

# 基于改进零序导纳的故障选线新方法

魏云冰, 王长江, 张栋

(郑州轻工业学院 电气信息工程学院, 河南 郑州 450002)

**摘要:**根据故障线路的零序导纳在高次谐波条件下明显区别于非故障线路的零序导纳这一特点,结合小波包的分频特性及小故障角接地时零序电流的特性,提出一种基于改进零序导纳的小电流接地选线新方法.该方法充分利用故障线路的暂态信息,并在选线算法构造中综合利用故障零序电流小波包重构系数的幅值与零序导纳极性的信息,以提高选线灵敏度.利用PSCAD进行仿真,结果表明,该方法不受补偿度、故障地点、过渡电阻和故障角度的影响,能够有效、可靠地选出故障线路.

**关键词:**故障选线;零序导纳;特征频带;故障测度值;小波包分解

中图分类号:TM711 文献标志码:A DOI:10.3969/j.issn.2095-476X.2013.04.014

## The new method of fault line selection based on the improved zero sequence admittance

WEI Yun-bing, WANG Chang-jiang, ZHANG Dong

(College of Electric Information Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** According to the feature that the zero sequence of fault line significantly different from the non-zero sequence fault line in the high-order harmonic admittance conditions, combined with the characteristics of wavelet packet division and small angle to ground zero sequence fault current characteristics, a new method was proposed basing on an improved zero sequence admittance. This method makes full use of the transient fault line information and comprehensive utilization of zero sequence admittance wavelet packet reconstruct coefficient amplitude and polarity information to improve the selection and line sensitivity. Through PSCAD simulation and results showed that this method was not affected by the degree of compensation, fault location, the value of the transition resistance and the failure angle and it was able to elect fault line effectively and reliably.

**Key words:** fault line selection; zero sequence admittance; feature band; fault measure value; wavelet packet decomposition

## 0 引言

小电流接地系统,特别是谐振接地系统,故障信号较小,不容易辨别,给继电保护和故障选线带

来了很大的困难<sup>[1-4]</sup>.到目前为止,已有多种接地选线装置运行于中压电网中,并取得了珍贵的运行经验.在这些装置所依据的设计原理中,零序电流法在电网的电容电流较小,又存在长线路的情况,不

能满足选线要求<sup>[5]</sup>; 增益阻抗理论选线方法中, 选用5次谐波进行分析, 由于5次谐波受电网运行状态影响, 在电能质量好的情况下5次谐波含量较低, 很难满足选线灵敏度的要求; 多频带方法中, 当故障角较小时, 高频谐波含量较小<sup>[6]</sup>, 这时选线有可能出错. 鉴于此, 本文拟在分析故障暂态信号特征的基础上, 提出基于改进零序导纳的小电流接地选线新方法, 并经PSCAD仿真验证其可行性.

## 1 故障时零序导纳特征

为了分析方便, 本文忽略各条线路中的电阻和电抗对零序电压的影响, 电网单相接地电路图如图1所示. 其中,  $R_d$  为单相接地电弧电阻/ $\Omega$ ;  $L$  为消弧线圈等效电感/s;  $U_{d0}$  为零序电压/V;  $C_iA, C_iB, C_iC$  为非故障线路三相对地电容/s;  $C_jA, C_jB, C_jC$  为故障线路  $j$  三相对地电容/s<sup>[7]</sup>.

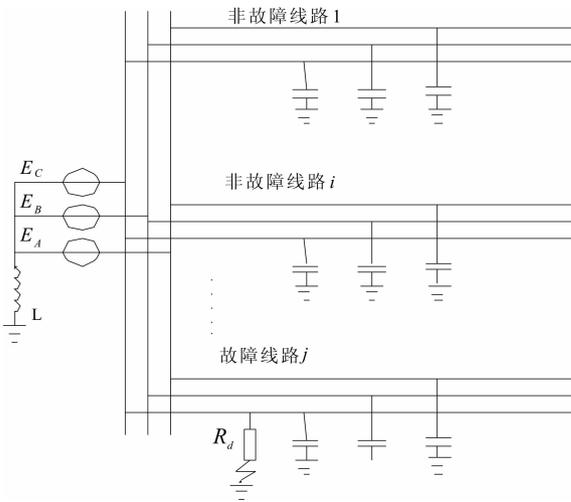


图1 电网单相接地电路图

当系统发生单相接地故障时, 非故障线路的零序导纳都可以表示成

$$\dot{Y}_{d0} = \dot{I}_{d0} / \dot{U}_{d0} = jn\omega C_i$$

式中,  $\dot{Y}_{d0}$  为故障情况下测得的第  $i$  条非故障线路的零序导纳/S,  $\dot{I}_{d0}$  为故障情况下第  $i$  条非故障线路的零序电流/A,  $\dot{U}_{d0}$  为对应的零序电压/V,  $C_i$  为第  $i$  条线路自身的对地电容/S,  $n$  为谐波次数.

对于故障线路, 设第  $j$  条线路故障, 则故障线路的零序导纳为

$$\dot{Y}_{d0} = \frac{\dot{I}_{d0}}{\dot{U}_{d0}} = -\frac{1}{j3n\omega L} - jn\omega(C_\Sigma - C_j)$$

式中,  $L$  为消弧线圈电感值/S.

## 2 特征频带的选取

消弧线圈整定原则为: 流过消弧线圈的基波感性电流补偿所有对地基波电容电流. 当中性点经消弧线圈接地系统发生单相金属性接地时有

$$\frac{U_{d0}}{j3\omega L} + j3\omega C_\Sigma U_{d0} = 0 \quad (1)$$

由式①得

$$\omega L = \frac{1}{3\omega C_\Sigma} \quad (2)$$

将式②代入式①得

$$\dot{Y}_{d0} = \frac{j}{n}\omega C_\Sigma - jn\omega(C_\Sigma - C_j) \quad (3)$$

在实际工程应用中,  $C_j \leq 89\% C_\Sigma$ , 并且消弧线圈补偿通常采用过补偿, 补偿度一般为 5% ~ 10%<sup>[8]</sup>. 由式③可知, 当  $n \geq 2$  时  $\dot{Y}_{d0}$  恒为负值. 在实际系统中, 线路的电阻是不能忽略的, 为了消除线路电阻对零序导纳的影响, 本文根据上文分析和文献[9]中提出的选择频带 ( $f_{hi, \max} \sim f'_{sFBH}$ ) ( $f'_{sFBH}$  为首次串联谐振频率较大线路的频率,  $f_{hi, \max}$  为系统中等效电容最大的线路发生故障时线路的并联谐振频率, 在此频带内各线路电阻给线路带来的影响可以忽略) 定义特征频带的下限为

$$f_{\min} = \max(100, f_{hi, \max})$$

上限为

$$f_{\max} = f'_{sFBH}$$

在该特征频带范围内, 各条线路均显容性, 非故障线路和故障线路测得的零序导纳分别为正值和负值, 因此可以以此作为选线依据.

## 3 选线算法

由前述内容可知, 零序导纳需要在特征频带内计算, 该特征频带为高频带. 文献[6]利用5次谐波信号计算零序导纳, 由于5次谐波容易受电网运行状态的影响, 尤其是在电能质量较好的条件下5次谐波含量很低, 选线的灵敏度和准确性将受到影响. 文献[10]提出, 在小故障角接地故障时, 高频谐波分量很小而直流分量显著增加, 上述选线精度有所降低, 甚至会出现漏选情况. 因此, 可以利用衰减直流分量间的幅值比较作为高频分量不足时的辅助选线判据.

第1步: 给母线及各条线路设置一个故障测度值  $X(K)$ , 并初始化  $X(K) = 0$ , ( $K = 0, 1, \dots, N$ ;  $K = 0$  表示母线).

第2步:将故障后各条线路1/4个周波的零序电流和零序电压用db8小波包进行5层分解,并对衰减直流分量的低频带和SFB范围内的组合频带进行重构,设低频带重构后小波系数为 $C_K(i)$ (线路编号 $K=0,1,\dots,N,i$ 表示第 $i$ 个采样点)。

第3步:对衰减直流分量的单支重构小波包系数逐点进行如下算法处理:找出幅值最大的3条线路并从小到大排序,依次记为 $m,n,r$ ,对应的重构小波系数分别记为 $C_m(i),C_n(i),C_r(i)$ ,并将其中幅值小于阈值(取0.1)的重构小波包系数置零.若 $C_m(i) \geq C_n(i) + C_r(i)$ ,则进行 $X(m) = X(m) + 1$ 的运算;否则进行 $X(0) = X(0) + 1$ 的运算。

第4步:得到特征频带范围内组合频带的重构系数后,设计算得到组合频带内的各条线路的零序导纳为 $\dot{Y}_K(i)$ ,并将其中幅值绝对值小于最小线路零序导纳的值置零.若各条线路的 $\dot{Y}_K(i)$ 同号且幅值的绝对值均小于最小线路零序导纳,则对 $X(0)$ 进行 $X(0) = X(0) + 1$ 的运算;否则,若 $Y_K(i) < 0$ ,则对 $X(K)$ 进行 $X(K) = X(K) + 1$ 的运算;若 $Y_K(i) > 0$ ,则 $X(K)$ 不作运算。

以上步骤进行完后对故障测度值进行归一化处理 $X_K = X_K / (2n)$ ( $n$ 为采用点数),经过以上处理后,得到的故障测度值最大的线路即为故障线路。

## 4 实验仿真与结果分析

本文用PSCAD模拟了一个110 kV/10 kV的具有3条馈线的变电站系统,如图2所示.其中,该系统按补偿度为7%的过补偿方式,消弧线圈等效电感参数为 $L=245.5$  mH.根据上文给出的仿真参数和特征频带的确定方法,计算得特征频带的下限为100 Hz,上限为748.5 Hz.由特征频带的范围,选择落在特征频带内的小波包组合频带(本文采用db8小波包进行5层分解,采样频率为3 200 Hz,组合频带为2,3, $\dots$ ,15频带)分量进行重构;对衰减直流分量对应的小波包频带(1频带)分量进行重构.根据第3节给出的选线原理和算法就可以正确地选出

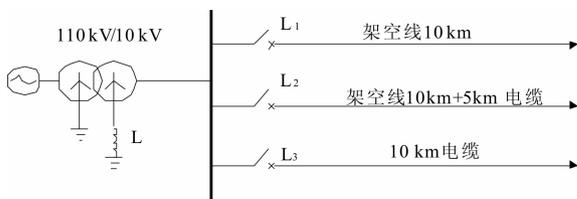


图2 具有3条馈线的110 kV/10 kV供电系统

故障线路。

当中性点直接接地系统的线路 $L_1$ 在距离母线10 km处发生单相金属性接地故障(故障角 $\theta = 90^\circ$ )时,各条线路的零序导纳波形图如图3所示。

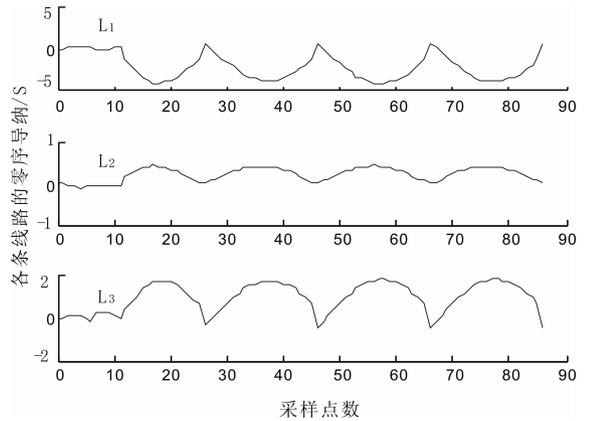


图3 故障时系统各线路零序导纳波形图

从图3可以看出,故障线路 $L_1$ 的零序导纳比各非故障线路的零序导纳要大,且极性相反.此时单靠判断线路零序导纳得到各条线路的故障测度值见表1,从中可以看到,当故障初始角大于 $30^\circ$ 时是可以正确选线的,但当故障初始角为 $0^\circ$ 时,单靠判断零序导纳选线出现错误,这是由于此时零序电流和零序电压中暂态量很小,上述方法得到的零序导纳存在较大误差,不能真实反映线路零序导纳.而此时故障线路中零序电流中的衰减直流分量含量较大,若线路 $L_1$ 在初始角为 $0^\circ$ 时发生故障,各线路的衰减直流分量如图4所示。

表1  $L_1$ 故障时各线路的故障测度值及判断结果

故障初相角/ $(^\circ)$	故障测度值			判定故障线路	判定结果
	$L_1$	$L_2$	$L_3$		
0	0.314	0.337	0.347	$L_3$	错误
30	0.832	0.125	0.041	$L_1$	正确
60	0.923	0.034	0.042	$L_1$	正确
90	0.985	0.002	0.005	$L_1$	正确

由图4可知,故障线路 $L_1$ 的衰减直流分量重构小波系数的幅值很大,比非故障线路特征明显得多.将比较衰减直流分量法与零序导纳法进行结合,在初始角度为 $0^\circ$ 时线路 $L_1$ 发生故障,此时得到的故障测度值见表2。

由表2可以看出,本文提出的方法对于系统小故障角接地时也能有效地选出故障线路,具有很高的灵敏度和可信度。

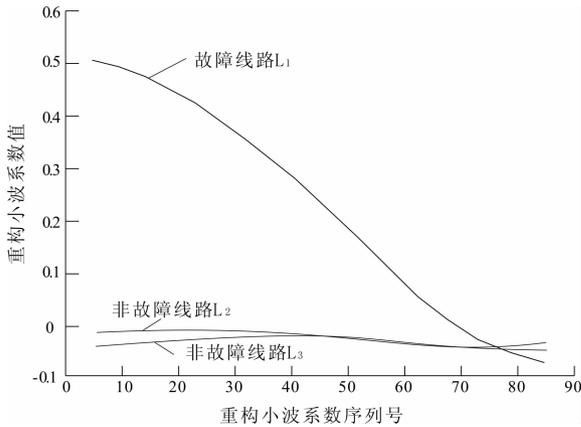
图4 线路 $L_1$ 发生接地故障时波形图

表2 综合算法下各线路的故障测度值及判断结果

故障初 相角/( $^{\circ}$ )	故障测度值			判定故 障线路	判定 结果
	$L_1$	$L_2$	$L_3$		
0	0.914	0.037	0.044	$L_1$	正确
30	0.932	0.103	0.021	$L_1$	正确
60	0.953	0.020	0.032	$L_1$	正确
90	0.985	0.001	0.002	$L_1$	正确

## 5 结论

本文根据故障线路的零序导纳在高次谐波条件下明显区别于非故障线路的零序导纳这一特点,并结合小波包的分频特性及小故障角接地时零序电流的特性,提出一种基于改进零序导纳的小电流接地选线新方法.理论分析及实验结果表明,该方法充分利用了故障线路的暂态信息,比传统的基于某一个或几个频率分量的选线方法具有更高的灵敏度;同时,在选线算法的构造方面,综合利用了故

障零序电流小波包重构系数的幅值与零序导纳极性的信息,进一步提高了选线灵敏度.此外,该方法能克服电磁干扰进行选线,具有较强的抗干扰能力,另外该方法不受补偿度、过度电阻、故障地点和故障角度的影响,计算简单,可靠.

## 参考文献:

- [1] 马珂,张保会.中性点非直接接地系统故障选线原理的发展与展望[J].继电器,2003,31(5):65.
- [2] 薛永端,冯祖仁,徐丙垠,等.基于暂态零序电流比较的小电流接地选线研究[J].电力系统自动化,2003,27(9):48.
- [3] 张艳霞,王清亮.应用故障暂态特性实现配电网故障选线的新方法[J].电力系统自动化,2009,33(16):76.
- [4] 程路,陈乔夫.小电流接地系统单相接地选线技术综述[J].电网技术,2009,33(18):219.
- [5] 邢亚辉,王海军,吕艳萍.基于线路零序频率特性的小电流接地系统故障选线[J].电力自动化设备,2006,26(4):59.
- [6] 唐秩,陈奎,陈庆,等.导纳互差之绝对值和的极大值法小电流接地选线研究[J].中国电机工程学报,2005,25(6):49.
- [7] 朱珂,徐文远.基于增益阻抗理论的故障选线方法[J].电力自动化设备,2007,27(11):19.
- [8] 薛永端,徐丙垠,冯祖仁,等.小电流接地故障暂态方向保护原理研究[J].中国电机工程学报,2003,23(7):51.
- [9] 戴剑锋,张艳霞.基于多频带分析的自适应配电网故障选线研究[J].中国电机工程学报,2003,23(5):44.
- [10] 张海申,何正友,张钧.谐振接地系统单相接地故障频谱特征分析[J].电力系统自动化,2012,36(6):79.

(上接第10页)

- [33] Anderson J L, Armstrong D W. Immobilized ionic liquids as high-selectivity/high-temperature/high-stability gas chromatography stationary phases[J]. Anal Chem, 2005, 77(19):6453.
- [34] Sheldrake G N, Schleck D. Dicationic molten salts (ionic liquids) as reusable media for the controlled pyrolysis of cellulose to anhydrosugars [J]. Green Chem, 2007, 9

(10):1044.

- [35] Liang J H, Ren X Q, Wang J T, et al. Preparation of biodiesel by transesterification from cottonseed oil using the basic dication ionic liquids as catalysts [J]. J Fuel Chem Techn, 2010, 38(3):275.
- [36] 赵振贵,李华,赵蕾.新型双核阳离子离子液体催化合成庚二酸二乙酯[J].精细石油化工,2011,28(2):72.