

高压变压器寄生电容对电晕处理机 工作频率影响的量化分析

徐同武, 刘 军, 何湘宁*

(浙江大学 电力电子技术研究所, 浙江 杭州 310027)

摘要: 为了量化高压变压器寄生电容对电晕处理机系统工作频率的影响, 通过实验获得了高压变压器单独工作和带电晕处理机负载两种工作条件下的实验波形, 测取了这两种工作条件下系统的谐振频率, 通过理论分析计算得到了高压变压器寄生电容值和电晕处理机负载的等效电容值。通过对比发现, 目前实验装置下高压变压器寄生电容值高达电晕处理机负载等效电容值的 1.5 倍, 此时系统谐振频率约为理想条件下变压器谐振频率的 0.6 倍, 研究分析结果表明寄生电容的存在对电晕处理机系统工作频率具有重要的影响。

关键词: 变压器; 寄生电容; 电晕处理机; 量化分析

中图分类号: TM46

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2010)10-0116-03

Quantitative analysis of the impact of high-voltage transformer parasitic capacitor on operating frequency of corona treatment machine

XU Tong-wu, LIU Jun, HE Xiang-ning

(Institute of Power Electronics, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: In order to quantify the impact of high-voltage transformer parasitic capacitor on operating frequency of corona treatment machine, experiments using high-voltage transformer with and without corona treatment load were done, respectively. The resonant frequency was measured, the capacitance of high-voltage transformer parasitic capacitor and the corona treatment load was calculated. The high-voltage transformer parasitic capacitor is up to 1.5 times of the corona treatment load by comparing in the current system, and the resonant frequency is about 0.6 times of which when the transformer is ideal. The results show that the parasitic capacitor has an important impact on the operating frequency of corona treatment machine.

Key words: transformer; parasitic capacitor; corona treatment machine; quantitative analysis

0 引 言

目前, 低温等离子体在医疗卫生、大气治理、污水处理和包装行业等领域有着越来越广泛的应用^[1-6], 在这些应用中, 一般通过高压变压器来得到产生低温等离子体所需的高频高压电, 其中高压变压器的漏感与容性负载之间的谐振升压起着重要的作用^[7-8]。实际上, 高压变压器高压绕组的寄生电容也参与了谐振升压, 尤其在放电负载等效电容较小的应用中, 高压变压

器寄生电容将起着重要作用。然而, 目前缺乏对这方面的量化分析。

本研究将以一台小型塑料薄膜电晕处理机系统为研究对象, 量化分析高压变压器寄生电容对电晕处理机系统工作频率的影响。

1 实验系统

本实验系统主电路原理图如图 1 所示, 直流母线电压经过全桥逆变之后接升压变压器和负载, 通过变压器

升压以及变压器漏感和容性负载谐振升压,在电晕处理机上得到产生低温等离子体所需的高频高压电压。

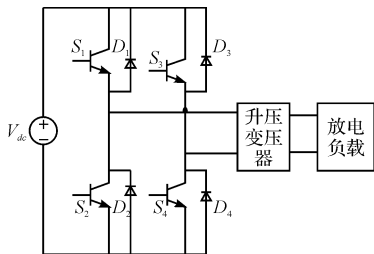


图 1 主电路原理图

系统控制功能框图如图 2 所示。控制中采用了锁相技术,即逆变器输出电压频率实时跟踪逆变器输出电流的频率,并保持两者同相位。

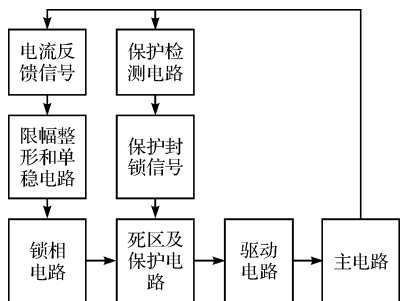


图 2 系统控制功能框图

锁相技术解决了因放电负载工作点不同和环境因素造成负载谐振频率变化所带来的问题,保证了逆变器输出电压和电流始终处于锁相状态,提高了系统功率因数,实现了功率器件的软开关,减小了电路损耗。

当采用了锁相技术之后,系统工作频率即为负载谐振频率。因此,可通过测量驱动频率以得到负载谐振频率。

2 变压器和放电负载的等效模型

高压变压器的等效模型^[9]如图 3 所示(图中 L_{m1} 和 L_{m2} 分别为变压器原副边的励磁电感, C_p 为高压绕组寄生电容)。高压变压器匝比较大,高压绕组电容值折算到低压侧时容值较大。在低频应用场合 C_p 对电路工作的影响可以近似忽略,但是随着电路工作频率的升高,其影响会越来越大。在工业应用中电晕机的工作频率约为 10 kHz ~ 30 kHz,此时 C_p 的影响已经不容忽视。

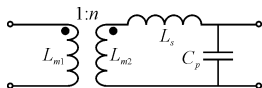


图 3 变压器等效模型

放电气隙和绝缘介质组成,其等效模型如图 5 所示 (C_g 为气隙等效电容, C_d 为绝缘介质等效电容, E 为气隙放电电压),当气隙上的电压超过放电电压 E 后,气隙被击穿,气体放电开始,同时 C_g 上的电压被箝位为放电电压 E ,此时负载中只有 C_d 参与谐振;当气隙上的电压低于 E 后,放电停止, C_g 和 C_d 共同参与谐振。

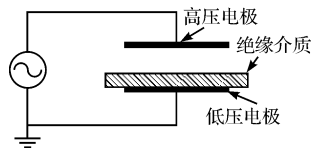


图 4 放电负载

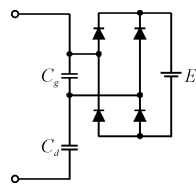


图 5 负载等效模型

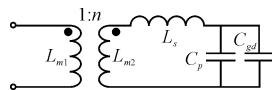


图 6 未放电时变压器及负载等效模型

当考虑变压器寄生电容时,未放电时变压器和负载等效模型如图 6 所示 (C_{gd} 为 C_g 和 C_d 的串联等效电容)。由图 6 可知,在 L_s 已知的情况下,通过测量高压变压器单独工作和带负载两种工作条件下系统的谐振周期,可由下式求解得到 C_p 和 C_{gd} 的值:

$$\begin{cases} T_{r1} = 2\pi \sqrt{L_s C_p} \\ T_{r2} = 2\pi \sqrt{L_s (C_p + C_{gd})} \end{cases} \quad (1)$$

式中 T_{r1}, T_{r2} —变压器单独工作和带负载时系统的谐振频率。

3 实验研究

本研究通过测量寄生电容 C_p 和负载等效电容的大小,定量研究 C_p 对系统工作频率的影响,因此,笔者进行了如下 2 组实验:

(1) 系统不带负载工作,测量此时系统谐振周期 T_{r1} ;

(2) 系统带负载工作,未放电,测量此时系统谐振周期 T_{r2} 。

高压变压器不带负载和带负载未放电时的实验波形如图 7、图 8 所示(CH1 为逆变桥 S_1 的驱动波形,锁相代表了系统谐振频率;CH2 为逆变器输出电流波形,即谐振电流)。

放电负载结构图^[10]如图 4 所示,由高、低压电极,

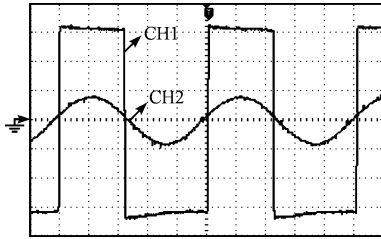


图 7 变压器不带负载时的实验波形
(CH1:5 V/div, CH2:3.5 A/div, 10 μ s/格)

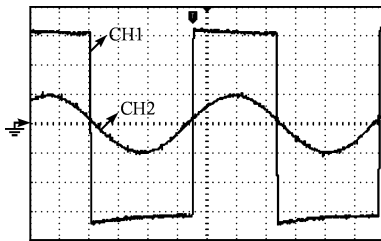


图 8 变压器带负载,未放电时的实验波形
(CH1:5 V/div, CH2:3.5 A/div, 10 μ s/格)

通过 LCR 测量仪 MT 4800A 可以方便地测量得到变压器的如下参数:原边励磁电感 $L_{m1} = 2.264$ mH, 副边励磁电感 $L_{m2} = 3.3$ H, 等效到副边的漏感为 $L_s = 473$ mH。

在锁相条件下,图 7 和图 8 中驱动频率代表了负载谐振频率,由此可得高压变压器单独工作时谐振周期 $T_{r1} = 50$ μ s、带负载未放电时谐振周期为 $T_{r2} = 64$ μ s。代入到式(1),可计算得到变压器寄生电容值和负载等效电容值分别为 $C_p = 133.8$ pF 和 $C_{gd} = 85.4$ pF。

如表 1 所示,汇总了电路的重要参数,并分别给出了考虑和不考虑变压器寄生电容 C_p 时系统的谐振频率。

表 1 参数汇总

L_s /mH	473	
C_p /pF	133.8	
C_{gd} /pF	85.4	
C_p/C_{gd}	1.5	
系统谐振频率/kHz	不考虑 C_p	考虑 C_p
	25.0	15.6

从表 1 中可以看出,变压器寄生电容 C_p 高达负载等效电容值的 1.5 倍。不考虑 C_p 时,系统谐振频率为 25.0 kHz;而考虑 C_p 时,系统谐振频率为 15.6 kHz,前者是后者的 1.6 倍,相差较大。由此可见, C_p 的存在对系统谐振频率具有重要的影响。

4 结束语

本研究以实际的升压变压器和电晕处理机为例,通过实验计算得到了变压器高压绕组寄生电容值和负载等效电容值,并且计算了变压器为理想条件和非理想条件时系统的谐振频率,通过对比定量分析了变压器高压绕组寄生电容对系统工作频率的重要影响。

在工业应用中,当负载等效电容较小的时候,变压器高压绕组寄生电容就可能会对系统工作频率有较大的影响。

本文的研究内容对电晕处理机系统中变压器的设计、主电路和控制系统的的设计有很好的参考价值。

参考文献(References):

- [1] KOGELSCHATZ U, PATTERNED F. Diffuse barrier discharges [J]. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 2002, 30(4):1400-1402.
- [2] TAKAKI K, FUJIWARA T. Multipoint barrier discharge process for removal of NO_x from diesel engine exhaust [J]. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 2001, 29(3):518-520.
- [3] 刘永军. 低温放电等离子体在水处理中的应用 [D]. 兰州:西北师范大学化学化工学院, 2004:10-19.
- [4] 刘勇,何湘宁,张仲超. 脉冲密度调制串联谐振型塑料薄膜表面处理电源的研制 [J]. *中国电机工程学报*, 2005, 25(16):158-159.
- [5] 刘芳,黄海涛,黄绍松,等. 电晕放电等离子体杀菌的实验研究 [J]. *工业安全与环保*, 2009, 35(8):1-3.
- [6] 黄齐飞. 介质阻挡放电技术去除柴油机 NO_x/HC 和 PM 排放物 [J]. *质量技术监督研究*, 2009(3):27-28.
- [7] GILBERT A J, BINGHAM C M, STONE D A, et al. Normalized analysis and design of LCC resonant converters [J]. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2007, 22(6):2386-2388.
- [8] CHEN Zhi-yu. Impedance matching for one atmosphere uniform glow discharge plasma(OAUGDP) reactors [J]. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 2002, 30(5):1922-1923.
- [9] 赵修科. 开关电源中磁性元器件 [M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社, 2002.
- [10] 刘勇,张琪,何湘宁. 介质阻挡放电电源的负载特性分析 [J]. *电力电子技术*, 2006, 40(4):101-103.

[编辑:李辉]