



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111830348 B

(45) 授权公告日 2023.05.02

(21) 申请号 202010705098.6

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2020.07.21

G01R 31/00 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

G01R 25/00 (2006.01)

申请公布号 CN 111830348 A

G01R 19/00 (2006.01)

(43) 申请公布日 2020.10.27

G01R 19/04 (2006.01)

G06F 17/16 (2006.01)

(73) 专利权人 国网四川省电力公司电力科学研究院

审查员 蔡文亮

地址 610000 四川省成都市青羊区青华路24号25栋1-7号

(72) 发明人 李小鹏 冯世林 吴杰 李世龙 龙呈 罗荣森

(74) 专利代理机构 成都行之专利代理事务所 (普通合伙) 51220

专利代理师 李朝虎

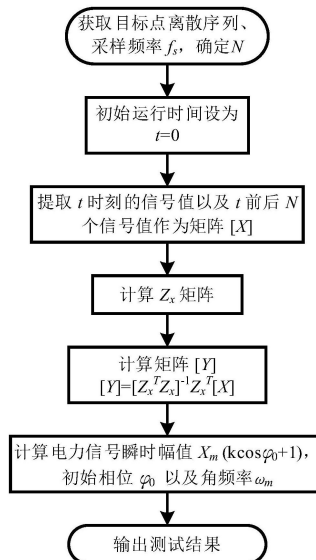
权利要求书2页 说明书8页 附图4页

(54) 发明名称

一种低频振荡下的动态同步相量测量方法和装置

(57) 摘要

本发明公开了一种低频振荡下的动态同步相量测量方法和装置,方法包括步骤:先获得目标点的电压或电流构成离散序列;确定2N+1个数据构成采样矩阵;根据系数矩阵模板计算出t时刻的系数矩阵;基于采样矩阵和系数矩阵计算出辅助矩阵;基于辅助矩阵计算目标点的信号初相角、低频振荡角频率及电力信号瞬时幅值;最后输出测量结果。本测量方法在仅有幅值或者相位的低频振荡下同样可以满足IEEE Std C37.118.1™-2011的测量标准对3%TVE要求;面对理想信号的幅值和相位同时低频振荡的工况,能满足IEEE Std C37.118.1™-2011的测量标准对3%TVE要求,相比仅有幅值和相位调制的方法,基波幅值和相角测量误差更小。



1. 一种低频振荡下的动态同步相量测量方法,其特征在于,包括以下步骤:
- S1、获取目标点的电压或电流,由目标点的电压或电流构成离散序列 $x(n)$;
- S2、确定一个工频采样周期内采样点的个数 N ,选取离散序列 $x(n)$ 中 t 时刻数据、 t 时刻前的 N 个数据和 t 时刻后的 N 个数据构成采样矩阵 $[X]$;
- S3、根据系数矩阵 $[Z_x]$ 模板计算出 t 时刻的系数矩阵 $[Z_x]$;
- S4、基于采样矩阵 $[X]$ 和系数矩阵 $[Z_x]$ 计算出辅助矩阵 $[Y]$;
- S5、基于辅助矩阵 $[Y]$ 计算目标点的信号初相角 φ_0 、低频振荡角频率 ω_m 及电力信号瞬时幅值;

所述目标点的信号初相角 φ_0 、低频振荡角频率 ω_m 及电力信号瞬时幅值根据下式计算:

$$\text{信号初相角 } \varphi_0 = \tan^{-1}\left(-\frac{Y_4}{Y_3}\right) - \frac{\pi}{4}$$

$$\text{低频振荡角频率 } \omega_m = \sqrt{6Y_7/Y_3}$$

$$\text{电力信号瞬时幅值 } X_m(k \cos \varphi_m + 1) = \sqrt{Y_1^2 + Y_2^2}$$

其中, Y_n 表示辅助矩阵 $[Y]$ 中的第 n 个元素,

k 表示低频振荡的幅值,

φ_m 表示低频振荡的初相角;

S6、输出目标点的信号初相角 φ_0 、低频振荡角频率 ω_m 及电力信号瞬时幅值。

2. 根据权利要求1所述的一种低频振荡下的动态同步相量测量方法,其特征在于,所述采样矩阵 $[X]$ 表示为:

$$[X] = [x(-N\Delta t) \quad x(-\Delta t) \quad x(t) \quad x(\Delta t) \quad x(N\Delta t)]^T$$

其中, t 表示采样时刻, Δt 表示采样时间间隔, $x(t)$ 表示 t 时刻的采样值, $[x(-N\Delta t) \quad x(-\Delta t)]$ 表示采样时间 t 之前的 N 个数据, $[x(\Delta t) \quad x(N\Delta t)]$ 表示采样时间 t 之后的 N 个数据。

3. 根据权利要求1所述的一种低频振荡下的动态同步相量测量方法,其特征在于,所述一个工频采样周期为20ms。

4. 根据权利要求1所述的一种低频振荡下的动态同步相量测量方法,其特征在于,所述 N 根据采样频率 f_s 确定, $N = f_s \times 0.02$ 。

5. 根据权利要求1所述的一种低频振荡下的动态同步相量测量方法,其特征在于,所述系数矩阵模板为:

$$[Z_x] = \begin{bmatrix} \cos(\omega_0 N \Delta t) & \cos[\omega_0 (N-1) \Delta t] & L & \cos(0) & \cos(-\omega_0 \Delta t) & L & \cos(-\omega_0 N \Delta t) \\ -\sin(\omega_0 N \Delta t) & -\sin[\omega_0 (N-1) \Delta t] & L & -\sin(0) & -\sin(-\omega_0 \Delta t) & L & -\sin(-\omega_0 N \Delta t) \\ -N \Delta t \cos(\omega_0 N \Delta t) & -(N-1) \Delta t \cos[\omega_0 (N-1) \Delta t] & L & 0 & \Delta t \cos(-\omega_0 \Delta t) & L & N \Delta t \cos(-\omega_0 N \Delta t) \\ -N \Delta t \sin(\omega_0 N \Delta t) & -(N-1) \Delta t \sin[\omega_0 (N-1) \Delta t] & L & 0 & \Delta t^2 \cos(-\omega_0 \Delta t) & L & N \Delta t \sin(-\omega_0 N \Delta t) \\ (N \Delta t)^2 \cos(\omega_0 N \Delta t) & [(N-1) \Delta t]^2 \cos[\omega_0 (N-1) \Delta t] & L & 0 & \Delta t^2 \cos(-\omega_0 \Delta t) & L & (N \Delta t)^2 \cos(-\omega_0 N \Delta t) \\ (N \Delta t)^2 \sin(\omega_0 N \Delta t) & [(N-1) \Delta t]^2 \sin[\omega_0 (N-1) \Delta t] & L & 0 & \Delta t^2 \sin(-\omega_0 \Delta t) & L & (N \Delta t)^2 \sin(-\omega_0 N \Delta t) \\ (N \Delta t)^3 \cos(\omega_0 N \Delta t) & [(N-1) \Delta t]^3 \cos[\omega_0 (N-1) \Delta t] & L & 0 & -\Delta t^3 \cos(-\omega_0 \Delta t) & L & -(N \Delta t)^3 \cos(-\omega_0 N \Delta t) \\ (N \Delta t)^3 \sin(\omega_0 N \Delta t) & [(N-1) \Delta t]^3 \sin[\omega_0 (N-1) \Delta t] & L & 0 & -\Delta t^3 \sin(-\omega_0 \Delta t) & L & -(N \Delta t)^3 \sin(-\omega_0 N \Delta t) \end{bmatrix}^T$$

其中, ω_0 表示额定基波角频率, Δt 表示采样时间间隔。

6. 根据权利要求1所述的一种低频振荡下的动态同步相量测量方法,其特征在于,系数矩阵 $[Z_x]$ 是一个维度为 $8 \times (2N+1)$ 的常数矩阵。

7. 根据权利要求1所述的一种低频振荡下的动态同步相量测量方法,其特征在于,根据式 $[Y] = [Z_x^T Z_x]^{-1} Z_x^T [X]$,利用最小二乘法计算辅助矩阵 $[Y]$ 中的元素 Y_n 。

8. 根据权利要求1所述的一种低频振荡下的动态同步相量测量方法,其特征在于,由于 $[Z_x^T Z_x]^{-1} Z_x^T$ 是矩阵 $[Z_x]$ 的左伪逆,记作 $[Z_x]^+$,因此 $[Y] = [Z_x^T Z_x]^{-1} Z_x^T [X] = [Z_x]^+ [X]$ 。

9. 一种低频振荡下的动态同步相量测量装置,其特征在于,用于实现权利要求1-8任意一项所述的低频振荡下的动态同步相量测量方法,包括:数据获取装置、采样装置、第一计算装置、第二计算装置、第三计算装置和输出装置;

数据获取装置用于获取目标点的电压或电流,根据目标点的电压或电流构建离散序列 $x(n)$;

采样装置用于确定一个工频周期内采样点的个数 N ,选取离散序列 $x(n)$ 中 t 时刻数据、 t 时刻前的 N 个数据和 t 时刻后的 N 个数据构成采样矩阵 $[X]$;

第一计算装置根据系数矩阵模板计算出 t 时刻的系数矩阵 $[Z_x]$;

第二计算装置基于采样矩阵 $[X]$ 和系数矩阵 $[Z_x]$ 计算出辅助矩阵 $[Y]$;

第三计算装置基于辅助矩阵 $[Y]$ 计算目标点的信号初相角 φ_0 、低频振荡角频率 ω_m 及电力信号瞬时幅值;

输出装置输出目标点的信号初相角 φ_0 、低频振荡角频率 ω_m 及电力信号瞬时幅值。

一种低频振荡下的动态同步相量测量方法和装置

技术领域

[0001] 本发明涉及智能变电站二次系统技术领域,具体涉及一种低频振荡下的动态同步相量测量方法和装置。

背景技术

[0002] 随着电力电子设备在现代电网中的广泛应用以及分布式发电大规模并网,此时很有可能发生发电机的自动调节器与实际响应时间不匹配,从而导致低频振荡等干扰事件发生的频率越来越频繁,这对电网的动态安全监测提出了一系列新的挑战。因此,数据监控与采集系统和相量测量单元受到了国内外广泛关注。传统的监控与数据采集系统由于没有统一的时间,导致难以及时同步数据,并且该系统主要关注电力系统的稳态状态监测,因此,无法对电力系统进行实时动态分析。

[0003] 而现有的广域测量系统和相量测量单元具有全球定位系统的绝对时间,可以用于实时采集同步相量数据。良好的同步相量测量方法还能够准确监测电网电压信号,从而更好地保证电力系统的安全稳定运行。现有的同步相量测量方法大致分为两类,一类是采用离散傅立叶变换为代表的静态方法,以其计算量小、速度快、谐波抑制性能高等优点,在同步相控技术中得到了最广泛的应用,但在各种系统故障和负载不平衡,基频会偏离标称频率,当时间窗函数的宽度不再是工频的整数倍时,结果中会出现频谱泄漏和栅栏效应,这将导致明显的测量误差。另一类是泰勒展开模型法的动态方法,解决了在故障情况下出现频谱泄漏和栅栏效应的问题,主要有幅值的低频振荡泰勒展开模型方法和相位的低频振荡泰勒展开模型方法。

[0004] 虽然通过泰勒展开模型法实现了因为幅值或者相位的低频振荡引起的频谱泄露和栅栏效应,但该方法的参数设计较复杂且难以保证方法的响应时间满足测量标准,在实际工程中幅值和相位几乎都会发生低频振荡,并且当幅值和相位同时发生低频振荡时,泰勒模型法测量同步相量的误差较大。而计及幅值和相位同时低频振荡的同步相量测量方法,其改进的泰勒模型能够处理幅值和相位同时低频振荡的各个动态工况,在运算量、响应时间、抗噪能力、测量精度等方面具有较好的性能体现。

[0005] 因此有必在幅值或者相位发生低频振荡的基础上设计一种幅值和相位同时发生低频振荡的模型,改进基于泰勒展开模型幅值调制和相位调制的动态同步相量测量方法。

发明内容

[0006] 本发明所要解决的技术问题是:当幅值和相位同时发生低频振荡时,现有的同步相量测算方法测量精度急剧下降,难以满足同步相量测量要求。

[0007] 为解决上述技术问题,本发明提供一种低频振荡下的动态同步相量测量方法和装置。

[0008] 本发明通过下述技术方案实现:

[0009] 本发明提供一种低频振荡下的动态同步相量测量方法,包括以下步骤:

- [0010] S1、获取目标点的电压或电流,由目标点的电压或电流构成离散序列 $x(n)$;
- [0011] S2、确定一个工频采样周期内采样点的个数 N ,选取离散序列 $x(n)$ 中 t 时刻数据、 t 时刻前的 N 个数据和 t 时刻后的 N 个数据构成采样矩阵 $[X]$;
- [0012] S3、根据系数矩阵 $[Z_x]$ 模板计算出 t 时刻的系数矩阵 $[Z_x]$;
- [0013] S4、基于采样矩阵 $[X]$ 和系数矩阵 $[Z_x]$ 计算出辅助矩阵 $[Y]$;
- [0014] S5、基于辅助矩阵 $[Y]$ 计算目标点的信号初相角 φ_0 、低频振荡角频率 ω_m 及电力信号瞬时幅值;
- [0015] S6、输出目标点的信号初相角 φ_0 、低频振荡角频率 ω_m 及电力信号瞬时幅值。

[0016] 优选地,所述采样矩阵 $[X]$ 表示为:

$$[0017] \quad [X] = [x(-N\Delta t) \cdots x(-\Delta t) \quad x(t) \quad x(\Delta t) \cdots x(N\Delta t)]^T$$

[0018] 其中, t 表示采样时刻, Δt 表示采样时间间隔, $x(t)$ 表示 t 时刻的采样值, $[x(-N\Delta t) \cdots x(-\Delta t)]$ 表示采样时间 t 之前的 N 个数据, $[x(\Delta t) \cdots x(N\Delta t)]$ 表示采样时间 t 之后的 N 个数据。

[0019] 优选地,所述一个工频采样周期为20ms。

[0020] 优选地,所述 N 根据采样频率 f_s 确定, $N=f_s \times 0.02$ 。

[0021] 优选地,所述系数矩阵模板为:

$$[0022] \quad [Z_x] = \begin{bmatrix} \cos(\omega_0 N \Delta t) & \cos[\omega_0 (N-1) \Delta t] & \cdots & \cos(0) & \cos(-\omega_0 \Delta t) & \cdots & \cos(-\omega_0 N \Delta t) \\ -\sin(\omega_0 N \Delta t) & -\sin[\omega_0 (N-1) \Delta t] & \cdots & -\sin(0) & -\sin(-\omega_0 \Delta t) & \cdots & -\sin(-\omega_0 N \Delta t) \\ -N \Delta t \cos(\omega_0 N \Delta t) & -(N-1) \Delta t \cos[\omega_0 (N-1) \Delta t] & \cdots & 0 & \Delta t \cos(-\omega_0 \Delta t) & \cdots & N \Delta t \cos(-\omega_0 N \Delta t) \\ -N \Delta t \sin(\omega_0 N \Delta t) & -(N-1) \Delta t \sin[\omega_0 (N-1) \Delta t] & \cdots & 0 & \Delta t^2 \cos(-\omega_0 \Delta t) & \cdots & N \Delta t \sin(-\omega_0 N \Delta t) \\ (N \Delta t)^2 \cos(\omega_0 N \Delta t) & [(N-1) \Delta t]^2 \cos[\omega_0 (N-1) \Delta t] & \cdots & 0 & \Delta t^2 \cos(-\omega_0 \Delta t) & \cdots & (N \Delta t)^2 \cos(-\omega_0 N \Delta t) \\ (N \Delta t)^2 \sin(\omega_0 N \Delta t) & [(N-1) \Delta t]^2 \sin[\omega_0 (N-1) \Delta t] & \cdots & 0 & \Delta t^2 \sin(-\omega_0 \Delta t) & \cdots & (N \Delta t)^2 \sin(-\omega_0 N \Delta t) \\ (N \Delta t)^3 \cos(\omega_0 N \Delta t) & [(N-1) \Delta t]^3 \cos[\omega_0 (N-1) \Delta t] & \cdots & 0 & -\Delta t^3 \cos(-\omega_0 \Delta t) & \cdots & -(N \Delta t)^3 \cos(-\omega_0 N \Delta t) \\ (N \Delta t)^3 \sin(\omega_0 N \Delta t) & [(N-1) \Delta t]^3 \sin[\omega_0 (N-1) \Delta t] & \cdots & 0 & -\Delta t^3 \sin(-\omega_0 \Delta t) & \cdots & -(N \Delta t)^3 \sin(-\omega_0 N \Delta t) \end{bmatrix}^T$$

[0023] 其中, ω_0 表示额定基波角频率, Δt 表示采样时间间隔。

[0024] 优选地,系数矩阵 $[Z_x]$ 是一个维度为 $8 \times (2N+1)$ 的常数矩阵。

[0025] 优选地,所述目标点的信号初相角 φ_0 、低频振荡角频率 ω_m 及电力信号瞬时幅值根

据下式计算:信号初相角 $\varphi_0 = \tan^{-1}\left(-\frac{Y_4}{Y_3}\right) - \frac{\pi}{4}$

[0026] 低频振荡角频率 $\omega_m = \sqrt{6Y_7/Y_3}$

[0027] 电力信号瞬时幅值 $X_m(k \cos \varphi_m + 1) = \sqrt{Y_1^2 + Y_2^2}$

[0028] 其中, Y_n 表示辅助矩阵 $[Y]$ 中的第 n 个元素,

[0029] k 表示低频振荡的幅值,

[0030] φ_m 表示低频振荡的初相角。

[0031] 优选地,根据式 $[Y] = [Z_x^T Z_x]^{-1} Z_x^T [X]$,利用最小二乘法计算辅助矩阵 $[Y]$ 中的元素

Y_n 。

[0032] 优选地, 由于 $[Z_x^T Z_x]^{-1} Z_x^T$ 是矩阵 $[Z_x]$ 的左伪逆, 记作 $[Z_x]^+$, 因此 $[Y] = [Z_x^T Z_x]^{-1} Z_x^T [X] = [Z_x]^+ [X]$ 。

[0033] 本发明还提供一种低频振荡下的动态同步相量测量装置, 包括: 数据获取装置、采样装置、第一计算装置、第二计算装置、第三计算装置和输出装置;

[0034] 数据获取装置用于获取目标点的电压或电流, 根据目标点的电压或电流构建离散序列 $x(n)$;

[0035] 采样装置用于确定一个工频周期内采样点的个数 N , 选取离散序列 $x(n)$ 中 t 时刻数据、 t 时刻前的 N 个数据和 t 时刻后的 N 个数据构成采样矩阵 $[X]$;

[0036] 第一计算装置根据系数矩阵模板计算出 t 时刻的系数矩阵 $[Z_x]$;

[0037] 第二计算装置基于采样矩阵 $[X]$ 和系数矩阵 $[Z_x]$ 计算出辅助矩阵 $[Y]$;

[0038] 第三计算装置基于辅助矩阵 $[Y]$ 计算目标点的信号初相角 φ_0 、低频振荡角频率 ω_m 及电力信号瞬时幅值;

[0039] 输出装置输出目标点的信号初相角 φ_0 、低频振荡角频率 ω_m 及电力信号瞬时幅值。

[0040] 本发明原理:

[0041] T1: 使电力信号相量模型 $x(t)$ 为:

$$[0042] \quad x(t) = X_m(t) \cos[\omega_0 t + \varphi(t)]$$

[0043] 式中, $X_m(t)$ 表示电力信号瞬时幅值, ω_0 表示系统角频率, 在 50Hz 的电力系统中等于 100π , $\varphi(t)$ 表示电力信号瞬时相位角;

[0044] T2: 由于幅值和相位的低频振荡区间小, 因此将幅值和相位的低频振荡记为 $k \cos(\omega_m t + \varphi_m)$, 因此 $X_m(t)$ 和 $\varphi(t)$ 可以表示为:

$$[0045] \quad X_m(t) = X_m [1 + k \cos(\omega_m t + \varphi_m)]$$

$$[0046] \quad \varphi(t) = k \cos(\omega_m t + \varphi_m) + \varphi_0$$

[0047] 式中, k 表示低频振荡系数, ω_m 表示低频振荡角频率, φ_m 表示低频振荡初相角, φ_0 表示信号初相角;

[0048] T3: 利用 T2 得到 $\varphi(t)$ 代入 T1 中的电力信号相量模型 $x(t)$ 中可得到:

$$[0049] \quad x(t) = X_m(t) \cos[\theta(t) + \Delta\theta(t)]$$

[0050] 式中, $\theta(t)$ 表示原始信号的相位 $\theta(t) = \omega_0 t + \varphi_0$, $\Delta\theta(t)$ 表示低频振荡的相位 $\Delta\theta(t) = k \cos(\omega_m t + \varphi_m)$;

[0051] 由于低频振荡的相位 $\Delta\theta(t)$ 远远小于原始信号的相位 $\theta(t)$ ($\Delta\theta(t) \ll \theta(t)$)。因此, 将电力信号相量模型 $x(t)$ 进行一阶泰勒展开并进行简化, 可以得到:

$$[0052] \quad \cos[\theta(t) + \Delta\theta(t)] \cong \cos[\theta(t)] - \Delta\theta(t) \sin[\theta(t)]$$

[0053] 因此电力信号相量模型 $x(t)$ 可以表示为:

$$[0054] \quad x(t) = X_m(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0) - X_m(t) \sin(\omega_0 t + \varphi_0) [\varphi(t) - \varphi_0]$$

[0055] T4: 再将 S42 得到 $X_m(t)$ 代入 S43 中的电力信号相量模型 $x(t)$ 中可得到:

[0056] $x(t) = X_m[1+k \cos(\omega_m t + \varphi_m)]\cos(\omega_0 t + \varphi_0) - X_m[1+k \cos(\omega_m t + \varphi_m)]\sin(\omega_0 t + \varphi_0)[\varphi(t) - \varphi_0]$

[0057] 式中, $X_m[1+k \cos(\omega_m t + \varphi_m)]\sin(\omega_0 t + \varphi_0)[\varphi(t) - \varphi_0]$ 展开有一项为

$X_m k^2 \cos^2(\omega_m t + \varphi_m)$, 由于低频振荡幅值的平方 k^2 很小, 因此 $X_m k^2 \cos^2(\omega_m t + \varphi_m)$ 可以忽略不计, 于是有:

[0058] $X_m[1+k \cos(\omega_m t + \varphi_m)]\sin(\omega_0 t + \varphi_0)[\varphi(t) - \varphi_0] \approx X_m k \cos(\omega_m t + \varphi_m) \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$

[0059] 因此电力信号相量模型 $x(t)$ 可以表示为:

[0060] $x(t) = X_m[1+k \cos(\omega_m t + \varphi_m)]\cos(\omega_0 t + \varphi_0) - X_m k \cos(\omega_m t + \varphi_m) \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$

[0061] T5: 在一般情况下, 低频振荡的频率范围为 0.1 到 5Hz, 可以认为 $\omega_m / \omega_0 \ll 1$, 因此利用泰勒展开对电力信号相量模型 $x(t)$ 进行线性化:

[0062] $\cos(\omega_m t \pm \varphi_m) = \cos \varphi_m \mp \frac{\omega_m t}{1!} \sin \varphi_m - \frac{(\omega_m t)^2}{2!} \cos \varphi_m \pm \frac{(\omega_m t)^3}{3!} \sin \varphi_m + o(\omega_m^3)$

[0063] 式中, $o(\omega_m^3)$ 表示佩亚诺余项。对电力信号相量模型 $x(t)$ 进行三阶泰勒展开并重新排序, 可得:

[0064] $x(t) \approx Y_1 \cos(\omega_0 t) - Y_2 \sin(\omega_0 t) - Y_3 \cos(\omega_0 t) \times t - Y_4 \sin(\omega_0 t) \times t + Y_5 \cos(\omega_0 t) \times t^2 + Y_6 \sin(\omega_0 t) \times t^2 + Y_7 \cos(\omega_0 t) \times t^3 + Y_8 \sin(\omega_0 t) \times t^3$

[0065] 式中,
$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ Y_4 \\ Y_5 \\ Y_6 \\ Y_7 \\ Y_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_m (\cos \varphi_0 + k \cos \varphi_m \cos \varphi_0 - k \cos \varphi_m \sin \varphi_0) \\ X_m (\sin \varphi_0 + k \cos \varphi_m \cos \varphi_0 + k \cos \varphi_m \sin \varphi_0) \\ X_m k \omega_m \sin \varphi_m (\cos \varphi_0 - \sin \varphi_0) \\ -X_m k \omega_m \sin \varphi_m (\cos \varphi_0 + \sin \varphi_0) \\ X_m k \omega_m^2 \cos \varphi_m (\sin \varphi_0 - \cos \varphi_0) / 2 \\ X_m k \omega_m^2 \cos \varphi_m (\sin \varphi_0 + \cos \varphi_0) / 2 \\ X_m k \omega_m^3 \sin \varphi_m (\cos \varphi_0 - \sin \varphi_0) / 6 \\ -X_m k \omega_m^3 \sin \varphi_m (\cos \varphi_0 + \sin \varphi_0) / 6 \end{bmatrix} \circ$$

[0066] T6: 选取序列 $x(t)$ 中 $2N+1$ 个采样值作为采样矩阵 $[X]$, T5 的表达式可以改写为:

[0067] $[X] = [Z_x] [Y]$

[0068] 式中, $[X] = [x(-N\Delta t) \cdots x(-\Delta t) \ x(0) \ x(\Delta t) \cdots x(N\Delta t)]^T$, $[Y] = [Y_1 \ Y_2 \ \cdots \ Y_8]^T$,

[0069]
$$[Z_x] = \begin{bmatrix} \cos(\omega_0 N \Delta t) & \cdots & \cos(-\omega_0 N \Delta t) \\ -\sin(\omega_0 N \Delta t) & \cdots & -\sin(-\omega_0 N \Delta t) \\ -N \Delta t \cos(\omega_0 N \Delta t) & \cdots & N \Delta t \cos(-\omega_0 N \Delta t) \\ -N \Delta t \sin(\omega_0 N \Delta t) & \cdots & N \Delta t \sin(-\omega_0 N \Delta t) \\ (N \Delta t)^2 \cos(\omega_0 N \Delta t) & \cdots & (N \Delta t)^2 \cos(-\omega_0 N \Delta t) \\ (N \Delta t)^2 \sin(\omega_0 N \Delta t) & \cdots & (N \Delta t)^2 \sin(-\omega_0 N \Delta t) \\ (N \Delta t)^3 \cos(\omega_0 N \Delta t) & \cdots & -(N \Delta t)^3 \cos(-\omega_0 N \Delta t) \\ (N \Delta t)^3 \sin(\omega_0 N \Delta t) & \cdots & -(N \Delta t)^3 \sin(-\omega_0 N \Delta t) \end{bmatrix} \circ$$

[0070] 因此, 矩阵 $[Y]$ 可以利用最小二乘法计算得到:

$$[0071] \quad [Y] = [Z_x^T Z_x]^{-1} Z_x^T [X] = [Z_x]^+ [X]$$

[0072] 根据矩阵[Y]内的元素可以推导出信号初相角 φ_0 、低频振荡角频率 ω_m 以及信号瞬时幅值 $X_m(k \cos \varphi_m + 1)$ ：

$$[0073] \quad \sqrt{Y_1^2 + Y_2^2} = \sqrt{X_m^2 [(k \cos \varphi_m + 1)^2 + k^2 \cos^2 \varphi_m]} \approx X_m (k \cos \varphi_m + 1)$$

$$[0074] \quad \frac{Y_4}{Y_3} = -\frac{\sin \varphi_0 + \cos \varphi_0}{\cos \varphi_0 - \sin \varphi_0} = -\frac{\sqrt{2} \sin(\varphi_0 + \pi/4)}{\sqrt{2} \cos(\varphi_0 + \pi/4)} = -\tan\left(\varphi_0 + \frac{\pi}{4}\right)$$

$$[0075] \quad \varphi_0 = \tan^{-1}\left(-\frac{Y_4}{Y_3}\right) - \frac{\pi}{4}$$

$$[0076] \quad \omega_m = \sqrt{6Y_7/Y_3}$$

[0077] 本发明提高了在电力信号基波同步相量中,当幅值和相位同时发生低频振荡的测量精度,满足测量标准要求。

[0078] 本发明与现有技术相比,具有如下的优点和有益效果:

[0079] 1、本发明采用的同步相量测量方法在仅有幅值或者相位的低频振荡下同样可以满足IEEE Std C37.118.1TM-2011的测量标准对3%TVE要求;

[0080] 2、本发明在幅值和相位同时存在低频振荡的工况下,模型上更加精确。面对理想信号的幅值和相位同时低频振荡的工况,能够满足IEEE Std C37.118.1TM-2011的测量标准对3%TVE要求,相较于仅有幅值和相位调制的方法,基波幅值和相角测量误差更小。

附图说明

[0081] 此处所说明的附图用来提供对本发明实施例的进一步理解,构成本申请的一部分,并不构成对本发明实施例的限定。

[0082] 在附图中:

[0083] 图1为本发明方法流程图;

[0084] 图2为实施例误差对比图;

[0085] 图3为实施例仿真实验结果对比图;

[0086] 图4为实施例仿真误差对比图。

具体实施方式

[0087] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚明白,下面结合实施例和附图,对本发明作进一步的详细说明,本发明的示意性实施方式及其说明仅用于解释本发明,并不作为对本发明的限定。

[0088] 实施例1

[0089] 一种低频振荡下的动态同步相量测量方法,包括以下步骤:

[0090] S1、获取目标点的电压或电流,由目标点的电压或电流构成离散序列 $x(n)$;

[0091] S2、确定一个工频采样周期内采样点的个数N,选取离散序列 $x(n)$ 中t时刻数据、t时刻前的N个数据和t时刻后的N个数据构成采样矩阵[X];

- [0092] S3、根据系数矩阵 $[Z_x]$ 模板计算出t时刻的系数矩阵 $[Z_x]$ ；
 [0093] S4、基于采样矩阵 $[X]$ 和系数矩阵 $[Z_x]$ 计算出辅助矩阵 $[Y]$ ；
 [0094] S5、基于辅助矩阵 $[Y]$ 计算目标点的信号初相角 φ_0 、低频振荡角频率 ω_m 及电力信号瞬时幅值；

[0095] S6、输出目标点的信号初相角 φ_0 、低频振荡角频率 ω_m 及电力信号瞬时幅值。

[0096] 所述采样矩阵 $[X]$ 表示为：

$$[0097] \quad [X] = [x(-N\Delta t) \cdots x(-\Delta t) \quad x(t) \quad x(\Delta t) \cdots x(N\Delta t)]^T$$

[0098] 其中，t表示采样时刻， Δt 表示采样时间间隔， $x(t)$ 表示t时刻的采样值， $[x(-N\Delta t) \cdots x(-\Delta t)]$ 表示采样时间t之前的N个数据， $[x(\Delta t) \cdots x(N\Delta t)]$ 表示采样时间t之后的N个数据。

[0099] 所述一个工频采样周期为20ms。

[0100] 所述N根据采样频率 f_s 确定， $N = f_s \times 0.02$ 。

[0101] 所述系数矩阵模板为：

$$[0102] \quad [Z_x] = \begin{bmatrix} \cos(\omega_0 N \Delta t) & \cos[\omega_0 (N-1) \Delta t] & \cdots & \cos(0) & \cos(-\omega_0 \Delta t) & \cdots & \cos(-\omega_0 N \Delta t) \\ -\sin(\omega_0 N \Delta t) & -\sin[\omega_0 (N-1) \Delta t] & \cdots & -\sin(0) & -\sin(-\omega_0 \Delta t) & \cdots & -\sin(-\omega_0 N \Delta t) \\ -N \Delta t \cos(\omega_0 N \Delta t) & -(N-1) \Delta t \cos[\omega_0 (N-1) \Delta t] & \cdots & 0 & \Delta t \cos(-\omega_0 \Delta t) & \cdots & N \Delta t \cos(-\omega_0 N \Delta t) \\ -N \Delta t \sin(\omega_0 N \Delta t) & -(N-1) \Delta t \sin[\omega_0 (N-1) \Delta t] & \cdots & 0 & \Delta t^2 \cos(-\omega_0 \Delta t) & \cdots & N \Delta t \sin(-\omega_0 N \Delta t) \\ (N \Delta t)^2 \cos(\omega_0 N \Delta t) & [(N-1) \Delta t]^2 \cos[\omega_0 (N-1) \Delta t] & \cdots & 0 & \Delta t^2 \cos(-\omega_0 \Delta t) & \cdots & (N \Delta t)^2 \cos(-\omega_0 N \Delta t) \\ (N \Delta t)^2 \sin(\omega_0 N \Delta t) & [(N-1) \Delta t]^2 \sin[\omega_0 (N-1) \Delta t] & \cdots & 0 & \Delta t^2 \sin(-\omega_0 \Delta t) & \cdots & (N \Delta t)^2 \sin(-\omega_0 N \Delta t) \\ (N \Delta t)^3 \cos(\omega_0 N \Delta t) & [(N-1) \Delta t]^3 \cos[\omega_0 (N-1) \Delta t] & \cdots & 0 & -\Delta t^3 \cos(-\omega_0 \Delta t) & \cdots & -(N \Delta t)^3 \cos(-\omega_0 N \Delta t) \\ (N \Delta t)^3 \sin(\omega_0 N \Delta t) & [(N-1) \Delta t]^3 \sin[\omega_0 (N-1) \Delta t] & \cdots & 0 & -\Delta t^3 \sin(-\omega_0 \Delta t) & \cdots & -(N \Delta t)^3 \sin(-\omega_0 N \Delta t) \end{bmatrix}^T$$

[0103] 其中， ω_0 表示额定基波角频率， Δt 表示采样时间间隔。

[0104] 系数矩阵 $[Z_x]$ 是一个维度为 $8 \times (2N+1)$ 的常数矩阵。

[0105] 所述目标点的信号初相角 φ_0 、低频振荡角频率 ω_m 及电力信号瞬时幅值根据下式计算：

$$[0106] \quad \text{信号初相角 } \varphi_0 = \tan^{-1}\left(-\frac{Y_4}{Y_3}\right) - \frac{\pi}{4}$$

$$[0107] \quad \text{低频振荡角频率 } \omega_m = \sqrt{6Y_7/Y_3}$$

$$[0108] \quad \text{电力信号瞬时幅值 } X_m(k \cos \varphi_m + 1) = \sqrt{Y_1^2 + Y_2^2}$$

[0109] 其中， Y_n 表示辅助矩阵 $[Y]$ 中的第n个元素，

[0110] k表示低频振荡的幅值，

[0111] φ_m 表示低频振荡的初相角。

[0112] 根据式 $[Y] = [Z_x^T Z_x]^{-1} Z_x^T [X]$ ，利用最小二乘法计算辅助矩阵 $[Y]$ 中的元素 Y_n 。

[0113] 由于 $[Z_x^T Z_x]^{-1} Z_x^T$ 是矩阵 $[Z_x]$ 的左伪逆，记作 $[Z_x]^+$ ，因此

$$[Y] = [Z_x^T Z_x]^{-1} Z_x^T [X] = [Z_x]^+ [X]。$$

[0114] 一种低频振荡下的动态同步相量测量装置，包括：数据获取装置、采样装置、第一

计算装置、第二计算装置、第三计算装置和输出装置；

[0115] 数据获取装置用于获取目标点的电压或电流，根据目标点的电压或电流构建离散序列 $x(n)$ ；

[0116] 采样装置用于确定一个工频周期内采样点的个数 N ，选取离散序列 $x(n)$ 中 t 时刻数据、 t 时刻前的 N 个数据和 t 时刻后的 N 个数据构成采样矩阵 $[X]$ ；

[0117] 第一计算装置根据系数矩阵模板计算出 t 时刻的系数矩阵 $[Z_x]$ ；

[0118] 第二计算装置基于采样矩阵 $[X]$ 和系数矩阵 $[Z_x]$ 计算出辅助矩阵 $[Y]$ ；

[0119] 第三计算装置基于辅助矩阵 $[Y]$ 计算目标点的信号初相角 φ_0 、低频振荡角频率 ω_m 及电力信号瞬时幅值；

[0120] 输出装置输出目标点的信号初相角 φ_0 、低频振荡角频率 ω_m 及电力信号瞬时幅值。

[0121] 实施例2

[0122] 仿真实验：

[0123] 为验证本发明方法在幅值和相位同时发生低频振荡的相量测量精度，分别用本发明方法和已公开的仅考虑幅值低频振荡(amplitude modulation, AM)和仅考虑相位低频振荡(phase modulation, PM)的泰勒模型同步相量测量方法，根据IEEE Std C37.118.1TM-2011测量标准的内容，对幅值和相位同时存在低频振荡的情况下的三种信号进行仿真测试。在实验中，基波额定频率 $f_0=50\text{Hz}$ ，采样频率 $f_s=N\times f_0=75\times 50=3750\text{Hz}$ ，三种方法都采用三阶泰勒模型，即 $K=3$ 。仿真将基波相量TVE、FE和REF值作为方法性能评价的标准。

[0124] 1. 静态频率偏移工况下的仿真

[0125] 根据IEEE Std C37.118.1TM-2011测量标准，设置信号静态模型表达式为：

[0126] $x(t) = \cos[2\pi(f_0 + \Delta f')t]$ ，

[0127] 式中， f_0 为系统正常运行时的基波频率50Hz，设基波频率偏移 $\Delta f'$ 的取值从-5Hz到5Hz，间隔固定为1Hz，即基波频率分别为45、46、...、55Hz的情况下，每个频率测试时间为1s，AM、PM以及本方法的TVE、FE和REF值对比图。由图2可知，AM受静态频率偏移的影响十分严重，但都在IEEE标准对TVE、FE和REF的测量要求内。相比之下，本发明能在静态频率偏移的情况下TVE、FE和REF的测量误差都偏小，由于在方法推向上为了平衡方法复杂度以及运行时间做了部分简化，与PM方法相比准确度略有下降，但两种方法的误差都很小，并且满足IEEE的TVE、FE和REF指标。

[0128] 2. 幅值和相位同时发生低频振荡工况下的仿真

[0129] 在实际情况下，幅值和相位的低频振荡是同时存在的，为了验证方法的稳定性和准确性，设置信号模型为：

[0130] $x(t) = X_m \{1 + k_x \cos[(f_0 + \Delta f')t]\} \cos\{\omega_0 t + k_a \cos[(f_0 + \Delta f')t]\}$ ，

[0131] 式中，基波频率偏移 $\Delta f'$ 与仿真1设置相同， k_x 为幅值低频振荡的强度， k_a 为相位低频振荡的强度，根据IEEE Std C37.118.1TM-2011测量标准，设 $k_x=0.1$ ， $k_a=0.1$ ；同样对其基波TVE、FE和REF指标的最大值进行统计，绘制出图3。从图中可以看出，相同参数设置下，本发明方法在幅值和相位同时发生低频振荡工况下得到的基波TVE、FE和REF指标优于AM和PM方法，同步相量测量精度更高。

[0132] 此外，该方法还可以直接估计低频振荡的频率，设低频振荡的角频率 $\omega_m = 2 \times 2\pi \text{ rad/s}$ ，绘制出图4。结果表明，在一个振荡周期内，三种方法的最大误差都控制在0.2%以

内,而本方法比AM和PM方法效果更好。

[0133] 以上所述的具体实施方式,对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明,所应理解的是,以上所述仅为本发明的具体实施方式而已,并不用于限定本发明的保护范围,凡在本发明的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

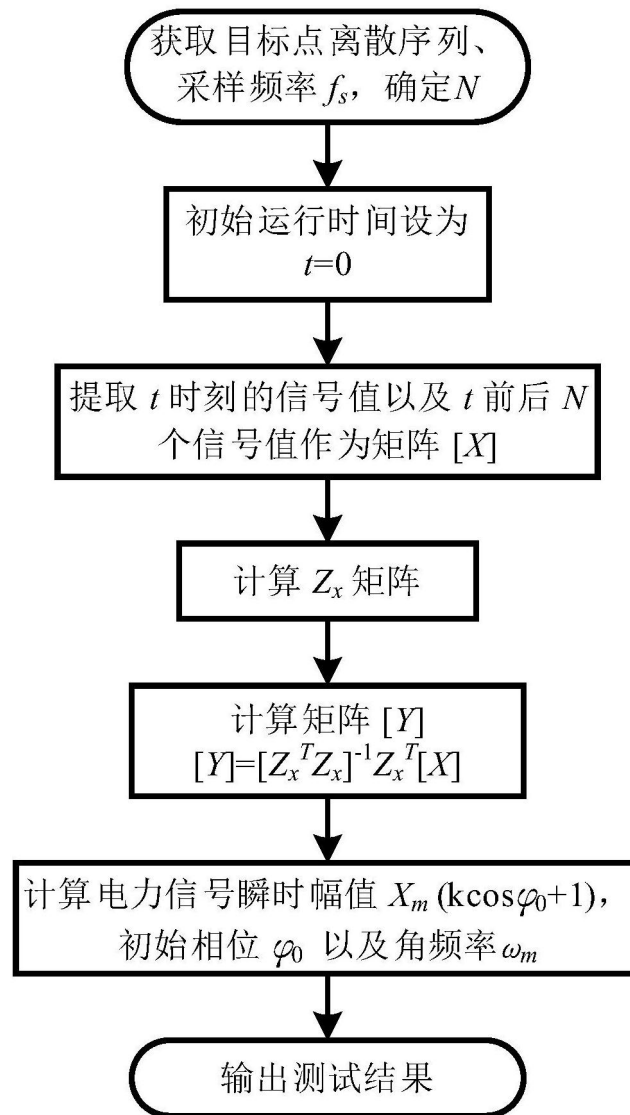


图1

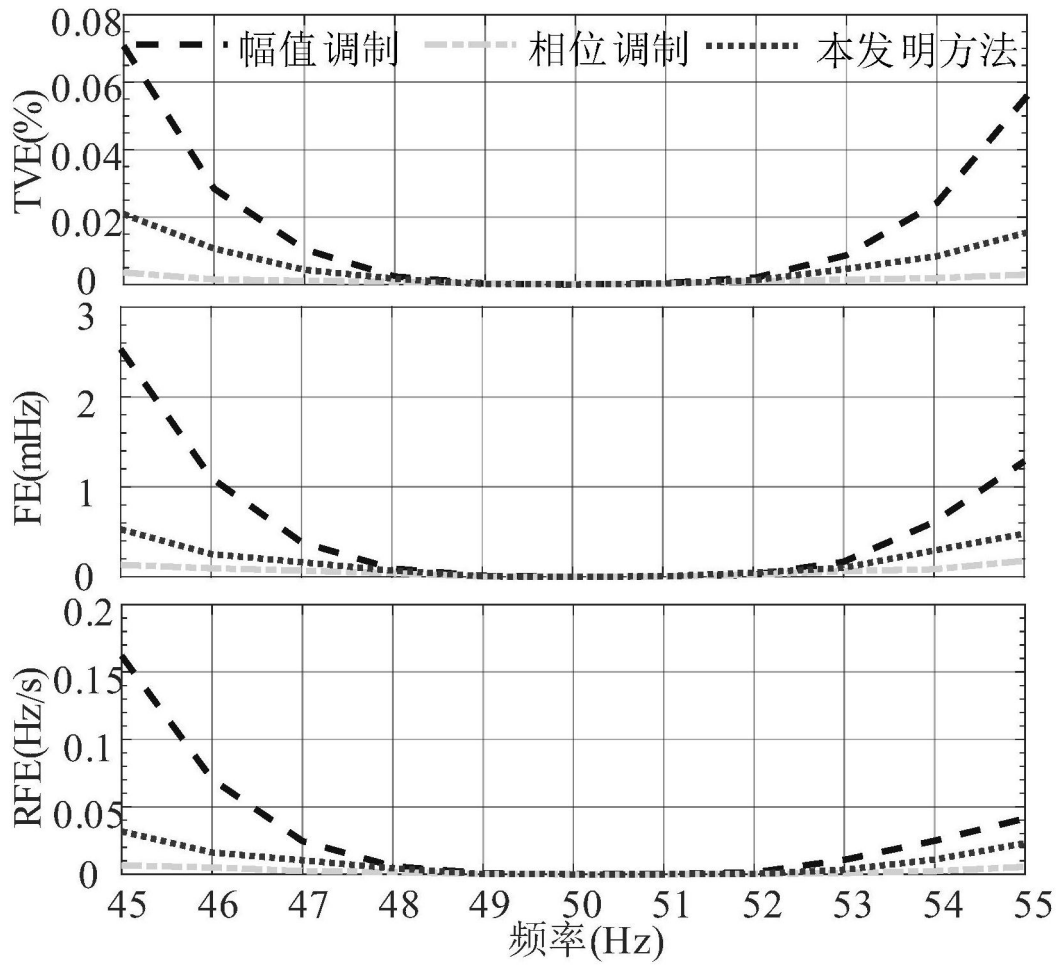


图2

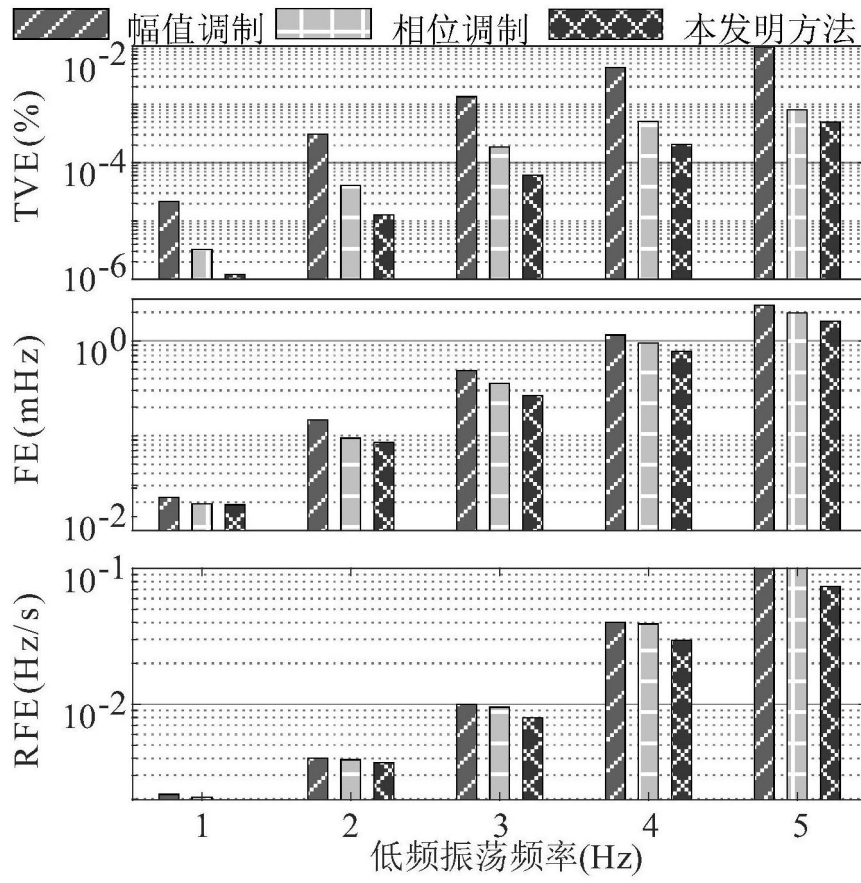


图3

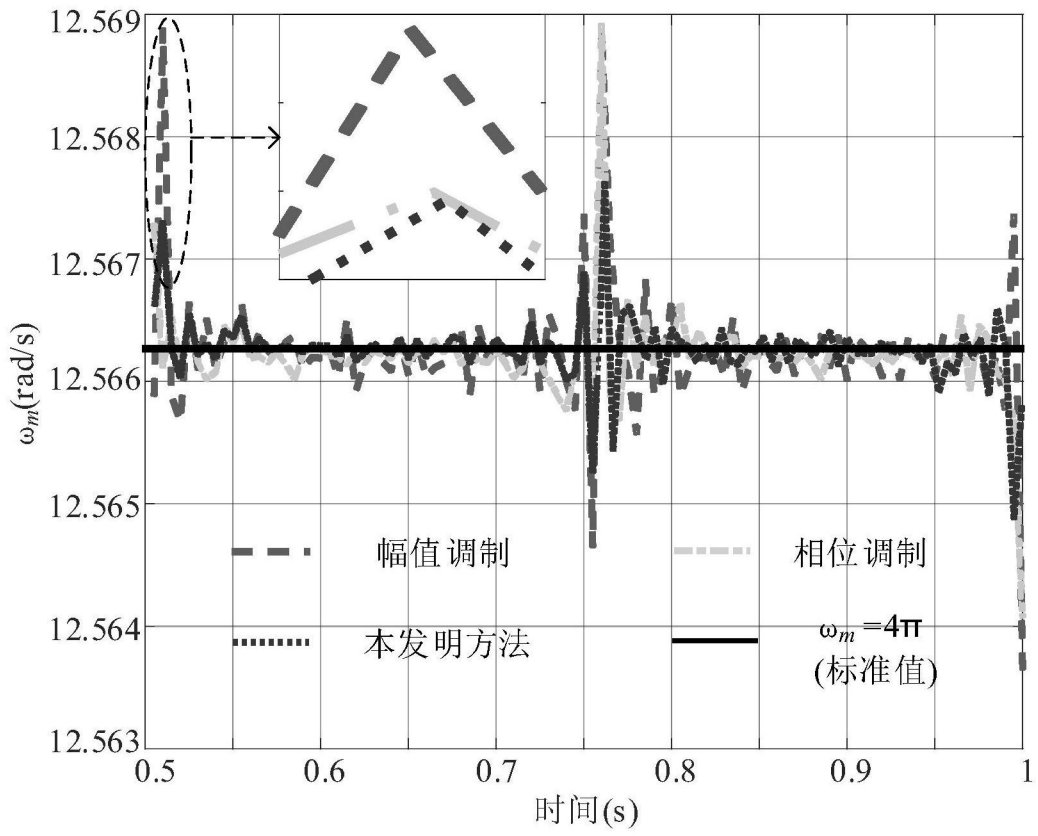


图4