

基于平行双回线单端实时数据的准确故障测距实用新方法

栗小华

(国电西北电力调度通信中心, 陕西 西安 710004)

摘要: 针对平行双回输电线的构成特点, 提出了利用平行双回线单端实时数据进行准确故障测距的新算法。算法从原理上可完全消除过渡电阻、负荷电流及系统阻抗参数变化等因素对测距精度的影响, 解决了平行双回线单线故障的准确测距问题。算法只需求解一元一次方程, 运算量比已有同类测距算法小得多。

关键词: 故障测距; 输电线路; 过渡电阻; 平行双回线; 全波傅氏算法

中图分类号: TM93 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2001)05-0005-03

1 引言

准确确定高压输电线故障位置, 缩短找寻故障点的时间, 对保证电网安全、可靠、稳定、经济运行有重大的社会和经济效益。迄今已有不少文献以不同原理对输电线故障测距算法进行了探讨^[1-8], 其中不乏有一些理论已转化为实际装置投入运行。按照故障测距所采用的电气量, 测距方法分为单端和双端测距法两大类。理论分析表明^[1], 单端测距法对一般结构的输电网络存在不可避免的原理性误差。因此目前双端测距法倍受人们关注。但该法要真正达到实用, 还需解决好求解复杂、伪根鉴别等问题^[6]。文献^{[7]、[8]}提出的平行双回线测距算法, 虽从原理上消除了影响测距精度的主要因素, 但理论分析繁琐, 运算复杂。其中文献^[7]需迭代求解二元四次方程。

本文针对平行双回线故障测距存在的问题。结合构成特点, 提出了平行双回线单线故障的准确测距算法。算法的测距精度完全不受系统阻抗参数、过渡电阻和负荷电流的影响, 原理上可做到了无误差测距。算法现已应用于西北电网故障分析及应用系统中。本文所述原理还可推广用于普通双回线及平行双回线线间零序互感分布不均线路的准确测距, 有关这些算法将在另文中详述。

2 测距原理

现以单相接地故障为例说明测距原理。图1(a)为平行双回线第1回线A相在F点经过渡电阻 R_g 接地短路的示意图。图1(b)为其零序等效网络。图中各符号意义已标明清楚。分析中假定全系统各元件正序阻抗与负序阻抗相等, 且故障测距装置设置在S端。

由叠加原理及对称分量理论可得S端故障相电压方程为:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{SA} = & \dot{I}_{S1} Z_1 X + \dot{I}_{S2} Z_2 X + \dot{I}_{S0} Z_0 X + \\ & \dot{I}_{S0} Z_{m0} X + 3\dot{I}_{f0} R_g = Z_1 X (\dot{I}_{SA} + \\ & K_0 \dot{I}_{S0} + K_{m0} \dot{I}_{S0}) + 3\dot{I}_{f0} R_g \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{式中: } K_0 = \frac{Z_0 - Z_1}{Z_1}, \quad K_{m0} = \frac{Z_{m0}}{Z_1};$$

Z_1 、 Z_{m0} —线路单位长度正序阻抗和线间零序互感;

\dot{I}_{S1} 、 \dot{I}_{S2} 、 \dot{I}_{S0} —测量端故障线路正序、负序和零序电流;

\dot{I}_{S0} —测量端非故障线路零序电流;

\dot{I}_{SA} —测量端故障相电流;

\dot{I}_{f0} —故障点A相对地电流;

X —故障距离。

式(1)中, 除 \dot{I}_{f0} 、 R_g 和 X 外, 其它各量

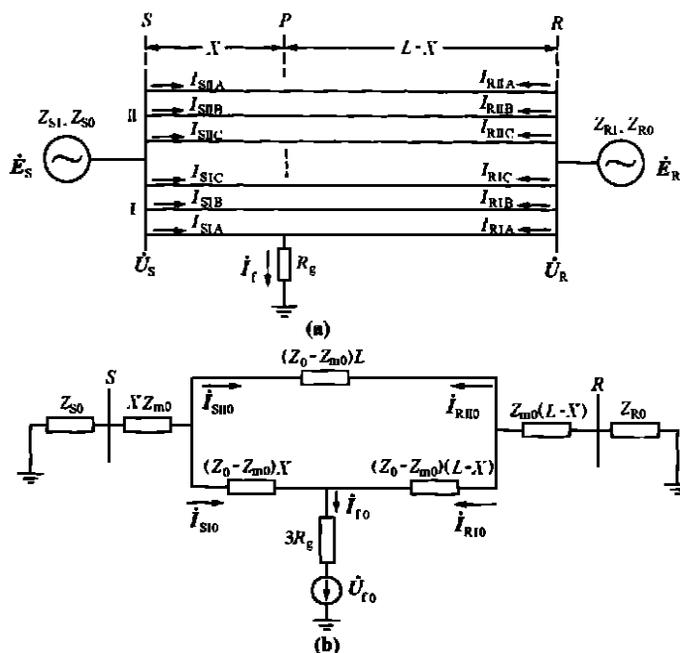


图1 I线A相接地故障示意图

均可在测量端实测或为事先可预知的常量。由于式(1)所示的复数方程含有上述三个未知量,不可解,故还需另外的关系式。

由图1(b)可得下式:

$$\dot{I}_{f0} = \dot{I}_{S0} + \dot{I}_{R0} \quad (2)$$

故障点过渡电阻的存在,不会破坏式(2)的正确性。假定线路S端故障线路零序电流分布系数为 C_{S0} ,则:

$$\dot{I}_{S0} = C_{S0} \dot{I}_{f0} \quad (3)$$

将式(3)代入式(1)中,可得:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{SA} = Z_1 X (\dot{I}_{SA} + K_0 \dot{I}_{S0} + K_{m0} \dot{I}_{S0}) + \\ 3R_g \frac{\dot{I}_{S0}}{C_{S0}} \end{aligned} \quad (4)$$

式(4)两边同乘 $C_{S0}^* \dot{I}_{S0}^*$ 得:

$$C_{S0}^* \dot{I}_{S0}^* \dot{U}_{SA} = C_{S0}^* \dot{I}_{S0}^* Z_1 X (\dot{I}_{SA} + K_0 \dot{I}_{S0} + K_{m0} \dot{I}_{S0}) + 3R_g |\dot{I}_{S0}|^2 \quad (5)$$

式中: \dot{I}_{S0}^* 为 \dot{I}_{S0} 的共轭;

$|\dot{I}_{S0}|$ 为 \dot{I}_{S0} 的模。

由复数相等的概念,对式(5)两边取虚部,消去过渡电阻 R_g ,得故障距离:

$$X = \frac{I_m [C_{S0}^* \dot{I}_{S0}^* \dot{U}_{SA}]}{I_m [C_{S0}^* \dot{I}_{S0}^* Z_1 (\dot{I}_{SA} + K_0 \dot{I}_{S0} + K_{m0} \dot{I}_{S0})]} \quad (6)$$

式(6)右端,除 C_{S0} 外其余均为可测量和已知常量。而 C_{S0} 是两端系统等效阻抗参数、故障距离和线路参数的函数。测量端的系统等效阻抗可依测量数据求得,而按高压输电线投产前必须实测参数的规程要求,其线路的准确参数也可事先预知。因此,影响式(6)测距精度的决定因素为测量对端系统等效阻抗参数的不确定性。由于系统运行方式是经常变化的,而目前的技术条件还不可能准确预测对端系统的运行方式。因而,对端系统的任何模糊实时参数都将产生不同程度的原理性误差。

为消除此误差,我们可利用双回线单线故障时,另一回线是完好的特点。消去 C_{S0} 中的系统阻抗参数,方法如下:

由图1(b)可得如下关系式:

$$\dot{I}_{S0} (Z_1 - Z_{m0}) L = \dot{I}_{S0} (Z_1 - Z_{m0}) X + (\dot{I}_{S0} - \dot{I}_{f0}) (Z_1 - Z_{m0}) (L - X) \quad (7)$$

由式(7)可求得:

$$\dot{I}_{S0} = \frac{(L - X)}{L(1 - C_0)} \dot{I}_{f0} \quad (8)$$

$$\text{式中: } C_0 = \frac{\dot{I}_{S0}}{\dot{I}_{f0}}$$

从式(8)可得到:

$$C_{S0} = \frac{(L - X)}{L(1 - C_0)} \quad (9)$$

由于 $\frac{(L - X)}{L}$ 为实数,故将式(9)代入式(6)后可得:

$$X = \frac{I_m [\dot{I}_{S0}^* \dot{U}_{SA} / (1 - C_0)]}{I_m [\dot{I}_{S0}^* Z_1 (\dot{I}_{SA} + K_0 \dot{I}_{S0} + K_{m0} \dot{I}_{S0}) / (1 - C_0)]} \quad (10)$$

式(10)已不含系统阻抗参数,因此,测距精度不受系统阻抗参数变化的影响。由于在推导式(10)过程中,完全消除了过渡电阻并采用故障分量,由此测距精度也与过渡电阻和负荷电流无关。

由于式(10)右端均为已知量,即式(10)为一元一次方程,求解极为简单,只需约10次左右的乘除法运算。实验表明,用16位微控制器可在几十微秒内算出故障距离^[1],运算速度比现有的同类算法快2~3倍^[7-8]。同时,因求解的故障距离是唯一的,故不存在伪根判别问题。由于运算量小,微机保护也易于应用此算法。

同理可推出相间故障时的准确测距算法,因篇幅所限,本文不再赘述,仅给出结论。

两相短路:

$$X = \frac{I_m [j \dot{I}_{S_{p2}}^* \dot{U}_{Sn} / (1 - C_2)]}{I_m [j \dot{I}_{S_{p2}}^* Z_1 \dot{I}_{Sn} / (1 - C_2)]} \quad (11)$$

$$\text{式中: } C_2 = \frac{\dot{I}_{S_{p2}}}{\dot{I}_{S_{p2}}}$$

$\dot{I}_{S_{p2}}^*$ —以非故障相为特殊相的故障线负序电流;

\dot{I}_{S_n} —两故障相电流差;

\dot{U}_{Sn} —两故障相电压差;

两相短路接地:

$$X = \frac{I_m [j (\dot{I}_{S_{p1}}^* - \dot{I}_{S_{p2}}^*) \dot{U}_{Sn} / (1 - C_2)]}{I_m [j (\dot{I}_{S_{p1}}^* - \dot{I}_{S_{p2}}^*) Z_1 \dot{I}_{Sn} / (1 - C_2)]} \quad (12)$$

式中各符号意义同两相短路。

对称故障:

$$X = \frac{I_m [I_S^* P_g \dot{U}_{SP} / (1 - C_1)]}{I_m [I_{SIPg}^* Z_1 \dot{I}_{SIP} / (1 - C_1)]} \quad (13)$$

式中： $C_1 = \frac{\dot{I}_{SIP} - \dot{I}_{SIPH}}{\dot{I}_{SIP} - \dot{I}_{SIPH}}$ ；

p (A, B, C)

\dot{I}_{SIPg}^* —故障相电流之故障分量,即 $\dot{I}_{SIP} - \dot{I}_{SIPH}$ ；

3 数字仿真试验结果

为验证本文所述测距算法的正确性和有效性,我们以安康—南郊 330kV 同杆并架双回线实际参数为例进行了近百次的数字仿真试验。试验利用“EMTP”(电力系统电磁暂态计算程序)获得线路模型上不同地点短路故障时测量端处的原始故障数据,再对“EMTP”运算结果进行一阶差分和全傅氏数字滤波后,求出电压、电流向量,并代入编制的测距程序,计算出故障距离。

图2为试验所选线路模型系统接线图和有关参数。

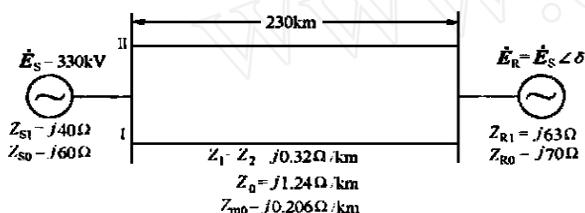


图2 数字仿真试验系统图

试验重点在于测试各种故障条件下的测距精度,特别是对端系统阻抗参数变化、过渡电阻及负荷电流对测距精度的影响。表1~3给出了部分单相接地故障的试验结果。

表1为设定对端系统阻抗 $Z_{R0} = j70$,而实际在设定值的0~500%大范围内变化,阻抗角也由 90° 变为 85° ,过渡电阻为300时的测距结果。

表1 对侧系统阻抗大范围偏离设定值,

$R_g = 300$, $\delta = 30^\circ$ 时的测距结果

	实际测距计算结果					理论故障距离(km)					
	(km)	5	30	120	180	220					
对侧实际系统阻抗参数	0	5.0229	29.9193	119.9461	180.0791	220.0639					
()	35 85°	5.0117	30.0586	119.9329	179.9577	220.0984					
()	70 85°	4.9697	30.0522	120.0581	180.0995	220.0780					
()	210 85°	5.0130	30.0323	120.0879	179.9054	220.1005					
()	350 85°	5.0184	30.0336	120.0624	179.9571	219.9629					

表2给出了过渡电阻对测距精度影响的部分试验结果,其中故障距离 $X = 200\text{km}$ 。

表3为负荷电流对测距精度影响的部分试验结果,其中故障距离 $X = 200\text{km}$,过渡电阻为300。

表2 过渡电阻对测距精度影响试验

其中： $X = 200\text{km}$, $\delta = 30^\circ$

过渡电阻()	10	100	500	1000
计算结果(km)	199.9733	200.0255	200.0255	199.7832

表3 负荷电流对测距精度影响试验

其中： $X = 200\text{km}$, $R_g = 300$

	45°	60°
计算结果(km)	199.9574	200.1255

仿真试验表明,本文所述算法的测距精度完全不受系统阻抗参数、过渡电阻和负荷电流的影响,其试验结果与理论分析完全一致。说明算法从原理上真正做到了无误差测距。

4 结论

(1) 本文所述平行双回线单线故障准确测距算法,理论分析简单,物理概念清楚,从原理上克服了过渡电阻、负荷电流和系统阻抗等因素对测距精度的影响,解决了平行双回线单线故障的准确测距问题,且算法只需求解一元一次方程,不存在伪根判别问题。

(2) 本文所述原理可推广用于普通双回线及平行双回线线间零序互感分布不均匀线路的准确故障测距。

(3) 本文所述算法的有效性和准确性,已通过实际平行双回输电线的数字仿真试验得到验证。

参考文献:

- [1] 粟小华. 利用单端实测数据进行输电线路准确故障测距的研究. 西安交通大学硕士论文, 1993, 5.
- [2] 粟小华, 葛耀中. 平行双回输电线路准确故障测距新方法及其测距装置的研究. 电网技术(增刊), 1994.
- [3] 胡帆, 刘沛. 高压输电线路故障测距算法仿真研究. 中国电机工程学报, 1995(1): 67-72.
- [4] Cook V. Fundamental aspects of fault location algorithms used in distance protection, IEE Pro, 1986, 133(6).
- [5] Damir Novosel, David G Hart, Unsynchronized Two-Terminal Fault Location Estimation. IEEE Transaction on Power Delivery, 1996, 11(1): 130-136.
- [6] 毛鹏, 张兆宁. 基于双端电气量的输电线路故障测距的新方法. 继电器, 2000, (5): 24-27. (下转第12页)

结构无关,控制器本身结构简单,仅需发电机局部信息,易于在多机系统中实现分散协调控制。数值仿真结果表明:非线性状态 PI 汽门控制器能有效地提高电力系统的暂态稳定特性。

参考文献:

- [1] 刘伟,余贻鑫,田树苞. 变结构模型参考自适应励磁与调速综合控制器(上). 电力系统自动化,1998,22(4):8-12.
- [2] Pahalawatththa N C, Hope G S, Malik O P. Multivariable self-tuning power system stabilizer simulation and implementation studies. IEEE Transaction on Energy Conversion, 1991, 6(2):310-318.
- [3] Wang Youyi, David J Hill. Robust nonlinear coordinated control of power systems. Automatic, 1996, 32(4):611-618.
- [4] Wang Youyi, David J Hill, Richard H Middleton, Long Gao.

Transient stability enhancement and voltage regulation of power system. IEEE Transaction on Power System, 1993, 8(2):620-626.

- [5] 韩京清. 非线性状态误差反馈控制律—NLSEF. 控制与决策, 1995, 10(3):221-225.
- [6] 韩京清. 自抗扰控制器及其应用. 控制与决策, 1998, 13(1):19-23.
- [7] 宋文忠, 蒋国平. 一种新型状态 PI 调节器的研究. 自动化学报, 1997, 23(6):786-792.

收稿日期: 2000-10-18

作者简介: 康忠健(1971-),男,博士生,主要研究方向为电力系统稳定分析及非线性控制、微机自动控制; 陈学允(1934-),男,博士生导师,主要研究方向为电力系统稳定分析及控制。

The research on nonlinear state PI coordinated controller of generator's excitation and valve

KANG Zhong-jian, CHEN Xue-yun

(Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: As for the strong nonlinear and uncertain characteristic of the power system, the nonlinear state PI coordinated controller of excitation and valve is proposed in this paper. The controller is designed for the uncertain model object and the shortcoming of general feedback linearization coordinated control of excitation and valve, which its performance is affected by the mathematical model error, is avoided. The control law is completely independent on the operation condition and the net structure of the power system. The controller structure is simple and only local information of generator is needed. The decentralized controller can be accomplished easily in multimachine power system. The simulation shows that the nonlinear state PI coordinated controller of excitation and valve is satisfied for improvement of power system.

Key words: power system; coordinated controller of excitation and valve; nonlinear state PI control; robust control

(上接第7页)

- [7] 卢继平,叶一麟. 一种用于平行双回线的故障点精确定位方法. 重庆大学学报, 1988, (4).
- [8] 陈腊生,孙淑信. 采用实数对称分量方法准确探测平行双回输电线路故障距离. 全国高校电自专业第四届年

会论文集, 1988.

收稿日期: 2000-10-16

作者简介: 粟小华(1961-),男,工学硕士,工程师,从事高压输电线故障测距研究及继电保护运行管理工作。

A new and practical method for fault location based on single - end real time data in paralleled double circuit line

SU Xiao-hua

(Northwest China Power Dispatch & Communication Center, Xi'an 710004, China)

Abstract: A new algorithm of fault location is proposed by means of single - end real time data in paralleled double circuit line based on the construction features of the paralleled double circuit line. It can protect accurate location from the effect of transition resistance, load current and variable system impedance parameters in principle and therefore solve the problems of accurate fault location during a single line fault in a paralleled double circuit line. Implementing the algorithm by solving simple equations, therefore the calculation is quite easier than other fault location algorithm.

Key words: fault location; transmission line; transition resistance; paralleled double circuit line; full - wave Fourier algorithm