

基于电弧电流高频分量的串联交流电弧故障检测方法

王 尧¹, 韦强强¹, 葛磊蛟², 牛 峰^{1,3}, 李 奎¹, 张 立⁴

(1. 河北工业大学 电磁场与电器可靠性省部共建重点实验室, 天津 300130;

2. 天津大学 电气自动化与信息工程学院, 天津 300072;

3. 浙江大学 电气工程学院, 浙江 杭州 310027;

4. 浙江省高低压电器产品质量检验中心, 浙江 温州 325603)

摘要: 通过分析典型负载下电弧电流高频分量在时域与频域表现出的不同特征, 提出一种串联交流电弧故障检测方法。该方法利用电弧电流变化率与其有效值的比值以及 6~12kHz 频段电流幅值这 2 个特征参量进行串联交流电弧故障识别; 并利用负载启动电流持续时间远远小于电弧电流持续时间的特点, 设定电弧故障检测时间阈值, 降低负载启动过程对串联交流电弧故障检测的影响。试验结果表明, 所提方法能够实现串联交流电弧故障的快速检测, 对硬件要求相对较低, 简便易行。

关键词: 电弧故障; 高频分量; 特征参量; 故障识别

中图分类号: TM 501+.2

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2017.07.029

0 引言

随着智能电网的发展, 工业电气设备和家用电器种类不断增多, 这些设备为人们带来效益和方便的同时也带来了诸多安全隐患, 最常见的就是电气火灾。据统计, 电弧故障是引起电气火灾事故的重要诱因。电弧故障可分为串联电弧故障与并联电弧故障 2 种类型。其中, 串联电弧故障电流通常小于线路中负载的工作电流, 传统的过流保护器不能及时切断此类故障^[1-2]。因此, 串联电弧故障检测(下文简称电弧故障检测)方法成为国内外研究热点。

电弧故障检测方法主要利用故障电弧电压电流时域特征、频域特征或时-频域特征实现, 涉及快速傅里叶变换(FFT)、小波分解和神经网络等复杂运算。文献[3]以相邻周期电弧电流的差值为特征量进行电弧故障识别。文献[4]基于电弧电流相平面信息维数以及电弧零休时间这 2 个特征量, 采用支持向量机方法建立电弧故障识别模型。文献[5]以网格分形理论为基础, 通过比较相邻网格电弧电流变化率之间的关系, 确定电弧电流畸变点, 实现电弧故障识别。文献[6]分析了电弧稳定与不稳定燃烧时电流信号的频谱特征, 为电弧故障的识别提供了依据。文献[7]运用小波变换模极大值与神经

网络方法实现了电弧故障的诊断与分类。

现有的电弧故障检测方法对串联电弧故障的识别与保护起到一定作用^[8-16], 但基于故障电弧电压电流时域特征的检测方法容易受干扰影响而出现误动作; 采用复杂算法的检测方法运算量较大, 对微处理器要求相对较高。因此, 现有的电弧故障检测方法较难满足电弧故障检测要求。

本文以典型线性与非线性负载为对比分析对象, 分析电弧电流高频分量在时域与频域表现出的不同特征, 并考虑负载启动过程的影响, 提出一种串联交流电弧故障快速识别方法, 该方法对硬件要求相对较低, 简便易行。

1 电弧电流数据采集与高频特征分析

1.1 电弧电流数据采集

参照 GB 14287 标准搭建串联电弧故障模拟发生器, 该装置主要包括 1 个水平截面碳电极、1 个锥形截面铜电极和步进电机控制系统。在电路连通情况下, 2 个电极在步进电机控制下相互分离, 电极之间的空气被击穿, 从而产生电弧。为保证试验的可重复性, 步进电机移动速度设置为定值, 且每次试验后都用砂纸打磨电极表面。试验电路如图 1 所示。

选取电阻(23 Ω)、计算机(700 W)、日光灯(25

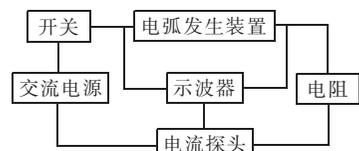


图 1 试验电路图

Fig.1 Schematic diagram of test circuit

收稿日期: 2016-12-19; 修回日期: 2017-05-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51607055); 河北省自然科学基金资助项目(E2015202143); 河北省教育厅青年科学基金资助项目(QN2014148); 广东绿色能源技术重点实验室项目(2008A0-060301002)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(51607055), the Natural Science Foundation of Hebei Province(E2015202143), the Youth Science Foundation of Hebei Provincial Department of Education(QN2014148) and Guangdong Key Laboratory of Clean Energy Technology(2008A060301002)

盏共 900 W) 作为典型负载进行故障电弧模拟试验, 利用示波器和电流探头采集试验数据。

1.2 电弧电流高频分量时域特征分析

由于维持电弧燃烧的最小电压约为 30 V, 从电源电压过零到电弧重新燃烧之前, 电弧处于熄灭状态, 其电流接近于 0, 在时域表现出“零休”现象, 见图 2。相对而言, 阻性负载下电弧电流的“零休”现象更明显。随着正弦电压的变化, 当电极两端电压再次达到燃弧电压时电弧重燃, 电流幅值突然增大^[17], 且在电弧重燃瞬间, 稳定燃烧通道不能迅速建

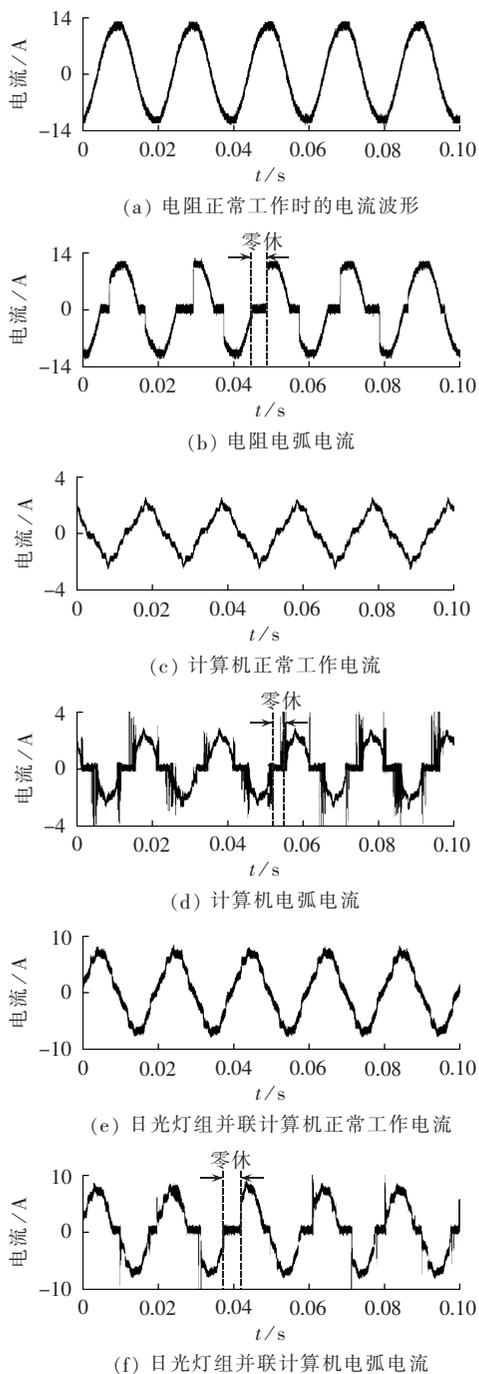


图 2 典型线性与非线性负载正常工作和电弧电流波形
Fig.2 Waveforms of normal operating current and arc fault current for typical linear and nonlinear loads

立, 电弧电流波形变化较为剧烈, 在时域表现出“高频毛刺”现象。非线性负载受脉宽调制 (PWM) 等自身工作特性的影响, 其电弧电流波形中“高频毛刺”相对较多。

采用电弧电流变化率 di_{arc}/dt 与电弧电流有效值 I_{arc} 的比值作为电弧电流高频分量的时域特征量。设线路电流为 $i(t)$, 用傅里叶级数表示为:

$$i(t) = A_1 \sin(\omega_1 t + \theta_1) + \dots + A_n \sin(\omega_n t + \theta_n) \quad (1)$$

其中, ω_1 为电流基波角频率; $\omega_2, \omega_3, \dots, \omega_n$ 为电流高频分量谐波角频率。

则电弧电流变化率与其有效值的比值为:

$$\gamma_{\text{arc}} = \frac{di_{\text{arc}}(t)/dt}{I_{\text{arc}}} = \frac{A_1 \omega_1 \cos(\omega_1 t + \theta_1) + \dots + A_n \omega_n \cos(\omega_n t + \theta_n)}{\sqrt{0.5A_1^2 + \dots + 0.5A_n^2}} \quad (2)$$

无论对于线性负载还是非线性负载, 其正常工作时电流高频分量所占比重远小于基波分量, 此时, 电流变化率与电流有效值的比值近似表示为:

$$\gamma = \frac{di(t)/dt}{I} = \sqrt{2} \omega_1 \cos(\omega_1 t + \theta_1) \quad (3)$$

由式(3)可以看出, 当负载正常工作时, 电流变化率与电流有效值的比值的最大值约为 $\sqrt{2} \omega_1$, 与负载电流大小无关; 当线路发生电弧故障时, 由于电弧电流波形存在较多“高频毛刺”, 此时电流变化率与其有效值的比值的范围将会远远超过正常工作时的最大值, 如图 3 所示。可以看出, 以电流

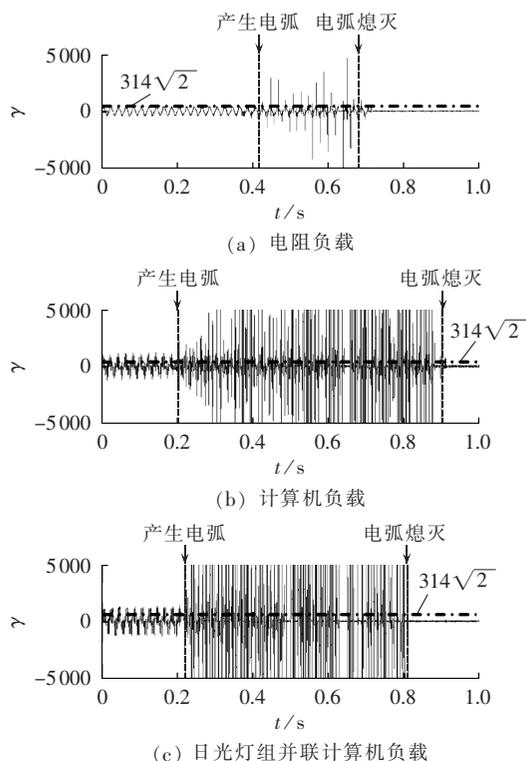


图 3 电弧故障前后电流高频分量的时域特征量
Fig.3 Time-domain characteristic parameter of high-frequency components of current, before and after arc fault

变化率与其有效值的比值作为电弧电流高频分量的时域特征量并设定合适的比较阈值,可以实现电弧故障的有效识别。

1.3 电弧电流高频分量频域特征分析

相比于正常工作电流,电弧电流在频域表现出宽带噪声的特性,其频谱分布规律类似于粉红噪声,即电流频谱幅值与频率近似成反比,如图 4 所示。可以看出,在 1~100 kHz 频段内,电弧电流频谱幅值高于正常工作电流频谱幅值。从整体分布看,阻性负载下电弧电流高频分量频域特征更加明显。非线性负载受电力电子变换器高频共模电流的影响,其正常工作电流频谱在 PWM 谐波频率点存在与电弧电流较为类似的特征。

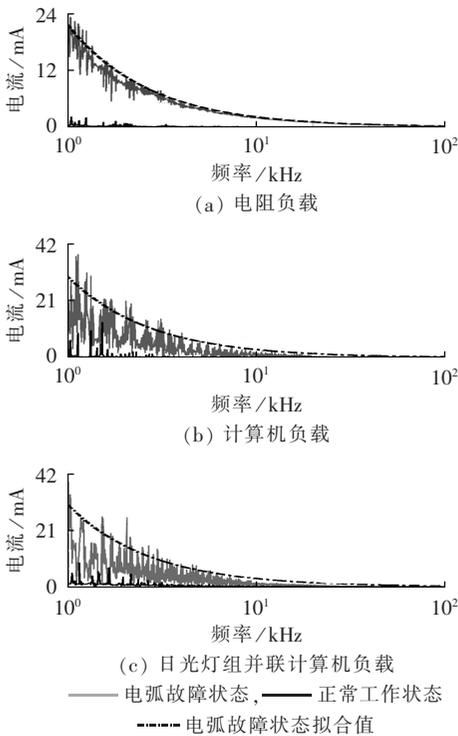


图 4 电弧电流频谱
Fig.4 Spectrums of arc current

为避免干扰的影响,应尽量选取电流频谱中较高频段的信号进行电弧故障识别,同时,为保证检测信号的信噪比,降低对微处理器的要求,所选频段也不宜过高。

通过对比分析电阻、计算机、日光灯组并联计算机负载下电弧电流的频谱特征,选取 6~12kHz 作为电弧电流特征频段并结合特征频段内电流幅值特征进行电弧故障识别,如图 5 所示。可以看出,当负载正常工作时,电流信号在 6~12kHz 频段幅值接近于 0;当线路发生电弧故障时,电流信号在 6~12kHz 频段幅值均增大,且非线性负载和混合负载的电弧电流高频特征更加明显。

为降低算法复杂度,可以利用带通滤波的方法

直接获取 6~12kHz 频段电流幅值 I_{6-12} ,将其作为电弧电流高频分量的频域特征量并与设定的阈值进行比较,实现电弧故障的快速识别,如图 6 所示。

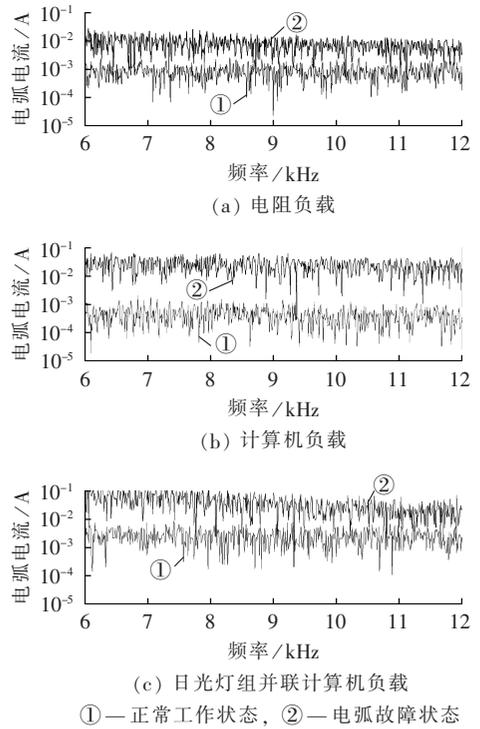


图 5 电弧电流 6~12kHz 频谱

Fig.5 6kHz~12kHz band spectrum of arc current

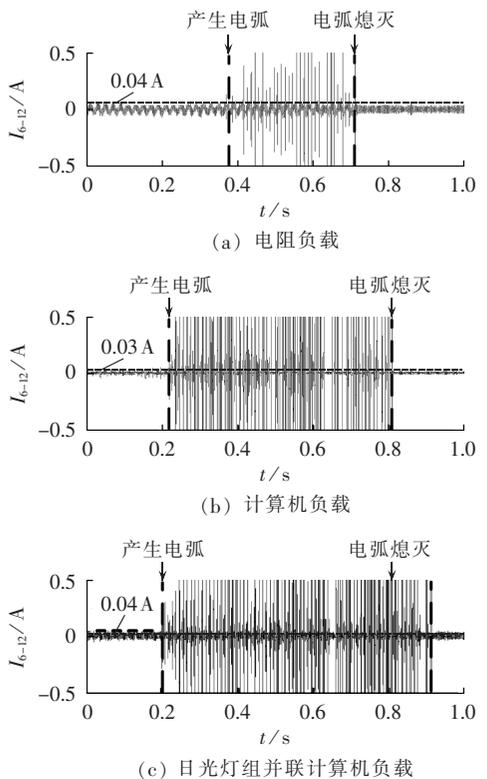


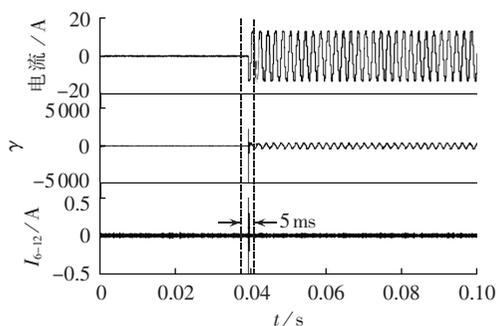
图 6 电弧故障前后电流高频分量的频域特征量
Fig.6 Frequency-domain characteristic parameter of high-frequency components of current, before and after arc fault

1.4 负载启动过程对电弧特征量的影响

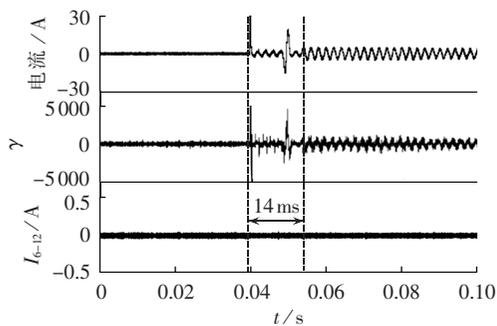
当负载启动时,受电路时间常数的影响,电流不能立刻到达稳定状态,尤其对于非线性负载,启动电流常伴有高频噪声,其变化特征与电弧电流较为相似,容易引起保护误动作。根据负载类型,启动电流变化过程可以分为以下 2 种类型。

a. 阻性负载类型。该类负载电路时间常数一般较小,负载接入电路后,电流波形迅速到达稳定状态,对电弧故障检测的影响相对较小,如图 7(a)所示。

b. 非线性负载类型。该类负载电路中往往存在储能元件,其电路时间常数相对较大,电流需要经过一个暂态过程才能达到稳定值,如图 7(b)所示。考虑到各类负载启动的暂态过程持续时间一般在 20 ms 以内,远远小于故障电弧的持续时间,因此,可以利用启动电流与电弧电流持续时间的差异,设定电弧故障检测时间阈值,减小负载启动对电弧故障检测的影响。



(a) 电阻负载



(b) 日光灯组并联计算机

图 7 不同负载启动电流特征分析

Fig.7 Characteristic analysis for different load startup currents

2 串联交流电弧故障检测

在电弧电流高频分量时域和频域特征分析的基础上,采用电流变化率与电流有效值的比值以及 6~12kHz 频段电流幅值这 2 个特征参量进行电弧故障检测。

2.1 电弧故障快速检测电路原理

基于电弧电流高频分量的电弧故障快速检测

电路包括电磁式电流互感器、电压互感器、低通滤波器(LPF)、带通滤波器(BPF)等部分,如图 8 所示。

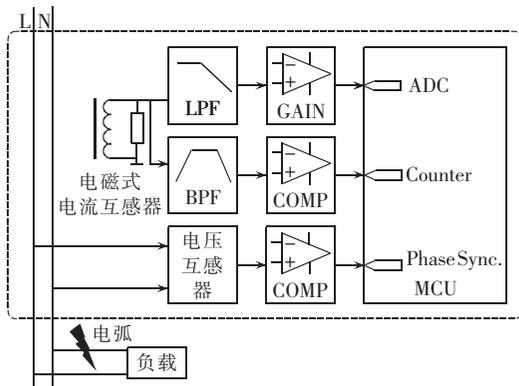


图 8 电弧故障检测电路原理框图

Fig.8 Schematic diagram of arc fault detection circuit

电磁式电流互感器用于测量线路电流信号,为满足电弧故障检测要求,其频率检测范围选为 40 Hz~200 kHz。为有效提取电弧电流变化率特征,避免干扰影响,采用低通滤波器进行电流信号处理,且其截止频率取值应相对较低,一般为几百至几千 Hz。综合考虑检测算法复杂度与实时性的要求,采用模拟带通滤波器提取 6~12 kHz 频段电流幅值,将其通过比较电路(COMP)与设定阈值进行比较,将电弧电流频域特征量转换为时域脉冲信号,避免快速傅里叶变换、小波分解等复杂计算,实现电弧故障快速识别。此外,为保证信号检测与电网周期同步,采用电压互感器测量线路电压,经由过零比较电路处理后产生电网频率同步信号。

2.2 电弧故障快速检测算法

根据 GB 14287.4《故障电弧探测器》的要求,当被探测线路在 1 s 内产生 14 个及以上半周期的故障电弧时,电弧故障检测装置应在 30 s 内发出报警信号;而当被探测线路在 1 s 内产生 9 个及以下半周期的故障电弧时,电弧故障检测装置不应发出报警信号^[18]。在算法设计中,以每半个交流周期(10 ms)作为一个电弧故障识别单元。考虑到检测误差,当检测到的电弧故障半周期数达到或超过 11 个时认为线路发生电弧故障,为保证故障检测的准确性,此时电弧故障检测装置不是立刻发出报警信号,而是延时检测一段时间,如果故障仍然存在则发出报警信号。

在一个电弧故障识别单元内,电弧故障检测算法流程如图 9 所示。

a. 频域特征量检测。当线路发生电弧故障时,电弧电流时域、频域特征量均发生变化,由于单片机识别脉冲变化的速度相对较快,因此,频域特征量检测的优先级高于时域特征量检测。当单片机

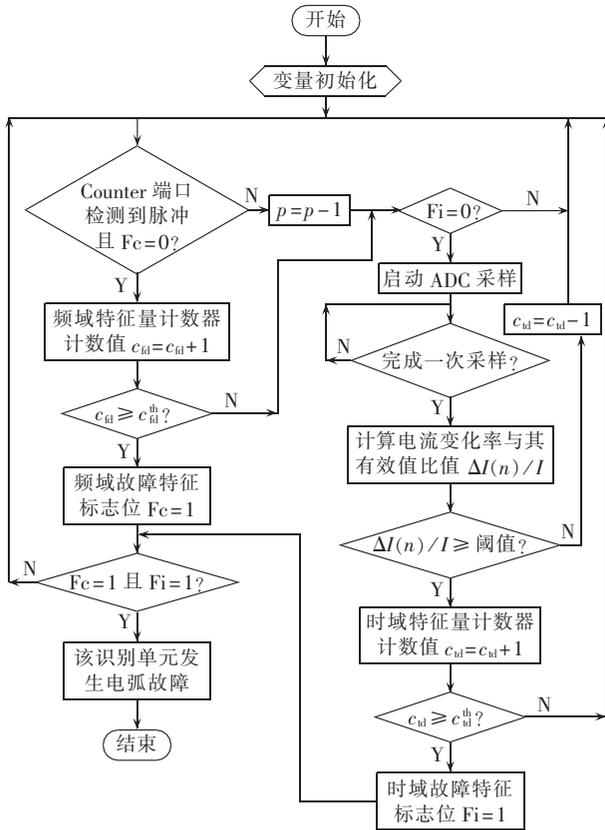


图 9 电弧故障检测算法

Fig.9 Flowchart of arc fault detection algorithm

Counter 端口检测到电弧电流高频脉冲信号时,频域特征量计数器 C_p 开始累计脉冲个数,当 C_p 计数值 c_{fd} 超过设定阈值 c_{fd}^{th} 时,频域故障特征标志位 F_c 置 1。为防止干扰影响,若 Counter 端口未检测到脉冲信号,则频域特征量计数器值 c_{fd} 自动减小,直至为 0。

b. 时域特征量检测。 单片机实时采集线路电流信号,计算当前采样值 $i(n)$ 与前一时刻的采样值 $i(n-1)$ 的差值,并与一定系数相乘后作为当前时刻电流变化率 $\Delta I(n)$ 。然后,计算当前电流变化率与电流有效值的比值,为保证算法实时性,采用上一周期的电流有效值 I 计算 $\Delta I(n)/I$ 。当 $\Delta I(n)/I$ 大于等于设定阈值时,时域特征量计数器 C_i 开始累加。若 C_i 计数值 c_{md} 超过设定阈值 c_{md}^{th} 时,则时域故障特征标志位 F_i 置 1。时域特征量计数器 C_i 同样具有自动递减机制,可有效避免外界干扰的影响。

最后,若频域故障特征标志位 F_c 与时域故障特征标志位 F_i 同时为 1,则表明该电弧故障识别单元内发生电弧故障。

3 试验验证与分析

采用 TI MSP430F5529 单片机作为控制核心,实现电弧故障检测装置样机设计。参照 GB 14287.4

《故障电弧探测器》,按图 1 试验电路进行样机测试,试验中同时记录线路电流、单片机 ADC 端口输入信号、Counter 端口脉冲信号以及故障报警信号(高电平)。

典型线性、非线性、混合负载电弧故障检测波形如图 10 所示,各子图中,波形由上至下分别为线路电流、ADC 输入信号、Counter 脉冲信号和故障报警信号。可以看出,无论是电阻负载还是计算机、日光灯组等非线性负载,电弧故障检测装置都能正确动作。电阻负载下电弧电流波形正负半周对称度较好,其高频分量时域和频域特征主要集中在电弧重燃瞬间,且在某些半波内未出现明显的电弧故障

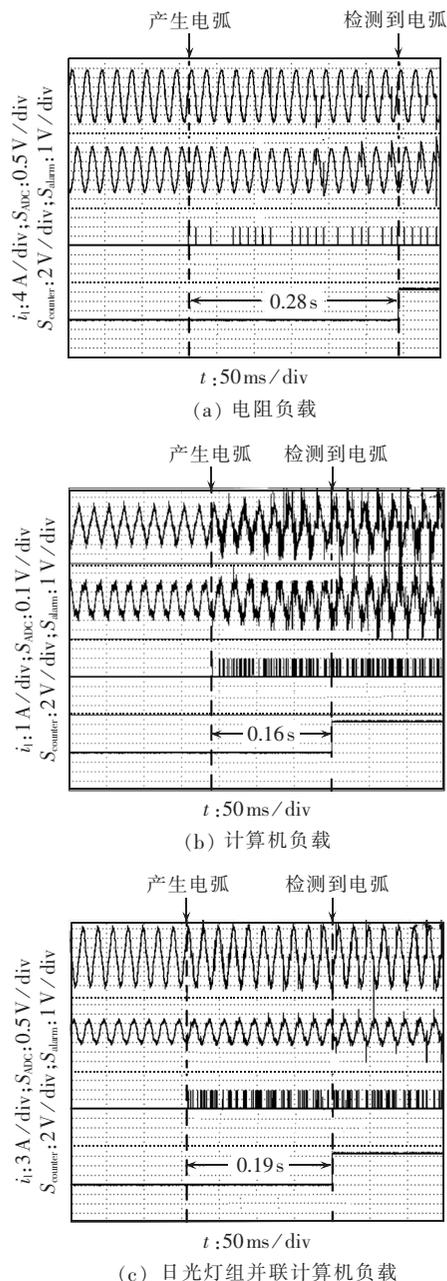


图 10 部分负载电弧故障检测波形

Fig.10 Waveforms of arc fault detection for different loads

特征,表明电弧电流具有随机性。相对而言,非线性负载下电弧电流随机性更强,其高频分量时域和频域特征不仅出现在电弧重燃瞬间,在其他时刻也有不同程度的表现,单片机 ADC 端口的输入信号包含较多“高频毛刺”,Counter 端口也检测到更多脉冲信号。

为进一步验证样机检测的准确性,选取典型家用电器及其组合进行测试。每种负载下进行 20 次试验,记录样机动作情况,如表 1 所示。试验中,样机并未发生误动或拒动的情况,动作时间满足标准要求。相比于电阻负载,非线性负载下样机动作更快,其原因在于非线性负载下电弧电流包含更多高频信息,电弧故障识别单元总数丢失较少。

表 1 电弧故障检测结果统计

Table 1 Statistics of arc fault detection

负载类型	功率/W	检测时间/s	是否启动误检
电阻	2100	0.17~0.40	否
计算机	700	0.14~0.19	否
微波炉	1050	0.16~0.29	否
日光灯组	970	0.15~0.22	否
吸尘器	1200	0.15~0.22	否
电钻	450	0.16~0.23	否
日光灯组、计算机	1670	0.16~0.23	否
微波炉、吸尘器	2250	0.14~0.21	否
微波炉、电钻、日光灯组	2470	0.14~0.22	否
计算机、吸尘器、日光灯组	2870	0.14~0.20	否

4 结论

a. 本文分析了典型线性和非线性负载下电弧电流高频分量在时域和频域表现出的不同特征。电弧电流在时域表现出“零休”与“高频毛刺”现象,在频域表现出类似粉红噪声的频谱分布规律,其频谱幅值与频率近似成反比。

b. 分别用电弧电流变化率与其有效值的比值以及 6~12 kHz 频段电流幅值作为电弧电流高频分量的时域和频域特征量,并利用负载启动电流与电弧电流持续时间的差异,设定电弧故障检测时间阈值,减小负载启动过程对电弧故障检测的影响,提高了检测的准确度。

c. 提出一种基于电弧电流高频分量的串联交流电弧故障检测方法,包括检测电路原理和检测算法。以 TI MSP430F5529 单片机为控制核心进行了样机设计与试验验证。结果表明,所提方法能够快速检测出线路中的电弧故障,对硬件要求相对较低,简便易行。

参考文献:

[1] CHAI S P, CHOO K L, JIAN L Y. A study of arc fault current in low voltage switchboard[C]//Sustainable Utilization and Development in Engineering and Technology. Kuala Lumpur, Malaysia:

IEEE, 2013: 52-56.

- [2] 陈德桂. 低压电弧故障断路器——一种新型低压保护电器[J]. 电器与能效管理技术, 2007(3): 7-9.
CHEN Degui. The arc fault circuit interrupter—a new low voltage protection apparatus[J]. Electrical & Energy Management Technology, 2007(3): 7-9.
- [3] 张冠英, 张晓亮, 刘华, 等. 低压系统串联故障电弧在线检测方法[J]. 电工技术学报, 2016, 31(8): 109-115.
ZHANG Guanying, ZHANG Xiaoliang, LIU Hua, et al. Online detection method for series arcing fault in low voltage system [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2016, 31(8): 109-115.
- [4] 马少华, 鲍洁秋, 蔡志远, 等. 基于信息维数和零休时间的电弧故障识别方法[J]. 中国电机工程学报, 2016, 36(9): 2572-2579.
MA Shaohua, BAO Jieqiu, CAI Zhiyuan, et al. A novel arc fault identification method based on information dimension and current zero[J]. Proceedings of the CSEE, 2016, 36(9): 2572-2579.
- [5] PARISE G, MARTIRANO L, LAURINI M. Simplified arc-fault model: the reduction factor of the arc current[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2013, 49(4): 1703-1710.
- [6] 刘艳丽, 郭凤仪, 王智勇, 等. 基于信息熵的串联型故障电弧频谱特征研究[J]. 电工技术学报, 2015, 30(12): 488-495.
LIU Yanli, GUO Fengyi, WANG Zhiyong, et al. Research on the spectral characteristics of series arc fault based on information entropy[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(12): 488-495.
- [7] 刘晓明, 赵洋, 曹云东, 等. 基于小波变换的交流系统串联电弧故障诊断[J]. 电工技术学报, 2014, 29(1): 10-17.
LIU Xiaoming, ZHAO Yang, CAO Yundong, et al. Series arc fault diagnosis based on wavelet transform in AC system [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(1): 10-17.
- [8] PARISE G, MARTIRANO L, NABOURS R E. Arc-fault protection of branch circuits, cords, and connected equipment[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2004, 40(3): 896-899.
- [9] SUN Peng, GAO Xiang. Series arc fault diagnosis technology research based on the analysis of current rate[C]// 2011 1st International Conference on Electric Power Equipment-Switching Technology (ICEPE-ST). Xi'an, China: IEEE, 2011: 565-568.
- [10] 孙鹏, 郑志成, 闫荣妮, 等. 采用小波熵的串联型故障电弧检测方法[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(增刊 1): 232-236.
SUN Peng, ZHENG Zhicheng, YAN Rongni, et al. Detection method of arc fault in series with wavelet entropy[J]. Proceedings of the CSEE, 2010, 30(Supplement 1): 232-236.
- [11] 缪希仁, 郭银婷, 唐金城, 等. 负载端电弧故障电压检测与形态小波辨识[J]. 电工技术学报, 2014, 29(3): 237-244.
MIAO Xiren, GUO Yinting, TANG Jincheng, et al. Load side arc fault voltage detection and identification with morphological wavelet[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(3): 237-244.
- [12] 刘晓明, 徐叶飞, 刘婷, 等. 基于电流信号短时过零率的电弧故障检测[J]. 电工技术学报, 2015, 30(13): 125-133.
LIU Xiaoming, XU Yefei, LIU Ting, et al. The arc fault detection based on the current signal short time zero crossing rate[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(13): 125-133.
- [13] PHIPPS K, COOKE T, DORR D, et al. Frequency phenomenon and algorithms for arc detection[C]//2010 IEEE International

- Symposium on Electromagnetic Compatibility. [S.I.]:IEEE,2010: 183-188.
- [14] 王晓远,高森,赵玉双. 阻性负载下低压故障电弧特性分析[J]. 电力自动化设备,2015,35(5):106-110.
WANG Xiaoyuan,GAO Miao,ZHAO Yushuang. Characteristic analysis of low-voltage arc fault in resistive load conditions[J]. Electric Power Automation Equipment,2015,35(5):106-110.
- [15] 刘晓明,赵洋,曹云东,等. 基于多特征融合的交流系统串联电弧故障诊断[J]. 电网技术,2014,38(3):795-801.
LIU Xiaoming,ZHAO Yang,CAO Yundong,et al. Multi-feature fusion based diagnosis of series arc faults in AC system[J]. Power System Technology,2014,38(3):795-801.
- [16] 束洪春,刘振松,彭仕欣. 同塔双回线电弧故障单端测距算法[J]. 电力自动化设备,2008,28(12):11-15.
SHU Hongchun,LIU Zhensong,PENG Shixin. Single terminal arc fault location for two parallel transmission lines on same tower[J]. Electric Power Automation Equipment,2008,28(12): 11-15.
- [17] GREGORY G D,WONG K,DVORAK R. More about arc fault circuit interrupters[J]. IEEE Transactions Industry Applications, 2004,40(4):1006-1011.
- [18] 中国国家标准化管理委员会. 电气火灾监控系统 第 4 部分 故障电弧探测器:GB 14287.4—2014[S]. 北京:中国标准出版社, 2015.

作者简介:



王 尧

王 尧(1981—),男,河北石家庄人,讲师,博士,主要研究方向为电器智能化技术与电器设备电磁兼容(**E-mail**:wycolor@163.com);

韦强强(1992—),男,江苏新沂人,硕士研究生,主要研究方向为电器智能化技术(**E-mail**:weiqiangstrong@163.com);

李 奎(1965—),男,河北保定人,教授,博士研究生导师,通信作者,研究方向为

开关设备可靠性与智能化(**E-mail**:likui@hebut.edu.cn)。

Series AC arc fault detection based on high-frequency components of arc current

WANG Yao¹,WEI Qiangqiang¹,GE Leijiao²,NIU Feng^{1,3},LI Kui¹,ZHANG Li⁴

(1. Province-Ministry Joint Key Laboratory of Electromagnetic Field and Electrical Apparatus Reliability, Hebei University of Technology,Tianjin 300130,China;

2. School of Electrical and Information Engineering,Tianjin University,Tianjin 300072,China;

3. College of Electrical Engineering,Zhejiang University,Hangzhou 310027,China;

4. Zhejiang High and Low Voltage Electric Equipment Quality Inspection Center,Wenzhou 325603,China)

Abstract: The performance of high-frequency components of arc current with typical load in time domain is quite different from that in frequency domain,based on which,a detection method is proposed for series AC arc fault. The ratio of arc current variation rate to its RMS and the current amplitude of 6kHz~12kHz band are used as the characteristic parameters to identify the series AC arc fault. Since the duration of load startup current is far shorter than that of arc current,the time threshold of arc fault is set accordingly to reduce the influence of load startup process on the arc fault detection. Test results show that the proposed method can easily realize the rapid detection of series AC arc fault with simple hardware.

Key words: arc fault; high-frequency component; characteristic parameter; fault identification

(上接第 170 页 continued from page 170)

Comparative test of effective height of UHF sensor for partial discharge in GIS

SHU Shengwen,CHEN Jinxiang,CHEN Bin,YE Zhaoping,CHEN Minwei,YOU Hao

(Electric Power Research Institute of State Grid Fujian Electric Power Co.,Ltd.,Fuzhou 350007,China)

Abstract: The coupling performance of UHF (Ultra-High Frequency) sensor has to be checked to improve the site application effectiveness of UHF detection technology for partial discharge in GIS (Gas Insulated Switchgear). A test platform based on the GTEM (Gigahertz Transverse ElectroMagnetic) cell is built to test the effective height of UHF sensor. The average effective height within 0.3~1.5 GHz and the percentage of effective height above 2 mm are adopted to characterize the coupling performance of UHF sensor. Based on the GTEM750 cell,the time-domain pulse method and sweep-frequency reference method are applied to comparatively test the effective height of UHF sensor. The test results are compared between GTEM750 cell and GTEM1500 cell. Based on the GTEM750 cell and the time-domain pulse reference method,the influences of sensor type,installation mode and installation angle on the tested effective height of UHF sensor are discussed. Research results show that,the deviation of average effective height within 0.3~1.5 GHz between different platforms or methods is within ± 1 mm;the sensor type,installation mode and installation angle have obvious influences on the average effective height.

Key words: GIS; partial discharge; sensors; effective height; test; error