

低压串联电弧故障电流高次谐波含有率试验

廖水容¹, 张认成¹, 李夏河²

(1. 华侨大学 机电及自动化学院, 福建 厦门 361021; 2. TCL 多媒体全球研发中心研发八所, 广东, 深圳 518052)

摘要:参照国内现有研究成果与美国 UL1699 标准搭建串联电弧故障实验平台, 采集电弧电流与电弧电压数据, 提出线路电流高次谐波含有率分析方法. 通过对不同负载电路电流数据高次谐波含有率变化情况的分析, 总结出电弧故障引起的高次谐波含有率的变化特征. 研究结果表明, 电弧故障发生时电流高次谐波含有率出现急剧上升(均值增幅大于 15%), 同时高次谐波含有率不稳定, 激烈波动.

关键词:电气火灾; 电弧故障; 高次谐波含有率; 谐波分析; 特征提取

中图分类号: TM711

文献标识码: A

文章编号: 1673-9787(2013)02-0179-04

Experiment on current high order harmonic ratio for series low voltage arc fault

LIAO Shui-rong¹, ZHANG Ren-cheng¹, LI Xia-he²

(1. College of Mechanical Engineering and Automation, Huaqiao University, Xiamen 361021, Fujian, China; 2. R&D Eight, TCL Multimedia Global R&D Center, Shenzhen 518052, Guangdong, China)

Abstract: A series arc fault experiment platform was built with reference to the domestic existing research results and the United States UL1699 standard. Arc current and arc voltage were collected. A high order harmonic ratio analysis method for wire current was proposed. Through the variation condition analysis for a high order harmonic ratio of current data in different load circuits, the variation characteristics of a higher order harmonic ratio caused by arc fault was summed up. Research results show that: when arc fault occurred, the high order harmonic ratio of wire current appeared to rise sharply (the mean value growth was more than 15%), and it was not stable, in a fierce fluctuation.

Key words: electrical fire; arc fault; high order harmonic ratio; harmonic analysis; feature extraction

0 引言

随着电气技术的飞速发展, 居民生活电器化程度越来越高, 电气火灾对人们生命财产安全的威胁也越来越大. 美国消防局(USFA)统计资料显示^[1-2]: 2006 年美国住宅火灾中有 67 800 起是

由于电气故障引起的, 造成 485 人死亡, 受伤人数超过 2 300 人, 直接财产损失 8.68 亿美元. 美国消防局统计结果显示, 家庭线路故障导致的电气火灾是电器设备故障引起火灾的 2 倍, 其中电弧故障是电气火灾的主要诱因之一. 美国消费品安全协会(CPSC)和美国国家消防协会的众多资料

收稿日期: 2012-11-08

基金项目: 国家基金培育计划项目(JB-ZR1102); 高校产学研合作科技重大项目(2012H6101); 福建省自然科学基金面上项目(2010J01294).

作者简介: 廖水容(1982—), 女, 福建龙岩人, 博士生, 讲师, 主要从事智能控制方面的教学与研究工作.

E-mail: 78413902@qq.com

显示,由于电弧故障引发的危险事件包括了火灾及由此引起的死亡^[3-4]. 中国 2005—2009 年间由电弧故障导致的火灾占总电气火灾的 51%, 直接经济损失占总火灾损失的 36%, 电弧故障是引发我国建筑电气火灾的主要原因之一^[5-7]. 由于电弧的隐蔽性及高危险性, 欧美等发达国家成功研制了电弧故障断路器, 并通过法律措施强制安装. 近年来, 国内很多专家学者开始重视电弧故障检测方法的研究, 但研究工作还处于初级阶段. 因此, 对电弧故障进行深入研究, 并开发适合我国电气特性的电弧故障断路器具有重要的意义.

典型的家用负载与电弧故障有很多相似特征, 因此, 要想有效实现准确的电弧故障检测, 必须找到一个特征向量能够最大限度的体现不同电弧的本质, 同时过滤相似的公共背景和干扰. 本文参照美国 UL1699 标准搭建了试验平台, 进行模拟低压故障电弧发生的试验, 采集了电弧电流与电弧电压数据. 本文提出线路电流高次谐波含有率分析方法, 通过对不同负载电路电流数据高次谐波含有率变化情况的分析, 总结出电弧故障引起的高次谐波含有率的变化特征.

1 低压串联电弧故障试验

本文参照国内研究成果及美国 UL1699 标准搭建了低压串联电弧故障试验平台, 该试验平台可用于获取串联电弧故障试验数据与验证所开发的电弧故障检测装置. UL1699 标准是 AFCI 安全标准, 针对电弧故障断路器安全性能进行测试^[8-10]. 标准中包括了碳化路径电弧引燃实验, 该试验使用了电弧发生装置对电弧故障断路器的脱扣性能进行测试^[11-13]. 试验中采用电弧发生装置与负载串联, 通过电弧发生装置产生电弧, 对电弧故障断路器进行脱扣测试. 本文依照该测试原理设计了串联电弧故障试验平台, 其原理图如图 1 所示.

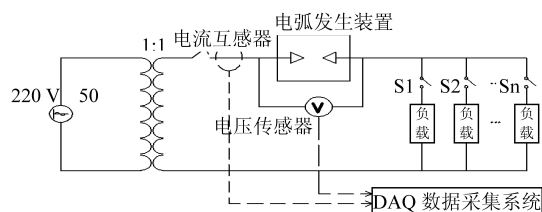


图 1 串联电弧故障试验平台原理

Fig. 1 Schematic diagram of series arc fault experiment platform

试验电路采用 220 V, 50 Hz 作为供电电源.

回路中电弧发生装置与典型的家用电器负载电路(如灯泡、吸尘器、调光器等负载)串联, 负载通过负载插座连接, 每一个插孔都应有独立的开关控制, 便于实现单一负载试验, 也可以进行多负载并联的电弧故障试验. 试验信号通过信号检测电路获取, 试验中信号检测电路中主要包括了电流互感器和电压传感器, 电流互感器用于感测实验线路的电流信号, 电压传感器用于测量电弧发生装置两端的电压信号. 传感器信号通过基于 NI 数据采集卡 PCI-6115 的数据采集记录系统实现实时显示与记录. 也可以通过泰克示波器 DPO3014 与电流钳 TCP0300 套件进行显示与记录.

2 高次谐波含有率特征分析

2.1 谐波分析

谐波对电力系统的危害极大, 因此, 在电力信号分析中, 谐波分析方法是一种常用的频域分析方法^[14]. 为了逐个研究不同谐波统计规律及特征, 从不规则动态信号中分离出一些振幅和相位不同的谐波叫做谐波分析^[15]. 本文只对 0 ~ 19 次谐波进行分析, 其表达式为

$$X(h\omega_0) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M x(m\Delta t) \times e^{-j\frac{2\pi}{M}hm},$$

$$h = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \quad (1)$$

式中: $x(m\Delta t)$ 为被分析信号; $X(h\omega_0)$ 为第 h 为次谐波分量; m 为信号点序数; M 为信号总点数.

2.2 谐波含有率分析

谐波含有率指的是周期性交流量中含有的第 h 次谐波分量的均方根值除去基波分量的均方根值所得的商^[5-6], 其表达式为

$$HRI_h = \frac{I_h}{I_1} \times 100\%, \quad (2)$$

式中: I_h 为第 h 次谐波电流的均方根值; I_1 为基波电流.

均方根定义是在规定时间内 (T_0), 一个量各瞬时值的平方的平均值的平方根. 则 I_h 求解过程为

$$I_h = \sqrt{\frac{x_{h1}^2 + x_{h2}^2 + \dots + x_{hM}^2}{M}},$$

$$h = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \quad (3)$$

式中: x_h 为第 h 次谐波信号波形; M 为各信号离散点.

2.3 高次谐波含有率分析

通过前文的分析, 电弧故障发生时线路电流的 3, 5, 7, 9 次谐波的谐波含有率有所增加. 但由

于增幅较小,单凭其中一个谐波分量的含有率变化来作为电弧故障发生的检测依据,可靠性不高.为此,本文提出对3,5,7,9次的谐波含有率累加求和,得到3,5,7,9次谐波的谐波含有率之和,简称为高次谐波含有率(HR),其计算公式为

$$HR = \frac{I_3 + I_5 + I_7 + I_9}{I_1} \times 100\%, \quad (4)$$

式中: I_1, I_3, I_5, I_7, I_9 分别为基波,3,5,7,9次谐波电流.

由式(4)可知,通过对3,5,7,9次谐波含有率累加,求和得到高次谐波含有率HR.在电弧故障发生时,累加增幅HR会更加明显.下文将对不同负载电路电弧故障发生时电流高次谐波含有率进行分析,并统计其变化特性.

2.4 高次谐波含有率特征信息分析

2.4.1 线性、非线性负载电路数据分析

电弧故障诊断的难点在于电弧故障的很多特征与电网中的某些非线性负载非常接近,非线性电气负载是导致电弧故障检测、保护装置误判断的主要原因之一^[16-17].此处对线性负载灯泡与非线性负载吸尘器的高次谐波含有率变化情况进行观测,分析在线路负载处于正常运行状态时与电弧故障发生时电路电流高次谐波含有率的变化情况,分析结果如图2所示.

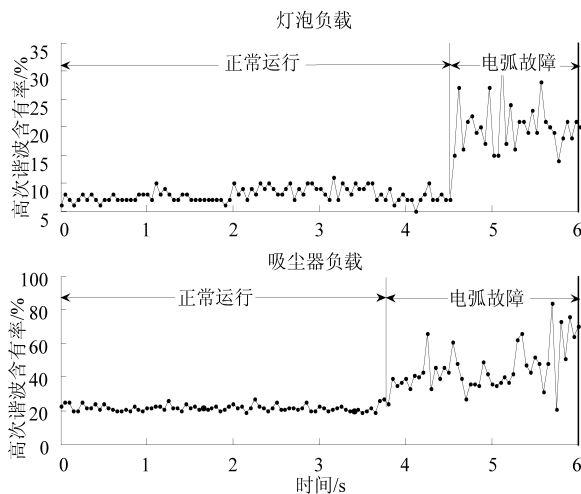


图2 单负载电路电弧故障高次谐波含有率分析

Fig.2 High order harmonic ratio analysis for arc fault in single load circuit

灯泡正常运行时,电流高次谐波含有率比较小,其均值稳定在5%左右.电弧故障发生时,电流高次谐波含有率出现明显的跃变,均值增幅高达15%,增加到20%.电弧故障发生时,高次谐波含有率并不稳定,而是激烈波动.吸尘器负载由高

速电机驱动,本身就是谐波源.图2中,其正常运行高次谐波含有率相对于灯泡负载要大,但是没有激烈波动,平均值稳定在21%.当电弧故障发生时,同样电流高次谐波含有率激增,均值高达43%,均值增幅大于15%,同时激烈波动.因此,无论线性、非线性负载,当其处于正常运行状态时其电流高次谐波含有率虽然幅值有所不同,但是都稳定在一定的范围内.为电弧故障发生时,两负载电路电流高次谐波含有率都急剧上升且激烈波动.

2.4.2 吸尘器低速运行

吸尘器的调速装置会引起线路中电流波形发生畸变,进而引起高次谐波含有率的增加.为此,本文对吸尘器不同速度运行时电弧故障高次谐波含有率分别进行分析,查看其变化特性.分析结果如图3所示.

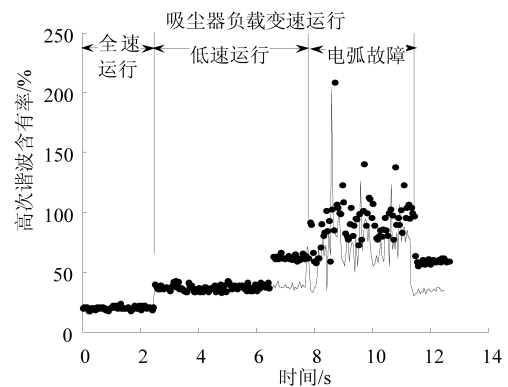


图3 吸尘器负载变速电弧故障高次谐波含有率分析

Fig.3 High order harmonic ratio analysis for arc fault of vacuum cleaner in variable speed

吸尘器全速运行时,调速装置尚未工作,其谐波含有率均值稳定在21%左右.当突然改变吸尘器运行速度,使其运行速度变小,此时调速装置处于工作状态,因此,线路中电流高次谐波含有率自然会增加如图3所示,均值由21%升到38%左右.速度改变的大小对高次谐波含有率的大小有直接关系.然而,变速之后吸尘器再次稳定运行时,高次谐波含有率随之进入稳定状态,无太大波动.当电弧故障发生时高次谐波含有率急剧上升,其均值高达72%,均值增幅大于15%,并激烈波动.通过对比图2中吸尘器全速运行的情况,吸尘器低速运行时发生电弧故障,电流高次谐波含有率上升之前均值较大,因此,上升之后均值也相对较大.由此可得,改变负载的运行状态,会导致线路电路高次谐波含有率出现变化,但是变化随着负载再次稳定运行而稳定,无激烈波动.与之不同的是,电弧故障发生时,无论负载工作在什么状

态,线路电流高次谐波含有率都将在现有基础上出现急剧的上升,且激烈波动.

3 结 论

本文在工频市电条件下参照美国 UL1699 标准进行了低压故障电弧发生的试验,采集了电弧电流及电弧电压数据,对试验数据进行深入分析,总结出电弧故障的典型特征,获得了以下结论.

(1)无论线性、非线性负载,当其处于正常运行状态时其电流高次谐波含有率虽然幅值有所不同,但是都稳定在一定的范围内.而电弧故障发生时,两负载电路电流高次谐波含有率都急剧上升且激烈波动.

(2)改变非线性负载的运行状态(如变度),低速状态比高速状态下电流高次谐波含有率大,会导致线路电路高次谐波含有率出现变化,但是变化随着负载再次稳定运行而稳定,由高速到低速过程中电流高次谐波含有率平滑过渡,无激烈波动.

(3)电弧故障发生时,无论负载工作在什么状态,电流高次谐波含有率都将在现有基础上出现急剧上升(均值增幅大于15%),同时高次谐波含有率值不稳定,激烈波动.

参考文献:

- [1] 罗雷,刘晖. 浅谈电弧故障断路器[J]. 低压电器, 2009(14):33-35,39.
- [2] ARUNACHALAM S, DIONG B. A parametric model approach to arc fault detection for DC and AC Power Systems[C]//IEEE. Proceedings of the 41st Industry Applications Conference. TAMPA FL: IEEE, 2006: 2249-2255.
- [3] CARLOS ER. Arc fault detection and discrimination methods[J]. IEEE Transaction on Industry Applications, 2007, 43(4):115-122.
- [4] DAVID S. Arcing faults in electrical equipment[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2011, 47(1):387-397.
- [5] 赵淑敏,吴为麟. 建筑配电系统故障电弧的仿真与检测[J]. 低压电器, 2007(10):38-42.
- [6] OSPINA G I, CUBILLOS D. Analysis of arcing fault models [C]//IEEE. Transmission and Distribution Conference and Exposition. Latin America: IEEE, 2008:1-5.
- [7] ANDREA J, SCHWEITZER P, TISSERAND E. A New DC and AC Arc Fault Electrical Model [C]//IEEE. 2010 Proceedings of the 56th IEEE Holm Conference. Charleston SC: IEEE, 2010:1-6.
- [8] GREGORY GD, KON WONG. More about arc-fault circuit interrupters[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2004, 40(4): 1006-1011.
- [9] SH MA, GUAN LINA. Arc fault recognition Based on BP neural networks[C]//IEEE. The Third International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation. Shanghai: IEEE, 2011: 584-586.
- [10] PETER M, STEFAN T. Characteristics of series and parallel low current arc faults in the time and frequency domain [C]//IEEE. Proceedings of the 56th IEEE Holm Conference on Electrical Contacts. Charleston, South Carolina: IEEE, 2010:223-229.
- [11] GREGORY GD, SCOTT GW. The arc-fault circuit interrupter: an emerging product[J]. IEEE Transaction on Industry Applications, 1998, 34(5):928-933.
- [12] ZHANG REN CHENG. Fuzzy clustering algorithm of early fire based on process characteristic[J]. Key Engineering Materials, 2010, 437:339-343.
- [13] IDARRAGA OSPINA G, CUBILLOS D. Analysis of arcing fault models [C]//IEEE. Transmission and Distribution Conference and Exposition. Latin America: IEEE, 2008:1-5.
- [14] 曾志英. 低压电网谐波分析与测试[J]. 中国高新技术企业, 2010(5):170-173.
- [15] 李燕萍,吕爱锋,贾绍凤. 一种基于谐波分析的年径流预报方法[J]. 南水北调与水利科技, 2010(5): 68-70.
- [16] 杨艺,董爱华,负永丽. 低压故障电弧检测概述[J]. 低压电器, 2009(5):1-4.
- [17] ZONG MING, YANG TIAN, FENGGE ZHANG. Design of arc fault detection system based on CAN bus [C]//IEEE. Proceedings of 2009 IEEE International Conference on Applied Superconductivity and Electromagnetic Devices. Chengdu: IEEE, 2009:25-27.

(责任编辑 李文清)