

基于采样序列自相关的小电流接地波形 预处理方法

张 华, 李兆拓

(国电南京自动化股份有限公司, 江苏 南京 211153)

摘要: 小电流接地故障发生时刻前的配电线路波形形态, 直接影响到小电流接地检测算法的准确性和适应性, 提出了一种基于采样序列自相关的小电流接地波形预处理方法, 可以在接地算法启动后快速分析故障前的零序电压、零序电流波形形态, 为接地算法滤波参数及配置参数的自适应提供数据支撑, 现场故障录波回放试验结果表明, 所研究的波形预处理方法可快速有效地提取故障前零序参数的波形形态。

关键词: 配电网; 小电流接地; 自相关; 波形形态

Pretreatment method of small current grounding waveform based on autocorrelation of sampling sequence

ZHANG Hua, LI Zhaotuo

(Guodian Nanjing Automation Co., Ltd., Nanjing 211153, China)

Abstract : The waveform morphology of feeders before the occurrence of small current grounding fault directly affects the accuracy and adaptability of small current grounding detection algorithm. A small current grounding waveform preprocessing method based on sampling sequence autocorrelation is proposed, which can quickly analyze the zero sequence voltage and zero sequence current waveform morphology before grounding fault after the grounding detection algorithm started, and provide data support for the adaptive filtering parameters and configuration parameters of the algorithm. The field fault recording playback test results show that the waveform preprocessing method can quickly and effectively extract the waveform morphology of zero sequence parameters before the fault.

Key words: distribution network; small current grounding; autocorrelation; waveform morphology

0 引言

单相接地故障是配电网发生几率最高的故障类型, 约占所有故障的 80%。单相接地故障不仅影响了用户的正常供电, 而且可能产生过电压, 烧坏设备, 甚至引起相间短路而使事故扩大, 因此现行规程规定需尽快确定故障点并对故障及时处理。我国 3~66 kV 中压电网的中性点一般采用不接地或经消弧线圈接地方式, 当发生单相接地故障时, 流过故障点的电流很小, 所以称为

小电流接地系统^[1]。

小电流接地故障线路的可靠识别一直没有得到圆满解决, 国内外学者对此做了大量工作, 已经研究出的选线原理主要可以分成两大类: 基于稳态信号^[2]的故障选线原理和基于暂态信号^[3-4]的故障选线原理。从现场实际效果看, 暂态信号所包含的信息更全面地反映了故障特征, 具备较好的灵敏度与可靠性。但是与稳态信号相比, 暂态信号幅值较低, 且随时间快速衰减, 还可能包含很强的非周期衰减分量, 同时, 检测装置所采集

的数据是线路固有信号(三相不平衡、干扰和噪声等)、稳态信号和暂态信号的叠加,原始采样数据不能直接作为暂态算法的输入,需要经过预处理才能更好地提高算法的适应性和稳定性^[5-6]。

已有文献中,小电流接地算法采样数据的预处理大多是对故障波形采用统一的处理方法,未根据实时采集的故障前数据动态调整算法滤波参数及配置参数,不适当的参数会导致暂态信息的遗失,从而降低了算法的准确性^[7-8]。本文提出了一种基于采样序列自相关的小电流接地波形预处理方法,可以在接地算法启动后快速分析故障前的零序电压、零序电流波形形态,为接地算法自适应调整提供数据支撑。

1 采样序列自相关

自相关,也称序列相关,是一个信号与其自身在不同时间点的互相关。也就是说,它就是两次观察之间的相似度对它们之间的时间差的函数。它是找出重复模式(如被噪声掩盖的周期信号),或识别隐含在信号谐波频率中消失的基频的数学工具。它常用于信号处理中,用来分析函数或一系列值,如时域信号。由于采样序列的相关性与之前的相同系列的值进行了计算,这被称为序列相关或自相关,一个采样序列的自相关系数被称为自相关函数,其表达式为

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{N-k} (x_t - \bar{x})(x_{t+k} - \bar{x})}{\sum_{t=1}^N (x_t - \bar{x})^2} \quad (1)$$

式中, r_k 为自相关系数; N 为序列长度; k 为滞后系数; x 为采样序列。

在各种采样序列中,白噪声是一个对所有时间其自相关系数为 0 的随机过程,对于白噪声而言,期望它的自相关值接近 0。但是由于随机扰动的存在,自相关值并不会精确地等于 0。对于一个长度为 N 的白噪声序列而言,期望在 0.95 的置信度下,它的自相关值范围如下

$$-2/\sqrt{N} < r_k < 2/\sqrt{N} \quad (2)$$

如果一个序列中有较多的自相关值处于边界

之内,那么该序列很可能是白噪声序列。

2 波形数据预处理方法

2.1 波形特征分析

基于采样序列自相关的采样数据预处理方法如下:以小电流接地故障发生时刻之前的波形作为方法处理对象,假设波形数据每周期的采样点数为 $S=80$,计算序列长度取 $N=2S=160$,选择 4 个滞后点分别为 $k_1=S/4$ 、 $k_2=S/2$ 、 $k_3=3S/4$ 和 $k_4=S$,波形数据选取示意图如图 1 所示。

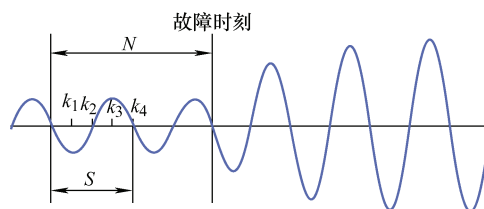


图 1 波形数据选取示意图

Fig. 1 Waveform data selection diagram

首先以标准正弦波形为样本计算周期性序列特征值,将正弦波形数据以及相应的滞后数据代入式(1)可以计算出 $r_{k_1}=0.08$ 、 $r_{k_2}=-0.75$ 、 $r_{k_3}=-0.08$ 和 $r_{k_4}=0.5$ 。以此为基准,当波形数据特征值满足式(3)时,可以判断其具有周期性。

$$\begin{cases} 0.08c_{k_1} \leq |r_{k_1}| \leq 0.1 \\ -0.75 \leq r_{k_2} \leq -0.75c_{k_2} \\ 0.08c_{k_3} \leq |r_{k_3}| \leq 0.1 \\ 0.5c_{k_4} \leq r_{k_4} \leq 0.5 \end{cases} \quad (3)$$

式中, c_{k_1} 、 c_{k_2} 为适应系数,应用中可取 $c_{k_1}=0.2$ 、 $c_{k_2}=0.9$ 。

对于小电流接地故障,故障发生前线路波形为周期性序列意味着线路存在三相不平衡现象或周期性干扰,需要在数据进入算法前作去不平衡处理,否则将会对接地故障的相对相位计算产生较大的影响,从而影响研判结果。

在各种小电流接地故障中,高阻接地是较为常见的故障类型,发生高阻接地时,零序电压幅值上升速度缓慢,当满足算法启动条件时,可能故障已经持续了一段时间。滞后启动错过了故障

初始阶段的信息,同时,对于中性点经消弧线圈接地的系统,消弧线圈的补偿作用使得故障线路的接地电流相位发生改变,这些因素都可能导致算法计算结果异常。

以图2所示的滞后启动波形样本计算序列特征值,将波形数据以及相应的滞后数据代入式(1)计算出 $r_{k_1}=-0.41$ 、 $r_{k_2}=0.01$ 、 $r_{k_3}=-0.02$ 和 $r_{k_4}=-0.02$ 。将算法启动时刻再次向后推至下一个波峰位置,重新计算自相关系数得 $r_{k_1}=-0.15$ 、 $r_{k_2}=-0.48$ 、 $r_{k_3}=0.11$ 和 $r_{k_4}=0.05$ 。可以发现,随着启动滞后时间的增加, r_{k_1} 逐渐减小, r_{k_2} 逐渐增大, r_{k_3} 与 r_{k_4} 变化较为缓慢。

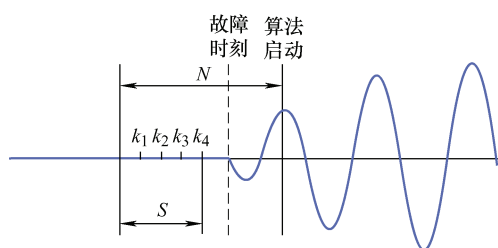


图2 算法滞后启动示意图

Fig. 2 Algorithm lagged starting diagram

当波形数据特征值满足式(4)或式(5)时,可以判断其发生了滞后启动。

$$\begin{cases} |r_{k_1}| > 0.05 \\ |r_{k_1}| > c_{k_3} |r_{k_2}| \\ |r_{k_1}| > c_{k_3} |r_{k_3}| \\ |r_{k_1}| > c_{k_3} |r_{k_4}| \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} 0.75c_{k_2} > |r_{k_2}| > 0.05 \\ |r_{k_2}| > c_{k_4} |r_{k_1}| \\ |r_{k_2}| > c_{k_4} |r_{k_3}| \\ |r_{k_2}| > c_{k_4} |r_{k_4}| \end{cases} \quad (5)$$

式中, c_{k_3} 、 c_{k_4} 为适应系数,应用中可取 $c_{k_3}=3$ 、 $c_{k_4}=2$ 。

对于采样数据中的噪声信号,如果噪声是由采样量化误差造成,或者噪声信号含量较低,则对算法计算不会产生实质的影响,可以跳过数字滤波环节,当算法启动前数据同时满足式(6)和式(2)时,需要进行滤波处理。

$$\sqrt{\frac{1}{S} \sum_{i=1}^S (x_i - \bar{x})^2} > 1.5\%E \quad (6)$$

式中, E 为采样通道的额定值。

2.2 波形数据分析流程

取接地算法启动前2个周期的采样数据为分析对象,计算4个自相关系数并判断是否满足式(3)周期性条件。如果存在周期性特征,则进行去不平衡处理,再计算处理后数据的自相关系数,并判断是否满足式(4)或式(5)条件。如果存在启动滞后现象,则将相关采样通道的算法启动时刻向前移位,重新计算算法启动前2个周期采样数据的自相关系数,判断是否满足式(6)的滤波启动条件和式(2)的白噪声条件,选择是否对采样数据数字滤波。数据分析流程如图3所示。

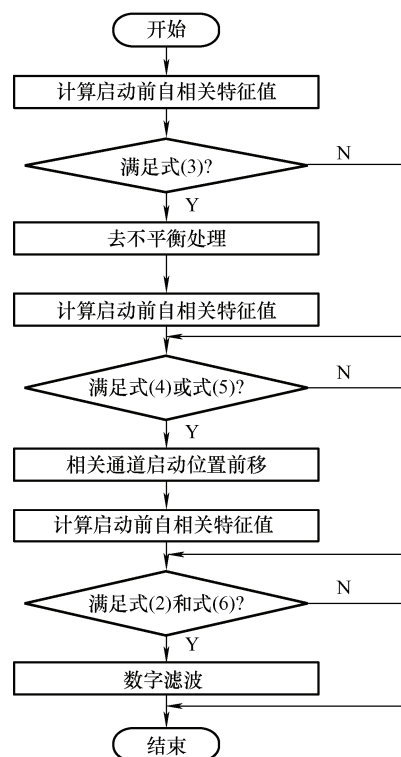


图3 数据分析流程图

Fig. 3 Data analysis flow chart

3 现场数据处理分析

以某市配电网的现场单相接地故障录波数据为分析对象,故障发生地区内建有多个大型农贸

交易市场, 线路三相不平衡现象较为突出, 故障线路零序电压、电流波形如图 4 所示。

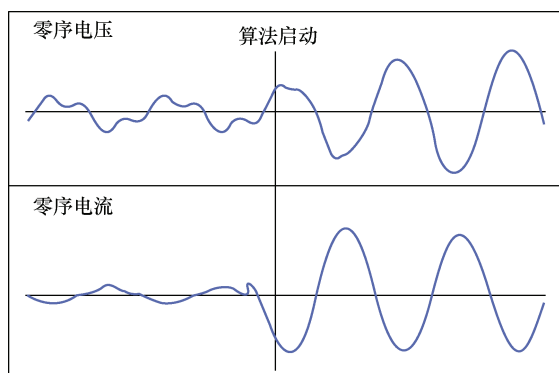


图 4 现场接地故障录波数据

Fig. 4 Field grounding fault recording data

首先分析零序电压通道, 算法启动时刻前的自相关系数分别为 $r_{k_1}=-0.085$ 、 $r_{k_2}=-0.69$ 、 $r_{k_3}=0.076$ 和 $r_{k_4}=0.48$, 满足式(3)条件; 经去不平衡处理后, 重新计算自相关系数为 $r_{k_1}=-0.12$ 、 $r_{k_2}=-0.01$ 、 $r_{k_3}=-0.02$ 和 $r_{k_4}=-0.02$, 满足式(4)条件。因此, 将零序电压、零序电流的算法启动时刻前移, 移位后启动前采样值接近为 0, 不满足式(6)条件, 无须进行数字滤波处理, 处理后的采样序列可直接导入算法计算。处理后的波形如图 5 所示。

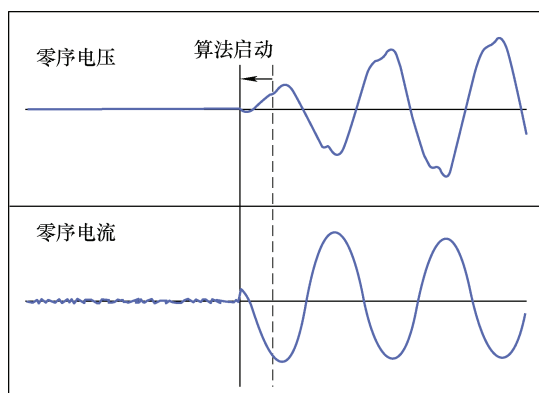


图 5 现场接地故障处理后数据

Fig. 5 Field grounding fault processed data

4 结束语

本文提出了一种基于采样序列自相关的小电流接地波形预处理方法, 计算算法启动前采样数

据的自相关系数根据判断条件识别波形形态, 为去不平衡处理、算法启动位置调整及数字滤波等过程提供执行判据。本方法中的特征值计算简单, 条件判据明确, 可以广泛应用于小电流接地算法的数据预处理阶段。EA

参考文献

- [1] 李天友, 徐丙垠, 薛永端. 配电网高阻接地故障保护技术及其发展[J]. 供用电, 2018, 35(5): 2-6, 24.
- [2] 潘本仁, 宋华茂, 张秋凤, 等. 小电流接地故障无功功率分析及选线新方法[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(14): 51-56.
- [3] 宋金钊, 李永丽, 石峥, 等. 一种新的谐振接地系统单相接地故障选线方法[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(6): 9-15.
- [4] 薛永端, 李娟, 陈筱蓓, 等. 谐振接地系统高阻接地故障暂态选线与过渡电阻辨识[J]. 中国电机工程学报, 2017, 37(17): 5037-5048, 5223.
- [5] 刘鹏辉, 黄纯. 基于动态时间弯曲距离的小电流接地故障区段定位方法[J]. 电网技术, 2016, 40(3): 952-957.
- [6] 束洪春, 朱梦梦, 黄文珍, 等. 基于暂态零序电流时频特征量的配网故障选线方法[J]. 电力自动化设备, 2013, 33(9): 1-6.
- [7] 童宁, 余梦琪, 林湘宁, 等. 基于相电流高频特征识别的配电网故障指示器原理[J]. 电工技术学报, 2015, 30(12): 465-471.
- [8] 杨健翔, 常仲学, 豆敏娜, 等. 一种配网单相接地选线的频带自适应获取方法[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(15): 60-66.

作者简介:

张华(1981—), 男, 工程师, 研究方向为配电自动化。

(收稿日期: 2020-12-07)



张 华