

文章编号:1001-1609(2004)05-0324-03

# 感应电压试验与局部放电试验时的 典型试验回路与电压计算

葛为民

(常州工学院, 江苏 常州 213002)

## Typical Circuit and Calculation for Induced Withstanding Voltage Test and Partial Discharge Test

GE Wei-min

(Changzhou Institute of Technology, Changzhou 213002, China)

**摘要:**介绍了 220 kV 变压器感应电压试验和局部放电试验的特点,通过实例分析了如何选择分接头的位置,使得试验电压既达到国家标准,又保证变压器内部不会受到过度考核。此外,还给出了典型的感应电压试验和局部放电试验回路,并进行了线圈各部分的电压计算。

**关键词:** 变压器; 感应电压试验; 局部放电试验

**中图分类号:** TM406

**文献标识码:** A

**Abstract:** The features of induced withstanding voltage test and partial discharge test are introduced. An actual case shows that, under the condition that both the test voltage meets the requirements of national standard and the transformer is not subject to be over-stressed, the tap-position can be chosen accordingly. Typical test circuits are given, voltage calculation of windings are done, too.

**Key words:** transformer; induced withstanding voltage test; partial discharge test

## 1 感应试验电压

对于中性点全绝缘的变压器(60 kV 及以下的变压器均为中性点全绝缘变压器;110 kV 变压器当使用于冶金等行业时,业主有时也要求中性点全绝缘;近年来连一些直接与发电机相连的无载调压升压变压器亦要求设计为中性点全绝缘),1 min 工频电压试验时是一侧线圈施加电压,其余线圈接地,所以线圈各点对地电位相等,且等于试验电压,而线圈内部梯度为零,故 1 min 工频试验电压只能考核变压器的主绝缘。对于中性点半绝缘(又称分级绝缘)的变压器,由于线端和中性点的绝缘水平不一样,就不能将整个线圈施加相当于线端绝缘水平的工频试验电压(因为这将使得中性点的实际电位超过了它应该承受的绝缘水平),必须进行感应电压试验。通

过试验变压器对被试变压器施加约 2 倍频率的励磁电压,而使高压线圈线端感应出额定的工频试验电压。感应电压试验同时考核了变压器的主绝缘和纵绝缘。在感应电压试验时,其线圈各部分对地电压为线性分布,梯度为均匀分布的平均梯度处处相等,按照匝数的关系就能准确地计算出线圈各点的电位和梯度。对于中性点全绝缘的变压器,同样需要进行感应电压试验以考核变压器的纵绝缘。

三相 220 kV 变压器感应电压试验通常采用非被试相支撑法进行,这时高压侧中性点的电位一般不能满足其耐压考核要求,故对中性点绝缘的考核均在感应电压试验前用高压线圈外施中性点绝缘水平的额定工频试验电压来进行。

对于三线圈无载调压的 220 kV 变压器,在进行感应试验电压计算时,应该在高压线圈上选择一档最合适的分接位置,使得高压 220 kV 线端尽量接近额定试验电压 395 kV,同时中压 110 kV 线端达到额定试验电压 200 kV;在高、中压变比不匹配的情况下,会出现中压线端已经感应到 200 kV 的电位,而高压线端的感应电位略小于 395 kV,这也是允许的。

对于三线圈自耦无载调压的 220 kV 变压器,在进行感应试验电压计算时,必然会出现高压线端感应电压欠考核而相间试验电压过考核的情形,同样应该选择最合适的分接位置,使得高压线端的感应电位和异相间的电压差均尽量接近 395 kV,在这种变压器的绝缘结构设计时,必须以较高的相间试验电压作为相间绝缘距离的设计依据,而不是以常规的 395 kV 试验电压作为考核标准。

## 2 局部放电试验电压

110 kV 及以上电压等级的变压器,需考核长期工作电压,采用 1.5 倍的系统最高电压进行局部放

电测量。因此,进行局部放电试验电压计算时,应选择合适的分接位置和感应电压倍数,使得 110 kV 线端对地电位为  $1.5 \times 126 / \sqrt{3} = 109$  kV,使得 220 kV 线端对地电位为  $1.5 \times 252 / \sqrt{3} = 218$  kV;在设计无局部放电变压器的前提下,变压器绝缘结构内部的许用场强应较工频耐压或感应试验时的许用值为小。

局部放电试验的原理与感应试验相类似,不同的是,在局部放电试验时,高压及中压中性点均接地,感应倍数则通常约在 1.5~1.7。

对于高压侧 YN 接法的有载调压带独立调压线圈的非自耦的变压器,采用中性点调压方式;在进行局部放电试验时,三相共有的中性点接地,故此时相间对应各部分的电位差恒为零;在进行中性点工频耐压试验,相间同样没有电位差;在进行中性点全波冲击试验及高压线端感应耐压试验时,结论亦相同。因此,这种类型的变压器,它的相间绝缘距离实际上是由机械距离,而不是电气绝缘距离来决定,与中性点本身的绝缘水平亦无关系。

对于 220 kV 自耦有载调压带独立调压线圈的变压器,当采用恒磁通调压(高压调压,调压线圈连接于串联线圈的末端和公共线圈的首端)时,调压线圈与串联线圈的主绝缘距离必须考虑感应试验时高压首端入波而调压线圈悬空振荡;中压首端入波而高压首端接地或开路,调压线圈悬空振荡时的过电压情况,其中尤其是后面两种悬空振荡达到的电位将主要决定主绝缘距离,必须进行线圈各种情形下的波过程计算后才能确定。调压线圈之间的相间绝缘距离同样由三种过电压情况来决定。实际上,这种变压器由于调压线圈对串联线圈的振荡电位和调压线圈本身的悬空振荡电位梯度相当大,对于主绝缘距离、调压线圈结构形式、有载调压开关的分接选择器的绝缘水平都提出了相当苛刻的要求,以致于必须使用三个单相的有载分接开关来避免三相分接引线之间巨大的振荡电位,从而带来了内部引线绝缘及布置、外部油箱结构布置的复杂性骤增。同时,三个单相分接开关的造价数倍于一个三相分接开关的造价,而且为了能够选用分接选择器绝缘水平合适的分接开关,通常还需在每相调压线圈的首末端串入限制调压线圈本身的振荡电位的避雷器。综合上述因素,这种变压器的制造成本已经大大超出了自耦无载调压变压器,甚至略大于同规格的非自耦有载调压变压器。

### 3 实例

SFPS10-150000/220 型变压器,电压组合为  $220 \pm 2 \times 2.5\% / 121 / 10.5$  kV,接法为 YN yn0 d11,降压结构,高压线圈中部进线,内屏蔽连续式线圈,

$\sum 2 \times 44$  段,  $\sum 2 \times 634$  匝,分接段匝数为 15 匝,高压线圈匝数分布见图 1;低压线圈 50 匝,匝电势为  $e_1 = 10\ 500 / 50 = 210$  V/匝。其感应电压试验回路见图 2。

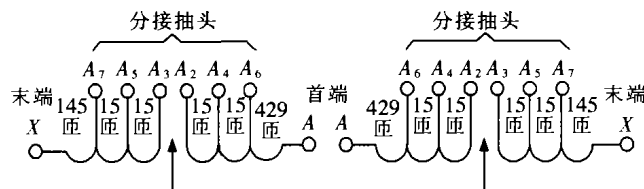


图 1 SFPS10-150000/220 型变压器高压线圈匝数分布图

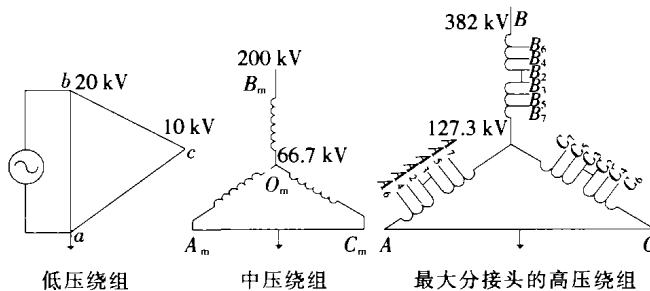


图 2 SFPS10-150000/220 型变压器感应电压试验回路

感应电压倍数  $K = (382 \times 2/3) / (220 \times 1.05 / \sqrt{3}) = 1.909 5$  倍,则:

$$U_{Bm} = (121 / \sqrt{3}) \times 1.909 5 \times (3/2) = 200 \text{ kV},$$

$$U_b = 10.5 \times 1.909 5 = 20 \text{ kV};$$

$$e_1' = 210.0 \times 1.909 5 = 410.0 \text{ V/匝} = 0.410 \text{ kV/匝},$$

$$U_{B6} = 382 - 429 \times 0.410 = 206.1 \text{ kV};$$

$$U_{B4} = 206.1 - 15 \times 0.410 = 200.0 \text{ kV},$$

$$U_{B2} = U_{B3} = 200.0 - 15 \times 0.410 = 193.9 \text{ kV},$$

$$U_{B5} = 193.9 - 15 \times 0.410 = 187.8 \text{ kV},$$

$$U_{B7} = 187.8 - 15 \times 0.410 = 181.7 \text{ kV}.$$

而另外两相的感应电压倍数为 1/2,

$$e_1'' = 210.0 \times 1.909 5 / 2 = 205.0 \text{ V/匝} = 0.205 \text{ kV/匝},$$

$$U_{A6} = U_{C6} = 429 \times 0.205 = 87.9 \text{ kV},$$

$$U_{A4} = U_{C4} = 87.9 + 15 \times 0.205 = 90.9 \text{ kV};$$

$$U_{A2} = U_{A3} = U_{C2} = U_{C3} = 90.9 + 15 \times 0.205 = 94.0 \text{ kV},$$

$$U_{A5} = U_{C5} = 94.0 + 15 \times 0.205 = 97.1 \text{ kV},$$

$$U_{A7} = U_{C7} = 97.1 + 15 \times 0.205 = 100.2 \text{ kV};$$

$$U_0 = 382 \times 1/3 = 127.3 \text{ kV}, U_{Om} = 200 \times 1/3 = 66.7 \text{ kV}.$$

变压器线圈布置见图 3,感应电压试验时线圈各部位及各引线间电位计算如下:

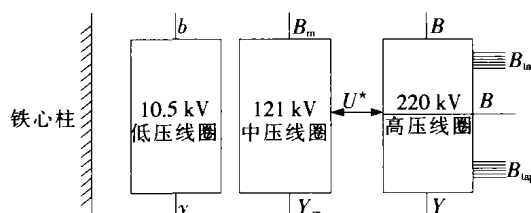


图 3 SFPS10-150000/220 型变压器线圈布置

(1) A, B, C 与分接头:

同相  $U_{\max} = 382 - 181.7 = 200.3$ ,选 205 kV;

异相  $U_{\max} = 382 - 87.9 = 294.1$ ,选 295 kV。

(2) A, B, C 与 O:

$U_{\max}=382-127.3=254.7$ , 选 255 kV。

(3)  $A, B, C$  与  $A_m, B_m, C_m$ :

同相  $U_{\max}=382-200=182$ , 选 185 kV;

异相  $U_{\max}=382-0=382$ , 选 385 kV。

(4)  $A, B, C$  与  $O_m$ :

$U_{\max}=382-66.7=315.3$ , 选 320 kV。

(5)  $A, B, C$  与  $a, b, c$ :

同相  $U_{\max}=382-20=362$ , 选 365 kV;

异相  $U_{\max}=382-0=382$ , 选 385 kV。

(6)  $A, B, C$  与地:

$U_{\max}=382-0=382$ , 选 385 kV。

(7)  $O$  与  $A_m, B_m, C_m$ :

$U_{\max}=127.3-0=127.3$ , 选 130 kV。

(8)  $O$  与  $O_m$ :  $U_{\max}=127.3-66.7=60.6$ , 选 65 kV。

(9)  $O$  与  $a, b, c$ :  $U_{\max}=127.3-0=127.3$ , 选 130 kV。

(10)  $O$  与地:  $U_{\max}=127.3-0=127.3$ , 选 130 kV。

(11)  $a, b, c$  与地:  $U_{\max}=20-0=20$ , 选 20 kV。

(12) 分接头与  $O$ :

$U_{\max}=206.1-127.3=78.8$ , 选 80 kV。

(13) 分接头与  $A_m, B_m, C_m$ :

同相  $U_{\max}=100.2-0=100.2$ , 选 105 kV;

异相  $U_{\max}=206.1-0=206.1$ , 选 210 kV。

(14) 分接头与  $O_m$ :

$U_{\max}=206.1-66.7=139.4$ , 选 140 kV。

(15) 分接头与  $a, b, c$ :

同相  $U_{\max}=206.1-20=186.1$ , 选 190 kV;

异相  $U_{\max}=206.1-0=206.1$ , 选 210 kV。

(16) 分接头与地:  $U_{\max}=206.1-0=206.1$ , 选 210 kV。

(17)  $O_m$  与  $A_m, B_m, C_m$ :

$U_{\max}=200-66.7=133.3$ , 选 135 kV。

(18)  $A_m, B_m, C_m$  与  $a, b, c$ :

同相  $U_{\max}=200-20=180$ , 选 180 kV;

异相  $U_{\max}=200-0=200$ , 选 200 kV。

(19)  $A_m, B_m, C_m$  与地:

$U_{\max}=200-0=200$ , 选 200 kV。

(20)  $O_m$  与  $a, b, c$ :  $U_{\max}=66.7-0=66.7$ , 选 70 kV。

(21)  $O_m$  与地:  $U_{\max}=66.7-0=66.7$ , 选 70 kV。

(注:  $U^*=382-(200+66.7)/2=248.7$ , 选 250 kV)

以上计算结果将作为主绝缘场强校验和引线间绝缘设计的重要依据。需要说明的是,从上面的计算结果可以看出,高压侧中性点和中压侧中性点的绝缘水平并没有得到真正的考核,所以还需要进行 1 min 工频耐压试验,分别对高压线圈和中压线圈施加 200 kV 和 140 kV 的试验电压,可知此时高、中压侧中性点对除本线圈出头以外的出头的电位差达到额定值,即 200 kV 和 140 kV,显然这两个数值大于感应电压试验时的 130 kV 和 70 kV。因此在进

行绝缘强度校验时,应该综合 1 min 工频耐压试验和感应电压试验两种情况,取其中电位差较大者作为场强校验的依据。

当变压器进行感应电压或工频耐压试验时,如果没有发生绝缘击穿现象,则认为该变压器通过了感应电压或工频耐压试验;而在进行局部放电试验时,通过局部放电试验的标准是视在放电量必须小于 300 pC 或 100 pC。这是一个相当严格的要求,因为气泡性局部放电量最大可达到几百 pC,而油中局部放电量至少有几千 pC。所以在设计无局部放电变压器绝缘结构时,内部电场的许用场强应控制器身内部的电晕不产生或发生后不致沿面扩展,通常此时许用场强数值为感应电压或工频耐压试验时许用场强的 0.92 倍。但是由于局部放电时的电位差小于感应电压或工频耐压试验时,故它对绝缘的考核严苛程度一般小于后者。因此笔者认为,局部放电问题更大程度上是一个制造工艺和材质的问题,而非设计问题。该变压器的局部放电试验回路见图 4,此时感应电压倍数  $K=218/(220 \times 1.05/\sqrt{3})=1.6346$  倍,则:

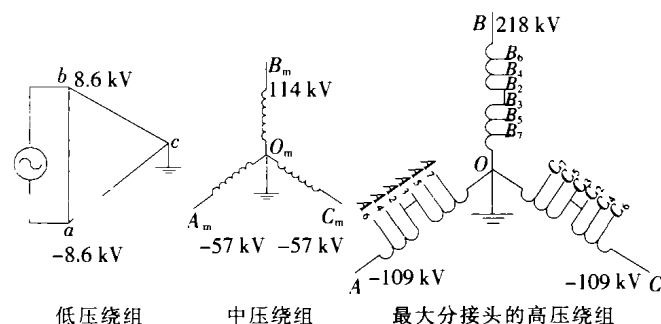


图 4 SFPS10-150000/220 型变压器局部放电试验回路图

$$U_{ab}=10.5 \times 1.6346=17.2 \text{ kV},$$

$$U_b=17.2 \div 2=8.6 \text{ kV}, U_a=-8.6 \text{ kV};$$

$$U_{Bm}=121/\sqrt{3} \times 1.6346=114 \text{ kV},$$

$$U_{Am}=-114 \div 2=-57 \text{ kV}=U_{Cm}.$$

图 4 中所示高压首端与中压相对应部位电位  $U^*=218-114/2=161 \text{ kV}$ ;如果是升压变压器,则该电位升高为  $U^*=218-(8.6-8.6)/2=218 \text{ kV}$ 。

## 4 结语

变压器绝缘设计的首要前提是了解变压器的绝缘试验,只有在知晓各种绝缘试验的原理、考核内容、试验回路和线圈及引线间电压计算的基础上,才能够有的放矢地进行绝缘设计,保证其可靠性、经济性、先进性。

作者简介:葛为民(1966-),男,江苏溧阳人,工学硕士,工程师、讲师,曾从事变压器的设计工作十余年,现从事相关方面的教学和科研工作。