



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108828301 A

(43)申请公布日 2018. 11. 16

(21)申请号 201810188014.9

(22)申请日 2018.03.07

(71)申请人 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 李天博 顾勇 陈坤华 陈武晖 黄永红

(51) Int. Cl.

G01R 19/165(2006.01)

G01R 25/00(2006.01)

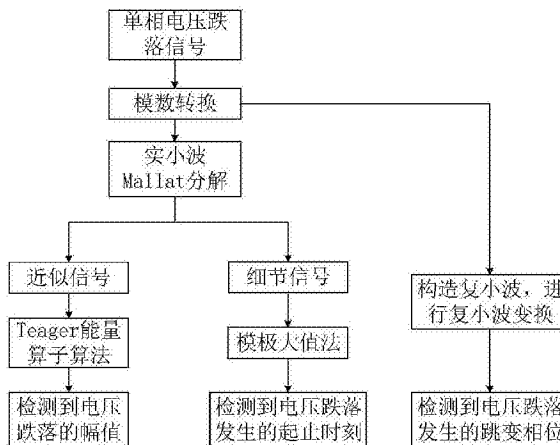
权利要求书2页 说明书7页 附图1页

(54)发明名称

一种基于复小波变换与Teager能量算子的电压跌落检测方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于复小波变换与Teager能量算子的电压跌落检测方法,获取配电网中的原始单相电压跌落信号,对原始单相电压跌落信号进行模数转换,将模拟信号转换为数字信号;选取合适的实小波,对获得的数字信号采用实小波Mallat分解,获得电压跌落信号的近似信号与细节信号。对获得的近似信号采用Teager能量算子进行电压跌落幅值的检测;对获得的细节信号采用模板大值法检测电压跌落发生的起止时刻,构造出该实小波的复小波,对电压跌落信号进行复小波变换,检测出电压跌落信号发生的跳变相位。针对传统小波变换无法检测电压跌落的相位信息以及对幅值检测的不足,本发明能实现对电压跌落准确、实时、完整的检测,为电压跌落的有效补偿提供依据。



1. 一种基于复小波变换与Teager能量算子的电压跌落检测方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1,获取配电网中的原始单相电压跌落信号,对原始单相电压跌落信号进行模数转换,将模拟信号转换为数字信号;

步骤2,选取合适的实小波,对获得的数字信号采用实小波Mallat分解,获得电压跌落信号的近似信号与细节信号;

步骤3,对获得的近似信号采用Teager能量算子进行电压跌落幅值的检测;对获得的细节信号采用模极大值法检测电压跌落发生的起止时刻;

步骤4,构造出该实小波的复小波,对电压跌落信号进行复小波变换,检测出电压跌落信号发生的跳变相位。

2. 根据权利要求1所述的一种基于复小波变换与Teager能量算子的电压跌落检测方法,其特征在于,所述步骤1中对原始单相电压跌落信号进行的模数转换,包括对原始单相电压跌落信号进行采样、离散化处理。

3. 根据权利要求1所述的一种基于复小波变换与Teager能量算子的电压跌落检测方法,其特征在于,所述步骤3中Teager能量算子进行电压跌落幅值的检测步骤包括:

步骤3.1,选取离散化处理后的三个相邻单相电压跌落信号点 $x_n$ 、 $x_{n+1}$ 和 $x_{n-1}$ 追踪该信号的能量曲线,

步骤3.2,根据能量曲线,构造Teager能量算子 $\psi(\cdot)$ :

$$\psi(x_n) \triangleq E_n = x_n^2 - x_{n+1}x_{n-1} = A^2 \sin^2(\Omega) \approx A^2 \Omega^2;$$

其中, $\psi(x_n) \triangleq E_n$ 表示该信号在 $n$ 处的能量, $\Omega$ 是数字角频率,表示每个采样点之间的弧度; $\phi$ 为信号的初相角; $A$ 表示信号的峰值,为有效值的 $\sqrt{2}$ 倍;

步骤3.3,构造差分信号,得出单相电压跌落信号跌落幅值。

4. 根据权利要求3所述的一种基于复小波变换与Teager能量算子的电压跌落检测方法,其特征在于,所述步骤3.3中构造差分信号,得出单相电压跌落信号跌落幅值的具体方法为:

设单相电压跌落信号点 $x_n = A \cos(\Omega n + \phi)$ 以及它的两个相邻采样点 $x_{n+1}$ 和 $x_{n-1}$ 构成对称差分信号:

$$s_n = [(x_{n+1} - x_n) + (x_n - x_{n-1})] / 2 = [x_{n+1} - x_{n-1}] / 2 = -A \sin \Omega \sin(\Omega n + \phi);$$

得出差分信号 $s_n$ 的能量算子为:

$$\psi(s_n) = A^2 \sin^4 \Omega;$$

得出:

$$\sin^2 \Omega = \frac{1 - \cos(2\Omega)}{2} = \frac{\psi(s_n)}{\psi(x_n)};$$

$$A^2 = \frac{\psi^2(x_n)}{\psi(s_n)};$$

得到电压跌落信号的频率和电压跌落的幅值如下:

$$\Omega = \frac{1}{2} \arccos \left[ 1 - \frac{2\psi(s_n)}{\psi(x_n)} \right],$$

$$|A| = \frac{\psi(x_n)}{\sqrt{\psi(s_n)}}.$$

5. 根据权利要求1所述的一种基于复小波变换与Teager能量算子的电压跌落检测方法,其特征在于,所述步骤4中对电压跌落信号进行复小波变换的方法为:

步骤4.1,根据实小波变换理论,得出实小波变换的小波系数 $dI_j^{\text{Re}}(n)$ 、尺度系数 $cI_j^{\text{Re}}(n)$ 、虚部小波系数 $dI_j^{\text{Im}}(n)$ 与虚部尺度系数 $cI_j^{\text{Im}}(n)$ :

$$\begin{cases} dI_j^{\text{Re}}(n) = 2^{j/2} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \psi_h(2^j t - n) dt \\ cI_j^{\text{Re}}(n) = 2^{j/2} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \varphi_h(2^j t - n) dt \end{cases}, j = 1, 2, \dots, J$$

$$\begin{cases} dI_j^{\text{Im}}(n) = 2^{j/2} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \psi_g(2^j t - n) dt \\ cI_j^{\text{Im}}(n) = 2^{j/2} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \varphi_g(2^j t - n) dt \end{cases}, j = 1, 2, \dots, J$$

其中,  $x(t)$  为电压跌落信号;  $\psi_h(2^j t - n)$  为所选小波的实部;  $\varphi_h(2^j t - n)$  为所选尺度函数的实部;  $\psi_g(2^j t - n)$  为所选小波的虚部;  $\varphi_g(2^j t - n)$  为所选尺度函数的虚部;

步骤4.2,得出复小波变换的小波系数 $d_j^{\psi}(n)$ 与尺度系数 $c_j^{\psi}(n)$ :

$$\begin{cases} d_j^{\psi}(n) = dI_j^{\text{Re}}(n) + i dI_j^{\text{Im}}(n) \\ c_j^{\psi}(n) = cI_j^{\text{Re}}(n) + i cI_j^{\text{Im}}(n) \end{cases}, j = 1, 2, \dots, J$$

步骤4.3,经复小波变换后获得电压跌落信号 $x(t)$ 的尺度函数复系数为 $WT_c$ ,

$$WT_c = WT_{\text{Re}} + i WT_{\text{Im}},$$

其中, $WT_{\text{Re}}$ 为尺度函数的实部, $WT_{\text{Im}}$ 为尺度函数的虚部。

6. 根据权利要求5所述的一种基于复小波变换与Teager能量算子的电压跌落检测方法,其特征在于,所述步骤4.3经复小波变换后的系数幅值和相位分别为:

$$WT_M = \sqrt{WT_{\text{Re}}^2 + WT_{\text{Im}}^2}$$

$$WT_{\text{PH}} = \arctan(WT_{\text{Im}}/WT_{\text{Re}}).$$

## 一种基于复小波变换与Teager能量算子的电压跌落检测方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电能质量检测领域,尤其涉及一种基于复小波变换与Teager能量算子的电压跌落检测方法。

### 背景技术

[0002] 随着时代的进步,电能在社会生产和人们的日常生活中发挥的作用越来越大。随着多元化负荷的不断使用,由非线性负载引起的电能质量问题不断增多;与此同时,随着新兴电子设备的不断出现,人们对电能质量的要求不断提高,高质量的电能已经成为时代的需求。而电压跌落是电力系统中发生最为频繁的电能质量问题,它会对工厂等用电单位造成巨大的经济损失,那么需要对其进行有效的补偿,如采用动态电压恢复器进行对电压跌落的补偿。对电压跌落进行补偿的前提是实时有效地检测到它的特征量,而电压跌落有三个特征量:跌落幅值、持续时间、跳变相位;对这三个特征量准确、实时、完整的检测十分有必要。

[0003] 小波变换的时频窗口具有自适应性,时频局部分析特性好,有效克服短时傅里叶变换在瞬态信号检测方面的不足,能够准确检测电压跌落等短时电能质量扰动信号的特征值,在电能质量检测中得到广泛应用。

[0004] 小波变换通过信号的奇异点来准确定位电压跌落发生的起止时刻,但是当电压跌落发生在过零点附近时,信号奇异性小,几乎无幅值突变,难以通过小波变换有效检测幅值变化;并且而常用的实小波变换只能提供信号的幅频特性,不能充分利用信号的相位信息,影响检测信号信息的完整性。

[0005] 电工技术学报第26卷第5期的期刊《结合小波变换和能量算子的电压暂降检测方法》提出将小波变换与能量算子结合的检测方法,能够有效检测电压跌落的跌落幅值与发生的起止时刻,但只能检测电压跌落的两个特征量。

### 发明内容

[0006] 本发明针对传统小波变换无法检测电压跌落的相位信息以及对幅值检测的不足,提出一种基于复小波变换与Teager能量算子的电压跌落检测方法。

[0007] 本发明采用的技术方案如下:

[0008] 包括以下步骤:

[0009] 步骤1,获取配电网中的原始单相电压跌落信号,对原始单相电压跌落信号进行模数转换,包括对原始单相电压跌落信号进行采样、离散化处理,将模拟信号转换为数字信号;

[0010] 步骤2,选取合适的实小波,对获得的数字信号采用实小波Mallat分解,获得电压跌落信号的近似信号(低频分量)与细节信号(高频分量);

[0011] 步骤3,对获得的近似信号采用Teager能量算子进行电压跌落幅值的检测;对获得的细节信号采用模极大值法检测电压跌落发生的起止时刻;

[0012] 步骤4,构造出该实小波的复小波,对电压跌落信号进行复小波变换,检测出电压跌落信号发生的跳变相位。

[0013] 进一步,所述步骤3中Teager能量算子进行电压跌落幅值的检测步骤包括:

[0014] 步骤3.1,选取离散化处理后的三个相邻单相电压跌落信号点 $x_n$ 、 $x_{n+1}$ 和 $x_{n-1}$ 追踪该信号的能量曲线,

[0015] 步骤3.2,根据能量曲线,构造Teager能量算子 $\psi(\cdot)$ :

$$[0016] \quad \psi(x_n) \triangleq E_n = x_n^2 - x_{n+1}x_{n-1} = A^2 \sin^2(\Omega) \approx A^2 \Omega^2 \quad (1);$$

[0017] 步骤3.3,构造差分信号,得出单相电压跌落信号跌落幅值;具体方法为:

[0018] 设单相电压跌落信号点 $x_n = A \cos(\Omega n + \phi)$ 以及它的两个相邻采样点 $x_{n+1}$ 和 $x_{n-1}$ 构成对称差分信号:

$$[0019] \quad s_n = [(x_{n+1} - x_n) + (x_n - x_{n-1})] / 2 = [x_{n+1} - x_{n-1}] / 2 = -A \sin \Omega \sin(\Omega n + \phi) \quad (2);$$

[0020] 得出差分信号 $s_n$ 的能量算子为:

$$[0021] \quad \psi(s_n) = A^2 \sin^4 \Omega \quad (3);$$

[0022] 由式(1)和式(3)得:

$$[0023] \quad \sin^2 \Omega = \frac{1 - \cos(2\Omega)}{2} = \frac{\psi(s_n)}{\psi(x_n)} \quad (4);$$

$$[0024] \quad A^2 = \frac{\psi^2(x_n)}{\psi(s_n)} \quad (5);$$

[0025] 得到信号的频率和电压跌落的幅值如下:

$$[0026] \quad \Omega = \frac{1}{2} \arccos \left[ 1 - \frac{2\psi(s_n)}{\psi(x_n)} \right] \quad (6);$$

$$[0027] \quad |A| = \frac{\psi(x_n)}{\sqrt{\psi(s_n)}} \quad (7);$$

[0028] 其中, $\psi(x_n) \triangleq E_n$ 表示该信号在 $n$ 处的能量; $\Omega$ 是数字角频率,表示每个采样点之间的弧度; $\phi$ 为信号的初相角; $A$ 表示信号的峰值,为有效值的 $\sqrt{2}$ 倍。

[0029] 进一步,所述步骤3中采用模极大值法检测电压跌落发生的起止时刻的具体方法为:

[0030] 将小波变换后得到的小波系数 $dI_j^{\text{Re}}(n)$ 逐一进行比较,比较后,大的小波系数保持原值,小的将相应位置的小波系数置0,逐一比较后即得到了一个极大值,从而得到电压跌落信号开始与结束位置的非0值的小波系数,即定位了电压跌落发生的起止时刻。

[0031] 进一步,所述步骤4中对电压跌落信号进行复小波变换的方法为:

[0032] 步骤4.1,根据实小波变换理论,得出实小波变换的小波系数 $dI_j^{\text{Re}}(n)$ 、尺度系数 $cI_j^{\text{Re}}(n)$ 、虚部小波系数 $dI_j^{\text{Im}}(n)$ 与虚部尺度系数 $cI_j^{\text{Im}}(n)$ :

$$[0033] \begin{cases} dI_j^{\text{Re}}(n) = 2^{j/2} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \psi_h(2^j t - n) dt \\ cI_j^{\text{Re}}(n) = 2^{j/2} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \varphi_h(2^j t - n) dt \end{cases}, j=1, 2, \dots, J \quad (8);$$

$$[0034] \begin{cases} dI_j^{\text{Im}}(n) = 2^{j/2} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \psi_g(2^j t - n) dt \\ cI_j^{\text{Im}}(n) = 2^{j/2} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \varphi_g(2^j t - n) dt \end{cases}, j=1, 2, \dots, J \quad (9);$$

[0035] 其中,  $x(t)$  为电压跌落信号;  $\psi_h(2^j t - n)$  为所选小波的实部;  $\varphi_h(2^j t - n)$  为所选尺度函数的实部;  $\psi_g(2^j t - n)$  为所选小波的虚部;  $\varphi_g(2^j t - n)$  为所选尺度函数的虚部;  $j$  为正整数;

[0036] 步骤4.2, 得出复小波变换的小波系数  $d_j^w(n)$  与尺度系数  $c_j^o(n)$ ;

$$[0037] \begin{cases} d_j^w(n) = dI_j^{\text{Re}}(n) + idI_j^{\text{Im}}(n) \\ c_j^o(n) = cI_j^{\text{Re}}(n) + icI_j^{\text{Im}}(n) \end{cases}, j=1, 2, \dots, J \quad (10);$$

[0038] 步骤4.3, 经复小波变换后获得电压跌落信号  $x(t)$  的尺度函数复系数为  $WT_c$ ,

$$[0039] WT_c = WT_{\text{Re}} + iWT_{\text{Im}} \quad (11);$$

[0040] 其中,  $WT_{\text{Re}}$  为尺度函数的实部,  $WT_{\text{Im}}$  为尺度函数的虚部。

[0041] 经复小波变换后的系数幅值和相位分别为:

$$[0042] WT_M = \sqrt{WT_{\text{Re}}^2 + WT_{\text{Im}}^2}$$

$$[0043] WT_{\text{PH}} = \arctan(WT_{\text{Im}}/WT_{\text{Re}}) \quad (12);$$

[0044] 其中复小波变换算法用于检测电压跌落发生的跳变相位, Teager 能量算子算法用于检测电压的跌落幅值, 从而实现了对电压跌落特征量准确、实时、完整的检测。

[0045] 本发明的有益效果:

[0046] 1. 本发明所提的 Teager 能量算子利用离散信号的两个相邻点  $x_n$ 、 $x_{n+1}$  和  $x_{n-1}$  可以追踪该信号的能量曲线。因此, 它对于信号的瞬时变化具有良好的时间分辨率, 能够更快地检测电压跌落信号中的幅值跌落。

[0047] 2. 本发明所提的小波变换兼具高频滤波效果, 减弱或去掉暂降扰动信号中的高频成分, 从而提高 Teager 能量算子检测跌落幅值的抗干扰性和计算精度。

[0048] 3. 本发明所提的复小波变换, 在变换后系数的实部反映了被分析信号在复小波的实部空间里的实小波变换后的幅值信息; 其虚部反映了被分析信号在复小波的虚部空间里的实小波变换后的幅值信息; 而变换后系数的实部与虚部的关系, 即系数的相位唯一地反映了电压跌落信号的跳变相位, 因此可以更全面详细地分析电压跌落信号的细微特征信息。

[0049] 4. 本发明针对电压跌落的补偿而言, 由于传统幅值检测算法通常采样一个周期数据, 需要用到历史数据, 检测存在延时现象, 而小波变换对奇异信号十分敏感, 因此能够更快的检测出电压跌落的起止时刻; 将复小波变换与 teager 能量算子幅值检测算法结合, 在复小波变换检测到电压跌落发生时, 随即用动态电压恢复器给予一定小额度的补偿电压,

大大提高了补偿电压的响应速度。

### 附图说明

[0050] 图1为电压跌落检测方法的主要流程；

[0051] 图2为一种基于复小波变换与Teager能量算子的电压跌落检测方法的系统框图。

### 具体实施方式

[0052] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅用于解释本发明，并不用于限定本发明。

[0053] 如图1所示，本发明的提出的一种基于复小波变换与Teager能量算子的电压跌落检测方法，采用以下技术方案：

[0054] 步骤1，获取配电网中的原始单相电压跌落信号，对原始单相电压跌落信号进行模数转换，包括对原始单相电压跌落信号进行采样、离散化处理，将模拟信号转换为数字信号；

[0055] 步骤2，选取合适的实小波，对获得的数字信号采用实小波Mallat分解，获得电压跌落信号的近似信号（低频分量）与细节信号（高频分量）；

[0056] 步骤3，对获得的近似信号采用Teager能量算子进行电压跌落幅值的检测；对获得的细节信号采用模极大值法检测电压跌落发生的起止时刻；具体步骤为：

[0057] 步骤3.1，选取离散化处理后的三个相邻单相电压跌落信号点 $x_n$ 、 $x_{n+1}$ 和 $x_{n-1}$ 追踪该信号的能量曲线，

[0058] Teager能量算子(TEO)对于振荡系统 $x(t) = A\cos(\omega t + \phi)$ ，其能量与角频率和信号峰值成相关，即

$$[0059] \quad E \propto \omega^2 A^2 \quad (1);$$

[0060] 对振荡信号 $x(t)$ 采样，得到离散信号点：

$$[0061] \quad x_n = A \cos(\Omega n + \phi) \quad (2);$$

[0062] (2)式中， $\Omega = 2\pi f_0 / f_s$ 为数字角频率， $f_0$ 为基频， $f_s$ 为采样频率； $\phi$ 为任意初相角；

[0063] 离散信号上三个相邻点构成方程组：

$$[0064] \quad \begin{cases} x_n = A \cos(\Omega n + \phi) \\ x_{n+1} = A \cos[(n+1)\Omega + \phi] \\ x_{n-1} = A \cos[(n-1)\Omega + \phi] \end{cases} \quad (3);$$

[0065] 应用三角恒等式解以上方程组，得：

$$[0066] \quad A^2 \sin^2 \Omega = x_n^2 - x_{n+1} x_{n-1} \quad (4);$$

[0067] 当 $\Omega$ 限制在 $\Omega < \pi/4 = 0.7845$ ，即 $f_0/f_s < 1/8$ 时， $\sin \Omega$ 与 $\Omega$ 两者的相对误差小于11%，可以近似有 $\sin \Omega \approx \Omega$ ，此时，可等价于：

$$[0068] \quad A^2 \Omega^2 \approx x_n^2 - x_{n+1} x_{n-1} \quad (5);$$

[0069] 步骤3.2，根据能量曲线，构造Teager能量算子 $\psi(\cdot)$ ：

$$[0070] \quad \psi(x_n) \triangleq E_n = x_n^2 - x_{n+1} x_{n-1} = A^2 \sin^2(\Omega) \approx A^2 \Omega^2 \quad (6);$$

[0071] 步骤3.3,构造差分信号,得出单相电压跌落信号跌落幅值;具体方法为:

[0072] 设单相电压跌落信号点 $x_n=A \cos(\Omega n+\phi)$ 以及它的两个相邻采样点 $x_{n+1}$ 和 $x_{n-1}$ 构成对称差分信号:

$$[0073] \quad s_n = [(x_{n+1}-x_n) + (x_n-x_{n-1})]/2 = [x_{n+1}-x_{n-1}]/2 = -A \sin \Omega \sin(\Omega n + \phi) \quad (7);$$

[0074] 得出差分信号 $s_n$ 的能量算子为:

$$[0075] \quad \psi(s_n) = A^2 \sin^4 \Omega \quad (8);$$

[0076] 由式(7)和式(8)得:

$$[0077] \quad \sin^2 \Omega = \frac{1 - \cos(2\Omega)}{2} = \frac{\psi(s_n)}{\psi(x_n)} \quad (9);$$

$$[0078] \quad A^2 = \frac{\psi^2(x_n)}{\psi(s_n)} \quad (10);$$

[0079] 得到电压跌落信号的频率和电压跌落的幅值如下:

$$[0080] \quad \Omega = \frac{1}{2} \arccos \left[ 1 - \frac{2\psi(s_n)}{\psi(x_n)} \right] \quad (11);$$

$$[0081] \quad |A| = \frac{\psi(x_n)}{\sqrt{\psi(s_n)}} \quad (12);$$

[0082] 其中, $\psi(x_n) \triangleq E_n$ 表示该信号在 $n$ 处的能量; $\Omega$ 是数字角频率,表示每个采样点之间的弧度; $\phi$ 为信号的初相角; $A$ 表示信号的峰值,为有效值的 $\sqrt{2}$ 倍。

[0083] 采用模极大值法检测电压跌落发生的起止时刻的具体方法为:将小波变换后得到的小波系数 $dI_j^{\text{Re}}(n)$ 逐一进行比较,比较后,大的小波系数保持原值,小的将相应位置的小波系数置0,逐一比较后即得到了一个极大值,从而得到电压跌落信号开始与结束位置的非0值的小波系数,即定位了电压跌落发生的起止时刻。

[0084] 步骤4,构造出该实小波的复小波,对电压跌落信号进行复小波变换,检测出电压跌落信号发生的跳变相位,具体步骤为:

[0085] 步骤4.1,根据实小波变换理论,得出实小波变换的小波系数 $dI_j^{\text{Re}}(n)$ 、尺度系数 $cI_j^{\text{Re}}(n)$ 、虚部小波系数 $dI_j^{\text{Im}}(n)$ 与虚部尺度系数 $cI_j^{\text{Im}}(n)$ :

$$[0086] \quad \begin{cases} dI_j^{\text{Re}}(n) = 2^{j/2} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \psi_h(2^j t - n) dt \\ cI_j^{\text{Re}}(n) = 2^{j/2} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \phi_h(2^j t - n) dt \end{cases}, j=1, 2, \dots, J \quad (13);$$

$$[0087] \quad \begin{cases} dI_j^{\text{Im}}(n) = 2^{j/2} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \psi_g(2^j t - n) dt \\ cI_j^{\text{Im}}(n) = 2^{j/2} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \phi_g(2^j t - n) dt \end{cases}, j=1, 2, \dots, J \quad (14);$$

[0088] 其中, $x(t)$ 为电压跌落信号; $\psi_h(2^j t - n)$ 为所选小波的实部; $\phi_h(2^j t - n)$ 为所选尺度函数的实部; $\psi_g(2^j t - n)$ 为所选小波的虚部; $\phi_g(2^j t - n)$ 为所选尺度函数的虚部; $j$ 为正整数;



[0089] 步骤4.2,得出复小波变换的小波系数 $d_j^w(n)$ 与尺度系数 $c_j^w(n)$ ;

$$[0090] \begin{cases} d_j^w(n) = dI_j^{\text{Re}}(n) + idI_j^{\text{Im}}(n) \\ c_j^w(n) = cI_j^{\text{Re}}(n) + icI_j^{\text{Im}}(n) \end{cases}, j=1,2,\dots,J \quad (15);$$

[0091] 步骤4.3,经复小波变换后获得电压跌落信号 $x(t)$ 的尺度函数复系数为 $WT_c$ ,

$$[0092] WT_c = WT_{\text{Re}} + iWT_{\text{Im}};$$

[0093] 经复小波变换后的系数幅值和相位分别为:

$$[0094] WT_M = \sqrt{WT_{\text{Re}}^2 + WT_{\text{Im}}^2}$$

$$[0095] WT_{\text{PH}} = \arctan(WT_{\text{Im}}/WT_{\text{Re}}) \quad (16);$$

[0096] 其中, $WT_{\text{Re}}$ 为尺度函数的实部, $WT_{\text{Im}}$ 为尺度函数的虚部。

[0097] 复小波变换对信号 $x(n)$ 在两个正交空间上同时做实小波变换,提供两个正交空间的信息,不仅可以得到类似实小波变换的幅值分量,还得到到两个正交空间中信号分量间特有的相位关系,可全面详细地分析电压跌落信号的发生的跳变相位。

[0098] 复小波的实部与虚部是正交的,即信号 $f(t,y)$ 的复小波变换实际上是将信号 $f(t,y)$ 沿两个正交空间分别同时作实小波变换,所得到系数的实部及虚部无疑将包含信号 $f(t,y)$ 在这两个空间中的信号分量信息,而实小波变换得到的实部只有原信号 $f(t,y)$ 在一个空间中的信号分量信息;同时,复小波变换还得到了两个正交空间中的信号分量间的独特关系信息 $\arctan(IWT/RWT)$ 。这样,在原信号 $f(t,y)$ 中唯一正交信号分量 $t$ 与 $y$ 的关系 $\arctan(y/t)$ 就通过复小波变换传递到了变换后的系数的相位中。

[0099] 如果以映射的角度来分析,在被分析的电压跌落信号中,其相位可看成是时间与幅值两正交信号之间的关系,这种关系通过复小波变换后将映射到变换系数的实部与虚部关系,即系数的相位中。

[0100] 如图2所示,本发明的检测系统包含了电压采集模块、模数转换模块、DSP运算控制模块;而驱动电平转换模块以及电压跌落补偿主电路用于控制补偿跌落的电压。其中:

[0101] 电压采集模块由霍尔传感器构成,负责采集配电网电压。

[0102] 模数转换模块采用TI公司的ADC转换芯片ADS8364,负责将采集到的电压模拟信号转换成可用于DSP计算的数字信号。DSP运算控制模块采用TMS320F28335芯片,负责实现结合复小波算法与Teager能量算子算法的一种新型综合检测方法。

[0103] 驱动电平转换模块负责将上述电压与反馈的补偿电压运算获得驱动信号,再输入SPWM调制器,将驱动信号变为脉冲宽度与正弦波等效的PWM波形,使得驱动信号得以控制主电路中IGBT的通断状态,从而控制动态电压恢复器输出一定的补偿电压。

[0104] 电压跌落补偿主电路结构由直流电容器(储能装置),逆变电路,LC滤波电路,串联变压器组成。当系统电压发生跌落时,通过检测系统检测出电网的跌落电压并生成指令信号,再通过逆变器将储能系统的直流电压转换后,经过滤波器和变压器向馈线注入一定幅值和相角的交流补偿电压,使负载侧电压恢复到正常值,确保敏感性负荷的正常运行。

[0105] DSP运算控制模块的检测算法如图1所示,首先将电压跌落信号进行实小波变换,采用Mallat算法分解成细节信号和近似信号;其中近似信号为低频分量,细节信号为高频分量;然后采用Teger能量算子对滤除高频分量的近似信号进行幅值检测;细节信号可用模极大值法处理,定位奇异信号发生的起止时刻,即电压跌落发生的起止时刻;最后再另一个

正交空间中对原始信号进行实小波变换,得出变换后系数的实部与虚部的关系,即系数的相位唯一地反映了电压跌落信号的跳变相位。

[0106] 以上实施例仅用于说明本发明的设计思想和特点,其目的在于使本领域内的技术人员能够了解本发明的内容并据以实施,本发明的保护范围不限于上述实施例。所以,凡依据本发明所揭示的原理、设计思路所作的等同变化或修饰,均在本发明的保护范围之内。

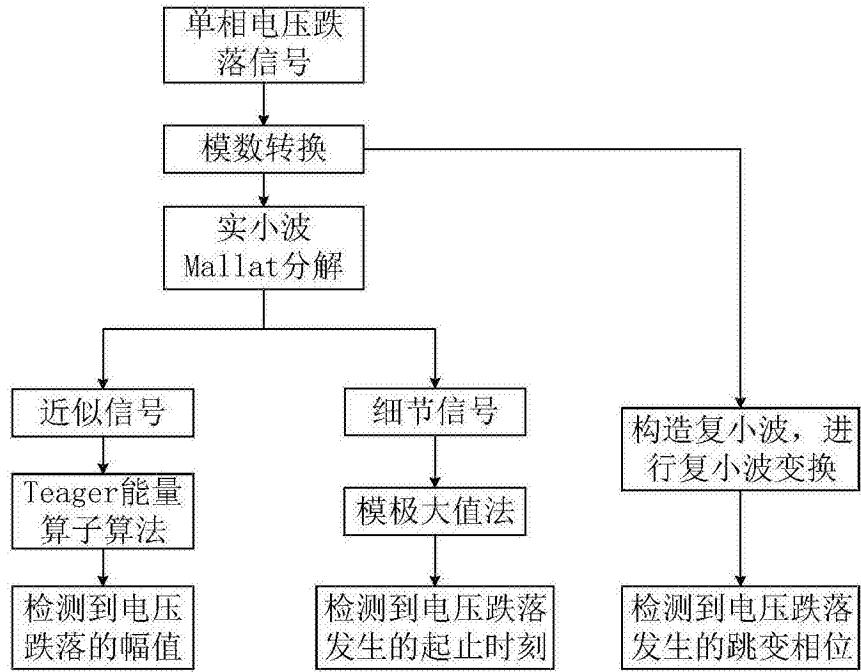


图1

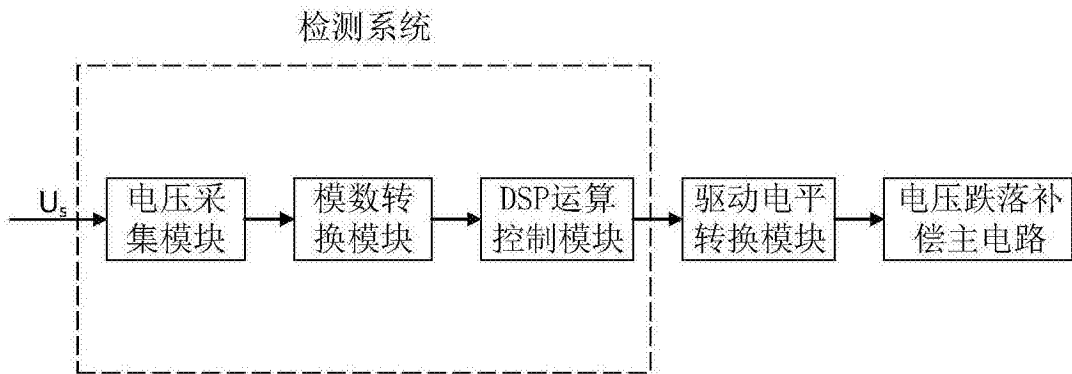


图2