

BIANYAQI DE YINGYONG

变压器的应用

肖 明 李玉明 编著



黄河水利出版社

要 目 录

变 压 器 的 应 用

肖 明 李玉明 编著

黄河水利出版社

· 郑 州 ·

内 容 提 要

本书共分七章,比较系统地介绍了电力变压器的基本工作原理和结构,变压器电气试验,变压器安装、检修及运行,变压器故障分析,电压互感器和电流互感器,变压器继电保护的配置、原理和校验,变压器实际运行中出现的问题和解决方法等。

本书内容丰富,条理清晰,对专业知识的阐述追求现场的可操作性、可指导性和实用性。书中内容便于自学,可供电力行业从事变压器运行维护和检修的工程技术人员阅读、参考。

图书在版编目(CIP)数据

变压器的应用/肖明,李玉明编著. —郑州:黄河水利出版社,2013.3

ISBN 978-7-5509-0448-4

I. ①变… II. ①肖…②李… III. ①变压器 IV. ①TM4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 069062 号

组稿编辑:简群 电话 0371-66026749 E-mail:w_jq001@163.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼14层

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhsclbs@126.com

承印单位:河南省瑞光印务股份有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:15.25

字数:350千字

印数:1—1 000

版次:2013年3月第1版

印次:2013年3月第1次印刷

定价:39.00元

前 言

电力变压器是发电厂和电网的重要设备,尤其在发电厂中,变压器的数量和种类较多。变压器运行的状况直接涉及发电厂运行的安全,影响企业的效益,严重时可能影响电网供电的可靠性。

本书对变压器的运行维护和管理做了较为详细的介绍,主要讲述变压器的基本原理和结构;详细介绍了变压器电气试验的内容和适用范围,电力变压器的安装、检修和运行的主要内容,变压器故障的类型、分析和解决办法,电流互感器和电压互感器的类型、电气试验方法,变压器继电保护的基本知识、配置原则和校验方法。对编者所在厂(小浪底水电厂)内发生的变压器故障较为详细地说明了现象、具体原因和解决措施,使读者在学习变压器基本原理的基础上,能够系统地了解 and 掌握变压器运行中的试验、维护和检修的程序和方法。

本书在编写的过程中,参考了许多专家的论文和书籍,在此向各位专家表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,希望读者批评指正。

编 者

2012 年 10 月

目 录

前 言

第一章 变压器基本工作原理和结构	(1)
第一节 变压器的分类和工作原理	(1)
第二节 电力变压器的应用	(4)
第三节 变压器的基本结构	(7)
第四节 干式变压器	(24)
第二章 变压器的交接试验和预防性试验	(32)
第一节 变压器绕组直流电阻的测量	(32)
第二节 绝缘电阻(绕组和铁芯)的测量	(36)
第三节 介质损耗角正切值的测量	(38)
第四节 交流耐压试验	(42)
第五节 绕组泄漏电流试验	(44)
第六节 变压器的空载电流、空载损耗试验	(47)
第七节 绕组分接开关分接头的电压比的测量	(53)
第八节 校核三相变压器的组别和单相变压器的极性	(55)
第九节 局部放电试验	(59)
第十节 变压器绕组变形测试	(64)
第十一节 分接开关试验	(67)
第十二节 变压器绝缘油特性试验	(68)
第三章 变压器安装、检修及运行	(81)
第一节 变压器的安装	(81)
第二节 变压器的状态检修	(95)
第三节 变压器的大修项目及要求	(97)
第四节 变压器的小修项目及要求	(106)
第五节 干式变压器检修	(113)
第六节 变压器的运行	(115)
第四章 变压器故障诊断及其处理方法	(122)
第一节 短路故障	(122)
第二节 放电故障	(127)
第三节 绝缘故障	(130)
第四节 铁芯故障	(137)
第五节 分接开关故障	(138)
第六节 渗漏油故障	(141)

第七节	油流带电故障	(144)
第八节	保护误动故障	(146)
第九节	变压器故障检测	(148)
第十节	变压器故障综合处理	(152)
第十一节	变压器事故处理	(159)
第五章	电压互感器和电流互感器	(163)
第一节	电压互感器	(163)
第二节	电压互感器的试验	(175)
第三节	电流互感器	(179)
第四节	电流互感器的试验	(194)
第六章	变压器继电保护配置和保护装置介绍	(198)
第一节	变压器继电保护配置	(198)
第二节	变压器的差动保护	(200)
第三节	变压器的后备保护	(203)
第四节	小浪底水电厂主变压器保护装置介绍及动作情况	(207)
第五节	变压器保护的校验	(208)
第七章	小浪底水电厂变压器典型故障原因分析	(212)
第一节	发电机机端厂用变压器谐振过电压的分析和解决措施	(212)
第二节	变压器器身及母线的场强不均匀产生放电引起保护动作的处理 ...	(217)
第三节	小浪底水电厂高备变差动保护误动作的原因分析	(223)
第四节	变压器色谱在线监测装置的应用	(227)
第五节	SLZ8-315/10.5 型干式变铁芯夹件连接螺杆发热分析及处理	(233)
参考文献		(237)

第一章 变压器基本工作原理和结构

变压器是一种用于电能转换的电气设备,它可以把一种等级(电压、电流)的交流电能转换成相同频率的另一种等级(电压和电流)的电能。

在电力系统中,变压器是发电厂和变电站的重要设备。由于输送一定功率时,电压越高,电流越小,因此发电厂总是用升压变压器将发电机的电压升高,再经过输电线路把电能送到负荷地区,然后再经过降压变压器将电压降低,供用户使用。这样既可以降低输电线路造价,又可以减少线路损耗。

第一节 变压器的分类和工作原理

一、变压器的分类

变压器按用途大致可以分为以下几种类型。

(一) 电力变压器

它在电力电网中用于输电、配电的升压和降压,是使用最广的一种变压器。电力变压器根据用途和结构可分为以下几类:

(1) 按用途可分为升压变压器和降压变压器。

(2) 按相数可分为单相变压器和三相变压器。

(3) 按绕组数量可分为自耦变压器、双绕组变压器和三绕组变压器。

(4) 按绕组材料可分为铜线变压器和铝线变压器。

(5) 按冷却介质和冷却方式可分为油浸式变压器(冷却方式一般为自然冷却、强迫风冷、强迫油循环风冷、强迫油循环水冷等)和干式变压器(绕组置于空气或六氟化硫气体中,或浇注环氧树脂绝缘)。

(6) 按铁芯型式可分为芯式、壳式、辐射式和卷铁芯式变压器。

(7) 按调压方式可分为无载调压变压器和有载调压变压器。

(8) 按使用条件可分为户内、户外、箱式和埋入式变压器。

(二) 调压变压器

调压变压器用于中小容量负荷的电压调整,主要用作电力拖动用电源及试验变压器调压,也是实验室常用的变压器。

(三) 试验变压器

试验变压器一般为单相,产生高压,用于电气设备的绝缘高压试验。

(四) 启动变压器

启动变压器即小容量自耦变压器,用作鼠笼式异步电动机的降压启动。

(五) 仪用互感器

仪用互感器主要用于测量仪表和继电保护装置。将高电压变为低电压或将大电流变为小电流,再输入检测仪表和继电保护装置,前者叫电压互感器,后者叫电流互感器。

(六) 特殊专用变压器

特殊专用变压器如冶炼用的电炉变压器、电解用的整流变压器、电焊用的电焊变压器以及电力系统中的消弧线圈等。

下面以电力变压器为例,简单介绍一下变压器型号中各字母所表示的含义。电力变压器可以按照绕组的耦合方式、相数、冷却方式、绕组数、绕组导线材料和调压方式等分类,并在其型号中用各字母加以区分,使得使用者可以通过产品型号对其结构特点有大致地了解。电力变压器型号中各符号的含义如表 1-1 所示。

表 1-1 电力变压器的分类及其代表符号

分类方式	类别	代表符号
绕组耦合方式	自耦	O
相数	单相	D
	三相	S
冷却方式	油浸自冷	—或 J
	干式空气自冷	G
	干式浇注绝缘	C
	油浸风冷	F
	油浸水冷	S
	强迫油循环风冷	FP
	强迫油循环水冷	SP
绕组数	双绕组	—
	三绕组	S
绕组导线材料	铜	—
	铝	L
调压方式	无载调压	—
	有载调压	Z

电力变压器可按照相数分为单相变压器和三相变压器,可按照绕组数分为双绕组变压器和三绕组变压器等。但是,这样的分类包含不了变压器的全部特征,所以在变压器的型号中往往要把所有的特征均表达出来,并标记以额定容量和高压绕组额定电压等级。电力变压器产品型号的表示规则如图 1-1 所示。

例如,小浪底水电厂 220 kV 主变压器的型号为 SSP10-360000/220,表示为三相强迫油循环水冷三绕组无载调压,额定容量为 360 000 kVA,高压绕组额定电压 220 kV 的电力

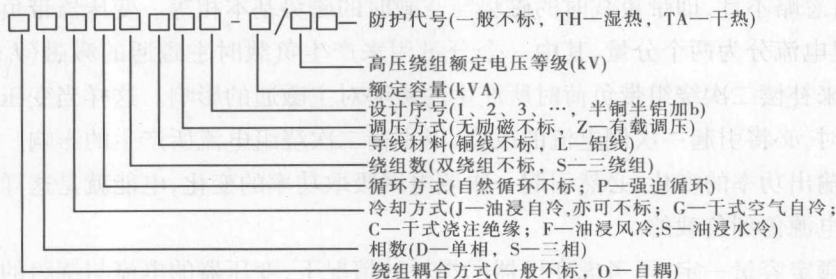


图 1-1 电力变压器产品型号表示规则

变压器。

二、变压器的基本工作原理

变压器的工作原理示意如图 1-2 所示。

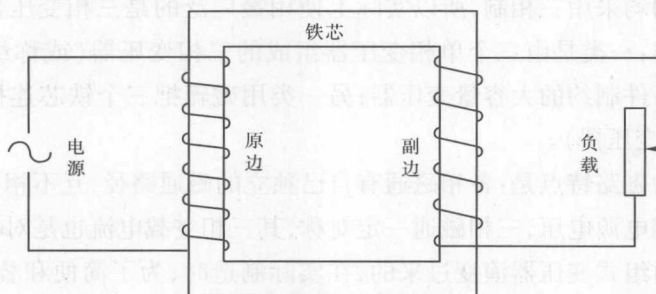


图 1-2 变压器工作原理示意

在同一铁芯磁路上绕有两个或两个以上的线圈（也称绕组），通过电磁感应作用实现电路之间的电能转换。我们把接到电源的绕组叫原绕组，接负荷的绕组叫副绕组，有时也把原绕组称为原边（或一次侧），副绕组称为副边（或二次侧）。变压器原边接上交流电源时，原绕组中流过的交流电流的频率与外加电压频率相同，绕组感应电势的大小为 $E_1 = 4.44f\Phi_m w_1$ 。此交变磁通与绕在铁芯上的原边绕组同时相链，根据电磁感应定律可知，在副绕组上感应电势的大小为 $E_2 = 4.44f\Phi_m w_2$ 。由于变压器空载时电流很小，在一次侧产生的漏磁通通常小于主磁通的 0.25%，因此在原绕组电阻上产生的电压降和漏磁电势可忽略不计，认为 $U_1 = -E_1$ ，同理 $U_2 = E_2$ （通常变压器一次侧为电源侧，习惯上遵循电动机惯例规定正方向，电压与电势方向相反；二次侧为负荷侧，习惯上遵循发电机惯例规定正方向，电压与电势方向相同）。变压器一、二次绕组的匝数不同，所感应的电压和电势也不同。若原绕组为高压绕组，副绕组为低压绕组，则该变压器就是降压变压器；若原绕组为低压绕组，副绕组为高压绕组，则该变压器就是升压变压器。

当变压器副边接一负载时，便在副绕组电势的作用下，向负载供给电流。由于变压器一次绕组的阻抗压降在带负载时一般只有额定电压的 5% 左右，它对变压器一次绕组电

势 E_1 的影响可忽略不计,即带负载时的磁势与空载时的磁势基本相等。变压器带负载运行时,一次绕组电流分为两个分量,其中一个分量用来产生负载时主磁通的激磁($I_0 w_1$),另一个分量用来补偿二次绕组带负荷时所产生的磁势对主磁通的影响。这样当变压器二次侧电流改变时,必将引起一次侧电流的改变,以平衡二次绕组电流所产生的影响。实际上也是二次侧输出功率的变化,必然引起一次侧电网吸取功率的变化,电能就是这样经过电压的变化将电源传到负载的。

在变压器额定容量一定,不考虑变压器的损耗的情况下,变压器的电流与绕组的电压和匝数成反比,即电压等级高、绕组匝数多的一侧电流小,电压等级低、绕组匝数少的一侧电流大。

第二节 电力变压器的应用

由于高压电网均采用三相制,所以实际上使用最广泛的是三相变压器。三相变压器在形式上分为两类:一类是由三个单相变压器组成的三相变压器(或称组式变压器),主要运用于受运输条件制约的大容量变压器;另一类用磁轭把三个铁芯连接起来构成三相变压器(也称芯式变压器)。

组式变压器的磁路特点是:各相磁通有自己独立的磁通路径,互不相关。若变压器原边接一对称的三相电源电压,三相磁通一定对称,其三相空载电流也是对称的。三相芯式变压器实际上是由组式变压器演变过来的,在实际制造时,为了简便和叠片方便,将三个芯柱排列在同一平面上。这样芯式变压器三相磁路互相关联,一相的磁通要通过另外两相磁路闭合。由于三相磁路长度不相等,中间 B 相最短,两边的 A、C 相较长,所以三相磁阻不相等。当外加三相对称电压时,三相空载电流中 B 相最小,A、C 两相稍大。但由于变压器的空载电流本身很小,这种不对称对变压器负载运行影响不大,可忽略不计。

一、三相变压器的绕组连接及组别

为了便于三相绕组的连接,变压器原边的首段用大写字母 A、B、C 表示,末端用 X、Y、Z 表示,中点用 O 表示,副边首段用小写字母 a、b、c 表示,末端用 x、y、z 表示。三相变压器绕组不论是原边还是副边一般都连接成星形或三角形,个别有曲折连接(或叫 Z 形)。星形连接是各相线圈的一端结成一个公共点(中性点),其他端子接到相应的线端上;三角形连接是三个绕组互相串联形成闭合回路,由串联处接至相应的线端;曲折连接是每相绕组等分成两半,将一相绕组的上一半与另一相绕组的下一半反接串联组成新的一相,相绕组接成星形,但相绕组由感应电压相位不同的两部分组成(不在同一铁芯芯柱上)。变压器常用连接组的特征见表 1-2。

表 1-2 变压器常用连接组的特征

连接组	向量图	连接图	特性及应用
单相 I, I (I, I0)			用于单相变压器时没有单独特性。不能接成 Y 型, Y 型连接的三相变压器组, 因此时三次谐波磁通完全在铁芯中心流通, 三次谐波电压较大, 对绕组绝缘极不利; 能结成其他连接的三相变压器组
三相 Y, yn (Y, yn0)			绕组导线填充系数大, 机械强度高, 绝缘用量少, 可以实现四线制供电, 带用于小容量三柱式铁芯的小型变压器上。但有三次谐波磁通, 将在金属构件中引起涡流损耗
三相 Y, zn (Y, zn11)			在二次或一次侧遭受冲击过电压时, 同一芯柱上的两个半线圈的磁势相互抵消, 一次侧不会感应过电压或逆变过电压, 适用于防雷性能高的配电变压器。但二次绕组需增加 15.5% 的材料用量
三相 Y, d (Y, d11)			二次侧采用三角形接线, 三次谐波电流可以循环流动, 消除了三次谐波电压。中性点不引出, 常用于中性点非死接地的大中型变压器上
三相 YN, d (YN, d11)			特性同上。中性点引出, 一次侧中性点是稳定的, 用于中性点死接地的大型高压变压器上

三相组式变压器或芯式变压器,除绕组间有极性关系外,因三相绕组的连接方式和引出端标号不同,其原绕组和副绕组的连接方式不同,变压器原、副边的线电压之间有着不同的相位差,不同的相位差代表不同的接线组别。不管绕组的连接方式和引出线标志方式怎样变化,最终原、副边间对应线电压的相位差只有 12 种不同的情况,且都是 30° 的倍数(即 $n \times 30^\circ, n = 1 \sim 12$)。我们将原边线电压超前对应副边线电压 $30^\circ (n = 1)$ 称为 1 组; $60^\circ (n = 2)$ 称为 2 组……直至 $360^\circ (n = 12)$ 原、副边线电压向量重合,为 12 组。这恰如时钟表面被 12 小时所等分,相邻两数间为 30° 角。因此,可以按时钟系统来确定接线组别。方法是以分针代表原边线电压向量,固定指向 12;以时针代表对应的副边线电压向量,它所指的钟点数,就是接线组别数。同一接线组别的变压器,绕组可以有不同的连接方式,例如 12 组变压器的原、副边绕组连接,可以是星形/星形(Y/Y)的,也可以是三角形/三角形(Δ/Δ)或星形/曲折形(Y/Z)。电力系统中广泛使用的有 $Y/Y_0-12, Y/\Delta-11$ 和 $Y_0/\Delta-11$ 接线组别的三相变压器。

变压器的有些组别,可以在完全不改变绕组本身连接的情况下,用重新排列原、副边各相标号的方法来改变。如果将变压器原边侧原标记 A 改为 B、B 改为 C、C 改为 A,相当于原边高压侧电压向量逆时针旋转 120° (或副边低压侧电压向量顺时针旋转 120°),组别应加 4,原来的 12 组可以变成 4 组,类似还可以变成 8 组,原来的 11 组可变成 3 组等。此外,单数的任何组别还可在不改变内部接线的情况下,在只改变外部编号的条件下互相变换,以满足并列要求。

二、三相变压器的并联运行

(一) 三相变压器并联运行的优点

三相变压器的并联运行,是变压器经常采用的运行方式,其优点如下:

(1) 可以根据负荷的大小,增减变压器运行的台数,使每台变压器经常运行在高效率之下。

(2) 可减少总的备用容量,还可以根据地区负载的增加分批进行扩容。

(3) 可以提供供电的可靠性,如有某台变压器计划或故障检修,不影响对外供电。

(二) 变压器并联运行的条件

变压器并联运行时,最理想的运行情况应当是:

(1) 空载时并联运行变压器之间不产生环流。

(2) 带负载时总的负载电流按各变压器容量的比例分配。

(3) 每台变压器的输出电流相位应当一样。

为了达到最理想的并联运行条件,并联运行的各台变压器应满足下列条件:

(1) 各台变压器的原、副边额定电压应相等,即各台变压器的变比相等;

(2) 各台变压器的连接组别必须相同;

(3) 各台变压器的短路阻抗、短路电抗的标么值应相等。

如不满足上述变压器的并联运行条件,将对变压器的运行产生一定的影响或危害,主要有以下几点:

(1) 变比不等时会在空载运行的变压器之间产生环流,环流的大小正比于变压器变

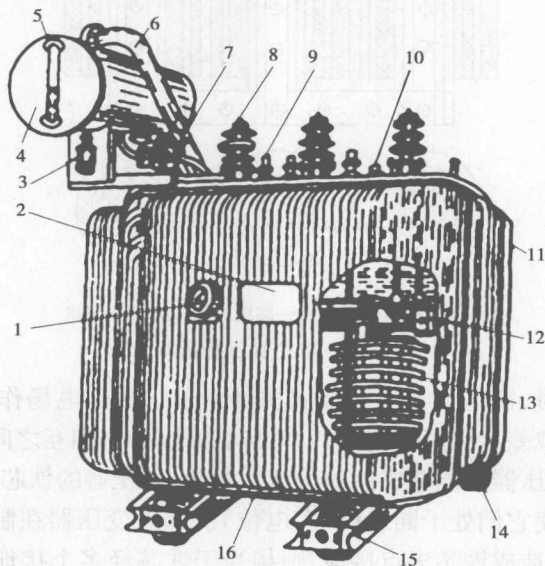
比倒数之差,因此变比相差不大,也会产生较大的环流。为保证变压器并联运行时空载环流不超过额定电流的 10%,规定并联运行的变压器的变比差值不应大于 1%。

(2) 如果两台并联运行的变压器的变比和短路阻抗相等,但是组别不同,则其后果十分严重。即使是副边线电压的相位相差最小值 30° ,其电压差产生的空载环流也可达额定电流的若干倍,因此连接组别不同的变压器严禁并联运行。

(3) 变压器的负载电流与变压器的短路阻抗成反比,如果变压器的短路阻抗不一样,在相同容量的情况下,短路阻抗小的变压器先达到满载,造成并联运行变压器的额定容量不能有效发挥。因此,在实际运行时,规定各变压器的短路阻抗值相差不超过 10%。

第三节 变压器的基本结构

变压器的基本结构部件是铁芯和绕组,由它们组成变压器的器身。为了改善散热条件,大中容量变压器的器身浸入盛满变压器油的封闭油箱中,各绕组与外电路的连接则经绝缘套管引出。为了使变压器安全可靠地运行,还设有油枕、气体继电器和压力释放阀(安全气道)、吸湿器和分接开关等附件,如图 1-3 所示。



- 1—信号式温度计;2—铭牌;3—吸湿器;4—储油柜(油枕);5—油面指示器(油标);
6—安全气道(防爆管);7—气体继电器;8—高压套管;9—低压套管;10—分接开关;
11—油箱;12—铁芯;13—绕组及绝缘;14—放油阀;15—小车;16—接地端子

图 1-3 油浸式电力变压器结构示意图

下面分别介绍电力变压器的基本结构部件和附件。

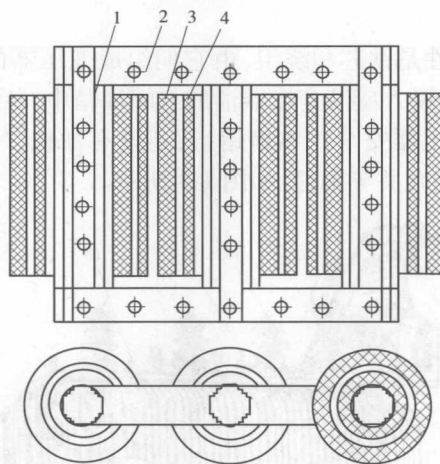
一、铁芯

铁芯是变压器的基本部件,由磁导体和夹紧装置组成,既作为变压器的磁路,又作为变压器的机械骨架。

在原理上,铁芯的磁导体是变压器的磁路。它把一次电路的电能转换为磁能,又把自己的磁能转换成二次电路的电能,是能量转换的媒介。为了提高导磁性能,减少交变磁通在铁芯中引起的损耗,变压器的铁芯都采用厚度为 $0.23 \sim 0.35 \text{ mm}$ 的电工钢片(硅钢片)叠装而成。电工钢片的两面涂有绝缘层,起绝缘作用。大容量变压器多采用高磁导率、低损耗的冷轧电工钢片。

在结构上,铁芯的夹紧装置不仅使磁导体成为一个机械上完整的结构,而且在其上面套有带绝缘的线圈,支持着引线,几乎安装了变压器内部的所有部件。

电力变压器的铁芯一般都采用芯式结构,其铁芯可分为铁芯柱(有绕组的部分)和铁轭(连接两个铁芯柱的部分)两部分。绕组套装在铁芯柱上,铁轭使铁芯柱之间的磁路闭合,如图1-4所示。



1—铁芯柱;2—铁轭;3—高压绕组;4—低压绕组

图1-4 芯式变压器结构

变压器正常运行时,铁芯和夹件等金属构件处于线圈的电场作用下,具有不同的电位。当两点之间的电位差达到能够击穿两者之间的绝缘时,相互之间就会产生放电,使固体绝缘损坏,油浸式变压器还能造成油的分解。为此,变压器的铁芯与其他金属间必须由油箱连接,然后接地,使它们处于同电位(零电位)。如果变压器在制造、检修过程中由于工艺控制不严等原因,造成铁芯多点接地,则相当于铁芯经多个接地点形成短路,短路回路中就会产生一定的感应环流,使铁芯局部损耗增加,产生局部过热,油浸式变压器还可导致油分解,产生可燃气体,最终可导致变压器事故的发生。因此,铁芯必须接地,且只能有一点接地。

在铁芯柱与铁轭组合成整个铁芯时,多采用交叠式装配,使各层的接缝不在同一地点,这样能减少励磁电流,但缺点是装配复杂,费工费时。在一般变压器中,铁芯柱截面采用外接圆的阶梯形。只有当变压器容量很小时才采用方形。

交流磁通在铁芯中会引起涡流损耗和磁滞损耗,使铁芯发热。在大容量变压器的铁芯中往往设置油道。铁芯浸在变压器油中,当油从油道中流过时,可将铁芯中的热量带走。

(一) 变压器铁芯(有外引接地引线)绝缘电阻的测量方法

变压器铁芯(有外引接地引线)绝缘电阻的测量方法为:将变压器铁芯的外引接地引线打开,测量变压器铁芯的绝缘电阻。

(二) 变压器铁芯(有外引接地引线)绝缘电阻的测量标准

(1) 与以前测试结果无显著差别,一般不小于 $200\text{ M}\Omega$ 。

(2) 运行中铁芯接地电流一般不大于 0.1 A 。

二、绕组

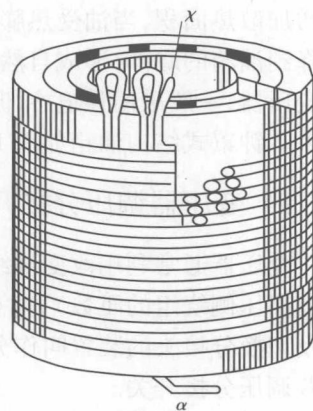
绕组是变压器的电路部分,用来传输电能,一般分为高压绕组和低压绕组。接在较高电压上的绕组称为高压绕组,接在较低电压上的绕组称为低压绕组。从能量的变换传递来说,接在电源上,从电源吸收电能的绕组称为原绕组(又称一次绕组或初级绕组),与负载连接,给负载输送电能的绕组称副绕组(又称二次绕组或次级绕组)。绕组一般是用绝缘的铜线绕制而成的。高压绕组的匝数多,导线横截面小;低压绕组的匝数少,导线横截面大。为了保证变压器能够安全可靠地运行以及有足够的使用寿命,对绕组的电气性能、耐热性能和机械强度都有一定的要求。

绕组是按照一定规律连接起来的若干个线圈的组合。根据高压绕组和低压绕组相互位置的不同,绕组可分为同心式和交叠式两种。如图 1-5 所示为同心式绕组结构。

变压器高、低压绕组的排列方式由多种因素决定。但就大多数变压器来说,同心式绕组是将高压绕组和低压绕组同心地套装在铁芯柱上,低压绕组紧靠着铁芯,高压绕组则套装在低压绕组的外面。这主要是从绝缘方面考虑的。理论上,不管高、低压两个绕组怎样排列,都能起到变压的作用,但变压器的铁芯是接地的,低压绕组紧靠着铁芯,从绝缘角度容易做到。如果将高压绕组靠近铁芯,由于高压绕组电压较高,要达到绝缘的要求,需要比较厚的绝缘材料和较大的绝缘距离,这样就会增大变压器的体积,既浪费了材料也不便运输。高、低压绕组之间还留有油道,油道一是作为绕组间的绝缘间隙;二是作为散热通道,使油从油道中流过,从而冷却绕组。在单相变压器中,高、低压绕组均分为两部分,分别套装在两铁芯柱上,这两部分可以串联或并联;在三相变压器中,属于同一相的高、低压绕组全部套装在同一铁芯柱上。同心式绕组结构简单,制造方便,芯式变压器一般都采用这种结构。

交叠式绕组是将高压绕组和低压绕组分成若干线饼,沿着铁芯柱交替排列而构成的,如图 1-6 所示。

为了便于绝缘和散热,高压绕组与低压绕组之间留有油道,并且在最上层和最下层靠近铁轭处安放低压绕组。交叠式绕组的机械强度高,引线方便,壳式变压器一般采用这种结构。



α —低压绕组首端; X —低压绕组末端

图 1-5 同心式绕组结构

三、油箱及附件

容量较大或户外使用的电力变压器,为了便于冷却和防止绝缘受潮,一般采用油浸式变压器,也就是把变压器的铁芯和绕组一起装入充满油的油箱内(小浪底水电厂6台型号为SSP10-360000/220的主变压器和1台型号为SFZ9-CY-20000/220的厂用变压器均为采用拱顶油箱的油浸式变压器)。为了迅速将铁芯和绕组产生的热量散发到周围空气中去,可采用增加散热面积的方法。

变压器油箱主要有平顶油箱和拱顶油箱两种。

平顶油箱为桶形结构,下部主体为油桶形,顶部为平面箱盖,在油箱的下部和箱盖之间加入胶条,用螺栓均匀对称把合形成整体;拱顶油箱为钟罩式结构(如图1-7所示),下底为盘形或槽形,上部为钟形箱罩,其间也用箱沿和胶条结合成整体。

桶形结构主要用于容量较大的变压器,采用在油箱壁的外侧装有散热管的管式油箱来增加散热面积,当油受热膨胀时,箱内的热油上升到油箱的上部,经散热管冷却后的油下降到油箱的底部,形成自然循环,把热量散发到周围空气中。钟罩式结构主要用于大容量变压器,一般采用强迫冷却的方法,如用风扇吹或水冷却器来冷却变压器油以提高散热效果。钟罩式结构油箱如图1-7所示。

四、变压器调压分接开关

变压器通常利用改变绕组匝数的方法进行调压。为了改变绕组的匝数(通常改变变压器高压侧绕组的匝数),把高压侧绕组分出若干个抽头,这些抽头叫作分接头,用以连接及切换分接头的装置叫作分接开关(见图1-8)。分接开关又分为无载调压分接开关和有载调压分接开关。

(一) 无载调压分接开关

无载调压分接开关必须在变压器完全停电的情况下进行分接开关的切换。调压电路按照线圈抽头分接方式的不同分为四种形式:

(1) 中性点调压电路,一般适用于电压等级为35 kV以下多层圆筒式线圈。

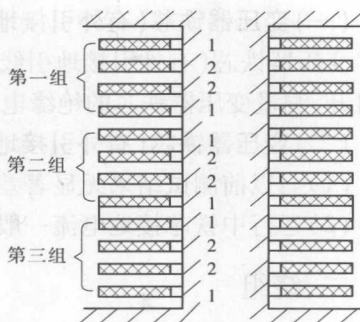
(2) 中性点“反接”调压电路,适用于电压为15 kV以下连续式线圈。

(3) 中部调压电路,适用于电压等级为35 kV以上连续式、纠结式线圈。

(4) 中部并联调压电路,适用范围同(3)。

其中第(1)种和第(2)种调压电路采用三相中性点调压无励磁分接开关;第(3)种和第(4)种调压电路则采用三相或单相中部调压无励磁分接开关。其调压范围为 $\pm 5\%$ 或 $\pm 2 \times 2.5\%$ 。

目前规定在变换分接挡位时,顺时针方向旋转,使线圈的匝数增多,终了的挡位数为1。无载调压开关是变压器的重要部件,必须保证其工作的可靠性,分接开关的触头应接触良好,并且有足够的绝缘距离。分接开关不管触头(一般为黄铜)的形式如何,受转动



1—低压绕组;2—高压绕组

图1-6 交叠式绕组结构

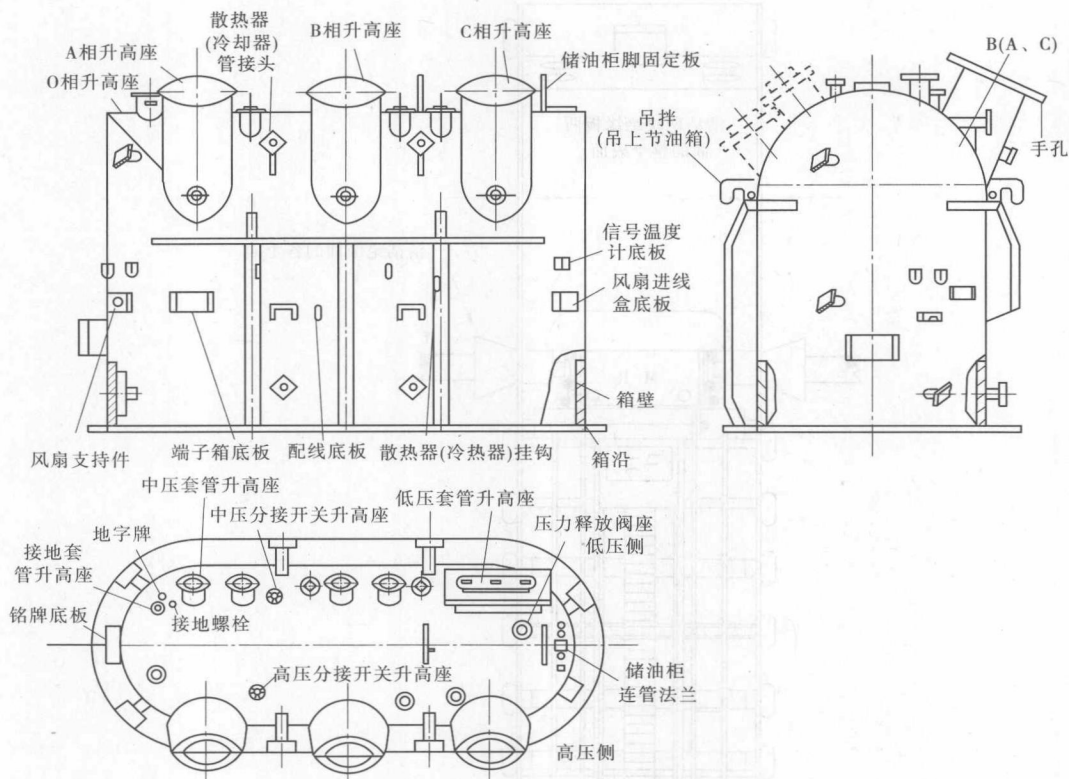


图 1-7 钟罩式结构油箱示意图

力矩限制,压力不宜太大;不管接触方式如何,在保持一定压力的情况下接触电阻越小越好。

大型变压器的无载调压分接开关分为楔形和夹片式两种,分别为 DWP 楔形和 DWJ 夹片式分接开关,均为单相中部调压方式。小浪底水电厂 6 台型号为 SSP10-360000/220 的主变压器采用的是 DWP 楔形无载调压分接开关。

此分接开关的型号为 DWP-220/1000,符号说明:D—单相、W—无激磁;P—楔形(即分接开关动触头为楔形);220—额定电压(kV);1000—额定电流(A)。

楔形无载调压分接开关安装在变压器的器身上,操作机构安装在变压器油箱上,其转动方向必须按照分接开关座上的标记方向转动。此开关采用偏转推进机构,主轴旋转 300°,动触头变换一个分接。操作方法是:现拧下 M6 螺钉,取下外罩,将手柄杆向一端拉出,再提起定位销钉并旋转 45°,然后按照座上标注的旋转方向转动手柄旋转 300°。当定位件缺口对准运行所需的位置后,再慢慢反方向转动一下,到转不动时,即确认分接开关已正位,放下定位销钉起到定位锁定的作用。

(二) 有载调压分接开关

若安装有有载调压分接开关,调整运行变压器的分接头改变电源电压时,无须切断变压器所带的负荷,保证了对用户的供电可靠性。小浪底水电厂共有 3 台变压器安装了有