

文章编号: 1000 5013(2010) 05- 0496- 03

利用弧声信号的电弧预警保护系统设计

张亮, 张认成, 吴仕平, 蔡洁

(华侨大学 机电及自动化学院, 福建 泉州 362021)

摘要: 基于开关柜电压在电弧故障时电压变化率在零区时最大的规律, 研制一种弧声信号的电弧预警保护系统. 根据电弧发生燃弧现象之前会有比较明显的弧声信号的情况, 用相应的声音传感器将电弧声音从复杂的背景噪声中提取出来, 经过信号调理电路和计算机软件系统的运算, 设定合适的幅值阈值, 实现对故障电弧的报警. 实验结果表明, 设计的电弧预警保护系统效果良好.

关键词: 故障电弧; 开关柜; 弧声; 预警; 电压

中图分类号: TM 560. 1+ 2; TM 711

文献标识码: A

开关柜内部故障电弧是配电系统中一种非常严重的故障^[1]. 故障电弧一旦产生, 将会通过各种效应, 释放出巨大的声、光、电、热等能量, 轻则使母线烧毁、开关设备报废、变压器损坏, 重则引起燃烧爆炸, 危及人身安全, 造成重大的社会经济问题^[2]. 因此, 研究故障电弧的早期探测方法, 降低故障电弧产生的危害和几率, 具有深远的现实意义. 目前的很多种母线保护措施, 其响应时间都超过 ICE 298 标准附录中规定的中低压开关柜内部耐受的最大燃弧时间 100 ms, 容易造成误判和漏判, 无法满足快速性和可靠性. 本文以燃弧伴生的弧声信号为判据, 建立了一种故障电弧预警保护系统.

1 系统原理

电弧预警保护系统是基于开关柜电压在电弧故障时, 其电压变化率在零区时出现最大的规律, 如图 1 所示.

首先, 将采集到的弧声信号变换并放大、滤波. 用滤波器对电压信号的谐波进行处理后输至脉冲成型器, 将电压的突降信息变成脉冲. 该脉冲经单稳态触发器后形成恒定幅值、宽度不变的脉冲, 输至积分器进行积分输出值, 然后至比较器. 当积分器输出幅值超过比较器的设定值时, 启动线路, 经延时后发出脱扣信号, 故障电弧的上游断路器分闸, 从而实现对故障电弧的预警保护.

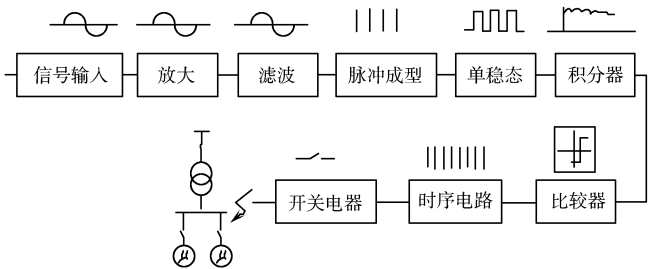


图 1 系统原理图

Fig. 1 Schematic of the system

2 实验平台的建立

为了研究在多种复杂因素下伴生弧声信号的内在特征, 建立一个适合多种类型放电的试验系统. 故障电弧探测实验平台, 主要由电弧放电发生装置和数据采集系统两大部分构成.

数据采集是沟通实验平台和信号处理模块之间的桥梁. 它采用支持 DMA 方式和双缓冲区模式的 PCI-6024E 数据采集卡(美国 NI 公司), 保证了实时信号不间断采集与存储. 该数据采集卡的主要参数:

- (1) 16 路单端/8 路差分模拟输入;
- (2) 采样速率为 $200 \text{ kHz} \cdot \text{s}^{-1}$;
- (3) 输入精度为 12 bits;
- (4) 输入范

收稿日期: 2008 12 24

通信作者: 张认成(1961-), 男, 教授, 主要从事现代检测技术、信号实时获得与特征提取的研究. E-mail: phzzrc@hqu.edu.cn.

基金项目: 福建省科技计划重点项目(2009H0031)

围: $-10\sim 10\text{ V}$, $-5\sim 5\text{ V}$, $-1\sim 1\text{ V}$, $-0.05\sim 0.05\text{ V}$; (5) 输入增益为 1, 10, 100; (6) 8 个数字 I/O; (7) 2 个定时器/计数器; (8) 采样精度 0.008 mV .

电弧产生装置由轻型高压试验变压器、控制箱和放电装置构成, 如图 2 所示. 图 2 中, 控制箱可以调节电极间电压, 调节范围为 $0\sim 50\text{ kV}$. 在实验过程中, 当轻型高压试验变压器两级电压均匀升高到一定程度时, 在两个放电电极间就会产生电弧放电现象. 为了模拟实际放电情况, 电极有棒形、锥形、球形 3 种形状, 可根据实际情况进行更换.

3 结果与分析

在实验中可以发现, 设置电极间距为 90 mm , 不断增大电极间电压, 会有弧声和燃弧现象的产生. 这个弧声是很有规律的, 弧声信号中心频率不随外界环境的改变而改变^[3]. 通过对采样弧声信号的频谱分析, 可以知道弧声频率在 $5.2\sim 9.8\text{ kHz}$ 之间, 中心频率在 7.5 kHz 左右.

当放电电极选择针型电极, 极间间距为 90 mm 时, 不断增大电极电压, 其弧声采样频率为 60 kHz 的频谱图, 如图 3 所示. 从图 3 可知, 当电极间电压从 0 kV 逐渐增加到 16 kV 时, 电极间的绝缘介质没有被电压击穿, 没有产生弧声信号; 当电压增量到 30 kV , 虽然无法观测到弧光的产生, 但形成弧光前的电弧声音已经产生. 随着电压的不断增大, 电弧声音信号越来越明显, 最后, 两极间绝缘介质被彻底击穿, 故障电弧产生. 此时, 电弧声仍然存在, 并伴随有强电流产生, 两极间发出白色眩目的拉弧现象.

从多种放电电极类型在不同电极间距、电极电压等不同环境下的频谱图^[3]可知, 电弧声音将会在发生故障电弧的早期产生, 信号频率带宽为 $5\sim 8\text{ kHz}$. 通过检测这段频率的声音信号是否产生, 可以预测和诊断故障电弧的发生.

4 系统的模拟与开发

电弧预警报警系统结构框图, 如图 4 所示. 在模拟实验中发现, 当两极间电压达到 30 kV 左右时, 开始产生电弧声; 当电极电压达到 45 kV 左右时, 电极间开始放电, 产生燃弧现象^[3]. 放电时刻产生短路电流, 弧声, 弧光等伴生信号都有明显的变化, 如图 5 所示.

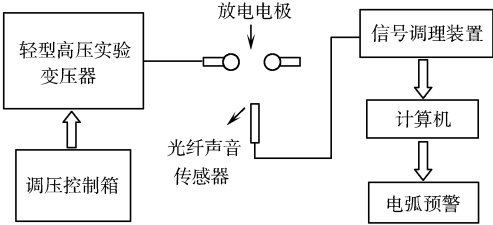


图 2 电弧放电实验装置图

Fig. 2 Experimental setup layout of arc discharge

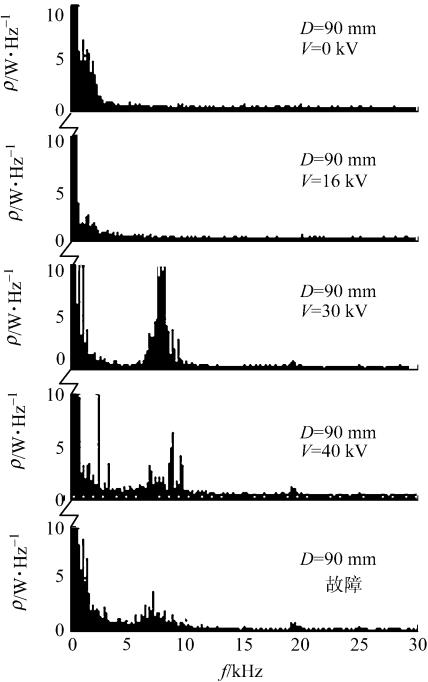


图 3 锥形电极的能量频谱密度图

Fig. 3 Energy spectral density map of conical electrode

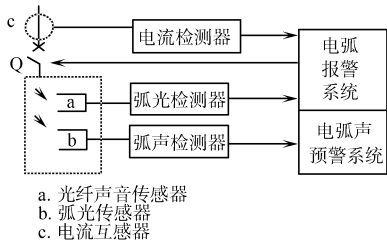


图 4 电弧预警和报警系统

Fig. 4 Arcing early warning and warning system

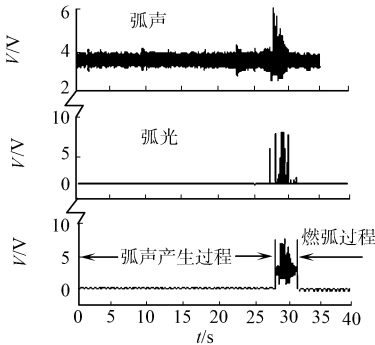


图 5 伴生信号的波形

Fig. 5 Waveform of associated signal

利用声音传感器把外界声音信号采集进来, 经过调理电路将被测信号调理成 $-5 \sim +5 \text{ V}$ 输入信号, 送入数据采集卡, 转换为相应的数字信号. 然后, 由计算机进行相关分析、计算、输出处理、显示图形, 从而实现预警功能.

由于实验环境噪声的影响很大, 电弧弧声常常淹没在强背景噪声中. 实验发现, 电弧声信号中心频率不随外界环境的改变而改变, 通过对采样弧声信号的频谱分析, 可以知道电弧弧声的中心频率在 7.5 kHz 左右. 预警程序是在 Lab VIEW 平台上完成的. 将现场采集的声音信号输入到构造完整的检测系统中, 利用滤波提取出频率在 7.5 Hz 左右的声音信号, 进行能量求解. 将结果与初始设定的阈值比较, 若大于这个阈值, 则提取出的声音信号是弧声信号, 发出警报; 若小于阈值, 则提取出的声音信号中没有弧声信号, 不发出警报^[4].

当两极之间电压增大到 45 kV 时, 两极间开始放电, 同时伴随弧光信号和电流信号的产生. 利用霍尔电流传感器和光电探测器, 将这两路信号接入硬件电路中, 经过放大和比较电路, 实现报警功能. 由于电流和弧光是同时发生, 为了避免系统误判和漏判, 在两路之间加一个逻辑与门, 利用数据融合技术^[5], 当弧声的两种特征信息都存在时, 将发出报警.

3 结论

在故障电弧保护监测系统中加入弧声预警机制, 可及时排除电路故障, 为故障电弧报警和切除提供可靠的依据, 避免不必要的断电和满足故障电弧快速报警. 例如, 目前的母线保护方案报警时间在 300 ms 左右, 而弧声预警在 7 ms 内可以发出报警信号, 加上断路器 $35 \sim 60 \text{ ms}$ 的跳闸时间, 可以满足在 100 ms 内切除故障电弧的要求. 实验表明系统是可行的, 能满足中低压开关柜的故障电弧监测要求.

参考文献:

- [1] LAND H B, EDDINS C L, GAUTHIER L R, et al. Design of a sensor to predict arcing faults in nuclear switchgear [J]. IEEE Trans on Nuclear Science, 2003, 50(4): 1161-1165.
- [2] 王冠宇. 微弱信号检测的理论研究及实践[D]. 杭州: 浙江大学, 1998: 14-29.
- [3] ZHANG Ren-cheng, YANG Jian-hong, DU Jian-hua. Study on in-process detection and diagnosis of faults arc based on early sounds signature and intermittent chaos [J]. Key Engineering Materials, 2008, 381/382: 611-614.
- [4] 蔡彬, 陈德桂, 吴锐, 等. 开关柜内部故障电弧的在线检测和保护装置 [J]. 电工技术学报, 2005, 20(10): 83-87.
- [5] 仲启树, 张认成, 杜建华. 数据融合技术在火灾早期探测中的应用 [J]. 华侨大学学报: 自然科学版, 2008, 29(1): 11-13

Design of Arcing Early Warning and Protective System Using Arc Sound Signal

ZHANG Liang, ZHANG Ren-cheng,
WU Shi-ping, CAI Jie

(College of Mechanical Engineering and Automation, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

Abstract: An arcing early warning and protective system using arc sound signal is designed, based on zero zone's largest rule of the change rate of switchboard voltage in arc fault. According to the fact that there exists arc sound more obviously before its burning, the arc sound was picked up from the complicated background noise using the corresponding sound sensors. Then, the appropriate amplitude threshold values were established by signal conditioning circuits and the calculation of computer software systems to realize the early warning of fault arc. Experimental results have proven the good effects of the designed arcing early warning and protective system.

Keywords: fault arc; switchboard; arc sound; early warning; voltage

(责任编辑: 陈志贤 英文审校: 郑亚青)