

# 基于分布式参数的双端测距优化算法

印吉景<sup>1</sup>, 刘宏君<sup>2</sup>, 潘军军<sup>2</sup>, 余传坤<sup>2</sup>

(1. 泰州供电公司, 江苏 泰州 225300; 2. 长园深瑞继保自动化有限公司, 广东 深圳 518057)

**摘要:** 基于输电线路的分布式参数模型, 采用两端的电气量进行测距计算, 提出了双端测距优化算法。该算法详细分析了故障时线路各点电压与电流的关系, 利用接地电阻阻性特征确定故障位置, 不受线路负荷、系统阻抗和过渡电阻的影响, 且具有较高精度。

**关键词:** 分布参数; 双端测距; 阻性; 优化算法

**Abstract:** Based on the distributed parameter model of transmission line, the optimization algorithm for two-terminal fault location is presented by adopting the electrical quantities at two terminals for the calculation of fault location. This algorithm makes a detailed analysis on the relationship for each point between its voltage and current when there has a line fault. Meanwhile, this method also utilizes the resistive character of resistance to determine the fault location, which is not affected by the influence of line load, system impedance and transition resistance, and finally obtains a relatively high accuracy.

**Key words:** distributed parameter; two-terminal fault location; resistive character; optimization algorithm

中图分类号: TM744 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2014)03-0057-04

## 0 引言

随着工业的不断发展, 电能作为一种清洁的二次能源在现在能源应用中的比例越来越高, 成为人类正常生活、生产的重要保证。而输电线路担负着传送电能的重任, 是电力系统安全运行的大动脉。当输电线路发生永久性故障时, 系统正常工作状态遭到破坏, 这时需要迅速地找到并排除故障, 排除永久性故障的时间越长, 对整个系统稳定运行的危害越大。由此提出了故障测距的研究课题, 利用自动程序进行运算, 快速地发现人工难以发现的隐秘故障, 帮助系统工作人员及时地找到并排除故障, 具有巨大的实际应用价值<sup>[1]</sup>。

故障测距可简单地分为单端算法和双端算法。由于单端算法只采用线路一端的交流量进行测距计算, 在理论上无法避免过渡电阻、系统允许方式及分布电容等带来的测距误差, 而且单端测距算法主要采用的阻抗法和故障分析法需要一定的系统允许方式假定为前提, 各参数大多取线路参数近似值, 方程计算精度低, 导致故障测距的结果不准确。由于通信技术发展, 目前线路差动保护应用越来越广泛, 利用差动保护实现双端故障定位成为可能。基于线路

差动保护装置研究了一种高精度的双端测距算法, 并从电压电流的精确测量、差动保护同步精度的改进和线路参数的对称度等方面对算法进行了改进, 最终完成了测距算法在差动保护装置中的集成实现, 具有较强实用性和精确度。EMTP 仿真结果及 RTDS 动模实验结果表明, 算法的测距结果具有较高的精度。

## 1 算法基本理论

图 1 是一个长线路的均匀分布参数模型, 考虑了导纳和阻抗的分布情况, 将均匀传输导线设想为许多无穷小的长度元  $dx$  组成, 每一长度元  $dx$  都具有电阻、电感、电容和电导。

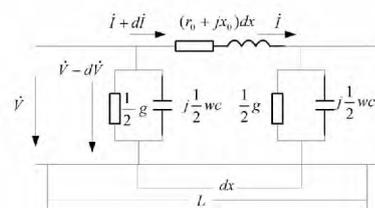


图 1 集中参数的输电线路等值电路

其中单位长度的阻抗和导纳分别为

$$z_0 = r_0 + j\omega l_0 = r_0 + jx_0 \quad y_0 = g_0 + j\omega c_0 = g_0 + jb_0$$

对于长线路来说,不能忽略线路电导、电纳,即有

$$Z = R + jX = lz_0$$

$$Y = G + jB = jb_0l$$

若线路发生单相接地故障,系统示意图如图2所示。

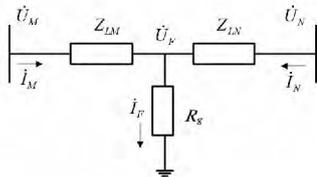


图2 单相接地故障

发生接地时,流经过渡电阻  $R_g$  的电流  $I_F$  即为差动保护装置所测差流,对于线路保护装置而言为电容电流补偿后的差流。

分析单相接地故障中各故障分量有 M 侧母线测量点电压 结合阻抗分析有

$$\dot{U}_F = \dot{U}_M - \dot{U}_{MF} = \dot{U}_M - (\dot{I}_M + \dot{K} \cdot 3\dot{I}_0) \cdot \alpha \dot{Z} \quad (1)$$

式中  $\dot{Z}$  为线路全长正序阻抗;  $\alpha = \frac{MF}{MN}$  为故障点距离百分比。

对于不能忽略线路电导、电纳的长线路来说,等值电路如图3所示。

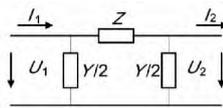


图3 长线路等值模型

结合图3对式(1)进行故障分量运算可得

$$\begin{aligned} \dot{U}_F = & \left( \frac{\dot{Z}_1 \dot{Y}_1}{2} \cdot \alpha^2 + 1 \right) \dot{U}_{M1} - (\dot{I}_{M1}) \cdot \alpha \dot{Z}_1 \\ & + \left( \frac{\dot{Z}_2 \dot{Y}_2}{2} \cdot \alpha^2 + 1 \right) \dot{U}_{M2} - (\dot{I}_{M2}) \cdot \alpha \dot{Z}_2 \\ & + \left( \frac{\dot{Z}_0 \dot{Y}_0}{2} \cdot \alpha^2 + 1 \right) \dot{U}_{M0} - (\dot{I}_{M0}) \cdot \alpha \dot{Z}_0 \end{aligned} \quad (2)$$

化简有

$$\begin{aligned} \dot{U}_F = & \left[ \frac{\dot{Z}_1 \dot{Y}_1}{2} (\dot{U}_M - \dot{U}_{M0}) + \frac{\dot{Z}_0 \dot{Y}_0}{2} \dot{U}_{M0} \right] \cdot \alpha^2 \\ & + [ - (\dot{I}_M - \dot{I}_{M0}) \dot{Z}_1 - \dot{I}_{M0} \dot{Z}_0 ] \cdot \alpha \\ & + \dot{U}_M \end{aligned} \quad (3)$$

式中  $\dot{Y}_1 = \frac{j}{X_{C1}}$ ;  $\dot{Y}_0 = \frac{j}{X_{C0}}$ ;  $X_{C1}$ 、 $X_{C0}$  为线路全长正序容

抗;  $\dot{Z}_1$ 、 $\dot{Z}_0$  为线路全长正序阻抗。

由于接地电阻成阻性,分析可知  $\dot{U}_F$  与  $\dot{I}_F$  同相位。

可得

$$\text{Im} [\dot{U}_F \dot{I}_F^*] = 0 \quad (4)$$

展开方程可得

$$\begin{aligned} \text{Im} \left[ \frac{\dot{Z}_1 \dot{Y}_1}{2} (\dot{U}_M - \dot{U}_{M0}) \dot{I}_F^* + \frac{\dot{Z}_0 \dot{Y}_0}{2} \dot{U}_{M0} \dot{I}_F^* \right] \cdot \alpha^2 \\ + \text{Im} [ - (\dot{I}_M + \dot{K} \cdot 3\dot{I}_{M0}) \dot{Z}_1 \dot{I}_F^* ] \cdot \alpha \\ + \text{Im} [\dot{U}_M \dot{I}_F^*] = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

解此一元二次方程,得到一个根(根据  $0 \leq \alpha \leq 1$  去掉一个伪解)即为测距结果。

在此方程中,各参数差动保护装置都可获得,而且由于长线路所产生的分布电容的影响可被线路保护装置并联电抗器补偿和电容电流补偿所消除,大大地减少了由于系统运行方式的不确定性增加的测距算法的复杂性。

## 2 测距算法的验证

### 2.1 EMTDC 仿真验证

针对分布参数的测距方案,采用 PSCAD/EMTDC 电磁暂态仿真软件搭建仿真模型。仿真系统采用长度为 200 km 的典型双端 220 kV 系统模型,如图4所示。

测试结果见表1~表4。

通过各因素条件下,双端测距优化算法的仿真结果分析可知,双端测距优化算法不受故障位置等各因素影响,具有较高的精确性,能够方便准确地应用于差动保护装置。

### 2.2 RTDS 仿真验证

在长园深瑞的光纤分相纵差成套保护装置 PRS-753S 上实现了双端测距优化算法,实现了分布参数的双端测距方案。搭建 RTDS 试验采用的是双回线模型,线路全长 200 km,具体模型如图5所示。

测试结果见表5~表7。

由表5~表7分析可知,针对各种影响因素,基于光纤差动保护装置的双端测距优化算法都具有较高精度。

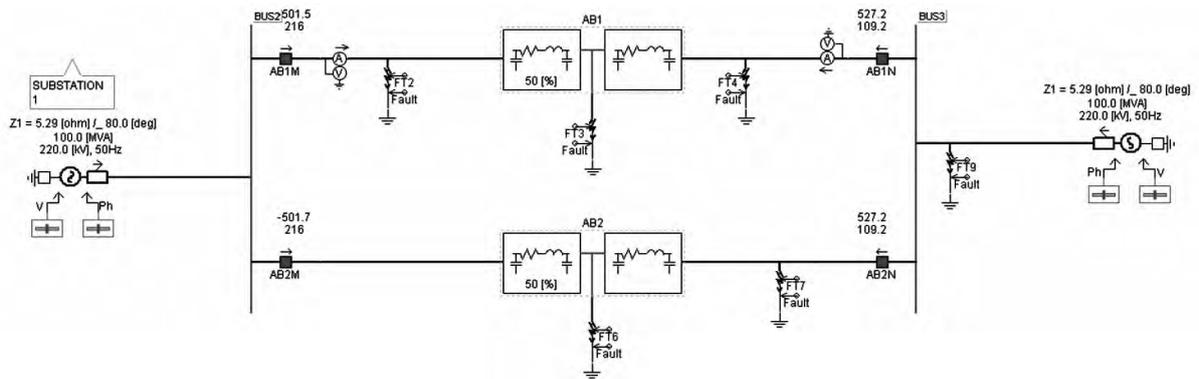


图 4 EMTDC 仿真模型

表 1 A 相金属性接地短路故障分析故障位置因素

故障位置 / %	M 侧故障电压 幅值 / V	M 侧故障电流 幅值 / A	N 侧故障电压 幅值 / V	N 侧故障电流 幅值 / A	测距结果	误差分析 / %
20	44.26	3.42	52.34	1.08	0.197 8	1.10
40	51.91	2.01	53.05	1.40	0.398 8	0.30
50	53.26	1.57	53.19	1.58	0.499 9	0.02
60	53.55	1.38	51.28	1.96	0.601 0	0.17
80	53.97	1.04	45.82	3.72	0.801 7	0.21
100	49.01	1.01	0.001	21.99	0.998 9	0.11

表 2 线路 50% 处发生接地短路故障分析故障类型因素

故障类别	M 侧故障电压 幅值 / V	M 侧故障电流 幅值 / A	N 侧故障电压 幅值 / V	N 侧故障电流 幅值 / A	测距结果	误差分析 / %	
Ag	53.3	1.11	37.73	1.12	0.499 9	0.02	
BCg	B 相	50.35	2.62	50.14	2.74	0.499 9	0.02
	C 相	50.57	2.59	51.06	2.45		
CA	C 相	57.87	2.44	57.80	2.64	0.499 9	0.02
	A 相	51.63	2.64	52.06	2.44		
ABCg	A 相	49.36	3.26	49.15	2.94	0.499 9	0.02
	B 相	49.29	2.87	49.29	2.92		
	C 相	49.22	2.52	49.43	2.91		

表 3 50% 线路处 A 相接地故障接地电阻影响分析

过渡电阻 / Ω	M 侧故障电压 幅值 / V	M 侧故障电流 幅值 / A	N 侧故障电压 幅值 / V	N 侧故障电流 幅值 / A	测距结果	误差分析 / %
0	53.26	1.57	53.19	1.58	0.499 9	0.02
1	53.12	1.64	53.05	1.67	0.499 9	0.02
10	53.76	1.40	53.62	1.56	0.499 8	0.04
50	56.52	0.65	56.24	0.96	0.500 0	0.00
100	57.23	0.29	57.02	0.65	0.499 9	0.02

表 4 两侧电源相角差的影响分析

两侧相角 / °	M 侧故障电压 幅值 / V	M 侧故障电流 幅值 / A	N 侧故障电压 幅值 / V	N 侧故障电流 幅值 / A	测距结果	误差分析 / %
10	52.91	1.67	52.62	1.68	0.500 1	0.02
20	52.62	1.75	52.41	1.65	0.500 1	0.02
40	56.03	1.79	51.35	1.70	0.500 9	0.18
60	53.97	1.90	50.07	1.77	0.500 6	0.12

表 5 参数对称传输情况下的简单金属性瞬时短路故障

序号	故障类型	M 侧测距 /m	N 侧测距 /m	测距误差 /%
1	30% - AN	58.7	141.3	0.65
2	50% - ABN	99.7	100.3	0.15
3	30% - BC	61.1	138.9	0.55
4	70% - ABCN	140.2	59.8	0.10

表 6 参数不对称传输情况下的简单金属性瞬时短路故障

序号	故障类型	M 侧测距 /m	N 侧测距 /m	测距误差 /%
1	30% - AN	62.8	137.2	1.4
2	50% - ABN	99.9	100.1	0.05
3	30% - BC	61.5	138.5	0.75
4	70% - ABCN	140.3	59.7	0.15

表 7 参数对称传输情况下的高阻接地故障

序号	故障类型	M 侧测距 /m	N 侧测距 /m	测距误差 /%
1	30% - AN - RG50	62.2	137.8	1.10
2	50% - AN - RG50	101.5	98.5	0.75
3	70% - AN - RG50	141.1	58.9	0.55

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.
- [2] 朱声石. 高电压电网继电保护原理与计数 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [3] 全玉生, 杨敏中, 王晓蓉, 等. 双端测距中的自适应线路参数在线估计 [J]. 电力系统自动化, 2000, 24 (11): 26 - 30.
- [4] 康小宁. 基于参数识别的高压输电线路故障测距研究 [D]. 西安: 西安交通大学, 2006.
- [5] T Takagi, Y Yamakosi, M Yamaura, et al. Development of a New Type Fault Locator Using the One Terminal Voltage and Current Data [J]. IEEE Trans. on PAS., 1982, 101(8): 2892 - 2898.

作者简介:

印吉景(1976), 工程师, 从事电力系统生产管理;  
刘宏君(1974), 硕士, 高级工程师, 从事电力系统继电保护和智能变电站的研究;  
潘军军(1980), 硕士, 工程师, 从事电力系统继电保护和智能变电站的研究;  
余传坤(1989), 硕士, 工程师, 从事电力系统继电保护研究。

(收稿日期: 2014 - 01 - 06)

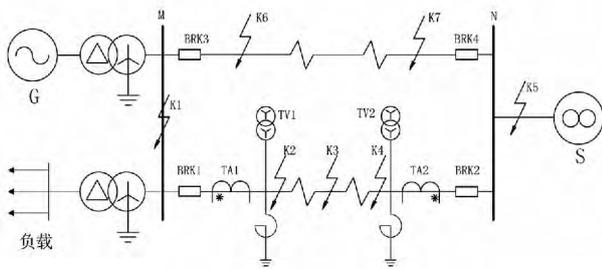


图 5 试验模型

3 结 语

针对提出的双端测距优化算法进行了 PSCAD 仿真分析, 搭建长度为 200 km 的典型双端 220 kV 系统模型, 利用差分算法后用全波傅氏提取基波相量以进行双端测距优化算法的计算。仿真结果充分地证明了双端测距优化算法的正确性和稳定性, 并详细分析了可能对线路故障测距结果产生影响的各类因素对算法的影响情况。最后的仿真实验结果表明, 故障位置、故障类型、过渡电阻、两侧系统阻抗以及两侧电源相角差等因素都不会对双端测距优化算法的结果精度产生影响。在长园深瑞的光纤相纵差成套保护装置 PRS - 753S 上实现了双端测距优化算法, 证明了理论的正确性。