

目录

Contents

项目1 变压器运行和维护

任务1.1 单相变压器运行和维护 2

任务1.2 三相变压器运行和维护 8

项目2 单相异步电动机的特点及维护

任务2.1 单相异步电动机的原理和部件认识 18

任务2.2 单相异步电动机一般故障的检测和排除 38

项目3 三相异步电动机的特点及维护

任务3.1 三相异步电动机的原理和部件认识 48

任务3.2 三相异步电动机的维护 56

任务3.3 检修三相异步电动机的一般故障（不含重绕绕组） 62

项目4 直流电动机的使用和维护

任务4.1 直流电动机的结构和原理 68

任务4.2 直流电动机的使用与维护 80

项目5 常用低压电器的特点和选用

任务5.1 设计一个三相异步电动机的点动运行电路 98

任务5.2 设计一个饲料混合机卸料门的开关控制电路 129

项目6 三相异步电动机常用控制线路 制作与检修（一）

任务6.1 三相异步电动机点动控制线路的制作与维修	144
任务6.2 接触器自锁三相异步电动机单向连续运行控制线路的制作与检修	155
任务6.3 三相异步电动机点动与连续控制线路的制作与检修	159
任务6.4 接触器联锁正反转控制线路的制作与检修	161
任务6.5 按钮联锁正反转控制线路的制作与检修	165
任务6.6 按钮—接触器双重联锁正反转控制线路的制作与检修	169
任务6.7 行程开关控制运动部件自动往复运行控制线路的制作与检修	173
任务6.8 多台电动机顺序启动控制线路的制作与检修	176

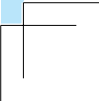
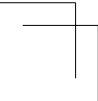
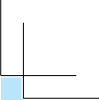
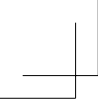
项目7 三相异步电动机常用控制线路 装配与检修（二）

任务7.1 三相异步电动机Y/Δ降压启动控制线路的装配与检修	182
任务7.2 三相异步电动机的制动	190

项目8 三相异步电动机在机电设备中的应用

任务8.1 重载设备的启动控制电路	206
-------------------	-----

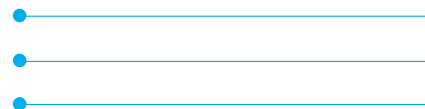
任务8.2 典型传送装置控制电路	209
任务8.3 三相异步电动机常用保护电路	213
任务8.4 电动机在典型机电设备上的应用控制电路	218
附录1 导线截面积与载电量的关系估算	225
附录2 常用电(线)缆类型	227
附录3 常用电气设备的基本检测方法	233
附录4 异步电动机变频调速简介	237
参考文献	240





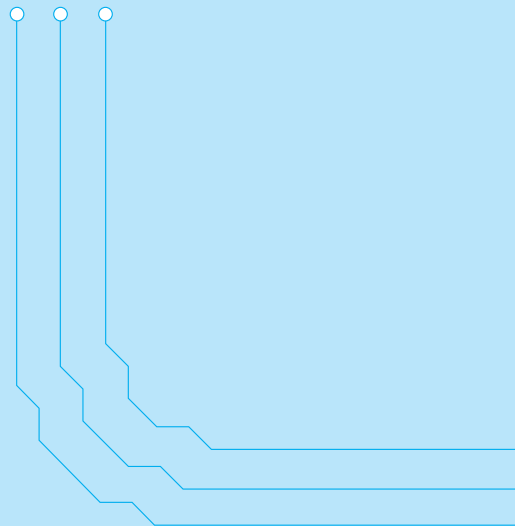
项目1

变压器运行和维护



项目描述

变压器是能够升高或降低交流电压和电流的电气设备。在电力系统以及电子技术领域都有广泛的应用。通过完成本项目，可以掌握变压器运行的基本规律和维护方法。



任务1.1 单相变压器运行和维护

任务描述

单相变压器常用于单相交流电路中以实现电源隔离、电压等级的变换、阻抗变换等目的。完成本任务需首先学习各技能建构点，然后进行任务实施，实现任务目标。

任务目标

- (1) 知道单相变压器的构成。
- (2) 掌握单相变压器的规律。
- (3) 理解变压器的同名端。
- (4) 掌握变压器同名端的鉴别方法。
- (5) 掌握变压器的检测方法。

技能建构

1.1.1 了解单相变压器的结构

变压器由铁芯、缠绕在铁芯的绕组、铁芯与绕组之间的绝缘材料等组成,如图 1-1 所示。

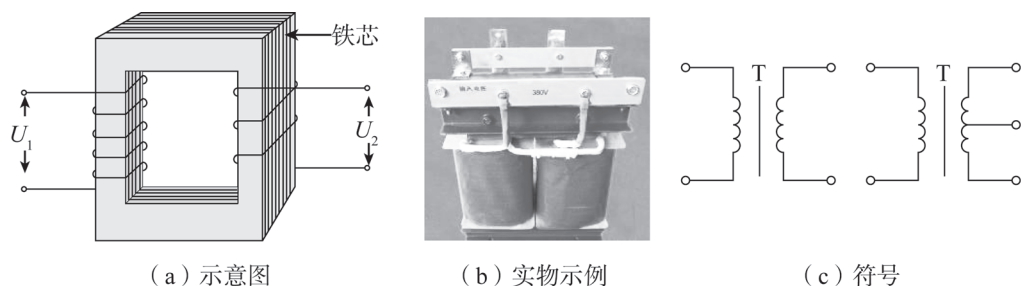


图1-1 变压器的基本组成

下面着重对变压器的主要部件进行介绍。

1. 铁芯

铁芯在变压器中构成一个闭合的磁路，是安装线圈的骨架，其是影响变压器电磁性能和机械强度是极为重要的部件。

变压器的铁芯由 0.35~0.5 mm 厚的硅钢片（外表涂有绝缘层）交错叠装而成，常见的几种铁芯形状如图 1-2 所示。这样的结构，可防止涡流的产生。

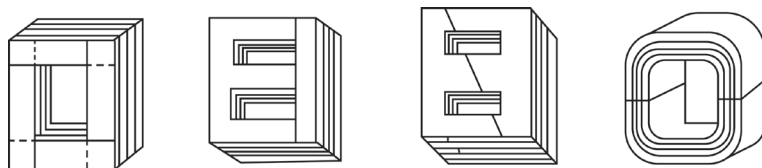


图1-2 变压器常见的铁芯形状

2. 绕组

绕组一般采用表面涂有绝缘漆的铜线（称为漆包线）绕制而成，大功率的变压器一般用外表带绝缘层的扁铜线或铝线绕制而成。其中与电源相连的绕组称为一次绕组（曾称为原线圈、初级线圈、一次线圈、原边、初级）；与负载相连的绕组称为二次绕组（曾称为副线圈、次级线圈、二级线圈、副边、次级）。与较高电压相连接叫高压绕组，其导线直径较细，匝数较多；与较低电压相连接叫低压绕组，其导线直径较粗，匝数较少。一次绕组或者二次绕组可以是高压绕组，也可以是低压绕组。

对于不同形状的铁芯，绕组的绕制方式也有所不同。按铁芯和绕组的组合结构可分为心式变压器和壳式变压器，心式变压器的铁芯被绕组包围，而壳式变压器的铁芯则包围绕组，好像形成了一个外壳，如图 1-3 所示。

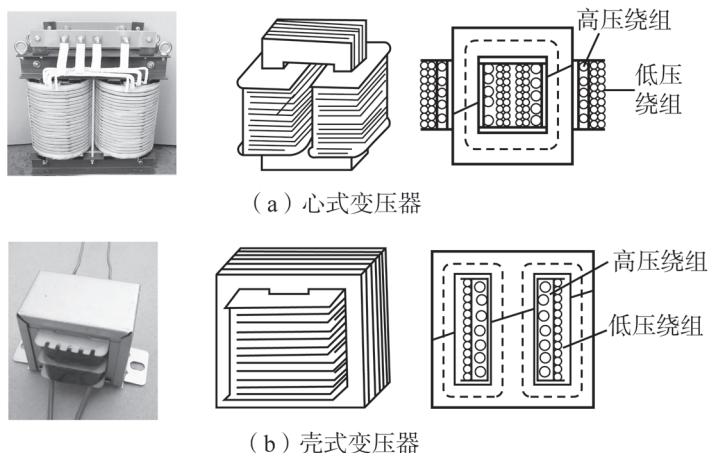


图1-3 变压器的绕制方式

笔记

从图 1-3 可以看出，变压器的高、低压绕组并不是各绕在铁芯的一侧，而是绕在一起。心式结构的绕组和绝缘装配比较容易，所以电力变压器常常采用这种结构。壳式变压器的机械强度较好，常用于低压、大电流的变压器或小容量电讯变压器。

1.1.2 理解单相变压器的运行原理和规律

变压器运行时各参数如图 1-4 所示。

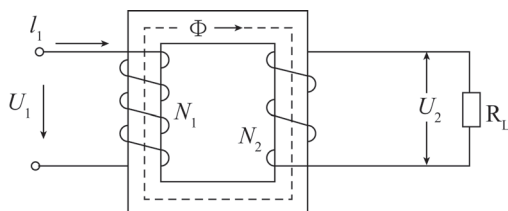


图1-4 变压器运行时基本参数

变压器是以电磁感应定律为基础工作的。当一次绕组加上交流电压 U_1 后，在铁芯中产生交变磁通，作用于二次绕组，使二次绕组中产生感应电压 U_2 （注：二次绕组中的电流也会在铁芯中产生交变磁通，一次、二次绕组产生的交变磁通共同穿过一、二次绕组），在负载 R_L 中就有电流通过。

1. 电压规律

变压器可以升高电压，也可以降低电压。在忽略变压器的电能损耗（比较小）情况下，输入、输出的电压之比等于初级、次级线圈的匝数之比，即：

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = K$$

式中的 K 为变压器的变比。由该式可见：

当 $N_1 < N_2$ （即 $K < 1$ ）时， $U_2 > U_1$ ，为升压变压器。

当 $N_1 > N_2$ （即 $K > 1$ ）时， $U_2 < U_1$ ，为降压变压器。

当 $N_1 = N_2$ （即 $K = 1$ ）时， $U_2 = U_1$ ，为隔离变压器（用于负载与电源之间的隔离）。

2. 功率规律

在忽略变压器的电能损耗情况下，变压器的输出功率等于输入功率，即

$$U_1 I_1 = U_2 I_2$$

3. 电流规律

变压器可以改变电流的大小。变压器若升高电压，则会减小电流，反之则会增大电流。在忽略变压器的电能损耗情况下，由以上两个规律可得：

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

综上所述，变压器运行时，不管是一次绕组还是二次绕组，匝数越多，两端的电压就越高，通过的电流就越小。

以上三个规律对于分析、判断与变压器相关的问题是非常有用的。

1.1.3 变压器极性判别的方法

1. 变压器的同名端

同名端是指在同一交变磁通的作用下，任意时刻两个（或两个以上）绕组中都具有相同电势极性的端点彼此互为同名端。

变压器不能改变交流电的频率。当一次绕组交流电压极性发生变化时，二次绕组上的交流电压极性也会同时发生变化。如图 1-5 所示，设某时刻是 U_1 的极性是上正下负，则一次绕组两端的电压也是①正②负，次级绕组感应出的电压有两种可能：一是③正④负，二是③负④正。

如果次级感应电压是③正④负，则③与①极性相同，是一组同名端，当然④与②的极性也相同，是另一组同名端。

如果次级感应电压是③负④正，则④与①极性相同，是一组同名端。当然③与②的极性也相同，是另一组同名端。

为了表示两个端子是同名端，可在该端处标注“●”。

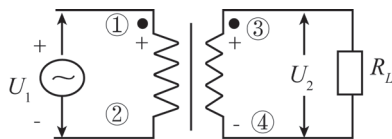


图1-5 变压器的同名端示意图

2. 变压器极性的鉴别

掌握变压器极性的鉴别方法，对于将极性不明的变压器接入电路而言非常重要。常用的鉴别方法详见表 1-1。

表 1-1 变压器极性的鉴别方法

类别	图示	鉴别方法
绕组绕向已知的变压器同名端	<p>(a)</p> <p>(b)</p>	<p>设想分别给两个绕组通直流电，然后用右手螺旋定则（安培定则）来判断两个绕组所产生的磁场的方向。</p> <p>如果产生的磁场的方向相反，则一个绕组的电流输入端和另一个绕组的电流输出端为同名端，如左图（a）所示。</p> <p>如果产生的磁场的方向相同，则两个绕组的电流输入端为一组同名端，电流输出端为另一组同名端，如左图（b）所示。</p>
绕组绕向未知的变压器同名端	<p>用导线直接连接</p> <p>(a)</p> <p>(b)</p> <p>(c)</p>	<p>将变压器的一个绕组的一端与另一个绕组的一端用导线连接（例如左图中将b和d连接起来）在两个绕组的另一端(a和c)之间连接一个电压表。</p> <p>在c和d之间再连接一个电压表，如左图（a）所示。</p> <p>给任一绕组（左图中的a、b）加一个低压交流电压U_1，测出电压U_2和U_3，如果$U_3=U_1+U_2$，则用导线直接连接的两端是异名端（即b和d是异名端），所以，a和d是同名端，如左图（b）所示；如果$U_3=U_1-U_2$，则用导线直接连接的两端是同名端，即b和d是同名端，如左图（c）所示。</p>

3. 掌握单相变压器的检测方法

单相变压器的检测方法详见表 1-2。

表1-2 变压器的检测方法

步骤	方法
判别初级、次级线圈	电源变压器初级引脚和次级引脚一般都是分别从两侧引出的，并且初级绕组多标有220V字样，次级绕组则标出输出的电压值，如15V、24V、35V等，可根据这些标记进行识别。
通过观察变压器的外貌来检查其是否有明显异常现象	如线圈引线是否断裂、脱焊，绝缘材料是否有烧焦痕迹，铁芯紧固螺杆是否有松动，硅钢片有无锈蚀，绕组漆包线是否有外露等。若有，则有故障。
线圈通断的检测	将指针式万用表置于 $R \times 1$ 挡，分别测试初级、次级绕组的阻值，若某个绕组的电阻值为无穷大，则说明此绕组有断路故障。
绝缘性测试	用指针万用表 $R \times 10k$ 挡分别测量铁芯与初级线圈，初级线圈与各次级、铁芯与各次级线圈、次级各线圈间的电阻值，万用表指针均应指在无穷大位置不动。否则，说明变压器绝缘性能不良。
在路检测	给变压器加额定电压后，测各次级线圈的输出电压值是否正常。若不正常，可断开变压器的负载后再测各次级线圈的输出电压值是否正常，若仍不正常，则变压器损坏。

笔记

任务实施

1. 求出图 1-6 所示变压器的变比。

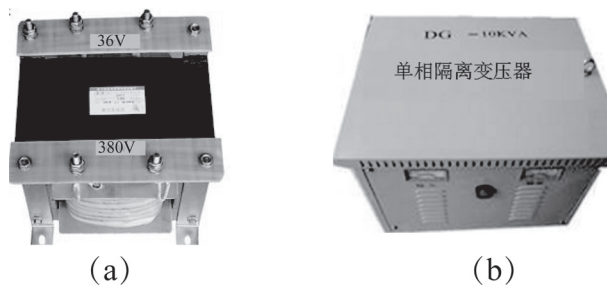


图1-6 单相变压器示例

2. 画线将图 1-7 所示的仪表连接成鉴别单相变压器同名端的电路，并说明鉴别方法。



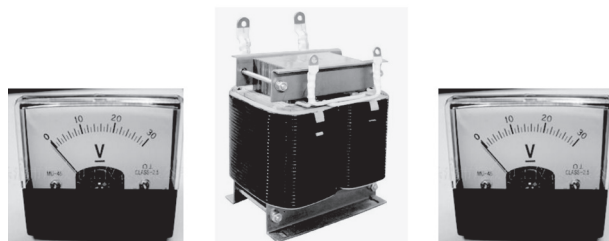


图1-7 鉴别变压器同名端的实验所需的器件

3. 某“380 V、10 kW”的电焊变压器，已知在额定负载时输出电压为 30 V，其输出电流约为多少？输入电流约为多少？变化约为多少？

任务1.2 三相变压器运行和维护

任务描述

由于发电厂的发电机与用户的距离一般较远，电能的传输需要很长的导线，导线的电阻是不能忽略的，根据焦耳定律可知，输电过程有一定的电能损耗。为了降低损耗，办法有以下两种：一是减少输电线的电阻，减少输电线的电阻需要增大导线的截面面积，这显然是不现实；二是通过提高输电电压来降低输电电流（根据 $P=UI$ ，在输送功率一定的条件下，增大 U ，则使 I 降低）。提高三相交流电的电压就要用三相变压器。采用高压输电的过程如图 1-8 所示。



图1-8 高压输电过程

任务目标

- (1) 掌握三相变压器与发电机之间的常用接线方法。
- (2) 掌握电力变压器与高压电网、低压电网之间的连接方式。
- (3) 掌握三相变压器的维护及常见故障的排除思路。

技能建构

1.2.1 三相变压器的结构

三相变压器有三对绕组，将这三对绕组绕在同一铁芯上，就构成了三相变压器，如图 1-9 所示。

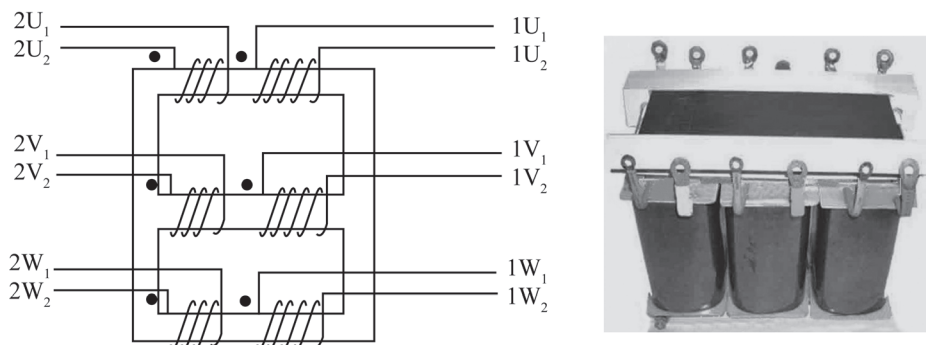


图1-9 三相变压器的结构

三相变压器共有 6 个绕组，12 个端子，相关标准规定了高压绕组的首端标志为： $1U_1$ 、 $1V_1$ 、 $1W_1$ ；末端标志为 $1U_2$ 、 $1V_2$ 、 $1W_2$ 表示高压绕组的末端。

用 $2U_1$ 、 $2V_1$ 、 $2W_1$ 表示低压绕组的首端；用 $2U_2$ 、 $2V_2$ 、 $2W_2$ 表示低压绕组的末端。

其中属于同一相的一次、二次绕组的相对极性可按前面单相变压器的规定确定，须用星号“*”或黑点“·”表明。

1.2.2 三相变压器的运行

1. 三相交流发电机与三相变压器之间的连接

三相交流发电机与三相变压器之间的连接如图 1-10 所示。

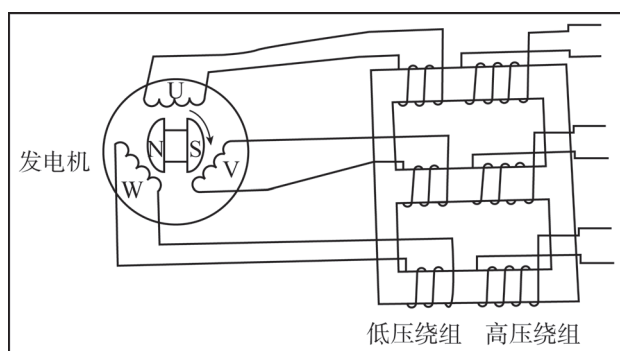


图1-10 三相交流发电机与三相变压器之间的连接

笔记

该连接方法所用导线较多，成本较高，实用中不采用该方法，而是采用星形接法（Y接法）或者三角形接法（ Δ 接法），详见表1-3。

表1-3 三相变压器与发电机之间的Y接法和 Δ 接法

名称	图示	说明
Y接法	<p>(a)</p> <p>(b)</p>	<p>将发电机的三相绕组的末端U_2、V_2、W_2连接起来，该连接点叫做中性点。</p> <p>将变压器3个低压绕组的末端$2U_2$、$2V_2$、$2W_2$连接起来，构成1个中性点。</p> <p>将变压器3个高压绕组的末端$1U_2$、$1V_2$、$1W_2$连接起来，构成1个中性点。</p> <p>将变压器低压绕组的3个首端$2U_1$、$2V_1$、$2W_1$分别与发电机绕组的3个首端U_1、V_1、W_1连接起来，将变压器低压绕组的中性点与发电机的中性点连接起来。</p>
Δ 接法	<p>(a)</p> <p>(b)</p>	<p>将发电机每相绕组的首端与另一相绕组的末端相连，形成3个连接点。</p> <p>将变压器每个低压绕组的首与另一低压绕组的末端连接起来，形成3个连接点，将这3个连接点与发电机的3个连接点用导线连接起来。</p> <p>将变压器低压绕组的3个首端分别与发电机绕组的3个首端连接起来，形成3个连接点，为三相交流电的输出线。</p>

2. 电力变压器与高、低压电网的连接方式

(1) 电力变压器简介

电力变压器用于传送电能，可分为升压变压器和降压变压器。升压变压器用于将发电机的电压升高后通过电网进行传送，降压变压器用于将电网传来的电能降低成低压，送给用户使用。我们平时见到的变压器多为降压变压器。电力变压器的实物外形如图 1-11 所示。

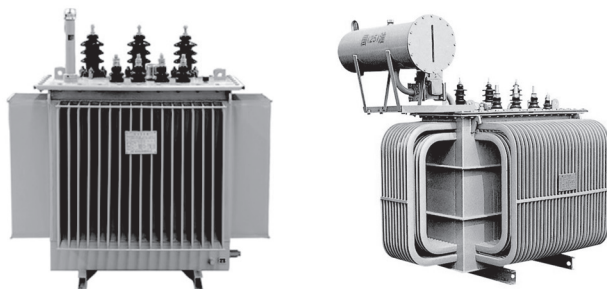


图1-11 电力变压器实物外形（示例）

电力变压器的工作电压高、传送电能大，为了增强铁芯和绕组的散热和绝缘性能，一般将铁芯和绕组放置在装有变压器油（注：具有较好的散热性和绝缘性）的箱体。高、低压绕组的引出线均套有绝缘强度高的瓷套管。其结构如图 1-12 所示。

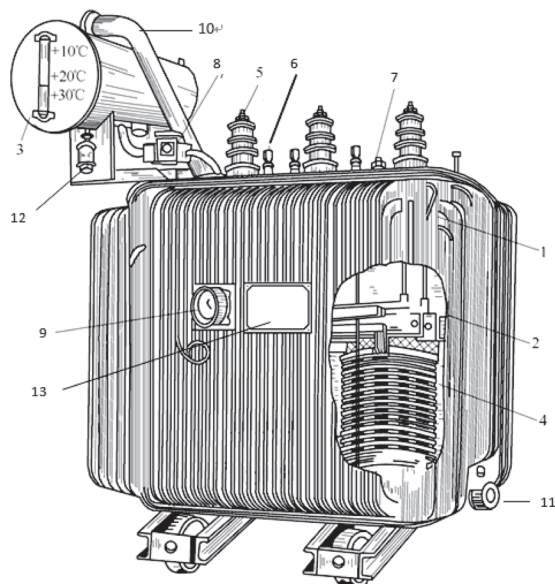


图1-12 电力变压器的结构示意图

笔记

图中各关键点标号的含义如下：

1——油箱。

2——铁芯及绕组。

3——储油柜（油枕）。储油柜装置在油箱上方，通过连通管与油箱连通，起到保护变压器油的作用。变压器油在较高温度下长期与空气接触容易吸收空气中的水分和杂质，使变压器油的绝缘强度和散热能力降低。装置储油柜的目的是为了减小油面与空气的接触面积、降低与空气接触的油面温度并使储油柜上部的空气通过吸湿剂与外界空气交换，从而减慢变压器油的受潮和老化速度。

4——散热筋。

5——高压绕组引出端子。

6——低压绕组引出端子。

7——分接开关。分接开关装置在变压器油箱盖上面，通过调节分接开关来改变原绕组的匝数，从而使副绕组的输出电压可以调节，以避免副绕组的输出电压因负载变化而过分偏离额定值。

8——气体继电器。气体继电器装置在油箱与储油柜的连通管道中，对变压器的短路、过载、漏油等故障起到保护作用。

9——温度计。

10——防爆管。变压器防爆管安装在油箱上顶点，管内装有一片玻璃，当变压器内部发生故障时，变压器内会产生高压气体冲破玻璃，排出变压器以释放压力，保护变压器，防止被破坏。

11——放油阀。

12——吸湿器（呼吸器）。内部装有干燥剂，用来干燥流动于变压器油枕上部空间和变压器外部之间的空气除湿，防止因空气潮湿而使变压器油过快老化。

13——铭牌。

（2）电力变压器与高压电网、低压电网之间的连接方式

电力变压器的高压绕组接高压电网，低压绕组接低压电网，其连接方式，如图1-13所示。

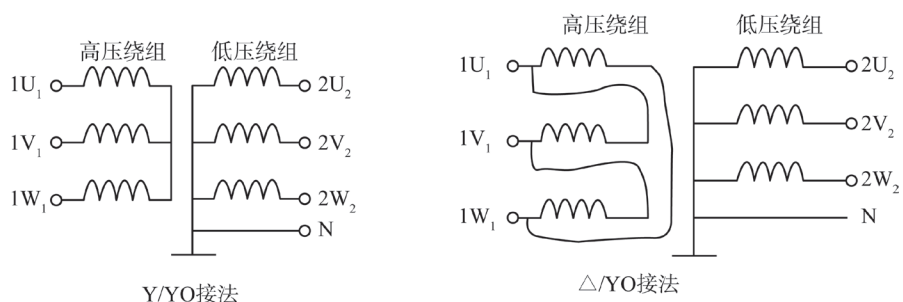


图1-13 电压力变压器与高压电网、低压电网之间的连接方式

1.2.3 三相变压器的维护及常见故障的排除

1. 三相变压器运行中的常规检查

三相变压器运行中进行常规检查，可以将变压器的故障隐患消除。检查内容及注意事项见表 1-4。

表1-4 三相变压器运行中的常规检查

检查项目	正常情况	注意事项
声音	变压器正常运行时，会发出均匀的嗡嗡声。	如果出现下列情况，应立即停止运行，进行检修： ①声音较大并且不均匀，有爆裂声 ②在正常的冷却条件下，油温不断上升 ③储油柜、防爆管喷油 ④油位低于正常值的下限 ⑤油颜色变化过大 ⑥套管内严重磨损，有放电现象
油的高度、温度和颜色	正常情况，油位应在油位计的1/4~3/4处；新油为浅黄色，运行后呈浅红色。油温为85~95℃（以上层油温为准）。 注意：要检查油标管、吸湿器、防爆管是否堵塞，以免导致出现油位正常的假象。	
检查电缆、引出端子瓷套管	在正常情况下，引线、导杆和连接端应没有变色、裂纹、放电痕迹。	
检查电缆、引出端子瓷套管	在正常情况下，引线、导杆和连接端应没有变色、裂纹、放电痕迹。	
检查变压器接地装置是否正常	正常情况下，变压器外壳的接地线、中性点接地线和防雷装置接地线是紧密连接在一起，并完好地接地。如果有断裂现象，应重新接好。	
检查高、低压熔丝		

笔记

2. 三相变压器的常见故障及排除方法

表1-5 三相变压器常见故障及排除

常见故障	可能的原因	排除方法
声音异常	如果音响较大且嘈杂时，可能是夹件或压紧铁芯的螺钉松动（这种情况仪表的指示一般正常，绝缘油的颜色、温度与油位也没有大的变化）。	应停止变压器的运行，进行检查。
	如果声响中夹有水的沸腾声，有“咕噜咕噜”的气泡逸出声，可能是绕组有较严重的故障，使其附近的零件严重发热致使油气化。	应立即停止变压器运行，检查绕组是否有匝间短路、分接开关是否接触不良等。
	若音响中夹有爆炸声，既大又不均匀时可能是变压器的器身绝缘有击穿现象。	应将变压器停止运行，进行检修。
	若引出端子套管处发出“滋滋”响声，并且套管表面有闪络现象（注：闪络是指固体绝缘子周围的气体或液体电介质被击穿时，沿固体绝缘子表面放电的现象），是由套管太脏或有裂纹引起的。	停电后清洁或更换套管
	若声响比较沉重，则一般是变压器过载。	减少负载
	若声响比较尖锐，则可能是电源电压过高。	按操作规程降低电压
	变压器上部有“吱吱”的放电声，电流表随响声发生摆动，瓦斯保护可能发出信号，则可能是分接开关出现了故障，具体有以下几种可能：分接开关触头弹簧压力不足，触头滚轮压力不匀，使有效接触面积减少，以及因镀银层的机械强度不够而严重磨损等引起分接开关烧毁；因分头位置切换错误，引起开关烧坏；相间距离不够，或绝缘材料性能降低，在过电压作用下短路。	当鉴定为开关故障时，应立即将分接开关切换到完好的档位运行。
油温过高	变压器过载	减少负载
	三相负载不平衡	调整三相负载的分配
	变压器散热不良	改善散热条件
油面高度不正常	油温过高导致油面上升	采用与油温过高同样的处理方法
	漏油、渗油导致油面下降（注意：天气变冷时油面有所下降属正常现象）。	停电，检修。
变压油变黑	绕组的绝缘层被击穿	停电，修理绕组，换油。
低压熔丝熔断	变压器过载	减小负载、更换熔丝。
	低压线路短路	排除短路、更换熔丝。
	用电负载绝缘损坏造成短路	检修用电设备，更换熔丝。
	熔丝的容量选择不当，或安装不当。	更换熔丝

续表

常见故障	可能的原因	排除方法
高压熔丝熔断	变压器绝缘击穿	停电, 检修, 更换熔丝
	低压端设备短路、但低压熔丝未熔断	
	雷击	更换熔丝
	熔丝的容量选择不当或安装不当	
防爆管薄膜破裂	变压器内部发生短路(如相间短路等), 产生大量的气体, 气压增加, 致使防爆管薄膜破裂	停电, 检修绕组, 更换防爆管薄膜。
	外力导致	更换防爆管薄膜
气体继电器动作	绕组发生匝间短路、相间短路、对地绝缘击穿等	停电, 检修绕组。
	分接开关触头放电或者各分接头放电	检修分接开关

任务实施

1. 将图 1-14 所示的发电机、变压器符号连接成 Y 接法。

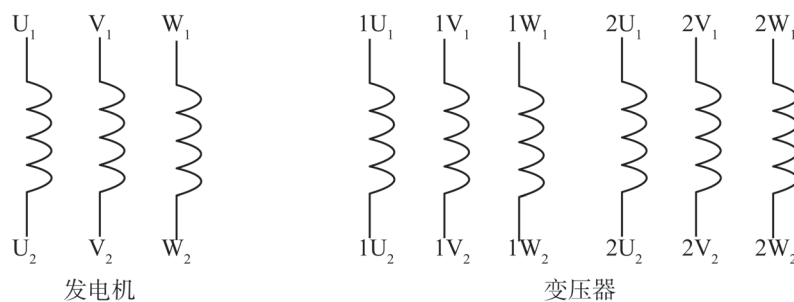


图1-14 变压器与发电机的连接

2. 将图 1-15 所示的变压器符号与高压电网和低压电网连接 Y/Y0 接法。

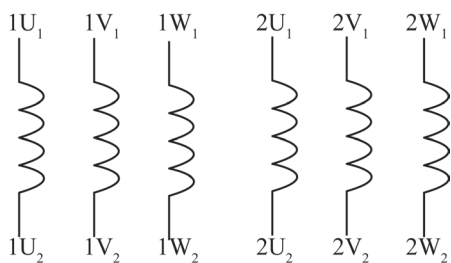


图1-15 变压器与高、低压电网的连接 (Y/Y0接法)

笔记

3. 将图 1-16 所示的变压器符号与高压电网和低压电网连接 $\Delta/Y0$ 接法。

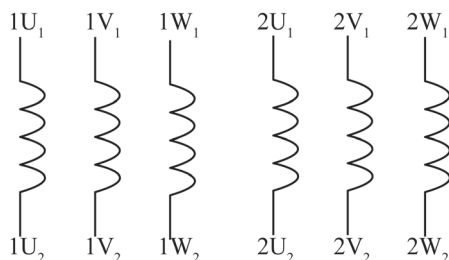


图1-16 变压器与高、低压电网的连接 ($\Delta/Y0$ 接法)

4. 简述变压器的常见故障及排除方法。

达标检测

掌握《变压器运行和维护》项目，达标检测评分标准详见表 1-6。

表1-6 变压器运行和维护达标检测评分标准

总得分_____

检验项目		配分	评分标准	得分
任务一	熟悉变压器的结构	15	知道变压器的各组成部分(含接线端子、绕组、铁芯形式、绝缘材料等)。	
	变压器的规律	15	能叙述变压、变流、功率规律。	
	变压器极性的鉴别	15	会鉴别绕组绕向已知的变压器的极性; 会鉴别绕向未知的变压器的极性	
任务二	熟悉三相变压器的结构	15	知道三相变压器的各组成部分	
	掌握三相变压器与发电机的连接	15	会画Y接法和 Δ 接法示意图	
	掌握三相变压器与高、低电网的连接方法	15	会画Y/Y0接法和 $\Delta/Y0$ 接法示意图	
	了解电力变压器常见故障及排除方法	10	能简述表1-4核心内容	