

新型自适应电流在单端测距中的应用

余 洪，谢 华，彭和平

(国网电力科学研究院继电保护分公司, 江苏 南京 210003)

摘要: 现在很成熟的基于阻抗原理的单端测距算法用到超高压线路中时, 受到并联电抗器和分布电容的影响, 使得在线路发生金属性故障时测距结果都有很大的偏差。本文在原有定值参数的基础上引入并联电抗器参数和分布电容参数, 采用极限逼近和迭代的数学分析方法, 计算出在不同故障情况下分布电容上的故障电流; 采用集中参数处理方法, 计算出并联电抗器上的电流, 使得故障电流能适应线路模型和故障类型的变化。基于此原理提出一种行之有效的阻抗测距方法, 通过理论推导和 RTDS 实验检验证明它能提高超高压输电线路金属性故障的测距精度。

关键词: 超高压线路; 单端测距; 并联电抗器; 分布电容

0 引言

现有的测距算法主要有行波法和阻抗法，行波测距的优点在于可以不受故障过渡电阻的影响，但缺点也很明显，如：波头形状和到达时刻难以识别，波形谐波频率影响波速，不对称条件下“模混杂”影响；阻抗法测距的关键在于无法消除过渡电阻的影响，由于无法知道对侧系统阻抗的大小，过渡电阻上的零序电流无法得知，在单相接地故障经过渡电阻时就无法准确测距。

随着电网规模的扩大,高电压等级线路网络在复杂地形环境的运用越来越多,对单端测距精度的要求也较高。行波法一旦没测准最后结果就会偏差很大。阻抗法原理简单,技术也很成熟,但现有的阻抗测距算法在超高压长线上故障测距时由于受到并联电抗器和分布电容的影响测距结果会有比较大的误差。本文在阻抗法的基础上,针对并联电抗器和分布电容对故障电流的影响,提出了一种故障电流能适应线路模型变化的改进测距算法。^{[1][2][3]}

1 基本的阻抗算法

单端测距由于只能用到单端量，在单相高阻接地时（如图 1），对侧零序电流 I_{0n} 在过渡电阻上的影响直接导致测距偏差。为了减小过渡电阻的影响，本文采用以下算法：

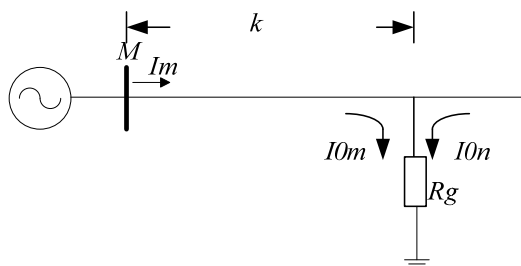


图 1 单相高阻接地系统图

$$\mathcal{R}_m = [(\mathcal{P}_m - \mathcal{P}_{0m}) * Z_1 + \mathcal{P}_{0m} * Z_{0l}] * k + \sum \mathcal{P}_0 * R_g \quad (1)$$

$$\sum \mathcal{P}_0 = \mathcal{P}_{0m} + \mathcal{P}_{0n}$$

其中: u_m 为故障相电压;

I_m 为故障相电流;

 I_{0m} 为故障零序电流: Z_l 为线路全长正序阻抗;

Z_{0l} 为线路全长零序阻抗;

R_g 为故障点过渡电阻;

k 为故障长度占全长的百分比。

将式(1)等号两侧同时乘上 $\sum \bar{\mathcal{A}}$ 并取其虚部:

$$k = \frac{Im(u_m * \sum \bar{P}_i)}{Im((P_m - P_{0m}) * Z_1 + P_{0m} * Z_{0l})}$$

该算法的缺点在于只能取到本侧的零序电流,

而不是总的零序电流 $\sum I_0$, 因此在有过渡电阻时

不能准确地故障测距，但是对于高阻接地的单端电气量测距，由于不知道对侧的系统阻抗，过渡电阻所引起的测距误差是不可避免的。上面这种方法只能起到改善过渡电阻对单端测距的影响。

如果不考虑过渡电阻对单端电气量测距的影响，在超高压线路单端电气量测距中还存在其他因素影响测距精度。首先是并联电抗器的影响，并联电抗器原本是用于线路差动保护中，减小线路分布电容电流对差流的影响，所以并联电抗器定值一般只用于纵联差动保护中。但线路上并联电抗器的接入也会对线路电流有分流作用，如图 2 所示，此时线路 CT 测量的电流就不是准确的线路电流，这必然对单端测距结果造成影响；其次，线路的分布电容也会对故障电流产生分流作用，也会对测距结果产生影响^[4]。

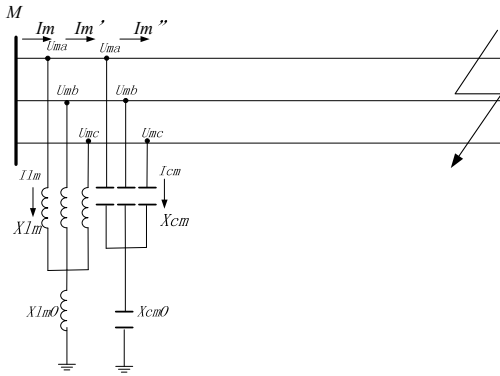


图 2 系统图

图 2 中，M 侧保护测得的电流为 I_m ，由于并联电抗器和分布电容的作用，故障时线路实际的故障电流为 I_m'' ，它们与保护测量电流的关系如图 3 所示。

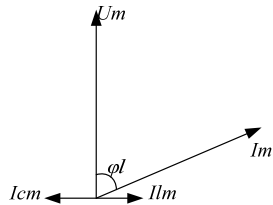


图 3 电流向量图

图 3 中， U_m 、 U_n 为母线电压， I_m 为保护测量的线路电流， I_{lm} 为并联电抗器上的电流， I_{cm} 为电容上的电流。

由图 2 可知：

$$I_m = I_m - I_{lm} - I_{cm}$$

由图 3 可知，并联电抗器上的电流与线路上的电流同向，因此并联电抗器的存在会使实际的故障电流 $|I_m|$ 比保护测量的故障电流 $|I_m|$ 小，最终会导致测距结果偏小；分布电容上的电流与线路上的电流反向，因此分布电容的存在会使实际的故障电流 $|I_m|$ 比保护测量的故障电流 $|I_m|$ 大，最终会导致测距结果偏大。

从上面的分析可知，如果超高压长线输电线路不装并联电抗器，最终的测距结果会比真实值偏大；如果并联电抗器用 II 型的欠补偿，根据故障点的不同，测距结果与真实值会出现小量的偏大或偏小；如果并联电抗器用 T 型的欠补偿，在补偿侧测量线路末端金属性故障时，测距结果比真实值小，在未补偿侧测量线路末端金属性故障时，测距结果比真实值大。

以下面典型的 500kV 线路参数为例，整定正序阻抗为： $Z_l = X_l + jB_l$

$$\text{测距阻抗为：} Z_{rel} = \frac{U_f}{\frac{U_f}{Z_1} - \frac{U_f}{X_{l1}}}$$

$$\frac{Z_{rel} - Z_1}{Z_1}$$

误差为：

得到并联电抗器在不同的补偿度下测量误差的影响，见图 4。

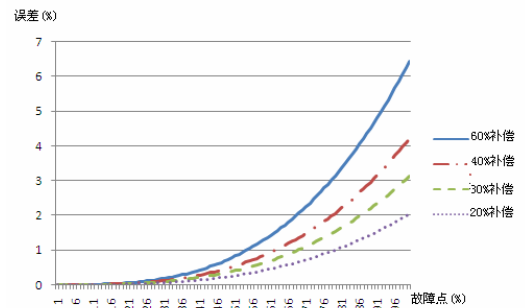


图 4 300km 线路不同补偿度下的误差

2 改进方法^{[5][6]}

针对并联电抗器和分布电容的影响，需要引入并联电抗器定值和线路分布电容参数。实现逻辑如图 5 所示。

第一次的测距结果 Result1 (以故障线路长度占全长的百分比表示) 是不考虑并联电抗器参数和分布电容参数测得的测距结果, 并且记录下此时故障期间的故障电压和故障电流, 以当前测距结果计算分布电容的总容抗值, 计算出故障期间容抗和并联电抗器上的电流, 得到校正后的故障电流。用校正后的故障电流计算出校正后的测距结果 Result2, 将 Result2 反馈回 Result1, 重新计算故障电流, 这样就可以避免第一次测距偏差大导致线路容抗偏差。

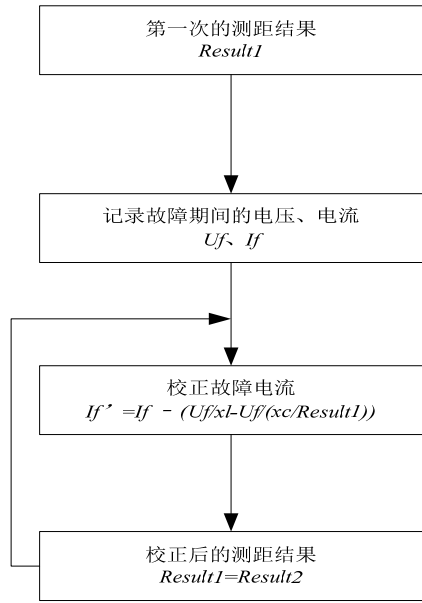


图 5 改进测距逻辑框图

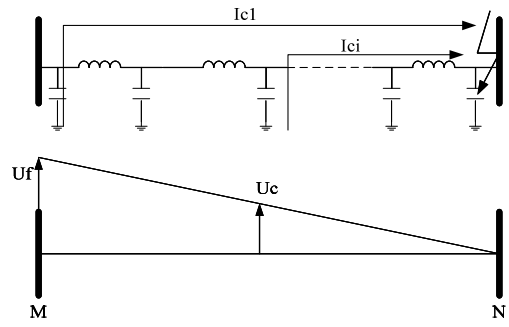


图 6 金属性故障线路电容电流影响图

上面的逻辑原理需要用到分布电容的电流, 该电流与线路上的电压成正比关系, 当发生区内金属性故障时, 如果不考虑分布电容电流的影响, 线路上的电压成线性下降, 如图 6 中下图所示; 将线路分成 n 个 LC 模型, 第一个电容上的电流 I_{c1} 作用于整条故障线路, 第 i 个电容上的电容电流 I_{ci} 作用于 $(n-i)$ 个 LC 模型上, 第 i 个电容上的电压为 $\frac{n-1}{n}U_f$,

整条线路上的电容电流为:

$$i_c = \frac{U_f}{nX_c} + \frac{n-1}{nX_c} \cdot \frac{U_f}{n} + \dots + \frac{n-i}{nX_c} \cdot \frac{U_f}{n} + \dots + 0$$
$$= \frac{U_f}{X_c} \sum_{i=0}^{n-1} \frac{i^2}{n^3} = \frac{U_f}{X_c} \cdot \frac{n(n+1)(2n+1)}{6n^3}$$
$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n(n+1)(2n+1)}{6n^3} = 0.3333$$

校正电容电流后的故障电流为:

$$I'_f = I_f - U_f / X_1 - U_f / (3X_c / Result1)$$

3 RTDS 试验结果

建立 500kV, 400km 双端线路模型, 系统模型二次值为:

- $ZI = 3.136 + j44.816$
- $Z0 = 29.248 + j137.68$
- $XI1 = 623.29$ (Π型补偿参数)
- $XI0 = 400$ (Π型补偿参数)
- $XI1' = 623.29$ (T型补偿参数)
- $XI0' = 400$ (T型补偿参数)
- $Xc1 = 235.7$
- $Xc0 = 346$

并联电抗器采用典型的欠补偿方式, 分别模拟双端线路不用电抗器补偿、T型补偿、Π型补偿时, 比较分析一般阻抗单端测距和改进阻抗单端测距的差异。见表 1、2、3。

表 1 不补偿系统测距结果

故障相别	故障点	M 侧	
		未校正测距结果	校正后测距结果
ABC	0.2	0.20156	0.20082
B	0.8	0.20382	0.20314
ABC	1	1.0703	0.9937
C	1	1.0577	0.9849
ABC	0.8	0.8411	0.7984
B	0.8	0.8319	0.7911
ABC	0	0	0
A	0	0	0

表 2 Π型补偿系统测距结果

故障相别	故障点	M 侧	
		未校正测距结果	校正后测距结果
ABC	0.8	0.7943	0.7992
B	0.8	0.7821	0.7859
ABC	1	0.9946	0.9829
C	1	0.9847	0.9971
ABC	0.2	0.1988	0.2009
B	0.2	0.2007	0.2022
ABC	0	0	0
A	0	0	0

表 3 T 型补偿（在 M 侧补偿）测距结果

故障相别	故障点	M 侧	
		未校正测距结果	校正后测距结果
B	0.2	0.1978	0.2016
ABC	1	0.9291	0.9949
C	1	0.9256	0.9868
ABC	0.8	0.7494	0.7971
B	0.8	0.7393	0.7827
ABC	0	0.00006	0.00006
A	0	0.000004	0.000004

4 结论

前面的理论分析和 RTDS 的试验结果说明在高压长线输电线路中，并联电抗器和分布电容对单端阻抗法的测距结果有比较大的影响，在保护装置中引入并联电抗器定值和电容容抗定值，采用适当的算法能有效地提高阻抗法单端测距精度。

参考文献：

[1] 李强,王银乐.高压输电线路的故障测距方法[J].电力系统

保护与控制,2009,37(23).

- [2] 王波,王伟,陈超.基于同步相量技术的输电线路故障测距综述[J].电力系统保护与控制,2009,37(13):122-128.
- [3] 马丹丹,王晓茹.基于小波模极大值的单端行波故障测距[J].电力系统保护与控制,2009, 37 (3):55-59.
- [4] 束洪春,司大军,陈学允.基于分布参数的串补线路故障测距方法的研究[J].中国电机工程学报,2002,22(4):72-76.
- [5] 安艳秋,高厚磊.基于分布参数线路模型的精确故障测距算法[J].继电器,2003,31(6):44-49.
- [6] 安艳秋,高厚磊.正序故障分量及其在继电保护中的应用[J].电力系统及其自动化学报,2003,15(4):78-80.

作者简介：

余 洪（1981-），男，工程师，硕士研究生，长期从事线路继电保护研究，E-mail: yu_005hust@163.com;

谢 华（1983-），男，硕士研究生，长期从事线路继电保护研究。