

分布电容对高频高压变压器性能的影响及其控制措施

齐 玮¹, 钟和清², 林 磊², 邓 禹², 徐至新²

(1. 中国电子科技集团公司第二十七研究所, 河南 郑州 450005;

2. 华中科技大学电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 高频高压变压器的微小分布电容对变压器的性能和带有变压器的高频高压电源的性能有着重要影响, 分布电容会加大变压器的损耗, 降低了变换器的功率因数和效率。文中分析了高频高压变压器匝间电容和层间电容的大小对高频高压变压器的电压分布和可靠性的影响, 指出减小层间分布电容和降低单层电压对变压器的可靠运行的重要意义。通过对不同绕组结构型式下的层间分布电容大小的分析和比较, 指出采用“Z”型绕法和“ ”型绕法能够进一步减小高频高压变压器的层间分布电容, 同时降低了变压器的绝缘要求, 大幅改善高频高压变压器的电压分布, 提高了变压器的绝缘耐压水平和可靠性。

关键词: 高频高压变压器; 匝间分布电容; 层间分布电容; 绕组结构; 绝缘水平; 漏感

中图分类号: TM832; TM402

文献标识码: A

Influence of Distributed Capacitors on High-Frequency High-Voltage Transformers and Its Restricting Methods

QI Wei¹, ZHONG He-qing², LIN Lei², DENG Yu², XU Zhi-xin²

(1. 27th Research Institute, China Electronic Technology Corporation, Zhengzhou 450005, China; 2. College of Electrical and Electronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: The tiny distributed capacitors of high-frequency high-voltage transformer have significant influence on the performance of transformers and the performance of high-frequency high-voltage power supplies, which contain transforms. The distributed capacitors increase the loss of transformer, and decrease the power factor and efficiency of the converters. This paper analyses influence on the voltage distribution and reliability of high-frequency high-voltage transformers by the magnitude of the transformers' inter-turn distributed capacitor and inter-layer distributed capacitor. And the paper points out that, decreasing the inter-layer distributed capacitor and the layer voltage has great significance. After analyzing and comparing the inter-layer distributed capacitor of different kinds of winding structure, it is shown in the paper, that the “Z” type and “ ” type winding structure can further reduce the inter-layer distributed capacitor of high-frequency high-voltage transformers, and decrease the insulation requirement of the transformers. Moreover, it can improve the voltage distribution of the transformers greatly, and increase the transformers' insulation level and reliability.

Key words: high-frequency high-voltage transformer; inter-turn distributed capacitor; inter-layer distributed capacitor; winding structure; insulation level; leakage inductance

1 高频高压变压器分布电容的存在

在同容量的高频变压器和工频变压器中, 由于高频变压器的匝数远小于工频变压器, 其分布电容比工频变压器分布电容要大得多; 由于高频变压器工作频率较工频变压器高出许多倍, 因此高频变压器由分布电容形成的容纳将远远小于工频变压器的容纳, 这对高频高压电源的特性和运行十分不利^[1-4]。因此, 高频变压器的分布电容是不能被忽略的。故高频工作时变压器等效模型就不能采用工频时等效模型(其模型忽

略了分布电容)。

对于高频升压变压器(忽略铜耗和铁耗, 其等效电路如图 1(a)所示), 为减小变压器体积, 减少漏抗, 往往采用高导磁率铁磁材料, 因此, 变压器原边匝数相对较少, 且通常为单层, 原边匝间距离较大, 故原边分布电容往往可以忽略。同时, 为消除变压器原边和副边电容耦合而产生电磁干扰, 高频高压变压器还设有屏蔽绕组, 由于屏蔽层的存在, 大大减小了原副边耦合电容, 其影响可以忽略。但由于升压比较大, 高压侧分布电容却是不能被忽略的。忽略铜耗和铁耗以及变压器的激磁电抗, 实际的高频升压变压器的等效电路如图 1(b)所示。

变压器的分布参数主要是漏感和分布电容, 由于高频变压器采用绝缘性能好的软磁材料作磁路, 分布电容主要是匝间电容和层间电容。传统绕法变压器高压线包等效分布电容如图 2 所示。

收稿日期: 2008-03-28

基金项目: 国家高科技 863 研究发展计划。

作者简介: 齐 玮(1974-), 男, 河南郑州人, 工程师, 研究方向为电子信息技术;

钟和清(1974-), 男, 工学博士, 工程师, 硕士生导师, 研究方向为电力电子与电力传动技术、电磁兼容技术和脉冲功率技术。

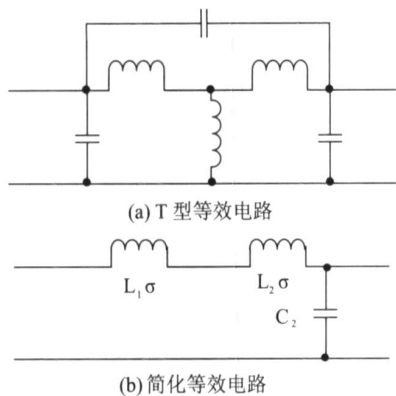


图1 变压器等效电路模型

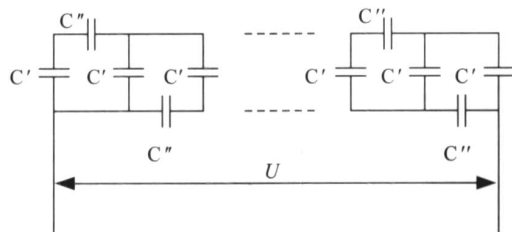


图2 变压器线包等效分布电容

由图2可以看出,绕组匝数越多,匝间分布等效电容就越小,层数越多,层间等效分布电容就越小。但变压器的漏感随着匝数和层数的增多而加大。因此减小漏感和减小等效分布电容是不可能兼得的。减小分布电容的同时增大了变压器漏感,减小漏感的同时却增大了等效匝间分布电容。

本文通过对绕组电压分布和绕组结构对分布电容的影响的分析,给出了减小分布电容的措施。

2 变压器绕组电压分布情况分析

高频高压变压器,副边绕组匝数较多,由多层串联而成。在高频交流电压下,变压器的绕组电压分布并不呈均匀分布,而且匝间电压的分布并不相等,其电压分布情况与绕组匝间电容和层间电容的大小密切相关。绕组单层电容分布如图3所示,图中, C_z 为匝间等效分布电容, C_g 为层间电容, N 为单层匝数, n 为从一端算起单层绕组中的第 n 匝。

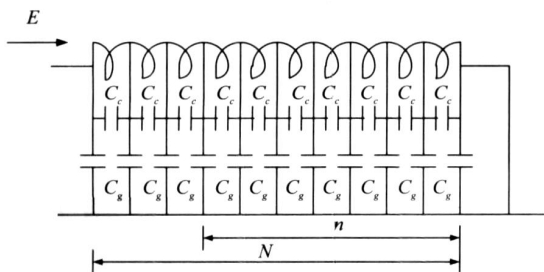


图3 单层绕组电容分布

定义 a 为层间等效分布电容与匝间等效分布电容之比, $a = C_g / C_z$, 单层绕组的电压分布如图4所示。

可以看出,因匝间分布电容和层间分布电容的存在,绕组匝间电势分布并不均匀,在交变高频电压下,

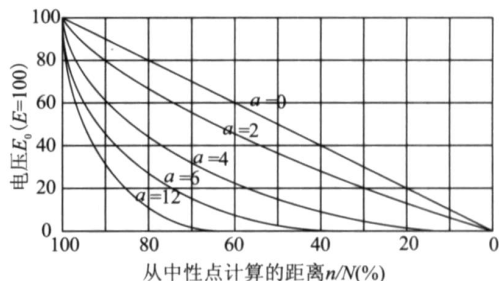


图4 单层绕组的电压分布图

单层绕组中间的匝电势最低,端部匝电势最高,这正是所有变压器出现绕组击穿时,基本上都在端部,而在绕组中间。由图4可以得出以下结论:

(1)层间等效分布电容越大, a 值越大,匝间电势分布就越不均匀,单层端部匝电势占单层总电压的比例就越高,要求匝间绝缘就越强。

(2)为减小 a 值,应加大层间距离。事实上,加大层间距离的同时,也增加了匝间电容,从而进一步减小了 a 值,改善了绕组电压分布。

(3)单层电压越高,每层端部匝电势就越高,对绝缘处理就越难。实际设计时应充分考虑变压器的电压分布情况,将单层电压设计到一个绝缘安全的水平。

3 绕组结构对变压器层间分布电容的影响

高频高压变压器高压侧绕组通常由多层线圈串联而成,因此还存在层间电容。层间电容的大小不仅与单层匝数的多少和层间绝缘距离及绝缘材料有关,还与绕组结构密切相关。

层间电容由两层之间的对应匝的电容并联而成。为分析方便,将层间的匝间电容近似等效为平板电容,故其大小与它们的距离成反比。相邻两层的电气连接方式主要有“]”型、“’”型、“Z”型三种。为便于比较,假设层间绝缘材料相同,平均绝缘厚度相等,分析三种电气连接方式下的层间分布电容情况。

3.1 “]”型接法层间电容分布分析

“]”型接法层间电容分布情况如图5所示, n 为单层匝数, d_i 为层间绝缘距离。 C_{zi} 为AB端入口两层绕组匝间电容,由于层间匝与匝间距离相等,故层间匝与匝之间的电容相等,对于AB端的交流输入电压,层间电容 C_{AB1} 可等效为:

$$C_{AB1} = \frac{n+1}{2} C_{zi} \quad (1)$$

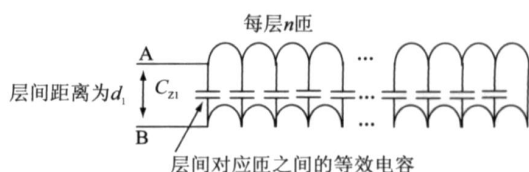


图5 “]”型接法层间电容分布图

由式(1)可以看出,匝数 n 越多,层间电容越大,层

间距离越大,层间等效电容就越小。

3.2 “型接法层间电容分布分析

“型接法层间电容分布情况如图6所示, n 为单层匝数, d_2 为层间绝缘距离, $d_2 = 2d_1$ 。“型接法即为常说的锥形绕法。 C_{Z2} 为AB端入口两层绕组匝间电容, $C_{Z2} = C_{Z1}/2$ 。该绕法层间匝与匝之间的等效电容是不等的,对于AB端的交流输入电压,层间电容 C_{AB2} 可等效为:

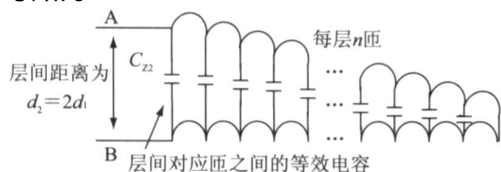


图6 “型接法层间电容分布图

$$C_{AB2} = nC_{Z2} \quad (2)$$

$$C_{AB2} = \frac{n}{2} C_{Z1} \quad (3)$$

3.3 “Z”型接法层间电容分布分析

“Z”型接法层间电容分布情况如图7所示, n 为单层匝数, d_1 为层间绝缘距离。 C_{Z3} 为AB端入口两层绕组匝间电容, $C_{Z3} = C_{Z1}$ 。由于层间匝与匝间距离相等,故层间匝与匝之间的电容相等,对于AB端的交流输入电压,层间电容 C_{AB3} 可等效为:



图7 “Z”型接法层间电容分布图

$$C_{AB3} = \frac{n}{2} C_{Z3} \quad (4)$$

$$C_{AB3} = \frac{n}{2} C_{Z1} \quad (5)$$

3.4 三种绕线方法的比较分析

由式(1)、(3)和(5)可得:

$$\frac{C_{AB2}}{C_{AB1}} = \frac{C_{AB3}}{C_{AB1}} = \frac{2n}{n+1} \quad (6)$$

可以看出,在相同线包厚度和绝缘材料情况下,当单层匝数较少时,采用“型”和“Z”型绕组结构,其层间分布电容比“型”绕组结构的小得多。匝数越多,其层间等效

分布电容差别就越小,且层间绝缘强度提高了1倍。

同样,在绝缘等级相同的情况下,分析可得:

$$\frac{C_{AB2}}{C_{AB1}} = \frac{C_{AB3}}{C_{AB1}} = \frac{2n}{n+1} \quad (7)$$

此时,采用“型”和“Z”型结构,其分布电容相对于“型”要大,但线包体积减小了,漏感也减少了。

4 层数对分布电容的影响

当变压器高压侧绕组匝数 N_2 一定时,单层匝数为 n_1 ,单个绕组层数为 n_2 ,绕组个数为 n_3 。

$$n_3 = \frac{N_2}{n_1 n_2} \quad (8)$$

绕组总层间电容的等效为:

$$C = \frac{n_3 C_{AB}}{N_2 (1 - 1/n_2)} \quad (9)$$

由式(9)可知,层数 n_2 越多,等效层间电容就越小;单层匝数 n_1 越少,层间电容也越小。但层数越多,变压器漏感就越大,并且层数的多少受铁芯窗口尺寸的限制。当层数 n_2 一定时,减少单层匝数 n_1 即增加绕组个数,能减小等效分布电容。

4 结论

为减少变压器分布电容,高压侧采用多个绕组串联方式,在每个绕组层数一定的情况下,绕组个数越多,等效分布电容就越小。采用“型”或“Z”型绕组结构能够有效降低等效分布电容,在单层匝数不多时这种效果更明显,而且提高了变压器的绝缘等级。因而,多层多绕组结构和采用“型”或“Z”型绕组结构能够有效减小高频高压变压器的分布电容,提高变压器的频率特性,同时提高了变压器的绝缘水平。

参考文献:

- [1] 钟和清,徐至新,邹旭东,朝泽云,李劲,林福昌. 软开关高压开关电源研究[J]. 高电压技术, 2003, 29(8): 7-9.
- [2] 陈赛宝,宋俊萍,岑文远. 用谐波法推算低频高压变压器的参数[J]. 机电工程, 1995, (4): 36-38.
- [3] 吴建强,吴辉,郭兴宽. 吸收法抑制高频高压变压器分布电容的研究[J]. 电力电子技术, 2002, 36(6): 43-44, 75.
- [4] 曾光,金舜,史明. 高频高压变压器分布电容的分析与处理[J]. 电力电子技术, 2002, 36(6): 54-57.

行业信息

太阳能电池特殊手机地震灾区直报疫情

近日,在国务院新闻办的新闻发布会上,卫生部有关负责人表示,截至5月27日12时,灾区无重大传染病疫情和突发公共卫生事件报告。卫生部疾病预防控制局局长齐小秋介绍,网络直报系统破坏后,卫生部门派出防疫队,通过队长的电话了解当地的疫情。齐小秋还介绍了一种特殊手机,使用太阳能电池,安装了用于网络直报的程序,发到遭损毁的医疗点,用信息报告疫情。

卫生部信息中心还建立了信息平台,基层医疗点的人可以报告一些可疑症状,如腹泻、发烧、呕吐、咳嗽等。目前为止,卫生部已做到了信息和监测的全覆盖,每天都能得到前24小时疫情发生的情况。

卫生部卫生应急办公室主任陈贤义表示,已对灾前疾病流行情况进行了分析和统计,并和灾区现状进行对比,“目前灾区的疫情没有超过常年疾病的分布情况。”

(摘自:新京报)