



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106018956 B

(45)授权公告日 2018.10.16

(21)申请号 201610653629.5  
 (22)申请日 2016.08.10  
 (65)同一申请的已公布的文献号  
 申请公布号 CN 106018956 A  
 (43)申请公布日 2016.10.12  
 (73)专利权人 北京妙微科技有限公司  
 地址 100102 北京市朝阳区利泽中园106号楼5层502A  
 (72)发明人 林顺富 胡飞 顾春艳 高健飞  
 陈中奎 许亮峰  
 (74)专利代理机构 北京东方汇众知识产权代理  
 事务所(普通合伙) 11296  
 代理人 张淑贤  
 (51)Int. Cl.  
 G01R 23/02(2006.01) (续)  
 (56)对比文件  
 CN 202339381 U, 2012.07.18,  
 JP 特开2005-214777 A, 2005.08.11,

CN 104849545 A, 2015.08.19,  
 CN 104597321 A, 2015.05.06,  
 CN 105372492 A, 2016.03.02,  
 CN 103197141 A, 2013.07.10,  
 US 2009/0187363 A1, 2009.07.23,  
 CN 103308766 A, 2013.09.18,  
 CN 105137175 A, 2015.12.09,  
 梁志瑞等. 基于一种三谱线插值的间谐波分  
 析方法.《电力科学与工程》.2012,第28卷(第11  
 期),  
 康维等. 一种改进FFT多谱线插值谐波分析  
 方法.《电测与仪表》.2016,第53卷(第10期),  
 王茂飞等. 基于Root-MUSIC频率估计的改进  
 加窗插值FFT相位测量算法研究.《电气技术》  
 .2016,(第03期),  
 牛胜锁等. 基于三谱线插值FFT的电力谐波  
 分析算法.《中国电机工程学报》.2012,第32卷  
 (第16期), (续)

审查员 马佳伟

权利要求书2页 说明书7页 附图1页

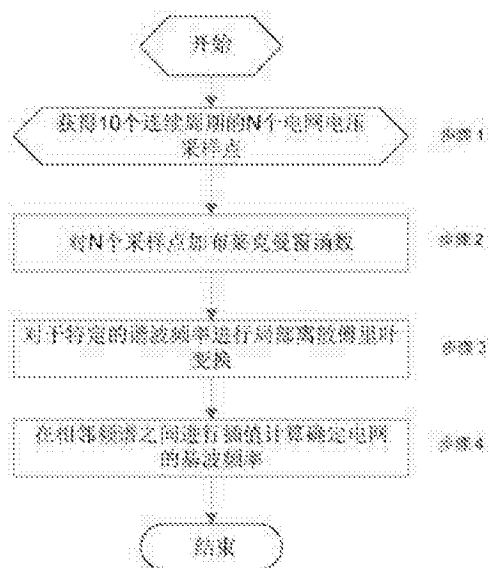
(54)发明名称

一种加窗谱线插值的电力系统频率计算方法

(57)摘要

本发明提供了一种加窗谱线插值的电力系统频率计算方法,包括以下步骤:1)通过电压测量电路获得公共连接点的10个连续采样周期的电压采样数据;2)对电压采样数据进行时域加窗函数处理;3)对加窗后的数据进行局部离散傅里叶变换,获得特定谐波次数的电压幅值;4)对计算得到的特定电压幅值,在相邻两个最大幅值之间进行插值;5)通过多项式曲线拟合方法计算得到频率系数,从而确定电网的基波频率;本发明方法,对N个采样点加布莱克曼窗函数,并且只对指定的谐波频率进行局部离散傅里叶(DFT)变换,经试验证明,本发明方法抑制频谱泄漏效果好,计算速度快,计算过程简单、精度高、通用性强,可用于高精度电能计量和电能质量分析。

CN 106018956 B



[接上页]

(51) Int.Cl.

G01R 23/16(2006.01)

(56) 对比文件

牛胜锁等. 基于四项余弦窗三谱线插值FFT的谐波检测方法.《仪器仪表学报》.2012,第33卷(第09期),

1. 一种加窗谱线插值的电力系统频率计算方法,其特征在于,包括以下步骤:

1) 采集获得公共连接点的10个连续工频周期的电压采样数据 $y(n)$ ;

式中 $n=0, 1, \dots, N-1$ ,其中, $n$ 为整数,表示当前采样点; $N$ 为正整数,表示所采样数据的总长度;公共连接点指一个及一个以上用户负荷的连接处;

之后,进入步骤2);

2) 对步骤1)得到的电压采样数据 $y(n)$ 进行时域加窗函数处理,采用三项系数二阶升余弦窗即布莱克曼窗函数对电压采样数据进行加窗处理,布莱克曼窗函数 $w(n)$ 的时域表达式为:

$$w(n) = 0.42 - 0.5 \cos\left(\frac{2n\pi}{N-1}\right) + 0.08 \cos\left(\frac{2\pi}{N-1} 2n\right)$$

将步骤1)得到的电压采样数据 $y(n)$ 和布莱克曼窗函数的离散序列相乘,即可得到加窗处理后的数据 $x(n)$ ,具体如下式所示:

$$x(n) = y(n) w(n)$$

3) 对从步骤2)得到的加窗处理后的数据 $x(n)$ 进行局部离散傅里叶变换,计算第9、第10和第11根谱线分量,局部离散傅里叶变换的计算公式为:

$$\dot{X}(9) = \begin{bmatrix} 1 & W_N^9 & \dots & W_N^{9(N-1)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(0) \\ x(1) \\ \vdots \\ x(N-1) \end{bmatrix}$$

$$\dot{X}(10) = \begin{bmatrix} 1 & W_N^{10} & \dots & W_N^{10(N-1)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(0) \\ x(1) \\ \vdots \\ x(N-1) \end{bmatrix}$$

$$\dot{X}(11) = \begin{bmatrix} 1 & W_N^{11} & \dots & W_N^{11(N-1)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(0) \\ x(1) \\ \vdots \\ x(N-1) \end{bmatrix}$$

其中, $W_N^{nk} = e^{-j\frac{2\pi nk}{N}}$ , $k$ 为整数,此处 $k=9, k=10, k=11$ ,即计算第9、第10和第11根谱线分量; $j$ 为虚数单位, $e$ 为自然指数函数的底数; $\dot{X}(9)$ 、 $\dot{X}(10)$ 和 $\dot{X}(11)$ 分别是第9、10和11根谱线分量,为复数形式,分别取绝对值即可得到第9、10和11谱线的幅值:

$$X(9) = |\dot{X}(9)|$$

$$X(10) = |\dot{X}(10)|$$

$$X(11) = |\dot{X}(11)|$$

4) 由于理想电力基波频率为50Hz,实际电力频率在50Hz周围变化,步骤3)计算得到的第9、10和11根谱线对应幅值 $X(9)$ 、 $X(10)$ 和 $X(11)$ 中, $X(10)$ 是最大的,作为最大值 $X_{\max 1} = X(10)$ ,令常数 $k_{\max 1} = 10$ ;再选出 $X(9)$ 和 $X(11)$ 中的较大值,作为次大值 $X_{\max 2}$ ,则:

当 $X(9) > X(11)$ 时,  $X_{\max 2} = X(9)$ , 令常数 $k_{\max 2} = 9$ ;

当 $X(9) < X(11)$ 时,  $X_{\max 2} = X(11)$ , 令常数 $k_{\max 2} = 11$ ;

设 $k_m$ 是电力系统实际频率所对应的谱线系数, 令 $\alpha = k_m - k_{\max 1} - 0.5$ , 在最大值 $X_{\max 1}$ 和次大值 $X_{\max 2}$ 之间进行插值, 插值的表达式为:

$$\beta = \frac{X(k_{\max 1}) - X(k_{\max 2})}{X(k_{\max 1}) + X(k_{\max 2})} = \frac{|w(2\pi(k_{\max 1} - k_m)/N)| - |w(2\pi(k_{\max 2} - k_m)/N)|}{|w(2\pi(k_{\max 1} - k_m)/N)| + |w(2\pi(k_{\max 2} - k_m)/N)|}$$

其中 $\beta$ 是比例参数,  $w(2\pi f)$ 是布莱克曼窗函数, 由于 $X(k_{\max 1})$ 和 $X(k_{\max 2})$ 是已知的, 可以计算出 $\beta$ 值;

5) 对步骤4)得到的 $\beta$ 表达式, 计算电力系统实际频率所对应的谱线系数 $k_m = \alpha + k_{\max 1} + 0.5$ , 其中:

$$\alpha = 1.960\beta + 0.153\beta^3 + 0.074\beta^5$$

则电网电压的实际频率为 $f_m = 5 * k_m$ 。

## 一种加窗谱线插值的电力系统频率计算方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电能质量分析与控制领域,尤其是涉及一种加窗谱线插值的电力系统频率计算方法。

### 背景技术

[0002] 频率是电能生产、消费必须具备的质量检验指标,也是衡量电力系统运行状态的重要参数,是电力系统最主要的特征量之一,因此,频率测量是电力系统测量中十分重要的环节,若电网频率测量精度达不到要求将导致与频率相关的电气参数测量或计算严重偏离实际值。

[0003] 电网频率测量技术研究的意义首先在于电网频率是电能质量体系中的一个重要指标,其次电网频率测量不准将导致与频率相关的电气参数测量或计算出现较大误差;另外在电力系统中,一些高新技术的应用需要高精度频率测量作保证,同时它还是后续谐波分析的基础;频率测量主要基于硬件测频技术和软件测频技术;常用的软件测频算法有周期法(或称交零法)、解析法、误差最小化原理类算法、傅里叶算法、正交去调制法等;周期法在实时测量仪器中应用较多;实践证明周期法虽有原理简单、易于实现的优点,但其对噪声、谐波及间谐波的抗干扰能力较弱;

[0004] 快速傅里叶变换(FFT)易于在嵌入式数字信号系统中实现,是频率软件测量的常用方法,也是谐波分析的主要方法,但由于很难做到同步采样和整周期截断,存在频谱泄漏和栅栏效应现象,影响频率测量精度;基于以上原因,现有发明[CN101852826A]中,采用基于Blackman-Harris窗的四阶插值,对基波频率进行三次逼近;虽然精度达到要求,但该算法的计算复杂程度大大增加了,这对于实时性要求很高的电力系统检测装置而言是不允许的,且精度无法根据实际情况进行调整;同时,插值函数的阶次越高,计算精度有时未必就越高,使用阶次较高的Blackman-Harris窗插值得到的电力系统频率与真实频率相比,有时误差不小;而现有发明[CN104849545A]中,首先对电流信号采样,得到 $n$ 时刻和 $n-1$ 时刻的采样矩阵,最终通过求取电压电流矩阵的特征根来确定相位及其系统频率;实际系统中,由于电流信号初相角度变化通常较大,因此仅基于电流采样信号计算系统频率误差也较大,而且该方法需要求取电流矩阵的广义逆矩阵,明显加大了计算量,运行时间加长。

### 发明内容

[0005] 针对现有技术中对电网系统频率的计算速度慢、精度低,本发明提供了一种加窗谱线插值的电力系统频率计算方法,可对电网系统频率实现精确快速计算。

[0006] 一种加窗谱线插值的电力系统频率计算方法,其中,包括以下步骤:

[0007] 1) 采集获得公共连接点的10个连续工频周期的电压采样数据 $y(n)$ ;

[0008] 式中 $n=0,1,\dots,N-1$ ,其中, $n$ 为整数,表示当前采样点; $N$ 为正整数,表示所采样数据的总长度;公共连接点指一个及一个以上用户负荷的连接处;

[0009] 之后,进入步骤2);

[0010] 2) 对步骤1)得到的电压采样数据 $y(n)$ 进行时域加窗函数处理,采用三项系数二阶升余弦窗即布莱克曼窗函数对电压采样数据进行加窗处理,布莱克曼窗函数 $w(n)$ 的时域表达式为:

$$[0011] \quad w(n) = 0.42 - 0.5 \cos\left(\frac{2n\pi}{N-1}\right) + 0.08 \cos\left(\frac{2\pi}{N-1}2n\right)$$

[0012] 将步骤1)得到的电压采样数据 $y(n)$ 和布莱克曼窗函数的离散序列相乘,即可得到加窗处理后的数据 $x(n)$ ,具体如下式所示:

$$[0013] \quad x(n) = y(n)w(n)$$

[0014] 3) 对从步骤2)得到的加窗处理后的数据 $x(n)$ 进行局部离散傅里叶变换,计算第9、第10和第11根谱线分量,局部离散傅里叶变换的计算公式为:

$$[0015] \quad \dot{X}(9) = \begin{bmatrix} 1 & W_N^{-9} & \dots & W_N^{-9(N-1)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(0) \\ x(1) \\ \vdots \\ x(N-1) \end{bmatrix}$$

$$[0016] \quad \dot{X}(10) = \begin{bmatrix} 1 & W_N^{-10} & \dots & W_N^{-10(N-1)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(0) \\ x(1) \\ \vdots \\ x(N-1) \end{bmatrix}$$

$$[0017] \quad \dot{X}(11) = \begin{bmatrix} 1 & W_N^{-11} & \dots & W_N^{-11(N-1)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(0) \\ x(1) \\ \vdots \\ x(N-1) \end{bmatrix}$$

[0018] 其中, $W_N^{nk} = e^{-j\frac{2\pi nk}{N}}$ , $k$ 为整数,此处 $k=9$ 、 $k=10$ 、 $k=11$ ,即计算第9、第10和第11根谱线分量; $j$ 为虚数单位, $e$ 为自然指数函数的底数; $\dot{X}(9)$ 、 $\dot{X}(10)$ 和 $\dot{X}(11)$ 分别是第9、10和11根谱线分量,为复数形式,分别取绝对值即可得到第9、10和11谱线的幅值:

$$[0019] \quad X(9) = |\dot{X}(9)|$$

$$[0020] \quad X(10) = |\dot{X}(10)|$$

$$[0021] \quad X(11) = |\dot{X}(11)|$$

[0022] 4) 由于理想电力基波频率为50Hz,实际电力频率在50Hz周围变化,步骤3)计算得到的第9、10和11根谱线对应幅值 $X(9)$ 、 $X(10)$ 和 $X(11)$ 中, $X(10)$ 是最大的,作为最大值 $X_{\max 1} = X(10)$ ,令常数 $k_{\max 1} = 10$ ;再选出 $X(9)$ 和 $X(11)$ 中的较大值,作为次大值 $X_{\max 2}$ ,则:

[0023] 当 $X(9) > X(11)$ 时, $X_{\max 2} = X(9)$ ,令常数 $k_{\max 2} = 9$ ;

[0024] 当 $X(9) < X(11)$ 时, $X_{\max 2} = X(11)$ ,令常数 $k_{\max 2} = 11$ ;

[0025] 设 $k_m$ 是电力系统实际频率所对应的谱线系数,令 $\alpha = k_m - k_{\max 1} - 0.5$ ,在最大值 $X_{\max 1}$ 和次大值 $X_{\max 2}$ 之间进行插值,插值的表达式为:

$$[0026] \quad \beta = \frac{X(k_{\max 1}) - X(k_{\max 2})}{X(k_{\max 1}) + X(k_{\max 2})} = \frac{|w(2\pi(k_{\max 1} - k_m)/N)| - |w(2\pi(k_{\max 2} - k_m)/N)|}{|w(2\pi(k_{\max 1} - k_m)/N)| + |w(2\pi(k_{\max 2} - k_m)/N)|}$$

[0027] 其中 $\beta$ 是比例参数, $w(2\pi f)$ 是布莱克曼窗函数,由于 $X(k_{\max 1})$ 和 $X(k_{\max 2})$ 是已知的,可以计算出 $\beta$ 值;

[0028] 5)对步骤4)得到的 $\beta$ 表达式,计算电力系统实际频率所对应的谱线系数 $k_m = \alpha + k_{\max 1} + 0.5$ ,其中:

$$[0029] \quad \alpha = 1.960\beta + 0.153\beta^3 + 0.074\beta^5$$

[0030] 则电网电压的实际频率为 $f_m = 5 * k_m$ 。

[0031] 与现有技术相比,本发明具有以下优点:

[0032] 一、数据长度小,降低了对于硬件内存的要求:所提方法仅需要10个连续采样周期的电压采样数据,数据长度小,降低了对于硬件内存的要求;

[0033] 二、计算过程更加简便,计算量较小,节省运算时间和物理内存:进行局部离散傅里叶变换,仅计算第9、10和11根谐波谱线幅值,无需计算其他谱线幅值,计算量较小,节省运算时间和物理内存;

[0034] 三、计算精度较高,实际运行误差很小:使用基于布莱克曼窗插值的离散傅里叶变换在一定程度上消除了频谱泄漏和栅栏效应的影响,大大提高了计算精度。

## 附图说明

[0035] 图1为本发明提供的一种加窗谱线插值的电力系统频率计算方法流程图;

[0036] 图2为本发明加窗谱线插值的电力系统频率计算方法步骤4)的谐波谱线图。

## 具体实施方式

[0037] 下面结合流程图和具体实施例对本发明进行详细说明;

[0038] 本发明一种加窗谱线插值的电力系统频率计算方法,见图1所示流程图:

[0039] 1)获取电压数据

[0040] 根据IEC 61000-4-7标准,获得公共连接点的10个连续采样周期的电压数据;公共连接点指一个及一个以上用户负荷的连接处;

[0041] 2)加窗函数

[0042] 对时域样本加窗函数处理;窗函数通常用来做频率分析;布莱克曼窗实质上是一种三项系数二阶升余弦窗,其时域表达式如下:

$$[0043] \quad W(n) = 0.42 - 0.5 \cos\left(\frac{2n\pi}{N-1}\right) + 0.08 \cos\left(\frac{2\pi}{N-1} 2n\right) \quad (1)$$

[0044] 式中 $n=0, 1, \dots, N-1$ ;

[0045] 在本发明应用中,较为关注的是谐波幅值和相角大小的精确度,因此,选择具有最大的主瓣宽度窗函数更适用于本发明,综合考虑后,本发明采用布莱克曼窗对电压采样数据进行加窗处理;

[0046] 3)执行局部离散傅里叶变换

[0047] 该步骤是对采样数据进行局部离散傅里叶变换;对10个连续周期的 $N$ 个采样点进行离散傅里叶变换,表达式可以写成下式:

$$[0048] \quad X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) W_N^{nk} \quad (2)$$

[0049] 式中,  $W_N^{nk}$  指第k个DFT系数;

$$[0050] \quad W_N^{nk} = e^{-j \frac{2\pi nk}{N}} \quad (3)$$

[0051] N个点序列的DFT变换也可以用矩阵来计算,(相应采样周期的各采样数据按照时间顺序组成点序列)

[0052] 如:

$$[0053] \quad \begin{bmatrix} X(0) \\ X(1) \\ \vdots \\ X(9) \\ X(10) \\ X(11) \\ \vdots \\ X(N-1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \cdots & 1 \\ 1 & W_N^1 & \cdots & W_N^{N-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & W_N^9 & \cdots & W_N^{9(N-1)} \\ 1 & W_N^{10} & \cdots & W_N^{10(N-1)} \\ 1 & W_N^{11} & \cdots & W_N^{11(N-1)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & W_N^{N-1} & \cdots & W_N^{(N-1)^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(0) \\ x(1) \\ \vdots \\ x(9) \\ x(10) \\ x(11) \\ \vdots \\ x(N-1) \end{bmatrix} \quad (4)$$

[0054] 其中,  $X(k)$  是第k次谐波谱线的幅值,  $x(n)$  是输入数据(指的是相应采样周期的采样数据);

[0055] 离散傅里叶变换的频谱分辨率是:

$$[0056] \quad \Delta = \frac{f_s}{N} = \frac{f_s}{0.02 \times f_s \times 10} = 5 \text{ (Hz)} \quad (5)$$

[0057] 式中,  $f_s$  是电网理想基波频率50Hz, 其中, 0.02s是工频周期(理想基波频率50Hz的倒数), 10指的是上文所述10个采样周期,  $\Delta$  指代离散傅里叶变换的频谱分辨率;

[0058] 工程上, 电网频率一般在45Hz至55Hz之间, 因此基波频率  $f_m$  所对应的谱线一般落在第9、第10根谱线之间或者第10、第11根谱线之间, 如图2所示, 因此, 确定主频时只需对第9、10和11根谱线分量进行计算, 并不需要对所有的谱线分量进行计算; 局部离散傅里叶变换的表达式为:

$$[0059] \quad \dot{X}(9) = \begin{bmatrix} 1 & W_N^9 & \cdots & W_N^{9(N-1)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(0) \\ x(1) \\ \vdots \\ x(N-1) \end{bmatrix}$$

$$[0060] \quad \dot{X}(11) = \begin{bmatrix} 1 & W_N^{10} & \cdots & W_N^{10(N-1)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(0) \\ x(1) \\ \vdots \\ x(N-1) \end{bmatrix} \quad (6)$$



$$[0061] \quad \dot{X}(11) = \begin{bmatrix} 1 & W_N^{11} & \dots & W_N^{11(N-1)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(0) \\ x(1) \\ \vdots \\ x(N-1) \end{bmatrix}$$

[0062] 其中,  $W_N^{nk} = e^{-j\frac{2\pi nk}{N}}$ ,  $x(n)$  是加窗数据样本值,  $\dot{X}(9)$ 、 $\dot{X}(10)$  和  $\dot{X}(11)$  分别是第9、10和11根谱线分量, 为复数形式, 分别取绝对值即可得到第9、10和11谱线的幅值:

$$[0063] \quad X(9) = |\dot{X}(9)|$$

$$[0064] \quad X(10) = |\dot{X}(10)|$$

$$[0065] \quad X(11) = |\dot{X}(11)|$$

[0066] 4) 确定基波频率

[0067] 该步骤是确定基波频率; 从步骤3) 获得第9、10和11根谱线幅值, 分别为  $X(9)$ 、 $X(10)$  和  $X(11)$ 。由于理想电力基波频率为50Hz, 实际电力频率在50Hz周围变化。步骤3) 计算得到的第9、10和11根谱线对应幅值  $X(9)$ 、 $X(10)$  和  $X(11)$  中,  $X(10)$  应是最大的, 作为最大值  $X_{\max 1} = X(10)$ , 令谱线系数  $k_{\max 1} = 10$ ; 再选出  $X(9)$  和  $X(11)$  中的较大值, 作为次大值  $X_{\max 2}$ , 则:

[0068] 当  $X(9) > X(11)$  时,  $X_{\max 2} = X(9)$ , 令谱线系数  $k_{\max 2} = 9$ ;

[0069] 当  $X(9) < X(11)$  时,  $X_{\max 2} = X(11)$ , 令谱线系数  $k_{\max 2} = 11$ ;

[0070] 由工程经验可知, 电力系统的基波频率通常是波动的, 令电力系统的基波频率为  $f_m$ , 则:

$$[0071] \quad f_m = k_m \Delta \quad (7)$$

[0072] 式中,  $k_m$  是电力系统基波频率对应的谱线系数, 通常不是整数, 应介于  $k_1$  和  $k_2$  之间。

[0073] 本发明中, 提出一种方法来确定系统主频, 即采用在最大值  $X_{\max 1}$  和次大值  $X_{\max 2}$  之间进行插值, 插值的表达式为:

[0074]

$$\beta = \frac{X(k_{\max 1}) - X(k_{\max 2})}{X(k_{\max 1}) + X(k_{\max 2})} = \frac{|w(2\pi(k_{\max 1} - k_m)/N)| - |w(2\pi(k_{\max 2} - k_m)/N)|}{|w(2\pi(k_{\max 1} - k_m)/N)| + |w(2\pi(k_{\max 2} - k_m)/N)|}$$

(8)

[0075] 其中  $\beta$  是比例参数,  $w(2\pi f)$  是布莱克曼窗函数,  $f$  表示谐波频率; 由于  $X(k_{\max 1})$  和  $X(k_{\max 2})$  是已知的, 可以计算出  $\beta$  值:

[0076] 令

$$[0077] \quad \alpha = k_m - k_{10} - 0.5 \quad (9)$$

[0078] 计算电力系统实际频率所对应的谱线系数  $k_m = \alpha + k_{\max 1} + 0.5$ , 其中:

$$[0079] \quad \alpha = 1.960\beta + 0.153\beta^3 + 0.074\beta^5 \quad (10)$$

[0080] 则电网电压的实际频率为  $f_m = 5 * k_m$ 。

[0081] 图2为本发明加窗谱线插值的电力系统频率计算方法步骤4) 的谐波谱线图。

[0082] 用计算机模拟验证本发明提出的确定基波频率方法的有效性, 根据表1所示的 IEC-4-30 标准来建立模拟系统:

[0083] 表1模拟参数

[0084]

噪声	60 dB	
谐波: $-\pi \leq \text{相角}(\theta) \leq \pi$ (圆周率 3.14159)		
1 <sup>st</sup>	1 pu(标么值)	$\theta$
3 <sup>rd</sup>	0.1 pu	$-\theta$
5 <sup>th</sup>	0.12 pu	$-\theta$
7 <sup>th</sup>	0.1 pu	$-\theta$
9 <sup>th</sup>	0.03 pu	$-\theta$
11 <sup>th</sup>	0.07 pu	$-\theta$
13 <sup>th</sup>	0.06 pu	$-\theta$
15 <sup>th</sup>	0.01 pu	$-\theta$

[0085] 测试的输入信号可表示为:

[0086]

$$u(t) = U \sin \omega t + 0.1 U \sin(3\omega t + \varphi) + 0.12 U \sin(5\omega t - \varphi) + 0.1 U \sin(7\omega t - \varphi) + 0.03 U \sin(9\omega t - \varphi) + 0.07 U \sin(11\omega t - \varphi) + 0.06 U \sin(13\omega t - \varphi) + 0.01 U \sin(15\omega t - \varphi) + \text{noise signal}$$

[0087] 式中 $u(t)$ 表示时变电压信号, $\omega$ 是可以进行设置的基波频率(角速度), $U$ 是基波电压的幅值, $\varphi$ 为谐波信号的初始相角(对应上表中的 $\theta$ ),noise signal为噪声信号(对应上表中的60dB);

[0088] 用本方法确定输入信号的基波频率,计算结果的误差如表2所示:

[0089] 表2仿真条件

[0090]

设置基波频率 (Hz)	计算基波频率 (Hz)	计算误差 (%)
50.5 Hz	50.4999	0.0002
51.0 Hz	51.0006	0.0002
52.0 Hz	52.0002	0.0001

[0091]

48.0 Hz	47.9994	0.0002
49.0 Hz	49.0002	0.0001
49.5 Hz	49.4999	0.0002

[0092] 理论上,根据标准IEC61000-4-30的模拟条件,本技术方案的方法具有很高的精确度。

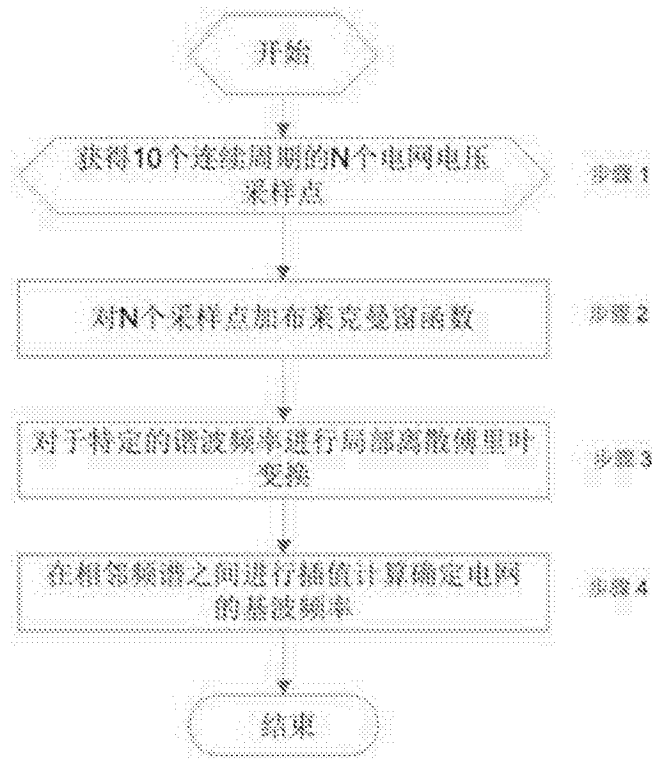


图1

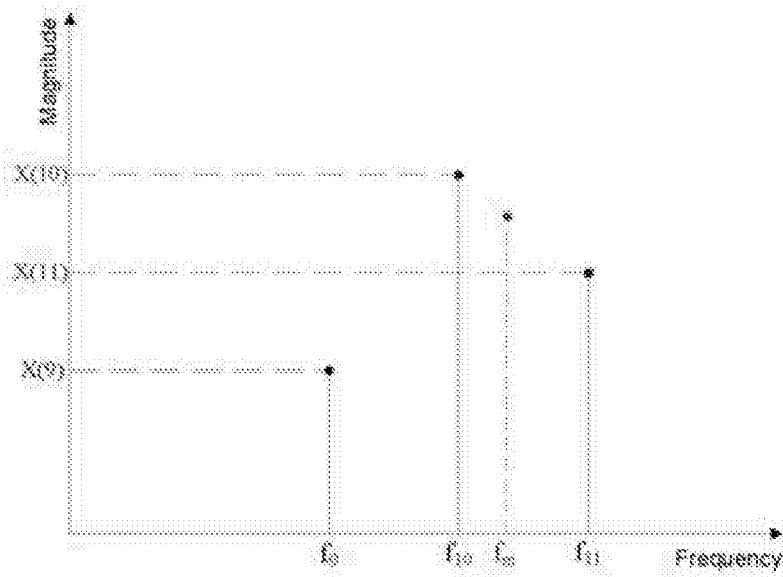


图2