

文章编号:1671-251X(2016)12-0059-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2016.12.013

杨新伟,刘伟娜,江博.基于能量与相关性的谐振接地系统选线新方法[J].工矿自动化,2016,42(12):59-63.

基于能量与相关性的谐振接地系统选线新方法

杨新伟¹, 刘伟娜¹, 江博²

(1. 河南师范大学 电子与电气工程学院, 河南 新乡 453007;

2. 国网湖北省电力公司 咸宁供电公司, 湖北 咸宁 437100)

摘要:针对谐振接地系统单一选线方法易发生误判、易受训练样本影响等问题,提出基于能量与相关性的谐振接地系统选线新方法。首先计算线路各相电流突变量和每条线路的综合相关系数,然后用经验模态分解算法计算每条线路相电流突变量所对应的固有模态能量权重系数,取每条线路三相固有模态能量权重系数中的最大值作为本线路的综合能量系数值,最后通过二维判据求取特征距离。仿真结果表明,基于能量与相关性的谐振接地系统选线新方法实现了母线故障判别,且在一定程度上提高了判据裕度,适用范围更广。

关键词:谐振接地系统;故障选线;单相接地故障;固有模态能量;相关性

中图分类号:TD611

文献标志码:A

网络出版时间:2016-12-01 10:44

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20161201.1044.013.html>

New line selection method of resonant grounding system based on energy and correlation

YANG Xinwei¹, LIU Weina¹, JIANG Bo²

(1. College of Electronic and Electrical Engineering, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China;

2. Xianning Power Supply Company, State Grid Hubei Power Company, Xianning 437100, China)

Abstract: In view of problem that single line selection method of resonant grounding system prones to misjudgment and is easily affected by the training samples, new line selection method of resonant grounding system based on energy and correlation was proposed. Firstly, current mutation of each phase and comprehensive correlation coefficient of each line are calculated; then EMD algorithm is used to calculate weight coefficient of intrinsic mode energy corresponding to phase current mutation of each line, and the maximum value of weight coefficient of intrinsic mode energy of three phases in each line is taken as the comprehensive energy coefficient value of the line; finally, feature distance of each line is obtained according to the two-dimensional criterion. The simulation results show that the new line selection method of resonant grounding system based on energy and correlation achieves bus fault diagnosis, improves criterion margin in a certain extent, and has wide scope of application.

Key words: resonant grounding system; fault line selection; single-phase grounding fault; intrinsic mode energy; correlation

0 引言

小电流接地系统发生单相接地故障时故障电流较小,故障特征不明显,许多学者针对该问题进行了

研究,已取得了一些成果。基于故障行波的选线方法^[1]具有检测速度较快、准确率较高的特点,但对采样设备要求较高,需投入较大成本。基于数据融合的选线方法^[2-3]判别效果较好,但需要大量具有代表性的训练样本才能保证较高的判别准确率,且计算

量较大,运算时间较长。基于小波能量的选线方法^[4]由于小波基选取的问题,很难实际应用。基于零序电流相关性的选线方法^[5]在纯架空线缆中应用效果较好,但应用在混合线路中时效果则不太理想。参考文献^[6]针对该问题提出了基于相电流相关性的选线定位方法,该方法提高了判据裕度,但还有待改进。基于零序电流固有模态能量的选线方法^[7]在纯电缆线路中的应用效果较好,而在含有架空线路时,容易发生误判,且不能判别出母线故障。由参考文献^[6]可知,故障线路故障相电流突变量幅值远比其他相电流突变量幅值大,因此,以相电流突变量能量进行选线要比零序电流能量选线可靠,但该方法未解决母线故障判别问题。本文在此基础上,提出了基于相电流能量与相关性的选线方法。该方法解决了母线故障判别问题,与单一方法相比,在一定程度上提高了裕度,不易出现误判现象。

1 基于相电流突变量相关性的选线方法

由参考文献^[6]可知,健全线路各相电流突变量幅值相同,波形一致;故障线路中两健全相突变量幅值相同,波形一致,而故障相突变量则不具备此特征。因此,可利用相关性进行选线。一般用相关系数形容 2 个信号的相似程度,2 个信号相差越大,相关系数就越小^[8-9]。健全线路各相间突变量之间的相关系数接近于 1,故障线路两健全相突变量之间相关系数接近于 1,而故障线路故障相与健全相突变量之间的相关系数较小。本文利用故障后一个周期的数据减去故障前一个周期的数据,求得线路各相电流突变量,然后求取 AB,BC,CA 两相突变量之间的相关系数。相关系数 ρ_{ij} 计算公式为

$$\rho_{ij} = \frac{\sum_{n=1}^N I_{pi}(n) I_{pj}(n)}{\sqrt{\sum_{n=1}^N I_{pi}^2(n) \sum_{n=1}^N I_{pj}^2(n)}} \quad (1)$$

式中: I_{pi}, I_{pj} 分别为第 p 条线路的 i, j 两相电流突变量; n 为故障发生时刻; N 为信号数据长度。

通过计算各线路 AB,BC,CA 两相突变量之间的相关系数,可得到相关系数矩阵 $\mathbf{D}$ 为

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} \rho_{1AB} & \cdots & \rho_{pAB} & \cdots & \rho_{lAB} \\ \rho_{1BC} & \cdots & \rho_{pBC} & \cdots & \rho_{lBC} \\ \rho_{1CA} & \cdots & \rho_{pCA} & \cdots & \rho_{lCA} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: $\rho_{pAB}, \rho_{pBC}, \rho_{pCA}$ 分别为第 p 条线路 AB,BC,CA 两相突变量之间的相关系数; l 为系统线路总条数。

定义第 p 条线路的综合相关系数为第 p 条线

路 AB,BC,CA 两相电流突变量之间相关系数中的最小值,即第 p 条线路的综合相关系数可表示为

$$\rho_p = \min\{\rho_{pAB}, \rho_{pBC}, \rho_{pCA}\} \quad (3)$$

综合相关系数最小的馈线即为故障线路。

2 基于相电流突变量能量的选线方法

基于零序电流固有模态能量的故障选线方法利用故障线路固有模态能量权重系数最大的原理进行选线,但在架空线路上发生单相接地故障时,故障架空线路零序电流幅值极可能出现小于健全电缆零序电流幅值的情况,导致故障架空线路零序电流固有模态能量权重系数值小于健全电缆能量权重系数值,引起误判。

由参考文献^[6]可知,当线路发生单相接地故障时,故障相电流突变量幅值最大,而故障线路健全相和其他线路相电流突变量幅值都较小。因此,可利用相电流能量判别故障馈线。

首先通过 EMD(经验模态分解)对第 p 条线路 i 相电流突变量进行分解,得到 m 个 IMF 分量和一个剩余分量 r_c ^[10-11]。第 p 条线路 i 相电流突变量的固有模态能量为

$$E_{pi} = \sum_{x=1}^m \sum_{k=1}^n f_{pi,x}^2(k) + \sum_{k=1}^n r_c^2(k) \quad (4)$$

式中: $f_{pi,x}$ 表示第 p 条线路 i 相电流第 x 个 IMF 分量。

定义每条线路三相固有模态能量值最大者为本线路的综合能量值,则第 p 条线路的综合能量值 E_p 为

$$E_p = \max\{E_{pA}, E_{pB}, E_{pC}\} \quad (5)$$

第 p 条线路权重系数为其综合能量值与总综合能量值之比,即

$$\alpha_p = E_p / \sum_{k=1}^l E_p \quad (6)$$

由于故障线路相电流固有模态能量值最大,所以故障线路综合能量值也最大。因此,可判断权重系数最大的线路为故障线路。

3 基于相电流能量与相关性的选线方法

虽然基于相电流突变量固有模态能量的选线方法在一定程度上解决了零序电流固有模态能量法不能应用在架空线路上的问题,但未解决母线故障判别问题。当电缆线路发生故障时,基于相电流突变量相关性的选线法也会出现判据裕度较小的问题。因此,本文提出以二维坐标融合 2 种判据的方法,使

二者能相互补充。

由于故障线路的综合相关系数最小,而其综合权重系数最大,在以线路综合相关系数为横轴、线路综合权重系数为纵轴的坐标系中,健全线路坐标点在第1象限横轴的右上方,接近点(1,0);故障线路坐标点在第1或第2象限纵轴上方,接近点(0,1)。因此,本文以线路所代表的点与点(0,1)的距离作为故障判据,第 p 条线路所表示的点 (ρ_p, α_p) 与点(0,1)的特征距离 d_p 为

$$d_p = \sqrt{\rho_p^2 + (\alpha_p - 1)^2} \quad (7)$$

当线路发生单相接地故障时,特征距离最小值所对应的线路为故障线路。而当母线发生故障时,由于各线路相电流突变量波形都相同,所以各线路综合相关系数都接近于1。结合特征距离公式可知,此时各线路特征距离都很大。现设定一阈值 d_{set} ,当系统发生故障时,若线路各特征距离都大于 d_{set} ,则表示母线发生故障,否则特征距离最小值所对应的线路为故障线路,具体选线流程如图1所示。其中 U_0, U_m 分别为系统零序电压和额定电压。

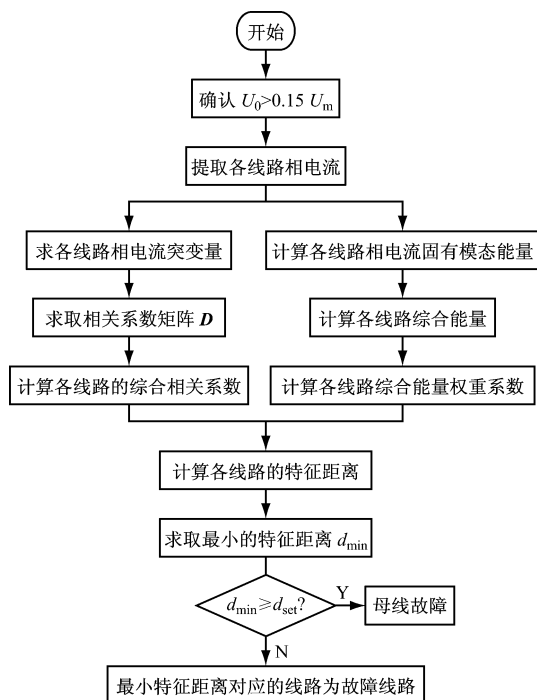


图1 选线流程

4 仿真分析

4.1 仿真模型

利用仿真软件EMTP搭建110/10 kV配电网经消弧线圈接地模型,如图2所示,其中架空线路与电缆线路参数引自参考文献[12]。本文中每条馈线都接有负荷,用一个 $(400 + j20) \Omega$ 的阻抗代替;消弧

线圈采用过补偿方式运行,补偿度为8%,消弧线圈电感值为0.982 H;采样频率为100 kHz,仿真时间设为0.04 s,发生单相接地故障时刻为0.02 s。

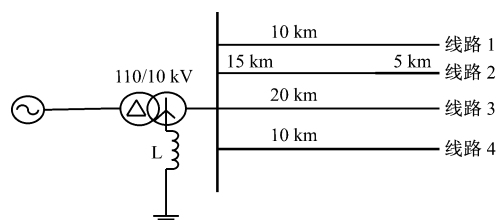


图2 110/10 kV配电网经消弧线圈接地模型

4.2 仿真结果分析

现通过2组仿真实验数据来验证本文所提选线方法的有效性。第1组仿真条件:故障位置为线路1的10%处,故障合闸角 α 为 0° ,故障电阻为 5Ω 。第2组仿真条件:故障位置为线路4的10%处,故障合闸角 α 为 0° ,故障电阻为 500Ω 。由于篇幅限制,现只给出第1组仿真条件下故障线路1和健全线路4各相电流突变量,如图3、图4所示。

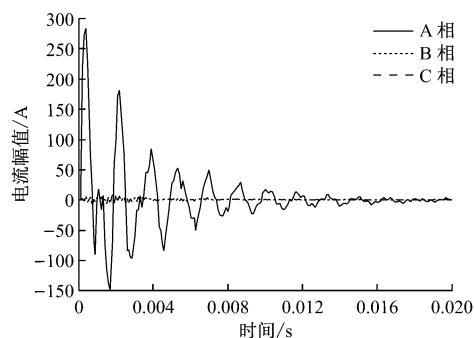


图3 故障线路1各相突变量

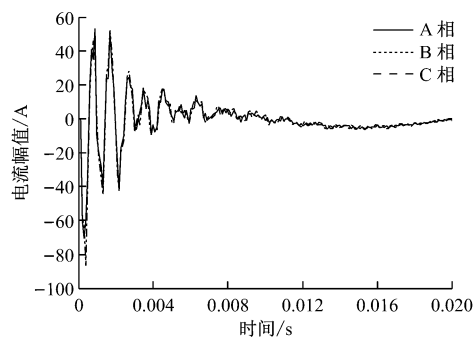


图4 健全线路4各相突变量

从图3、图4可知,健全线路各突变量相电流幅值相同,波形一致;故障线路中两健全相突变量幅值相同,波形一致,而故障相突变量与其健全相波形相差较大。通过观测相电流突变量幅值可知,故障线路故障相突变量幅值远比其他相电流突变量幅值大。最终通过2组实验得到的各线路各综合相关系数与权重系数见表1、表2。

表 1 线路 1 的 10%处发生故障时的系数

线路	ρ_p	α_p
线路 1	0.12	0.89
线路 2	0.92	0.04
线路 3	0.98	0
线路 4	0.97	0.07

表 2 线路 4 的 10%处发生故障时的系数

线路	ρ_p	α_p
线路 1	0.92	0
线路 2	0.99	0.09
线路 3	0.93	0
线路 4	0.02	0.91

根据表 1、表 2 中的数据可得到图 5、图 6。由图 5 和图 6 可知,故障数据所表示的点与点(0,1)相距较近,而正常数据所表示的点与其相距较远,说明利用特征距离选线是可行的,且裕度较高。

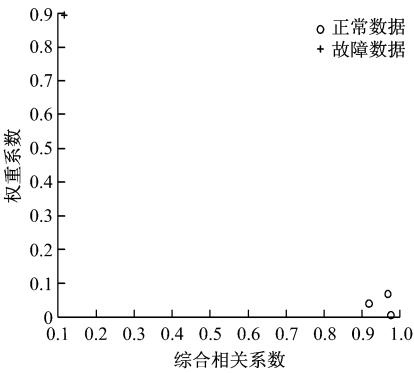


图 5 表 1 中数据的二维坐标

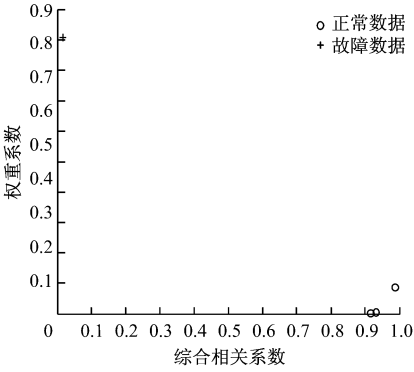


图 6 表 2 中数据的二维坐标

为了分析所提方法的适用性,利用其计算不同故障条件下线路所表示的点与点(0,1)之间的特征距离。经多次试验,本文取阈值为 0.9,然后通过流程图判别故障线路,结果见表 3、表 4。

从表 3 和表 4 可知,当线路上发生单相接地故障时,故障线路特征距离较小,在 0~0.7 内波动,而

表 3 线路故障时各线路特征距离与判别结果

故障位置	$a/$ (°)	故障 电阻/ Ω	d_1	d_2	d_3	d_4	故障线路
线路 1 10%处	0	5	0.16	1.33	1.40	1.34	线路 1
		500	0.23	1.37	1.38	1.29	线路 1
		5 000	0.22	1.38	1.39	1.30	线路 1
	90	5	0.35	1.41	1.41	1.40	线路 1
		500	0.18	1.39	1.41	1.33	线路 1
		5 000	0.16	1.39	1.41	1.33	线路 1
线路 4 10%处	0	5	1.24	1.34	1.32	0.65	线路 4
		500	1.36	1.35	1.36	0.09	线路 4
		5 000	1.38	1.35	1.38	0.16	线路 4
	90	5	1.40	1.41	1.41	0.56	线路 4
		500	1.41	1.39	1.41	0.41	线路 4
		5 000	1.41	1.39	1.41	0.30	线路 4

表 4 母线故障时各线路特征距离与判别结果

$a/$ (°)	故障 电阻/ Ω	d_1	d_2	d_3	d_4	故障线路
0	5	1.21	1.16	1.24	1.03	母线
	500	1.35	1.25	1.37	1.02	母线
	5 000	1.38	1.25	1.39	1.03	母线
90	5	1.40	1.24	1.41	1.03	母线
	500	1.41	1.26	1.41	1.03	母线
	5 000	1.41	1.26	1.41	1.03	母线

健全线路特征距离均大于 1,因此,根据特征距离能很好地判别出故障,尤其在架空线路故障时判别结果非常好。当母线上发生单相接地故障时,各线路特征距离均大于阈值 0.9,因此,根据特征距离也能判别出母线故障。

由以上分析可知,本文所提方法受故障电阻、故障合闸角、故障位置的影响较小,解决了固有能量法不能判别母线故障的问题,且与相关性选线法相比,提高了裕度,不易发生误判。

5 结语

基于相电流的能量与相关性的谐振接地系统选线方法以二维坐标的形式融合了能量法与相关性法,与传统的融合方法相比,避免了训练样本的影响;与单一判别方法相比,既能判别母线故障,也在一定程度上提高了判据裕度,且受故障电阻、故障合闸角、故障位置的影响较小,对不同故障情况均能较好地识别,非常适用于结构较复杂的配电网系统选线。

参考文献:

[1] 胡佐,李欣然,石吉银. 基于残流与首半波综合的接地选线方法研究[J]. 继电器,2006,34(7):6-9.

[2] 赵建文,李科,随晓娜,等. 多级数据模糊融合选线新方法[J]. 电力系统及其自动化学报,2016,28(2):56-60.

[3] 郭谋发,林妙玉,杨耿杰. 谐振接地系统暂稳态信息智能融合选线方法[J]. 电力系统保护与控制,2013,41(7):60-66.

[4] 吴乐鹏,黄纯,林达斌,等. 基于暂态小波能量的小电流接地故障选线新方法[J]. 电力自动化设备,2013,33(5):70-75.

[5] 束洪春,徐亮,彭仕欣,等. 谐振接地电网故障选线相关分析法[J]. 电力自动化设备,2008,28(9):6-9.

[6] 宋国兵,李广,于叶云,等. 基于相电流突变量的配电网单相接地故障区段定位[J]. 电力系统自动化,2011,35(21):84-90.

[7] 王清亮,杜辉,赵艺杰,等. 基于固有模态能量的暂态量选线方法[J]. 工矿自动化,2013,39(9):92-95.

[8] 胡广书. 数字信号处理:理论、算法与实现[M]. 2版. 北京:清华大学出版社,2003.

[9] 王韶,朱姜峰. 基于改进相关性分析法的配电网单相接地故障选线[J]. 电力系统保护与控制,2012,40(15):76-81.

[10] 穆钢,史坤鹏,安军,等. 结合经验模态分解的信号能量法及其在低频振荡研究中的应用[J]. 中国电机工程学报,2008,28(19):36-41.

[11] 杜辉. 基于固有模态能量的暂态量选线方法研究[D]. 西安:西安科技大学,2013.

[12] 康小宁,刘鑫,索南加乐,等. 基于矩阵束算法的经消弧线圈接地系统故障选线新方法[J]. 电力系统自动化,2012,36(12):88-93.