

污秽实验室泄漏电流测量系统的研制

毛颖科^{1,2}, 关志成¹, 王黎明¹, 毛苏春²

(1. 清华大学深圳研究生院能源与电工新技术实验室, 广东 深圳 518055; 2. 清华大学电机系, 北京 100084)

Development of a Leakage Current Monitoring System for Pollution Test Lab

MAO Ying-ke^{1,2}, GUAN Zhi-cheng¹, WANG Li-ming¹, MAO Su-chun¹

1. Graduate School at Shenzhen, Tsinghua University, Shenzhen 518055, China;

2. Department of Electrical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

摘要: 研制了一套适合污秽实验的泄漏电流测量系统, 详细介绍了其传感器的设计原理以及过电压和过电流的保护设计, 给出了软件部分的主要功能, 并通过人工污秽试验, 对系统进行了验证。

关键词: 泄漏电流; 污秽试验; 绝缘子; 监测

中图分类号: TM216

文献标识码: A

Abstract: In this paper, a leakage current monitoring system suitable for pollution test is developed. The designs of the leakage current sensor and protective device are introduced in detail. The functions of the software are described. The system is validated by the artificial pollution tests.

Key words: leakage current; pollution test; insulator; monitoring

0 引言

污闪是危害电力系统安全的灾难性事故之一。近几年, 我国污闪事故不断发生, 给国民经济造成了很大的损失^[1]。由于泄漏电流和污闪过程密切相关, 研究泄漏电流对掌握污闪机理和进行污闪预警有着重要的意义, 而泄漏电流测量装置则是研究泄漏电流的主要手段。

目前, 泄漏电流在线监测技术已比较成熟。多种形式的污秽电流在线监测系统已经在电力系统得到了应用^[2-3], 但是在线监测系统和实验室监测系统的要求存在很大差异: 在线监测系统一般都只统计若干泄漏电流特征量, 不需要很高的采样率、数据传输速度和大容量的存储空间, 同时由于现场运行绝缘子泄漏电流通常都很小, 使得在线监测系统更加注重弱电流的测量; 实验室的研究, 则要求完整地记录泄漏电流

的波形, 以便后续的研究, 所以在采样率、传输速度和存储空间上都有较高的要求, 并且污闪试验过程中泄漏电流的幅值变化非常大, 可能从几个毫安到几十个安培, 所以要求泄漏电流测量系统的量程很大, 同时为了保护系统在长期的工作中不被污闪引起的过电压、过电流破坏, 系统需要有很好的保护措施。

根据上述特点, 笔者研制了一套适合污秽实验的泄漏电流测量系统。

1 泄漏电流测量系统硬件的开发

1.1 泄漏电流测量系统的整体结构

泄漏电流测量系统硬件设计的基本思想是: 如实地反映泄漏电流的基本特征; 运用多种保护手段对监测系统各部分进行有效的保护, 严格保证测量系统的安全运行。泄漏电流测量系统的结构框图见图 1。

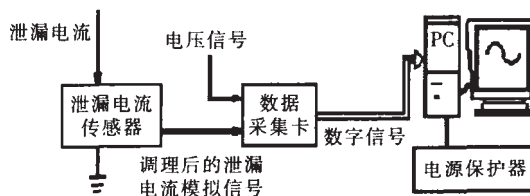


图 1 绝缘子泄漏电流测量系统结构框图

使用时, 将泄漏电流传感器串入试品和地之间, 使得试验中的泄漏电流完全流过传感器。传感器本身带有过电压和过电流保护装置, 防止绝缘破坏时将高压引入测量系统。绝缘子表面的泄漏电流经传感器采样、调理后变为适合数据采集卡输入的模拟信号, 送入采集卡, 并被转换成数字信号, 输入主控计算机。在计算机上通过一套自行编制的软件完成测量、数据存储以及监测分析等功能。与电流信号同

收稿日期: 2006-08-09

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50377020)。

作者简介: 毛颖科(1981-), 男, 博士研究生, 从事电力系统外绝缘监测和诊断方面的研究。

时输入的还有电压信号，它由其它的传感器获得，输入采集卡处理。同时，将一台电源保护器和计算机电源相连，防止试品闪络瞬间引起地电位的抬高，破坏主控计算机。

1.2 泄漏电流传感器的设计

泄漏电流传感器的设计是泄漏电流测量系统研制的关键。污闪瞬间通常会有较大的冲击电压和电流，很容易造成电源系统的破坏。为了保证泄漏电流测量系统能够在长时间的污闪试验下稳定工作，系统采用电阻式的泄漏电流传感器，这样可以保证传感元件本身不被瞬态电压和电流破坏，还可以保证波形没有畸变，同时使得系统可以不作任何变换就能适用于交直流的污秽试验。

电流传感器的原理见图 2。泄漏电流传感器被串联入待监测线路中，使得泄漏电流完全流过传感器， R_{s1} 和 R_{s2} 为采样电阻，分别对幅值较大和较小的泄漏电流波形进行采样。电流信号经过采样电阻变换为电压信号，通过电缆送入数据采集卡进行测量。采用两段式的泄漏电流传感器，能够保证数据采集卡的输入始终保持较大的值，从而提高了系统的精度。

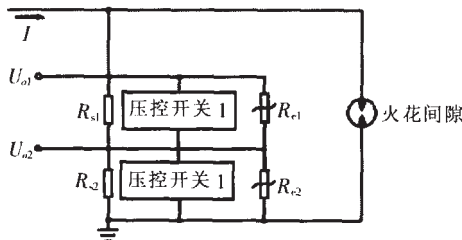


图 2 电流传感器原理

1.3 传感器的保护设计

由于数据采集卡的最大输入电压只有 ± 10 V，为了保持采样电阻的输出电压在此范围内，必须研制一套快速、可靠的保护装置，限制采样电阻两端的电压，同时将污秽放电的能量进行泻放。

该系统采用和电阻并联的压控开关、氧化锌压敏电阻以及火花放电间隙作为传感器的多级式过电压保护装置，对系统进行有效保护。第 1 级保护由专门设计的压控开关构成，当采样电阻两端的电压超过数据采集卡的输入范围时，开关自动闭合，提供放电回路，使得采样电阻两端的电压保持在数据采集卡的输入范围内，开关响应速度为几个 ns。第 2 级保护由氧化锌压敏电阻构成，它是 N 型半导体的 ZnO 晶粒和含杂质偏析的晶界所构成的多晶结构，属于晶体型压敏材料，导通非常迅速，理论冲击响应速度约 1 ns，考虑接线电感等因素，实际的响

应速度为 50 ns。过流时氧化锌压敏电阻两端的电压被抑制，基本保持恒定。第 3 级保护为火花间隙，它实质是两个紧密靠近的平板电极。当出现过电压或过电流时，间隙击穿，放电通道在几十到几百 μ s 内形成，能够泄放大量能量。

2 泄漏电流测量系统软件的研制

测量分析软件主要包括泄漏电流波形的测量和显示、泄漏电流特征量的提取以及数据回放 3 部分。

泄漏电流波形的测量和显示流程见图 3，系统采用循环采样的方法从泄漏电流传感器上获得数据。在软件中通过合适的大小电流合并算法，实现对泄漏电流的精确测量。

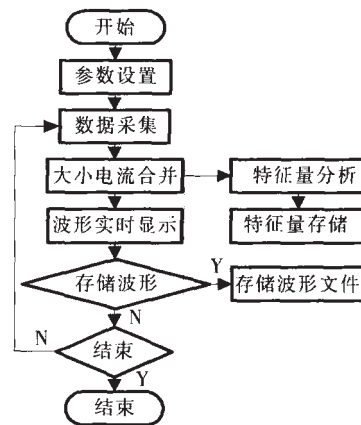


图 3 泄漏电流实时测量模块流程图

软件通过实时的分析，从泄漏电流波形中提取出如下的泄漏电流特征量：①泄漏电流峰值；②各档脉冲数；③峰值电流对应脉冲持续时间；④峰值电流对应脉冲累计电量。

每次试验，软件都会创建一个表格用于存储特征量文件，每隔一定的时间（可根据用户需要调整），系统将分析获得的最新泄漏电流特征量添加至表格的末尾，并实时显示在软件界面上。

数据回放模块包括波形回放和特征量回放两部分，两者流程类似。波形回放时，首先将波形数据和试验说明从存储的文件中分离，然后将数据还原为波形，见图 4。软件具有波形的连续回放和单步回放的功能，在单步回放时，可以实现对波形的打印。

通过软件和硬件的配合，系统可以实现对污秽试验泄漏电流的精确测量，量程可达 1 mA ~ 5 A，采样率为 10 kHz（可根据用户要求，在 0 ~ 50 kHz 之间调整），测量误差小于 3%，解决了泄漏电流信号动态变化范围大的问题。

3 泄漏电流测量系统的验证

为了验证泄漏电流测量系统的可靠性，利用标

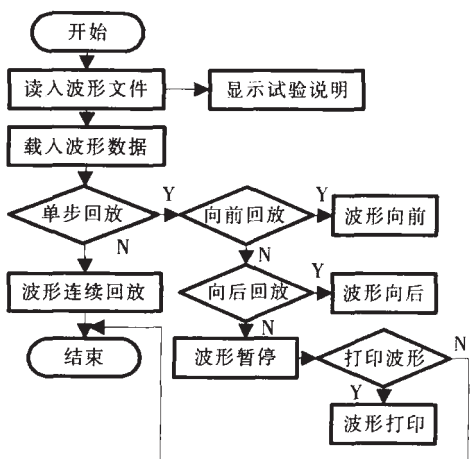


图 4 波形回放模块流程图

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。

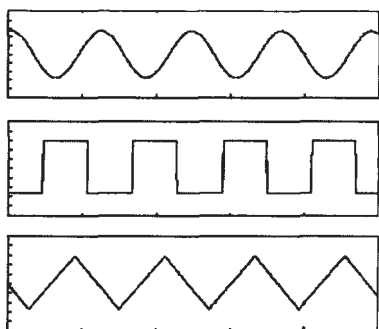


图 5 泄漏电流测量系统测得的波形

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。

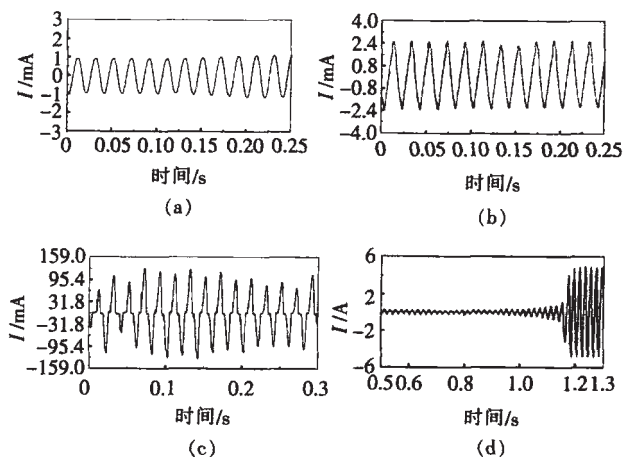


图 6 污秽试验泄漏电流波形

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.