



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106154037 A

(43)申请公布日 2016.11.23

(21)申请号 201610657464.9

(22)申请日 2016.08.11

(71)申请人 中国南方电网有限责任公司

地址 510623 广东省广州市天河区珠江新城华穗路6号

申请人 清华大学

(72)发明人 苏寅生 唐卓尧 李鹏 徐全
陆超 韩英铎 吴京涛

(74)专利代理机构 广州粤高专利商标代理有限公司 44102

代理人 林丽明

(51)Int.Cl.

G01R 25/00(2006.01)

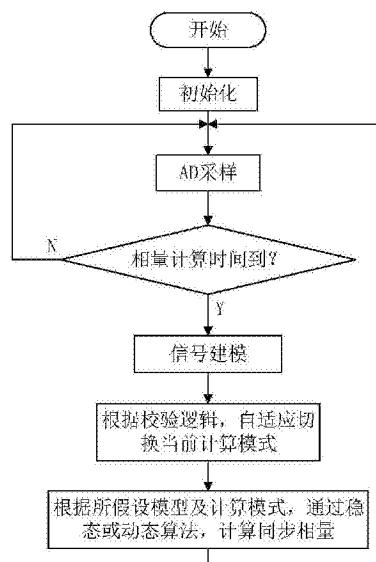
权利要求书2页 说明书4页 附图2页

(54)发明名称

一种基于校验的同步相量自适应计算方法

(57)摘要

本发明是一种基于校验的同步相量自适应计算方法,包括以下步骤:1)初始化,确定每周波采样点数、信号模型阶数及稳态算法中两数据窗的时间间隔;2)建立稳态和动态算法中电力信号的模型;3)通过两个数据窗的DFT结果,求解电力信号的同步相量;4)通过比较反推值和实测值,校验计算结果是否正确,校验通过结束,未通过进入5);5)采用动态算法计算同步相量;6)再次校验,若校验通过则使用动态算法的结果作为最终结果,若未通过则仍使用稳态算法结果作为最终结果。进而自适应切换计算模式,本发明同时兼顾稳态情况的计算精度及暂态情况的动态性能问题,兼顾了准确性和快速性要求。本发明可以广泛应用于电力系统同步相量计算中。



1. 一种基于校验的同步相量自适应计算方法,其特征在于包括以下步骤:

(1) 初始化,确定每周波采样点数N,稳态和动态算法的电力信号模型中幅值和相角的阶数K,稳态算法中两数据窗的间隔1点;

(2) 信号建模,该方法采用复信号P(t)表示电力信号的动态相量为 $P(t)=a(t)e^{j\theta(t)}$,电力信号x(t)表示为: $x(t)=P(t)e^{j2\pi f_0 t}+P^*(t)e^{-j2\pi f_0 t}$,式中:a(t)和θ(t)分别表示电力信号幅值和相角的多项式;f₀为额定频率;稳态算法模型假设计算周期内幅值恒定,频率偏差恒定,即a(t)=a,θ(t)=θ₀+θ₁t;动态算法中为更好反映信号的动态特征,假设相量模型中幅值和相角均为K阶模型,即 $a(t)=\sum_{i=0}^K a_i t^i$, $\theta(t)=\sum_{i=0}^K \theta_i t^i$;

(3) 通过两个数据窗数据的DFT(Discrete Fourier Transform,离散傅里叶变换)结果,求解电力信号的同步相量,

$$\text{模型参数: } \theta_1 = \frac{\frac{2\pi(\theta_c - \theta_{cl} - \frac{2\pi}{N}l)}{N}}{\frac{2\pi l}{Nf_0} - \frac{\sin(2\theta_c - \frac{2\pi}{N}) - \sin(2\theta_{cl} - \frac{2\pi}{N})}{2f_0}}$$

$$\text{校正后相角: } \theta_0 = \theta_c + \frac{B \sin(2\theta_c - \frac{2\pi}{N})}{1 - B \cos(2\theta_c - \frac{2\pi}{N})} - \frac{\theta_1(N-1)}{2Nf_0},$$

$$\text{校正后幅值: } a = \frac{a_c}{\sqrt{\frac{24f_0^2 - \theta_1^2}{24f_0^2} \cdot \sqrt{1 + B^2 + 2B \cos C}}}$$

式中:θ_c和θ_{c1}为校正前两数据窗分别计算角度,a_c为校正前DFT计算的幅值,
 $B = \sin(\frac{\theta_1}{2Nf_0}) / \sin(\frac{\theta_1 + 4\pi f_0}{2Nf_0})$, $C = 2\theta_0 + \frac{(2\pi f_0 + \theta_1)(N-1)}{Nf_0}$;

(4) 通过比较反推值和实测值,校验计算结果是否正确,如果校验通过则结束,若未通过则说明当前可能处于突变等动态过程,进入步骤(5);

(5) 假设电力信号为K阶模型,采用已有动态算法求解同步相量,如通过基于同一数据窗各谐波含量计算同步相量的方法;

(6) 同步骤(4),校验动态算法计算结果是否正确,若校验通过则使用动态算法的结果作为最终结果,如果校验未通过则可能故障发生在本数据窗内等动态算法同样无法处理的情况,为避免波动较大仍使用稳态算法结果。

2. 根据权利要求1所述的基于校验的同步相量自适应计算方法,其特征在于上述步骤(4)的具体地校验过程为:通过计算得到的相量,反推各采样点的理论计算值,并与实际测得的点进行比较,若总偏差较小,则校验通过。

3. 根据权利要求1所述的基于校验的同步相量自适应计算方法,其特征在于针对稳态算法,由校正后θ₀、θ₁和a,反推各抽取点理论计算值,抽取点的密度根据实际情况确定。

4. 根据权利要求1所述的基于校验的同步相量自适应计算方法,其特征在于抽取点的理论计算值为:

$$x_c(n_i) = a \cos(\theta_0 + \frac{n_i \theta_1}{Nf_0} + \frac{2\pi n_i}{N})$$

式中: n_i ($i=1, 2, \dots, L$) 为所抽取点, 且 $1 \leq n_i \leq N$; $x_c(n_i)$ 为所抽取点的理论计算值;
理论计算值与实测值之间的总偏差为:

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^L |x_c(n_i) - x_m(n_i)|$$

式中: $x_m(n_i)$ 对应采样点实测值。

一种基于校验的同步相量自适应计算方法

技术领域

[0001] 本发明涉及电力系统自动测量技术领域,是一种基于校验的同步相量自适应计算方法,特别涉及一种高精度和快速响应的同步相量测量方法。

背景技术

[0002] 近年来,以同步相量测量装置(phasor measurement unit,PMU)为基础的广域测量系统在电力系统动态过程监视、在线辨识、安全稳定分析以及广域控制等领域中得到广泛的应用。随着广域测量系统应用研究的不断深入,PMU装置对同步相量测量的要求越来越高,其相量算法的准确性和快速性将直接影响到相关应用功能的可靠性。

[0003] 已有基于DFT(Discrete Fourier Transform,离散傅里叶变换)的修正算法,相对于传统DFT算法,较大的提高了计算精度,但对突变等动态过程响应速度有限,且在幅值时刻变化时难以满足精度要求。而已有基于频域动态模型的算法,利用同一数据窗不同频点滤波器的响应来修正DFT的估计结果,提高了对突变等动态过程的响应速度,但此算法存在噪声和谐波抑制能力弱,且在故障过程中精度低的问题。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种基于校验的同步相量自适应计算方法,该方法对稳态和动态情况,分别设计了稳态算法和动态算法两种不同计算模式,通过反推校验实现二者间的自适应切换,以同时兼顾稳态情况的计算精度及暂态情况的动态性能要求。本发明方法可在不同情况下,通过校验实现计算模式自适应切换,可以兼顾快速响应和高精度的要求。

[0005] 本发明采用的技术方案是:本发明的基于校验的同步相量自适应计算方法,包括以下步骤:

[0006] (1)初始化,确定每周波采样点数N,稳态和动态算法的电力信号模型中幅值和相角的阶数K,稳态算法中两数据窗的间隔1点;

[0007] (2)信号建模,该方法采用复信号 $P(t)$ 表示电力信号的动态相量为 $P(t)=a(t)e^{j\theta(t)}$,电力信号 $x(t)$ 表示为: $x(t)=P(t)e^{j2\pi f_0 t}+P^*(t)e^{-j2\pi f_0 t}$,式中:a(t)和θ(t)分别表示电力信号幅值和相角的多项式;f₀为额定频率;稳态算法模型假设计算周期内幅值恒定,频率偏差恒定,即 $a(t)=a$, $\theta(t)=\theta_0+\theta_1 t$;动态算法中为更好反映信号的动态特征,假设相量模型中幅值和相角均为K阶模型,即 $a(t)=\sum_{i=0}^K a_i t^i$, $\theta(t)=\sum_{i=0}^K \theta_i t^i$;

[0008] (3)通过两个数据窗数据的DFT(Discrete Fourier Transform,离散傅里叶变换)结果,求解电力信号的同步相量,

[0009] 模型参数: $\theta_1 = \frac{2\pi(\theta_c - \theta_{cl} - \frac{2\pi}{N})}{\frac{2\pi l}{Nf_0} - \frac{\sin(2\theta_c - \frac{2\pi}{N}) - \sin(2\theta_{cl} - \frac{2\pi}{N})}{2f_0}}$

[0010] 校正后相角: $\theta_0 = \theta_c + \frac{B \sin(2\theta_c - \frac{2\pi}{N})}{1 - B \cos(2\theta_c - \frac{2\pi}{N})} - \frac{\theta_1(N-1)}{2Nf_0}$,

[0011] 校正后幅值: $a = \frac{a_c}{\frac{24f_0^2 - \theta_1^2}{24f_0^2} \cdot \sqrt{1 + B^2 + 2B \cos C}}$

[0012] 式中: θ_c 和 θ_{cl} 为校正前两数据窗分别计算角度, a_c 为校正前DFT计算的幅值, $B = \sin(\frac{\theta_1}{2Nf_0}) / \sin(\frac{\theta_1 + 4\pi f_0}{2Nf_0})$, $C = 2\theta_0 + \frac{(2\pi f_0 + \theta_1)(N-1)}{Nf_0}$;

[0013] (4)通过比较反推值和实测值,校验计算结果是否正确,如果校验通过则结束,若未通过则说明当前可能处于突变等动态过程,进入步骤(5);

[0014] (5)假设电力信号为K阶模型,采用已有动态算法求解同步相量,如通过基于同一数据窗各谐波含量计算同步相量的方法;

[0015] (6)同步骤(4),校验动态算法计算结果是否正确,若校验通过则使用动态算法的结果作为最终结果,如果校验未通过则可能故障发生在本数据窗内等动态算法同样无法处理的情况,为避免波动较大仍使用稳态算法结果。

[0016] 上述步骤(4)的具体地校验过程为:通过计算得到的相量,反推各采样点的理论计算值,并与实际测得的点进行比较,若总偏差较小,则校验通过。

[0017] 本发明针对稳态算法,由校正后 θ_0 、 θ_1 和 a ,反推各抽取点理论计算值,抽取点的密度根据实际情况确定。

[0018] 本发明抽取点的理论计算值为:

[0019] $x_c(n_i) = a \cos(\theta_0 + \frac{n_i \theta_1}{Nf_0} + \frac{2\pi n_i}{N})$

[0020] 式中: n_i ($i = 1, 2, \dots, L$) 为所抽取点,且 $1 \leq n_i \leq N$; $x_c(n_i)$ 为所抽取点的理论计算值;

[0021] 理论计算值与实测值之间的总偏差为:

[0022] $\varepsilon = \sum_{i=1}^L |x_c(n_i) - x_m(n_i)|$

[0023] 式中: $x_m(n_i)$ 对应采样点实测值。

[0024] 本发明由于采取以上技术方案,与现有技术相比,具有以下优点:本发明在同时考虑PMU算法快速性和准确性要求下,提出一种基于校验的同步相量自适应计算方法,在稳态和动态情况下自适应采用不同的计算模式。本发明测量方法对稳态和动态情况,分别设计了稳态算法和动态算法两种不同计算模式,通过反推校验实现二者间的自适应切换,从而同时兼顾稳态情况的计算精度及暂态情况的动态性能要求。本发明针对已有算法无法同时兼顾稳态情况的计算精度及暂态情况的动态性能问题,本发明方法可在不同情况下,通过校验实现计算模式自适应切换,可以兼顾快速响应和高精度的要求。

附图说明

- [0025] 图1为本发明方法的流程示意图。
- [0026] 图2为本发明方法实施例中的算法流程示意图。
- [0027] 图3为本发明方法的仿真测试中阶跃响应示意图。

具体实施方式

[0028] 以下结合附图对本发明进行详细的描述。本发明提出来的基于校验的同步相量自适应计算方法,可以采用多种硬件方案来实现,在此不再赘述。本发明所提出的测量算法流程如图1所示,其中PMU算法的流程如图2所示。测量方法包括以下步骤:

[0029] (1)初始化,确定每周波采样点数N,稳态和动态算法的电力信号模型中幅值和相角的阶数K,稳态算法中两数据窗的间隔1点。

[0030] (2)信号建模,该方法采用复信号 $P(t)$ 表示电力信号的动态相量为 $P(t)=a(t)e^{j\theta(t)}$,电力信号 $x(t)$ 可以表示为: $x(t)=P(t)e^{j2\pi f_0 t}+P^*(t)e^{-j2\pi f_0 t}$,式中: $a(t)$ 和 $\theta(t)$ 分别表示电力信号幅值和相角的多项式; f_0 为额定频率。稳态算法模型假设计算周期内幅值恒定,频率偏差恒定,即 $a(t)=a$, $\theta(t)=\theta_0+\theta_1 t$ 。动态算法中为更好反映信号的动态特征,假设相量模型中幅值和相角均为K阶模型,即 $a(t)=\sum_{i=0}^K a_i t^i$, $\theta(t)=\sum_{i=0}^K \theta_i t^i$ 。

[0031] (3)通过两个数据窗数据的DFT结果,求解电力信号的同步相量。

$$\theta_1 = \frac{2\pi(\theta_c - \theta_{cl} - \frac{2\pi}{N})}{2\pi l} \\ \text{模型参数: } \frac{\frac{2\pi l}{Nf_0} - \frac{\sin(2\theta_c - \frac{2\pi}{N}) - \sin(2\theta_{cl} - \frac{2\pi}{N})}{2f_0}}{2f_0}$$

$$\text{校正后相角: } \theta_0 = \theta_c + \frac{B \sin(2\theta_c - \frac{2\pi}{N})}{1 - B \cos(2\theta_c - \frac{2\pi}{N})} - \frac{\theta_1(N-1)}{2Nf_0},$$

$$\text{校正后幅值: } a = \frac{a_c}{\frac{24f_0^2 - \theta_1^2}{24f_0^2} \cdot \sqrt{1 + B^2 + 2B \cos C}}$$

[0035] 式中: θ_c 和 θ_{cl} 为校正前两数据窗分别计算角度, a_c 为校正前DFT计算的幅值,
 $B = \sin(\frac{\theta_1}{2Nf_0}) / \sin(\frac{\theta_1 + 4\pi f_0}{2Nf_0})$,
 $C = 2\theta_0 + \frac{(2\pi f_0 + \theta_1)(N-1)}{Nf_0}$ 。

[0036] (4)通过比较反推值和实测值,校验计算结果是否正确,如果校验通过则结束,若未通过则说明当前可能处于突变等动态过程,进入(5);

[0037] 具体地校验过程为:通过计算得到的相量,反推各采样点的理论计算值,并与实际测得的点进行比较,若总偏差较小,则校验通过。针对稳态算法,由校正后 θ_0 、 θ_1 和 a ,反推各抽取点理论计算值,抽取点的密度根据实际情况确定。抽取点的理论计算值为:

$$[0038] x_c(n_i) = a \cos(\theta_0 + \frac{n_i \theta_1}{Nf_0} + \frac{2\pi n_i}{N})$$

[0039] 式中: n_i ($i=1, 2, \dots, L$)为所抽取点,且 $1 \leq n_i \leq N$; $x_c(n_i)$ 为所抽取点的理论计

算值。

[0040] 理论计算值与实测值之间的总偏差为：

$$[0041] \varepsilon = \sum_{i=1}^L |x_c(n_i) - x_m(n_i)|$$

[0042] 式中： $x_m(n_i)$ 对应采样点实测值。

[0043] (5)假设电力信号为K阶模型,采用已有动态算法求解同步相量,如通过基于同一数据窗各谐波含量计算同步相量的方法。

[0044] (6)同步骤(4),校验动态算法计算结果是否正确,若校验通过则使用动态算法的结果作为最终结果。如果校验未通过则可能故障发生在本数据窗内等动态算法同样无法处理的情况,为避免波动较大仍使用稳态算法结果。

[0045] 为进一步说明本发明方法,下面对本发明方法进行仿真测试。仿真过程中算法的采样率为6400Hz等间隔采样。

[0046] 1、频率偏差测试

[0047] 为了测试相量测量算法在频率偏离额定频率时的性能,国标《电力系统同步相量测量装置检测规范》规定频率测量范围是45Hz至55Hz,在基波频率偏离额定值5Hz时,电压、电流幅值测量误差改变量应小于额定频率时测量误差极限值的100%,相角测量误差改变量应不大于 1° 。表1为本发明方法在频率偏离额定频率5Hz时的测试结果。可以看出,本发明方法的量测精度高于标准要求。

[0048] 表1频率偏差为5Hz时相量测试结果

[0049]

	最大误差	平均绝对误差	均方根误差
角度误差	-0.02°	0.0174°	0.0175°
幅值误差	0.014%	0.0092%	0.0097%

[0050] 2、为测试算法对突变等动态过程的响应性能,参考国标《电力系统同步相量测量装置检测规范》,施加 90° 相角阶跃信号:

$$[0051] x(t) = \begin{cases} a \cos(2\pi f_0 t + \pi/6), & t < 40ms \\ a \cos(2\pi f_0 t + \pi/6 + \pi/2), & t \geq 40ms \end{cases}$$

[0052] 本发明方法测试结果如图3所示,可以看出,本发明方法的阶跃响应时间为20ms明显快于国标规定的30ms。

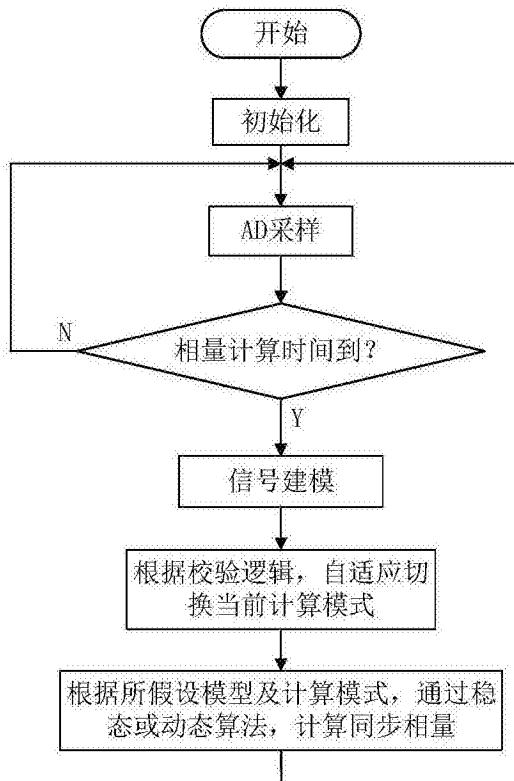


图1

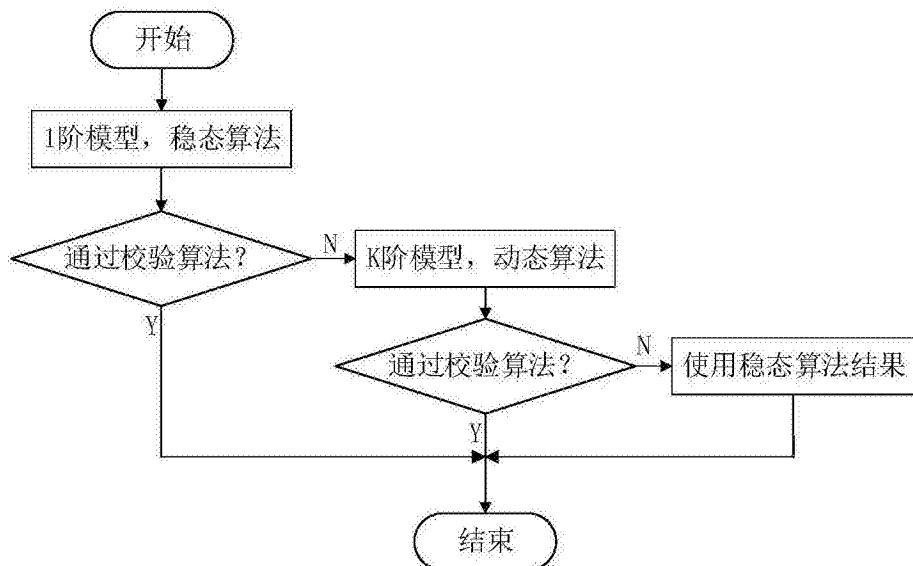


图2

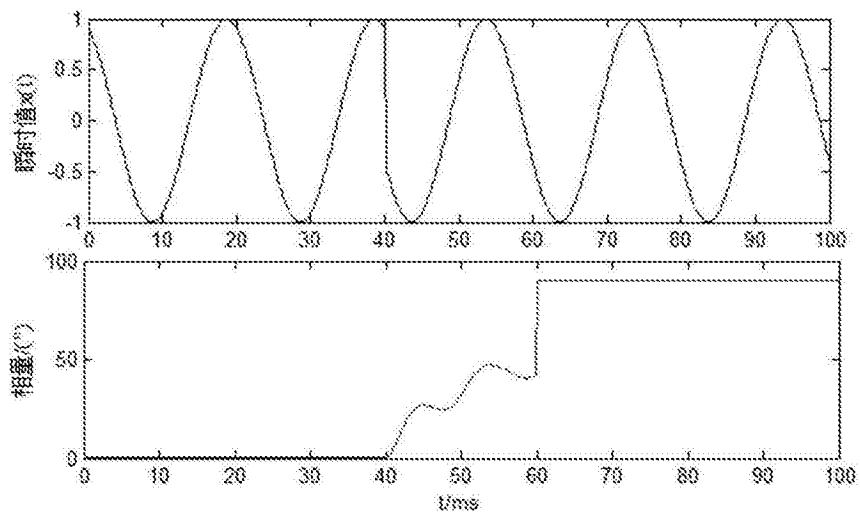


图3