

双端测距以及同步算法的实现

吴瑞春, 焦彦军, 张新国

(华北电力大学, 河北 保定 071003)

摘要: 针对目前双端测距算法中计算量大, 而且许多算法要求双端的信息量同步的问题。文中提出了一种基于对称分量法的双端量测距法, 该算法是建立在适用于各种故障类型的正序网进行计算测距。正序量测距有利于消除平行线路互感的影响, 并且该算法简单计算量小不受过渡电阻和系统运行方式的影响。同时文中提出了二种简单可行的方法实现了两端的数据同步。解决了利用通信方法实现同步在技术上比较复杂, 而且花费较大的问题。经过 EMTP 仿真, 验证该测距算法有很高的准确性和很好的适应性。

关键词: 对称分量法; 数据同步; 双端测距

Realization of two-terminal fault location and synchronization algorithm

WU Rui-chun, JIAO Yan-jun, ZHANG Xin-guo

(North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

Abstract: Aiming at the great amount of calculation in two-terminal data fault location algorithm and the data synchronization requirement in many other algorithms. This paper proposes a two-terminal data fault location algorithm based on the symmetrical components method. The algorithm is applicable to the fault location calculation for the positive sequence network under various kinds of malfunctions and is immune to the transitional resistance and to the variation of operational mode of system. The fault location using positive sequence data plays a positive role in eliminating the influence of inductance between parallel lines. Meanwhile, two easy and applicable methods are brought forward in the paper to synchronize the data on both ends, which embarrass the communication method in complexity and cost. In the end, the EMTP simulation shows that the algorithm enjoys a fairly high accuracy and flexibility.

Key words: symmetrical components method; data synchronization; two-terminal fault location

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2008)05-0007-03

0 引言

随着现代电力系统的日益复杂, 输电容量和电压等级的不断提高, 输电线路故障对社会的经济生活造成的危害也愈加严重。这就要求人们迅速、准确地确定故障点位置, 以便及时修复故障, 同时, 还要考虑测距装置的经济性、实用性, 并且提高设备运行的可靠性^[1, 2]。因此, 这些年输电线路故障测距问题的研究在国内外都异常活跃, 许多学者基于对线路模型、测量电量以及测量手段的不同考虑, 提出了许多故障测距方法, 如单端故障测距法、双端故障测距法及行波法。单端测距由于已知信息的局限性, 目前在理论上还无法克服故障点过渡电阻、远方系统阻抗等因素对测距精度的影响。而双端算法的信息量比单端算法的信息量大, 因此, 故障电

阻和负荷的扰动对双端算法测距精度的影响较小。双端故障测距算法需要解决双端信息采样的同步问题。利用GPS提供高精度同步时钟, 保证采样同步精度。这对硬件要求较高, 数据采样的同步偏差会导致较大的测距误差, 而且, 可能出现GPS短时失步、卫星信号调整、天线干扰等情况导致时钟信号失真, 从而无法保证同步精度。另基于不同步采样数据的双端算法, 恰好弥补了这一缺陷, 具有较大的工程实用价值。但面临求解复杂, 可能出现伪根的问题^[3~5]。本文在双端测距方法的基础上提出了二种简单可行的方法实现了两端的数据同步, 解决了利用通信方法实现同步在技术上比较复杂, 而且花费较大的问题。

1 基于两端量的故障测距算法

1.1 基本原理

本算法利用本端和对端的电流、电压进行故障测距计算,由图1可写出下列2个电压方程:

$$U_m = I_m Z D_{mF} + I_F R_F \quad (1)$$

$$U_n = I_n Z (D_L - D_{mF}) + I_F R_F \quad (2)$$

式中: Z 为线路单位长度阻抗; D_{mF} 为 m 端到故障点 F 的距离; U_m , I_m 为 m 端电压、电流; U_n , I_n 为 n 端电压、电流; R_F 为故障点的过渡电阻; I_F 为故障点的短路电流; D_L 为线路 mn 的长度。

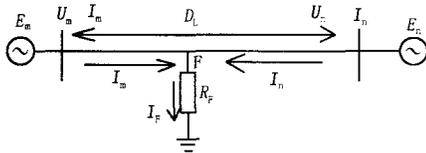


图1 线路故障接线图

Fig.1 The faulty line diagram

联立式(1)和(2), 消去 R_F 可求得

$$D_{mF} = \frac{U_m - U_n + I_n Z D_L}{(I_m + I_n) Z} \quad (3)$$

式(3)表明, 两端电气量法完全不受过渡电阻影响, 而且也与线路两端系统综合阻抗无关, 即不受系统运行方式影响。现有的两端电气量法在线路发生故障时, 首先需判断故障类型, 故障选相后再取故障回路两端电流、电压量进行故障测距计算, 公式复杂, 计算量大。其实, 在电力系统的不对称故障分析中广泛采用了对称分量法, 它把不对称的系统变成三相相互独立的系统, 使计算三相电路的问题变成只计算单相电路, 从而大大简化计算。将对称分量法用于故障测距, 可以不必进行故障选相工作^[6]。

1.2 测距算法

一个两侧电源系统, 若在线路 F 点发生短路故障, 无论是何种类型, 是金属短路还是经过渡电阻短路, 均可以用正、负、零序 3 个序网表示。其中, U_{1F} U_{2F} U_{0F} 是线路各序网 F 点的电压, 它由故障类型、过渡电阻和系统有关参数决定^[7]。对不同序网的电压方程的表达式为

$$U_{jF} = U_{jm} - I_{jm} D_{mF} Z_j \quad (4)$$

$$U_{jF} = U_{jn} - I_{jn} (D_L - D_{mF}) Z_j \quad (5)$$

式中: j 为序网号, 由故障类型决定, 对三相短路 $j=1$; 对两相短路 $j=1, 2$; 对接地短路 $j=1, 2, 0$ 。从上述测距表达式可知, 利用任一序网都可进行故

障测距。然而在正、负、零 3 序中, 只有正序适用于所有类型的故障, 而且利用正序量测距有利于消除平行线路互感的影响, 故利用正序量测距可得故障距离:

$$D_{mF} = \frac{U_{1m} - U_{1n} + I_{1n} Z_1 D_L}{(I_{1m} + I_{1n}) Z_1} \quad (6)$$

式中: Z_1 为线路单位长度正序阻抗。

2 同步算法的实现

2.1 同步算法一

本算法要求线路两端的数据同步, 也就是说两端数据以共同的参考相量为基础, 通常线路各端的电压和电流是同步采样的。因此 U_{1m} 和 I_{1m} 是同步的, U_{1n} 和 I_{1n} 也同步。问题是如何使两端的数据同步, 利用通信方法实现同步在技术上比较复杂, 而且花费较大。简单可行的方法是利用任一端故障前的电压和电流实现同步, 该方法的基本原理如下:

在正常运行条件下, 根据正序网可写出

$$U_{1m} - I_{1m} Z_1 D_L = U_{1n} \quad (7)$$

式中: U_{1m} , I_{1m} 为故障前 m 端的正序电压, 电流; U_{1n} 为故障前 n 端的正序电压; Z_1 为线路单位长度的阻抗。

由上式(7)可以确定 m, n 两端正序电压的相位关系, 也就给出了两端电压在故障前的过零点时间(故障前的过零点时间是指 i_{1m} 过零的时刻), 该时间可作为两端同步的参考时间。因为 U_{1m} 和 I_{1m} 是同步的, U_{1n} 和 I_{1n} 同步, 所以以此时的 U_{1m} 和 U_{1n} 为共同的参考相量, 这样就实现了双端数据的同步。

2.2 同步算法二

线路的每公里对地电容 C 一般认为是恒定的, 可由计算精确地得到, 线路每公里电感 L , 电阻 R 和线路长度 l 相对来说不太精确。对于图1所示的正常系统, 假设处于稳定运行状态, 线路 M 和 N 端的电压电流相量为 U_m , I_m , U_n , I_n 线路两端采样数据的不同步造成的两端电压电流相量的相角差为 θ , 根据电报方程可得以下关系

$$U_n = U_m e^{j\theta} \text{ch}(\gamma l) - Z_{C1} I_m e^{j\theta} \text{sh}(\gamma l) \quad (8)$$

$$U_m = U_n e^{j\theta} \text{ch}(\gamma l) - Z_{C1} I_n e^{j\theta} \text{sh}(\gamma l) \quad (9)$$

式中: γ 为线路的传播常数; Z_{C1} 为波阻抗, $Z_{C1} = \sqrt{\omega_0^2 LC + j\omega_0 RC}$; ω_0 为系统角频率, $\omega_0 = 314$

rad/s 线路波阻抗 Z_{Cl} 可以写成

$$Z_{Cl} = \gamma / (j\omega_0 C) \quad (10)$$

把式(10)分别代入式(8),(9)得

$$U_n = U_m e^{j\theta} \operatorname{ch}(\gamma l) - \gamma I_m e^{j\theta} \operatorname{sh}(\gamma l) / (j\omega_0 C) \quad (11)$$

$$U_m = U_n e^{-j\theta} \operatorname{ch}(\gamma l) - \gamma I_n e^{-j\theta} \operatorname{sh}(\gamma l) / (j\omega_0 C) \quad (12)$$

式(11),(12)为2个复数方程,相当于4个实数方程。 γ (令 $\gamma = \alpha + j\beta$) 为复数, θ 和 l 为实数, α , β , θ 和 l 为4个未知数,可用牛顿-拉夫逊法求解,其中求解时可用不太精确的 α , β , l 初值得到 θ 的初值。

3 EMTP仿真验证

计算故障后线路两端的电压电流瞬时值,然后对故障后第二周波数据进行抽样。在计算故障距离之前,应对所采集的数据进行滤波处理。在仿真实验中的数字滤波采用一阶差分滤波加全波富氏算法。这是由于一阶差分滤波对衰减的直流分量有较强的抑制作用,而全波富氏算法不仅能求得电气信号的实部和虚部,而且本身就具有很强的滤波作用,能滤除直流分量和各次谐波分量,但不能有效地抑制衰减的直流分量。将两者结合起来,能得到较好的滤波特性。

以220 kV输电线总长14 km发生的A相接地线路故障为例,运用同步算法一(过零时间通常取故障前一个周波)计算所得的测距结果与实际故障点距离的比较见表1,测距误差小,效果令人满意。

表1 算法一的测距结果

Tab.1 Result of the first algorithm

故障方向	测量距离/km	实际距离/km	误差/(%)
M 端	1.985	1.970	0.7614
N 端	11.975	12.025	0.4158

注:单位正序阻抗 $Z=0.064+j0.3118(\Omega)$ 。

运用同步算法二(通过牛顿-拉夫逊法求解相角差 θ) 计算所得的测距结果与实际故障点距离的比较见表2,测距误差极小,效果令人满意。

表2 算法二的测距结果

Tab.2 Result of the second algorithm

故障方向	测量距离/km	实际距离/km	误差/(%)
M 端	1.984	1.970	0.7106
N 端	11.977	12.025	0.3992

4 结论

该算法选用适用于各类型故障的正序网进行计

算测距,正序量测距有利于消除平行线路互感的影响。并且该算法不受过渡电阻和系统运行方式的影响。文中提出了二种简单可行的方法实现了两端的数据同步。解决了利用通信方法实现同步在技术上比较复杂,而且花费较大的问题。经过仿真,验证该算法有很高的准确性。

参考文献

- [1] 葛耀中.新型继电保护与故障测距原理与技术[M].西安:西安交通大学出版社,1996.
GE Yao-zhong.New Types of Protective Relaying and Fault Location Their Theory and Techniques[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 1996.
- [2] Minzmbres J F, Zamora I, Mazon A J, et al. A New Technique Based on Voltage for Location on Three-terminal Transmission Lines[J]. Electric Power System Research, 1996, 11(1): 130-138.
- [3] 宋振红,张举,唐杰.一种基于双端电压相量测量的故障测距新算法[J].电力自动化设备,2006,26(6):27-29.
SONG Zhen-hong,ZHANG Ju,TANG Jie. Fault Locating Based on Dual-terminal Voltage Measurement[J] Electric Power Automation Equipment,2006,26(6):27-29.
- [4] 李胜芳,范春菊,郁惟镛.基于相量测量的输电线路故障测距新算法[J].电网技术,2004,28(17):28-32.
LI Sheng-fang, FAN Chun-ju, YU Wei-yong. A New Phasor Measurement Based Fault Location Algorithm for Transmission Lines[J]. Power System Technology, 2004, 28(17): 28-32.
- [5] 肖祥,毛为民.基于两端量线路故障测距新算法[J].电力自动化设备,2002,22(9):73-74.
XIAO Xiang,MAO Wei-min. Line Fault Locating Algorithm Based on Parameters of Both Terminals[J]. Electric Power Automation Equipment,2002,22(9):73-74.
- [6] 贺家李,葛耀中.超高压输电线路故障分析与继电保护[M].北京:科学出版社,1987.
- [7] 孙立山,陈学允.使用输电线路双端数据的故障测距研究[J].哈尔滨工业大学学报,1999,31(2):58-60.
SUN Li-shan, CHEN Xue-yun. Fault Location Using Transmission Line Two Terminal Data[J].Journal of Harbin Institute of Technology, 1999,31(2): 58-60.

收稿日期:2007-07-04; 修回日期:2007-10-19

作者简介:

吴瑞春(1982-),男,硕士研究生,主要从事电力系统故障分析的研究工作;E-mail:wuruichun2001@163.com

焦彦军(1963-),男,博士,硕导,从事微机继电保护方面的教学和科研工作;

张新国(1957-),男,硕导,从事微机继电保护方面的教学和科研工作。