

复杂配电线路行波故障定位方法的研究

顾金

国网上海市电力公司嘉定供电公司

DOI:10.12238/hwr.v6i7.4516

[摘要] 由于配电电线行波和电缆中的传输速率存在差异,且线路两端的波阻抗不连续,因此,对行波通过导线连接点时的折返规律进行了分析,并利用行波极性和皮尔逊相关系数进行了故障区域的辨识;这样,通过测量导线中点处的故障电流,就可以判断出故障位置,从而把配线的定位问题转化为电缆配电线的故障定位问题。根据电缆故障的特点,导出了一种能够排除波速的距离表达式,从而准确地确定了复杂电缆配电线中的故障点。这种方法能精确测量配电线路的行波速度,无需同步,提高了测量精度。

[关键词] 复杂配电线路; 电缆; 行波故障定位

中图分类号: TM247 文献标识码: A

Study on Traveling Wave Fault Location Method for Complex Distribution Lines

Jin Gu

State Grid Shanghai Electric Power Company Jiading Power Supply Company

[Abstract] Due to the difference of transmission rate between traveling wave of distribution line and cable, and the discontinuous wave impedance at both ends of the line, the turn back rule of traveling wave when it passes through the conductor connection point is analyzed, and the fault area is identified by using the polarity of traveling wave and Pearson correlation coefficient. In this way, the fault location can be determined by measuring the fault current at the midpoint of the wire, thus transforming the problem of wiring location into the problem of cable distribution line fault location. According to the characteristics of cable faults, a distance expression that can eliminate the wave velocity is derived, so that the fault points in complex cable distribution lines can be accurately determined. This method can accurately measure the traveling wave velocity of distribution lines, without synchronization, and improves the measurement accuracy.

[Key words] complex distribution line; cable; traveling wave fault positioning

引言

随着电力系统的不断发展,电力系统中的各类复杂的配电网也日益增多。其中,多支配线和一缆线混联是两种典型的配线形式。多条支线可满足多个电源和多个落点供电,使用方便、经济等优点,在主干接线中得到了广泛应用。但是,由于线路的结构和线路的复杂性,出现故障都需要人工一条条巡线,通过这样来缩小查找故障范围,最终确定故障点位置。这样一个过程需要花费大量的人力和时间,效率也极其低下。

复杂电缆配电线路行波故障定位方法具有维护简单、占地面积小、传输性能稳定等特点;由于其良好的环境适应性,在各种配线方式中得到了广泛的应用,近年来,在大城市中得到了广泛的应用。然而,在缆线混合线路中,存在着较大的定位误差和维修困难。

现有的故障定位系统主要是针对结构简单的输电网,而在复杂的输电线路中,采用了多个分支节点、缆线的混合结构,目

前普遍采用的故障定位设备,其测量精度不高。所以,对复杂输电线路进行故障定位的研究具有重要的现实意义。

1 基于分布式电流检测的复杂配电线主要研究内容

针对电力系统的主要线路类型、工作环境等特征,对线路的关键线路和线路结构进行了统计,并在此基础上,建立了不同线路的瞬态行波传播特性模型、局部放电模型、振动模型和温度模型,探讨了不同故障或缺陷对故障定位精度的影响;该方法为进一步的故障间隔定位及故障早期预警算法打下了良好的基础。

分析了电缆的行波传播特性、局部放电特性和振动特性;研究了准确获取故障行波脉冲的时间,并对其进行了特征提取。针对电缆绝缘状态的多参量故障,提出了一种基于特征识别的故障检测系统。

在此基础上,开发了一种能够高效地获取低体积、低成本故障行波及缺陷放电信号的二合一传感器,对振动、温度传感器进

行研究,并开发出高性能,高可靠性的电源,电源管理模块,数据存储模块,嵌入式软件等。

根据异常电缆的行波、局部放电、振动、温度等信号的传输特征,分析了分布传感的特点,分析了传感器和电缆支路的最优匹配,分析了各种工况下的传感、通信选择,给出了典型的配电网电缆线路监测方案。

2 复杂电缆配电路故障定位

本文将A型、B型复杂电缆配电路的功率模式进行了研究,建立了以线波折反射极性与故障电流相关系数为基础的综合判别方法。根据复杂电缆配电路,对其行波速度的精确计算公式进行了修改,并将其应用于A、B两种复杂电缆配电路的行波故障定位中,并进行了模拟实验,结果表明该方法的准确率较高。

2.1 线缆混合线路模型

在实际电网中,缆线按其结构形式可划分为A类和B类混合线。A型线路是复杂电缆配电路组成的,B型线路是复杂电缆配电路与两条的结合。A型混流线经常被用于从城市之外的能量中心到城市的电力供应。在我国,我国的电力系统主要采用地下电缆,而在城市之外,主要采用复杂电缆配电路。B型混流线一般用于跨区域河流、河流、离岛电力等配电网项目,通过海底电缆将两岸的架空配电路连接起来。

2.2 复杂电缆配电路行波传播路径分析

与普通的均匀分布输电系统相比,复杂电缆配电路具有较多的波阻不连续性,因而其弯曲反射的特性更为复杂。而当混合线不同区段出现的短时,由于反复折反射而产生的行波网络图会有明显的差别。根据波波头极性与失效间隔的相关关系,得出了波头波速与故障点的波速之间的对应关系,从而为确定输电系统的失效区域和故障定位奠定了理论依据。

2.3 基于分布式电流检测的A型复杂电缆配电路故障定位

基于分布电流探测的A型复杂电缆配电路故障诊断装置的组成原理见附图3-1,总共有两套分布的电流变压器。在的中间位置设置了一套变压器DCS_1,在电缆接头J处设置一套变压器DCS_2。这两套变压器分别以1MHz取样频率采集三相电流,并将其与无线通信网络相连,将其传输到遥控中心。遥控中心采集到两套三相电流后,首先找出各故障区域,然后选择对应的距离计算公式,以达到准确的位置。

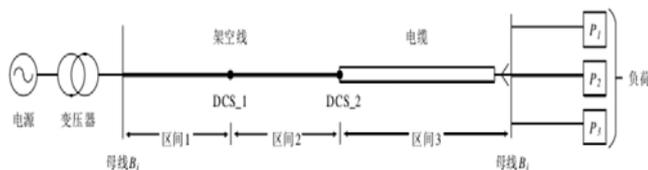


图 3-1 A型混合线路结构

采用分散式电流法进行A类复杂电缆配电路的故障位置,其核心是通过设置在中间和J端的两套故障电流来确定其失效位置。采用两套分布式变压器,将A型复杂电缆配电路划分成三个不同的故障点。在对断开距离进行分析时,将其分成左

右两部分。故障出现后,通过分析两个探测点的故障信号之间的相关性、幅值变化及极性的变化,从而判断出该区域的失效位置。

2.4 基于分布式电流检测的B型复杂电缆配电路故障定位

B型配电路采用复杂电缆配电路组合,采用分布电流探测技术进行B型线路的行波形故障定位,在中点及两条光缆交界处共设置四套分布式变流器。四套变流器将B型复杂电缆配电路划分成五个不同的故障辨识区间,在区间1、区间2、区间4、5区间内的运行通路类似,所以本文着重阐述了在区间1、2、区间4、5中的故障位置准确确定的方法,如图3-2所示。

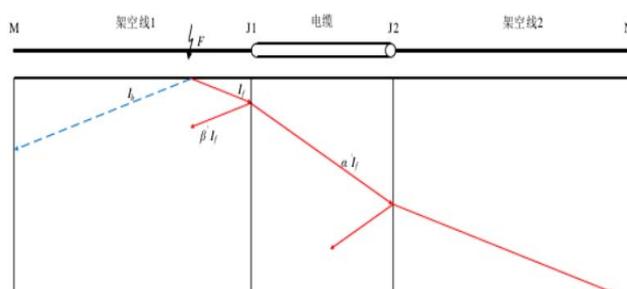


图 3-2 B复杂电缆配电路中故障电流行波由进入电缆

采用四套分布的电力变压器将B型复杂电缆配电路划分成五个故障区域,并根据各检测区域的故障电流之间的相互关系来判断各区域的失效范围。在线缆中存在的问题,可以根据线缆端部探测点线的线波,波头的能量来判断线缆和线缆中的线段之间的位置。通过引入的方法,可以求出在故障区域内的电流行波的准确传播速度。通过距离计算,确定了B型复杂电缆配电路的故障定位。

3 基于分布式电流检测故障定位系统的设计和实现

3.1 故障定位系统硬件设计

3.1.1 感应取电模块设计

目前,适用于电力系统应用的电力采集方式有:太阳能电池、激光、电磁感应等。太阳能存储技术是通过太阳能电池将电能存储到电池中,为电流采集卡提供了晚上使用的电力。但是,由于受到气候条件的影响,使得故障电流检测设备长期稳定地运行是非常困难的。

激光取能技术是利用激光源,将光纤注入到光电转换器中,从而为电池供电。但是,这种方法不适合长时间运行的设备,同时由于光电转换效率较低,限制了其在配电网的保护中的应用。

3.1.2 故障电流检测模块设计

该系统的主要目的是实现对故障电流波形的准确采集,以及对故障行波到达检测设备的精确定位。由于瞬时电流行波是一种高频信号,其中心频率可达百万赫兹,因而对变流器的带宽要求很高,对采集卡的要求也很高。

电流互感器按其测量原理分为电磁式、电子式、分流器等,但由于其包含了大量的非周期成分,使得这些类型的电流互感器在理论上很难适应行波的变化,从而导致瞬态饱和;造成了输出波形较大的畸变,无法精确地反映瞬态电流的特性。

罗氏线圈是由非铁磁性材料制成的,它没有磁饱和问题,它的波段宽广,体积小,精度高;具有良好的稳定性能,适用于故障电流的监测。

3.2 基于分布式电流检测的复杂配电线路定位系统应用

为适应高架线工作的需要,防止导线附近的强磁力干扰,通过对变压器壳体的破坏,提出了采用圆筒型结构的变压器,以改善其表面的光滑程度,减少了产生电晕的几率。由于高空导线会因风向而发生摇晃,因此采用了一种可调整弹性的橡皮纽扣,并将其与导线导线间用一种柔软的材料做成的防护罩,从而避免因夹头尖锐部位而引起的损坏。

4 针对以下模拟复杂配电线路进行监测方案部署

4.1 配电线路总览

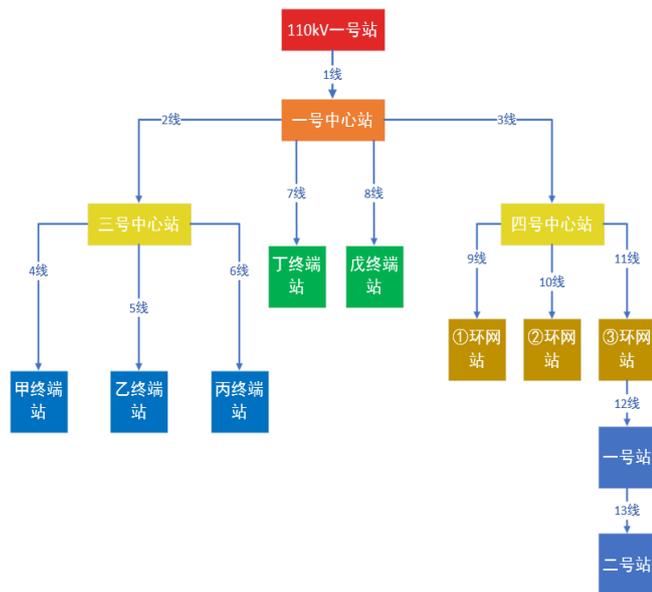


图4-1 模拟复杂电缆线

4.2 监测设备部署方案

4.2.1 全线部署监测方案

在13条电缆线路的ABC三相处安装故障传感器,利用卡线和线圈来感应电缆线路中电流信号,通过超低功耗单片机进行采集处理,完成对线路负荷电流的计算、短路、接地故障的实时监测。

当故障指示器检测到短路、或接地故障特征后,立即触发闪光报警指示,同时将故障信息通过433MHz/光纤传输到汇集单元,汇集单元再通过GPRS/CDMA/3G/4G网络上传至主站系统。主站接收到故障信息后,结合软件系统,完成对故障点的快速定位和报警,实施检测线路状态,故障点可视化。

优点:从监测见面能直观看到每一路线路的运行状态,直接判断故障线路缺点;配网线路数量庞大,此方案安装的设备较多,成本较大。

4.2.2 终端站部署监测方案

在分支的最后一个终端站线路安装故障监测系统,监测原理与4.2.1一样,区别为,当故障发生时需要人为进行判断,依此向前摸索母分支线路的运行状态,直到查到故障线路位于哪一

段,绿色的为需要安装的线路,如图所示4-1显示:

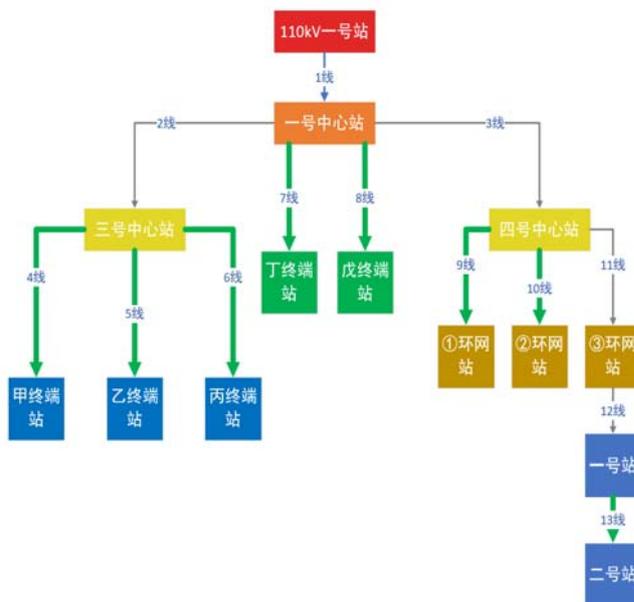


图4-2 在最后一路尾段线路上安装故障监测装置

例1:假设“4线”出现故障,首先查看“5线”及“6线”是否正常,如果正常,则表明是“4线”出现故障。反之,如果“5线”及“6线”均显示故障,剩余的“7线”、“8线”、“9线”、“10线”和“13线”均正常,那则表明故障段为“2线”,以下为排查逻辑图:

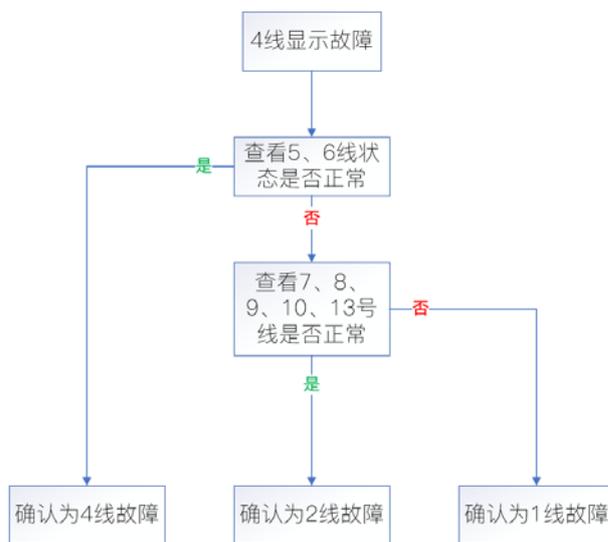


图4-3 排查逻辑图

例2:假设“13线”出现故障指示,首先查看“4线”、“5线”、“6线”、“7线”、“8线”、“9线”和“10线”是否运行正常,如果正常,便判断为“13线”为故障线路。反之,如果“9线”和“10线”同样显示故障,那便优先判断为“3线”出现故障,以此类推,以下为排查逻辑图:

优点:成本降低,根据终端站数量和实际情况部署传感单元,可避开部分位置相邻,现场检查相对快捷的站点,适用于数量庞大的配网线路。

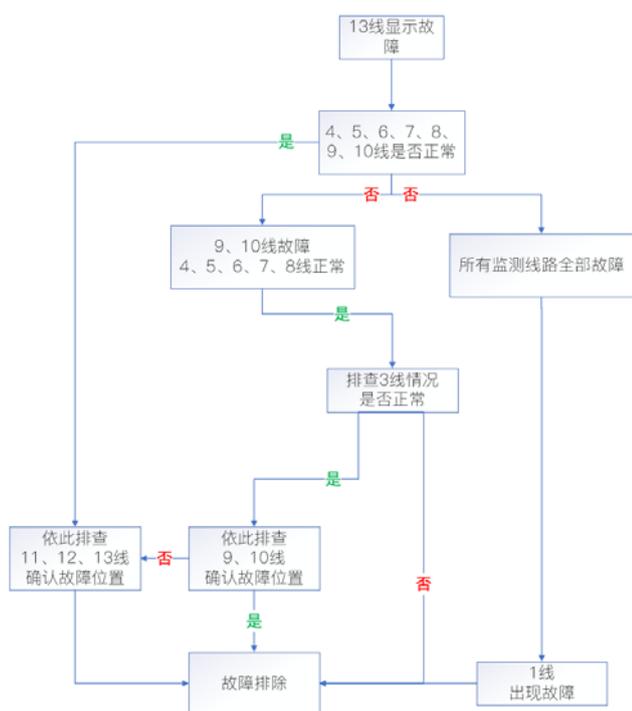


图4-4 排查逻辑图

缺点:对部署方案和运维人员有要求,需要通过相邻已安装传感单元的线路段判断未安装传感单元的线路情况

4.2.3以线路实际情况部署监测方案

不同地区的线路由于用电方对停电的接受程度不同,以尽可能减少停电次数为主旨,减少设备部署量为辅的宗旨,根据现场实际情况进行针对性的系统部署,以下的路线为模拟案例进行系统部署设计方案:

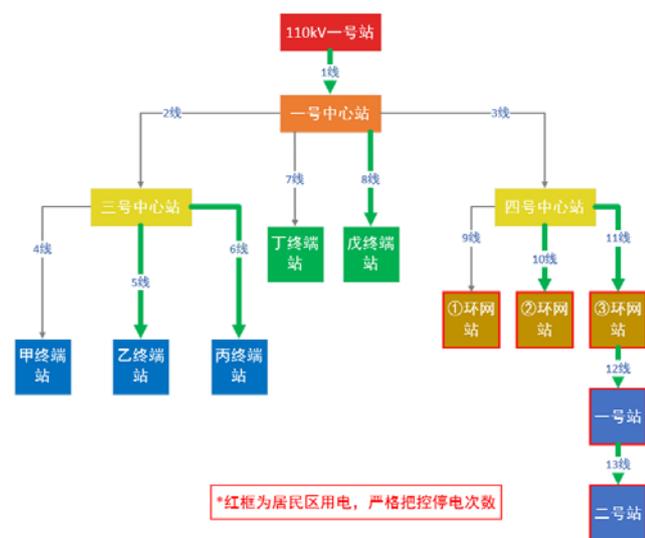


图4-5 部署设计方案

绿色线段: 在线路出线侧布置远传故障传感器

灰色线路: 无需布置故障传感器

通过以上部署方式,在11线、12线、13线的居民区用电出现故障时,可以利用系统两段传感器之间的定位方式,直观判断故障发生在哪一段。

其余非居民区线路,由于分支相较于居民区线路数量较少,在同一站点多个出线处的位置安装故障传感器,亦可实现对故障线路的人为判断。

此方案在考虑了居民区保障用电、严格控制停电次数并兼顾了经济性的情况下的部署方式。

4.3工作原理

当检测的复杂线路某一段有短路或接地故障发生时,短路或接地电流会产生电磁场变化,固定在电缆上的传感器测量线圈产生的脉冲信号,当脉冲信号值的大小达到或超过设定的故障电流阈值时,故障指示灯闪烁发出故障指示,同时通过远程报警接口,将故障信号传递给监控中心,工作人员通过故障指示信号能够迅速准确地找到线路故障位置,及时排除故障,恢复电网供电。

5 结束语

中国经济发展迅速,城市化进程加快,电缆混合线路、多分支线路等错综复杂的输电线路日益增多。常规的行波故障定位是通过线路末端的瞬时电气量来进行故障点的定位,但在复杂线路中,故障行波会产生多次折反射,使得线路末端的故障电流行波识别困难,从而使故障点的定位变得困难。文中给出了一种适用于各种拓扑结构的电力系统的新的测试方法,并用计算机模拟和实际测量数据进行了验证。由于信号采集卡的采样速率以及硬件平台的能量消耗,使得该系统的测量精度受到限制,下一阶段的工作可以集中于提高感应供电的工作效率,减少采集卡功耗,减少故障电流取样间隔,减少测距理论误差。

[参考文献]

[1]张科,朱永利,郑艳艳,等.基于冗余度参数估计的多分支混合线路故障定位方法[J].电网技术,2019,43(03):1034-1040.
 [2]张勇志,张栋柱.小电阻接地系统高阻弧光接地故障特征分析[J].机电工程技术,2018,47(11):179-182.
 [3]马啸,随权,魏繁荣,等.新型和阻抗保护判据及其动作行为分析[J].中国电机工程学报,2018,38(21):6333-6345+6495.
 [4]张勇,叶青,许安杰,等.750kV交流输电线路架空地线感应取电研究[J].电子测量技术,2018,41(20):32-37.
 [5]张斯淇.基于故障区域快速识别的混合线路故障测距新原理[J].电力自动化设备,2018,38(10):166-171+183.
 [6]冯腾,董新洲.双端行波故障测距装置性能测试方法[J].电力自动化设备,2018,38(09):114-120+128.