

(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
2022 年 1 月 6 日 (06.01.2022)



(10) 国际公布号
WO 2022/000656 A1

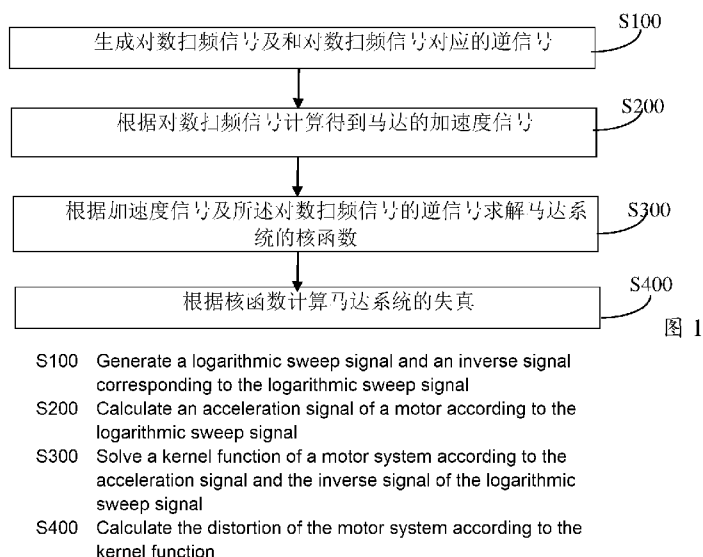
- (51) 国际专利分类号:
G01R 31/34 (2006.01) **G06F 17/16** (2006.01)
G06F 17/15 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2020/104688
- (22) 国际申请日: 2020 年 7 月 25 日 (25.07.2020)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202010597832.1 2020年6月28日 (28.06.2020) CN
- (71) 申请人: 瑞声声学科科技(深圳)有限公司 (AAC ACOUSTIC TECHNOLOGIES (SHENZHEN) CO., LTD.) [CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区高新区南区粤兴三道6号南京大学深圳产学研大楼A座, Guangdong 518057 (CN)。瑞声科技(新加坡)有限公司(AAC TECHNOLOGIES

PTE. LTD.) [SG/SG]; 新加坡卡文迪什科技园大道85号2楼8号, Singapore 118259 (SG)。

- (72) 发明人: 向征(XIANG, Zhen); 中国广东省深圳市南山区高新区南区粤兴三道6号南京大学深圳产学研大楼A座, Guangdong 518057 (CN)。曹仲晴(CAO, Zhongqing); 中国广东省深圳市南山区高新区南区粤兴三道6号南京大学深圳产学研大楼A座, Guangdong 518057 (CN)。郭璇(GUO, Xuan); 中国广东省深圳市南山区高新区南区粤兴三道6号南京大学深圳产学研大楼A座, Guangdong 518057 (CN)。
- (74) 代理人: 深圳紫辰知识产权代理有限公司 (SHENZHEN ZICHEN INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY LIMITED); 中国广东省深圳市福田区梅林街道梅都社区梅林路48号理想公馆803, Guangdong 518000 (CN)。

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR MEASURING DISTORTION OF MOTOR SYSTEM, AND COMPUTER READABLE STORAGE MEDIUM

(54) 发明名称: 马达系统失真的测量方法及设备、计算机可读存储介质



(57) Abstract: A method and device for measuring the distortion of a motor system, and a computer readable storage medium, the measuring method comprising: generating a logarithmic sweep signal and an inverse signal corresponding to the logarithmic sweep signal (S100); calculating an acceleration signal of a motor according to the logarithmic sweep signal (S200); solving a kernel function of a motor system according to the acceleration signal and the inverse signal of the logarithmic sweep signal (S300); and calculating the distortion of the motor system according to the kernel function (S400). By means of the described embodiment, the distortion testing time for a motor system can be shortened on the premise that the testing precision and the existing method are approximately the same, thus facilitating rapid production line testing.

(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, IT, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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))。

(57) 摘要: 一种马达系统失真的测量方法及设备、计算机可读存储介质, 该测量方法包括: 生成对数扫频信号及和对数扫频信号对应的逆信号 (S100); 根据对数扫频信号计算得到马达的加速度信号 (S200); 根据加速度信号及对数扫频信号的逆信号求解马达系统的核函数 (S300); 根据核函数计算马达系统的失真 (S400)。通过上述实施方式, 能够在测试精度和现有方法近似相同的前提下, 缩短马达系统的失真测试时间, 便于进行快速产线测试。

马达系统失真的测量方法及设备、计算机可读存储介质

技术领域

本发明涉及电机驱动技术领域，特别是涉及一种马达系统失真的测量方法及设备、计算机可读存储介质。

背景技术

科技日益发展的今天，仅视听觉信息已无法满足人们的需求，触觉反馈作为一种新的感受信息逐渐进入大众视野。以马达为载体的触觉致动器，通过设计其特定波形，可以获得定制化的触觉体验，极大地丰富了用户感知。为了获得丰富且纯净的体验效果，一般希望马达能够工作在失真相对较小的频率区间。马达的失真测试可为设计师进行效果设计提供客观数值参考，变得越来越重要。通常采用总谐波失真（THD）和 m 阶谐波失真（HD m ）来描述马达的失真，前者表示所有（或者大部分）高阶谐波能量总和占总能量的比值，后者表示第 m 阶谐波能量占总能量的比值，采用百分比进行描述。

传统的马达失真测量方法与声学中测量失真的方法类似，即对系统进行单一频率信号的激励，系统的非线性会产生高次谐波（即该频率信号的倍频分量），通过高阶和基频的能量比，来表示这个频率对应的 THD 和 HD m ；再遍历不同频点，直到把所有感兴趣频率点的失真测试完成。对于频率为 f 的单频激励，THD 和 HD m 的计算公式如下：

$$THD = \sqrt{\frac{\sum_{m=2}^5 P^2(mf)}{\sum_{m=1}^5 P^2(mf)}}$$
$$HDm = \sqrt{\frac{P^2(mf)}{\sum_{m=1}^5 P^2(mf)}}$$

其中， $P(f)$ 表示输出信号的频谱。

为了使单频信号输出在频域产生足够积累，要求激励信号在每个感兴趣的频点保持足够的时长，通常在百毫秒数量级。若每个频点持续 500ms，测试 100 个频点需要 50s 左右，如此对于测试一颗马达单体而言耗费时间过长。

发明内容

本发明主要是提供一种马达系统失真的测量方法及设备、计算机可读存储介质，能够解决现有技术中对于单个马达失真测量其损耗时间过长的问

题。为解决上述技术问题，本发明采用的一个技术方案是：提供一种马达系统失真的测量方法，所述测量方法包括：生成对数扫频信号及和所述对数扫频信号对应的逆信号；根据所述对数扫频信号计算得到所述马

达系统的加速度信号；根据所述加速度信号及所述对数扫频信号的逆信号求解所述马达系统的核函数；根据所述核函数计算所述马达系统的失真。

其中，所述根据所述对数扫频信号计算得到所述马达的加速度信号包括：将所述对数扫频信号反馈给马达系统；采集所述马达系统输出的所述加速度信号；其中，所述加速度信号的公式为：

$$y(n) = \sum_{i=0}^{M_1-1} h_1(i)x(n-i) + \sum_{i=0}^{M_2-1} h_2(i)x^2(n-i) + \dots + \sum_{i=0}^{M_p-1} h_p(i)x^p(n-i) \quad (1)$$

其中， h_1 、 h_2 ... h_p 为所述马达系统的核函数， M_1 ， M_2 ...， M_p 为第 p 阶核函数的长度， N 为所述对数扫频信号的总采样点数， f_1 、 f_2 分别为所述对数扫频信号的起始频率和终止频率。

其中，所述根据所述加速度信号及所述对数扫频信号的逆信号求解马达系统的核函数包括：将所述加速度信号和所述对数扫频信号的逆信号进行卷积运算，以得到一维脉冲序列；使用窗函数截取所述一维脉冲序列中各部分的脉冲响应序列；根据所述脉冲响应序列求解所述马达系统的核函数。

其中，所述对数扫频信号为：

$$x(n) = A \sin \left\{ \frac{\omega_1 T}{\ln(\omega_2 / \omega_1)} \left[e^{\frac{n \ln(\omega_2 / \omega_1)}{N}} - 1 \right] \right\} \quad (2)$$

其中， A 为幅度， ω_1 为所述扫频信号的起始角频率， ω_2 为所述扫频信号的终止角频率， T 为信号时长， N 为总采样点数；

$$\frac{\omega_1 T}{\ln(\omega_2 / \omega_1)} = \frac{\pi}{2} + 2\eta\pi, \quad \eta = \dots, -1, 0, 1, 2, \dots \quad (3)$$

所述扫频信号的逆信号为：

$$\tilde{x}(n) = \frac{2 \ln \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)}{A^2 T} e^{-\frac{n}{N} \ln \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)} \cdot x(-n) \quad (4)$$

其中， A 为幅度， ω_1 为所述扫频信号逆信号的起始角频率， ω_2 为所述扫频信号逆信号的终止角频率， T 为信号时长， N 为总采样点数。

其中，所述一维脉冲序列中各部分的脉冲响应序列为：

$$\begin{cases} k_1(n) = k(n) \cdot [u(n) - u(n - M_1)] \\ k_2(n) = k(n) \cdot [u(n + \gamma_{20}) - u(n + \gamma_{20} - M_2)] \\ \vdots \\ k_p(n) = k(n) \cdot [u(n + \gamma_{p0}) - u(n + \gamma_{p0} - M_p)] \end{cases} \quad (5)$$

其中， u 为单位阶跃函数， M_1 、 M_2 ... M_p 为所述窗函数的长度， γ_{p0} 为表示第 p 个脉冲响应的延时偏移量，其表达式为：

$$\gamma_{p0} = \frac{\ln(p)}{\ln(\omega_2/\omega_1)} \quad (6)。$$

其中，所述根据所述脉冲响应序列求解所述马达系统的核函数公式为：

$$\begin{pmatrix} h_1(t) \\ \vdots \\ h_p(t) \end{pmatrix} = B \begin{pmatrix} k_1(t) \\ \vdots \\ k_p(t) \end{pmatrix} \quad (7)$$

其中，B 为转移矩阵。

其中，所述根据所述核函数计算所述马达系统的失真包括：获取所述对数扫频信号为单频信号时所述马达系统的输出信号；根据所述输出信号分别得到所述马达的总谐波失真以及高次谐波失真。

其中，所述对数扫频信号为单频信号时所述马达系统的输出信号为：

$$z(t) = \sum_{m=1}^p |\Gamma_m(X, mf)| \cos[2\pi kft + \angle(\Gamma_m(X, mf))] \quad (8)$$

$$\Gamma_m(X, mf) = \sum_{k=1}^p X^k C(k, m) H_k(f) \quad (9)$$

其中，p 为所述马达系统核函数最高阶数及高次谐波的最高次数， $H_k(f)$ 为第 k 阶核函数 $h_k(t)$ 的傅里叶变换， $\Gamma_m(X, mf)$ 为第 m 次谐波的贡献， $C=B^{-1}$ ；所述马达的高次谐波失真为：

$$HD_m(X, mf) = \left| \frac{\Gamma_m(X, mf)}{\Gamma_{Tot}(X, f)} \right| \quad (10)$$

所述马达的总谐波失真为：

$$THD(X, f) = \sqrt{\sum_{m=1}^p \left[\frac{\Gamma_m(X, mf)}{\Gamma_{Tot}(X, f)} \right]^2} \quad (11)$$

其中， $\Gamma_{Tot}(X, f)$ 为各次谐波贡献之和，且表达式为：

$$\Gamma_{Tot}(X, f) = \sqrt{\sum_{m=1}^p [\Gamma_m(X, mf)]^2} \quad (12)。$$

为解决上述技术问题，本发明采用的另一个技术方案是：提供一种马达系统失真的测量设备，所述测量设备包括处理器以及存储器，所述存储器存储有计算机指令，所述处理器耦合所述存储器，所述处理器在工作时执行所述计算机指令以实现上述的测量方法。

为解决上述技术问题，本发明采用的又一个技术方案是：提供一种计算机可读存储介质，其上存储有计算机程序，所述计算机程序被处理器执行以实现如上述的测量方法。

本发明的有益效果是：区别于现有技术的情况，本发明提供一种马达系统失真的测量方法及设备、计算机可读存储介质，通过生成对数扫频信号及和其对应的逆信号，根据对数扫频信号得到马达的加速度信号，再根据加速度信号及对数扫频信号的逆信号求解马达系统的核函数，基

于核函数计算马达系统总谐波失真参数，如此能够在测试精度和现有方法近似相同的前提下，缩短马达系统的失真测试时间，便于进行快速产线测试。

附图说明

为了更清楚地说明本发明实施例中的技术方案，下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图，其中：

图1是本发明提供的马达应失真的测量方法一实施方式的流程示意图；

图2是本发明图1中步骤S200一实施方式的流程示意图；

图3是本发明图1中步骤S300一实施方式的流程示意图；

图4是本发明卷积所得的脉冲响应序列一实施方式的示意图；

图5是本发明图1中步骤S400一实施方式的流程示意图；

图6是本发明马达系统的失真测量方法和传统测量方法测量的总谐波失真的对比示意图；

图7是本发明马达系统的失真测量的硬件系统示意图；

图8是本发明提供的马达系统失真的测量设备实施例的示意框图；

图9是本发明提供的计算机可读存储介质实施例的示意框图。

具体实施方式

下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅是本发明的一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

请一并参阅图1，图1是本发明提供的马达应失真的测量方法一实施方式的流程示意图，如图1本发明实施例中的马达失真的测试方法可具体包括：

S100，生成对数扫频信号及和对数扫频信号对应的逆信号。

首先生成对数扫频信号，且该对数扫频信号的表达式入下：

$$x(n) = A \sin \left\{ \frac{\omega_1 T}{\ln(\omega_2 / \omega_1)} \left[e^{\frac{n \ln(\omega_2 / \omega_1)}{N}} - 1 \right] \right\} \quad (2)$$

其中，A为幅度， ω_1 为所述扫频信号的起始角频率， ω_2 为所述扫频信号的终止角频率，T为信号时长，N为总采样点数，且参数满足：

$$\frac{\omega_1 T}{\ln(\omega_2 / \omega_1)} = \frac{\pi}{2} + 2\eta\pi, \quad \eta = \dots, -1, 0, 1, 2, \dots \quad (3)$$

进一步，根据对数扫频信号 $x(n)$ 生成其逆信号 $\tilde{x}(n)$ 速，且该对数扫

频信号的逆信号 $\tilde{x}(n)$ 表达式为:

$$\tilde{x}(n) = \frac{2 \ln \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)}{A^2 T} e^{-\frac{n}{N} \ln \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)} \cdot x(-n) \quad (4)。$$

S200, 根据对数扫频信号计算得到马达的加速度信号。

请进一步结合图 2, 图 2 为本发明步骤 S200 一实施方式的流程示意图, 如图 2, 步骤 S200 进一步包括如下子步骤:

S210, 将对数扫频信号反馈给马达系统。

可选地, 本发明实施例中采用数据库软件 (VF) 进行非线性描述, 在实际应用场景中以对数扫频信号 $x(n)$ 为输入, 激励马达系统输出对应的振动加速度信号。

S220, 采集马达系统输出的加速度信号。

可选地, 采用加速度计采集马达系统输出的振动加速度信号 $y(n)$ 。其中, 对数扫频信号 $x(n)$ 和加速度信号 $y(n)$ 之间的关系满足:

$$y(n) = \hat{h}_0 + \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{m_1=0}^{\infty} \sum_{m_2=0}^{\infty} \cdots \sum_{m_i=0}^{\infty} \left[\hat{h}_i(m_1, m_2, \cdots, m_i) \cdot \prod_{j=1}^i x(n-m_j) \right]$$

其中, h_0 为直流, h_i 为 Volterra 核函数, h_1 为一维向量, h_2 为二维矩阵……直至 i 维矩阵。可选地, 忽略 VF 中直流、2 阶及以上系数矩阵上非对角元素, 只保留对角(ODVF), 上述对数扫频信号 $x(n)$ 和加速度信号 $y(n)$ 之间的关系满足:

$$y(n) = \sum_{i=0}^{M_1-1} h_1(i) x(n-i) + \sum_{i=0}^{M_2-1} h_2(i) x^2(n-i) + \cdots + \sum_{i=0}^{M_p-1} h_p(i) x^p(n-i) \quad (1)$$

其中, h_1 、 h_2 … h_p 为所述马达系统的核函数, M_1 , M_2 ..., M_p 为第 p 阶核函数的长度, N 为对数扫频信号的总采样点数, f_1 、 f_2 分别为对数扫频信号的起始频率和终止频率。

可选地, 为保证建模的准确性 M_p 的取值应该足够长, 且应避免太长使各次谐波之间产生混叠, 故 M_p 的取值一般为 $M_1=M_2=\dots=M_p$, 且

$$M_p \text{ 的最大取值为 } \frac{N}{\ln \left(\frac{f_2}{f_1} \right)} \ln \frac{(p+1)}{p}。$$

可以理解的是, 本发明提供的马达系统失真的测量方法其关键在于上述核函数的求解, 且在求解核函数后, 能够基于该核函数计算马达系统总谐波失真参数。

S300, 根据加速度信号及所述对数扫频信号的逆信号求解马达系统的核函数。

请进一步结合图 3, 图 3 为本发明步骤 S300 一实施方式的流程示意图, 如图 3, 步骤 S300 进一步包括如下子步骤:

S310, 将加速度信号和对数扫频信号的逆信号进行卷积运算, 以得

到一维脉冲序列。

请结合图 4, 图 4 为本发明卷积所得的脉冲响应序列一实施方式的示意图。具体地, 通过将加速度信号 $y(n)$ 和对数扫频信号的逆信号 $\tilde{x}(n)$ 进行卷积运算, 以得到一维脉冲序列 $k(n)$, $k(n)$ 由一系列延时的脉冲响应序列组成。

S320, 使用窗函数截取一维脉冲序列中各部分的脉冲响应序列。

使用窗函数截取一维脉冲序列 $k(n)$ 中各部分的脉冲响应序列 $k_1(n) \sim k_p(n)$, 且各部分的脉冲响应序列 $k_1(n) \sim k_p(n)$ 表达式为:

$$\begin{cases} k_1(n) = k(n) \cdot [u(n) - u(n - M_1)] \\ k_2(n) = k(n) \cdot [u(n + \gamma_{20}) - u(n + \gamma_{20} - M_2)] \\ \vdots \\ k_p(n) = k(n) \cdot [u(n + \gamma_{p0}) - u(n + \gamma_{p0} - M_p)] \end{cases} \quad (5)$$

其中, u 为单位阶跃函数, $M_1, M_2, \dots, M_p$ 为所述窗函数的长度, γ_{p0} 为表示第 p 个脉冲响应的延时偏移量, 其表达式为:

$$\gamma_{p0} = \frac{\ln(p)}{\ln(\omega_2 / \omega_1)} \quad (6)。$$

S330, 根据脉冲响应序列求解马达系统的核函数。

可选地, 根据脉冲响应序列 $k_1(n) \sim k_p(n)$ 求解马达系统的核函数 $h_1 \sim h_p$ 公式为:

$$\begin{pmatrix} h_1(t) \\ \vdots \\ h_p(t) \end{pmatrix} = B \begin{pmatrix} k_1(t) \\ \vdots \\ k_p(t) \end{pmatrix} \quad (7)$$

其中, B 为转移矩阵。

在本发明具体实施方式中, 若马达系统的核函数最高阶数为 5 时 ($P=5$), 此时转移矩阵 B 为:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & -3 & 0 & 5 \\ 0 & -2/A & 0 & 8/A & 0 \\ 0 & 0 & 4/A^2 & 0 & -20/A^2 \\ 0 & 0 & 0 & -8/A^3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -16/A^4 \end{pmatrix}$$

S400, 根据核函数计算马达系统的失真。

请进一步结合图 5, 图 5 为本发明步骤 S400 一实施方式的流程示意图。如图 5, 步骤 S400 进一步包括如下子步骤:

S410, 获取对数扫频信号为单频信号时马达系统的输出信号。

当对数扫频信号 $x(t)$ 为单频信号时, 即 $x(t) = X \cos(2\pi f t)$, 其中, X 为信号幅度, 如此便可得到马达系统的输出信号 $z(t)$ 为:

$$z(t) = \sum_{m=1}^p |\Gamma_m(X, mf)| \cos[2\pi k f t + \angle(\Gamma_m(X, mf))] \quad (8)$$

$$\Gamma_m(X, mf) = \sum_{k=1}^p X^k C(k, m) H_k(f) \quad (9)$$

其中, p 为所述马达系统核函数最高阶数及高次谐波的最高次数, $H_k(f)$ 为第 k 阶核函数 $h_k(t)$ 的傅里叶变换, $\Gamma_m(X, mf)$ 为第 m 次谐波的贡献, $C=B^{-1}$ 。

S420, 根据输出信号分别得到马达的总谐波失真以及高次谐波失真。

可选地, 根据马达系统的输出信号 $z(t)$ 可以得到马达的高次谐波失真为:

$$HD_m(X, mf) = \left| \frac{\Gamma_m(X, mf)}{\Gamma_{Tot}(X, f)} \right| \quad (10)$$

所述马达的总谐波失真为:

$$THD(X, f) = \sqrt{\sum_{m=1}^p \left[\frac{\Gamma_m(X, mf)}{\Gamma_{Tot}(X, f)} \right]^2} \quad (11)$$

其中, $\Gamma_{Tot}(X, f)$ 为各次谐波贡献之和, 且表达式为:

$$\Gamma_{Tot}(X, f) = \sqrt{\sum_{m=1}^p [\Gamma_m(X, mf)]^2} \quad (12)$$

请进一步结合图 6, 图 6 为本发明马达系统的失真测量方法和传统测量方法测量的总谐波失真的对比示意图, 如图 6, 圆圈为传统的 step (阶跃) 计算结果, 实线为本发明测量方法(chirp, 啁啾)计算结果, 从二者的对比图中可以看出, 两者的结果是比较接近的。值得注意的是, 采用本发明的测量方法, chirp 信号的时长为 10s 左右, 比通常一分钟左右的 step 信号测试时间节省了约 5/6, 也即是说本申请提供的马达系统的失真测量方法适合在产线进行快速测试和筛选。

进一步结合图 7, 图 7 为本发明马达系统的失真测量的硬件系统示意图, 如图 7, 该测量的硬件系统包括马达、工装、海绵体、电脑、采集卡、放大器以及加速度计。其中, 具体实现原理为:

马达 (LRA) 和工装粘性贴合, 且工装放置在海绵体上以避免环境对测量结果的影响。加速度计用于 ACC 测量工装在马达 LRA 振动方向上的加速度。电脑 PC 上生成的数字信号送入到采集卡进行数模转换成模拟信号, 并通过放大器 AMP2 进行放大以激励马达 LRA, 马达 LRA 的振动会带动工装反向振动, 并通过加速度计 ACC 采集并放大, 采集卡 NI-DAQ 同步采集测量振动方向上的加速度 $y(n)$ 和激励马达的电压信号 $x(n)$ 。

上述实施方式中, 通过生成对数扫频信号及和其对应的逆信号, 根据对数扫频信号得到马达的加速度信号, 再根据加速度信号及对数扫频信号的逆信号求解马达系统的核函数, 基于核函数计算马达系统总谐波失真参数, 如此能够在测试精度和现有方法近似相同的前提下, 缩短马达系统的失真测试时间, 便于进行快速产线测试。

参阅图 8，图 8 是本发明提供的马达系统失真的测量设备一实施例的示意框图，本实施例中的测量设备包括处理器 310 及存储器 320，处理器 310 与存储器 320 耦合，存储器 320 存储有计算机指令，处理器 310 在工作时执行计算机指令以实现上述任一实施例中的测量方法。

其中，处理器 310 还可以称为 CPU (Central Processing Unit, 中央处理单元)。处理器 310 可能是一种集成电路芯片，具有信号的处理能力。处理器 310 还可以是通用处理器、数字信号处理器 (DSP)、专用集成电路 (ASIC)、现成可编程门阵列 (FPGA) 或者其他可编程逻辑器件、分立门或者晶体管逻辑器件、分立硬件组件。通用处理器可以是微处理器或者该处理器也可以是任何常规的处理器，但不仅限于此。

参阅图 9，图 9 是本发明提供的计算机可读存储介质实施例的示意框图，本实施例中的计算机可读存储介质存储有计算机程序 410，该计算机程序 410 能够被处理器执行以实现上述任一实施例中的测量方法。

可选的，该可读存储介质可以是 U 盘、移动硬盘、只读存储器 (ROM, Read-Only Memory)、随机存取存储器 (RAM, Random Access Memory)、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质，或者是计算机、服务器、手机、平板等终端设备。

区别于现有技术，本发明实施例提供一种马达系统失真的测量方法及设备、计算机可读存储介质，通过生成对数扫频信号及和其对应的逆信号，根据对数扫频信号得到马达的加速度信号，再根据加速度信号及对数扫频信号的逆信号求解马达系统的核函数，基于核函数计算马达系统总谐波失真参数，如此能够在测试精度和现有方法近似相同的前提下，缩短马达系统的失真测试时间，便于进行快速产线测试。

以上所述仅为本发明的实施例，并非因此限制本发明的专利范围，凡是利用本发明说明书及附图内容所作的等效结构或等效流程变换，或直接或间接运用在其他相关的技术领域，均同理包括在本发明的专利保护范围内。

权 利 要 求 书

1、一种马达系统失真的测量方法，其特征在于，所述测量方法包括：

生成对数扫频信号及和所述对数扫频信号对应的逆信号；

根据所述对数扫频信号计算得到所述马达系统的加速度信号；

根据所述加速度信号及所述对数扫频信号的逆信号求解所述马达系统的核函数；

根据所述核函数计算所述马达系统的失真。

2、根据权利要求 1 所述的测量方法，其特征在于，所述根据所述对数扫频信号计算得到所述马达的加速度信号包括：

将所述对数扫频信号反馈给马达系统；

采集所述马达系统输出的所述加速度信号；

其中，所述加速度信号的公式为：

$$y(n) = \sum_{i=0}^{M_1-1} h_1(i)x(n-i) + \sum_{i=0}^{M_2-1} h_2(i)x^2(n-i) + \dots + \sum_{i=0}^{M_p-1} h_p(i)x^p(n-i) \quad (1)$$

其中， h_1 、 h_2 ... h_p 为所述马达系统的核函数， M_1 ， M_2 ...， M_p 为第 p 阶核函数的长度， N 为所述对数扫频信号的总采样点数， f_1 、 f_2 分别为所述对数扫频信号的起始频率和终止频率。

3、根据权利要求 2 所述的测量方法，其特征在于，所述根据所述加速度信号及所述对数扫频信号的逆信号求解马达系统的核函数包括：

将所述加速度信号和所述对数扫频信号的逆信号进行卷积运算，以得到一维脉冲序列；

使用窗函数截取所述一维脉冲序列中各部分的脉冲响应序列；

根据所述脉冲响应序列求解所述马达系统的核函数。

4、根据权利要求 3 所述的测量方法，其特征在于，所述对数扫频信号为：

$$x(n) = A \sin \left\{ \frac{\omega_1 T}{\ln(\omega_2 / \omega_1)} \left[e^{\frac{n \ln(\omega_2 / \omega_1)}{N}} - 1 \right] \right\} \quad (2)$$

其中， A 为幅度， ω_1 为所述扫频信号的起始角频率， ω_2 为所述扫频信号的终止角频率， T 为信号时长， N 为总采样点数；

$$\frac{\omega_1 T}{\ln(\omega_2 / \omega_1)} = \frac{\pi}{2} + 2\eta\pi, \quad \eta = \dots, -1, 0, 1, 2, \dots \quad (3)$$

所述扫频信号的逆信号为：

$$\tilde{x}(n) = \frac{2 \ln \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)}{A^2 T} e^{-\frac{n}{N} \ln \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)} \cdot x(-n) \quad (4)$$

其中, A 为幅度, ω_1 为所述扫频信号逆信号的起始角频率, ω_2 为所述扫频信号逆信号的终止角频率, T 为信号时长, N 为总采样点数。

5、根据权利要求 3 所述的测量方法, 其特征在于, 所述一维脉冲序列中各部分的脉冲响应序列为:

$$\begin{cases} k_1(n) = k(n) \cdot [u(n) - u(n - M_1)] \\ k_2(n) = k(n) \cdot [u(n + \gamma_{20}) - u(n + \gamma_{20} - M_2)] \\ \vdots \\ k_p(n) = k(n) \cdot [u(n + \gamma_{p0}) - u(n + \gamma_{p0} - M_p)] \end{cases} \quad (5)$$

其中, u 为单位阶跃函数, $M_1, M_2, \dots, M_p$ 为所述窗函数的长度, γ_{p0} 为表示第 p 个脉冲响应的延时偏移量, 其表达式为:

$$\gamma_{p0} = \frac{\ln(p)}{\ln(\omega_2 / \omega_1)} \quad (6)。$$

6、根据权利要求 5 所述的测量方法, 其特征在于, 所述根据所述脉冲响应序列求解所述马达系统的核函数公式为:

$$\begin{pmatrix} h_1(t) \\ \vdots \\ h_p(t) \end{pmatrix} = B \begin{pmatrix} k_1(t) \\ \vdots \\ k_p(t) \end{pmatrix} \quad (7)$$

其中, B 为转移矩阵。

7、根据权利要求 6 所述的测量方法, 其特征在于, 所述根据所述核函数计算所述马达系统的失真包括:

获取所述对数扫频信号为单频信号时所述马达系统的输出信号;

根据所述输出信号分别得到所述马达的总谐波失真以及高次谐波失真。

8、根据权利要求 7 所述的测量方法, 其特征在于, 所述对数扫频信号为单频信号时所述马达系统的输出信号为:

$$z(t) = \sum_{m=1}^p |\Gamma_m(X, mf)| \cos[2\pi kft + \angle(\Gamma_m(X, mf))] \quad (8)$$

$$\Gamma_m(X, mf) = \sum_{k=1}^p X^k C(k, m) H_k(f) \quad (9)$$

其中, p 为所述马达系统核函数最高阶数及高次谐波的最高次数, $H_k(f)$ 为第 k 阶核函数 $h_k(t)$ 的傅里叶变换, $\Gamma_m(X, mf)$ 为第 m 次谐波的贡献, $C=B^{-1}$;

所述马达的高次谐波失真为:

$$HD_m(X, mf) = \left| \frac{\Gamma_m(X, mf)}{\Gamma_{Tot}(X, f)} \right| \quad (10)$$

所述马达的总谐波失真为:

$$THD(X, f) = \sqrt{\sum_{m=1}^p \left[\frac{\Gamma_m(X, mf)}{\Gamma_{Tot}(X, f)} \right]^2} \quad (11)$$

其中, $\Gamma_{Tot}(X, f)$ 为各次谐波贡献之和, 且表达式为:

$$\Gamma_{Tot}(X, f) = \sqrt{\sum_{m=1}^p [\Gamma_m(X, mf)]^2} \quad (12)。$$

9、一种马达系统失真的测量设备, 其特征在于, 所述测量设备包括处理器以及存储器, 所述存储器存储有计算机指令, 所述处理器耦合所述存储器, 所述处理器在工作时执行所述计算机指令以实现如权利要求 1~8 任一项所述的测量方法。

10、一种计算机可读存储介质, 其上存储有计算机程序, 其特征在于, 所述计算机程序被处理器执行以实现如权利要求 1~8 任一项所述的测量方法。

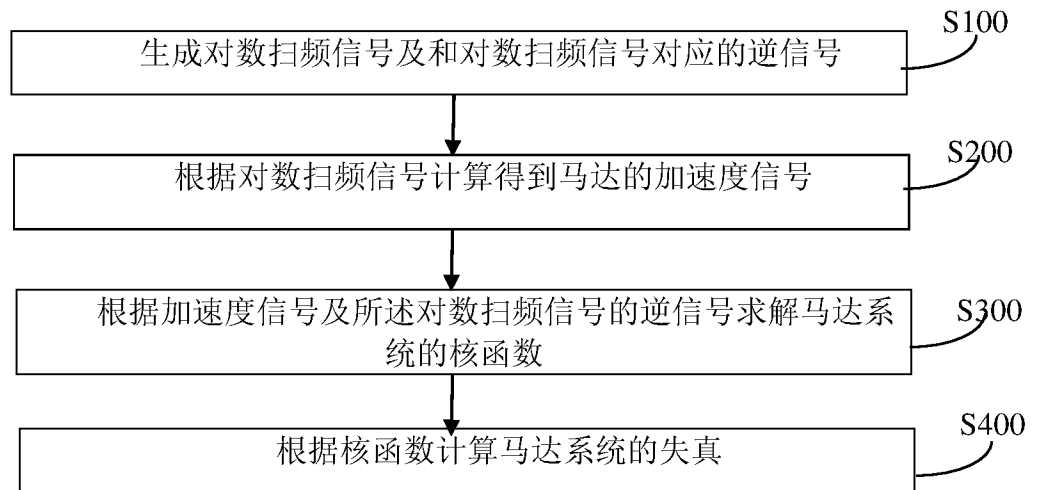


图 1

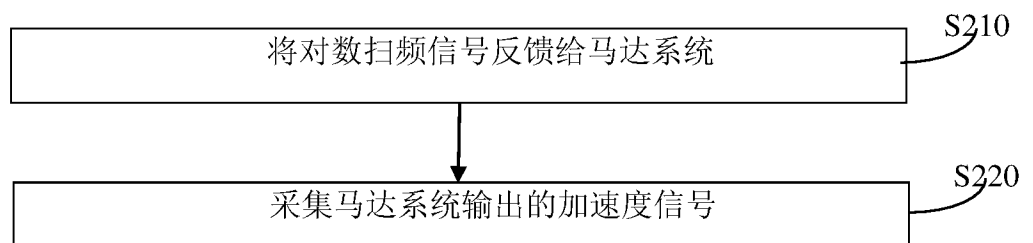


图 2

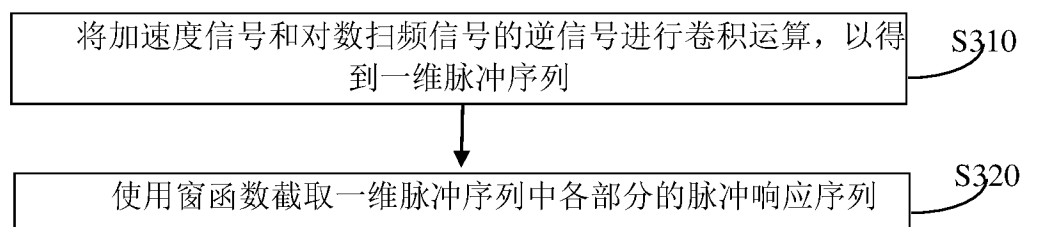


图 3

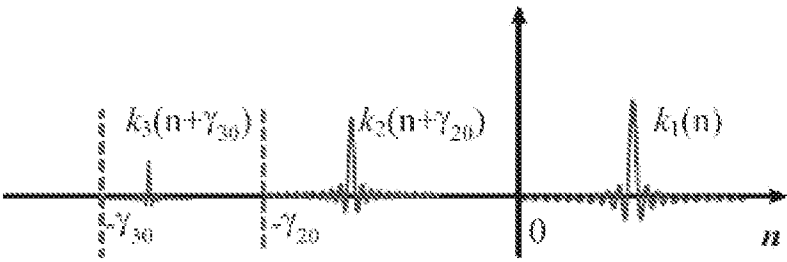


图 4

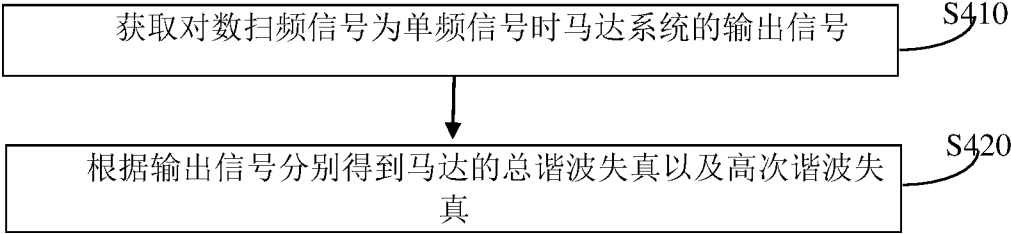


图 5

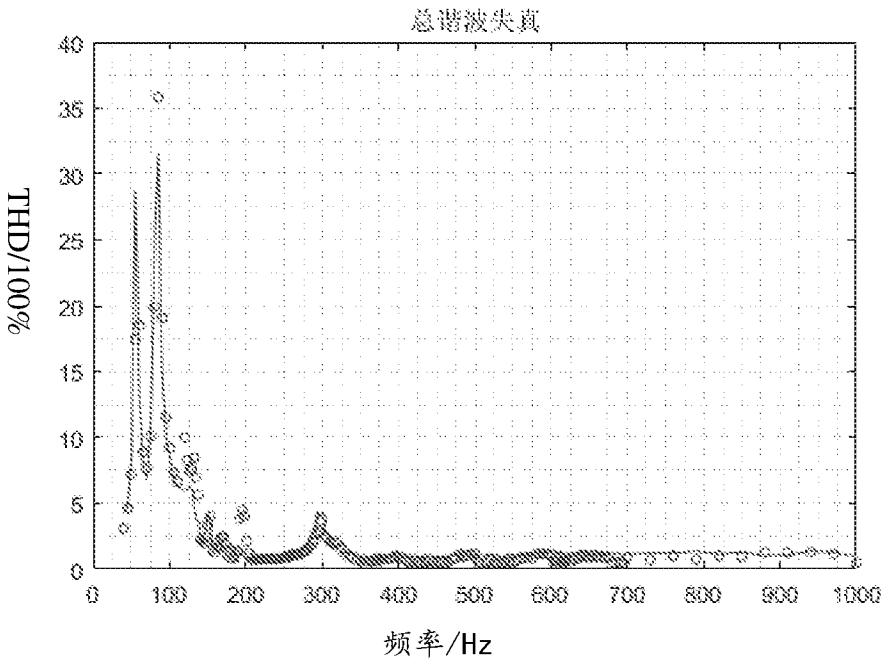


图 6

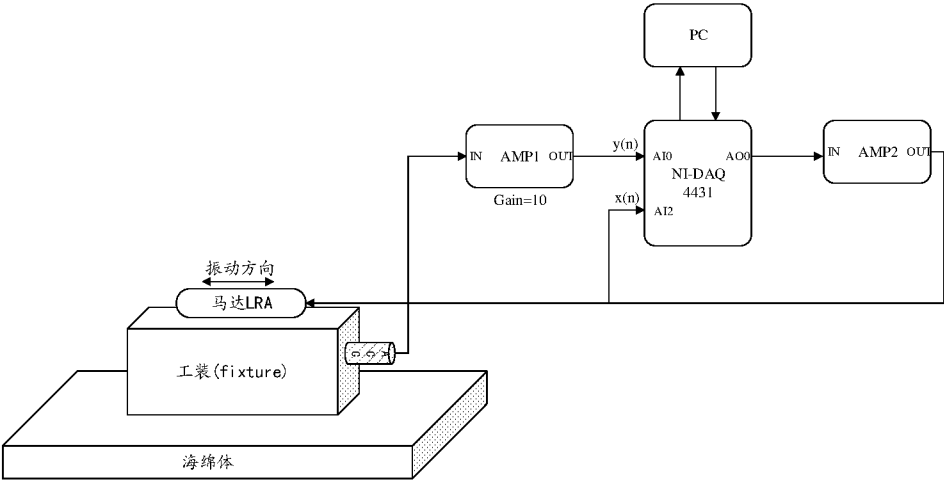


图 7

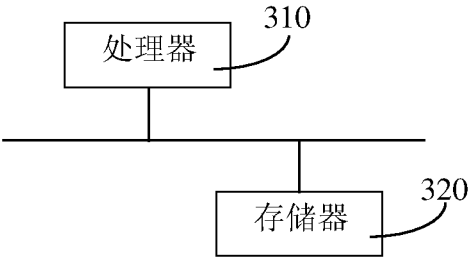


图 8

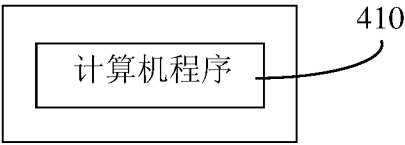


图 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2020/104688

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01R 31/34(2006.01)i; G06F 17/15(2006.01)i; G06F 17/16(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)

G01R31,G06F17,H04R29

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)

CNABS, CNTXT, CNKI, VEN, IEEE, 马达, 致动器, 失真, 测, 对数, 扫频, 逆, 加速度, 卷积, 脉冲响应, 核函数, 总谐波失真, motor, distortion, test, measure, detect, inspect, LRA, acceleration, inverse, logarithmic, sweep frequency, kernel function, THD

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 106331951 A (SUZHOU SONAVOX ELECTRONICS CO., LTD.) 11 January 2017 (2017-01-11) description, paragraphs 0009-0126, and figures 1-2	1-10
Y	CN 109901066 A (AAC TECHNOLOGIES (SINGAPORE) CO., LTD.) 18 June 2019 (2019-06-18) description, paragraphs 0006-0072, and figures 1-2	1-10
Y	CN 106255027 A (SUZHOU SONAVOX ELECTRONICS CO., LTD.) 21 December 2016 (2016-12-21) description, paragraphs 0009-0127 and figure 1	1-10
A	CN 106199185 A (SUZHOU SONAVOX ELECTRONICS CO., LTD.) 07 December 2016 (2016-12-07) entire document	1-10
A	CN 110247631 A (AAC TECHNOLOGIES (SINGAPORE) CO., LTD.) 17 September 2019 (2019-09-17) entire document	1-10



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

19 March 2021

Date of mailing of the international search report

02 April 2021

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2020/104688

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 101600144 A (ACOUSNET TECHNOLOGY COMPANY LIMITED) 09 December 2009 (2009-12-09) entire document	1-10
A	CN 101426169 A (ACOUSNET TECHNOLOGY COMPANY LIMITED) 06 May 2009 (2009-05-06) entire document	1-10
A	CN 110650426 A (NANJING SKYWORTH INFORMATION TECHNOLOGY RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.) 03 January 2020 (2020-01-03) entire document	1-10
A	CN 110493691 A (OPPO GUANGDONG MOBILE COMMUNICATIONS CO., LTD.) 22 November 2019 (2019-11-22) entire document	1-10
A	US 2016035337 A1 (CAAVO INC. et al.) 04 February 2016 (2016-02-04) entire document	1-10
A	CN 206313975 U (SUZHOU SONAVOX ELECTRONICS CO., LTD.) 07 July 2017 (2017-07-07) entire document	1-10
A	CN 110086403 A (AAC TECHNOLOGIES (SINGAPORE) CO., LTD.) 02 August 2019 (2019-08-02) entire document	1-10
A	Yongsheng Mu et al. "Modeling and Compensation for the Distortion of Parametric Loudspeakers Using a One-Dimension Volterra Filter" <i>IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing</i> , Vol. 22, No. 12, 14 October 2014 (2014-10-14), ISSN: 1467-9738, pp. 2169-2180	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2020/104688

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	106331951	A	11 January 2017	CN	106331951	B	11 October 2019
CN	109901066	A	18 June 2019	WO	2020140551	A1	09 July 2020
				US	20200209900	A1	02 July 2020
CN	106255027	A	21 December 2016	CN	106255027	B	05 February 2019
CN	106199185	A	07 December 2016	CN	106199185	B	16 April 2019
CN	110247631	A	17 September 2019	None			
CN	101600144	A	09 December 2009	CN	101600144	B	15 May 2013
CN	101426169	A	06 May 2009	CN	101426169	B	15 May 2013
CN	110650426	A	03 January 2020	None			
CN	110493691	A	22 November 2019	None			
US	2016035337	A1	04 February 2016	US	9565497	B2	07 February 2017
				US	2016259621	A1	08 September 2016
				US	9699556	B2	04 July 2017
				US	9706305	B2	11 July 2017
				US	2016261953	A1	08 September 2016
				US	2016261247	A1	08 September 2016
				US	9848263	B2	19 December 2017
CN	206313975	U	07 July 2017	None			
CN	110086403	A	02 August 2019	WO	2020211105	A1	22 October 2020

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2020/104688

A. 主题的分类

G01R 31/34(2006.01)i; G06F 17/15(2006.01)i; G06F 17/16(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)

G01R31, G06F17, H04R29

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))

CNABS, CNTXT, CNKI, VEN, IEEE, 马达, 致动器, 失真, 测, 对数, 扫频, 逆, 加速度, 卷积, 脉冲响应, 核函数, 总谐波失真, motor, distortion, test, measure, detect, inspect, LRA, acceleration, inverse, logarithmic, sweep frequency, kernel function, THD

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
Y	CN 106331951 A (苏州上声电子有限公司) 2017年 1月 11日 (2017 - 01 - 11) 说明书第0009-0126段及附图1-2	1-10
Y	CN 109901066 A (瑞声科技新加坡有限公司) 2019年 6月 18日 (2019 - 06 - 18) 说明书第0006-0072段及附图1-2	1-10
Y	CN 106255027 A (苏州上声电子有限公司) 2016年 12月 21日 (2016 - 12 - 21) 说明书第0009-0127段及附图1	1-10
A	CN 106199185 A (苏州上声电子有限公司) 2016年 12月 7日 (2016 - 12 - 07) 全文	1-10
A	CN 110247631 A (瑞声科技新加坡有限公司) 2019年 9月 17日 (2019 - 09 - 17) 全文	1-10
A	CN 101600144 A (嘉兴中科声学科技有限公司) 2009年 12月 9日 (2009 - 12 - 09) 全文	1-10
A	CN 101426169 A (嘉兴中科声学科技有限公司) 2009年 5月 6日 (2009 - 05 - 06) 全文	1-10

☒ 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

2021年 3月 19日

国际检索报告邮寄日期

2021年 4月 2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

黄素霞

电话号码 (86-10)62089636

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 110650426 A (南京创维信息技术研究院有限公司) 2020年 1月 3日 (2020 - 01 - 03) 全文	1-10
A	CN 110493691 A (OPPO广东移动通信有限公司) 2019年 11月 22日 (2019 - 11 - 22) 全文	1-10
A	US 2016035337 A1 (CAAVO INC. 等) 2016年 2月 4日 (2016 - 02 - 04) 全文	1-10
A	CN 206313975 U (苏州上声电子有限公司) 2017年 7月 7日 (2017 - 07 - 07) 全文	1-10
A	CN 110086403 A (瑞声科技新加坡有限公司) 2019年 8月 2日 (2019 - 08 - 02) 全文	1-10
A	Yongsheng Mu等. "Modeling and Compensation for the Distortion of Parametric Loudspeakers Using a One-Dimension Volterra Filter" IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, 第22卷, 第12期, 2014年 10月 14日 (2014 - 10 - 14), ISSN: 1467-9738, 第2169-2180页	1-10

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2020/104688

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	106331951	A	2017年 1月 11日	CN 106331951 B	2019年 10月 11日
CN	109901066	A	2019年 6月 18日	WO 2020140551 A1	2020年 7月 9日
				US 20200209900 A1	2020年 7月 2日
CN	106255027	A	2016年 12月 21日	CN 106255027 B	2019年 2月 5日
CN	106199185	A	2016年 12月 7日	CN 106199185 B	2019年 4月 16日
CN	110247631	A	2019年 9月 17日	无	
CN	101600144	A	2009年 12月 9日	CN 101600144 B	2013年 5月 15日
CN	101426169	A	2009年 5月 6日	CN 101426169 B	2013年 5月 15日
CN	110650426	A	2020年 1月 3日	无	
CN	110493691	A	2019年 11月 22日	无	
US	2016035337	A1	2016年 2月 4日	US 9565497 B2	2017年 2月 7日
				US 2016259621 A1	2016年 9月 8日
				US 9699556 B2	2017年 7月 4日
				US 9706305 B2	2017年 7月 11日
				US 2016261953 A1	2016年 9月 8日
				US 2016261247 A1	2016年 9月 8日
				US 9848263 B2	2017年 12月 19日
CN	206313975	U	2017年 7月 7日	无	
CN	110086403	A	2019年 8月 2日	WO 2020211105 A1	2020年 10月 22日