

Trigatron 开关大电荷量传输实验研究

陈维青, 曾正中, 来定国, 程亮, 邹丽丽

(西北核技术研究所, 陕西 西安 710024)

Experiment Study on the Accumulated Charge Flux of Trigatron

CHEN Wei-qing, ZENG Zheng-zhong, LAI Ding-guo, CHENG Liang, ZOU Li-li

(Northwest Institute of Nuclear Technology, Xi'an 710024, China)

摘要: 针对一种高功率重复频率脉冲驱动源的 Trigatron 开关典型工作条件(输出电流 20 kA, 脉宽 25 ns, 100 万次脉冲, 累积传输电荷 500 C), 研制了一种长寿命 Trigatron 开关, 触发电极采用一种四周具有一定数量缺口的圆盘式结构。在峰值电流 23 kA, 单次电荷传输量 0.1 C 条件下, 对开关进行了 500 C 电荷传输实验。实验后开关触发特性没有劣化, 表明开关在典型工作条件下, 可以传输大于 500 C 的电荷量。

关键词: 高功率重复频率脉冲驱动源; Trigatron; 电荷传输
中图分类号: TM86 文献标识码: A

Abstract: According to a classical working condition of the high power repetition frequency drive source, a long life Trigatron is designed. Trigger electrode adopts a type of disk structure, with a certain number of notches on it. And then, the accumulated charge flux experiments are carried out. The peak value of current is 23 kA and the charge flux is 0.1 C per discharge. The whole charge flux is 500 C. The experimental results show that the trigger performance of the Trigatron become better after the accumulated charge flux experiments. These facts indicates that the charge flux of this Trigatron can be greater than 500 C.

Key words: high power repetition frequency drive source; trigatron; charge transfer

0 引言

Trigatron 型气体火花开关最初是作为雷达高功率调制器用开关^[1], 目前 Trigatron 开关也常被采用在重复频率脉冲驱动源中^[2-4]。构成开关的主要部件为两个主电极, 其中一个为高压电极, 另一个电极和负载相连, 一般称之为地电极。触发电极处于地电极中间, 典型 Trigatron 型火花开关见图 1。

研究表明, Trigatron 开关的使用寿命主要取决

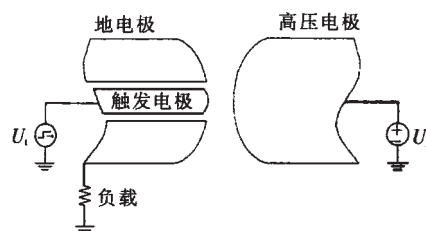


图 1 典型 Trigatron 开关示意图

于触发针的寿命^[3, 5-6], 因此在保证不降低开关性能的前提下, 如何提高开关触发电极的耐烧蚀特性是开关设计中需要考虑的关键因素之一。

1 开关结构设计

Trigatron 开关的触发电极一般设计为针状结构, 以期获得良好的触发特性, 但这样不可避免地造成开关触发电极的可用烧蚀面积过小, 开关寿命较短。研究表明, 如果将开关的触发针改成触发盘, 开关触发特性不会明显下降, 因触发盘的有效烧蚀面积远大于触发针, 理论上可以有效延长开关的使用寿命^[7]。基于这种思想, 设计了一种长寿命的 Trigatron 型气体火花开关, 触发电极采用一种四周具有一定数量缺口的圆盘式结构。参照开关的工作条件为: 承受电压 1.4 MV, 充电电压前沿约 50 μ s, 输出峰值电流 20 kA, 脉冲宽度 25 ns, 脉冲数 100 万次, 总电荷传输量 500 C。利用有限元电场计算程序对开关电场分布进行了模拟计算, 计算中未考虑缺口的影响, 模型为二位轴对称模型。图 2(a) 为高压电极在触发脉冲施加前后电极表面电场强度的变化, 图 2(b) 为触发电极在触发脉冲施加前后电极边缘电场强度的变化。计算结果表明, 开关间隙电场分布比较均匀, 间隙最大场强位于触发间隙正对位置的高压电极上, 触发电极施加相反极性触发电压后,

收稿日期: 2006-07-10; 修回日期: 2006-09-04

基金项目: 803 主题资助课题。

作者简介: 陈维青(1973-), 男, 博士研究生, 主要从事脉冲功率技术方面的研究。

开关高压电极表面的电场强度变化不大, 而触发电极边缘的电场强度变化很大, 可见开关的工作原理为: 触发间隙首先发生击穿, 主开关在触发间隙放电的作用下引燃。

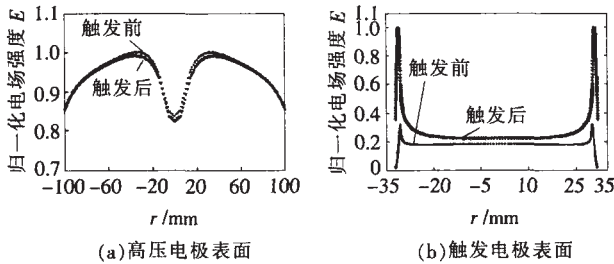


图2 电极表面的电场分布

2 实验装置及实验方法

参照开关的工作条件, 在峰值电流 23 kA, 单次电荷传输量 0.1 C 条件下, 对设计的开关进行了 500 C 电荷传输实验。

实验装置由两部分组成, 一部分为小电流放电平台, 主电容为 11 nF, 放电电流控制在 2~3 kA, 主要进行开关电极表面放电清洗和电荷传输前后的性能测试。另一部分为大电流放电平台, 主电容为 1.4 μ F, 放电电流控制在 20~30 kA, 单次电荷传输量约 0.1 C, 主要进行开关电荷传输实验。

电荷传输实验分两步进行, 首先对开关进行小电流自击穿放电, 次数不少于 300 次; 其后测量开关的击穿电压及触发特性。完成开关性能测试后, 改用大容量电容进行电荷传输实验; 完成电荷传输实验后, 再将开关移回小电流放电平台进行开关性能测试。通过测试开关在 500 C 电荷传输前后的自击穿电压以及触发特性来比较分析开关性能。500 C 电荷传输实验中, 开关工作电压为 80 kV, 外触发电压为 30 kV, 前沿约 18 ns, 放电电流控制在 20~30 kA, 开关绝缘介质选用高纯 N_2 , 气压 0.1 MPa, 每次放电间隔时间相同, 累积放电次数大于 5 000 次。图 3(a) 为开关电荷传输回路, 图 3(b) 为电荷传输回路的电流波形, 电流峰值约为 23 kA。

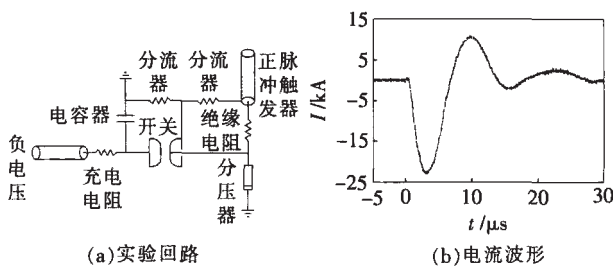


图3 电荷传输实验回路和电流波形

3 实验结果及分析

3.1 开关电极在 500C 电荷传输前后的宏观变化

实验后电极照片见图 4。可以看出, 触发电极烧

蚀轻微, 地电极上放电点分布于触发间隙周围, 高压电极上放电点呈现环形分布, 位于触发间隙的正对面(结果和前面的电场模拟结果一致), 两电极上的放电点分布均匀。

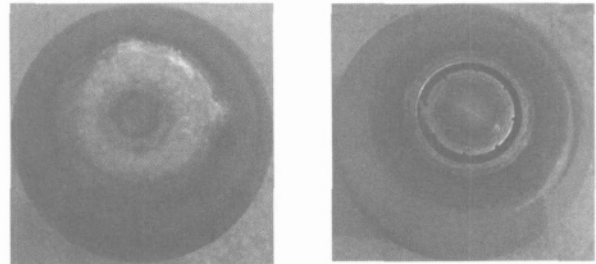


图4 实验后电极照片

3.2 电荷传输对开关耐压性能的影响

对比开关在累积 500 C 电荷传输前后的平均自击穿电压发现, 开关经过 500 C 电荷传输后, 其自击穿电压略有下降, 下降幅度仅为 2.5%, 可见开关经过 500 C 的电荷传输量后, 仍然保持相当好的耐压性能。

3.3 电荷传输对开关触发特性的影响

由于 Trigratron 开关寿命主要受限于触发电极的性能, 通过等效电荷传输实验可以比较严格地检验开关触发电极的寿命。图 5 所示为开关在 500 C 电荷传输前后触发延时及抖动的变化情况。

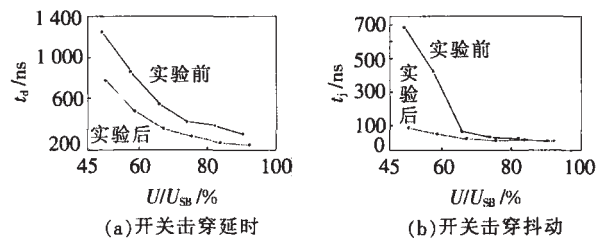


图5 开关击穿延时和抖动随欠压比的变化

从图 5 可以看出, 其不同欠压比下的击穿延时和抖动都有所减小, 说明开关经过 500 C 电荷传输后, 其触发特性不但没有劣化, 反而有所改善, 这表明开关具有传输大于 500 C 电荷量的能力。

4 结语

实验结果表明, 实验后 Trigratron 触发特性没有劣化, 反而有所改善, 说明开关在典型工作条件下, 具有传输大于 500 C 电荷量的能力, 满足高功率重复频率脉冲驱动源对 Trigratron 的技术要求。

参考文献:

- [1] Gerhard Schaefer. Gas Discharge Closing Switches [M]. New York: Plenum Press, 1990.
- [2] 陈首燊, 李丁九. 重复频率脉冲功率技术 [J]. 电工电能新技术, 1988, 7(3): 14-19.
- [3] McPhee A J. 3D Electrostatic Modeling of an Extended Lifetime, 100pps, 500kV, Low Jitter (下转第 96 页)

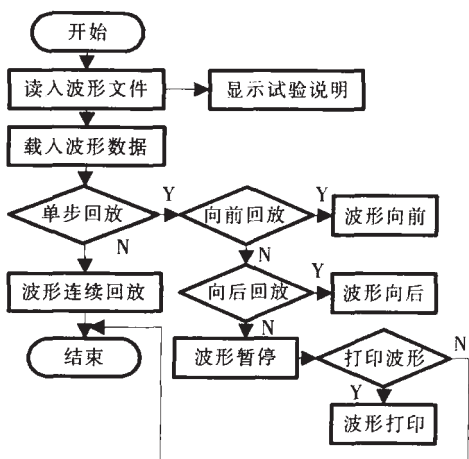


图 4 波形回放模块流程图

准波形对系统进行了检验,图 5 为系统测得的正弦、方波、三角波波形。从图中可以看出,泄漏电流测量系统采集到的波形能够如实地反映信号的情况。

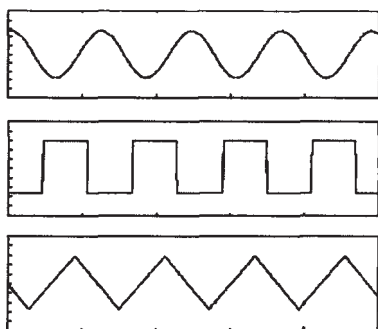


图 5 泄漏电流测量系统测得的波形

利用这套泄漏电流测量系统,进行了大量的人工污秽试验。在多次污闪的冲击下,系统运行状态仍然良好。图 6 为用升压法进行污秽试验过程中测得的泄漏电流波形,图 6(a)表示施加电压很小,绝缘子表面没有干区形成,此时的泄漏电流幅值很小,而且接近正弦,绝缘子表面没有放电;图 6(b)表示随着电压升高,绝缘子表面可能出现小火星时的泄漏电流波形,此时的泄漏电流值仍然很小,但是波形已经开始畸变;图 6(c)表示大电弧出现时的泄漏电流波形,此时的泄漏电流幅值较大,通常是一群大幅值脉冲持续出现,伴随的放电现象是明亮的电弧;

图 6(d)表示临闪前的泄漏电流波形,在临闪前,泄漏电流迅速增大,最后监测到的电流为试验系统的短路电流。

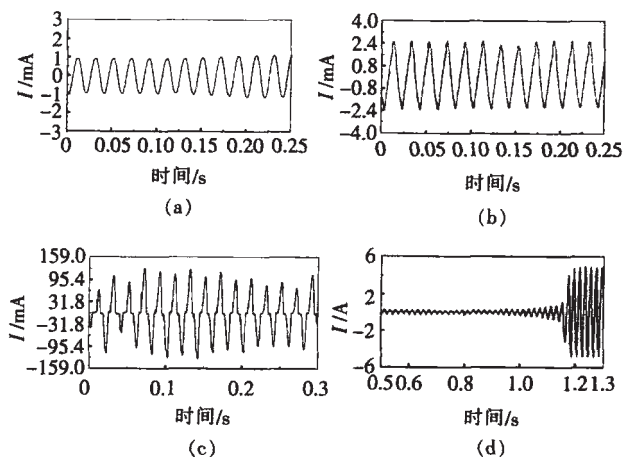


图 6 污秽试验泄漏电流波形

4 结语

研制了一套适用于污秽试验的泄漏电流测量系统,给出了测量系统的结构,详细介绍了测量传感器的设计和保护措施。

实验表明,该系统具有量程大、采样率高、测量精确等优点,且提供了良好的过电压和过电流保护,能在污秽试验中保持系统的稳定性,对泄漏电流的深入研究具有重要的意义。

参考文献:

- [1] 关志成,王绍武,梁曦东,等.我国电力系统绝缘子污闪事故及其对策[J].高电压技术,2000,26(6):37-39.
- [2] 蔡伟,李敏,杨颜红.污秽绝缘子在线监测系统的设计与实现[J].电力系统自动化,2002,17(3):77-81.
- [3] 焦尚彬,刘丁,郑岗,等.基于遥测技术的输电线路绝缘子污秽在线监测系统[J].电力系统自动化,2004,28(15):71-75.
- [4] Youssef M, El-Alayly A A. Remote Monitoring of Surface Current Over Insulators[C]// Transmission and Distribution Conference and Exposition: 2001 IEEE/PES 2001(1): 113-116.
- [5] 肖登明,潘龙,李晓东,等.变电站污秽泄漏电流在线监测[J].高电压技术,1998,24(1):28-29.

(上接第 93 页)

Trigatron [M]. 11th IEEE International Pulsed Power Conference, Baltimore, MD, 1997.

- [4] 罗敏,赵殿林,甘延青,等.兆伏级重复频率三电极气体开关工作特性研究[J].强激光与粒子束,2005,17(6):905-908.
- [5] McPhee A J, Somerville I C, MacGregor S J. The Design and Testing of an Extended Lifetime, High Voltage, Low Jitter Trigatron for Repetitive Operation [C]// Proceedings of

- 1 0th IEEE International Pulsed Power Conference, Albuquerque, New Mexico, 1995: 232-237.
- [6] McPhee A J. Design and Testing of a 500 kV Trigatron with Sub-ns Jitter [M]. SPIE Int. Symp. on Photonics for Industrial Applications, Boston, 1994.
- [7] 陈维青,曾正中.触发管型气体火花开关触发电极结构研究[J].强激光与粒子束,2005,17(8):1213-1215.