



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102565532 B

(45) 授权公告日 2015. 02. 11

(21) 申请号 201210026716. X

CN 101727092 A, 2010. 06. 09,

(22) 申请日 2012. 02. 07

CN 1062793 A, 1992. 07. 15,

(73) 专利权人 广东电网公司电力科学研究院

审查员 张博

地址 510080 广东省广州市越秀区东风东路
水均岗 8 号

(72) 发明人 李军 万文军 李鑫亮 张羲
庞志强

(74) 专利代理机构 广州华进联合专利商标代理
有限公司 44224

代理人 王茹 曾旻辉

(51) Int. Cl.

G01R 23/16(2006. 01)

(56) 对比文件

US 6574573 B1, 2003. 06. 03,

EP 1760476 A2, 2007. 03. 07,

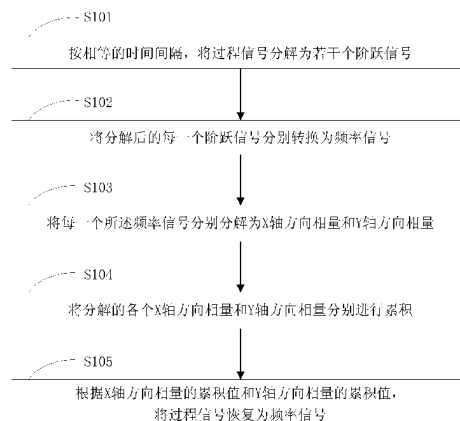
权利要求书3页 说明书9页 附图3页

(54) 发明名称

过程控制系统信号频率谱分析方法与装置

(57) 摘要

本发明公开了一种过程控制系统信号频率谱分析方法,包括:按相等的时间间隔,将过程信号分解为若干个阶跃信号;将分解后的每一个阶跃信号分别转换为频率信号;将每一个所述频率信号分别分解为X轴方向相量和Y轴方向相量;将分解的各个X轴方向相量和Y轴方向相量分别进行累积;根据X轴方向相量的累积值和Y轴方向相量的累积值,将过程信号恢复为频率信号。此外,还公开了一种过程控制系统信号频率谱分析装置,包括:阶跃信号分解模块、阶跃信号转换模块、频率信号分解模块、相量累积模块和频率信号恢复模块。本发明过程控制系统信号频率谱分析方法与装置,能够快速准确地分析出过程信号中的频率谱成分,作为频域分析的数据源。



1. 一种过程控制系统信号频率谱分析方法,其特征在于,包括以下步骤:
按相等的时间间隔,将过程信号分解为若干个阶跃信号;
将分解后的每一个阶跃信号分别转换为频率信号;
将每一个所述频率信号分别分解为X轴方向相量和Y轴方向相量;其中,所述X轴和所述Y轴相互垂直;
将分解的各个X轴方向相量和Y轴方向相量分别进行累积;
根据X轴方向相量的累积值和Y轴方向相量的累积值,将过程信号恢复为频率信号。
2. 如权利要求1所述的过程控制系统信号频率谱分析方法,其特征在于,在所述将分解后的每一个阶跃信号分别转换为频率信号的步骤中,所述转换的频率信号为指数频率信号。
3. 如权利要求1所述的过程控制系统信号频率谱分析方法,其特征在于,在所述按相等的时间间隔,将过程信号分解为若干个阶跃信号的步骤中,包括以下步骤:
按相等的时间间隔,将预设时间窗口宽度内的过程信号分解为若干个阶跃信号。
4. 如权利要求1所述的过程控制系统信号频率谱分析方法,其特征在于,在所述根据X轴方向相量的累积值和Y轴方向相量的累积值,将过程信号恢复为频率信号的步骤中,所述恢复的频率信号为指数频率信号。
5. 如权利要求3所述的过程控制系统信号频率谱分析方法,其特征在于,在所述根据X轴方向相量的累积值和Y轴方向相量的累积值,将过程信号恢复为频率信号的步骤中,包括以下步骤:
根据X轴方向相量的累积值和Y轴方向相量的累积值,将过程信号恢复为代表预设时间窗口宽度内过程信号的频率信号。
6. 一种过程控制系统信号频率谱分析装置,其特征在于,包括:阶跃信号分解模块、阶跃信号转换模块、频率信号分解模块、相量累积模块和频率信号恢复模块;
所述阶跃信号分解模块用于按相等的时间间隔,将过程信号分解为若干个阶跃信号;
所述阶跃信号转换模块用于将分解后的每一个阶跃信号分别转换为频率信号;
所述频率信号分解模块用于将每一个所述频率信号分别分解为X轴方向相量和Y轴方向相量;其中,所述X轴和所述Y轴相互垂直;
所述相量累积模块用于将分解的各个X轴方向相量和Y轴方向相量分别进行累积;
所述频率信号恢复模块用于根据X轴方向相量的累积值和Y轴方向相量的累积值,将过程信号恢复为频率信号。
7. 如权利要求6所述的过程控制系统信号频率谱分析装置,其特征在于,所述阶跃信号分解模块包括:纯延时单元、第一采样保持单元、第二采样保持单元、脉冲发生单元和第一减法器单元;
纯延时单元的输入端用于接收过程信号,纯延时单元的延时值设置端用于接收采样间隔信号,纯延时单元的输出端连接第二采样保持单元的输入端,第二采样保持单元的使能端连接脉冲发生单元的输出端,脉冲发生单元的使能端用于接收启动分析信号,脉冲发生单元的脉冲间隔值设置端用于接收采样间隔信号,第一采样保持单元的使能端连接脉冲发生单元的输出端,第一采样保持单元的输入端用于接收过程信号,第一采样保持单元的输出端连接第一减法器单元的第一输入端,第二采样保持单元的输出端连接第一减法器单元

的第二输入端；

纯延时单元接收采样间隔信号用于设置延时值，并对接收的过程信号进行延时，脉冲发生单元接收采样间隔信号用于设置脉冲间隔值，并接收启动分析信号用于控制脉冲输出，第一采样保持和第二采样保持单元接收脉冲发生单元的脉冲输出信号作为采样保持控制信号，第一采样保持单元对过程信号进行采样，第二采样保持单元对纯延时单元输出的过程信号延时信号进行采样，第一减法器单元接收来自第一采样保持单元和第二采样保持单元的输出信号并对其进行减法运算。

8. 如权利要求 7 所述的过程控制系统信号频率谱分析装置，其特征在于，所述阶跃信号转换模块又进一步包括：幅值计算模块和相位计算模块；

所述幅值计算模块包括除法器单元，除法器单元的第一输入端连接所述阶跃信号分解模块中第一减法器单元的输出端，除法器单元的第二输入端用于接收给定分析频率信号；

除法器单元接收来自所述阶跃信号分解模块中第一减法器单元的输出信号和给定分析频率信号并对其进行除法运算；

所述相位计算模块包括累积计时单元、乘法器单元和第二减法器单元，累积计时单元的使能端用于接收启动分析信号，累积计时单元的累积计时间隔值设置端用于接收采样间隔信号作为累积计时间隔值，累积计时单元的累积计时值复位端用于接收复位信号，累积计时单元的输出端连接乘法器单元的第二输入端，乘法器单元的第一输入端用于接收给定分析频率信号，乘法器单元的输出端连接第二减法器单元的第二输入端，第二减法器单元的第一输入端用于接收固定的相位信号；

累积计时单元接收启动分析信号用于控制累积计时，接收采样间隔信号用于设置累积计时间隔值，接收复位信号用于进行累积计时值复位，乘法器单元接收给定分析频率信号和来自累积计时单元的输出信号并对其进行乘法运算，第二减法器单元接收固定的相位信号和来自乘法器单元的输出信号并对其进行减法运算。

9. 如权利要求 8 所述的过程控制系统信号频率谱分析装置，其特征在于，所述频率信号分解模块包括第一运算单元和第二运算单元，第一运算单元的第一输入端连接所述幅值计算模块中的除法器单元的输出端，第一运算单元的第二输入端连接所述相位计算模块中的第二减法器单元的输出端，第二运算单元的第一输入端连接所述相位计算模块中的第二减法器单元的输出端，第二运算单元的第二输入端连接所述幅值计算模块中的除法器单元的输出端；

第一运算单元接收来自所述幅值计算模块中的除法器单元的输出信号和所述相位计算模块中的第二减法器单元的输出信号，并对其进行运算，第二运算单元接收来自所述相位计算模块中的第二减法器单元的输出信号和所述幅值计算模块中的除法器单元的输出信号，并对其进行运算；

所述相量累积模块包括第一累积器单元和第二累积器单元，第一累积器单元的使能端用于接收启动分析信号，第一累积器单元的累积值复位端用于接收复位信号，第一累积单元的输入端连接所述频率信号分解模块中的第一运算单元的输出端，第二累积器单元的使能端用于接收启动分析信号，第二累积器单元的累积值复位端用于接收复位信号，第二累积单元的输入端连接所述频率信号分解模块中的第二运算单元的输出端；

第一累积器单元接收启动分析信号用于控制累积运算，接收复位信号用于进行累积值

复位,接收所述频率信号分解模块中的第一运算单元的输出信号并对其进行累积运算,第二累积器单元接收启动分析信号用于控制累积运算,接收复位信号用于进行累积值复位,接收所述频率信号分解模块中的第二运算单元的输出信号并对其进行累积运算;

所述频率信号恢复模块包括幅值运算单元和相位运算单元,幅值运算单元的第一输入端连接所述相量累积模块中的第一累积器单元的输出端,幅值运算单元的第二输入端连接所述相量累积模块中的第二累积器单元的输出端,相位运算单元的第一输入端连接所述相量累积模块中的第一累积器单元的输出端,相位运算单元的第二输入端连接所述相量累积模块中的第二累积器单元的输出端;

幅值运算单元接收所述相量累积模块中的第一累积器单元和第二累积器单元的输出信号,对其进行运算并输出过程信号在给定分析频率的幅值信号;相位运算单元接收所述相量累积模块中的第一累积器单元和第二累积器单元的输出信号,对其进行运算并输出过程信号在给定分析频率的相位信号。

过程控制系统信号频率谱分析方法与装置

技术领域

[0001] 本发明涉及工业过程控制技术领域,尤其涉及一种过程控制系统信号频率谱分析方法和一种过程控制系统信号频率谱分析装置。

背景技术

[0002] 在控制回路中施加激励信号获取相应的过程响应是控制工程应用最广泛的一种实验分析方法和手段。经典实验方法主要有以阶跃信号为激励的阶跃时域分析法,以正弦或余弦波频率信号激励的频域分析法等。时域分析是描述数学函数或物理信号对时间的关系,频域分析则是描述信号在频率方面的特性。例如,信号强度随时间的变化规律属于时域特性,信号是由哪些单一频率的信号合成的则属于频域特性。对信号进行时域分析时,有时一些信号的时域参数相同,但并不能说明信号就完全相同。因为信号不仅随时间变化,还与频率、相位等信息有关,这就需要进行进一步分析信号的频率结构,并在频率域中对信号进行描述。

[0003] 控制回路或对象的频率特性分析方法是控制系统设计、性能分析、参数调整、参数模型辨识的本质方法和根本性依据,系统开环频率特性是分析系统稳定性指标的基本方法之一、特别是对系统鲁棒性的分析具有十分重要的意义。在工业过程中,在频率域中对信号进行分析或描述受到了各种因素的限制。首先,获取频率特性便是一项极其繁杂的事情,有时工艺过程却不允许施加过大的正弦波激励信号。其次,对于慢时变过程系统而言,试验所经历的时间较长,可能受到的干扰能量更大。因而,控制实践中,工程技术人员往往通过对对象或系统的时域过渡过程来研究控制系统特性。然而,通过这种时域分析手段难以掌握对象的本质特性,致使分析和研究过程具有较大的盲目性。最后,现有技术当中,动态信号从时间域变换到频率域主要通过傅里叶级数和傅里叶变换实现,繁杂的傅里叶变换计算增加了实验的难度。

发明内容

[0004] 为解决上述的傅里叶计算较为复杂的问题,本发明提供了一种过程控制系统信号频率谱分析方法和一种过程控制系统信号频率谱分析装置。

[0005] 一种过程控制系统信号频率谱分析方法,包括以下步骤:

[0006] 按相等的时间间隔,将过程信号分解为若干个阶跃信号;

[0007] 将分解后的每一个阶跃信号分别转换为频率信号;

[0008] 将每一个所述频率信号分别分解为X轴方向相量和Y轴方向相量;其中,所述X轴和所述Y轴相互垂直;

[0009] 将分解的各个X轴方向相量和Y轴方向相量分别进行累积;

[0010] 根据X轴方向相量的累积值和Y轴方向相量的累积值,将过程信号恢复为频率信号。

[0011] 与现有技术相比,本发明所提出的过程控制系统信号频率谱分析方法,能够快速

准确地分析出过程信号中的频率谱成分,作为频域分析的数据源。例如,根据所提取出过程对象的输入、输出信号中的频率谱特性并进行幅值和相位比较,便可获取该过程对象的频率特性。

[0012] 一种过程控制系统信号频率谱分析装置,包括:阶跃信号分解模块、阶跃信号转换模块、频率信号分解模块、相量累积模块和频率信号恢复模块;

[0013] 所述阶跃信号分解模块用于按相等的时间间隔,将过程信号分解为若干个阶跃信号;

[0014] 所述阶跃信号转换模块用于将分解后的每一个阶跃信号分别转换为频率信号;

[0015] 所述频率信号分解模块用于将每一个所述频率信号分别分解为 X 轴方向相量和 Y 轴方向相量;其中,所述 X 轴和所述 Y 轴相互垂直;

[0016] 所述相量累积模块用于将分解的各个 X 轴方向相量和 Y 轴方向相量分别进行累积;

[0017] 所述频率信号恢复模块用于根据 X 轴方向相量的累积值和 Y 轴方向相量的累积值,将过程信号恢复为频率信号。

[0018] 与现有技术相比,本发明所提出的过程控制系统信号频率谱分析装置,能够快速准确地分析出过程信号中的频率谱成分,作为频域分析的数据源。

附图说明

[0019] 图 1 是本发明过程控制系统信号频率谱分析方法的示意图;

[0020] 图 2 是本发明过程控制系统信号频率谱分析方法一个将时间窗口宽度为 T 的过程信号分解为 N 个阶跃信号的实施例示意图;

[0021] 图 3 是本发明过程控制系统信号频率谱分析方法中阶跃信号构成参数的示意图;

[0022] 图 4 是本发明过程控制系统信号频率谱分析方法中频率信号相量分解的示意图;

[0023] 图 5 是本发明过程控制系统信号频率谱分析装置的结构示意图;

[0024] 图 6 是本发明过程控制系统信号频率谱分析装置一个实施例效果示意图;

[0025] 图 7 是本发明过程控制系统信号频率谱分析装置一个实施例示意图。

具体实施方式

[0026] 为更进一步阐述本发明所采取的技术手段及取得的效果,下面结合附图及较佳实施例,对本发明所提出的过程控制系统信号频率谱分析方法与装置的技术方案,进行清楚和完整的描述。

[0027] 请参阅图 1,本发明过程控制系统信号频率谱分析方法的示意图。本发明过程控制系统信号频率谱分析方法,包括以下步骤:

[0028] S101 按相等的时间间隔,将过程信号分解为若干个阶跃信号;

[0029] 将预设时间窗口宽度 T 内的过程信号按相等的采样间隔 T_n , 分解为 $U_1(t)$ 、 $U_2(t)$ 、 $\dots$ 、 $U_{n-1}(t)$ 、 $U_n(t)$ 等 N 个阶跃信号,如图 2 所示:

[0030] 任意阶跃信号的阶跃值表达式为:

[0031] $I_n = U(t_n) - U(t_{n-1})$ $n = 1, 2, \dots, N$ (1)

[0032] S102 将分解后的每一个阶跃信号分别转换为频率信号;

[0033] 将每一个阶跃信号用指数频率信号表达式进行表达,共产生 N 个指数频率信号表达式:

[0034] 如图 3 所示,任意一个阶跃信号均由统一的 2 个参数构成,分别是:相对起始时间的阶跃时刻 t_n 、阶跃值 I_n 参数构成,其中 t_n 等同于相对起始时间的纯延时值, t_n 也为各采样时刻。

[0035] 任意一个阶跃信号的指数频率信号表达式为:

$$[0036] \quad U_n(j\omega) = e^{-jt_n\omega} \frac{I_n}{\omega} e^{-j0.5\pi} = \frac{I_n}{\omega} (e^{-j(0.5\pi+t_n\omega)}) \quad n=1,2,\dots,N \quad (2)$$

[0037] 上述表达式 (2) 的说明如下:对于非周期的阶跃信号,也可以进行傅里叶变换为各种频率下的周期信号的叠加,单位阶跃信号变换后的指数频率信号表达式如下:

$$[0038] \quad \frac{I}{\omega} e^{-j0.5\pi} \quad \omega \neq 0 \quad (3)$$

[0039] 表达式 (3) 中, I 为阶跃幅值,表达式 (3) 表明阶跃信号是由无数个连续频率、幅值为 I_n/ω 、初始相位为 -90° 的正弦波信号叠加而成。

[0040] 对于纯延时环节的指数频率特性表达式为:

$$[0041] \quad e^{-j\tau\omega} \quad (4)$$

[0042] 表达式 (4) 中 τ 为纯延时值。

[0043] S103 将每一个所述频率信号分别分解为 X 轴方向相量和 Y 轴方向相量;其中,所述 X 轴和所述 Y 轴相互垂直;

[0044] 将每一个频率信号分解为 Y 方向和 X 方向的相量,共分解为 N 个 Y 方向相量和 N 个 X 方向的相量。

[0045] 如图 4 所示,将任意一个频率信号分解为 Y 方向和 X 方向相量,具体为: $I_{y-n}(\omega)$ 、 $I_{x-n}(\omega)$ 方向相量:

[0046] 任意一个频率信号的 Y 方向和 X 方向相量表达式如下:

[0047]

$$I_{x-n}(\omega) = \frac{I_n}{\omega} \cos(\varphi_n(\omega)) \quad n=1,2,\dots,N \quad (5)$$

[0048]

$$I_{y-n}(\omega) = \frac{I_n}{\omega} \sin(\varphi_n(\omega)) \quad n=1,2,\dots,N \quad (6)$$

[0049] 表达式 (3) 和 (4) 式中: $\varphi_n(\omega) = -(0.5\pi + t_n\omega)$ 。

[0050] S104 将分解的各个 X 轴方向相量和 Y 轴方向相量分别进行累积;

[0051] 将 N 个阶跃信号,分解为 N 个 Y 方向相量和 N 个 X 方向相量,然后将 N 个 Y 方向相量和 N 个 X 方向相量进行累积,表达式如下:

$$[0052] \quad I_y(\omega) = \sum_{n=1}^N I_{y-n}(\omega) \quad (7)$$

$$[0053] \quad I_x(\omega) = \sum_{n=1}^N I_{x-n}(\omega) \quad (8)$$

[0054] S105 根据 X 轴方向相量的累积值和 Y 轴方向相量的累积值,将过程信号恢复为频率信号。

[0055] 将 N 个 Y 方向相量的累积值和 N 个 X 方向相量的累积值重新恢复为一个代表该预设时间窗口宽度 T 内过程信号的频率信号:

$$[0056] \quad H(\omega) = \sqrt{(I_y(\omega))^2 + (I_x(\omega))^2} \quad (9)$$

[0057]

$$\varphi(\omega) = \arctan(I_y(\omega)/I_x(\omega)) \quad (10)$$

[0058] 则预设时间窗口宽度 T 内的过程信号的指数频率信号表达式为:

[0059]

$$U(j\omega) = H(\omega)e^{j\varphi(\omega)} \quad (11)$$

[0060] 请参阅图 5,本发明过程控制系统信号频率谱分析装置的结构示意图。本发明过程控制系统信号频率谱分析装置,包括:阶跃信号分解模块 201、阶跃信号转换模块 202、频率信号分解模块 203、相量累积模块 204 和频率信号恢复模块 205;

[0061] 所述阶跃信号分解模块 201,用于按相等的时间间隔,将过程信号分解为若干个阶跃信号;

[0062] 将预设时间窗口宽度 T 内的过程信号按相等的采样间隔 T_n ,分解为 $U_1(t)$ 、 $U_2(t) \cdots U_{n-1}(t)$ 、 $U_n(t)$ 等 N 个阶跃信号,如图 2 所示:

[0063] 任意阶跃信号的阶跃值表达式为: $I_n = U(t_n) - U(t_{n-1})$, $n = 1, 2 \cdots, N$

[0064] 所述阶跃信号转换模块 202,用于将分解后的每一个阶跃信号分别转换为频率信号;

[0065] 将每一个阶跃信号用指数频率信号表达式进行表达,共产生 N 个指数频率信号表达式。

[0066] 任意一个阶跃信号的指数频率信号表达式为:

$$[0067] \quad U_n(j\omega) = e^{-jI_n\omega} \frac{I_n}{\omega} e^{-j0.5\pi} = \frac{I_n}{\omega} (e^{-j(0.5\pi + I_n\omega)}), \quad n = 1, 2 \cdots, N$$

[0068] 所述频率信号分解模块 203,用于将每一个所述频率信号分别分解为 X 轴方向相量和 Y 轴方向相量;其中,所述 X 轴和所述 Y 轴相互垂直;

[0069] 将每一个频率信号分解为 Y 方向和 X 方向的相量,共分解为 N 个 Y 方向相量和 N 个 X 方向的相量。

[0070] 如图 4 所示,将任意一个频率信号分解为 Y 方向和 X 方向相量,具体为: $I_{y-n}(\omega)$ 、 $I_{x-n}(\omega)$ 方向相量:

[0071] 任意一个频率信号的 Y 方向和 X 方向相量表达式如下:

[0072]

$$I_{x-n}(\omega) = \frac{I_n}{\omega} \cos(\varphi_n(\omega)), \quad n = 1, 2, \cdots, N$$

[0073]

$$I_{y-n}(\omega) = \frac{I_n}{\omega} \sin(\varphi_n(\omega)), n=1,2,\dots,N$$

[0074] 表达式 (3) 和 (4) 式中： $\varphi_n(\omega) = -(0.5\pi + t_n\omega)$ 。

[0075] 所述相量累积模块 204, 用于将分解的各个 X 轴方向相量和 Y 轴方向相量分别进行累积；

[0076] 将 N 个阶跃信号, 分解为 N 个 Y 方向相量和 N 个 X 方向相量, 然后将 N 个 Y 方向相量和 N 个 X 方向相量进行累积, 表达式如下：

$$[0077] \quad I_y(\omega) = \sum_{n=1}^N I_{y-n}(\omega)$$

$$[0078] \quad I_x(\omega) = \sum_{n=1}^N I_{x-n}(\omega)$$

[0079] 所述频率信号恢复模块 205, 用于根据 X 轴方向相量的累积值和 Y 轴方向相量的累积值, 将过程信号恢复为频率信号。

[0080] 将 N 个 Y 方向相量的累积值和 N 个 X 方向相量的累积值重新恢复为一个代表该预设时间窗口宽度 T 内过程信号的频率信号：

$$[0081] \quad H(\omega) = \sqrt{(I_y(\omega))^2 + (I_x(\omega))^2}$$

[0082]

$$\varphi(\omega) = \arctan(I_y(\omega)/I_x(\omega))$$

[0083] 则预设时间窗口宽度 T 内的过程信号的指数频率信号表达式为：

[0084]

$$U(j\omega) = H(\omega)e^{j\varphi(\omega)}$$

[0085] 图 6 是本发明过程控制系统信号频率谱分析装置的一个实施例效果示意图。如图 6 所示为一个传递函数为 $1/(20S+1)^2$ 的二阶惯性对象的单位阶跃响应信号进行频率谱分析。取时间窗口宽度为 $T = 628s$, 过程信号采样间隔 $T_n = 0.1s$, 共分解为 $N = 6280$ 个阶跃信号, 给定分析频率范围 $0.001-0.08rad/s$, 连续辨识频率间隔 $0.0001rad/s$, 得到的频率谱分析结果图。

[0086] 图 7 是本发明过程控制系统信号频率谱分析装置的一个实施例示意图, 包括: 阶跃信号分解模块, 阶跃信号转换模块, 频率信号分解模块, 相量累积模块和频率信号恢复模块。其中, 阶跃信号转换模块又进一步包括幅值计算模块和相位计算模块。各模块功能描述如下：

[0087] 所述阶跃信号分解模块包括: 纯延时单元、第一采样保持单元、第二采样保持单元、脉冲发生单元和第一减法器单元；

[0088] 纯延时单元的输入端用于接收过程信号, 纯延时单元的延时值设置端用于接收采样间隔信号, 纯延时单元的输出端连接第二采样保持单元的输入端, 第二采样保持单元的使能端连接脉冲发生单元的输出端, 脉冲发生单元的使能端用于接收启动分析信号, 脉冲发生单元的脉冲间隔值设置端用于接收采样间隔信号, 第一采样保持单元的使能端连接脉

冲发生单元的输出端,第一采样保持单元的输入端用于接收过程信号,第一采样保持单元的输出端连接第一减法器单元的第一输入端,第二采样保持单元的输出端连接第一减法器单元的第二输入端;

[0089] 纯延时单元接收采样间隔信号用于设置延时值,并对接收的过程信号进行延时,脉冲发生单元接收采样间隔信号用于设置脉冲间隔值,并接收启动分析信号用于控制脉冲输出,第一采样保持和第二采样保持单元接收脉冲发生单元的脉冲输出信号作为采样保持控制信号,第一采样保持单元对过程信号进行采样,第二采样保持单元对纯延时单元输出的过程信号延时信号进行采样,第一减法器单元接收来自第一采样保持单元和第二采样保持单元的输出信号并对其进行减法运算。

[0090] 其中纯延时单元的纯延时值等于采样时间间隔值 T_n ,脉冲发生单元输出脉冲周期值等于采样时间间隔值 T_n ,第一采样保持单元在每个采样时刻 t_n 对输入过程信号进行采样并保持,第二采样保持单元在每个采样时刻 t_n 对输入过程信号的纯延时信号进行采样并保持,因为信号延时了 T_n 值,相当于在 t_{n-1} 时刻对输入过程信号进行采样并保持。第一减法器单元用于将输入过程信号的采样保持信号减输入过程信号的纯延时采样保持信号、获得过程信号的阶跃分解信号输出:

[0091] 纯延时单元说明如下:

[0092] 输入端 X:输入信号;

[0093] 输出端 Y:输出信号;

[0094] 延时值设置端 S:纯延时值设置。

[0095] 第一采样保持单元、第二采样保持单元说明如下:

[0096] 输入端 X:输入信号;

[0097] 输出端 Y:输出信号;

[0098] 使能端 EN:采样保持控制,ON 时对输入信号进行采样并输出,OFF 时将输出值保持。

[0099] 脉冲发生单元说明如下:

[0100] 使能端 EN:控制端,输入 ON 时开始输出脉冲;

[0101] 输出端 Y:脉冲输出;

[0102] 脉冲间隔值设置端 S:脉冲间隔值设置。

[0103] 第一采样保持单元输出信号为:在每个采样脉冲时刻 t_n 对输入过程信号进行采样,在每个采样脉冲消失后将采样信号进行保持,则输出为: $U(t_n)$;

[0104] 第二采样保持单元输出信号为:在每个采样脉冲时刻 t_n 对输入过程信号的纯延时信号进行采样,在每个采样脉冲消失后将采样信号进行保持。因为信号延时了 T_n 值,相当于在 t_{n-1} 时刻对输入过程信号进行采样并保持,则输出为: $U(t_{n-1})$;

[0105] 第一减法器单元输出信号为:过程信号在采样脉冲时刻 t_n 的阶跃分解信号,则输出为:

[0106] $I_n = U(t_n) - U(t_{n-1})$ $n = 1, 2 \dots, N$ 。

[0107] 所述阶跃信号转换模块又进一步包括:幅值计算模块和相位计算模块;

[0108] 所述幅值计算模块包括除法器单元,除法器单元的第一输入端连接所述阶跃信号分解模块中第一减法器单元的输出端,除法器单元的第二输入端用于接收给定分析频率信

号；

[0109] 除法器单元接收来自所述阶跃信号分解模块中第一减法器单元的输出信号和给定分析频率信号并对其进行除法运算；

[0110] 所述相位计算模块包括累积计时单元、乘法器单元和第二减法器单元，累积计时单元的使能端用于接收启动分析信号，累积计时单元的累积计时间隔值设置端用于接收采样间隔信号作为累积计时间隔值，累积计时单元的累积计时值复位端用于接收复位信号，累积计时单元的输出端连接乘法器单元的第二输入端，乘法器单元的第一输入端用于接收给定分析频率信号，乘法器单元的输出端连接第二减法器单元的第二输入端，第二减法器单元的第一输入端用于接收相位信号；

[0111] 累积计时单元接收启动分析信号用于控制累积计时，接收采样间隔信号用于设置累积计时间隔值，接收复位信号用于进行累积计时值复位，乘法器单元接收给定分析频率信号和来自累积计时单元的输出信号并对其进行乘法运算，第二减法器单元接收相位信号和来自乘法器单元的输出信号并对其进行减法运算。

[0112] 幅值计算模块：由除法器单元构成，单元被除数端接上述过程信号在采样脉冲时刻 t_n 的阶跃分解信号、单元除数端接给定分析频率，则除法器单元输出信号为：过程信号在采样脉冲时刻 t_n 的阶跃分解信号在给定分析频率 ω 的幅值： $\frac{I_n}{\omega}$ 。

[0113] 相位计算模块：由累积计时单元、乘法器单元、第二减法器单元构成；

[0114] 累积计时单元产生一个相对起始时间的纯延时值 t_n ，纯延时值按采样间隔 T_n 进行累积，则累积计时单元输出为：相对起始时间的纯延时值 t_n ；

[0115] 累积计时单元说明下：

[0116] 使能端 EN：累积计时控制端，输入 ON 开始累积计时；

[0117] 输出端 Y：累积计时值输出；

[0118] 累积计时间隔值设置端 S：累积计时值间隔设置；

[0119] 累积计时值复位端 R：累积计时值复位。

[0120] 乘法器单元，用于给定分析频率 ω 乘上述相对起始时间的纯延时值 t_n ，则乘法器单元输出为：相对起始时间纯延时值 t_n 的（弧度）相位： $t_n \omega$ ；

[0121] 第二减法器单元，用于将固定（弧度）相位 -0.5π 减上述相对起始时间纯延时值 t_n 的（弧度）相位 $t_n \omega$ ，则第二减法器单元输出为：过程信号在采样脉冲时刻 t_n 的阶跃分解信号在给定分析频率 ω 的相位 $\varphi_n(\omega) = -(0.5\pi + t_n \omega)$ 。

[0122] 所述频率信号分解模块包括第一运算单元和第二运算单元，第一运算单元的第一输入端连接所述幅值计算模块中的除法器单元的输出端，第一运算单元的第二输入端连接所述相位计算模块中的第二减法器单元的输出端，第二运算单元的第一输入端连接所述相位计算模块中的第二减法器单元的输出端，第二运算单元的第二输入端连接所述幅值计算模块中的除法器单元的输出端；

[0123] 第一运算单元接收来自所述幅值计算模块中的除法器单元的输出信号和所述相位计算模块中的第二减法器单元的输出信号，并对其进行运算，第二运算单元接收来自所述相位计算模块中的第二减法器单元的输出信号和所述幅值计算模块中的除法器单元的

输出信号,并对其进行运算;

[0124] 第一运算单元的第一输入端接入上述的阶跃分解信号在给定分析频率的幅值 $\frac{I_n}{\omega}$,第二输入端接入上述的阶跃分解信号在给定分析频率的相位 $\varphi_n(\omega)$,运算关系为:

$$I_{y-n}(\omega) = \frac{I_n}{\omega} \sin(\varphi_n(\omega)) ;$$

[0125] 则第一运算单元输出为:阶跃分解信号在给定分析频率分解的Y方向相量: $I_{y-n}(\omega)$;

[0126] 第二运算单元的第一输入端接入上述的阶跃分解信号在给定分析频率的幅值 $\frac{I_n}{\omega}$,第二输入端接入上述的阶跃分解信号在给定分析频率的相位 $\varphi_n(\omega)$,运算关系为:

$$I_{x-n}(\omega) = \frac{I_n}{\omega} \cos(\varphi_n(\omega)) ;$$

[0127] 则第二运算单元输出为:阶跃分解信号在给定分析频率分解的X方向相量: $I_{x-n}(\omega)$ 。

[0128] 所述相量累积模块包括第一累积器单元和第二累积器单元,第一累积器单元的使能端用于接收启动分析信号,第一累积器单元的累积值复位端用于接收复位信号,第一累积单元的输入端连接所述频率信号分解模块中的第一运算单元的输出端,第二累积器单元的使能端用于接收启动分析信号,第二累积器单元的累积值复位端用于接收复位信号,第二累积单元的输入端连接所述频率信号分解模块中的第二运算单元的输出端;

[0129] 第一累积器单元接收启动分析信号用于控制累积运算,接收复位信号用于进行累积值复位,接收所述频率信号分解模块中的第一运算单元的输出信号并对其进行累积运算,第二累积器单元接收启动分析信号用于控制累积运算,接收复位信号用于进行累积值复位,接收所述频率信号分解模块中的第二运算单元的输出信号并对其进行累积运算;

[0130] 第一累积器单元:用于对过程信号的阶跃分解信号在给定分析频率分解的Y方向相量进行累积,则第一累积器单元输出为:

$$[0131] \quad I_y(\omega) = \sum_{n=1}^N I_{y-n}(\omega) ;$$

[0132] 第二累积器单元:用于对过程信号的阶跃分解信号在给定分析频率分解的X方向相量进行累积,则第二累积器单元输出为:

$$[0133] \quad I_x(\omega) = \sum_{n=1}^N I_{x-n}(\omega) .$$

[0134] 第一累积器单元、第二累积器单元说明如下:

[0135] 输入端X:输入信号;

[0136] 输出端Y:输出信号;

[0137] 使能端EN:控制端,ON时开始累积运算;

[0138] 累积值复位端R:复位控制,ON时累积值复位。

[0139] 所述频率信号恢复模块包括幅值运算单元和相位运算单元,幅值运算单元的第一

输入端连接所述相量累积模块中的第一累积器单元的输出端,幅值运算单元的第二输入端连接所述相量累积模块中的第二累积器单元的输出端,相位运算单元的第一输入端连接所述相量累积模块中的第一累积器单元的输出端,相位运算单元的第二输入端连接所述相量累积模块中的第二累积器单元的输出端;

[0140] 幅值运算单元接收所述相量累积模块中的第一累积器单元和第二累积器单元的輸出信号,对其进行运算并输出过程信号在给定分析频率的幅值信号;相位运算单元接收所述相量累积模块中的第一累积器单元和第二累积器单元的輸出信号,对其进行运算并输出过程信号在给定分析频率的相位信号。

[0141] 幅值运算单元的第一输入端 X1 接入上输出 Y 方向相量的累积值 $I_y(\omega)$,第二输入端 X2 接入上输出 X 方向相量的累积值 $I_x(\omega)$,运算关系为: $H(\omega) = \sqrt{(I_y(\omega))^2 + (I_x(\omega))^2}$,则幅值运算单元输出为:时间窗口宽度为 T 的过程信号在给定分析频率的幅值;

[0142] 相位运算单元的第一输入端 X1 接入上输出 Y 方向相量的累积值 $I_y(\omega)$,第二输入端 X2 接入上输出 X 方向相量的累积值 $I_x(\omega)$,运算关系为: $\varphi(\omega) = \arctan(I_y(\omega)/I_x(\omega))$,则相位运算单元输出为:时间窗口宽度为 T 的过程信号在给定分析频率的相位。

[0143] 需要说明的是,时间窗口宽度 T 已隐含在启动分析信号中,启动分析信号为 ON 的时间长度即为时间窗口宽度 T,在启动分析信号为 ON 的整个时间内,输出分析结果是不断变化的(除非输入过程信号的幅值已稳定不变化)。当分析结束,即启动分析信号转为 OFF 时,给定分析频率的幅值和相位输出结果方有效。每次启动分析,只能给出一个给定分析频率的分析结果。对于多个给定频率的分析,需要多次启动分析。在每次启动分析前,必须进行一次复位,目的是将前次的分析结果清除。

[0144] 通过以上的实施方式的描述,本领域的技术人员可以清楚地了解到本发明可借助软件加必需的硬件平台的方式来实现,当然也可以全部通过硬件来实施。基于这样的理解,本发明的技术方案对背景技术做出贡献的全部或者部分可以以软件产品的形式体现出来,该计算机软件产品可以存储在存储介质中,如 ROM/RAM、磁碟、光盘等,包括若干指令用以使得一台计算机设备(可以是个人计算机,服务器,或者网络设备等)执行本发明各个实施例或者实施例的某些部分所述的方法。

[0145] 以上所述的本发明实施方式,并不构成对本发明保护范围的限定。任何在本发明的精神和原则之内所作的修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的权利要求保护范围之内。

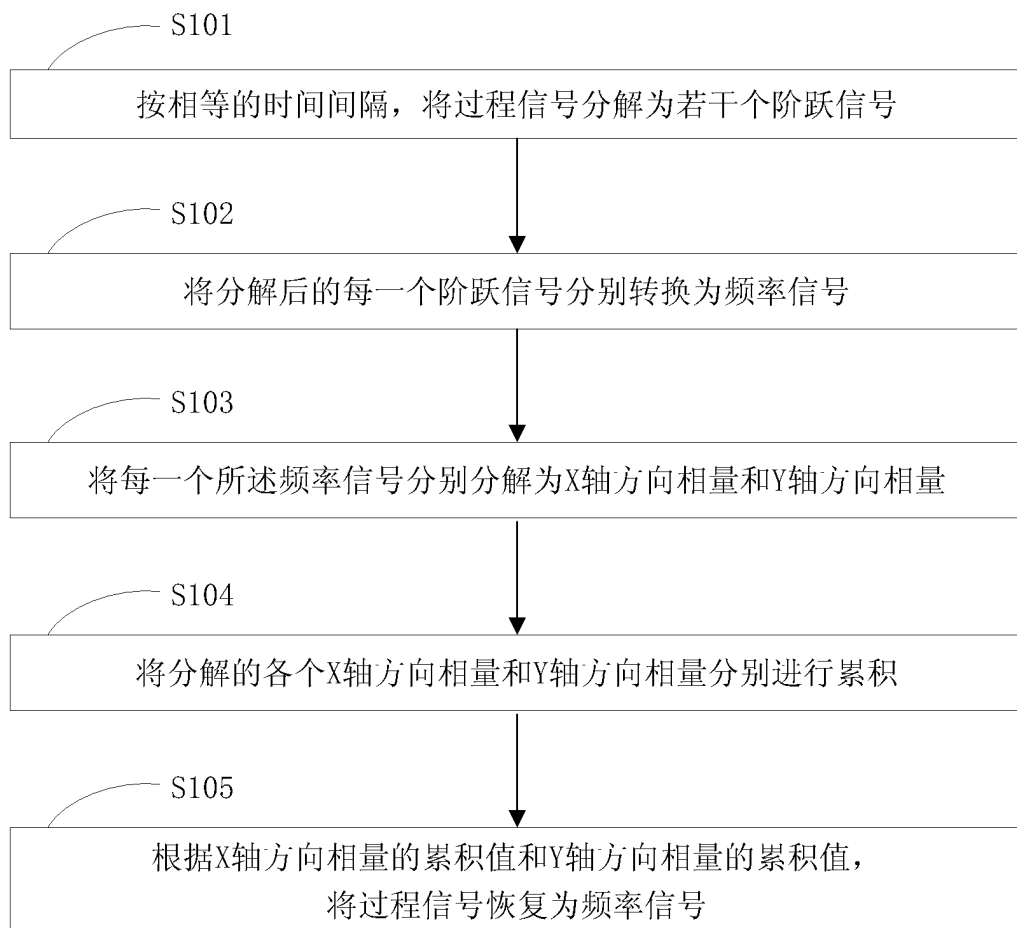


图 1

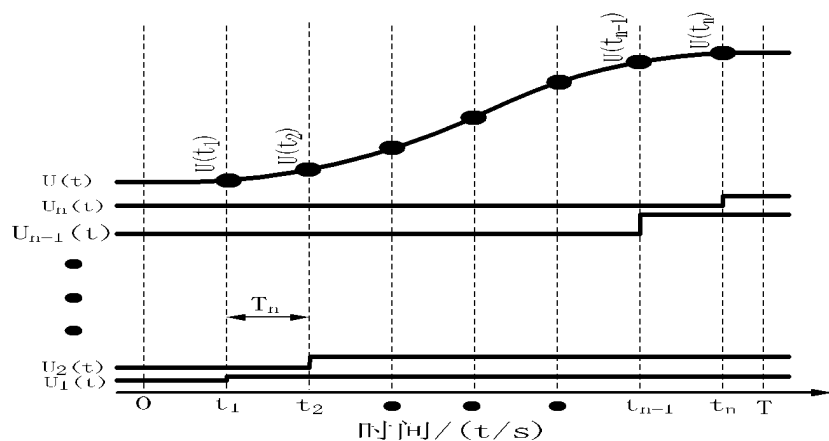


图 2

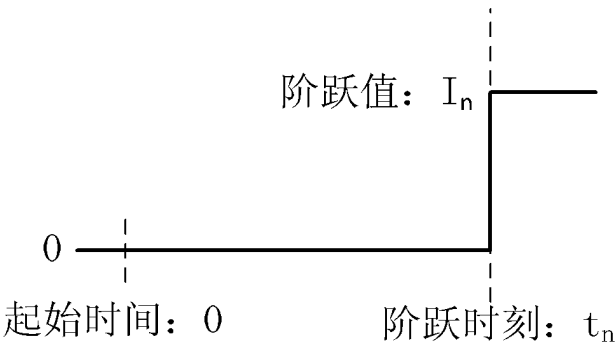


图 3

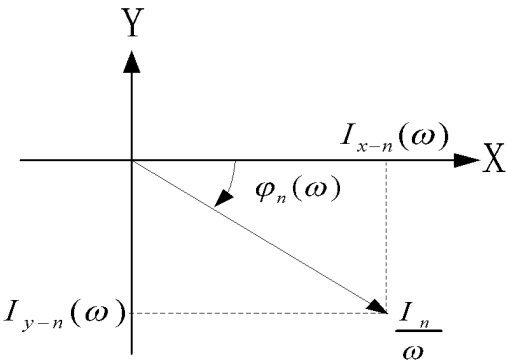


图 4



图 5

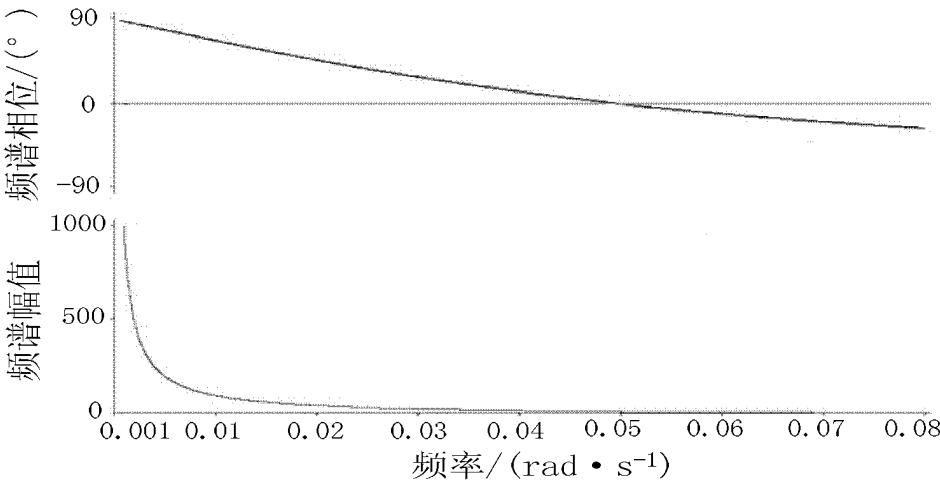


图 6

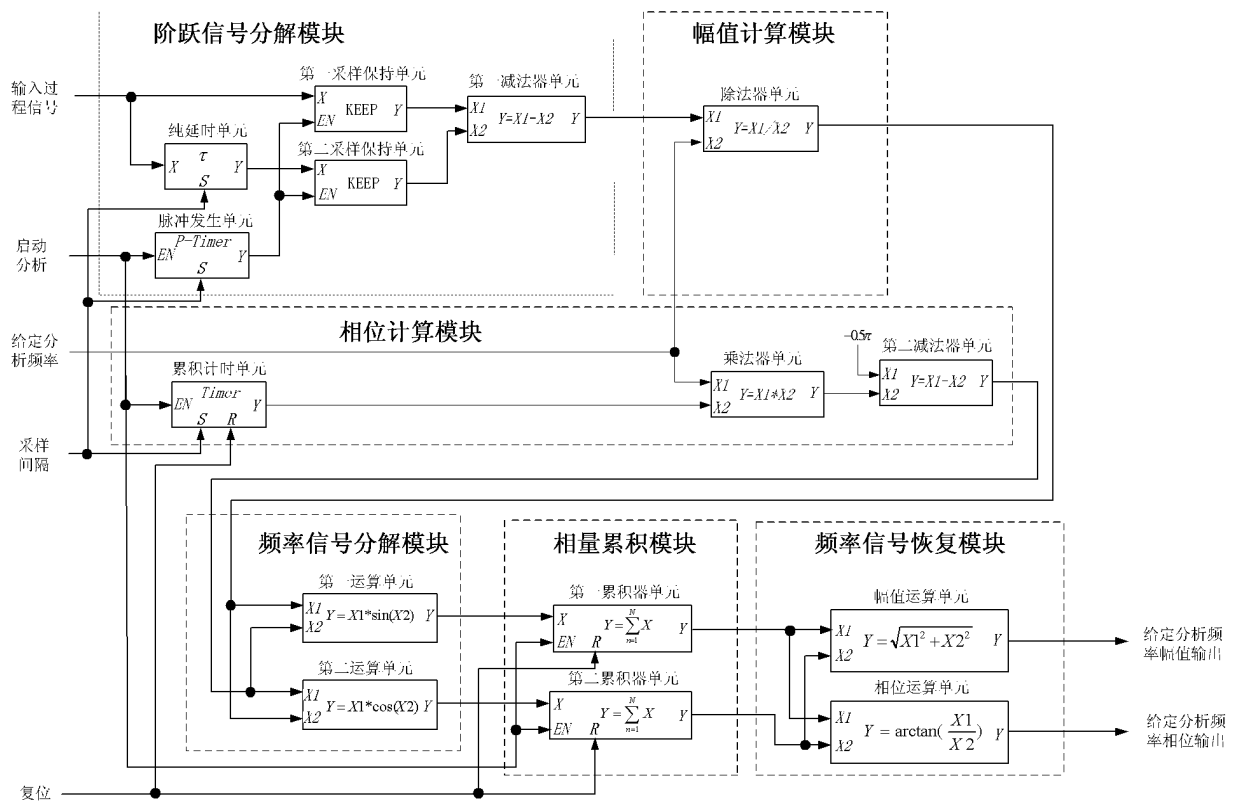


图 7