

15-27-33

一种应用双端信息自同步校正的故障测距法

TM726

黄 慧 卢继平 叶一麟

TM762.25

(重庆大学电气工程系, 重庆, 400044; 第一作者 32岁, 女, 硕士)

摘 要 针对高压、超高压远距离输电线路, 提出了一种应用双端信息自同步校正的故障测距法。该算法采用长线模型, 计及了线路分布电容的影响, 能够实时修正输电线路两端采样的相角差, 从而避免了由于两端采样信息不同步而造成的测距误差。经过大量的数字仿真试验, 其结果十分令人满意。

关键词 分布电容 / 故障测距; 自同步校正
中国图书资料分类法分类号 TM771

输电线'路

0 引 言

对于采用双端信息的测距算法而言, 存在着一个核心问题, 这就是双端信息采样是否同步的问题。近年来, 有人提出利用 GPS 即卫星定位系统, 依据标准时钟实现输电线路两端数据的同步采样, 但这需要额外的设备和投资, 并且使用起来不方便, 目前我国采用标准时钟还不现实。在利用双端信息的测距方法中, 有一些方法虽不需要双端信息同步, 如文献[1]所提的异步算法, 但经过数字仿真发现, 该异步算法在某些情况下, 在个别故障点的测距会由于迭代收敛于非真解而产生很大的误差。另一些方法则需要两端采样信息同步, 如文献[1]的同步算法, 以及文献[2]所提测距算法。本文通过仿真发现, 文献[2]测距算法对分布电容及其相位十分敏感, 特别是在经高阻接地的非金属性故障时, 该算法失效。并且, 文献[1, 2]测距算法均建立在未考虑线路分布电容的模型上, 当应用于计及分布电容的分布参数模型时, 其测距结果势必存在误差。

文献[2]提出了一种利用故障前信息进行同步化自校正的方法, 但遗憾的是该方法仅适用于未计及线路分布电容的粗略模型。

针对现有利用双端信息测距算法的不足, 笔者提出一种新的应用双端信息自同步校正的准确测距法, 同时建立了准确的自校正公式。新方法采用计及分布电容的长线模型, 两端数据不要求同步, 不仅可用于双端、三端线路, 还可用于环网线路, 不受网络结构的限制。

1 原 理

1.1 两端采样信息自同步校正原理

* 收文日期 1997-01-21

** 作者现在重庆电力职工大学工作

利用故障前线路处于负荷状态下的电流、电压,计算出由于两端采样不同步的补偿相角,从而对故障后的采样值进行自校正,达到对异步数据同步化的目的。

如图1所示,在负荷状态下,以 V_M 为参考相量,由对侧电压 \tilde{V}_N 可得本侧的计算电压 \tilde{V}_M :



图1 系统模型示意图

$$\tilde{V}_M = \cosh(\lambda \cdot LL) \tilde{V}_N - \sinh(\lambda \cdot LL) \tilde{I}_N \quad (1)$$

其中 λ 为传输常数; LL 为线路长度; $\tilde{V}_M, \tilde{V}_N, \tilde{I}_N$ 均为相应的相序分量。

由于系统处于负荷状态,则计算电压 \tilde{V}_M 与实际采样值 V_M 的大小、相位应一致;但若两侧采样不同步,那么 \tilde{V}_M 与 V_M 不相同,假设两端采样相角差为 α ,那么:

$$\tilde{V}_M = e^{j\alpha} V_M$$

则 \tilde{V}_M, \tilde{V}_N 之间的内积为:

$$\langle \tilde{V}_M, V_M \rangle = \langle e^{j\alpha} V_M, V_M \rangle = e^{j\alpha} \langle V_M, V_M \rangle$$

$$e^{j\alpha} = \frac{\langle \tilde{V}_M, V_M \rangle}{\| \tilde{V}_M \|^2} \quad (2)$$

其中: $\langle \tilde{V}_M, V_M \rangle = V_M^* \cdot \tilde{V}_M; \| \tilde{V}_M \|^2 = V_M^* \cdot V_M$

V_M^* 为 V_M 的共轭值。

利用计算出的采样相角差 α ,即可对 N 侧的电流、电压进行自同步校正,校正后 N 侧的数据为:

$$V_N = e^{-j\alpha} \tilde{V}_N$$

$$I_N = e^{-j\alpha} \tilde{I}_N$$

(2) 式即为计及了分布电容后两端采样相角差的准确计算公式。

1.2 两端信息自同步校正测距原理

下面将讨论应用两端信息自同步校正的新的故障测距法原理^[3],所用系统图如图2所示。

上图中,粗线表示分布参数线路。假设在 F 点发生了故障,则 F 点的电压 V_F 以及电流 I_F 可表示如下:

$$V_F = AV_M - BI_M$$

$$I_F = AI_M - CV_M$$

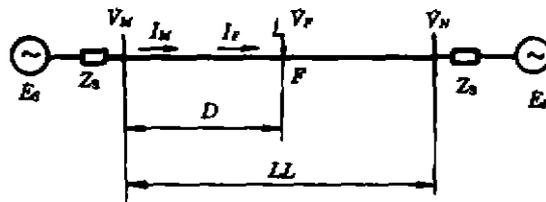


图2 故障状态下系统示意图

上式中

$$A = \cosh(\lambda D)$$

$$B = Z_c \sinh(\lambda D)$$

$$C = \sinh(\lambda D) / Z_c$$

$$\lambda = \sqrt{(R + j\omega L) \cdot j\omega C}$$

$$Z_c = \sqrt{(R + j\omega L) / j\omega C}$$

对上述常数的正、负、零序均按惯例加 1, 2, 0 小脚标表示。

单相接地短路：

故障正、负、零序网络图如图 3 所示。

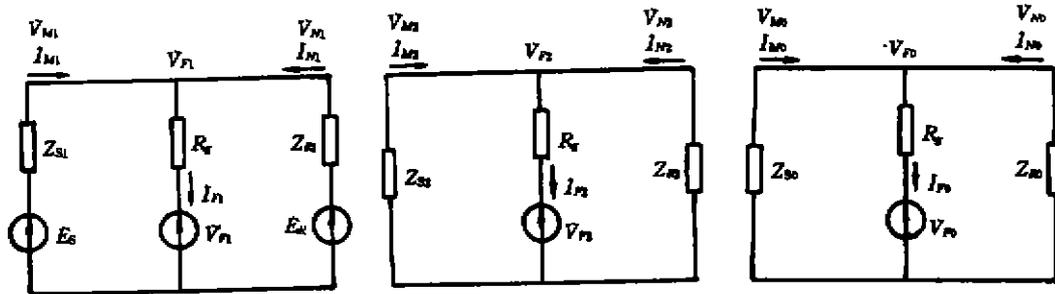


图 3 故障正、负、零序网络图

由正序网络图得：

$$V_{F1} = A_{M1}V_{M1} - B_{M1}I_{M1} \tag{3}$$

由负序网络图得：

$$V_{F2} = A_{M2}V_{M2} - B_{M2}I_{M2} \tag{4}$$

$$I_{F2} = I_{FM2} + I_{FN2}$$

$$= A_{M2}I_{M2} - C_{M2}V_{M2} + A_{N2}I_{N2} - C_{N2}V_{N2}$$

由零序网络图得：

$$V_{F0} = A_{M0}V_{M0} - B_{M0}I_{M0} \tag{5}$$

$$I_{F0} = I_{FM0} + I_{FN0}$$

$$= A_{M0}I_{M0} - C_{M0}V_{M0} + A_{N0}I_{N0} - C_{N0}V_{N0} \tag{6}$$

单相接地短路的边界条件为：

$$I_{F1} = I_{F2} = I_{F0}$$

则

$$V_F = 3R_f I_{F0} \tag{7}$$

∴

$$R_f = \frac{V_F}{3I_{F0}} = \frac{V_{F1} + V_{F2} + V_{F0}}{3I_{F0}}$$

$$\text{Im}(R_f) = 0 \tag{8}$$

将式(3),(4),(5)及(6)式代入(7)式,利用式(8)即可求得故障距离 D

对于不同故障类型,采用不同的边界条件,即可按上述相似地推导出一个以故障距离 D 为自变量的函数,下面列出其他故障类型按相间过渡电阻导出的边界条件:

两相短路故障:

$$R_f = \frac{\dot{V}_{F1} - \dot{V}_{F2}}{I_{F1}} \quad (9)$$

两相接地故障:

$$R_f = \frac{\dot{V}_{F1} - \dot{V}_{F2}}{I_{F1} - I_{F2}} \quad (10)$$

三相短路故障:

$$R_f = \frac{\dot{V}_{F1}}{I_{F1}} \quad (11)$$

R_f ——相间电阻; R_g ——接地电阻。

2 数字仿真试验^[3]

数字仿真系统模型:

线路正序参数: $Z_{L1} = 0.018 + j0.294 \Omega/\text{km}$ $C_1 = 0.0113 \mu\text{F}/\text{km}$

线路零序参数: $Z_{L0} = 0.1896 + j1.085 \Omega/\text{km}$ $C_0 = 0.0083 \mu\text{F}/\text{km}$

系统参数: $Z_{S1} = 7.844 + j89.66 \Omega/\text{km}$ $Z_{S0} = 17.43 + j199.24 \Omega/\text{km}$

系统方式一: $Z_{R1} = Z_{S1}$, $Z_{R0} = Z_{S0}$

系统方式二: $Z_{R1} = 0.1Z_{S1}$, $Z_{R0} = 0.1Z_{S0}$

文献[2]给出的计算两端采样相角差 α 的公式如下:

$$\tilde{V}_M = \tilde{V}_N - LL \cdot Z_1 \cdot \tilde{I}_N$$

式中 Z_1 ——线路单位长度的三相串联阻抗矩阵。

$$e^{j\alpha} = \frac{\langle \tilde{V}_M, \tilde{V}_M \rangle}{\|\tilde{V}_M\|^2} \quad (12)$$

式(12)是依据未考虑线路分布电容的简化模型得出的,有一定的近似性。表1为在两端采样相角差不同的情况下,由准确公式(2)和近似公式(12)两种算法应用于计及线路分布电容的分布参数模型时所得仿真结果。表1~表9为 $LL = 500 \text{ km}$, $R_g = 100 \Omega$ 时所得仿真结果。

表1 准确公式与近似公式所得仿真结果 (°)

两端实际采样相角差		36	72	90	108
$\delta = 30$	公式(2)的计算相角差	36.007 7	72.443 2	90.297 5	108.286 0
	公式(12)的计算相角差	37.165 5	72.967 7	91.253 1	109.348 7
$\delta = 60$	公式(2)的计算相角差	36.005 2	72.254 4	90.284 0	108.389 2
	公式(12)的计算相角差	36.909 7	73.671 2	91.985 8	110.037 7

注: $\delta = \theta_1 - \theta_2$

由表 1 结果可见,公式(12)因模型的不准确,导致自校正角 α 的误差,若用于分布参数线路测距,势必因 α 角的误差导致测距误差。本文提出的公式(2)很好地解决了文献[2]算法中模型不准确的问题,仿真结果令人满意。

令 $E_s = E_s \angle \theta_1$, $E_R = E_R \angle \theta_2$ 。下列表中, θ_1 为 S 侧系统电势相角, θ_2 为 R 侧系统电势相角。表 2 ~ 表 5 为新测距算法在系统不同运行方式下,采用准确校正公式(2)的仿真结果;表 6 ~ 表 9 为经简化模型校正公式(12)的对应仿真结果。

表 2 在方式一下, $\theta_1 = 0^\circ$, $\theta_2 = 30^\circ$ 的仿真结果 (km)

实际故障距离		50	100	200	300	400
$\alpha = -36^\circ$	计算故障距离	51.124 0	101.844 2	202.299 8	302.152 2	400.529 9
$\alpha = 36^\circ$		49.168 3	99.815 9	198.484 2	298.485 4	399.507 8
$\alpha = 90^\circ$		49.400 9	99.571 8	199.462 9	301.466 8	400.218 8

表 3 在方式一下, $\theta_1 = 0^\circ$, $\alpha = 36^\circ$ 的仿真结果 (km)

实际故障距离		50	100	200	300	400
$\theta_2 = -30^\circ$	计算故障距离	49.499 5	99.456 8	199.554 4	299.865 7	400.451 7
$\theta_2 = 0^\circ$		49.316 4	99.182 3	198.913 6	298.950 2	399.536 1
$\theta_2 = 60^\circ$		49.740 7	101.013 0	197.021 5	297.343 8	400.634 8

表 4 在方式二下, $\theta_1 = 0^\circ$, $\theta_2 = 30^\circ$ 的仿真结果 (km)

实际故障距离		50	100	200	300	400
$\alpha = -36^\circ$	计算故障距离	51.673 3	101.820 8	201.196 1	303.805 7	400.353 9
$\alpha = 36^\circ$		48.980 7	99.571 8	199.951 2	298.189 5	399.218 6
$\alpha = 90^\circ$		49.515 9	99.778 3	199.890 1	299.316 4	399.870 1

表 5 在方式二下, $\theta_1 = 0^\circ$, $\alpha = 36^\circ$ 的仿真结果 (km)

实际故障距离		50	100	200	300	400
$\theta_2 = -30^\circ$	计算故障距离	49.438 5	99.365 2	199.274 8	299.377 4	399.902 3
$\theta_2 = 0^\circ$		49.194 3	98.999 0	198.364 3	297.790 5	397.216 8
$\theta_2 = 60^\circ$		48.767 1	98.083 5	194.335 9	295.078 1	403.076 2

表6 在方式一下, $\theta_1 = 0^\circ, \theta_2 = 30^\circ$ 的仿真结果 (km)

实际故障距离		50	100	200	300	400
$\alpha = -36^\circ$	计算故障距离	52.326 2	103.637 7	207.153 3	315.185 5	405.492 2
$\alpha = 36^\circ$		48.950 2	98.815 9	198.181 2	307.739 3	403.656 3
$\alpha = 90^\circ$		48.095 7	98.937 9	202.270 5	312.988 3	402.959 0

表7 在方式一下, $\theta_1 = 0^\circ, \alpha = 36^\circ$ 的仿真结果 (km)

实际故障距离		50	100	200	300	400
$\theta_2 = -30^\circ$	计算故障距离	48.461 9	96.984 9	197.876 0	297.546 4	397.460 9
$\theta_2 = 0^\circ$		48.217 8	97.656 3	195.983 9	292.968 8	387.329 1
$\theta_2 = 60^\circ$		49.011 2	98.510 7	208.325 2	277.636 5	362.060 5

表8 在方式二下, $\theta_1 = 0^\circ, \theta_2 = 30^\circ$ 的仿真结果 (km)

实际故障距离		50	100	200	300	400
$\alpha = -36^\circ$	计算故障距离	52.185 1	103.454 6	206.665 0	315.109 7	405.625 0
$\alpha = 36^\circ$		48.461 9	98.693 8	197.143 6	306.030 3	403.381 5
$\alpha = 90^\circ$		47.515 9	97.717 3	197.509 8	310.058 6	402.061 3

表9 在方式二下, $\theta_1 = 0^\circ, \alpha = 36^\circ$ 的仿真结果 (km)

实际故障距离		50	100	200	300	400
$\theta_2 = -30^\circ$	计算故障距离	47.851 6	97.045 9	194.458 0	289.978 0	380.781 4
$\theta_2 = 0^\circ$		48.034 7	97.595 2	196.228 0	294.189 5	390.041 6
$\theta_2 = 60^\circ$		49.377 0	100.830 1	210.205 1	330.670 9	366.698 2

上述仿真结果表明:

1) 经准确自校正后,本文所提算法大部分情况下测距误差均在1%以下;方式二中,因测距端为小电源端,故测距精度差一些,尤其当测距端为受端时,见表中 $\theta_1 = 0^\circ, \theta_2 = 60^\circ, R_g = 100 \Omega$ 的情况下,此时最大误差在 $D = 200 \text{ km}$ 处,误差达1.133%。

2) 在应用简化模型校正式(12)时,测距误差增大,此时,最大误差出现在 $\theta_1 = 0^\circ, \theta_2 = 60^\circ, R_g = 100 \Omega, \alpha = 36^\circ$ 情况下 $D = 400 \text{ km}$ 处,误差高达7.58%。

3 结 论

本文提出了一种双端采样信息自同步化的精确校正方式,为利用双端或多端信息的故障测距原理的研究和应用,提供了有良好应用价值的新途径。新提测距算法在经采样信息自同步化的准确自校正后,其测距是准确的,大多数情况下,测距误差小于 1%,结果令人满意。

新算法可推广至三端线路以及环网线线路中,不受系统结构的影响。

参 考 文 献

- 1 Girgis A A. A New Fault Location Technique for Two-and Three-terminals. IEEE Trans PWRD, 1992, 7(1): 98~107
- 2 Abe M. Development of a New Fault Location System for Multiterminal Single Transmission Lines. IEEE Transactions on Power Delivery, 1995, 10(1): 159~163
- 3 黄蕙. 应用双端信息自同步校正的准确测距法:[学位论文]. 重庆:重庆大学电气工程系, 1996

A New Fault Location Method Based on Two-Terminal Information of Self-synchronous Rectification

Huang Hui Lu Jifeng Ye Yilin

(Department of Electrical Engineering, Chongqing University)

ABSTRACT In accordance with the high and extra-high voltage long-distance transmission line, this paper presents a fault location method based on two-terminal information of self-synchronous rectification. We adopt the long transmission line model, consider the effect of distribution capacity and can correct the sample phase angle difference in the real time between two terminals. So that this method can avoid the fault location error owing to asynchronous message on the two terminals. Tested by a lot of simulations, the results are very satisfied.

KEYWORDS distributed capacitances / fault location; self-synchronous rectification