

T型接线的一种新型精确故障定位算法的研究

龚庆武¹, 王志梅¹, 雷庆生¹, 陈允平¹, 宋正弟²

(1. 武汉水利电力大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072; 2. 攀枝花钢铁公司设计管理处, 四川 攀枝花 617012)

【摘要】 传统的采用单端信号的输电线故障定位系统, 由于在原理上无法克服对侧系统的助增电流和过渡阻抗对定位精度的影响, 因此很难应用到 T 型线路进行精确故障定位。介绍了一种 T 型线路的新型故障定位算法。首先, 判断故障支路, 然后由三端的电流、电压量计算得到 T 点的电流、电压量, 这样就能得到故障支路两侧的电流、电压值, 最后再采用故障支路两侧的信号进行精确故障定位。采用电力系统电磁暂态计算程序 (EMTP) 仿真的结果表明, 本算法是一种高精度高效率的方法。

【关键词】 T 型接线; 故障定位; 算法

1 引言

当输电线路发生故障时, 进行精确的故障定位, 并采用相应的维护措施防止故障的进一步扩大是相当重要的。由于传统的采用单端电流电压信号的故障定位方法, 在原理上无法克服对侧系统的助增电流和过渡阻抗对定位精度的影响, 对于双端和多端电源的输电线路采用单端故障定位方法无法得到精确的故障定位结果, 因此, 研究一种能在 T 型线路上得到高精度故障定位结果的方法十分必要。

本文提出了一种 T 型线路的故障定位系统。首先判断故障点在 T 型系统哪条支路上, 然后由三端的电流、电压量计算得到 T 点的电流、电压量, 这样就能得到故障支路两侧的电流、电压值, 最后再采用故障支路两侧的信号进行精确故障定位。利用输电线双端信号的进行故障精确定位方法已在文献^[1]中已详细阐述, 在此不再赘述。

2 T 型线路的算法

本节中我们将详细介绍如何实现从 T 型接线向双端系统的转化。我们从基本的电路定律出发, 采用微分方程的方法, 首先介绍了如何确定故障所在支路的算法, 然后将其转化成双端系统^{[2][3]}。

2.1 判断故障支路

对于发生故障的 T 接线系统, 可以分别利用 L、M、N 三侧的电压、电流值计算得到 T 接点的电压值, 然后, 对由这三侧得到的 T 接点的电压值进行比较和分析, 最后确定故障支路。下面将介绍具体的计算方法。

假设故障发生在 MT 支路, 如图 1 所示, L、M、N 分别是 T 型系统的三个端点, l_L 、 l_M 、 l_N 分别是三条支路 LT、MT、NT 的长度。

由基尔霍夫电压定律 (KVL) 可得关系式:

$$\dot{V}_{T,i} = \dot{V}_i - \dot{Z}_i \dot{I}_i \quad (i = L, M, N)$$

式中, \dot{Z}_i 为 i T 支路阻抗矩阵, \dot{I}_i 为支路电流, $\dot{V}_{T,i}$ 表示由 i T 支路参数求得的 T 点电压。

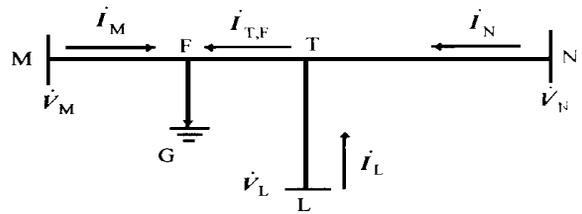


图 1 T 型线路发生接地故障时的示意图

例 $i = M$ 时, 写出 T 点电压的微分方程式为

$$u_{T, Ma} = u_{Ma} - R_{sM} i_{Ma} - L_{sM} \frac{di_{Ma}}{dt} - R_{mM} i_{Mb} - M_M \frac{di_{Mb}}{dt} - R_{mM} i_{Mc} - M_M \frac{di_{Mc}}{dt} \quad (1)$$

$$u_{T, Mb} = u_{Mb} - R_{sM} i_{Mb} - L_{sM} \frac{di_{Mb}}{dt} - R_{mM} i_{Ma} - M_M \frac{di_{Ma}}{dt} - R_{mM} i_{Mc} - M_M \frac{di_{Mc}}{dt} \quad (2)$$

$$u_{T, Mc} = u_{Mc} - R_{sM} i_{Mc} - L_{sM} \frac{di_{Mc}}{dt} - R_{mM} i_{Mb} - M_M \frac{di_{Mb}}{dt} - R_{mM} i_{Ma} - M_M \frac{di_{Ma}}{dt} \quad (3)$$

式中, u_{Ma} 、 u_{Mb} 、 u_{Mc} 分别为 M 侧母线的各相电压的瞬时值;

i_{Ma} 、 i_{Mb} 、 i_{Mc} 分别为线路上 M 侧的各相电流的瞬时值;

$u_{T, Ma}$ 、 $u_{T, Mb}$ 、 $u_{T, Mc}$ 分别是由 M 侧的电流电压计算得到的 T 接点的各相电压的瞬时值;

R_{sM} 、 L_{sM} 分别是 MT 支路的自电阻和自电感 (即三相“相地回路”之间的自电阻和自电感);

R_{mM} 、 M_M 分别是 MT 支路的互电阻和互电感

(即三相“相地回路”之间的互电阻和互电感);

同理,当 $i = N, L$ 时,可写出计算 $u_{T,Na}$ 、 $u_{T,Nb}$ 、 $u_{T,Nc}$ 和 $u_{T,La}$ 、 $u_{T,Lb}$ 、 $u_{T,Lc}$ 的微分方程式。

因实际采样值是离散值,故对上述各式进行离散化计算,然后对离散值进行离散傅里叶变换,得到相量 $\dot{V}_{T,M}$ 、 $\dot{V}_{T,N}$ 、 $\dot{V}_{T,L}$ 。

$$\text{定义 } \nabla_{MN} = \dot{V}_{T,M} - \dot{V}_{T,N}, \nabla_{NL} =$$

$$\dot{V}_{T,N} - \dot{V}_{T,L}, \nabla_{LM} = \dot{V}_{T,L} - \dot{V}_{T,M}。$$

式中, ∇_{MN} 、 ∇_{NL} 、 ∇_{LM} 分别是相应的电压相量差的模值。

易验证:当线路正常运行或 T 点故障时,有 $\nabla_{MN} = \nabla_{NL} = \nabla_{LM} = 0$;当故障发生在 MT 支路上时,有 $(\nabla_{MN}, \nabla_{LM}) > \nabla_{NL} = 0$ 。其余类推。

形成判据:

$$\text{当 } \min(\nabla_{MN}, \nabla_{NL}, \nabla_{LM}) =$$

- ∇_{MN} , 则 LT 支路短路
- ∇_{NL} , 则 MT 支路短路
- ∇_{LM} , 则 NT 支路短路

2.2 转化成双端系统的故障定位

以 MT 支路短路为例,说明转化的方法。此时以 M、T 端分别为双端网络的两端点, M 端信号为采集的信号, T 端需从 L、N 端的信号转化而来。

T 点的电压由式 (4) - (6) 或 (7) - (9) 的离散式计算出来, T 点流向故障点的电流应为: $i_{TF} = i_N + i_L$ 。

这样故障定位就可以用到前面所提到的两端故障定位方法了。

3 数字仿真

3.1 数字仿真模型

数字仿真的模型如图 2 所示。图 2 中仿真模型的参数为:

输电线路“相地回路”的自电阻、自电感分别为:

$$R_s = 0.0226 / \text{km}, L_s = 0.001663 \text{H} / \text{km}$$

输电线路“相地回路”的互电阻、互电感分别为:

$$R_m = 0.007 / \text{km}, M = 6.672 \times e^{-4} \text{H} / \text{km}$$

输电线路长度: $L_T = 40\text{km}$ 、 $M_T = 30\text{km}$ 、 $N_T = 70\text{km}$

母线电压:

$$e_L = 408 \sin(\omega t + 10^\circ) \text{ kV}, e_M = 428 \sin \omega t \text{ kV},$$

$$e_N = 388 \sin(\omega t + 30^\circ) \text{ kV}$$

3.2 数字仿真结果

在数字仿真中,我们对电力系统可能发生的短路进行了大量的仿真计算。在所有的试验中,故障定位的误差都小于 0.1%。系统经过渡电阻短路,过渡电阻分为:小阻值的线性电阻、非线性高阻值弧光电阻和时变电阻。对不同短路形式采用多种采样率进行仿真,采样率为 1kHz, 5kHz, 10kHz, 20kHz, 结果表明,随着采样率的增大,故障定位精度大大提高。

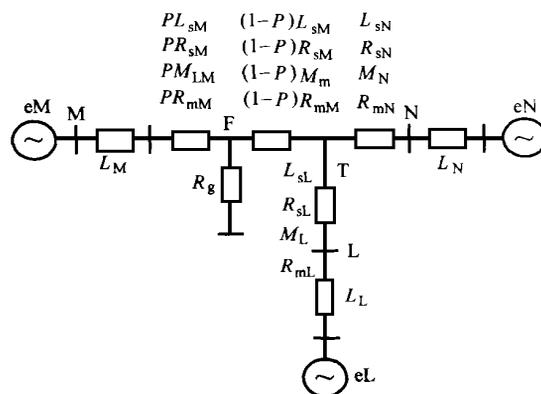


图 2 数字仿真系统图

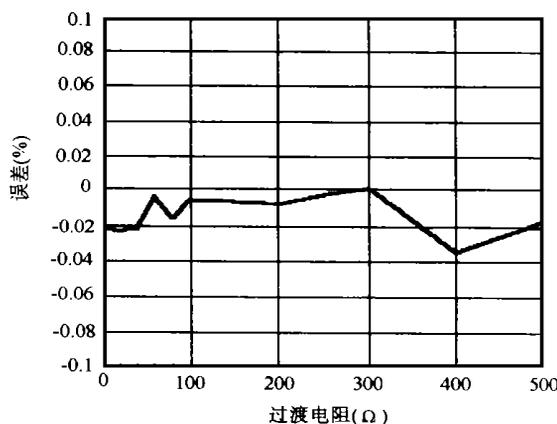


图 3 故障定位误差与过渡电阻的关系图

表 1 为 MT 支路经 100 Ω 过渡电阻短路时的结果,电源电感均为 0.03979H,采样率为 5kHz。

表 1 MT 支路经 100 Ω 过渡电阻短路情况表

线路 MT 故障(30km) 过渡电阻 = 100 Ω 采样率 = 5kHz

故障类型	实际故障距离占 MT 线路的百分数	计算的百分数	误差 (%)
单相故障	33.333	33.386	0.053
	66.667	66.744	0.077
两相线路	33.333	33.402	0.069
	66.667	66.713	0.046
两相接地	33.333	33.280	-0.053
	66.667	66.793	0.126

表2列出MT支路经弧光电阻短路时的结果,电源电感均为0.7958H,采样率为5kHz。

弧光电阻模型为:

$$R_{\text{arc}} = \frac{1500l}{I}$$

式中,弧长 $l = l_0 + 40t$, m; l_0 为弧长初值,对500kV线路单相接地为4.5m,相间短路时为12.5m; t 为折合时间, s, $0 \leq t \leq 0.02$, 折合方法按下式计算:

$$t = [\text{mod}(t/0.02)] \times 0.02$$

式中 $\text{mod}(t/0.02)$ 是取 $(t/0.02)$ 的余值。

按上式算得的弧长和弧光电阻阻值呈周期性变化。

表2 LT支路经弧光电阻短路情况表

支路LT故障(40km) 弧光电阻 采样率=5kHz

故障类型	实际故障距离占LT线路的百分数	计算的百分数	误差(%)
单相接地	25	24.977	-0.023
	50	50.054	0.054
	75	75.067	0.067
两相短路	25	24.987	-0.013
	50	49.982	-0.018
	75	75.018	0.018

表3列出LT支路经时变电电阻短路时的结果,电源电感均为0.03979H,采样率为10kHz。时变电电阻是按时间分段的线性电阻。

表3 LT支路经时变电电阻短路情况表

支路LT故障(40km) 时变电电阻 采样率=10kHz

故障类型	实际故障距离占LT线路的百分数	计算的百分数	误差(%)
单相接地	25	25.277	0.277
	50	50.189	0.189

此外,还对故障定位误差和过渡电阻的关系进行了分析。如图3所示,此图采用在支路NT的

42.85km处短路,采样率为5kHz,电源电感均为0.03979H。由图3,我们可以得到以下结论:故障定位的误差与过渡电阻没有关系。这就证明了:本算法可以完全消除过渡电阻对故障定位精度的影响。

4 结论

本文提出的一种T型接线的精确故障定位算法,经数字仿真,我们可以得到如下结果:

(1)本文所采用的故障定位方法,完全消除了过渡电阻对故障定位结果的影响,因而其精度足以满足工程上的要求。

(2)采用三相电流电压的微分方程算法,对暂态和稳态故障都有较高的精度。由于实际计算时采用了差分方程代替微分方程,因此,定位精度受采样率的影响,但增大采样率,故障定位精度可大大提高。

[参考文献]

- [1] Chen Yunping, Gong Qingwu. An Accurate Fault Location for Transmission Line Using Local and Remote Signals. Proceeding of IPEC 97. Singapore, 1997, 2: 605 ~ 609.
- [2] Masayuki Abe, et al. Development of a new Fault Location System for Multi-Terminal Single Transmission Lines. IEEE Trans. 1995, PWRD-10(1): 159 ~ 168.
- [3] Aggarwal R K, et al. A Practical Approach to Accurate Fault Location on Extra High Voltage Teed Feeders. IEEE Trans. 1993, PWRD-8(3): 874 ~ 883.

收稿日期:1998-11-18

作者简介:龚庆武(1967-),男,讲师,博士研究生,主要从事电力系统继电保护和自动化方面的研究;雷庆生(1972-),男,博士研究生,主要从事电力系统控制方面的研究;王志梅(1975-),女,硕士研究生,主要从事电力系统继电保护方面的研究。

THE STUDY ON A NEW ACCURATE FAULT LOCATION ALGORITHM FOR TEED TRANSMISSION LINE USING THREE-TERMINAL SIGNALS

GONG Qin-gwu¹, WANG Zhi-mei¹, LEI Qing-sheng¹, CHEN Yun-ping¹, SONG Zheng-di²

(1. Wuhan University of Hydraulic & Electric Engineering, Wuhan 430072, China;

2. Panzhihua Steel Corporation, Panzhihua 617012, China)

Abstract The traditional fault location algorithms using one-terminal currents and voltages can not be used for teed feeder. A new fault location system using three-terminal currents and voltages is presented in the paper, which can remove the error caused by fault resistance. First, the fault branch is identified, and then the currents and voltages of tee point can be calculated from three-terminal signals. Finally, we can get the location result by using the algorithm, which is presented in the reference^[1]. A large number of numerical simulation results show that the new method is accurate and effective.

Keywords teed transmission line; three-terminal signal; accurate fault location