



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103018632 B

(45) 授权公告日 2015. 03. 04

(21) 申请号 201210527999. 6

(22) 申请日 2012. 12. 10

(73) 专利权人 江苏大学

地址 212013 江苏省镇江市京口区学府路  
301 号

(72) 发明人 蔡舒平 刘国海 董雪

(74) 专利代理机构 江苏致邦律师事务所 32230

代理人 樊文红

(51) Int. Cl.

G01R 31/08(2006. 01)

(56) 对比文件

JP H08110897 A, 1996. 04. 30,

CN 101101338 A, 2008. 01. 09,

G. D. Gonzalez 等. Fault Detection and

Isolation Using Concatenated Wavelet

Transform Variances and Discriminant

Analysis. 《TRANSACTIONS ON SIGNAL

PROCESSING》. 2006, 第 54 卷 (第 5 期),

徐永兵等. 基于向量小波变换及 Fisher 算法  
的红外弱小目标检测. 《红外技术》. 2004, 第 26  
卷 (第 1 期),

审查员 李晓玲

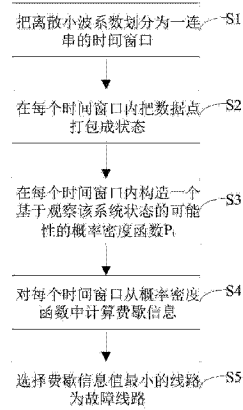
权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

基于费歇信息的小电流接地系统单相接地故障选线方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于费歇信息的小电流接地系统单相接地故障选线方法,包括:S1、把离散小波系数划分为一连串的时间窗口;S2、在每个时间窗口内把数据点打包成状态;S3、在每个时间窗口内构造一个基于观察该系统状态的可能性的概率密度函数 $p_i$ ;S4、对每个时间窗口从概率密度函数中计算费歇信息;S5、选择费歇信息值最小的线路为故障线路。本发明在不同的接地方式下,均能有效区分故障线路与非故障线路,并且不受电压初相角,接地电阻,故障位置的影响,能够准确定位故障时刻;在短数据、小幅值、存在干扰等不利条件下,能有效提取隐藏在信号序列中的特征信息,同时能定量表征各个信号序列的复杂程度,为非平稳信号序列的分析提供了有效手段。



1. 一种基于费歇信息的小电流接地系统单相接地故障选线方法,其特征在于,所述方法包括:

- S1、把离散小波系数划分为一连串的时间窗口;
- S2、在每个时间窗口内把数据点打包成状态;
- S3、在每个时间窗口内构造一个基于观察该系统状态的可能性的概率密度函数  $p_i$ ;
- S4、对每个时间窗口从概率密度函数中计算费歇信息;
- S5、选择费歇信息值最小的线路为故障线路。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述步骤 S1 前还包括:

信号预处理,把经实时采样得到的各线路零序电流信号进行小波分解以便去除噪声和分离故障特征。

3. 根据权利要求 2 所述的方法,其特征在于,所述零序电流信号经小波分解后,在第  $j$  分解尺度下  $k$  时刻的高频分量系数为  $cD_j(k)$ ,低频分量系数为  $cA_j(k)$ ,进行单支重构后得到的信号分量  $D_j(k)$ 、 $A_j(k)$  所包含信息的频带宽度范围则为

$$D_j(k) : [2^{-j}f_s, 2^{-(j-1)}f_s], A_j(k) : [0, 2^{-j}f_s], j = 1, 2, \dots, J,$$

其中  $f_s$  为信号的采样频率,  $J$  为最大分解尺度。

4. 根据权利要求 3 所述的方法,其特征在于,所述步骤 S1 具体为:

设在第  $j$  层上,多分辨分析的离散小波系数为  $D = \{d(k), k = 1, \dots, N\}$ ,在此层的小波系数上定义一滑动窗,窗宽为  $w \in N$ ,滑动因子为  $\delta \in N$ ,滑动窗为:

$$W(m, w, \delta) = \{d(k), k = 1+m*\delta, \dots, w+m*\delta\},$$

其中  $m = 1, 2, \dots, M$ ,  $M$  为窗口数且满足  $M = (N-w) / \delta$ 。

5. 根据权利要求 4 所述的方法,其特征在于,所述步骤 S2 具体为:

将滑动窗中所有元素划分成  $L$  个状态,则窗口中元素的总个数等于各个状态中元素个数之和,即  $Length(w) = \sum_{i=1}^L Length(Z_i)$ , 其中,  $Z_i = \{Z_i : |Z_i(x) - Z_i(y)| \leq 2*\sigma, x, y = 1, 2, \dots, w; x \neq y\}$ ,  $\sigma$  为线路正常时的小波系数  $D$  的标准差。

6. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述步骤 S4 中从概率密度函数中计算费歇信息的公式为:  $I \approx 4 \sum [q_i - q_{i+1}]^2$ ,  $q_i$ 、 $q_{i+1}$  为  $i$  和  $i+1$  处的概率密度平方根值,  $I$  为费歇信息。

## 基于费歇信息的小电流接地系统单相接地故障选线方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电力系统继电保护技术领域,尤其涉及一种基于费歇信息的小电流接地系统单相接地故障选线方法。

### 背景技术

[0002] 我国中低压配电网系统其中性点大部分采用非直接接地方式即小电流接地方式,其故障绝大多数为单相接地故障。发生单相接地故障时若未在规定时间内切除故障线路则会导致故障扩大成两点或多点接地短路,从而形成相间短路甚至引起系统过电压,进而损坏设备,破坏系统安全运行,所以必须尽快找到故障线路及故障点并予以切除;而故障选线是准确定位并排除配电网单相接地故障的重要前提。

[0003] 近年来国内外科研人员对此做了大量的工作,研究出了各种各样的故障选线方法,主要分成两大类:基于稳态分量的选线方法和基于暂态分量的选线方法。

[0004] 前者如:零序电流幅值比较法、零序电流方向法、零序电流有功分量法、负序电流法、零序导纳法、谐波法等。此类选线方法的优点是在带故障运行过程中稳态分量一直存在,具有容易提取的特点;缺点是稳态电流幅值小,易受到接地电阻、电弧和电流互感器不平衡电流的影响,其灵敏度低,所以选线的结果不如利用暂态分量选线准确率高。专利“基于零序电流有功分量的接地选线方法、装置及应用系统”(专利号:200910238392.4)即是一种基于稳态量的选线方法,其原理是根据线路存在对地电导以及消弧线圈存在电阻损耗,故障电流中含有有功分量,而且故障线路有功分量比非故障线路大且方向相反这一特点选出故障线路。其优点是不受消弧线圈的影响;但由于故障电流中有功分量非常小且受线路三相参数不平衡的影响,检测灵敏度低,选线的可靠性不高。注入信号法因其限于故障点永久接地,信号比较稳定的场合应用,因此也属于稳态选线法的一种。专利“通用小电流接地系统单相接地选线与定位装置”(专利号:93111309.1)和专利“一种小接地电流系统单相接地选线方法”(专利号200410024015.8)均属于此类方法,该方法的优点是不受消弧线圈的影响,不要求装设零序电流互感器(CT),并且用探测器沿故障线路探测还可以确定架空线路故障点的位置;其缺点是需要安装信号注入设备,此外信号注入能量受PT的限制,不能太高;在接地电阻较大时,非故障线路分布电容会对注入信号分流,干扰正确选线。对间歇性接地来说,注入的信号变化不连续,影响正确选线。与上述基于稳态量的选线方法相对照,小电流接地故障暂态电流幅值是稳态对地电容电流的几倍到几十倍,数值在数十A到数百A之间,并且不受消弧线圈的影响。

[0005] 利用暂态分量进行接地选线可以克服稳态选线法存在灵敏度低,受消弧线圈影响的缺点。专利“一种小电流接地系统接地选线的方法和装置”(专利号:200910081958.7)和专利“利用零模电流测后模拟的小电流接地系统故障选线方法”(专利号:200810058173.3)均是基于暂态分量的一种接地选线方法。然而暂态分量衰减速度快,提取难度大,若只利用暂态分量来进行故障选线,在暂态分量很少的情况下就会使得选线结果不准确。近年来基于现代信号处理的故障选线方法得到了较快的发展。专利“基于暂态零序电流的配电网单

相接地故障自适应选线方法”(专利号:200710059830.1)是一种基于小波变换的选线方法,其原理是利用小波分析接地故障暂态信号,根据暂态过程中谐波的相位相反和幅值最大等关系做出选线。此类方法的优点是利用了小波分析对奇异很敏感的特性而使得此类选线方法灵敏性较高;缺点是选线的结果易受干扰信号的影响。

[0006] 以上方法均是基于电流零序分量的各种参数(电流幅值的大小、相位、功率等)来给出选线的结果,然而当发生单相接地故障时,故障信号一般很微弱、故障特征不明显,这使得仅利用传统的电流幅值大小与相位相反等信息的常规方法难以取得令人满意的结果。更为关键的是在小电流接地故障发生后,带故障运行的1~2h内,故障信号不是一成不变的,有些时段信号反映了故障特征适于选线,有些时段信号受到干扰不利于选线,这也使得近年来基于现代信号处理技术的故障选线方法的实际应用效果还有待观察。所以有关小电流接地系统发生单相接地故障的故障线路可靠识别问题一直没有得到圆满的解决。

[0007] 从信息论的角度来看,小电流接地系统发生单相接地故障时其故障信号中包含了大量的故障信息,且故障线路信息远远要比非故障线路信息丰富。因此问题的关键是如何更好地利用好这些故障信息,为小电流接地系统故障选线问题寻找一些普遍适用的特征变量来表征故障线路。费歇信息常常作为一种度量生态系统可持续性的指标,它能敏锐捕捉并刻画系统发生突变的剧烈程度,受其启发把它应用于故障选线,按照发生单相接地故障时正常线路和故障线路突变程度的差异从中挑选出故障线路,以一种全新的思路来解决小电流接地系统单相接地故障的选线问题。

[0008] 有鉴于此,有必要提供一种基于费歇信息的小电流接地系统单相接地故障选线方法。

## 发明内容

[0009] 本发明提出了一种基于费歇信息的小电流接地系统单相接地故障选线方法,其有效地解决小电流接地系统单相接地故障的选线问题。

[0010] 为了实现上述目的,本发明实施例提供的技术方案如下:

[0011] 一种基于费歇信息的小电流接地系统单相接地故障选线方法,所述方法包括:

[0012] S1、把离散小波系数划分为一连串的时间窗口;

[0013] S2、在每个时间窗口内把数据点打包成状态;

[0014] S3、在每个时间窗口内构造一个基于观察该系统状态的可能性的概率密度函数  $P_i$ ;

[0015] S4、对每个时间窗口从概率密度函数中计算费歇信息;

[0016] S5、选择费歇信息值最小的线路为故障线路。

[0017] 作为本发明的进一步改进,所述步骤 S1 前还包括:

[0018] 信号预处理,把经实时采样得到的各线路零序电流信号进行小波分解以便去除噪声和分离故障特征。

[0019] 作为本发明的进一步改进,所述零序电流信号经小波变换后,在第  $j$  分解尺度下  $k$  时刻的高频分量系数为  $cD_j(k)$ ,低频分量系数为  $cA_j(k)$ ,进行单支重构后得到的信号分量  $D_j(k)$ 、 $A_j(k)$  所包含信息的频带宽度范围则为

[0020]  $D_j(k) : [2^{-j}f_s, 2^{-(j-1)}f_s]$ ,  $A_j(k) : [0, 2^{-j}f_s]$ ,  $j=1, 2, \dots, J$ ,

[0021] 其中  $f_s$  为信号的采样频率,  $J$  为最大分解尺度。

[0022] 作为本发明的进一步改进,所述步骤 S1 具体为:

[0023] 设在第  $j$  层上,多分辨分析的离散小波系数为  $D = \{d(k), k=1, \dots, N\}$ ,在此层的小波系数上定义一滑动窗,窗宽为  $w \in N$ ,滑动因子为  $\delta \in N$ ,滑动窗为:

[0024]  $W(m, w, \delta) = \{d(k), k=1+m*\delta, \dots, w+m*\delta\}$ ,

[0025] 其中  $m=1, 2, \dots, M$ ,  $M$  为窗口数且满足  $M=(N-w)/\delta$ 。

[0026] 作为本发明的进一步改进,所述步骤 S2 具体为:

[0027] 将滑动窗中所有元素划分成  $L$  个状态,则窗口中元素的总个数等于各个状态中元素个数之和,即  $Length(w) = \sum_{i=1}^L Length(Z_i)$  其中,  $Z_i = \{Z_i : |Z_i(i) - Z_i(j)| \leq 2*\sigma, i, j = 1, 2, \dots$

$w; i \neq j\}$ ,  $\sigma$  为线路正常时的小波系数  $D$  的标准差。

[0028] 作为本发明的进一步改进,所述步骤 S4 中从概率密度函数中计算费歇信息的公式为:  $I \approx 4 \sum [q_i - q_{i+1}]^2$ ,  $q_i, q_{i+1}$  为  $i$  和  $i+1$  处的概率密度的平方根值,  $I$  为费歇信息。

[0029] 本发明用一个无量纲的非负的正数作为单一判据实现了小电流接地系统单相接地故障的选线问题。具有以下有益效果:

[0030] 在不同的接地方式下,均能有效区分故障线路与非故障线路,并且不受电压初相角,接地电阻,故障位置的影响,能够准确定位故障时刻;

[0031] 在短数据、小幅值、存在干扰等不利条件下,能有效提取隐藏在信号序列中的特征信息,同时能定量表征各个信号序列的复杂程度,为非平稳信号序列的分析提供了有效手段。

## 附图说明

[0032] 图 1 为本发明基于费歇信息的小电流接地系统单相接地故障选线方法的流程图示意图;

[0033] 图 2 为本发明实施例一中线路 L1 在距离母线 10km 处发生单相接地故障,故障发生时刻为 0.02s,接地电阻 200  $\Omega$ ,电压初相角为  $0^\circ$  时各条线路的零序电流波形 I01、I02、I03 示意图;

[0034] 图 3 为图 2 中故障线路 L1 和正常线路 L2、L3 的 FI 值示意图;

[0035] 图 4 为本发明实施例一中线路 L1 在距离母线 20km 处发生单相接地故障,故障发生时刻为 0.02s,故障电阻 20  $\Omega$ ,电压初相角为  $180^\circ$  时各条线路的零序电流波形 I01、I02、I03 示意图;

[0036] 图 5 为图 4 中故障线路 L1 和正常线路 L2、L3 的 FI 值示意图。

## 具体实施方式

[0037] 以下将结合附图所示的各实施方式对本发明进行详细描述。但这些实施方式并不限制本发明,本领域的普通技术人员根据这些实施方式所做出的结构、方法、或功能上的变换均包含在本发明的保护范围内。

[0038] 参图 1 所示,本发明的一种基于费歇 (fisher) 信息的小电流接地系统单相接地故障选线方法,包括:

[0039] S1、把离散小波系数划分为一连串的时间窗口；  
 [0040] S2、在每个时间窗口内把数据点打包成状态；  
 [0041] S3、在每个时间窗口内构造一个基于观察该系统状态的可能性的概率密度函数  $P_i$ ；

[0042] S4、对每个时间窗口从概率密度函数中计算费歇信息；

[0043] S5、选择费歇信息值最小的线路为故障线路。

[0044] 进一步地，步骤 S1 前还包括信号预处理，把经实时采样得到的各线路零序电流信号进行小波分解以便去除噪声和分离故障特征。

[0045] 设零序电流信号  $x(n)$  经小波变换后，在第  $j$  分解尺度下  $k$  时刻的高频分量系数为  $cD_j(k)$ ，低频分量系数为  $cA_j(k)$ ，进行单支重构后得到的信号分量  $D_j(k)$ 、 $A_j(k)$  所包含信息的频带宽度范围则为

[0046]  $D_j(k) : [2^{-j}f_s, 2^{-(j-1)}f_s]$ ， $A_j(k) : [0, 2^{-j}f_s]$ ， $j=1, 2, \dots, J$ ，

[0047] 其中  $f_s$  为信号的采样频率， $J$  为最大分解尺度。本实施方式中  $f_s$  取 20kHz，选用 db5 基小波，对数据进行 5 层小波分解，即  $J$  取 5。

[0048] 步骤 S1 具体为：

[0049] 设在第  $j$  层上，多分辨分析的离散小波系数为  $D=\{d(k), k=1, \dots, N\}$ ，在此层的小波系数上定义一滑动窗，窗宽为  $w \in N$ ，滑动因子为  $\delta \in N$ ，得滑动窗如下：

[0050]  $W(m, w, \delta) = \{d(k), k=1+m*\delta, \dots, w+m*\delta\}$ ，

[0051] 其中  $m=1, 2, \dots, M$ ， $M$  为窗口数且满足  $M=(N-w)/\delta$ 。

[0052] 步骤 S2 具体为：

[0053] 假设滑动窗中所有元素可以划分成  $L$  个状态，则

[0054]  $Length(w) = \sum_{i=1}^L Length(Z_i)$ ，

[0055] 其中， $Z_1 = \{Z_1 : |Z_1(i) - Z_1(j)| \leq 2*\sigma, i, j = 1, 2, \dots, w; i \neq j\}$ 。

[0056] 上式表明窗口中元素的总个数等于各个状态中元素个数之和。其中  $\sigma$  为线路正常时的小波系数  $D$  的标准差，按照切比雪夫 (Chebyshev) 定理，上述划分的原则可以保证该窗口中 89 % 的数据点处于同一个状态而不管其概率分布形式如何。

[0057] 在步骤 S4 中从概率密度函数中计算费歇信息的公式为： $I \approx 4 \sum [q_i - q_{i+1}]^2$ ， $q_i$ 、 $q_{i+1}$  为  $i$  和  $i+1$  处的概率密度的平方根值， $I$  为费歇信息。

[0058] 费歇信息计算公式由以下步骤得出：

[0059] 一个变量单次测量的费歇信息  $I$  计算如下：

[0060]  $I = \int \frac{ds}{P(s)} \left( \frac{dP(s)}{ds} \right)^2$ ，

[0061] 其中， $P(s)$  为概率密度函数 (PDF)， $s$  是一个状态变量；

[0062] 令  $q^2(s) = P(s)$ ，于是上式变为：

[0063]  $I = 4 \int ds \left[ \frac{dq(s)}{ds} \right]^2$ ；

[0064] 用差分来代替上式中的微分，用求和来代替上式中的积分即可得到费歇信息的近似计算公式：

[0065]  $I \approx 4 \sum [q_i - q_{i+1}]^2$ 。

[0066] 以下结合具体实施方式对本发明作进一步说明。

[0067] 实例一：中性点不接地系统单相接地故障选线实例。

[0068] 设 35kv/10kv 中性点不接地系统的 3 条出线为 L1、L2 和 L3，线路正序参数为  $R_1=0.484 \Omega / km, L_1=0.3454 mH / km, C_1=0.0345 \mu F / km$ ，零序参数  $R_0=1.16 \Omega / km, L_0=1.10362 mH / km, C_0=0.0219 \mu F / km$ ，其它参数同上。

[0069] 图 2 所示为线路 L1 在距离母线 10km 处发生单相接地故障，故障发生时刻为 0.02s，接地电阻 200  $\Omega$ ，电压初相角为 0° 时各条线路的零序电流波形 I01、I02、I03；图 3 所示为对各线路零序电流信号按上述方法计算得到的 FI 值（即费歇信息值）。

[0070] 图 4 所示为线路 L1 在距离母线 20km 处发生单相接地故障，故障电阻 20  $\Omega$ ，电压初相角为 180° 时三条线路的零序电流波形 I01、I02、I03；图 5 为三条线路计算得到的 FI 值。

[0071] 实例二：中性点经消弧线圈接地系统单相接地故障选线实例。

[0072] 表 1 列出了中性点经消弧线圈接地系统不同故障条件下的选线结果，经消弧线圈接地时采用过补偿方式，补偿度为 8%，其它参数同上。

[0073] 表 1：中性点经消弧线圈接地系统选线结果

故障类型	电压初相角(°)	故障位置(km)	接地电阻( $\Omega$ )	线路	FI 值	选线结果
L1 故障	0	15	1	L1	1.647	L1
				L2	2.3839	
				L3	2.2948	
L1 故障	45	30	30	L1	1.2102	L1
				L2	2.3969	
				L3	2.1153	
L2 故障	60	20	150	L1	2.2948	L2
				L2	1.5308	
				L3	2.3029	
L3 故障	90	25	400	L1	1.9618	L3
				L2	1.9618	
				L3	1.1938	

[0074] 由以上实施方式可以看出，本发明用一个无量纲的非负的正数作为单一判据实现了小电流接地系统单相接地故障的选线问题。与现有技术相比，具有以下优点：

[0076] 在不同的接地方式下，均能有效区分故障线路与非故障线路，并且不受电压初相角，接地电阻，故障位置的影响，能够准确定位故障时刻；

[0077] 在短数据、小幅值、存在干扰等不利条件下，能有效提取隐藏在信号序列中的特征信息，同时能定量表征各个信号序列的复杂程度，为非平稳信号序列的分析提供了有效手段。

[0078] 应当理解，虽然本说明书按照实施方式加以描述，但并非每个实施方式仅包含一个独立的技术方案，说明书的这种叙述方式仅仅是为清楚起见，本领域技术人员应当将说明书作为一个整体，各实施方式中的技术方案也可以经适当组合，形成本领域技术人员可以理解的其他实施方式。

[0079] 上文所列出的一系列的详细说明仅仅是针对本发明的可行性实施方式的具体说明,它们并非用以限制本发明的保护范围,凡未脱离本发明技艺精神所作的等效实施方式或变更均应包含在本发明的保护范围之内。



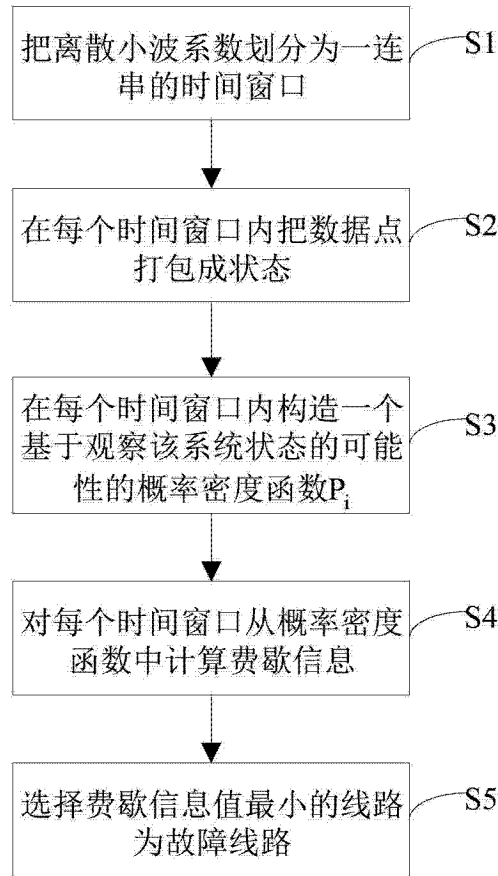


图 1

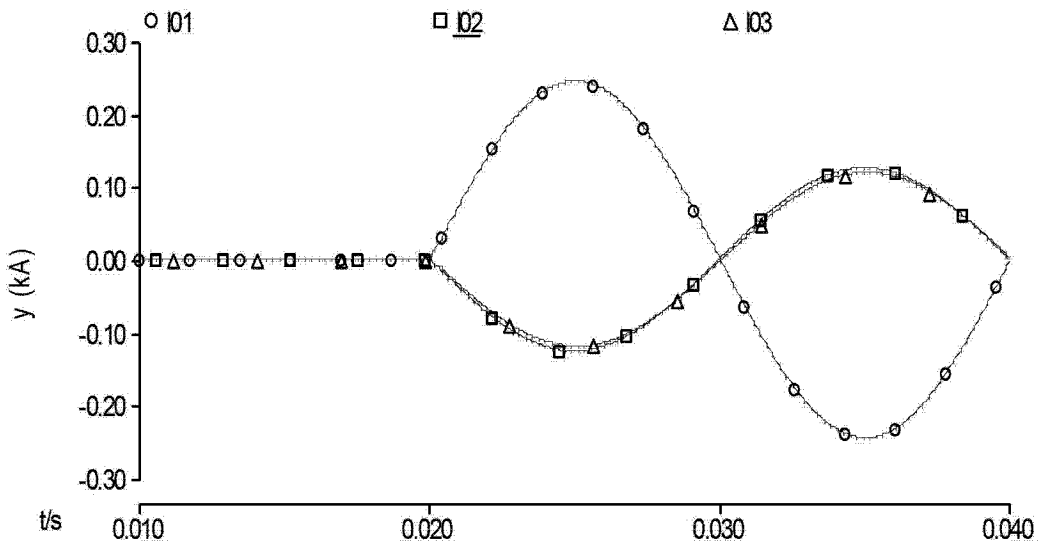


图 2

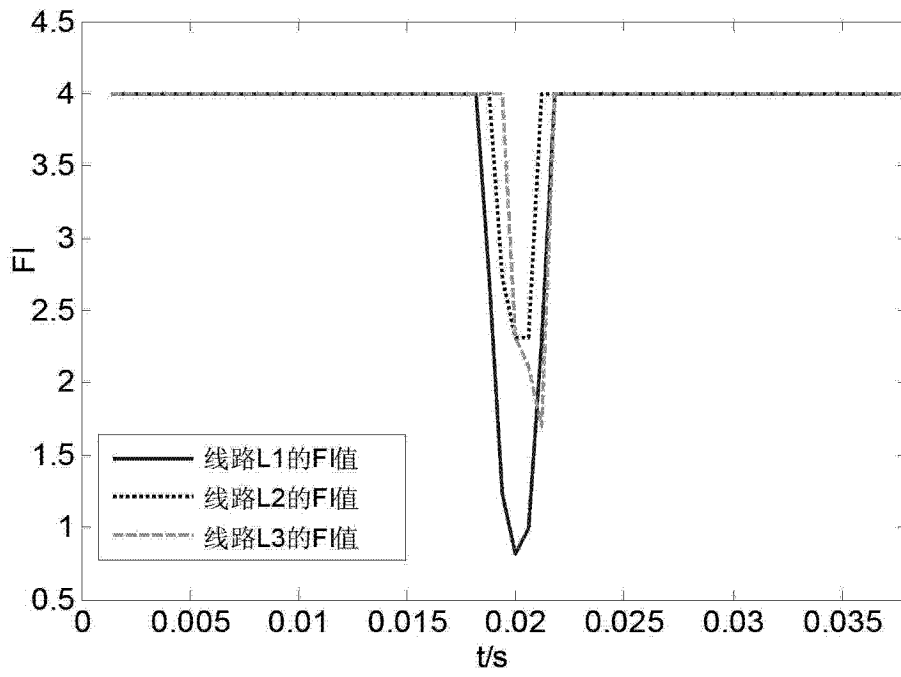


图 3

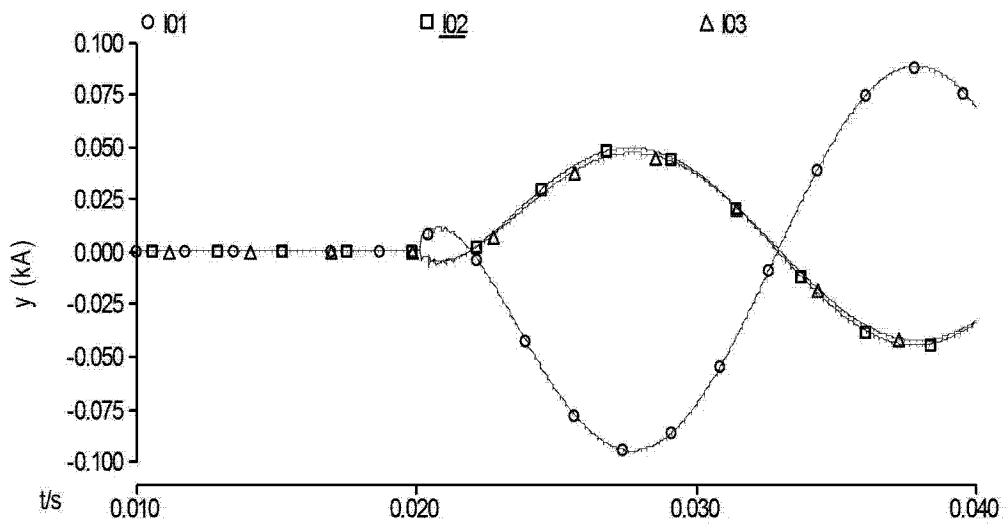


图 4

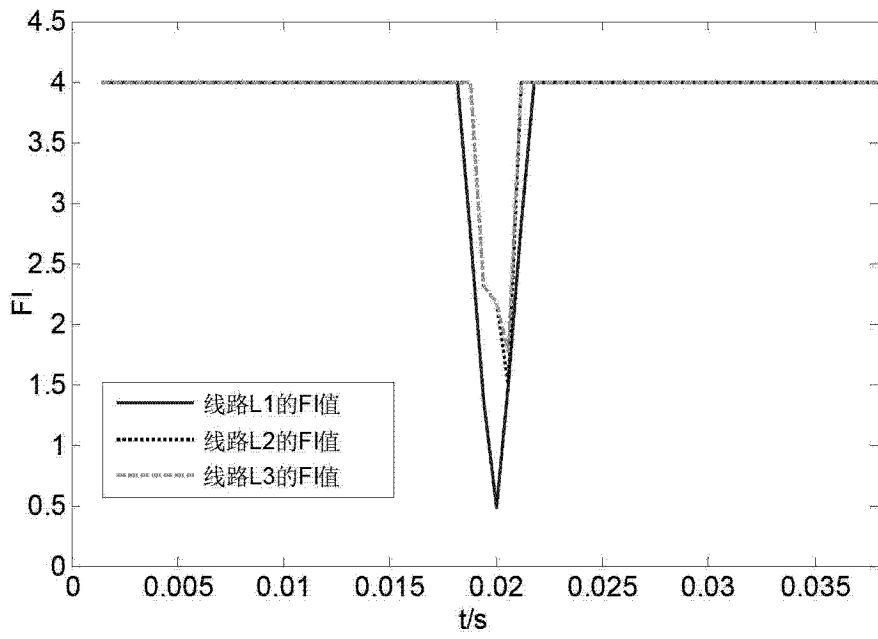


图 5