

# 第 1 章

## 变压器的基本原理

变压器是一种静止电机,它是利用电磁感应原理,把一种电压等级的交流电能转换成相同频率的另一种电压等级的交流电能的电磁装置。变压器具有变压、变流和变阻抗的功能,在电力系统和电子电路中得到了广泛的应用。本章主要分析一般用途的电力变压器,首先简要地介绍变压器的工作原理和结构,然后着重分析变压器的运行与特性、三相变压器和变压器的并联运行,最后介绍其他用途的变压器。

### 任务 1 变压器的基本工作原理和结构

**任务描述:** 掌握变压器的基本工作原理和结构;

了解变压器的分类和用途;

认识变压器的铭牌。

**任务分析:** 变压器的工作原理即电磁感应定律,可以将一种电压等级的交流电能转换成相同频率的另一种电压等级的交流电。它广泛应用于各种交流电路中,与人们的生产、生活密切相关。小型变压器应用于机床的安全照明和控制电路、各种电子产品的电源适配器以及电子线路中。大型电力变压器是电力系统中的重要设备,起着高压输电、低压供电的重要作用。本任务主要介绍变压器的工作原理和基本结构。

#### 阶段 1 变压器的基本工作原理

变压器是利用电磁感应定律工作的,图 1-1 为变压器的工作原理图。

变压器的结构是将两个(或两个以上)互相绝缘的绕组套在一个共同的铁芯回路上,绕组之间具有磁耦合关系。其中一个绕组接电源,称为一次绕组或原绕组,简称一次侧;另一个绕组接负载,称为二次绕组或副绕组,简称二次侧。当一次侧接通交流电源时,在外加电压作用下,一次侧中有交流电流流过,并在铁芯中产生交变磁通,其交变频率与外加电压频率相同。该交变磁通同时交链一、二次侧,根据电磁感应定律,分别在一、二次侧内产生感应

电动势。二次侧产生电动势,当接上负载后形成闭合回路,便向负载供电,从而实现交流电能的传递。

假设一、二次侧的匝数分别为  $N_1$  和  $N_2$ ,根据电磁感应定律,在电动势与磁通规定正方向符合右手螺旋定则的前提下,一次侧电动势为

$$e_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad (1-1)$$

二次侧电动势为

$$e_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt} \quad (1-2)$$

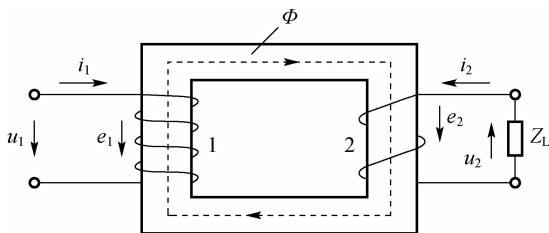


图 1-1 变压器工作原理图

## 提醒

变压器只要满足两个条件就能达到改变电压的目的,即磁通有变化量,且一、二次绕组的匝数不同。



### 思考与分析

变压器能否变换直流电压?

分析:不能,因为这时的主磁通为恒定磁通,不会在变压器一、二次绕组中产生感应电动势,二次绕组的输出电压为零。

## 阶段 2 变压器的应用与分类

### 1. 变压器的应用

由于变压器具有变压、变流、变阻抗的功能,所以在电力系统和电子线路中得到极为广泛的应用,它是电能传输、分配和使用的重要电气设备。实际工作中,常常需要各种不同的电源电压。例如,发电厂发出的电压一般为  $6 \sim 10 \text{ kV}$ ,在电能输送过程中,为了减少线路损耗,通常要将电压升高到  $110 \sim 500 \text{ kV}$ ;而我们日常使用的交流电的电压为  $220 \text{ V}$ ,三相电动机的线电压则为  $380 \text{ V}$ ,这需要变压器将电网的高压交流电降低到  $380/220 \text{ V}$ ,所以,在输电

和用电的过程中都需要经变压器升高或降低电压。因此,变压器在电力系统中的容量远大于发电机的容量。电力系统的流程示意如图 1-2 所示,其中,G 为发电机, $T_1$  为升压变压器, $T_2 \sim T_4$  为降压变压器。

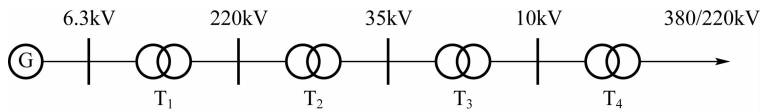


图 1-2 电力系统示意图

## 2. 变压器的分类

为达到不同的使用目的,并适应不同的工作条件,变压器有很多种类,其分类的方法也多种多样,常见的分类方式如下。

(1)按用途不同,变压器可分为电力变压器(包括升压变压器、降压变压器、配电变压器等)、仪用互感器(电压互感器和电流互感器)和特种变压器(调压变压器、电炉变压器、电焊变压器、整流变压器等)。

(2)按相数不同,变压器可分为单相变压器和三相变压器。

(3)按绕组的个数不同,变压器可分为自耦变压器(只有一个绕组)、双绕组变压器、三绕组变压器、多绕组变压器。

(4)按铁芯结构不同,变压器可分为心式变压器和壳式变压器。

(5)按冷却介质和冷却方式不同,变压器可分为干式(空气冷却)变压器、油浸式变压器(油浸自冷式、油浸风冷式、油浸强迫油循环式等)和充气式冷却变压器。

(6)按容量不同,变压器可分为中小型变压器( $< 6\ 300\text{kVA}$ )、大型变压器( $8\ 000 \sim 63\ 000\text{kVA}$ )、特大型变压器( $> 63\ 000\text{kVA}$ )。

## 阶段 3 变压器的基本结构

变压器中最主要的部件是铁芯和绕组,铁芯和绕组装配在一起构成器身。油浸式变压器的器身浸在油箱里,油箱中注满变压器油。油箱外装有散热器,油箱上部还装有储油柜、安全气道、绝缘套管等。图 1-3 为油浸式变压器的结构图。

### 1. 铁芯

在变压器中,铁芯既是耦合磁通的主要通路,又是机械骨架。铁芯由铁芯柱和铁轭两部分构成,铁轭将铁芯柱连接起来形成闭合磁路。

为了提高磁路的导磁性能,减少铁芯中的磁滞、涡流损耗,铁芯一般由高磁导率的铁磁性材料制成。目前,变压器铁芯大部分采用厚度为  $0.35 \sim 0.5\text{mm}$ 、表面涂有绝缘漆的硅钢片叠装而成。为了减小接缝间隙以减小励磁电流,一般采用交错式叠装,使相邻的接缝错开,如图 1-4 所示。铁芯柱的截面一般做成阶梯形,以充分利用绕组的内圆空间。

容量较大的变压器,铁芯中常设有油道,以改善铁芯内部的散热条件。

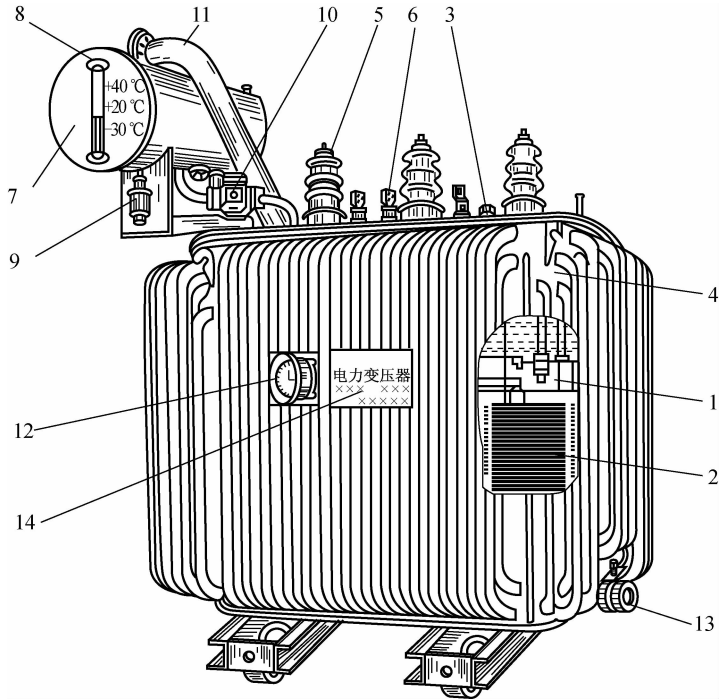


图 1-3 油浸式变压器的结构图

1—铁芯;2—绕组及绝缘;3—分接开关;4—油箱;5—高压套管;6—低压套管;7—储油柜;  
8—油位计;9—吸湿器;10—气体继电器;11—安全气道;12—信号式温度计;13—放油阀门;14—铭牌

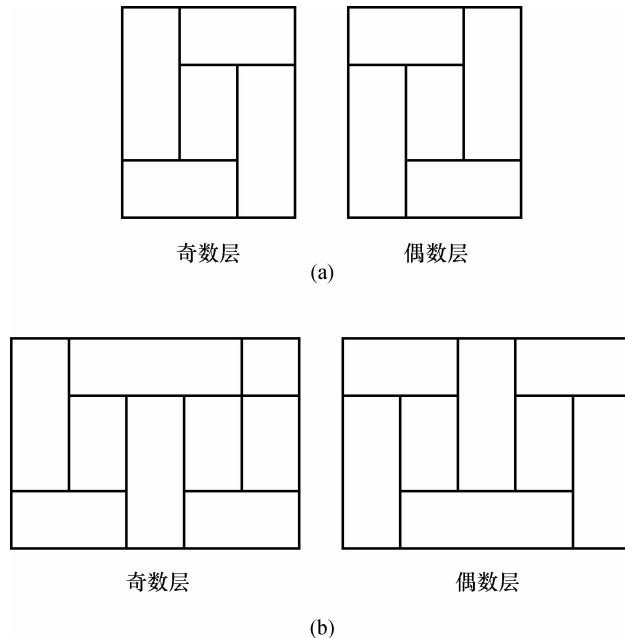


图 1-4 叠片式铁芯交错的叠装方式

(a)单相;(b)三相

## 2. 绕组

绕组是变压器的电路部分,一般由绝缘铜线或铝线绕制而成。

根据高、低压绕组排列方式的不同,变压器的绕组可分为同心式和交叠式两类。同心式绕组的高、低压绕组都做成圆筒状,同心地套装在铁芯柱上。为便于绝缘,一般低压绕组靠近铁芯,高压绕组套装在低压绕组外面;交叠式绕组都做成饼式,高、低压绕组互相交叠放置,如图 1-5 所示,为了减少绝缘距离,通常靠近铁轭处放低压绕组。同心式绕组结构简单、制造方便,我国生产的电力变压器均采用这种结构。交叠式绕组的漏抗较小,易于构成多条并联支路,主要用于低压、大电流的电焊、电炉变压器和壳式变压器中。

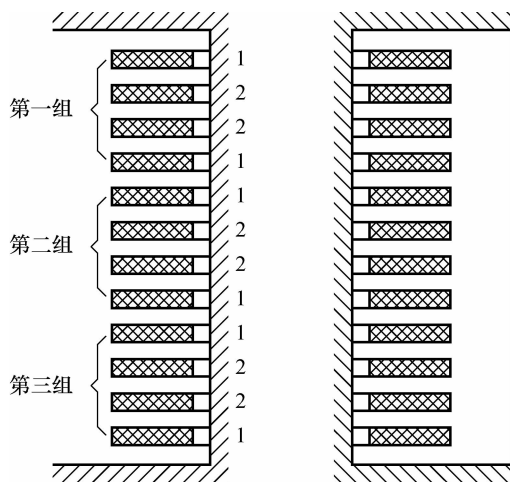


图 1-5 交叠式绕组

1—低压绕组;2—高压绕组

## 3. 绝缘套管

变压器的引出线从油箱内部引到箱外时必须经过绝缘套管,使带电的引线与接地的油箱绝缘。为了增大外表面放电距离,套管外形采用多级伞形裙边。电压越高,级数越多。绝缘套管一般是瓷质的,其结构取决于电压等级。1kV 以下采用实心瓷套管;10~35kV 采用空心充气或充油式套管,110kV 及以上采用电容式套管。

## 4. 油箱

变压器的器身放置在灌有高绝缘强度、高燃点变压器油的油箱内。

变压器运行时,铁芯和绕组都要发出热量,使变压器油发热。发热的变压器油在油箱内发生对流,将热量传送至油箱壁及其上的散热器,再向周围空气或冷却水辐射,达到散热的目的,从而使变压器内的温度保持在合理的水平上。

## 5. 保护装置

(1) 储油柜。储油柜又称为油枕,装在油箱顶部,储油柜的体积一般为油箱体积的 8%~10%。在油箱和储油柜之间有管道相通。设置储油柜不仅可以减少油面与空气的接触面积,减缓变压器油受潮变质速度,同时可使油箱中的油在热胀冷缩时得到缓冲。

图 1-6 为储油柜的结构简图。储油柜的侧面装有油位计,在油位计上标出最高、最低温度时的油面线位置。在储油柜上还装有吸湿器,储油柜经过吸湿器与大气相通,以便在变压器油热胀冷缩时使储油柜上部的空气可以通过吸湿器出入,防止油箱损坏。

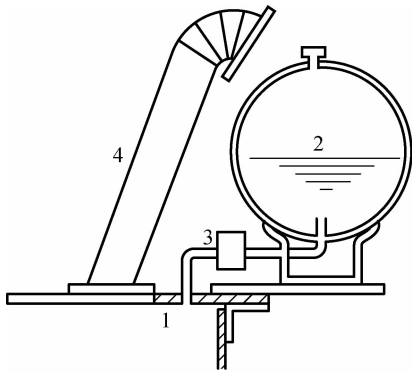


图 1-6 储油柜

1—主油箱;2—储油柜;3—气体继电器;4—安全气道

(2)吸湿器。吸湿器又称为呼吸器,将进入油枕的空气中的水分吸掉,保证变压器油不受潮。吸湿器为一圆形容 器,其中盛有变色硅胶作为吸潮的物质,以减少油的氧化和水分的浸入,如图 1-7 所示。变色硅胶在干燥状态下呈蓝色,吸潮后变成粉红色,表明硅胶已失去吸湿作用,必须更换。受潮后的硅胶经过烘焙,仍可再次使用。

(3)气体继电器和安全气道。当变压器内部发生故障时,故障点局部产生高温,使油温升高,油内含有的空气被排出,或由于故障点产生电弧而使绝缘物和油分解产生大量气体,为了保护油箱不致爆裂,在变压器上装置气体继电器和安全气道。气体继电器安装在主油箱和储油柜的连接管道上,作为变压器内部故障的保护。气体继电器的内部结构如图 1-8 所示。当气体进入气体继电器并使开口杯降到某一限定位置时,磁铁使干簧触点闭合,接通信号回路,发出信号。若故障严重,连接管中的油流将冲动挡板,当挡板运动到某一限定位置时,磁铁使干簧触点闭合,接通跳闸回路,切断变压器的电源,从而起到保护变压器的作用。

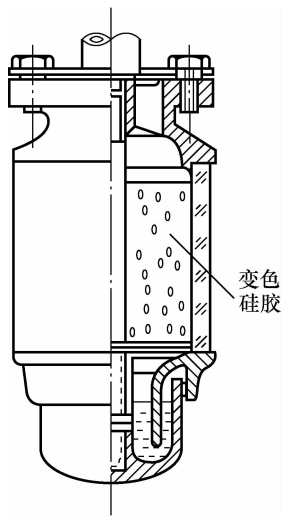


图 1-7 吸湿器

安全气道是一根长的钢管,如图 1-6 所示,其下部与油箱相连,上部出口处盖一层玻璃或酚醛纸板。当变压器内部发生故障、油箱内部产生大量气体、压力增大到一定数值时,气体和油流将冲破封口向外喷出,减轻油箱内的压力,从而保护油箱。

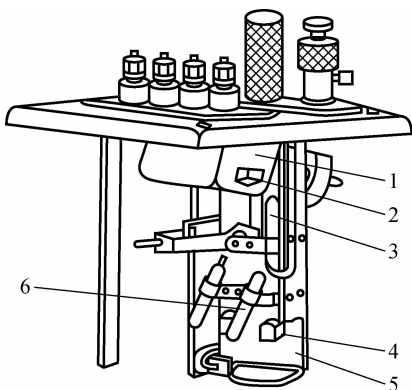


图 1-8 气体继电器

1—开口杯;2—磁铁;3—干簧触点(信号用);  
4—磁铁;5—干簧触点(跳闸用);6—平衡锤

(4)散热器。由于变压器运行时内部有铁损耗与铜损耗,并且各种损耗都以热的形式散发出来,变压器的温升很高。为了使变压器内部温度不会很高,变压器上都装有可拆卸的散热器。

## 阶段 4 变压器的铭牌

变压器的油箱表面一般都设置铭牌,铭牌上标注了变压器的型号、额定容量、额定电压及额定电流等数据,是选择和使用变压器的依据。

### 1. 变压器的型号

按照国家标准规定,变压器的型号由汉语拼音字母和几位数字组成以说明变压器的系列和规格,其表示方法如图 1-9 所示。

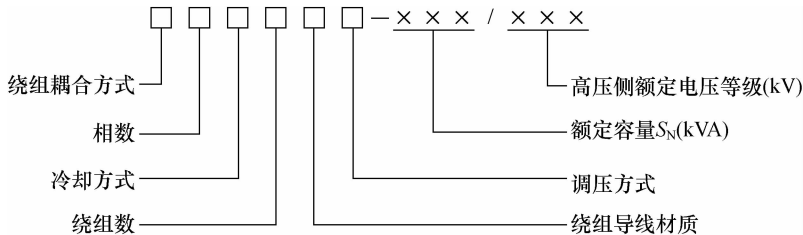


图 1-9 变压器型号表示方法

例如,OSFPSZ-250000/220 为三相自耦强迫油循环风冷三绕组铜线有载调压、额定容量为 250 000kVA、高压侧额定电压为 220kV 的电力变压器;S11-500/10 为额定容量为 500 kVA、高压侧额定电压为 10kV 级的低损耗三相油浸式自冷电力变压器。

**提 醒**

油浸自冷式双绕组无载调压的电力变压器不需要用汉语拼音字母专门标示。

## 2. 变压器的额定值(铭牌数据)

变压器运行在额定值下称为额定运行。变压器的额定值主要有以下内容。

(1) 额定容量  $S_N$ 。额定容量指变压器的额定视在功率,单位为 VA 或 kVA。

(2) 额定电压  $U_{1N}/U_{2N}$ 。额定电压  $U_{1N}$  是指保证变压器原绕组安全的外加电压最大值,额定电压  $U_{2N}$  是指原绕组加上额定电压且绕组不接负载时的副绕组端电压,其单位均为 V 或 kV。对三相变压器,额定电压指线电压值。

(3) 额定电流  $I_{1N}/I_{2N}$ 。额定电流  $I_{1N}$ 、 $I_{2N}$  分别指变压器原、副绕组允许长期通过的最大电流值,单位为 A。对于三相变压器,额定电流指线电流值。额定电流可以根据额定容量和额定电压计算得出。

对于单相变压器

$$I_{1N} = \frac{S_N}{U_{1N}} \quad (1-3)$$

$$I_{2N} = \frac{S_N}{U_{2N}} \quad (1-4)$$

对于三相变压器

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

$$I_{2N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{2N}} \quad (1-6)$$

(4) 额定频率  $f$ 。我国工业的供用电频率标准规定为 50Hz,有些国家规定为 60Hz。

变压器的铭牌上还标明效率、温升等额定值以及短路电压或短路阻抗百分值、连接组别使用条件、冷却方式、重量、尺寸等。

**提 醒**

变压器的额定值取决于变压器的构造和所用材料,使用时一般不能超过其额定值。

**【例 1-1】** 有一台三相油浸自冷式铝线变压器,  $S_N = 100\text{kVA}$ ,  $U_{1N}/U_{2N} = 10\text{kV}/0.4\text{kV}$ , Y/Y<sub>0</sub>-12 接法,试求一次、二次绕组的额定(线)电流。

$$\text{解 } I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{1N}} = \frac{100 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 10 \times 10^3} \text{A} = 5.77 \text{A}$$

$$I_{2N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{2N}} = \frac{100 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 0.4 \times 10^3} \text{A} = 144.34 \text{A}$$