

文章编号:1671-251X(2015)01-0088-04 DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2015.01.022
耿兴旺,罗艳芳.配电网故障区段定位及测距方法[J].工矿自动化,2015,41(1):88-91.

配电网故障区段定位及测距方法

耿兴旺¹, 罗艳芳²

(1.冀中能源股份有限公司 邢东矿,河北 邢台 054000;
2.中国矿业大学 信息与电气工程学院,江苏 徐州 221008)

摘要:针对配电网发生单相接地故障后采用人工巡线定位故障困难的问题,提出了一种基于分布参数模型的配电网故障区段定位及测距方法。该方法通过对线路上馈线终端装置上传的故障信息及数据进行分析计算,选择故障区段,然后在线计算该区段线路分布参数,从而得出故障距离。仿真结果表明,该方法受过渡电阻和故障位置等因素影响小,能有效实现故障选线和区段定位,测距误差在1%以内。

关键词:配电网;单相接地故障;故障区段定位;故障测距;分布参数;馈线终端装置

中图分类号:TD611 文献标志码:A 网络出版时间:2015-01-05 16:42

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20150105.1642.022.html>

Fault section positioning and ranging method of distribution network

GENG Xingwang¹, LUO Yanfang²

(1.Xingdong Mine, Jizhong Energy Resources Co., Ltd., Xingtai 054000, China;
2.School of Information and Electrical Engineering, China University of Mining and Technology,
Xuzhou 221008, China)

Abstract:In view of problem that it is difficult to realize fault positioning by use of artificial patrol after single-phase grounding fault occurred in distribution network, a fault section positioning and ranging method of distribution network based on distributed parameter model was proposed. In the method, fault section is chosen through analyzing and calculating of fault information and date uploaded by feeder terminal unit of line, and fault distance is obtained by online calculating distributed parameters of the section line. The simulation results show that the method is less affected by factors of transition resistance and fault location, which can effectively realize fault line selection and section positioning within 1% ranging error.

Key words: distribution network; single-phase grounding fault; fault section positioning; fault ranging; distributed parameter; feeder terminal unit

0 引言

小电流接地系统发生单相接地故障时,通过电源侧绕组和输电线路对地分布电容形成回路,所以故障点产生的故障电流较小,且三相之间的线电压仍保持对称,对负荷的供电没有影响,因此系统可在故障发生后继续运行一定时间。但长时间接地运行

极易形成两相接地短路,弧光接地还会引起全系统过电压^[1-3],因此实践中希望尽快选出接地线路,并确定故障位置,及时排除故障。中国现有配电网自动化系统基本没有小电流接地故障定位功能,仍需采用人工巡线的方法查找故障点。配电网线路支路多、距离远,人工巡线定位故障位置非常困难,不仅耗费大量人力和物力,拉路造成的短时停电还给用户带来较大的经济损失^[4-5]。本文在故障选线和故

收稿日期:2014-05-04;修回日期:2014-11-18;责任编辑:盛男。

作者简介:耿兴旺(1974—),男,河北冀州人,工程师,主要从事煤矿生产、安全方面的工作,E-mail:gengxingwang@163.com。

障区段定位的基础上,通过在线计算线路参数,最终得出故障距离,从而使故障定位更加精确,缩短故障排除时间。

1 分布参数模型

对于实际运行的线路来说,其参数是分布的。假设均匀传输线由许多无穷小尺寸的电路单元组成,其分布参数模型如图 1 所示。其中 $\dot{U}_1, \dot{I}_1$ 分别为线路首端电压、电流相量; $\dot{U}_2, \dot{I}_2$ 分别为线路末端电压、电流相量; x 为从线路首端到电路单元的距离; u, i 分别为距离线路首端 x 处的电压、电流。每一电路单元的长度为 dx , 具有电阻 $R_0 dx$ 和电感 $L_0 dx$, 而每单元两导线间具有电导 $G_0 dx$ 和电容 $C_0 dx$ 。

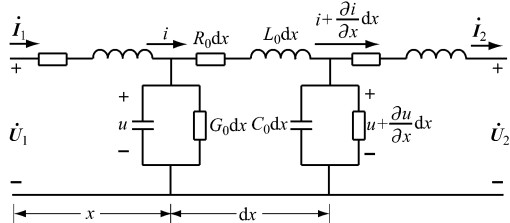


图 1 均匀传输线分布参数模型

对每个电路单元可根据基尔霍夫电压定律和基尔霍夫电流定律列出电路方程,略去二阶无穷小量并约去 dx 后,可得均匀传输线方程为

$$\begin{cases} -\frac{\partial u}{\partial x} = R_0 i + L_0 \frac{\partial i}{\partial t} \\ -\frac{\partial i}{\partial x} = G_0 u + C_0 \frac{\partial u}{\partial t} \end{cases} \quad (1)$$

均匀传输线的激励源是角频率为 ω 的正弦时间函数时,沿线各处的电压和电流也是同频率的正弦函数。此时可应用相量法分析沿线的电压和电流,则有

$$\begin{cases} u(x, t) = \text{Im}[\sqrt{2} \dot{U}(x) \exp(j\omega t)] \\ i(x, t) = \text{Im}[\sqrt{2} \dot{I}(x) \exp(j\omega t)] \end{cases} \quad (2)$$

式中: $u(x, t), i(x, t)$ 分别为在 t 时刻距离线路首端 x 处的电压、电流; $\dot{U}(x), \dot{I}(x)$ 分别为距离线路首端 x 处的电压、电流相量(下文简写为 $\dot{U}$ 和 $\dot{I}$)。

式(1)中对 u 和 i 的偏导数可写成全导数,将式(1)的偏微分方程组转化为常微分方程组:

$$\begin{cases} -\frac{d\dot{U}}{dx} = (R_0 + j\omega L_0) \dot{I} = Z_0 \dot{I} \\ -\frac{d\dot{I}}{dx} = (G_0 + j\omega C_0) \dot{U} = Y_0 \dot{U} \end{cases} \quad (3)$$

式中: Z_0 为均匀传输线单位长度的阻抗, $Z_0 = R_0 +$

$j\omega L_0$; Y_0 为均匀传输线单位长度的导纳, $Y_0 = G_0 + j\omega C_0$ 。

均匀传输线的传播系数为

$$\gamma = \sqrt{Z_0 Y_0} = \sqrt{(R_0 + j\omega L_0)(G_0 + j\omega C_0)} \quad (4)$$

均匀传输线的波阻抗^[6]为

$$Z_c = \sqrt{\frac{Z_0}{Y_0}} = \sqrt{\frac{R_0 + j\omega L_0}{G_0 + j\omega C_0}} \quad (5)$$

若已知线路首端电压、电流相量 $\dot{U}_1, \dot{I}_1$, 可知距离线路首端 x 处的电压、电流相量 $\dot{U}, \dot{I}$ 为

$$\begin{cases} \dot{U} = \dot{U}_1 \cosh(\gamma x) - Z_c \dot{I}_1 \sinh(\gamma x) \\ \dot{I} = \dot{I}_1 \cosh(\gamma x) - \frac{\dot{U}_1}{Z_c} \sinh(\gamma x) \end{cases} \quad (6)$$

若已知线路末端电压、电流相量 $\dot{U}_2, \dot{I}_2$, 可知距离线路末端 x' 处的电压、电流相量 $\dot{U}', \dot{I}'$ 为

$$\begin{cases} \dot{U}' = \dot{U}_2 \cosh(\gamma x') + Z_c \dot{I}_2 \sinh(\gamma x') \\ \dot{I}' = \dot{I}_2 \cosh(\gamma x') + \frac{\dot{U}_2}{Z_c} \sinh(\gamma x') \end{cases} \quad (7)$$

若已知 $\dot{U}_1, \dot{I}_1, \dot{U}_2, \dot{I}_2$ 及线路长度 l , 经推导可得^[7-10]

$$\begin{cases} Z_c = \sqrt{\frac{\dot{U}_1^2 - \dot{U}_2^2}{\dot{I}_1^2 - \dot{I}_2^2}} \\ \gamma = \frac{1}{l} \text{arccosh}\left(\frac{\dot{U}_1 \dot{I}_1 + \dot{U}_2 \dot{I}_2}{\dot{U}_2 \dot{I}_1 + \dot{U}_1 \dot{I}_2}\right) \end{cases} \quad (8)$$

2 故障区段选择

对于中性点不接地系统,配电网应用最广泛的接线方式为单电源线辐射接线的树状结构,当发生接地故障时其零序等效网络如图 2 所示。流过故障线路 l_3 和非故障线路 l_1, l_2 的零序电流皆为容性,故障线路零序电流大于非故障线路零序电流,且方向相反。

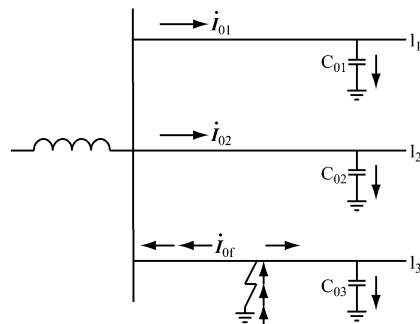


图 2 中性点不接地系统零序等效网络
故障线路 l_3 首端零序电流为

$$3\dot{I}_{0f} = -j3\dot{U}_{0\omega}(C_{0\Sigma} - C_{03}) \quad (9)$$

式中: $\dot{U}_0$ 为零序电压; $C_{0\Sigma}$ 为整个电网对地电容之和, $C_{0\Sigma} = C_{01} + C_{02} + C_{03}$ 。

非故障线路 l_1, l_2 首端零序电流分别为

$$3\dot{I}_{01} = j3\dot{U}_0\omega C_{01} \quad (10)$$

$$3\dot{I}_{02} = j3\dot{U}_0\omega C_{02} \quad (11)$$

对于均匀换位且线路参数平衡的三相系统, 通过线路首端零序电流的幅值、相位即可确定故障线路。但电力系统中有些线路换位不均匀甚至不换位, 且线路参数不平衡, 因此产生不平衡电流。当不平衡电流较大时, 仅通过零序电流互感器测得的电流幅值、相位不能正确选出故障线路。需要在消除不平衡电流影响的基础上进行选线, 即用故障后零序电流互感器的测量值减去故障前零序电流互感器的测量值, 得到单相接地故障产生的零序电流。

本文在线路上的开关处安装馈线终端装置 (Feeder Terminal Unit, FTU), 如图 3 所示, 通过对 FTU 上传的故障信息进行分析计算, 选择故障区段。非故障线路上各监测点测量的零序电流均为监测点后的线路对地电流, 如监测点④测量的零序电流为线路 l_1 的 II 段线路对地电流, 监测点②测量的零序电流为线路 l_2 整条线路的对地电流。故障线路上故障点前、后监测点测量的零序电流有所区别, 故障点后的监测点测量的零序电流对应监测点后的线路对地电流, 故障点前的监测点测量的零序电流包含非故障线路对地电流和监测点前的线路对地电流, 如监测点⑥测量的零序电流包括线路 l_3 的 I 段线路对地电流和非故障线路对地电流。若故障发生在 I 段线路, 监测点均靠近母线, 检测到的电流为非故障线路对地电流。故障区段对地电流均无法检测。

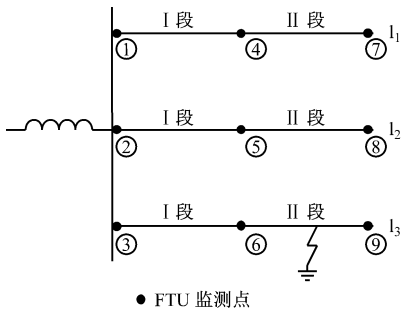


图 3 含 FTU 配电网拓扑

由于线路末端监测点检测到的零序电流非常小, 相位误差较大, 所以只需要使用每条线路前 2 个 FTU 监测点上传的故障信息进行故障区段选择。

首先, 建立故障后零序电流矩阵:

$$A = \begin{bmatrix} \dot{I}_1 & \dot{I}_4 \\ \dot{I}_2 & \dot{I}_5 \\ \dot{I}_3 & \dot{I}_6 \end{bmatrix} \quad (12)$$

式中: $\dot{I}_1 \sim \dot{I}_6$ 为监测点①—⑥测量的零序电流。

然后, 对线路首端 FTU 监测点测量的零序电流的相位差之和取平均值:

$$\Phi_i = \frac{\sum_{j=1}^n |\varphi_{I_i} - \varphi_{I_j}|}{n-1} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (13)$$

式中: φ_{I_i} 为第 i 条线路零序电流相位; φ_{I_j} 为第 j 条线路外其余 $n-1$ 条线路零序电流相位; n 为馈线支路数。

Φ_i 最大值对应的即为故障线路。最后, 计算故障线路上前 2 个 FTU 监测点测量的零序电流相位差绝对值, 若大于 90° , 说明故障发生在区段 I; 否则, 故障发生在区段 II。

图 3 中, 由于故障电流与非故障电流相位差 180° 左右 (考虑到互感器相位偏移), 非故障线路之间相位差较小, 计算得 Φ_3 最大, 所以 l_3 为故障线路。正常运行状态下, 流过监测点③与监测点⑥的电流基本相同, 监测点③与监测点⑥之间的零序电流相位差较小, 可确定故障发生在线路 l_3 的区段 II。同时通过比较发现监测点⑥测量的零序电流幅值大于监测点③测量的零序电流幅值, 可进一步确定故障发生在线路 l_3 的区段 II。

3 故障距离计算

将故障线路非故障区段两端的电压、电流基频分量相量及线路长度代入式 (8), 在线计算线路参数 Z_c, γ 。将故障区段两端的电压、电流基频分量相量 $\dot{U}_{1f}, \dot{U}_{2f}, \dot{I}_{1f}, \dot{I}_{2f}$ 及线路长度代入式 (6) 和式 (7) 可得

$$\begin{aligned} \dot{U}_{1f} \cosh(\gamma x) - Z_c \dot{I}_{1f} \sinh(\gamma x) = \\ \dot{U}_{2f} \cosh(\gamma(l-x)) + Z_c \dot{I}_{2f} \sinh(\gamma(l-x)) \end{aligned} \quad (14)$$

采用一维搜索法计算故障距离。

4 仿真分析

高压输电线路故障一般发生在杆塔处, 如绝缘子击穿、沿面放电等, 因此高压输电线路对于故障定位精度只要求达到两级杆塔间距即可。杆塔间的档距一般为 $300 \sim 600$ m, 在该精度下即可确定是哪一级杆塔发生了故障。

在 PSCAD/EMTDC 软件中采用分布参数模型

对 35 kV 单端辐射拓扑结构配电网进行故障定位仿真,如图 4 所示。该配电网 3 条线路的电缆长度分别为 18,16,20 km,三相平衡负载的复功率 $P +$

jQ 为 $0.35 \text{ MW} + 0.08 \text{ Mvar}$ 。BUS1 为母线;A,V 分别为电流、电压测量单元;A→G 表示 A 相发生接地故障。

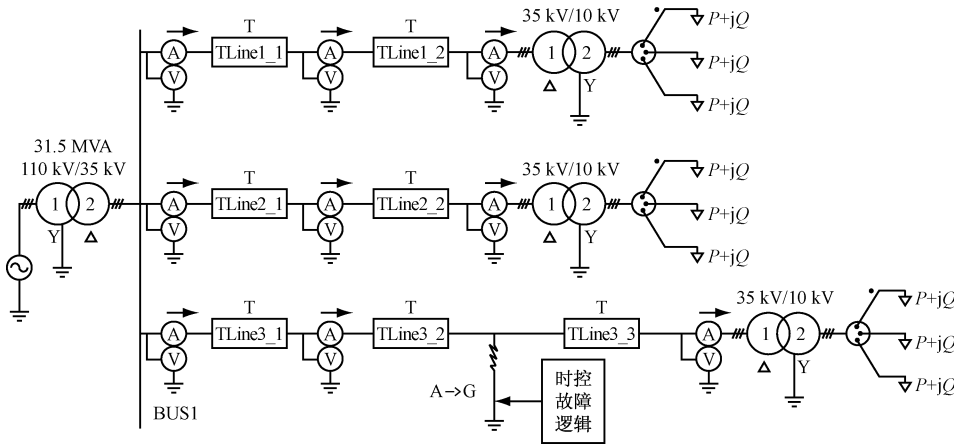


图 4 35 kV 单端辐射状配电网故障仿真模型

中性点不接地系统单相接地故障发生于不同位置、经不同过渡电阻接地时的测距结果见表 1。

表 1 中性点不接地系统单相接地故障测距结果				
故障距离/ km	过渡电阻/ Ω	区段定位 结果	故障测距/ km	误差/%
6	0	I 段	5.979 1	0.348
	20	I 段	5.978 5	0.358
	50	I 段	5.965 0	0.583
12	0	II 段	11.954 0	0.383
	20	II 段	11.929 8	0.585
	50	II 段	11.911 3	0.739
15	0	II 段	14.908 9	0.607
	20	II 段	14.896 9	0.687
	50	II 段	14.887 0	0.753
16	0	II 段	15.897 0	0.643
	20	II 段	15.872 9	0.794
	50	II 段	15.857 8	0.889
18	0	II 段	17.840 3	0.887
	20	II 段	17.836 3	0.909
	50	II 段	17.827 7	0.957

从表 1 可看出,该方法能够在金属性接地、低阻接地情况下正确识别故障区段,测距误差均在 1% 以内,能够实现故障准确测距。

5 结语

在配电网线路中铺设 FTU 实时获取线路运行情况,当发生单相接地故障后,通过计算可得各线路零序电压、零序电流,并利用故障线路与非故障线路零序电流相位差之间的区别,选择故障线路,进而确定故障区段,然后根据分布参数模型的特征,在线计

算线路参数,从而得出故障距离。仿真结果表明,该配电网故障区段定位及测距方法的故障选线及故障区段定位准确性高,测距结果受过渡电阻和故障位置等因素影响小,具有较高的测距精度。

参考文献:

[1] 牟龙华. 接地保护与故障点定位[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2000.

[2] 梁睿,王崇林,刘建华,等. 基于灰色关联的小电流接地选线研究[J]. 电力系统保护与控制,2009,37(7): 17-21.

[3] 陈禾,陈维贤. 配电线路的零序电流和故障选线新方法[J]. 高电压技术,2007,33(1):49-52.

[4] 张林利. 小电流接地故障定位方法及其应用研究[D]. 济南:山东大学,2013:2-3.

[5] 牟龙华. 零序电流有功分量方向接地选线保护原理[J]. 电网技术,1999,23(9):60-62.

[6] 杨鹏,杨以涵,司冬梅,等. 配电网单相接地故障定位技术实验研究[J]. 电力系统自动化,2008,32(9): 104-107.

[7] 韩笑,宋丽群,朱冬力. 配电网广域监测及故障定位信息集成方案[J]. 电力系统自动化,2013,37(2): 97-101.

[8] 周羽生,周有庆,戴正志. 基于 FTU 的配电网故障区段判断算法[J]. 电力自动化设备,2000,20(4): 25-27.

[9] 郭谋发,杨耿杰,黄建业,等. 配电网馈线故障区段定位系统[J]. 电力系统及其自动化学报,2011,23(2): 18-23.

[10] 季涛. 中性点非有效接地系统行波故障测距技术[M]. 北京:北京理工大学出版社,2008.