

基于电流行波的弧光接地故障辨识技术 在配电网中的应用

王 晨

(国网武汉市黄陂区供电公司, 湖北 武汉 430300)

摘要: 结合近几年国内配电网弧光接地故障频发的现状及弧光接地故障严重威胁着配电网的安全稳定运行等问题, 有必要对弧光故障特征进行分析, 并开展辨识弧光接地故障的研究应用。针对此问题, 对基于电流行波的弧光接地故障辨识技术在真实配电线路挂网运行应用情况展开了相关研究。该技术采用高频行波信号, 干扰低, 结合弧光放电的周期性特征, 能够快速有效地对弧光接地故障进行识别。现场运行情况表明, 基于电流行波的弧光接地故障辨识方法能够快速有效地对弧光接地故障进行识别, 实现简单、方便有效, 为配电架空线路弧光接地辨识提供了一种新方法, 具有一定的工程应用价值。

关键词: 配电线路; 行波; 弧光接地; 故障辨识

Application of arc grounding fault identification technology based on electric popular wave in distribution network

WANG Chen

(State Grid Wuhan Huangpi District Power Supply Company, Wuhan 430300, China)

Abstract: Considering the current situation of frequent arc grounding faults in domestic distribution network in recent years and the problem that arc grounding faults seriously threaten the safe and stable operation of distribution network, it is necessary to analyze the characteristics of arc faults and carry out research and application to identify arc grounding faults. Aims at this problem. The application of arc grounding fault identification technology based on electric popular wave in real distribution line is studied. The technology adopts unique high frequency traveling wave signal, low interference, combined with periodic characteristics of arc discharge, and can identify arc grounding fault quickly and effectively. The field operation shows that the arc grounding fault identification method based on electric popular wave can quickly and effectively identify arc grounding faults, which is simple, convenient and effective. It provides a new method for arc grounding identification of overhead distribution lines, and has certain engineering application value.

Key words: distribution line; traveling wave; arc grounding; fault identification

0 引言

配电网结构形式多样、运行环境复杂, 露天架设、树竹隐患和外力破坏等因素导致弧光接地故障频繁发生, 极大地影响了配电线路运行维护

的管理能力, 给电网的维护带来了较大压力。缩短弧光接地故障排除的时间, 提高馈线自动化的水平, 在配电网线路发生弧光接地故障情况下, 快速锁定辨识弧光接地故障类型, 对弧光故障高

发区域进行针对性的线路维护和操作,提高电网安全运行可靠性具有十分重要的意义。

现有配电网弧光接地故障检测^[1-2]主要采用以稳态量为基础的低采样波形监测技术,由于低采样率波形数据会丢失故障关键信息,致使现有弧光辨识技术不能准确辨识类型,存在一定局限性,无法精准指导一线班组快速抢修和快速恢复可靠供电,无法综合分析区域运行风险信息,评估设备运行状况。

针对配电网弧光接地故障辨识难及危害严重的问题,本文开展配电线路弧光接地故障识别研究应用,分析配电网弧光接地故障稳态低频识别问题,并针对电弧放电过程中,故障电流行波发生同步规律性特征开展研究,实现对弧光接地故障的识别技术的应用,以期解决配电网弧光接地故障造成的过电压影响系统可靠性等问题,为配电网应急抢修和保供电提供技术支撑。

1 内外研究水平的现状和发展趋势

弧光接地故障辨识是近年国内外研究的热点和痛点,也是可靠性新型配电网的关键技术。现有国内外对弧光接地故障技术主要以三相电压及零序电流波形的幅值、极性等低频特征来辨识弧光接地故障,但由于弧光接地故障时波形特征复杂,特征极大程度上被工频信号淹没,提取较为困难,辨识效果一般。文献[3]对故障相电流信号进行时频特性分析,以350 Hz频率图在单相接地故障发生后20~40 ms内的波峰波谷差、能量和方差为特征辨识弧光接地故障,该方法取样时间短,且受工频波形特征影响较大,不能解决弧光放电特征很微弱的接地故障。文献[4]提出基于三相电压和零序电流录波数据的弧光接地故障综合辨识算法,根据归一化谐波能量在时间尺度上的随机分布特性以及故障波形畸变特征,实现对弧光接地故障的准确辨识。该方法需在较大的工频信号中识别较小的故障波形畸变特征,有较大的局限性。文献[5]基于临界零序电压与故

障电流的动态特征,提出配电网中间歇性电弧接地故障的判据。该方法在高阻特征不明显的情况下,容易受工频波形特征影响,实用性上存在一定的局限性。

上述方法及现有技术方法均采用低频率信号,容易受到干扰,特征信号中包含工频分量,受工频的影响大,幅值受不稳定电弧的影响较大,误判或漏判现象频频发生。因此,弧光接地故障辨识仅仅依靠低频时域分析方法可靠性不高,影响辨识准确性。相比于具体的低频弧光辨识技术,现阶段对暂态高频特征参与弧光接地故障的辨识研究显得明显不足。

2 电流行波辨识弧光接地故障可行性分析

单相接地故障瞬间,线路上将产生运动的电磁场,并产生放电电流行波,通过实时监测采集到线路的单个高频行波信号即可进行常规的故障辨识,比如雷击故障与非雷击故障;而弧光接地故障的辨识根据工频熄弧理论^[6-8]可知需要多个行波的参与进行故障辨识,电弧在电流过零点熄弧断开,间断周期性地产生接地故障,即每半个工频周期产生一次接地故障,继而产生一次行波信号,通过一定周期内产生的电流行波幅值突变周期性特征,即可判断出系统线路发生了弧光接地故障。

配电线路发生故障时,放电产生的行波电流向两边传播,因此在配电网线路本体上安装监测终端,即可对故障点的放电信号进行实时监测。基于配电网线路本体同步采集电流行波信号,当单个行波电流到达测试端时,对应时刻分别为 t_1 ,当下个行波电流到达测试端时,对应时刻分别为 t_2 ,则传播时间差为 $\delta t = |t_1 - t_2|$ 。以此类推,通过监测多次弧光放电周期形成的规律实现弧光接地故障的辨识。系统终端对故障发生后的多个电流行波进行特征提取分析处理,统计其发生的周期性频率特征,实现对弧光接地故障类型的辨识。图1为高频行波沿线路传输示意图。

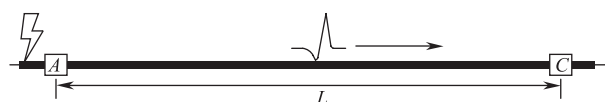


图1 高频行波沿线路传输示意图

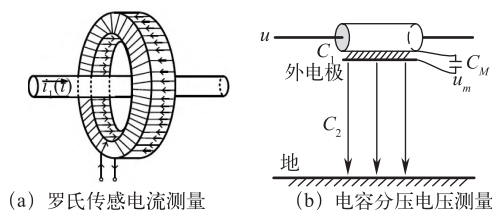
Fig. Schematic diagram of high-frequency traveling wave transmission along the line

基于电流行波辨识弧光接地故障类型，由于采用独有的高频行波信号，且故障时暂态行波不受系统运行方式变化、线路不对称及不稳定电弧的影响，具有干扰低、周期性特征明显、放电现象的频率较稳定和阈值容易整定等优点，因此能够快速有效地对弧光接地故障进行识别，实用性较高。

3 故障辨识系统

故障辨识系统由主站、监测装置（含工频传感器和高频行波传感器）组成，监测装置带电安装于架空线路上，在线采集故障工频波形和电流行波波形，波形数据通过无线方式传输给后台主站，主站对波形数据进行解析，通过故障辨识算法实现故障辨识，最后将诊断结果通过Web或App的方式呈现给运维人员。

监测装置集工频电压、工频电流和高频电流行波采集于一体，分布安装在配电线路导线上，分布式同步采集配电线路高频行波电流、工频电压和工频电流。其中，行波电流监测方法采用宽频带罗氏传感应用技术实时触发采集高频行波，主站结合高频行波脉冲特征，对配电网弧光接地故障研判进行综合分析；电压测量在电极获得线路电压，在高电位实现线路电压的精确测量。对主控单元、微处理器模块、大容量存储单元、高速采集模块及供电单元模块进行整体架构优化设计，实现各模块整合后的装置正常工作。图2为终端数据采集单元示意图。



(a) 罗氏传感电流测量

(b) 电容分压电压测量

图2 终端数据采集单元示意图

Fig. 2 Schematic diagram of terminal data acquisition unit

系统软件采用模块化设计，包括工频采集模块，对配电网线路工频进行触发采集录波；电流行波采集模块，对配电线路故障行波进行触发采集；波形处理模块，对行波波形滤波筛选排序；故障关联模块，故障时触发采集工频，对电流行波数据进行关联；数据传输模块，将采集到的电流行波和工频数据传输至后台进行综合分析处理。软件分析结构设计如图3所示。

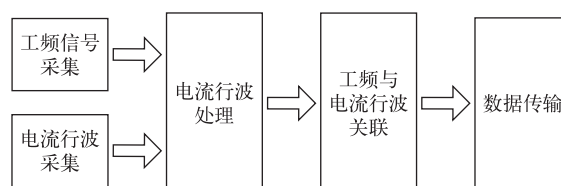


图3 软件分析结构图

Fig. 3 Software analysis structure

4 故障案例分析

4.1 故障相关情况介绍

10 kV配电网在某馈线主干线路和分支线路选点安装四套监测装置。装置安装配置情况如图4所示。某次故障相关情况为：2022年4月25日16时37分，10 kV某馈路发生弧光接地故障，位置在某分支线32#杆塔和某分支线98#杆塔之间，距离某分支线32#杆塔大号侧方向1.667 km，故障点在某分支线65#杆塔附近。

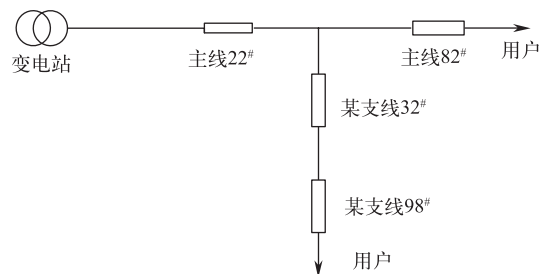


图4 装置安装配置示意图

Fig. 4 Schematic diagram of device installation and configuration

4.2 故障诊断过程

弧光接地故障三相电压波形显示三相工频电压两升一降的特征，符合接地故障特征，如图5所示。弧光接地故障三相电流波形显示三相工频

电流波形连续出现4个周波的暂态低频特征后,工频电流波形暂态特征逐渐变得微弱,暂态特征提取较难,疑似判定此次故障为弧光接地故障,如图6所示。

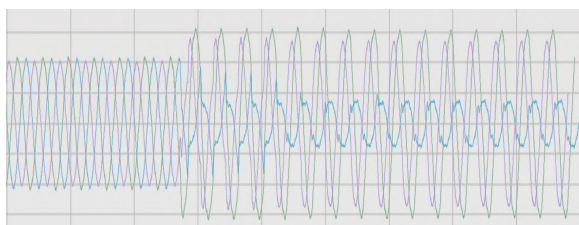


图5 弧光接地故障三相电压波形

Fig. 5 Arc grounding fault three-phase phase voltage waveform

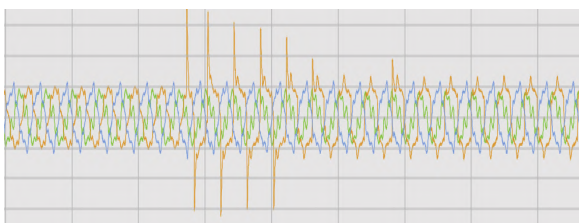


图6 弧光接地故障三相电流波形

Fig. 6 Arc grounding fault three-phase current waveform

由于弧光接地故障会产生高频率段的行波信号,且高频行波信号不受工频干扰的影响,因此,可以利用提取高频率段的行波信号特征来辨识弧光接地故障,图7为弧光接地故障单次放电电流行波波形。

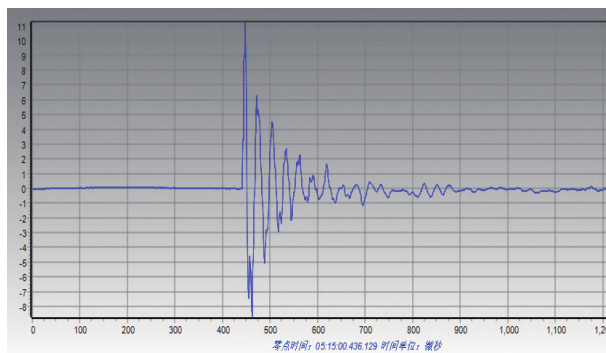


图7 弧光接地故障单次放电电流行波波形

Fig. 7 Arc grounding fault single discharge current waveform

弧光接地故障电流行波序列示意图如图8所示。由图8可知,弧光接地故障时,行波电流每隔一段时间产生一次高频行波,形成了周期性明显的放电特征,验证了基于电流行波的弧光接

地故障辨识方法在配电网应用的可行性,考虑工频特征微弱的情况下,仍可快速且准确地对弧光接地故障进行辨识。

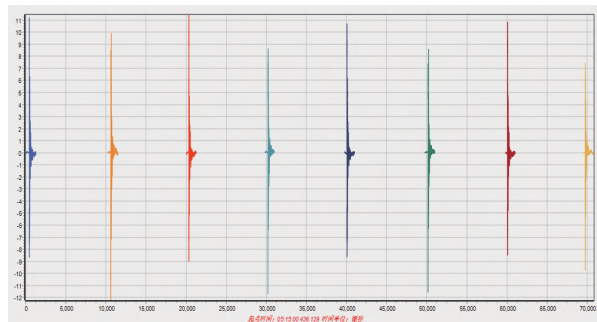


图8 弧光接地故障电流行波周期性序列示意图

Fig. 8 Schematic diagram of periodic sequence of arc grounding fault current traveling wave

4.3 诊断结论

10 kV某配电网馈路发生弧光接地故障,位置在某分支线32#杆塔和某分支线98#杆塔之间,故障点在某分支线66#杆塔附近,抢修人员巡线结果与故障点位置吻合,误差1级杆塔。抢修人员接收到故障诊断短信后,即刻赶往现场,巡线发现该线路66#杆塔处由于大风暴雨导致线路导线搭到横担上,与线路杆塔持续放电造成弧光接地故障。图9为现场该线路66#杆塔弧光接地故障点。



图9 现场弧光接地故障点

Fig. 9 Arc grounding fault points on site

5 结束语

传统弧光接地故障辨识技术忽略了高频分量的分析,丢失了故障关键信息,且低频率波形容易受到工频波形的干扰,效果较差。

本文对基于电流行波的弧光接地故障辨识

技术在真实配电线路挂网运行应用情况展开了相关分析研究,技术采用独有的高频行波信号,具有干扰低、周期性行波特征明显和阈值容易整定等特点,能够快速有效地对弧光接地故障进行识别,实用性较高。

实践验证表明,基于电流行波的弧光接地故障辨识方法能够快速有效地对弧光接地故障进行识别,实现简单、方便有效,为配电架空线路弧光接地辨识提供了一种实用方法,可对现场抢修人员故障查找提供故障类型支撑,并进行针对性查找,具有一定的工程应用价值,对于同类型小电流接地系统具有推广价值。

参考文献

- [1] 郭丽伟,薛永端,徐丙垠,等.中性点接地方式对供电可靠性的影响分析[J].电网技术,2015,39(8):2340-2345.
- [2] 刘健,田晓卓,李云阁,等.主动转移型熄弧装置长馈线重载应用问题分析[J].电网技术,2019,43(3):1105-1110.
- [3] 沈煜,阮羚,戴兵,等.配电网单相电弧接地故

障的辨识方法[J].武汉大学学报(工学版),2018,51(12):7.

- [4] 韦明杰,张恒旭,石访,等.基于谐波能量和波形畸变的配电网弧光接地故障辨识[J].电力系统自动化,2019(16):148-161.
- [5] 王晓芳,谢彦斌.数字化配电网弧光接地故障的判断[J].中南大学学报(自然科学版),2013(3):7.
- [6] 孙其东,张开如,刘建,等.基于五次谐波和小波重构能量的配电网单相接地故障的选线方法研究[J].电测与仪表,2016,53(16):4.
- [7] 王飞.小电流接地系统弧光接地模型及仿真研究[D].济南:山东大学,2016.
- [8] 沈煜,阮羚,戴兵,等.配电网单相电弧接地故障的辨识方法[J].武汉大学学报(工学版),2018,51(12):1098-1104.

作者简介

王晨(1988—),硕士,工程师,主要研究方向:配电网运行,配电网故障定位等。

(收稿日期:2023-06-12)