

基于多信息融合的故障电弧保护系统的应用研究

杨建红, 张认成, 杜建华

(华侨大学机电及自动化学院, 福建 泉州 362021)

Study on Application of Arcing Protective System Faults Based on Multiple Information Fusion

YANG Jian-hong, ZHANG Ren-cheng, DU Jian-hua

(Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

摘要: 在以故障电弧弧声、弧光、短路电流为表征信息的基础上, 提出了一种新的电弧保护方案。以发生燃弧之前的弧声为判据, 建立了故障电弧预警机制; 以燃弧伴生信号弧光、短路电流为判据, 建立了故障电弧的报警机制。实验表明, 该系统可以对开关柜的故障电弧起到双重保护作用。

关键词: 故障电弧; 预警; 弧声; 报警; 弧光

中图分类号: TM773

文献标志码: A

Abstract: This paper mentioned a new method for the monitor system of arcing fault based on the characterization information of sound arc, arc and short-circuit current. The process of arcing fault protection was separated in two stages. First, arcing sound appeared before it burning, the system sent out early warning at once. If the fault was not precluded in time, then arcing light and short-circuit current would occur, meanwhile the system would send out warning. Second, the experimental platform was created, and its average amplitude frequency spectrum was calculated. The wave peak of arcing light and short-circuit current were detected, and appropriate threshold values were established by experiment. Experiment proves that the system can do double protection to arcing fault.

Key words: arcing fault; early warning; arcing sound; warning; arcing light

0 引言

中低压开关柜内部的故障电弧发生频率高, 会造成灾难性的严重后果^[1]。目前国产故障电弧保护系统主要采用变压器后备过流保护方案和馈线过流保护闭锁变压器过流保护方案, 前一种方案由于出线 and 分段开关的过流保护按阶梯原则配合, 一般保护跳闸时间为 1.2~1.4 s, 后一种保护方案动作时间一般为 300~400 s。由于这两种方案的动作执行器都是在电弧发生后开始切断, 客观上切断动作需要

一定时间, 故动作时间都超过 ICE 298 标准附录 AA 中规定的中低压开关柜内部耐受的最大燃弧时间(100 ms)。同时, 传统的故障电弧保护方案一般不能避免燃弧的产生, 对故障电弧的产生没有预警作用, 虽然采用快速的切断方案, 但是开关柜和下游的用电设备肯定会受到一定程度的破坏, 且容易造成误判或漏判, 造成不必要的经济损失, 无法满足快速性和可靠性^[2, 3]。

笔者提出一种新的开关柜故障电弧保护方案, 将整个故障电弧保护过程分成两个阶段: 第 1 阶段为燃弧没有发生的弧声产生阶段, 由于在发生燃弧之前已经有电弧弧声产生, 利用光纤声音传感器检测弧声信号并将其作为产生预警信号的判据, 对开关柜的故障电弧作出预警判断, 并立即对开关柜进行故障排除, 从而避免燃弧的产生, 同时启动弧光和短路电流检测装置; 第 2 阶段为燃弧产生阶段, 在燃弧发生阶段伴随有短路电流和弧光产生, 一旦故障电弧弧声产生, 在预警产生后, 短路装置进入预动作状态, 如果检测到有弧光和短路电流证明有电弧产生, 立即启动报警切除系统。报警系统主要以弧光、短路电流两种信号的融合作为判据, 从而达到快速切除断路器, 降低燃弧对开关柜造成的损失。据此建立了开关柜故障电弧的预警、报警系统。

1 故障电弧特性的实验研究

1.1 实验平台的建立

为了模拟实际开关柜中的故障电弧的产生, 建立了电弧产生装置, 该装置是由控制台、油浸变压器、放电装置组成, 见图 1。控制台可调节电极间电压, 调节范围为 0~50 kV。由控制台输出低压, 通过变压器升压后达到放电电压, 放电装置由放电支架和电极等组成, 为了模拟实际放电情况, 电极有棒

收稿日期: 2007-02-14; 修回日期: 2007-05-23

基金项目: 福建省科技计划重点项目(2005H036); 华侨大学自然科学基金资助项目(06HZR010)。

作者简介: 杨建红(1976-), 男, 讲师, 主要从事检测技术与自动化装置研究。

形、锥形、球形3种形状,可根据实际情况进行更换。

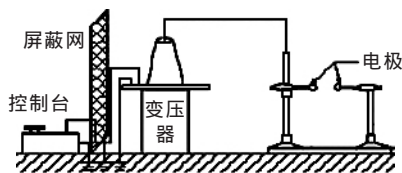


图1 电弧产生装置

由于电弧的伴生信号湮没在复杂的背景电磁噪声下,系统对弧声信号的提取采用FOM光纤声音传感器,该传感器是一种无源器件且不含电子和金属成分,是利用膜片的振动来改变反射光的强度,具有如下特点:①非常宽的频响范围(0.5 Hz~10 kHz);②高灵敏度(500 mV/Pa)和高信噪比(>63 dB);③优异的抗电磁干扰性能。这些性能很好地满足了实验过程中弧声的提取。考虑到实验过程中的安全性,采用霍尔电流传感器测量变压器和控制台之间的短路电流,这个电流比实际放电的电流要小。为了实现快速探测弧光,实验中采用了外增强型PIN硅光电二极管Dsi200作为弧光探测器。

1.2 故障电弧弧声的实验分析

电弧弧声源于电弧能量的变化,其本质上表现为电弧阴极与阳极之间等离子体体积变化。体积的变化引起等离子流的运动并带动电弧周围质点偏离平衡位置,并将它们的机械运动由近及远传播,形成电弧声波。

在上述的实验平台中,电极间距取90 mm,对电弧弧声信号的频谱分析见图2。图2中分别采集电极电压为0.30、40 kV时3组数据,对这3组数据频谱分析可以发现背景噪声主要集中在2 kHz以下的低频段,当电压上升到30 kV时在5.5~10 kHz的频段内有波峰存在,电极在40 kV时在5.5~10 kHz的频段内也有波峰存在,说明弧声信号频率集中在该频段内,且弧声信号在电压上升的过程中频率是比较稳定的。求出频谱图在弧声频段内幅值的平均值,通过实验设定阈值,如果幅值的平均值大于或等于阈值,说明有弧声信号产生,从而通过保护系统发出预警信号。

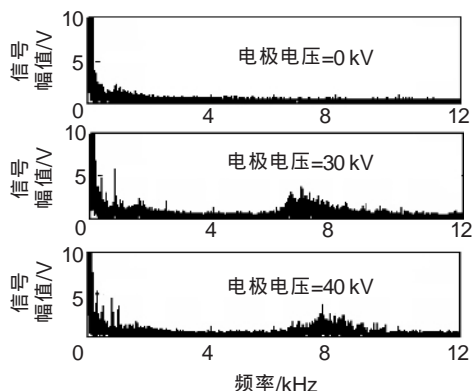


图2 弧声在不同电压下频谱分析

1.3 弧声、弧光、短路电流复合特征信号的内在联系

开关柜产生故障电弧是一个比较复杂的过程,由多种原因引起,其中一个重要的原因就是绝缘老化。导线老化是一个缓慢的过程,一旦有部分导线老化,可能不会立即产生故障电弧,但是已经具备了产生故障电弧的趋势,这时候可能已经有嗤嗤的故障电弧弧声,实验结果见图3。在电极间电压达到30 kV时,开始产生电弧弧声,这时没有燃弧产生,当电极电压达到46 kV时电极开始放电,产生燃弧。放电时刻产生短路电流、弧光等伴生信号,燃弧过程中产生非常强的弧光和较大的短路电流,通过实验设定弧光和短路电流的幅值阈值,以弧光和短路电流作为判据产生报警信号。由此分析,把故障电弧产生过程可分为两个阶段^[4, 5]。

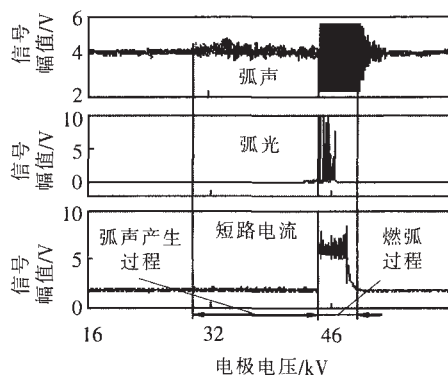


图3 弧声、弧光、短路电流的变化波形图

2 故障电弧预警、报警系统的建立

2.1 系统保护原则

在故障电弧燃弧产生的前期测量故障电弧的弧声,输入预警系统,从而发出预警信号,启动电流和弧光检测系统。燃弧产生阶段测量短路电流和弧光,输入报警系统,发出报警信号。保护系统见图4。图4中a为光纤声音传感器,b为弧光传感器,c为电流传感器,。当图4中的a光纤声音传感器探测到电弧弧声,系统立即启动弧光检测器和电流检测器。电弧报警系统以弧光和电流作为判据做报警判断。

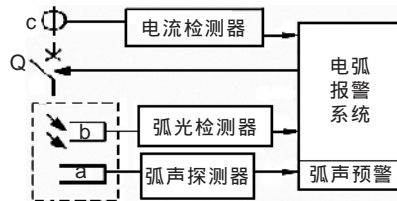


图4 电弧短路的报警和预警系统

2.2 系统软件设计

软件设计的流程图见图5,程序分为预警和报警两个主要模块,预警系统主要为声音数据的采集,取所采集数据中的2048个数据点为采样点进行FFT计算^[6, 7]。由图2可知,弧声的频谱分析图中有

低频的噪声和工频干扰，所以对频谱图进行带通滤波，滤波后的频谱图在 5.5 ~ 10 kHz 有波峰，然后利用 mean 函数计算该频段波峰的平均值，将计算后的平均值与设定的阈值进行比较。阈值是通过多次实验来设定的，如果大于或等于阈值则证明有弧声存在，系统发出预警信号。对采集的短路电流和弧光时域波形进行峰值检测，检测到的峰值如果大于或等于设定的阈值，则证明有短路电流和弧光产生，系统发出报警信号。为了减少编程的工作量和对故障电弧进行实时监控，程序在 LabVIEW7.0 下编写。

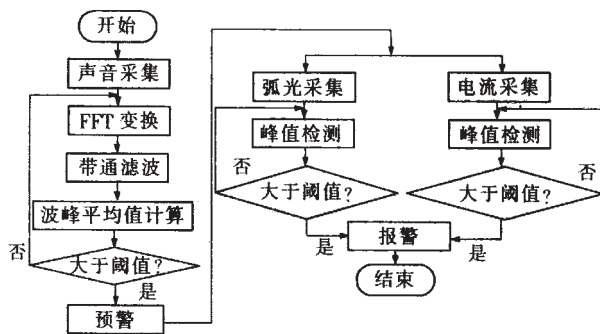


图 5 软件流程图

3 实验测试及结果

整个实验平台是由电弧产生装置、电流传感器、弧光传感器、光纤声音传感器、NI 数据采集卡、计算机组成^[8-10]。其中电流传感器和弧光传感器可以远离电弧产生装置，从而避免强电磁场干扰，但是弧声湮没在强背景噪声下。为了准确测量弧声，声音传感器的探头必须靠近且正对放电电极，这样普通的驻极体式电容传感器很容易受到电磁场干扰，为了避免强电磁场的干扰，首次尝试采用核磁共振上使用的声音光纤测量系统。开关柜内的导线接头通常有不同的形状，实验电弧产生装置的放电电极分别采用球形放电棒、棒形放电棒、尖形放电棒。分别对每种放电电极做了 3 个放电间距实验，对每种放电间距在不同时刻测量 10 组数据，并对每组数据的预警和报警情况做次数统计。统计结果见表 1。从表 1 可以看出，只有在球形电极的放电间距在 90 mm 和棒形电极的放电间距在 80 mm 的时候预警系统分别有一次漏报，但是报警系统在所有实验中都可以准确报警。实验中发现在发生燃弧瞬间，弧光和短路电流的强度都比较大，一般不会受到外界环境的干扰，但是弧声常常湮没在强背景噪声下，这给弧声测量带来一定的困难。然而即使系统不能及时产生预警信号，还是可以通过报警系统来切断断路器，所以系统对开关柜的故障电弧的监测是可靠的。

4 结语

故障电弧是开关柜中一种频发性的事故。现有

表 1 系统预警、报警实验测定

电极形状	放电间距/mm	实验次数	预警次数	报警次数
球形	90	10	9	10
	85	10	10	10
	80	10	10	10
棒形	90	10	10	10
	85	10	10	10
	80	10	9	10
尖形	90	10	10	10
	85	10	10	10
	80	10	10	10

的故障电弧保护装置基本上都不可避免地产生燃弧现象，且保护系统基本上都采用母线保护方案，容易产生误判和漏判。实验研究分析表明，弧声可以作为故障电弧的早期特征信号。在发生燃弧之前加入弧声预警机制，可以避免燃弧发生和误判。经大量实验和理论分析可得：弧光、短路电流的幅值在产生燃弧的瞬间出现了大幅度的跃变。弧声在电弧发生之前变化趋势明显，且声音信号具有一定的频带范围。以故障电弧弧光、弧声、短路电流为表征信息，系统首次尝试将故障电弧的发生分为两个阶段，从而建立故障电弧的预警、报警系统。实验结果证明该系统能对开关柜的故障电弧起到双重保护作用。

参考文献:

- [1] 田广青. 电弧光保护及其在中低压开关柜和母线保护中的应用[J]. 电工技术杂志, 2004(1): 27-30.
- [2] 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.
- [3] 陈西庚. 成套开关柜的电弧短路保护[J]. 继电器, 2000, 28(6): 33-37.
- [4] NAKANO S, TSUBAKI T, HIRONAKA S. Applying a Voice Recognition System for SF₆ Gas Insulated Switchgear Inspection Maintenance Services[C]// New York (American): IEEE Trans on Power Delivery, 2001, 16(4): 534-538.
- [5] LAND H B, EDDINS C L, GAUTHIER L R, et al. Design of a Sensor to Predict Arcing Faults in Nuclear Switchgear[C] // New York (American): IEEE Trans. on Nuclear Science, 2003, 50(4): 1161-1165.
- [6] SIDHU T S. Protection of Power System Apparatus against Arcing faults[C]// New York (American): IEEE Region 10th International Conference on Global Connectivity in Energy, Computer, Communication and Control, 1998: 436-439.
- [7] SIDHU T S, SAGOO G S, SACHDEV M S. Multi-sensor Secondary Device for Detection of Low-level Arcing Faults in Metal-clad MCC Switchgear Panel [C]// New York (American): IEEE Trans on Power Delivery, 2002, 17(1): 129-134.
- [8] 陈振生, 陈俊丽. 智能化中压开关柜的检测和传感技术[J]. 江苏电器, 2003, 2(2): 7-12.
- [9] 古金国, 徐国政, 钱家骊. 故障电弧特性[J]. 高压电器, 1999, 6(11): 41-44.
- [10] 姚淑娜, 宗广志. 光纤技术在开关配电设备中的应用[J]. 北京联合大学学报: 自然科学版, 2004, 3(1): 69-72.