

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2019 年 12 月 5 日 (05.12.2019)



(10) 国际公布号
WO 2019/228540 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01R 25/00 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2019/094304
- (22) 国际申请日: 2019 年 7 月 2 日 (02.07.2019)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201810551197.6 2018年5月31日 (31.05.2018) CN
- (71) 申请人: 许继集团有限公司 (XUJI GROUP CORPORATION) [CN/CN]; 中国河南省许昌市许继大道1298号, Henan 461000 (CN)。许继电气股份有限公司 (XUJI ELECTRIC CO., LTD.) [CN/CN]; 中国河南省许昌市许继大道1298号, Henan 461000 (CN)。许昌许继软件技术有限公司 (XUCHANG

XUJI SOFTWARE TECHNOLOGY CO., LTD.) [CN/CN]; 中国河南省许昌市许继大道1706号, Henan 461000 (CN)。国家电网有限公司 (STATE GRID CORPORATION OF CHINA) [CN/CN]; 中国北京市西城区西长安街86号, Beijing 100031 (CN)。

(72) 发明人: 朱云峰 (ZHU, Yunfeng); 中国河南省许昌市许继大道1706号, Henan 461000 (CN)。王莉 (WANG, Li); 中国河南省许昌市许继大道1298号, Henan 461000 (CN)。余高旺 (YU, Gaowang); 中国河南省许昌市许继大道1706号, Henan 461000 (CN)。樊占峰 (FAN, Zhanfeng); 中国河南省许昌市许继大道1298号, Henan 461000 (CN)。石欣 (SHI, Xin); 中国河南省许昌市许继大道1298号, Henan 461000 (CN)。龚赞 (GONG, Yun); 中国河南省许昌市许继大道1706号, Henan 461000 (CN)。张旭 (ZHANG, Xu); 中国河南省许昌市

(54) Title: SYNCHRONIZED PHASOR MEASUREMENT METHOD AND SYSTEM HAVING ADDED HAMMING WINDOW

(54) 发明名称: 一种加入汉明窗的同步相量测量方法及系统

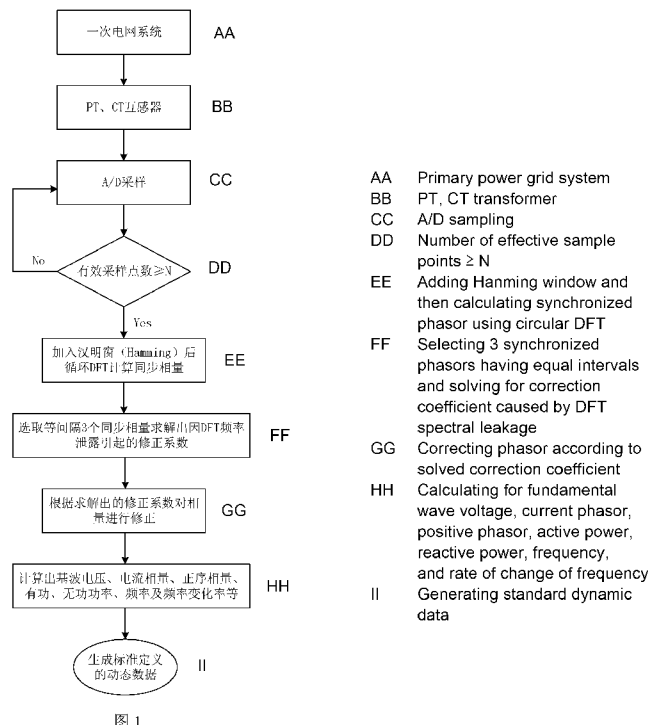


图 1

(57) Abstract: A synchronized phasor measurement method and system having an added Hamming window, relating to the technical field of synchronized phasor measurement for electric power systems. Using fixed-interval sampling to determine sample points according to calculation precision requirements; then introducing a Hamming window for circular discrete Fourier transform and solving for a phasor correction coefficient; correcting the calculation error due to spectral leakage caused by rated system frequency offset value; acquiring values such as the phase, system frequency, rate of change of frequency, active power, and reactive power according

许继大道1706号, Henan 461000 (CN)。安永帅(AN, Yongshuai); 中国河南省许昌市许继大道1706号, Henan 461000 (CN)。蔺立(LIN, Li); 中国河南省许昌市许继大道1706号, Henan 461000 (CN)。胡舒怡(HU, Shuyi); 中国河南省许昌市许继大道1706号, Henan 461000 (CN)。朱军红(ZHU, Junhong); 中国河南省许昌市许继大道1706号, Henan 461000 (CN)。杨凯(YANG, Kai); 中国河南省许昌市许继大道1706号, Henan 461000 (CN)。张艳超(ZHANG, Yanchao); 中国河南省许昌市许继大道1706号, Henan 461000 (CN)。刘树猛(LIU, Shumeng); 中国河南省许昌市许继大道1706号, Henan 461000 (CN)。刘晓霞(LIU, Xiaoxia); 中国河南省许昌市许继大道1706号, Henan 461000 (CN)。

(74) 代理人: 郑州睿信知识产权代理有限公司(ZHENGZHOU RUIXIN INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY CO., LTD.); 中国河南省郑州市郑州高新区科学大道53号2号楼17层275号, Henan 450001 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

- 包括国际检索报告(条约第21条(3))。
- 在修改权利要求的期限届满之前进行, 在收到该修改后将重新公布(细则48.2(h))。
- 包括关于请求恢复一项或多项优先权要求的信息(细则26之二.3和48.2(b)(vii))。

to the corrected phasor value, then packaging the calculated values into a standard dynamic data packet and transmitting same. The inherent spectral leakage and frequency aliasing problems in traditional DFT algorithms cause large errors in parameter calculations for frequency and phase, thereby substantially affecting the precision of synchronized phasor measurement algorithms. The present method avoids spectral leakage influence, has relatively high precision in phasor and frequency measurement, and facilitates project implementation.

(57) 摘要: 一种加入汉明窗的同步相量测量方法及系统, 涉及电力系统同步相量测量技术领域。采用定间隔采样, 根据计算精度需求确定采样点后, 引入汉明窗后进行循环离散傅里叶变换, 求出相量修正系数, 修正因系统频率偏移额定值造成频率泄露导致的计算误差, 根据修正后相量值求取相位、系统频率、频率变化率、有功、无功功率等值, 再将计算值打包成标准的动态数据报文发送出去。传统DFT算法本身的频率泄露、频率混叠问题将导致频率、相位等参数计算存在较大误差, 严重影响同步相量算法精度。该方法能够避免频率泄露影响, 相量和频率的测量具有较高的精度, 便于工程实现。

一种加入汉明窗的同步相量测量方法及系统

技术领域

本发明涉及电力系统同步相量测量技术领域，具体涉及一种加入汉明窗的同步相量测量方法及系统。

背景技术

随着新能源电源的广泛接入、交流特高压、直流输电工程的快速发展，区域电网结构及全国电网的运行环境变得日渐复杂，电力系统动态运行条件下的实时监控就变得尤为重要，广域测量系统（Wide area measurement system, WAMS）作为电网动态实时监测的新技术和重要手段，能实时反映电网系统的动态变化，对电网的安全稳定运行起到重要作用，而基于全球定位系统同步授时的相量测量单元（PMU-phasor measurement unit）能实现电网相量的实时异地同步测量和传输，是 WAMS 系统的基础实现环节，而同步相量测量方法的精度将直接影响 WAMS 系统的应用效果及其适用范围，因此，同步相量测量方法是该领域的研究重点及热点。

目前，电力系统相量的测量方法主要有瞬时值法、过零点检测法、数字滤波法、离散傅里叶变换法（DFT）等，由于 DFT 法在抑制谐波上具有显著优势，广泛应用于不同电压等级的 PMU 装置中，然而当系统运行频率偏移额定值 50Hz 时，PMU 采用定间隔采样接收到的采样数据无法满足整周期采样条件，DFT 算法本身的频率泄露、频率混叠问题将导致频率、相位等参数计算存在较大误差，严重影响同步相量算法精度。

发明内容

本发明的目的在于提供一种加入汉明窗的同步相量测量方法及系统，用于解决傅里叶变换在相量测量的应用中所产生的频率泄露的问题。

为解决上述技术问题，本发明的技术方案为：一种加入汉明窗的同步相量测量方法，包括以下步骤：

1)对于 A、B、C 三相采样信号，分别进行加窗，以进行 DFT 运算，得到 A、B、C 三相同步相量；加入窗函数的采样点值为：

$$\tilde{x}_w(k) = \tilde{x}(k)w(k)$$

汉明窗函数为：

$$w(k) = \beta - \alpha \cos \frac{2k\pi}{N} \quad k \in (0, N-1)$$

$$\beta = 1 - \alpha$$

2) 选取连续等间隔的 3 个同步相量，对所述 A、B、C 三相同步相量进行修正，求解出修正后的 A、B、C 三相同步相量；

3) 根据所述修正后的 A、B、C 三相同步相量，合成正序相量；

4) 选取两个正序相量，计算他们的角度差；

5) 根据角度差，求频率差，从而得到实际频率及频率变化率。

本发明的有益效果：

传统 DFT 算法本身的频率泄露、频率混叠问题将导致频率、相位等参数计算存在较大误差，严重影响同步相量算法精度。本发明的方法能够避免频率泄露影响，相量和频率的测量具有较高的精度，便于工程实现。

进一步的，采样信号表示为：

$$\begin{aligned} \tilde{x}_r(k) &= \sqrt{2}X \cos[2\pi(f_0 + \Delta f)\frac{(r+k)}{Nf_0} + \varphi] \\ &= \sqrt{2}X \cos[2\pi(1 + \frac{\Delta f}{f_0})\frac{k}{N} + \varphi_r + 2\pi\frac{r}{N}] \end{aligned}$$

设定：N 为每周期交流采样点数， f_0 为系统额定频率； Δf 为一个数据窗时间内相对额定频率的频差；r 为当前时刻采样点，k 为 r 后一个数据窗中第 k 点；

其中 $\varphi_r = \varphi + \frac{2\pi r \Delta f}{Nf_0}$ 。

进一步的，引入窗函数后，对采样信号进行 DFT 运算方法为：

$$\begin{aligned} \hat{x}_w(r) &= \frac{1}{\beta} \frac{\sqrt{2}}{N} \sum_{k=r}^{N+r-1} \tilde{x}_r(k) w(k) e^{-j\frac{2\pi k}{N}} \\ &= \frac{1}{\beta} \left\{ \frac{\sqrt{2}}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \tilde{x}_r(k) [\beta - \alpha \cos \frac{2k\pi}{N}] e^{-j\frac{2\pi k}{N}} \right\} e^{-j\frac{2\pi r}{N}} \end{aligned}$$

将 $\tilde{x}_r(k)$ 带入上式并化简得：

$$\hat{x}_w(r) = Xe^{j\varphi_r} \left\{ \frac{\sin(\theta N / 2)}{\beta N} e^{j\theta(N-1)/2} \left[\frac{\beta}{\sin(\theta / 2)} - \gamma \left(\frac{e^{-j\frac{\pi}{N}}}{\sin(\frac{\theta}{2} + \frac{\pi}{N})} + \frac{e^{j\frac{\pi}{N}}}{\sin(\frac{\theta}{2} - \frac{\pi}{N})} \right) \right] \right\} \\ + Xe^{-j\varphi_r} e^{-j\frac{4\pi}{N}r} \left\{ \frac{\sin(\theta N / 2)}{\beta N} e^{-j\theta(N-1)/2} \left[\frac{(1-\alpha) e^{j\frac{2\pi}{N}}}{\sin(\frac{\theta}{2} + \frac{2\pi}{N})} - \gamma \left(\frac{e^{j\frac{\pi}{N}}}{\sin(\frac{\theta}{2} + \frac{\pi}{N})} + \frac{e^{j\frac{3\pi}{N}}}{\sin(\frac{\theta}{2} + \frac{3\pi}{N})} \right) \right] \right\}$$

第 r 个数据窗对应的同步相量为: $\bar{x}(r) = Xe^{j\varphi_r}$, 则 $\hat{x}_w(r)$ 表达式表达为:

$$\hat{x}_w(r) = \bar{x}(r) \left\{ \frac{\sin(\theta N / 2)}{\beta N} e^{-j\theta(N-1)/2} \left[\frac{\beta}{\sin(\theta / 2)} - \gamma \left(\frac{e^{-j\frac{\pi}{N}}}{\sin(\frac{\theta}{2} + \frac{\pi}{N})} + \frac{e^{j\frac{\pi}{N}}}{\sin(\frac{\theta}{2} - \frac{\pi}{N})} \right) \right] \right\} \\ + \bar{x}(r)^* e^{-j\frac{4\pi}{N}r} \left\{ \frac{\sin(\theta N / 2)}{\beta N} e^{-j\theta(N-1)/2} \left[\frac{\beta e^{j\frac{2\pi}{N}}}{\sin(\frac{\theta}{2} + \frac{2\pi}{N})} - \gamma \left(\frac{e^{j\frac{\pi}{N}}}{\sin(\frac{\theta}{2} + \frac{\pi}{N})} + \frac{e^{j\frac{3\pi}{N}}}{\sin(\frac{\theta}{2} + \frac{3\pi}{N})} \right) \right] \right\}$$

其中 $\theta = \frac{2\pi\Delta f}{f_0 N}$ 。

进一步的, 所述连续等间隔的 3 个同步相量 $\hat{x}_w(r)$ 、 $\hat{x}_w(r-m)$ 、 $\hat{x}_w(r-2m)$ 间隔为 m , 修正后相量值 $\bar{x}(r)$ 表示为:

$$\bar{x}(r) = \frac{[\hat{x}_w(r) - c_w(r)]}{coef}$$

其中

$$c_w(r) = -\frac{\hat{x}_w(r-m) - \hat{x}_w(r)e^{-j\theta m}}{e^{-j\theta m} - e^{-j(\theta + \frac{4\pi}{N})m}}$$

$$coef = \frac{\sin \theta N / 2}{\beta N} \left[\frac{\beta}{\sin(\theta / 2)} - \alpha \frac{\sin(\theta / 2) + (\sin^2 \pi / N) e^{j(\frac{\theta}{2} + \frac{\pi}{2})}}{\sin(\frac{\theta}{2} + \frac{\pi}{N}) \sin(\frac{\theta}{2} - \frac{\pi}{N})} \right] e^{j\theta(N-1)/2}$$

$$e^{-j\theta m} = f_w(r-2m) + \sqrt{f_w^2(r-2m) - e^{j\frac{4\pi}{N}m}}$$

$$f_w(r-2m) = \frac{\hat{x}_w(r-2m) + e^{j\frac{4\pi}{N}m} \hat{x}_w(r)}{2\hat{x}_w(r-m)}$$

$c_w(r)$ 、 $coef$ 为相关修正量值。

进一步的, A、B、C 三相相量合成正序相量,

$$\bar{x}_1(r) = \frac{1}{3}[\bar{x}_A(r) + a\bar{x}_B(r) + a^2\bar{x}_C(r)]$$

其中 $\bar{x}_A(r)$ 、 $\bar{x}_B(r)$ 、 $\bar{x}_C(r)$ 分别为 A、B、C 三相同步相量， $a = e^{j2\pi/3}$ 。

进一步的，根据角度差，求频率差，从而得到实际频率方法为，取间隔为 Δt 的正序电压相量分别为 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) ，则两个同步相量的角度差为：

$$\theta = \arctan[(x_1 y_2 - x_2 y_1) / (x_1 x_2 + y_1 y_2)]$$

频率差：

$$\Delta f = \theta / (2\pi\Delta t)$$

从而得到当前频率值：

$$f = 50 - \Delta f。$$

进一步的，根据计算出不同时刻频率测量值 f ，选取间隔为 Δt_2 的频率测量值 f_1 和 f_2 ，得到的变化率值为：

$$df = (f_2 - f_1) / \Delta t_2$$

进一步的， α 、 β 为设定值， α 取 0.46。

本发明还提供了一种加入汉明窗的同步相量测量系统，包括处理器和储存器，所述处理器执行存储在所述储存器中的指令以实现上述方法。

附图说明

图 1 是本发明的方法流程图；

图 2a 为频率偏差为 47Hz 下修正前后相量对比图；

图 2b 为频率偏差为 50Hz 下修正前后相量对比图；

图 2c 为频率偏差为 52Hz 下修正前后相量对比图；

图 3a 为频率偏差为 47Hz 下相量修正前后频率对比图；

图 3b 为频率偏差为 50Hz 下相量修正前后频率对比图；

图 3c 为频率偏差为 52Hz 下相量修正前后频率对比图；

图 4a 为加入谐波时频率偏差为 47Hz 下修正前后相量对比图；

图 4b 为加入谐波时频率偏差为 50Hz 下修正前后相量对比图；

图 4c 为加入谐波时频率偏差为 52Hz 下修正前后相量对比图；

图 5a 为加入谐波时频率偏差为 47HZ 下相量修正前后频率对比图；

图 5b 为加入谐波时频率偏差为 50HZ 下相量修正前后频率对比图；

图 5c 为加入谐波时频率偏差为 52HZ 下相量修正前后频率对比图。

具体实施方式

为使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚，下面结合附图及实施例，对本发明作进一步的详细说明。

如图 1 所示为本发明的方法流程图，下面对此算法实现进行详细说明。

首先采集电网的一次信号，经 PT、CT 互感器变换后接入 A/D 采样插件，经 A/D 采样后获取原始采样信号 $x_0(n)$ ，根据计算精度需求，确定经 A/D 采样后，按照数据窗采样每周期交流采样点数 N ，除系统初始化的第一个周期外，任一采样点均可与它前 $N-1$ 个采样点构成一个数据窗完成相关计算；根据系统确定的采样率，使用固定周期为 $20ms$ 的汉明窗进行滑窗循环采样，获取计算所需信号 $x_w(n)$ ，对 $x_w(n)$ 进行全周傅氏计算，得到原始采样相量 $\hat{x}_w(n)$ ，按照系统频率 $50Hz$ ，交流电压、电流信号周期为 $20ms$ ，为降低计算量，如采用间隔 $5ms$ 抽取一个相量计算一次修正系数，根据计算出修正系数，对 $\hat{x}_w(n)$ 进行修正，得到相量计算值 $\bar{x}_w(n)$ ，根据 $\bar{x}_w(n)$ 计算相量幅值和相位及正、负、零序值，再用计算出正序值计算电压频率及频率变化率，根据需要计算有功、无功功率等其他量值，并打包成动态数据报文。

具体过程（包括理论推导）如下：

以 A/D 采样后的单相信号为例：

电力系统信号模型：

$$x(n) = A \cos[2\pi(f + \Delta f)n + \phi]$$

A 为信号幅值， f 为系统频率 $50Hz$ ， Δf 为信号偏移系统频率量值， n 为当前采样值时刻， ϕ 为信号原始相位。

汉明窗（Hamming）函数：

$$w(k) = 0.54 - 0.46 \cos \frac{2k\pi}{N} \quad k \in (0, N-1)$$

由于工程应用中每周波采样点多采用 24 点、36 点、48 点、80 点、96 点等方式， N 为每周波固有采样点数， N 取值一般都为偶数，下面给定值为 48，即每周波采样频率 $2400Hz$ 。

进行 DFT 计算，求取原始相量值：

$$\hat{x}_w(n) = \frac{1}{0.54} \left[\frac{\sqrt{2}}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) (0.54 - 0.46 \cos \frac{2k\pi}{N}) e^{-j\frac{2\pi k}{N}} \right] e^{-j\frac{2\pi n}{N}}$$

根据 A、B、C 三相相量合成正、负和零序相量，

$$\bar{x}_1(r) = \frac{1}{3} [\bar{x}_A(r) + a\bar{x}_B(r) + a^2\bar{x}_C(r)]$$

$$\bar{x}_2(r) = \frac{1}{3} [\bar{x}_A(r) + a^2\bar{x}_B(r) + a\bar{x}_C(r)]$$

$$\bar{x}_0(r) = \frac{1}{3} [\bar{x}_A(r) + \bar{x}_B(r) + \bar{x}_C(r)]$$

其中 $\bar{x}_A(r)$ 、 $\bar{x}_B(r)$ 、 $\bar{x}_C(r)$ 分别为 A、B、C 三相同步相量， $a = e^{j2\pi/3}$ 。

选取间隔 5ms 的相量值（每隔 12 个点抽取一次）求取修正系数：

$$e^{-j\theta m} = f_w(r-2m) + \sqrt{f_w^2(r-2m) - e^{j\frac{4\pi}{N}m}}$$

$$coef = \frac{\sin(N\theta/2)}{0.54N} \left[\frac{0.54}{\sin(\frac{\theta}{2})} - 0.46 \frac{\sin(\frac{\theta}{2}) + (\sin^2 \frac{\pi}{N}) e^{j(\frac{\theta}{2} + \frac{\pi}{2})}}{\sin(\frac{\theta}{2} + \frac{\pi}{N}) \sin(\frac{\theta}{2} - \frac{\pi}{N})} \right] e^{j\theta(N-1)/2}$$

$$c_w(n) = -\frac{\hat{x}_w(n-m) - \hat{x}_w(n)e^{-j\theta m}}{e^{-j\theta m} - e^{-j(\theta + \frac{4\pi}{N})m}}$$

式中 $m=12$ ， $f_w(n-2m) = \frac{\hat{x}_w(n-2m) + e^{j\frac{4\pi}{N}m} \hat{x}_w(n)}{2\hat{x}_w(n-m)}$ ， $\theta = -angle(e^{-j\theta m})/m$ ， $angle$ 为相量

相位计算函数。

求取修正后相量值：

$$\bar{x}(n) = \frac{[\hat{x}_w(n) - c_w(n)]}{coef}$$

求取相量幅值、相位、频率等值：

求取的间隔为 Δt 的正序电压相量分别为 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) ， (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) 为采用代数式的向量形式。则两个同步相量的角度差为：

$$\theta = \arctan[(x_1 y_2 - x_2 y_1) / (x_1 x_2 + y_1 y_2)]$$

$$\Delta f = \theta / (2\pi \Delta t)$$

从而得到当前频率值：

$$f = 50 - \Delta f$$

根据计算得到的多个频率值，求取频率变化率，根据计算出不同时刻频率测量值 f ，选取间隔为 Δt_2 的频率测量值 f_1 和 f_2 ，得到的变化率值为：

$$df = (f_2 - f_1) / \Delta t_2$$

也可运用差分法计算频率变化率。

在工业运用中，将按照上述方法编制计算机程序，将计算机程序烧录到相量测量单元（PMU）的存储器中，相量测量单元的处理单元执行上述计算机程序时，便可实现本发明提供的同步相量检测方法，采用本发明同步相量检测方法的 PMU 装置，在相量和频率测量上具有较高的精确度。

同步相量测量装置（PMU）是利用全球定位系统秒脉冲作为同步时钟构成的相量测量单元。可用于电力系统的动态监测、系统保护和系统分析及预测等领域，是保障电网安全运行的重要设备。

进行仿真试验：

选择如下信号模型：

$$x(n) = \sqrt{2} \cos[2\pi(50 + \Delta f)n + \frac{\pi}{3}]$$

加入谐波后的信号模型为：

$$x(n) = \sqrt{2} \cos[2\pi(50 + \Delta f)n + \frac{\pi}{3}] + 0.04 * \sqrt{2} \cos[2\pi(150 + \Delta f)n + \frac{\pi}{6}] + 0.06 * \sqrt{2} \cos[2\pi(250 + \Delta f)n + \frac{\pi}{9}]$$

频率偏差 Δf 的范围在 -5 到 5 之间，代入实施例中的信号模型及实施例中加入谐波信号的信号模型中。根据以上方法执行，最终绘制得到仿真结果图。

选取 47Hz、50Hz、52Hz 计算数据，图 2a、图 2b、图 2c 为不同频率偏差下修正前后相量对比图，图 3a、图 3b、图 3c 为不同频率偏差下相量修正前后频率对比图，图 4a、图 4b、图 4c 为加入谐波时不同频率偏差下修正前后相量对比图，图 5a、图 5b、图 5c 为加入谐波时不同频率偏差下相量修正前后频率对比图；由附图所示修正结果，本算法在计及系统频率偏移后，计算结果无误差，即使加入谐波，在不进行任何滤波情况下，仍具有很高的计算精度。

尽管本发明的内容已经通过上述优选实施例作了详细介绍，但应当认识到上述的描述不应被认为是对本发明的限制。在本领域技术人员阅读了上述内容后，对于本发明的多种修改和替代都将是显而易见的。因此，本发明的保护范围应由所附的

权利要求来限定。

权利要求书

1、一种加入汉明窗的同步相量测量方法，其特征在于，包含以下步骤：

1)对于 A、B、C 三相采样信号，用汉明窗函数分别进行加窗，以进行 DFT 运算，得到 A、B、C 三相同步相量；加窗的采样点值为：

$$\tilde{x}_w(k) = \tilde{x}(k)w(k)$$

所述汉明窗函数为：

$$w(k) = \beta - \alpha \cos \frac{2k\pi}{N} \quad k \in (0, N-1)$$

$$\beta = 1 - \alpha$$

2) 选取连续等间隔的 3 个同步相量，对所述 A、B、C 三相同步相量进行修正，求解出修正后的 A、B、C 三相同步相量；

3)根据所述修正后的 A、B、C 三相同步相量，合成正序相量；

4)选取两个正序相量，计算他们的角度差；

5)根据角度差，求频率差，从而得到实际频率及频率变化率。

2、根据权利要求 1 所述的一种加入汉明窗的同步相量测量方法，其特征在于，所述采样信号表示为：

$$\begin{aligned} \tilde{x}_r(k) &= \sqrt{2}X \cos[2\pi(f_0 + \Delta f)\frac{(r+k)}{Nf_0} + \varphi] \\ &= \sqrt{2}X \cos[2\pi(1 + \frac{\Delta f}{f_0})\frac{k}{N} + \varphi_r + 2\pi\frac{r}{N}] \end{aligned}$$

设定：N 为每周期交流采样点数， f_0 为系统额定频率； Δf 为一个数据窗时间内相对额定频率的频差；r 为当前时刻采样点，k 为 r 后一个数据窗中第 k 点；

其中 $\varphi_r = \varphi + \frac{2\pi r \Delta f}{Nf_0}$ 。

3、根据权利要求 1 所述的一种加入汉明窗的同步相量测量方法，其特征在于，所述对采样信号进行 DFT 运算方法为：

$$\begin{aligned} \hat{x}_w(r) &= \frac{1}{\beta} \frac{\sqrt{2}}{N} \sum_{k=r}^{N+r-1} \tilde{x}_r(k)w(k)e^{-j\frac{2\pi k}{N}} \\ &= \frac{1}{\beta} \left\{ \frac{\sqrt{2}}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \tilde{x}_r(k) \left[\beta - \alpha \cos \frac{2k\pi}{N} \right] e^{-j\frac{2\pi k}{N}} \right\} e^{-j\frac{2\pi r}{N}} \end{aligned}$$

将 $\tilde{x}_r(k)$ 带入上式并化简得:

$$\begin{aligned}\hat{x}_w(r) = & X e^{j\varphi_r} \left\{ \frac{\sin(\theta N / 2)}{\beta N} e^{j\theta(N-1)/2} \left[\frac{\beta}{\sin(\theta / 2)} - \gamma \left(\frac{e^{-j\frac{\pi}{N}}}{\sin(\frac{\theta}{2} + \frac{\pi}{N})} + \frac{e^{j\frac{\pi}{N}}}{\sin(\frac{\theta}{2} - \frac{\pi}{N})} \right) \right] \right\} \\ & + X e^{-j\varphi_r} e^{-j\frac{4\pi}{N}r} \left\{ \frac{\sin(\theta N / 2)}{\beta N} e^{-j\theta(N-1)/2} \left[\frac{(1-\alpha) e^{j\frac{2\pi}{N}}}{\sin(\frac{\theta}{2} + \frac{2\pi}{N})} - \gamma \left(\frac{e^{j\frac{\pi}{N}}}{\sin(\frac{\theta}{2} + \frac{\pi}{N})} + \frac{e^{j\frac{3\pi}{N}}}{\sin(\frac{\theta}{2} + \frac{3\pi}{N})} \right) \right] \right\}\end{aligned}$$

第 r 个数据窗对应的同步相量为: $\bar{x}(r) = X e^{j\varphi_r}$, 则 $\hat{x}_w(r)$ 表达式表达为:

$$\begin{aligned}\hat{x}_w(r) = & \bar{x}(r) \left\{ \frac{\sin(\theta N / 2)}{\beta N} e^{-j\theta(N-1)/2} \left[\frac{\beta}{\sin(\theta / 2)} - \gamma \left(\frac{e^{-j\frac{\pi}{N}}}{\sin(\frac{\theta}{2} + \frac{\pi}{N})} + \frac{e^{j\frac{\pi}{N}}}{\sin(\frac{\theta}{2} - \frac{\pi}{N})} \right) \right] \right\} \\ & + \bar{x}(r)^* e^{-j\frac{4\pi}{N}r} \left\{ \frac{\sin(\theta N / 2)}{\beta N} e^{-j\theta(N-1)/2} \left[\frac{\beta e^{j\frac{2\pi}{N}}}{\sin(\frac{\theta}{2} + \frac{2\pi}{N})} - \gamma \left(\frac{e^{j\frac{\pi}{N}}}{\sin(\frac{\theta}{2} + \frac{\pi}{N})} + \frac{e^{j\frac{3\pi}{N}}}{\sin(\frac{\theta}{2} + \frac{3\pi}{N})} \right) \right] \right\}\end{aligned}$$

其中 $\theta = \frac{2\pi\Delta f}{f_0 N}$ 。

4、根据权利要求 1 所述的一种加入汉明窗的同步相量测量方法, 其特征在于, 所述连续等间隔的 3 个同步相量 $\hat{x}_w(r)$ 、 $\hat{x}_w(r-m)$ 、 $\hat{x}_w(r-2m)$ 间隔为 m , 修正后相量值 $\bar{x}(r)$ 表示为:

$$\bar{x}(r) = \frac{[\hat{x}_w(r) - c_w(r)]}{coef}$$

其中

$$\begin{aligned}c_w(r) = & -\frac{\hat{x}_w(r-m) - \hat{x}_w(r) e^{-j\theta m}}{e^{-j\theta m} - e^{-j(\theta + \frac{4\pi}{N})m}} \\ coef = & \frac{\sin \theta N / 2}{\beta N} \left[\frac{\beta}{\sin(\theta / 2)} - \alpha \frac{\sin(\theta / 2) + (\sin^2 \pi / N) e^{j(\frac{\theta}{2} + \frac{\pi}{N})}}{\sin(\frac{\theta}{2} + \frac{\pi}{N}) \sin(\frac{\theta}{2} - \frac{\pi}{N})} \right] e^{j\theta(N-1)/2} \\ e^{-j\theta m} = & f_w(r-2m) + \sqrt{f_w^2(r-2m) - e^{j\frac{4\pi}{N}m}} \\ f_w(r-2m) = & \frac{\hat{x}_w(r-2m) + e^{j\frac{4\pi}{N}m} \hat{x}_w(r)}{2\hat{x}_w(r-m)}\end{aligned}$$

$c_w(r)$ 、 $coef$ 为相关修正量值。

5、根据权利要求1所述的一种加入汉明窗的同步相量测量方法，其特征在于，所述A、B、C三相相量合成正序相量，

$$\bar{x}_1(r) = \frac{1}{3}[\bar{x}_A(r) + a\bar{x}_B(r) + a^2\bar{x}_C(r)]$$

其中 $\bar{x}_A(r)$ 、 $\bar{x}_B(r)$ 、 $\bar{x}_C(r)$ 分别为A、B、C三相同步相量， $a = e^{j2\pi/3}$ 。

6、根据权利要求1所述的一种加入汉明窗的同步相量测量方法，其特征在于，两个间隔为 Δt 的正序电压相量 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) 的角度差为：

$$\theta = \arctan[(x_1 y_2 - x_2 y_1) / (x_1 x_2 + y_1 y_2)]$$

频率差：

$$\Delta f = \theta / (2\pi\Delta t)$$

从而得到当前频率值：

$$f = 50 - \Delta f。$$

7、根据权利要求1所述的一种加入汉明窗的同步相量测量方法，其特征在于，根据计算出不同时刻频率测量值 f ，选取间隔为 Δt_2 的频率测量值 f_1 和 f_2 ，得到的变化率值为：

$$df = (f_2 - f_1) / \Delta t_2。$$

8、根据权利要求1所述的一种加入汉明窗的同步相量测量方法，其特征在于，所述 α 、 β 为设定值， α 取0.46。

9、一种加入汉明窗的同步相量测量系统，包括处理器和储存器，其特征在于，所述处理器执行存储在所述储存器中的指令以实现权利要求1-8任一项所述的方法。

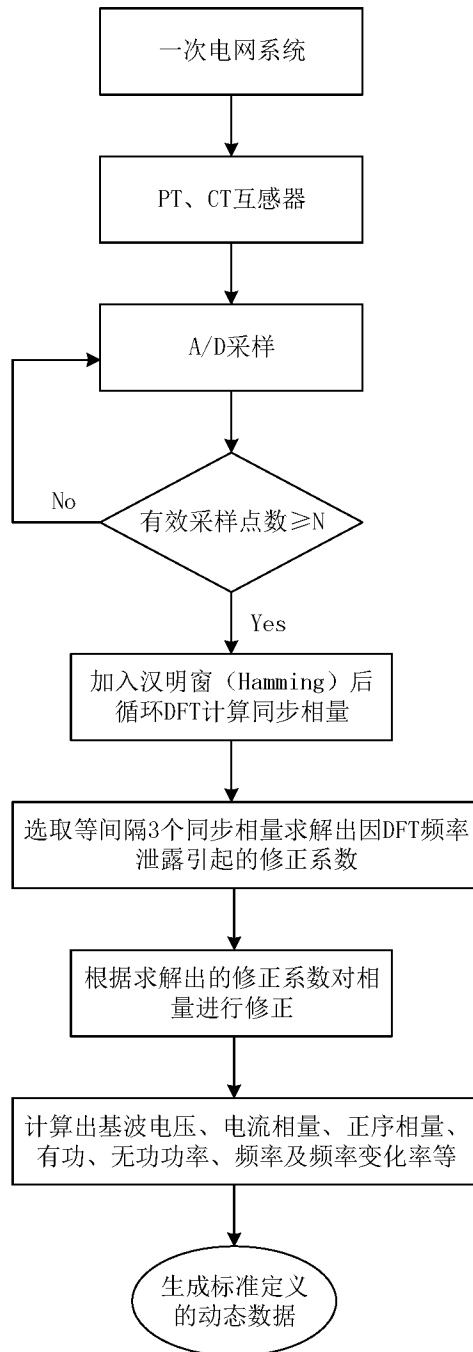


图 1

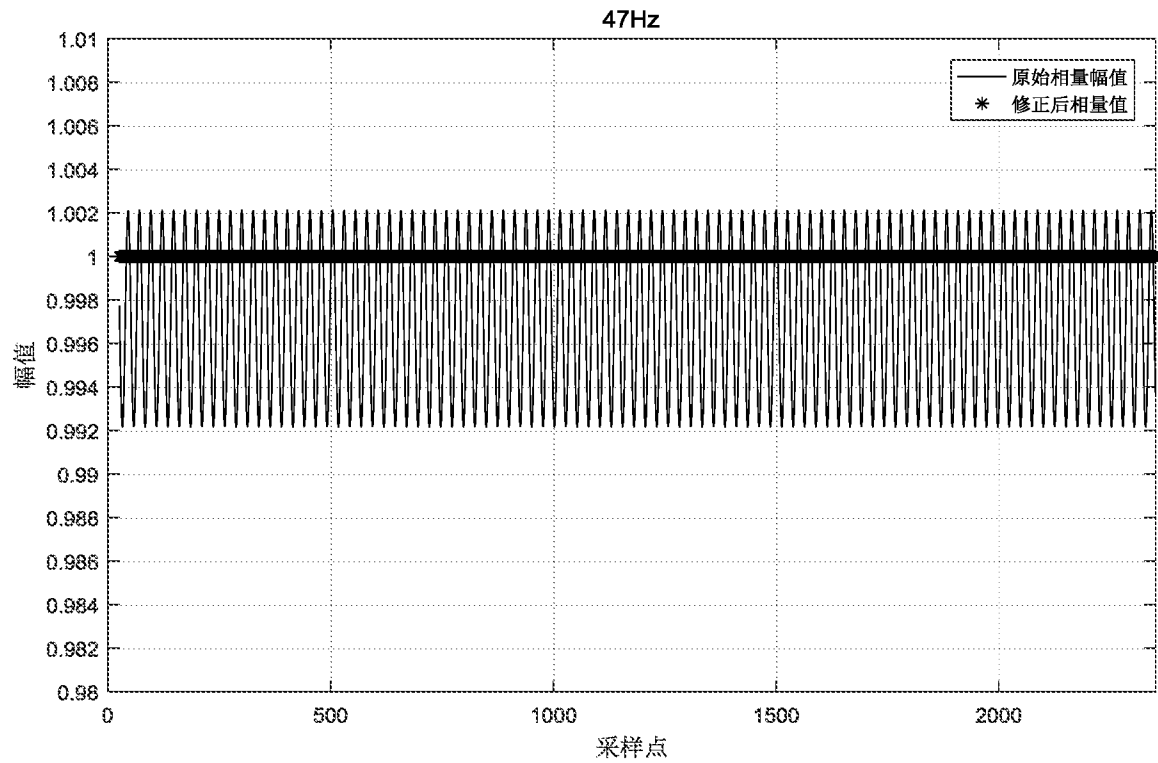


图 2a

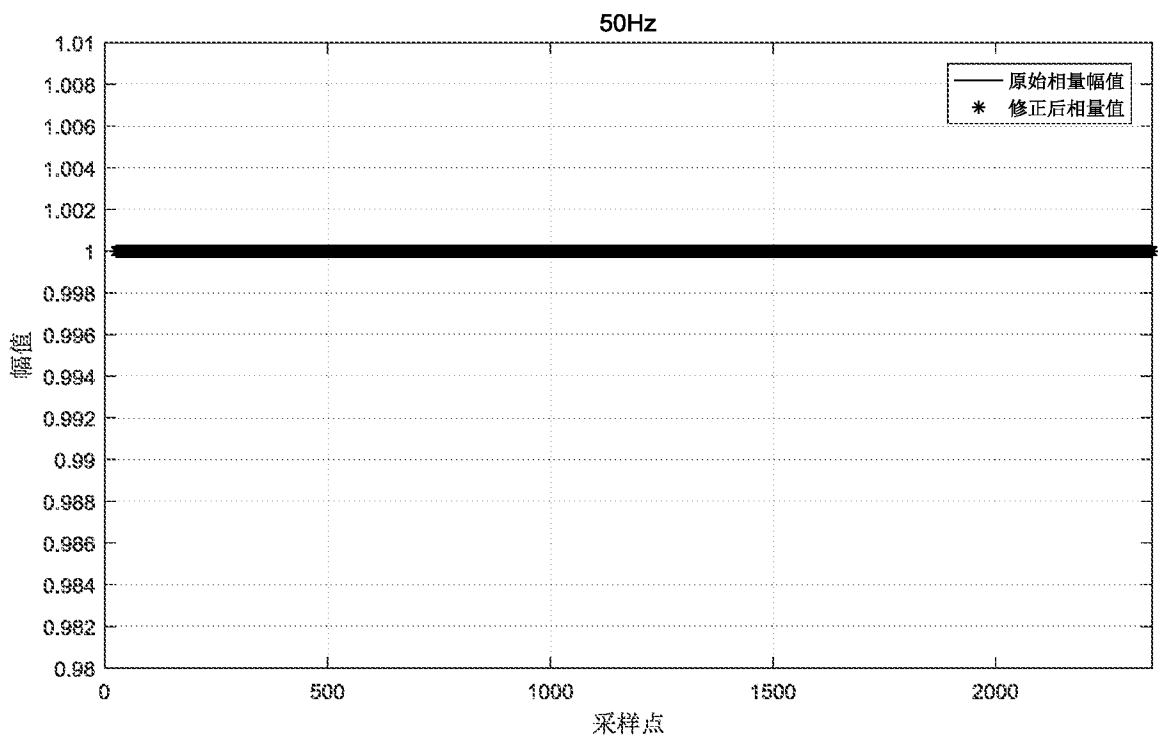


图 2b

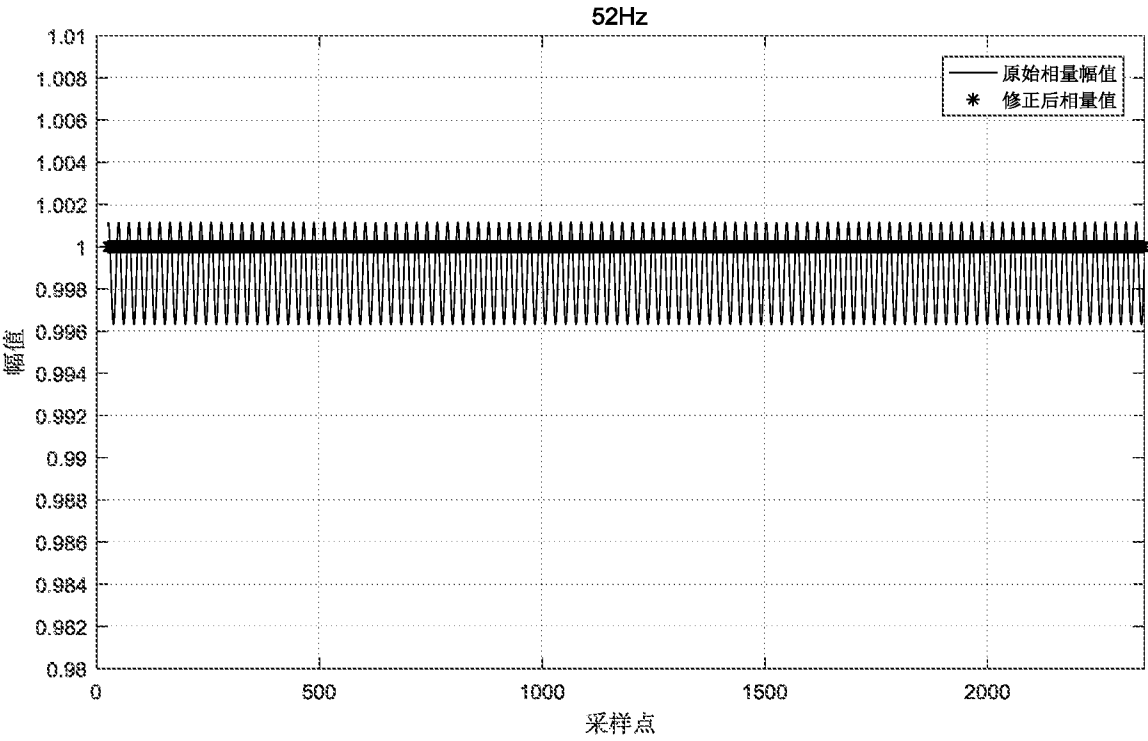


图 2c

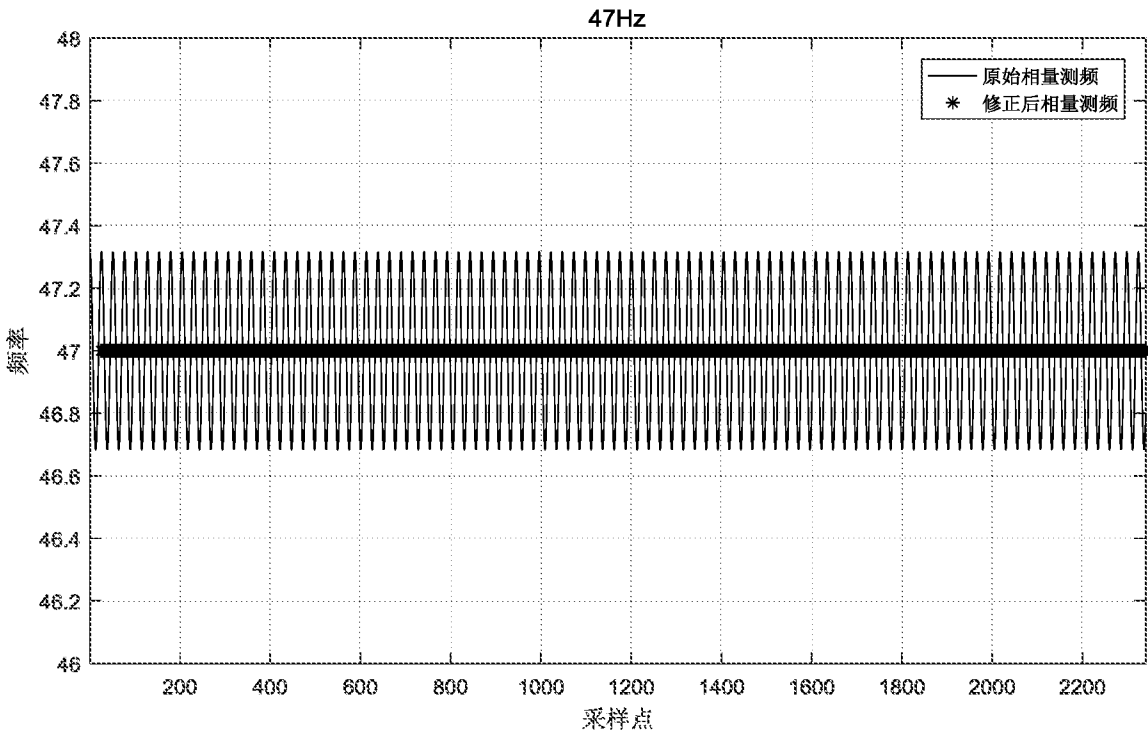


图 3a

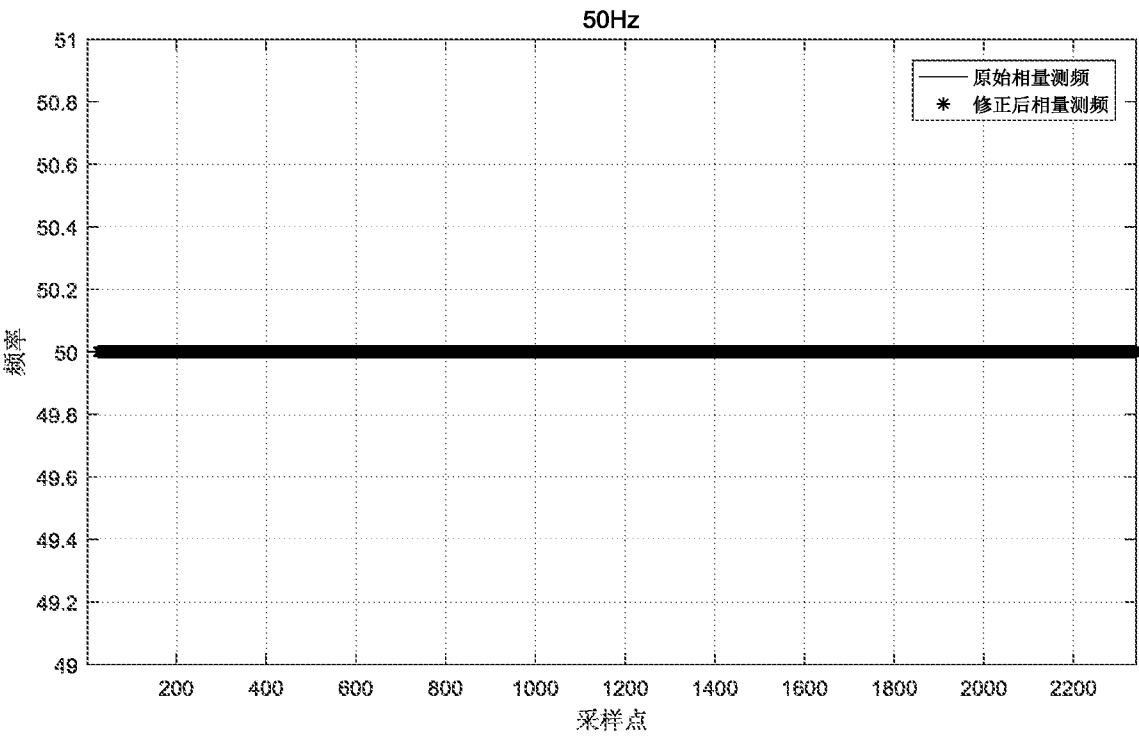


图 3b

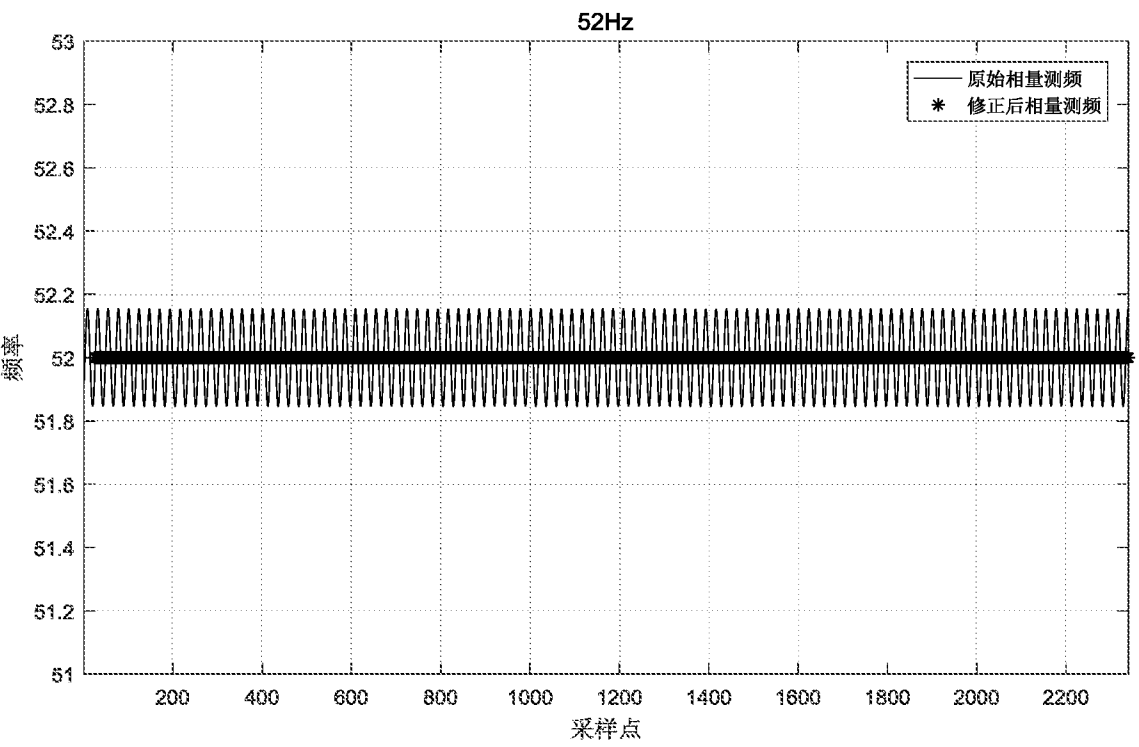


图 3c

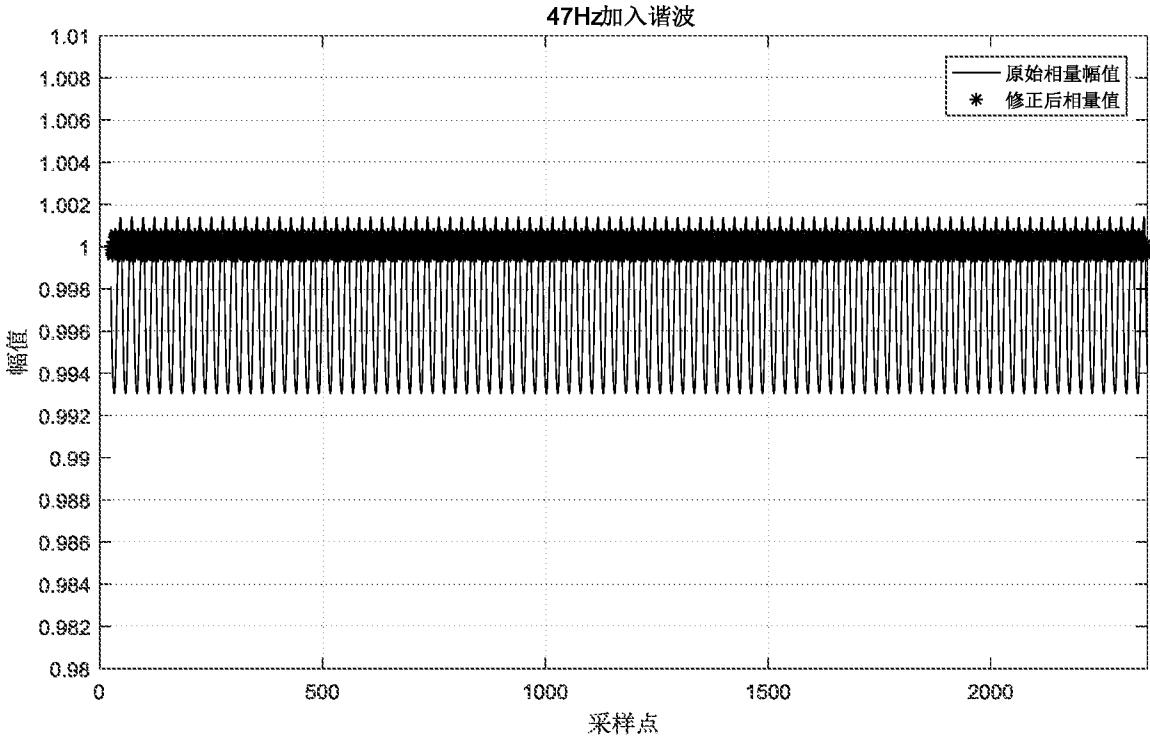


图 4a

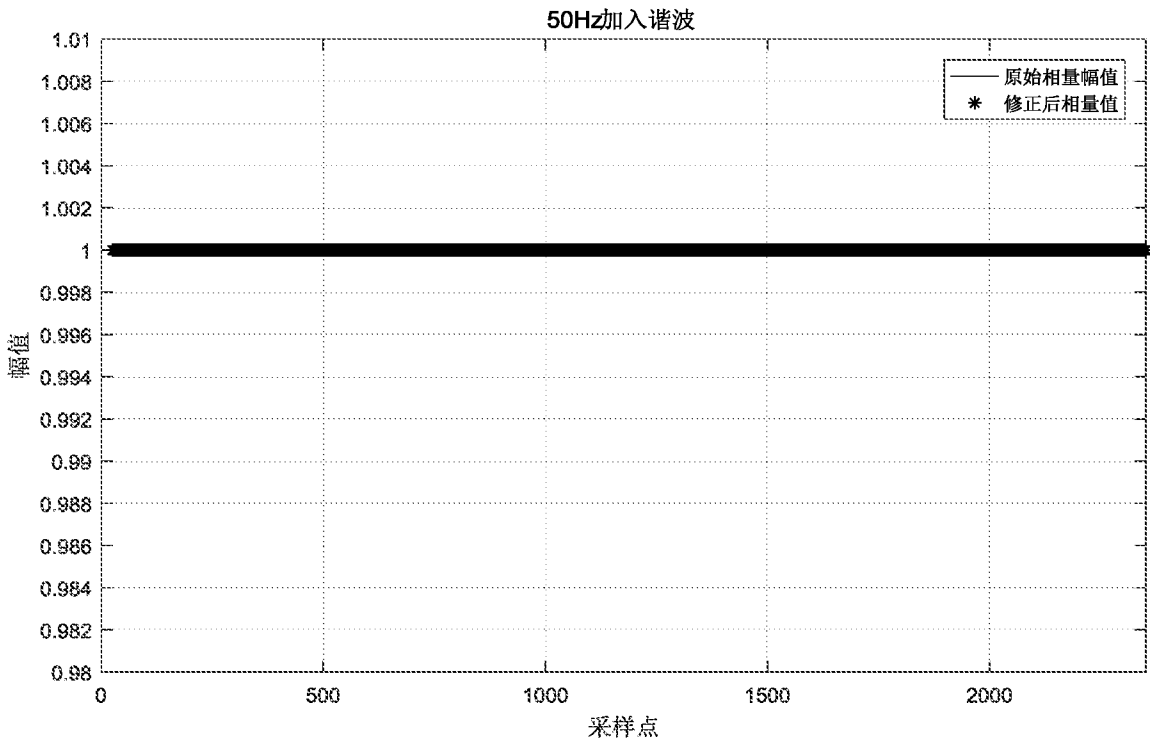


图 4b

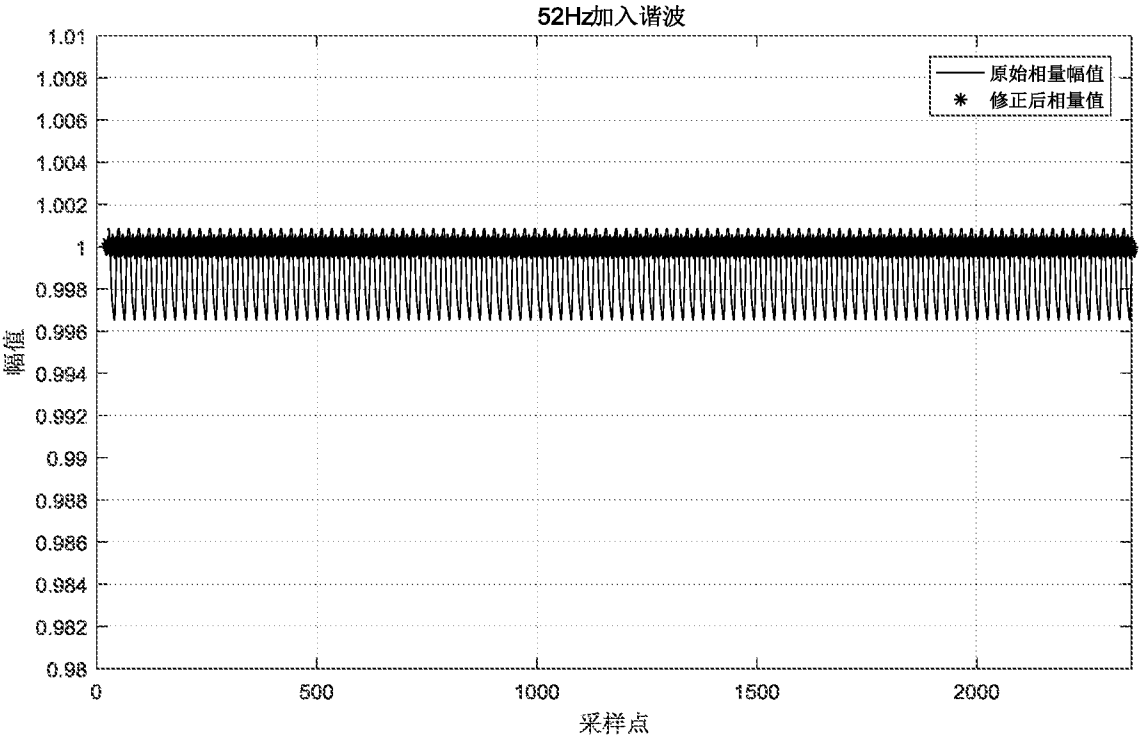


图 4c

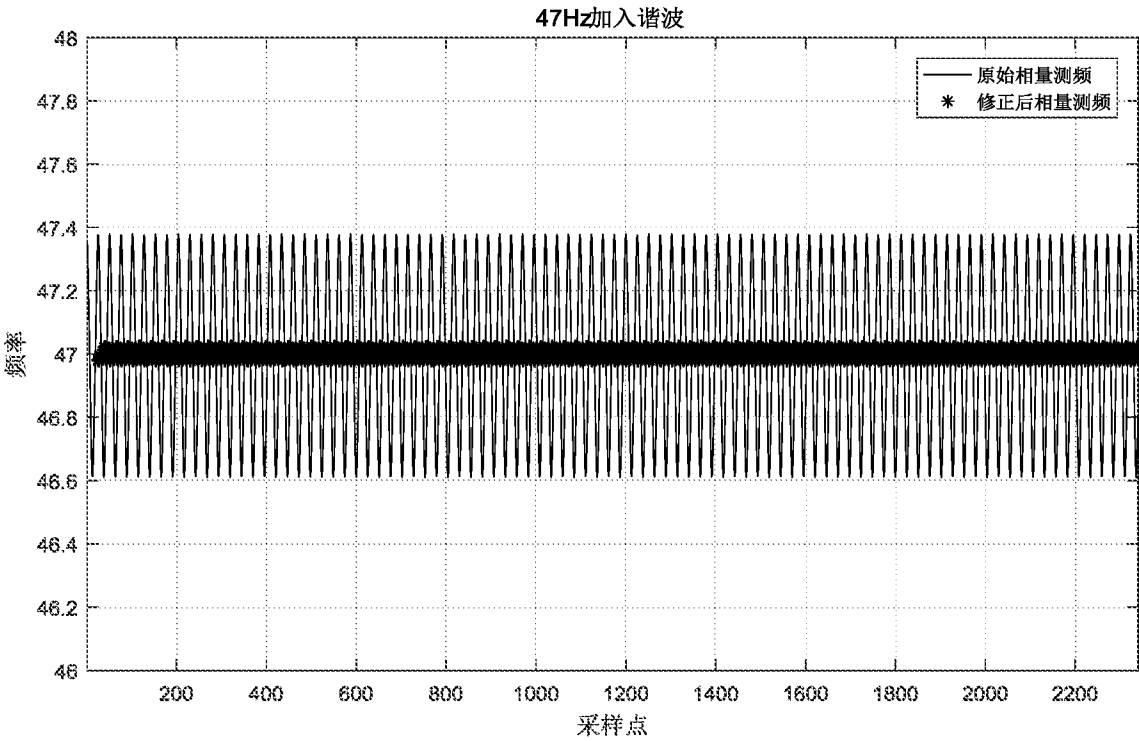


图 5a

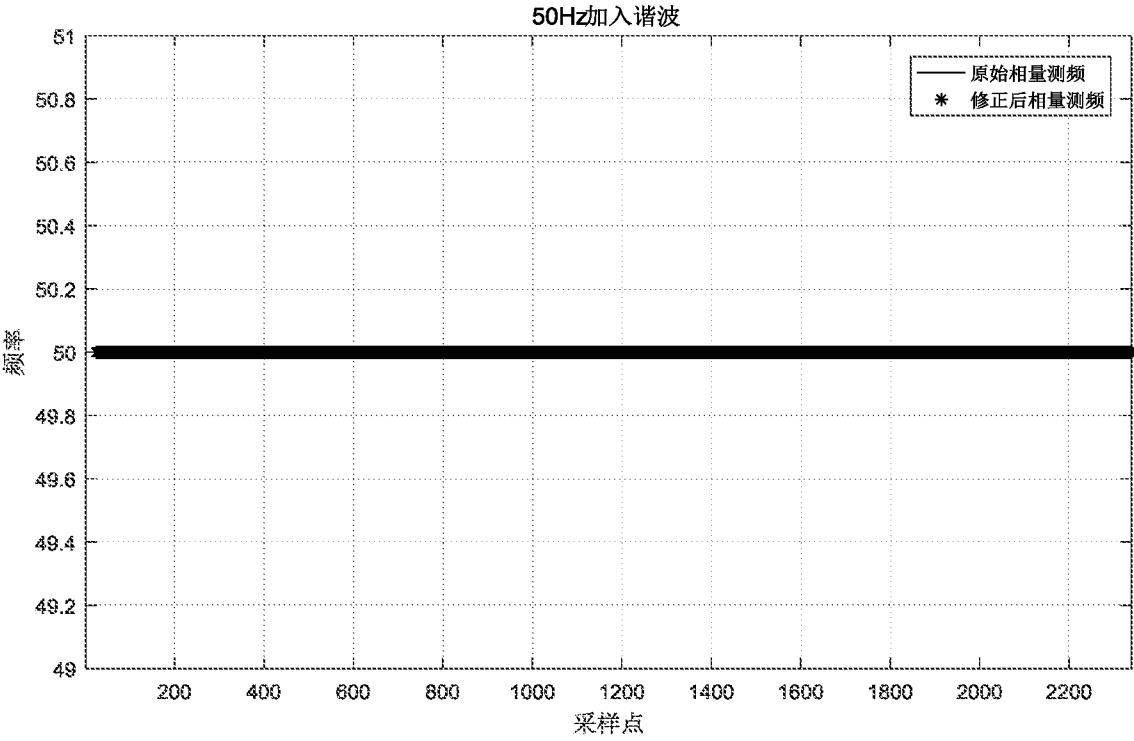


图 5b

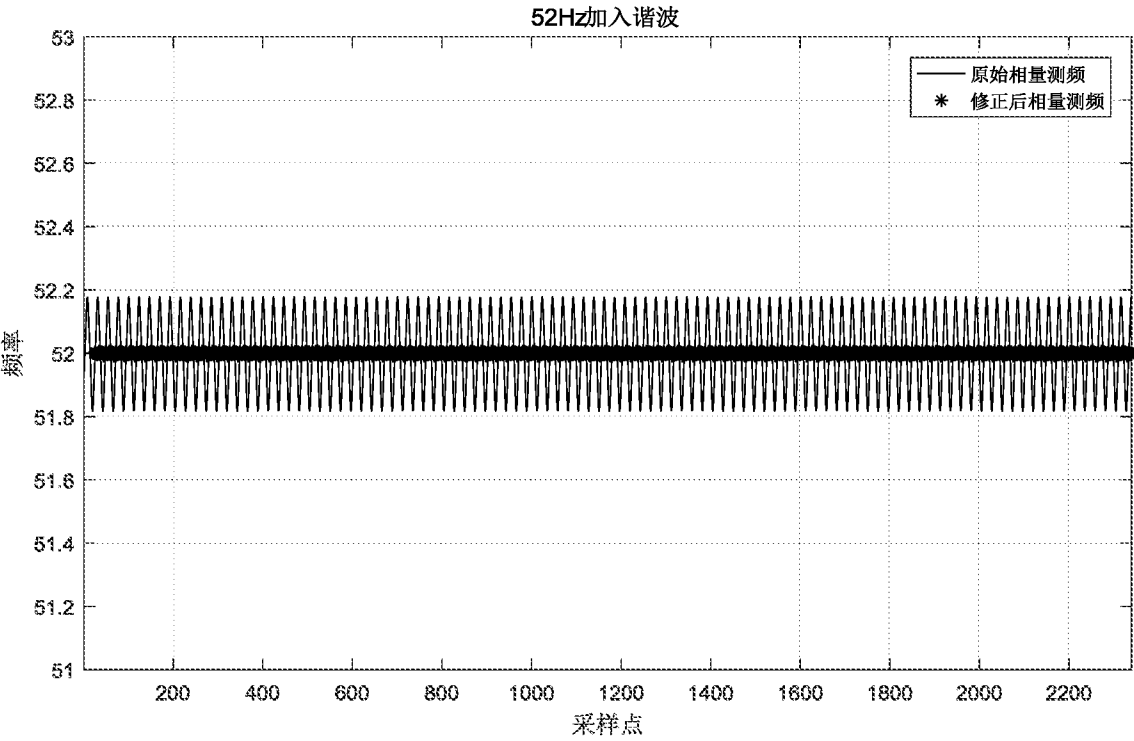


图 5c

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/094304

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01R 25/00(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01R

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNKI, CNPAT, WPI, EPODOC: 许继集团, 许继电气, DFT, 同步相量, 测量, 采样, 汉明窗, 修正, 校正, 角度差, 频率差, 正序相量, 频谱, 泄露, hamming, window, phasor, measure, synthesis, frequency, rate, angle, differ, value

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 108614155 A (XJ GROUP CORPORATION ET AL.) 02 October 2018 (2018-10-02) claims 1-9	1-9
Y	CN 104635094 A (NARI TECHNOLOGY DEVELOPMENT LIMITED COMPANY ET AL.) 20 May 2015 (2015-05-20) description, paragraphs 9-28 and 73-111	1-9
Y	CN 103454497 A (NANJING UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 18 December 2013 (2013-12-18) description, paragraphs 21-30	1-9
Y	CN 103543335 A (STATE GRID CORPORATION OF CHINA ET AL.) 29 January 2014 (2014-01-29) description, paragraphs 40-76	1-9
A	CN 106199183 A (NARI TECHNOLOGY DEVELOPMENT LIMITED COMPANY ET AL.) 07 December 2016 (2016-12-07) entire document	1-9
A	CN 107144734 A (BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 08 September 2017 (2017-09-08) entire document	1-9



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

12 September 2019

Date of mailing of the international search report

27 September 2019

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Authorized officer

Facsimile No. (86-10)62019451

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/094304**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 102135570 A (SHANGHAI SHR AUTOMATION CO., LTD. ET AL.) 27 July 2011 (2011-07-27) entire document	1-9
A	CN 1477401 A (TSINGHUA UNIVERSITY ET AL.) 25 February 2004 (2004-02-25) entire document	1-9
A	JP 2006317435 A (TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY) 24 November 2006 (2006-11-24) entire document	1-9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2019/094304

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	108614155	A	02 October 2018	None			
CN	104635094	A	20 May 2015	WO	2016138764	A1	09 September 2016
CN	103454497	A	18 December 2013	CN	103454497	B	21 September 2016
CN	103543335	A	29 January 2014	CN	103543335	B	20 April 2016
CN	106199183	A	07 December 2016	CN	106199183	B	28 September 2018
CN	107144734	A	08 September 2017	None			
CN	102135570	A	27 July 2011	CN	102135570	B	01 May 2013
CN	1477401	A	25 February 2004	CN	1207679	C	22 June 2005
JP	2006317435	A	24 November 2006	JP	5181427	B2	10 April 2013

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/094304

A. 主题的分类

G01R 25/00(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

G01R

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNKI, CNPAT, WPI, EPODOC: 许继集团, 许继电气, DFT, 同步相量, 测量, 采样, 汉明窗, 修正, 校正, 角度差, 频率差, 正序相量, 频谱, 泄露, hamming, window, phasor, measure, synthesis, frequency, rate, angle, differ, value

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 108614155 A (许继集团有限公司 等) 2018年 10月 2日 (2018 - 10 - 02) 权利要求1-9	1-9
Y	CN 104635094 A (国电南瑞科技股份有限公司 等) 2015年 5月 20日 (2015 - 05 - 20) 说明书第9-28、73-111段	1-9
Y	CN 103454497 A (南京理工大学) 2013年 12月 18日 (2013 - 12 - 18) 说明书第21-30段	1-9
Y	CN 103543335 A (国家电网公司 等) 2014年 1月 29日 (2014 - 01 - 29) 说明书第40-76段	1-9
A	CN 106199183 A (国电南瑞科技股份有限公司 等) 2016年 12月 7日 (2016 - 12 - 07) 全文	1-9
A	CN 107144734 A (北京理工大学) 2017年 9月 8日 (2017 - 09 - 08) 全文	1-9
A	CN 102135570 A (上海思源弘瑞自动化有限公司 等) 2011年 7月 27日 (2011 - 07 - 27) 全文	1-9

☒ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2019年 9月 12日

国际检索报告邮寄日期

2019年 9月 27日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局 (ISA/CN)
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

受权官员

宋静婧

电话号码 86-(10)-53961250

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 1477401 A (清华大学 等) 2004年 2月 25日 (2004 - 02 - 25) 全文	1-9
A	JP 2006317435 A (东京电力株式会社) 2006年 11月 24日 (2006 - 11 - 24) 全文	1-9

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/094304

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	108614155	A	2018年 10月 2日	无			
CN	104635094	A	2015年 5月 20日	WO	2016138764	A1	2016年 9月 9日
CN	103454497	A	2013年 12月 18日	CN	103454497	B	2016年 9月 21日
CN	103543335	A	2014年 1月 29日	CN	103543335	B	2016年 4月 20日
CN	106199183	A	2016年 12月 7日	CN	106199183	B	2018年 9月 28日
CN	107144734	A	2017年 9月 8日	无			
CN	102135570	A	2011年 7月 27日	CN	102135570	B	2013年 5月 1日
CN	1477401	A	2004年 2月 25日	CN	1207679	C	2005年 6月 22日
JP	2006317435	A	2006年 11月 24日	JP	5181427	B2	2013年 4月 10日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2015年1月)