

文章编号: 1005-0523(2010)04-0048-04

一种电力贯通线单相接地故障测距的新方法

邱万英

(华东交通大学 基础科学学院, 江西南昌 330013)

摘要: 简析了电力贯通线单相接地故障时电压电流与阻抗之间的关系, 提出了基于 MATLAB 仿真的新型故障测距法。该方法不需新增任何硬件设备, 仅需使用现有的运动系统和相关软件。利用运动装置判定故障所在区间, 用 MATLAB 对该区间进行仿真, 并根据仿真结果, 用最小二乘法拟合出测距公式。研究成果已经应用到第一线, 希望在试用中得到检验、改善。虽然仿真是针对南昌至永修电力贯通线进行的, 但这种解决问题的思路, 可以推广至所有贯通线。

关 键 词: 故障测距; 贯通线; 单相接地; MATLAB 仿真; 最小二乘法

中图分类号: TM77 **文献标识码:** A

1 电力贯通线路特点

电力贯通线主要为铁路沿线的车站和区间重要负荷供电, 兼做信号设备的备用电源。贯通线采用中性点非直接接地的方式, 属于小电流接地系统。当贯通线发生单相接地时, 由于故障电流较小, 并且对于负荷来说三相电压仍然保持对称, 故一般允许继续运行 1~2 小时。但单相接地会引起非故障相的对地电压升高, 对绝缘构成威胁, 可能发展成其他形式的严重故障。上述特点与普通 10 kV 线路相同。但与普通 10 kV 线路相比较, 贯通线主要有如下不同点:

- (1) 线路结构多变。贯通线常常由架空线与电缆交替分段连接, 组成了架空线与电缆的混合线。
 - (2) 供电半径长。普通 10 kV 线路的供电半径一般不超过 15 km。而按照《铁路电力设计规范》TB100—99 规定, 向铁路沿线的自动闭塞和电力贯通线路供电的 10 kV 变配电所之间的供电距离一般条件下宜为 40~60 km。当跨所供电时, 则供电距离可能超过 100 km。
 - (3) 供电负荷轻。贯通线经常处于轻载状态, 10 kV 侧每相负荷电流通常在 3~5 A, 与电容电流属于同一数量级。
 - (4) 供电可靠性要求高。铁路信号设备等均属一级负荷, 要求不间断供电。
- 考虑上述特点, 本文针对南昌至永修电力贯通线进行 MATLAB 仿真, 重点研究首端电压电流及末端电压与故障距离的关系, 并得出计算故障距离的公式。

2 理论分析

简明起见, 参照文献[1]的方法, 结合贯通线的实际, 画出简化单相等值电路如图 1 所示。

图 1 中, F 为故障点; R_f 为过渡电阻; $Z_s = R_s + jX_s$ 为电源内阻抗; $Z_1 = R_1 + jX_1$, $Z_2 = R_2 + jX_2$ 为线路阻抗; $Z_L = R_L + jX_L$ 为负荷等效阻抗。

则由 KVL 和 KCL

$$\dot{I}_1(Z_s + Z_1) + \dot{I}_f R_f - \dot{U}_s = 0 \tag{1}$$

$$\dot{I}_2(Z_2 + Z_L) - \dot{I}_f R_f = 0 \tag{2}$$

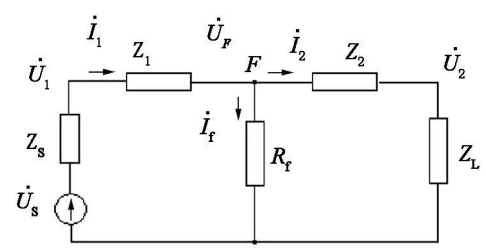


图 1 贯通线单相接地简化等值电路

$$\dot{I}_1 - \dot{I}_2 - \dot{I}_f = 0 \tag{3}$$

式(1)+(2)得

$$\dot{I}_1(Z_S + Z_1) + \dot{I}_2(Z_2 + Z_L) - \dot{U}_S = 0 \tag{4}$$

即

$$Z_1 = \frac{\dot{U}_S - \dot{I}_2(Z_2 + Z_L)}{\dot{I}_1} - Z_S \tag{5}$$

实际运行中,能够直接测得的电压电流只有 U_1 , U_2 和 I_1 , 为便于测距,应设法求出 Z_1 与 U_1 , U_2 , I_1 的关系表达式。

贯通线负荷很轻,负荷阻抗远远大于线路阻抗。一般,线路阻抗又远远大于电源内阻抗,即

$$R_L \gg R_1 + R_2 \gg R_s, X_L \gg X_1 + X_2 \gg X_s$$

故由式(5)可解得

$$Z_1 = \frac{\dot{U}_S - \dot{I}_2(Z_2 + Z_L)}{\dot{I}_1} - Z_S \approx \frac{\dot{U}_1 - \dot{U}_2}{\dot{I}_1} \tag{6}$$

事实上,因负荷阻抗远远大于线路阻抗,故 $U_F \approx U_2$, 从而式(6)成立。

为此,定义阻抗

$$z \approx \frac{U_1 - U_2}{I_1} \tag{7}$$

同理,可求得

$$R_f = \frac{\dot{U}_F}{\dot{I}_f} \approx \frac{U_2}{I_f} \approx \frac{U_2}{I_1} \tag{8}$$

显然,式(7)和式(8)可方便地应用于贯通线的故障测距,其近似正确性将在下述仿真研究中得到证实。

3 计算机仿真

以南昌至永修电力贯通线为例,进行故障测距的仿真研究。

南昌至永修电力贯通线全长 51.866 km,由 19 段电缆与架空线交替连接而成,其中电缆总长为 10.687 km,架空线总长为 41.179 km。贯通线与自闭线由不同电源点供电,互为备用,且总是单端供电。具体接线如图 2 所示。

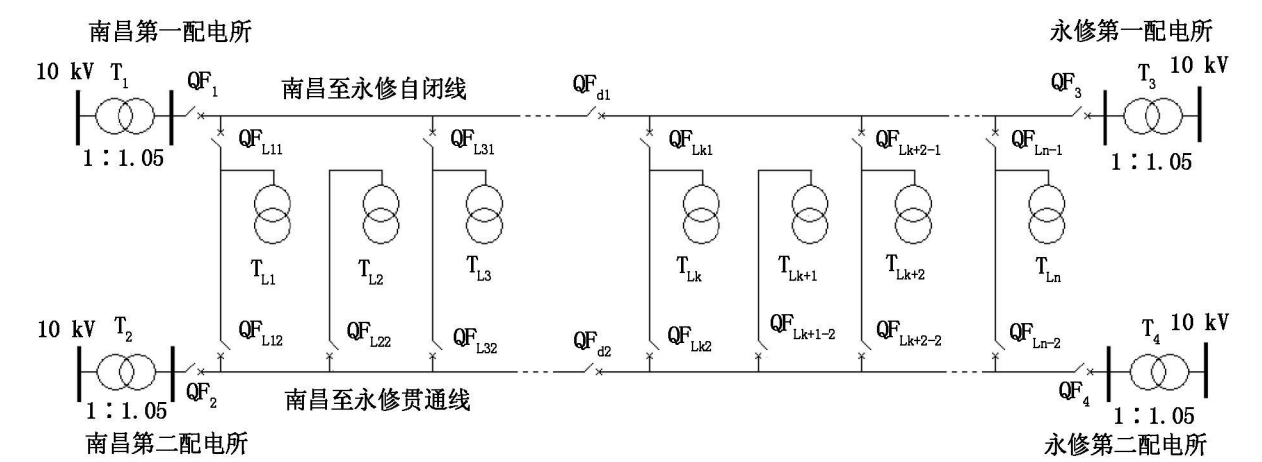


图 2 南昌至永修贯通线接线示意图

图 2 中,各配电所的 10 kV 母线直接与地方变电站相连。 $T_1 \sim T_4$ 为调压器,主要起隔离和调压的作用。 $T_{L1} \sim T_{Ln}$ 为负荷变压器。 QF 为断路器,上标 L 表示负荷,下标 d 表示区间断路器,共用 4 组区间断路器将

全线分为 5 个区间。贯通线采用中性点不接地的运行方式。现有远动系统可以判定故障所在区间,所以故障测距只需要分区间进行。

分别设定不同的故障模块过渡电阻值,对于每一个过渡电阻值,依次改变故障相 A 的接线位置至电缆接头处,运行 MATLAB,得到仿真系列结果。限于篇幅,仅列出部分结果如表 1 所示。

表 1 南昌至永修贯通线部分仿真结果

d/km	$R_f=20\ \Omega$			$R_f=50\ \Omega$			$R_f=100\ \Omega$			$R_f=200\ \Omega$		
	I_1/A	U_1/V	U_2/V	I_1/A	U_1/V	U_2/V	I_1/A	U_1/V	U_2/V	I_1/A	U_1/V	U_2/V
0	5.310	71.3	97.0	5.335	178.1	192.2	5.375	355.6	363.8	5.444	706.8	710.1
5.530	5.305	88.2	77.6	5.331	194.9	172.1	5.370	372.4	344.4	5.439	723.7	691.3
17.338	5.311	126.7	68.7	5.336	233.7	169.1	5.375	411.3	343.7	5.443	762.6	692.0
29.215	5.318	162.2	67.7	5.343	269.3	172.9	5.381	447.2	349.4	5.448	799.1	699.2
41.967	5.330	198.3	70.3	5.355	305.0	177.0	5.393	483.1	354.5	5.459	835.4	705.4
51.866	5.340	229.4	71.6	5.364	335.8	178.8	5.402	513.9	356.9	5.467	866.4	708.7

表 1 中, I_1 为首端故障相电流, U_1 和 U_2 分别为首末端故障相电压。

4 仿真结果分析

4.1 回归分析与测距公式

现有远动系统可以判定故障所在区间,所以对仿真结果可按区间进行回归分析。

用 MATLAB 进行最小二乘线性拟合,得到线性关系式如下:

$$R_{f1}=0.292\ 0\ U_2-2.907\ 7\tag{9}$$

分析故障距离 d 与阻抗 z 及过渡电阻 R_f 之间的关系。同理,编写 MATLAB 程序,绘出三维关系曲线如图 3 所示。由图 3 可知,故障距离 d 与阻抗 z 近似成线性关系,这与理论分析中式(7)是一致的; d 与过渡电阻 R_f 近似成倒数关系。因此,可以假设

$$d=k_z z+k_r/R_f+k_0$$

为求出系数 k_z , k_r 和 k_0 ,编写多元线性回归的 m 程序,运行 MATLAB 软件,拟合得到

$$d_1=0.470\ 1_z+70.301\ 3/R_f+0.812\ 1\tag{10}$$

式(9)和式(10)即为区间 1 的测距公式。

同理,可得到区间 2 至区间 5 的测距公式。

4.2 测距误差分析

每一区间验证一个故障点。将数据代入测距公式,求得结果如表 2 所示,用 MATLAB 画出的误差曲线如图 4 所示。

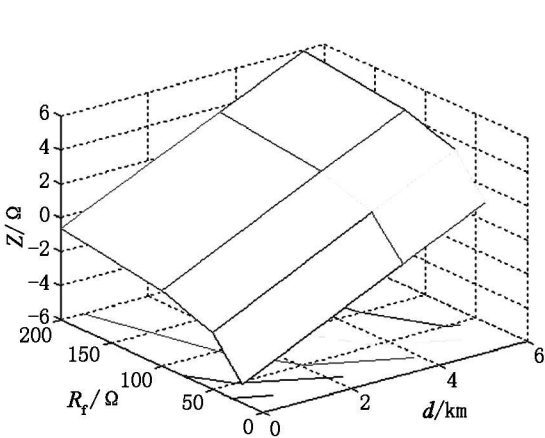


图 3 $d-R_f-z$ 的关系曲线

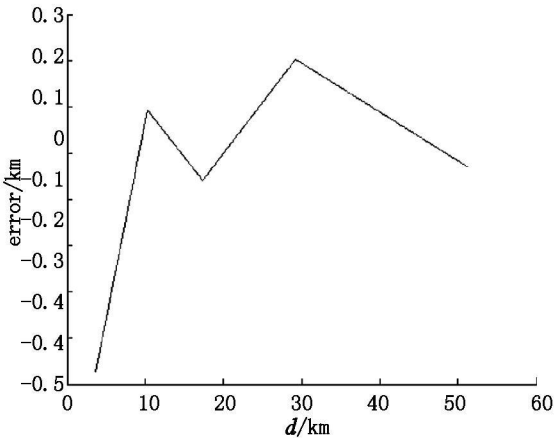


图 4 误差曲线

表 2 故障测距误差

区间	实际故障 距离/km	计算故障 距离/km	测距误差 /km
1	3.630	3.156	-0.474
2	10.236	10.330	0.094
3	17.338	17.279	-0.059
4	29.215	29.418	0.203
5	51.382	51.350	-0.032

由表 2 及图 4 可知，测距误差在±0.5 km 以内。

5 结论

基于 MATLAB 仿真的故障测距，由于考虑了对地电容与不对称负荷等的影响，与传统的电抗法相比，首先，原测距误差普遍在±1.0 km 左右，新方法理论测距误差则在±0.5 km 以内；其次，新测距方法只需借助已有的远动系统提供的故障区间和仿真软件，即可快速地测量故障点，减少了误差，缩小了检修和排查故障的范围，节约了时间，提高了工效，降低了成本。本文原始数据来源于第一线，研究成果也已经应用到第一线，希望在试用中得到检验、改善。虽然仿真是针对南昌至永修电力贯通线进行的，但这种解决问题的思路，可以推广至所有贯通线。

参考文献：

[1] 岑圆琼. 输电线路行波精确测距方法的应用[J]. 广西电力, 2007(3): 65.
[2] 化雨, 鲁改凤, 王文涛. T 接输电线路故障测距的新型算法[J]. 水电能源科学, 2010(4): 133-134.
[3] 何人望, 杨文焕, 孙景, 等. 铁路贯通线中电压互感器烧损故障分析[J]. 江西电力, 2000(4): 20-27.
[4] 黄建华, 全零三. 变电站高压电气设备状态检修的现状及其发展[J]. 电力系统自动化, 2001(4): 56-61.
[5] 赵振宁, 陈锋. 以可靠性为中心的检修在电力公司中的应用[J]. 华北电力技术, 2003(3): 44-45.

A New Approach to Fault Location in Railway Continuous Power Lines

Qiu Wanying

(School of Basic Sciences, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: The paper analyzes the relationship between voltage, current and impedance in a continuous power line (CPL) when a single-phase ground fault occurs, and presents a novel method to locate the fault in a CPL based on MATLAB simulations. Without any additional hardware, this novel method only needs the existing remote system and related software. MATLAB simulations are made for each section respectively. The equations of fault location are fitted according to the simulation results using the least square method. The research results of this paper have been applied in practice and more verification and improvement are expected. Although the simulations are performed only for the Nanchang-Yongxiu railway CPL, the idea to solve the fault location problem can be adopted in all railway continuous power lines.

Key words: fault location; continuous power line (CPL); single-phase ground; MATLAB simulation; least square method
(责任编辑 王建华)