侧开路？为什么二次侧和铁芯要接地？

2. 电压互感器工作在什么状态？电压互感器为什么二次侧不能短路？

3. 电压互感器在使用中应注意什么？



二、任务评价

1. 任务评价标准（表 3-16）

表 3-16 任务评价标准

任务检测		分值	评分标准	学生自评	教师评估	任务总评
任务知识和技能内容	仪用变压器的特点	10	(1) 电流互感器的特点 (5 分) (2) 电压互感器的特点 (5 分)			
	电流互感器的结构与原理	20	(1) 理解电流互感器的结构 (10 分) (2) 理解电流互感器的运行原理 (10 分)			
	电压互感器的结构与原理	20	(1) 理解电压互感器的结构 (10 分) (2) 理解电压互感器的运行原理 (10 分)			
	电流、电压互感器的比较	20	(1) 二次侧比较 (5 分) (2) 接地比较 (5 分) (3) 连接方法比较 (5 分) (4) 负载比较 (5 分)			
	电流、电压互感器的使用方法	10	(1) 电流互感器使用注意事项 (5 分) (2) 电压互感器使用注意事项 (5 分)			
	常用仪用变压器认知	10	(1) 掌握漏电开关的拆装方法 (5 分) (2) 掌握漏电开关的运行原理 (5 分)			
	仪用变压器的故障判断和检修	10	(1) 根据故障能正确做出判断 (5 分) (2) 根据故障能正确指出修理方法 (5 分)			

2. 技能训练与测试

- (1) 认识常用仪用变压器。
- (2) 练习仪用变压器故障判断和检修。

技能训练评估表见表 3-17。

表 3-17 技能训练评估表

项 目	完成质量与成绩
拆装	
认知	
故障判断和检修	

三、任务小结

(1) 要做一个直接测量大电流、高电压的仪表是很困难的，操作起来也是十分危险的。因此，人们利用变压器能改变电压和电流的功能，制造出特殊的变压器——仪用变压器。把高电压变成低电压，就是电压互感器；把大电流变成小电流，就是电流互感器。

(2) 利用仪用变压器使测量仪表与高电压、大电流隔离，既可保证仪表和人身的安全，又可大大减少测量中能量的损耗，扩大仪表量程，便于仪表的标准化。因此，仪用变压器被广泛用于交流电压、电流、功率的测量中，以及各种继电保护和控制电路中。



(3) 电流互感器结构上与普通双绕组变压器相似，也有铁芯和一次、二次绕组，但它的一次绕组匝数很少，只有一匝到几匝，导线都很粗，串联在被测的电路中，流过被测电流，被测电流的大小由用户负载决定。

(4) 电流互感器的型号由字母及数字组成，通常表示电流互感器绕组类型、绝缘种类、使用场所及电压等级等。

(5) 电流和电压互感器有干式、浇注绝缘式、油浸式等多种。

(6) 电压互感器的原理和普通降压变压器是完全一样的，它的变压比更准确；电压互感器的一次侧接有高电压，而二次侧接有电压表或其他仪表（如功率表、电能表等）的电压线圈。

电子工业出版社版权所有
盗版必究