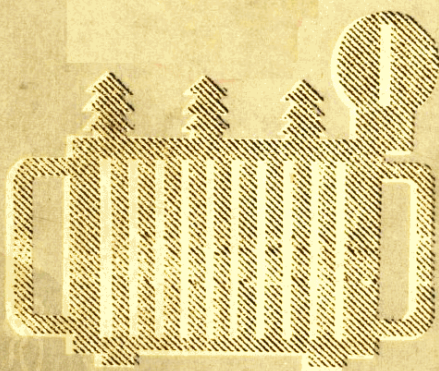


变压器专业工种 技术工人培训教材

第七分册



变压器专业工种技术工人培训教材编辑委员会

适用于导线处理工

西安变压器电炉厂

杨志浩 朱兰英 扬思明 编

编委会主任：郭 斌

编委会副主任：王淑兰、熊洪满、杨师和

编 委：（以姓氏笔画为序）

马正昌、王玉华、王显文、王淑兰、朱宝来、
刘锦华、肖尔禄、杨师和、宗绪智、钟贵镒、
赵维君、徐振东、郭 斌、曹耀武、熊洪满、
魏光前。

主 编：曹耀武

副 主 编：朱宝来、王显文、马正昌

前 言

本教材是为适应变压器行业技术工人培训的迫切需要，根据国家机械委电器局制定的变压器行业《工人技术等级标准》，受全国变压器行业职工教育研究会委托，由沈阳变压器厂、西安变压器电炉厂、保定变压器厂、北京变压器厂和福州变压器厂等单位，有实践经验的工程技术人员联合编写的。它主要适用于变压器专业技术工种工人的培训和各变压器生产厂、变压器维修及运行部门的有关工程技术人员学习参考，也可做为技工学校变压器专业的参考教材。

本教材以中级工为主，初、高级工培训使用时，可结合本厂生产实际做必要的增减。考虑到教材在全国各变压器厂的通用性，教材内容以35~220千伏电力变压器为主，兼顾其它。新规定的初、中、高等级标准中有些内容虽超越了现时工人的实际水平或生产中尚未应用。但考虑到今后生产技术的发展，这部分内容也适当地纳入教材之中。全书共分十个分册：

- 第一分册：适用于变压器装配与检查工；
- 第二分册：适用于变压器绕线与检查工；
- 第三分册：适用于变压器铁芯装配与检查工；
- 第四分册：适用于变压器绝缘件制造与检查工；
- 第五分册：适用于产品试验工；
- 第六分册：适用于硅钢片冲剪与铁芯卷制成型处理工；
- 第七分册：适用于导线处理工；
- 第八分册：适用于变压器线圈压装处理工；
- 第九分册：适用于变压器处理工；
- 第十分册：适用于互感器装配与绕线工。

为便于组织技术工人培训，原则上一个工种编成一个分册。但考虑到变压器装配、变压器绕线、变压器铁芯装配和绝缘件制造四个工种的检查工，同这四个工种的等级标准内容很多是相同的。所以，合并在一起编写。两个工种合并后出现的共性和个性的不同要求，以共性为主，兼顾个性，确保教材完整性。

由于水平所限，教材中难免存在着局限性以及缺点、错误。恳请有关单位及学员在使用过程中，提出宝贵意见，以便在适当时机修改完善。

另外，由于各厂工艺条件不同，在制造方法上也不完全相同，本教材在讲述工艺方法时所提供的数据和有关规定，只供学员参考，不能代替各厂的现行技术文件。

在编写过程中，机械委电器工业职工教育研究会及沈阳、西安、保定各厂所在省、

市的上级领导机关给予我们的支持和指导，表示感谢；对沈阳变压器厂、西安变压器电炉厂和保定变压器厂在编印过程中做了大量工作的同志表示谢意。

变压器专业工种技术工人培训教材编辑委员会

一九八八年三月于沈阳

目 录

第一章 变压器基本理论知识	3
第一节 变压器基本工作原理.....	3
第二节 变压器用途及分类.....	4
第三节 变压器结构的主要部件.....	10
第二章 变压器线圈	13
第一节 线圈的结构型式.....	13
第二节 识图.....	26
第三节 线圈导线计算.....	45
第三章 导线概述	48
第一节 导线的种类、性能及用途.....	48
第二节 导线质量标准和技术要求.....	49
第三节 导线断路和电阻大的原因.....	54
第四节 导线的质量缺陷对变压器产生质量的影响.....	55
第五节 匝绝缘材料的质量要求.....	56
第四章 导线拉直与分盘	65
第一节 裸导线的规格、标准及外观要求.....	65
第二节 设备与调整及保养.....	71
第三节 导线分盘的方法与计算.....	73
第四节 导线校直操作工艺与操作要点.....	76
第五章 导线的包纸工艺理论和要求	79
第一节 导线包纸.....	80
第二节 包纸机的结构、原理、使用调整和维护.....	86
第三节 割纸机的结构原理、使用、调整.....	89
第六章 换位导线的基本知识	93
第一节 概述.....	93
第二节 换位导线的材料及技术条件、质量要求和材料优劣的鉴别方法.....	95
第三节 换位导线的基本要求.....	99

第七章 换位导线编制设备及工艺装备	102
第一节 换位导线设备传动系统	102
第二节 绞缆机	103
第三节 强迫平衡系统与分线齿轮	105
第四节 导线换位头	108
第五节 包纸机	110
第六节 牵引轮与收线盘	111
第七节 导线长度计量装置	113
第八章 换位导线编制工艺	115
第一节 换位导线的分盘计算	115
第二节 《换位导线编制卡》的计算程序和方法	122
第三节 换位导线编制工艺	127
第九章 换位导线常见故障及排除	131
第一节 换位导线质量检查项目和要求	131
第二节 6405—C型电缆探测器简介	133
第三节 换位导线常见质量故障及排除方法	135

第一章 变压器基本理论知识

变压器是一种静止的电气设备，它是利用电磁感应原理把一种电压的交流电能转变成频率相同的另一种电压的交流电能。在电力系统中，变压器是一个重要的设备。它对电能的经济传输、灵活分配和安全使用具有重要的意义。此外，变压器在电气测试、控制和特殊用电设备上应用很广。本章对变压器的用途、种类、工作原理、结构及主要零部件的性能要求仅作扼要介绍。

第一节 变压器的基本工作原理

一、工作原理与变比

变压器是利用电磁感应原理工作的。因此，它的结构原则是：两个（或两个以上）互相绝缘的线圈套在一个共同的铁心上，它们之间通过磁路的耦合使之相互联系。所以，如同旋转电机一样，变压器也是以磁场为媒介的。通过两个线圈中一个接到交流电源，称为原线圈，另一个接到负载，称为副线圈。当原线圈接到交流电源时，在外施电压作用下，原线圈中有交流电流流过，并在铁心中产生交变磁通，其频率和外施电压的频率一样。这个交变磁通同时交链原、副线圈，根据电磁感应定律，便在原副线圈内感应出电势。副线圈有了电势，便向负载供电，实现了能量传递。

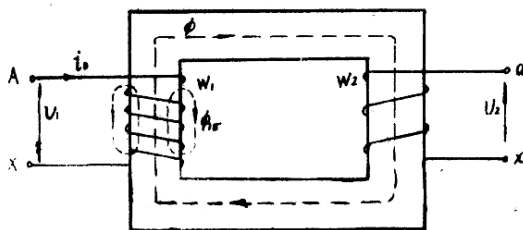


图1—1 单相变压器X、空载运行示意图

图（一）是单相变压器空载运行时的示意图，当副线圈开路而把原线圈的AX端接电压为 u_1 的交流电网时，原线圈中便有电流 i_1 流过，这个电流称为变压器的空载电流。空载电流产生空载磁势 $e_0 = W_1 i_1$ ，建立起空载时的磁场。这个磁场其中一部分磁

通 ϕ 沿铁心闭合, 同时与原、副线圈交链, 是变压器进行能量传递的媒介, 称为主磁通; 另一部分磁通 ϕ_{18} 主要沿非铁磁材料闭合 (沿变压器油或空气闭合), 仅与原线圈相交链, 称为原线圈的漏磁通。对常用电力变压器, 原方感应电势的大小也接近于原方外施电压, 而副方感应电势则接近于副方端电压 u_2 , 因此, 变压器原、副方电压之比决定于原副线圈匝数之比。

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{W_1}{W_2} \text{ 或 } \frac{u_1}{W_1} = \frac{u_2}{W_2}, \quad u_1/u_2 \text{ 称为变压器的变压比, 也就是电压改变的倍数。}$$

电压为额定时的变压比称为额定变压比, W_1/W_2 为匝数比。只要改变原、副线圈的匝数, 便可达到改变电压的目的。这就是变压器利用电磁感应原理, 把一种电压的交流电能变成频率相同的另一种电压的交流电能的基本工作原理。

二、电磁感应定律

电磁感应是一种物理现象, 设有一个匝数为 W 的线圈放在磁场中, 如果线圈本身的移动或转动 (如发电机), 或磁场强度本身发生变化等 (如变压器), 造成了和线圈交链的磁通 ϕ 随时间发生变化时, 线圈内部都会感应出电势, 这种现象叫做电磁感应。感应电势可用下式表示:

$$e = - \frac{d\phi}{dt} = - W \frac{d\phi}{dt} \text{ 式中: } \phi = W\phi \text{—线圈匝数与所交链的磁通的乘积。}$$

这个定律含意为: 由电磁感应产生的电势与线圈的匝数和磁通的变化率的乘积成正比。如果在感应电势的作用下在线圈内流过电流, 则该电流所产生的磁通起着反对磁通变化的作用。当磁通增加时 (此时 $\frac{d\phi}{dt}$ 为正值, 而 e 为负值), 它企图减少磁通; 而当磁通减少时 (此时 $\frac{d\phi}{dt}$ 为负值, 而 e 为正值), 则企图增加磁通。这个规律常称为楞次定律。

变压器和电机就是靠这一原理来工作的。变压器是静止的线圈, 但由于是交变的磁通, 等于线圈在磁场中运动, 因此在线圈两端产生了感应电压。如果变压器接在直流电源上, 则铁心中产生不了交变的磁通, 所以线圈也就不能感应出电压。

第二节 变压器的用途与分类

变压器是变换电源电压的一种电气设备, 在国民经济各部门中应用很广, 为了适应不同的使用目的和工作条件, 变压器的类型很多, 而且各种类型的变压器在结构上、性能上的差异也很大。按变压器用途分类, 常见的有:

一、电力变压器

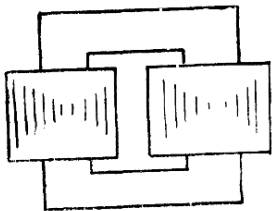
电力变压器主要在输配电系统上使用。目前从发电机所发出的电压为15.75千伏，6.3千伏和10.5千伏。这样低的电压要输送到很远的地区使用，电能将大部消耗在输电线路。所以要想将电能经济地输送出去，必须经过变压器将电压升高。高压电到供电区后，还要经过变电所的变压器降压，再把电直接送到用户区，再经过附近的配电变压器降压供工厂及居民等用电及照明用电。

电力变压器可分为以下各类：

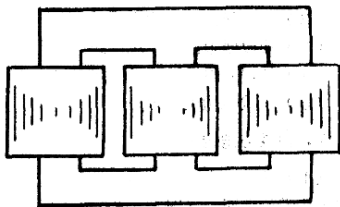
1. 按容量分类

- (1) 中小型变压器：电压在35kV及以下容量在10~6300KVA。
- (2) 大型变压器：电压在63KV及110KV，容量在6300~63000KVA。
- (3) 特大型变压器：电压在220KV及以上，容量在31500~360000KVA（及以上）。

2. 按相数分类：



(1) 单相电力变压器 (图1—2)

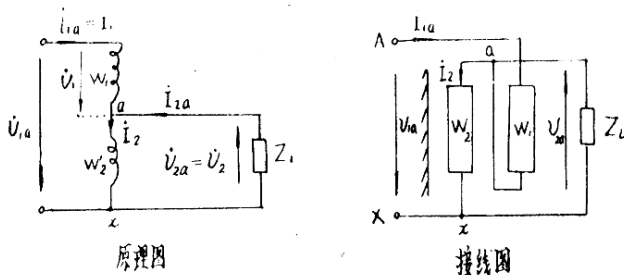


(2) 三相电力变压器 (图1—3)

3. 按线圈数分类

- (1) 双线圈电力变压器：有高压线圈和低压线圈的变压器。
- (2) 三线圈电力变压器：有高压线圈、中压线圈和低压线圈的变压器。
- (3) 自耦电力变压器：普通变压器的原、副线圈之间只有磁的联系而没有电的联系。自耦变压器的特点在于原、副线圈之间不仅有磁联系而且还有电的直接联系。采用自耦变压器比采用普通变压器能节省材料、降低成本，缩小变压器体积和减轻重量，有利于大型变压器的运输和安装。

自耦变压器原理图如下 (1—4)：



(图 1—4)

自耦变压器与两线圈变压器比较还有以下特点：由于自耦变压器短路阻抗比两线圈变压器的小，故短路电流较大。由于自耦变压器原、副方之间有电的直接联系，当高压方过电压时，会引起低压方产生严重的过电压，为避免这种危险，原、副方都须装设避雷器。自耦变压器的另一特点是只适合于在原、副方电压相差不大的场合，一般变化比小于 2。

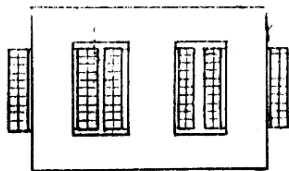
4. 按冷却方式分类

- (1) 油浸自冷式电力变压器。
- (2) 油浸风冷式电力变压器。
- (3) 油浸强迫油循环风冷却式电力变压器。
- (4) 油浸强迫油循环水冷却式电力变压器。
- (5) 干式电力变压器、

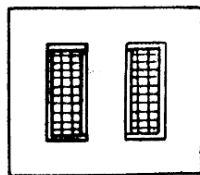
5. 按铁心结构分类

(1) 铁心式电力变压器：这种铁心结构特点是铁轭包围线圈的顶面和底面，但不包围线圈的侧面。(图 1—5)

(2) 铁壳式电力变压器：其特点是铁轭不仅包围线圈的顶面和底面，而且还包围线圈的侧面。(图 1—6)



(图 1—5)



(图 1—6)

6. 按调压方式分类

- (1) 无载调压电力变压器。
- (2) 有载调压电力变压器。

7. 按发电厂和变电所的用途不同分类

- (1) 升压变压器。
- (2) 降压变压器。
- (3) 联络变压器。

二、电 炉 变 压 器

电炉变压器按用途分类有炼钢炉变压器,次级电压为110~250伏;电石炉变压器,次级电压90~150伏;感应熔炼炉变压器,次级电压400~1000伏;其他还有炼铁合金、石墨和加热等用的电炉变压器。

电炉变压器的共同特点是变压器二次侧电压低,电流大,时要求带负载调压。要求变压器低压出线铜排和引至电炉电极的铜排或电缆保持有足够大的合成阻抗,限制短路状态下的工作电流,避免线圈经受过大的电动力所损坏。

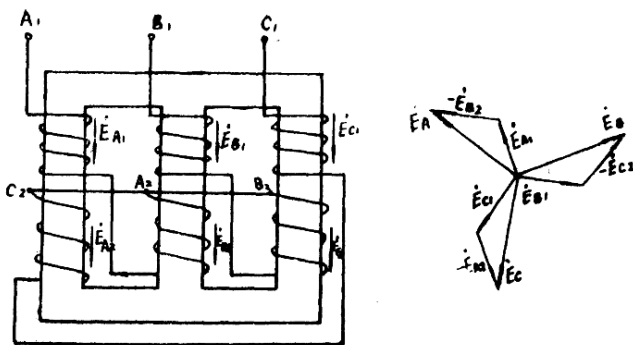
三、整 流 变 压 器

整流变压器是整流设备的电源变压器。现代的工业企业,广泛地采用直流电源,所以整流变压器早已成为直流入用电系统不可缺少的专用设备。

整流设备的特点是原方输交流电,而副方通过整流元件后输出直流电。因此,整流变压器与普通变压器除结构上有所区别外,在负载特性上也不相同。电力变压器的二次负载一般认为是恒定阻抗,输出电流为正弦波形。整流变压器由于整流器的整流作用,使变压器二次线圈中的工作电流波形是不规则的非正弦波形,这个非正弦电流所产生的漏抗压降,会影影响整流变压器二次侧的端电压,因而也就影响整流器直流电压特性。除此以外,由于副方存在的直流电流分量,原方没有磁势与之相平衡,因而形成单向磁化,使铁心饱和。为了消除单向磁化问题,大功率三相整流变压器副线圈常采用Y形连接法,如图1—7所示。这时每个心柱上的直流磁势互相抵消,所以不会出现单向磁化问题。

四、工频高压试验变压器

高压试验变压器主要用于高压电气设备的耐压试验和高压下物理现象研究的电源。



(图 1—7)

试验变压器初、次级线圈具有很大的变化。一次电压为0.4、3、6、10千伏，二次电压可制成100~1000千伏或更高。其特点是容量不大，而电压很高，均制成单相的结构。低压线圈通常绕成双层圆筒式线圈，高压线圈为多层分段式或多层圆筒式。

五、电 抗 器

电抗器可分为空心式电抗器和铁心式电抗器，它是具有一定电感值的电器。串在高压输电线路里可以限制供电系统的短路电流；在整流回路里可利用电抗器进行滤波，使输出电压接近于直流；在超高压输电系统广泛应用并联电抗器补偿输电线的电容电流，防止线端电压升高，使线路的传输能力和效率提高，并使系统的操作过电压有所降低；具有大的电感量的线卷可以储能，作为瞬间放电的能源。

六、移圈调压器

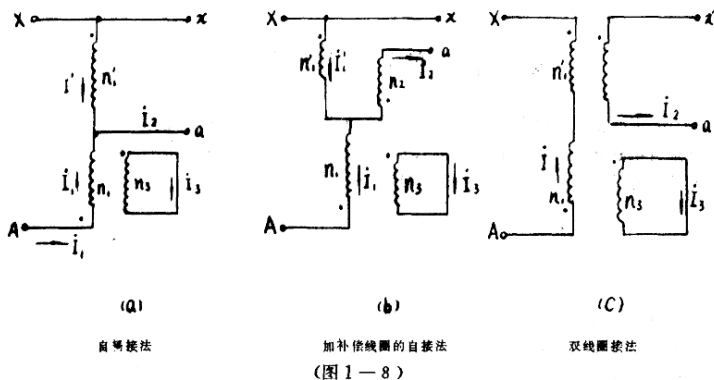
移圈调压器是利用一个沿铁心高度可以移动的短路线圈，改变铁心中的磁通分布，达到电压均匀调整的目的。

移圈调压器的接线方式见图 1—8

图 1—8 (a) 为自耦接法。

图 1—8 (b) 为加补偿线圈的自耦接法。

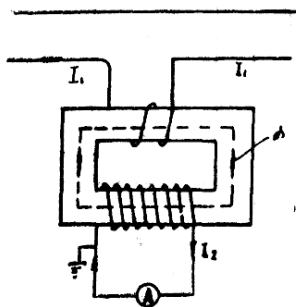
图 1—8 (c) 为双线圈接法



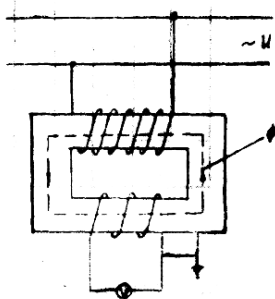
七、互 感 器

互感器是一种测量用的设备，分电流互感器和电压互感器两种，它们的作用原理和变压器相同。

使用互感器有两个目的，一是为了工作人员的安全，使测量回路与高压电网隔离；二是可以使用小量段的电流表测量大电流，用低量程电压表测量高电压。互感器除了用于测量电流和电压外，还用于各种继电保护装置的测量系统。图 1—9 是电流互感器的原理图；图 1—10 是电压互感器的原理图。



(图 1—9)



(图 1—10)

第三节 变压器结构的主要部件

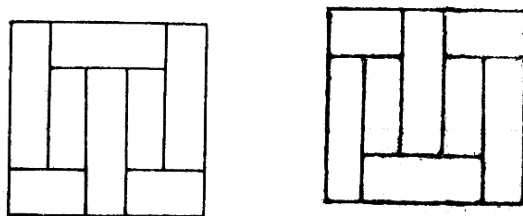
变压器结构主要由铁心、线圈、油箱和绝缘套管等部件组成。铁心和线圈是变压器进行电磁感应的基本部分，称为器身。油箱起机械支撑、冷却散热和保护作用；油起冷却和绝缘作用；套管主要起绝缘作用，用它来接通输变电电网。

一、铁 心

铁心是变压器的磁路部分。为了提高磁路的导磁系数和降低铁心内的涡流损耗，铁心通常用厚度为0.35或0.30毫米，表面涂绝缘层的硅钢片制成。铁心分为铁心柱和铁轭两部分，铁心柱上套线圈，铁轭将铁心柱连接起来，使之形成闭合磁路。

根据结构型式和工艺特点，变压器铁心可分为迭片式和卷绕式两种基本型式。在变压器行业中普遍采用的是迭片式铁心。迭片式铁心又分成心式和壳式两种。由于心式铁心结构比较简单，线圈的布置和绝缘也比较容易，因此电力变压器主要采用心式铁心结构，而只有在一些特种变压器中（如电炉变压器）才采用壳式铁心结构。

迭片式铁心的装配方法一般采用交错式装配。过去是采用直接缝结构，把剪成一定尺寸的长方形硅钢片交错迭装而成。在迭装时，相邻层的接缝要错开，如图1—11所示。通常用2张硅钢片作一层。这种迭法的优点是接缝处气隙小、夹紧结构简单、缺点是装配工艺较复杂。



第一层

图1—11 三相迭片式铁心的迭装次序

第二层

近年来，铁心材料大量采用冷轧硅钢片。沿着轧制方向较高的导磁系数和较小的铁耗，在磁路转角处，由于磁通方向和轧制方向或 90° 将引起铁耗增加。因此为了使磁通方向和轧制方向基本一致，采用了图—12所示的斜硅钢片的迭装法。

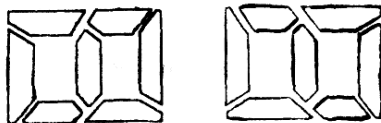


图1—12 冷轧硅钢片的迭装法

铁心片迭完后，需用上、下铁轭夹件将铁心夹紧，使之成为一个整体。为使铁轭良好地散热、减少变压器的杂散损耗，铁轭夹件与铁心之间必须用夹件绝缘使之绝缘起来。

二、线 圈

线圈是变压器的电路部分，一般用绝缘纸包的铜线或铝线绕成。

根据线圈结构和绕制的特点，线圈可分为圆筒式线圈、连续式线圈、纠结式线圈。螺旋式线圈及分段式线圈等。

三、油 箱

油箱内装变压器身和变压器油，起机械支撑、冷却散热和保护作用。油箱外表装有讯号式温度计、吸湿器、储油柜、油表、安全气道、气体继电器、调压分接开关、放油阀门、小车及高、低压套管及散热器等零部件。

四、套 管

变压器的引出线从油箱内穿过油箱盖时，必须经过绝缘套管，以使带电的引线和接地的油箱绝缘。绝缘套管一般是瓷质的，它的结构主要取决于电压等级。1千伏以下的采用实心瓷套管；10~35千伏采用空心充气式或充油式套管；电压110千伏及以上时，采用电容式套管。为了增加表面放电距离，套管外形做成多级伞形，电压愈高级数愈多。

复 习 思 考 题

1. 试述变压器的工作原理，画出单相变压器空载运行时的原理图？
2. 何谓电磁感应？
3. 变压器为何不能用于直流电源？
4. 电力变压器主要用途是什么？
5. 按变压器的用途分类，常见的有哪些类型的变压器？
6. 变压器结构有哪些主要部件？它们的主要作用是什么？