

(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
2020 年 12 月 30 日 (30.12.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/258202 A1

(51) 国际专利分类号:

H02P 7/02 (2016.01)

(21) 国际申请号:

PCT/CN2019/093505

(22) 国际申请日:

2019 年 6 月 28 日 (28.06.2019)

(25) 申请语言:

中文

(26) 公布语言:

中文

(71) 申请人: 瑞声声学科技(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]; 新加坡新加坡市卡文迪什科技园大道85号2楼8号, Singapore 118259 (SG)。

(72) 发明人: 李涛(LI, Tao); 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)。 向征(XIANG, Zheng); 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: 深圳中细软知识产权代理有限公司 (SHENZHEN CIPRUN INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY CO., LTD.); 中国广东省深圳市南山区粤海街道粤兴四道1号中山大学深圳产学研大楼11楼, Guangdong 518000 (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,

(54) Title: MOTOR PARAMETER TRACKING METHOD AND SYSTEM

(54) 发明名称: 马达参数追踪方法及系统

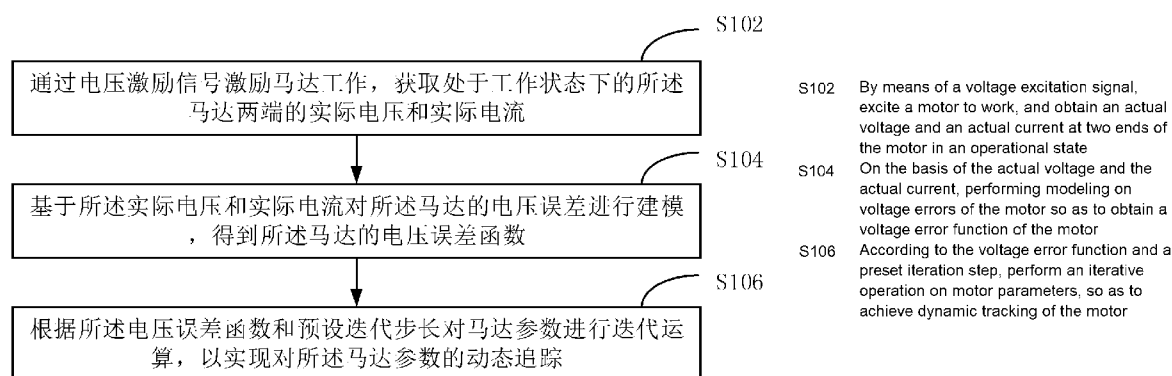


图 1

(57) Abstract: A motor parameter tracking method and system, wherein the method comprises: by means of a voltage excitation signal, exciting a motor to work, and obtaining an actual voltage and an actual current at two ends of the motor in an operational state; on the basis of the actual voltage and the actual current, performing modeling on voltage errors of the motor so as to obtain a voltage error function of the motor; and according to the voltage error function and a preset iteration step length, performing an iterative operation on motor parameters, so as to achieve dynamic tracking of the motor. By using the described motor parameter tracking method, differences between batches of motors and individual motors may be adjusted in a self-adaptive manner, parameter variations resulting from changes in aspects such as motor temperature and attitude may be dynamically tracked, and all that is required is to set the same step value for all motor parameters, which not only lowers the difficulty of adjusting parameters, but also reduces the sensitivity of an algorithm to parameters.

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))。

(57) 摘要: 一种马达参数追踪方法及系统, 该方法通过电压激励信号激励马达工作, 获取处于工作状态下的所述马达两端的实际电压和实际电流; 基于所述实际电压和实际电流对所述马达的电压误差进行建模, 得到所述马达的电压误差函数; 根据所述电压误差函数和预设迭代步长对马达参数进行迭代运算, 以实现对所述马达参数的动态追踪。通过上述马达参数追踪方法, 能够对于马达的批次和个体之间的差异进行自适应调整, 能够动态跟踪由于马达温度、姿态等方面变化而引起的参数变化, 并且只需为所有马达参数设定同一步长值, 不仅降低了调参的难度, 而且降低了算法对参数的敏感性。

说明书

马达参数追踪方法及系统

【技术领域】

本发明涉及微机电领域，特别是涉及一种马达参数追踪方法及系统。

【背景技术】

随着智能手机、智能穿戴等各类消费电子设备的发展普及，人们对触觉体验的要求也与日俱增。通过线性马达（LRA）可以提供丰富的振感体验，且马达的振动性能对触觉体验有着直接且较大的影响。在实际应用中，马达单体的状态和参数会受其不同生产批次、不同应用场境、不同变换姿态的影响而产生意想不到的差异变化。因此，为了消除马达单体状态和参数的变化对触觉体验的不利影响，实现对马达单体进行参数追踪和反馈控制就显得尤为重要。

常规的马达参数追踪方法通过预设的马达参数来进行马达激励信号控制，通常称为开环控制技术。该技术实现简单且不需要复杂的控制理论，但是对于马达批次和个体之间的差异无法进行自适应调整，同时也无法有效跟踪由于马达温度、姿态等方面变化而引起的参数变化。

因此，有必要提供一种能够对于马达的批次和个体之间的差异进行自适应调整的马达参数追踪方法及系统。

【发明内容】

本发明的目的在于提供一种能够对于马达的批次和个体之间的差异进行自适应调整的马达参数追踪方法及系统。

本发明的技术方案如下：一种马达参数追踪方法，包括：

通过电压激励信号激励马达工作，获取处于工作状态下的所述马达两端的实际电压和实际电流；

基于所述实际电压和实际电流对所述马达的电压误差进行建模，得到所述马达的电压误差函数；

根据所述电压误差函数和预设迭代步长对马达参数进行迭代运算，以实现所述马达参数的动态追踪。

可选的，在其中一个实施例中，所述电压激励信号为数字信号，所述通过电压激励信号激励马达工作，包括：

将所述电压激励信号经过数模转换器将数字信号转为模拟信号，然后经过功率放大器对所述模拟信号进行放大，通过放大后的所述模拟信号激励所述马达工作。

可选的，在其中一个实施例中，所述基于所述实际电压和实际电流对所述马达的电压误差进行建模，得到所述马达的电压误差函数，包括：

根据不同采样点的实际电压与不同采样点的预测电压之间的差得到所述电压误差函数，其中所述预测电压根据所述马达参数和马达模型计算得出。

可选的，在其中一个实施例中，所述根据不同采样点的实际电压与不同采样点的预测电压之间的差得到所述电压误差函数包括：

根据公式

$$\varepsilon_{oev}[n] = v_{cm}[n] - v_{cp}[n]$$

计算出所述电压误差函数；其中， n 为采样点索引， v_{cm} 为实际电压， v_{cp} 为预测电压。

可选的，在其中一个实施例中，所述预测电压根据所述马达参数和马达模型计算得出，包括：

根据公式

$$v_{cp}[n] = R_{eb}[n]i_{cm}[n] + L_{eb}[n]\frac{di_{cm}}{dt}[n] + \phi_0[n]u_d[n]$$

计算出所述预测电压；其中， n 为采样点索引， R_{eb} 为马达的电阻， i_{cm} 为实际电流， L_{eb} 为马达的电感， ϕ_0 为电磁力系数， u_d 为马达的振子速度。

可选的，在其中一个实施例中，所述马达的振子速度根据公式

$$u_d[n] = \sigma_u[n]f_{c,p}[n] - \sigma_u[n]f_{c,p}[n-2] - a_1[n]u_d[n-1] - a_2[n]u_d[n-2]$$

计算得出，其中， n 为采样点索引， σ_u 、 a_1 和 a_2 为马达二阶模型的系数，

$f_{c,p}$ 为电磁力。

可选的，在其中一个实施例中，所述电磁力根据公式

$$f_{c,p}[n] = \phi_0[n]i_{cm}[n]$$

计算得出，其中， n 为采样点索引， ϕ_0 为电磁力系数， i_{cm} 为实际电流。

可选的，在其中一个实施例中，为所述马达参数设置同一个预设迭代步长；所述根据所述电压误差函数和预设迭代步长对马达参数进行迭代运算，以实现所述马达参数的动态追踪，包括：

基于所述电压误差函数和所述预设迭代步长对所述马达参数进行归一化最小均方自适应滤波，得到所述马达参数的追踪结果。

可选的，在其中一个实施例中，所述马达参数包括电阻、电感、滤波器反馈系数和电磁力系数；

所述电阻的追踪结果为：

$$R_{eb}[n+1] = R_{eb}[n] - \mu \frac{\sum_{m=1}^{frame_sample} (-\varepsilon_{oev}[m]i_{cm}[m])}{\sum_{m=1}^{frame_sample} (u^2[m])} ;$$

其中， R_{eb} 为电阻， n 为采样点索引， μ 为迭代步长， $frame_sample$ 为每帧的样本总数， m 为每帧样本索引， ε_{oev} 为电压误差函数， i_{cm} 为实际电流，其中 $u[m] = -i_{cm}[m]$ ；

所述电感的追踪结果为：

$$L_{eb}[n+1] = L_{eb}[n] - \mu \frac{\sum_{m=1}^{frame_sample} \left(-\varepsilon_{oev}[m] \frac{di_{cm}}{dt}[m] \right)}{\sum_{m=1}^{frame_sample} (u^2[m])} ;$$

其中, L_{eb} 为电感, n 为采样点索引, μ 为迭代步长, $frame_sample$ 为每帧的样本总数, m 为每帧样本索引, ε_{oev} 为电压误差函数, i_{cm} 为实际电流,

其中 $u[m] = -\frac{di_{cm}}{dt}[m]$;

所述滤波器反馈系数的追踪结果为:

$$a_k[n+1] = a_k[n] - \mu \frac{\sum_{m=1}^{frame_sample} (-\varepsilon_{oev}[m] \phi_0[n] \alpha_k[m])}{\sum_{m=1}^{frame_sample} (u^2[m])} ;$$

其中, a_k 为滤波器反馈系数, 包括 a_1 和 a_2 , n 为采样点索引, μ 为迭代步长, $frame_sample$ 为每帧的样本总数, m 为每帧样本索引, ε_{oev} 为电压误差函数, ϕ_0 为电磁力系数, 其中 $u[m] = -\phi_0[m] \alpha_k[m]$;

所述电磁力系数的追踪结果为:

$$\phi_0[n+1] = \phi_0[n] - \mu \frac{\sum_{m=1}^{frame_sample} (\varepsilon_{oev}[m] (-u_d[m] - \phi_0[n] \partial_{\phi u}[m]))}{\sum_{m=1}^{frame_sample} (u^2[m])} ;$$

其中, ϕ_0 为电磁力系数, n 为采样点索引, μ 为迭代步长, $frame_sample$ 为每帧的样本总数, m 为每帧样本索引, ε_{oev} 为电压误差函数, u_d 为马达的振子速度, 其中 $u[m] = -u_d[m] - \phi_0[n] \partial_{\phi u}[m]$ 。

一种马达参数追踪系统, 包括:

系统控制模块，用于通过电压激励信号激励马达工作，获取处于工作状态下的所述马达两端的实际电压和实际电流；

系统辨识模块，用于基于所述实际电压和实际电流对所述马达的电压误差进行建模，得到所述马达的电压误差函数；

参数追踪模块，用于根据所述电压误差函数和预设迭代步长对马达参数进行迭代运算，以实现所述马达参数的动态追踪。

一种终端，包括马达及控制所述马达的马达参数追踪系统，还包括存储器及处理器，所述存储器中储存有计算机程序，所述计算机程序被所述处理器执行时，使得所述处理器执行上述的方法的步骤。

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时实现上述的方法的步骤。

本发明的有益效果在于：通过电压激励信号激励马达工作，获取处于工作状态下的马达两端的实际电压和实际电流，基于实际电压和实际电流对马达的电压误差进行建模，得到马达的电压误差函数，据电压误差函数和预设迭代步长对马达参数进行迭代运算，以实现所述马达参数的动态追踪。通过上述马达参数追踪方法，能够对于马达的批次和个体之间的差异进行自适应调整，能够动态跟踪由于马达温度、姿态等方面变化而引起的参数变化，并且只需为所有马达参数设定同一步长值，不仅降低了调参的难度，而且降低了算法对参数的敏感性。

【附图说明】

图1为本发明一个实施例中马达参数追踪方法的流程图；

图2为本发明一个实施例中系统控制模块的结构示意图；

图3为本发明一个实施例中电感的参数追踪结果示意图；

图4为本发明一个实施例中电阻的参数追踪结果示意图；

图5为本发明一个实施例中电磁力系数的参数追踪结果示意图；

图6为本发明一个实施例中滤波器反馈系数的参数追踪结果示意图；

图7为本发明一个实施例中马达参数追踪系统的结构框图。

【具体实施方式】

下面结合附图和实施方式对本发明作进一步说明。

图 1 为一个实施例中马达参数追踪方法的流程图，该马达参数追踪方法可以应用于马达参数追踪系统中，具体的，该马达可以是线性马达，也即是线性谐振传动器，指的是在单个轴上产生振荡力的振动电机，更为具体的，该马达可以是应用于智能手机、平板电脑、智能穿戴式设备等电子设备中的线性马达。通过该马达参数追踪方法，能够对于马达的批次和个体之间的差异进行自适应调整，实现对马达参数的动态追踪。如图 1 所示，该马达参数追踪方法包括以下步骤 102 至步骤 106：

步骤 102：通过电压激励信号激励马达工作，获取处于工作状态下的所述马达两端的实际电压和实际电流。

电压激励信号指的是为了观测马达的特性而输入到马达的工作电路中的电信号，本实施例中电压激励信号为数字信号，例如该电压激励信号可以是白噪声。

具体的，马达参数追踪系统包括系统控制模块，通过系统控制模块将所述电压激励信号经过数模转换器将数字信号转为模拟信号，然后经过功率放大器对所述模拟信号进行放大，通过放大后的所述模拟信号激励所述马达工作，激励马达工作的同时，采集处于工作状态下的马达两端的实际电压和实际电流。

举例说明，如图 2 所示，为一个实施例中系统控制模块的结构示意图，该系统控制模块主要由信号采集相关的硬件设备组成，目的是测量并获取工作状态下的马达两端的实际电压 v_{cm} 和实际电流 i_{cm} 。具体的，该系统控制模块包括 DAC 数模转换器、ADC 模数转换器和功率放大器，首先将电压激励信号 signal 经过 DAC 数模转换器将数字信号转为模拟信号，然后经过功率放大器对模拟信号进行放大，通过放大后的模拟信号激励马达工作，激励马达工作的同时，通过采样电阻 R_{shunt} 采集电流信号，通过采样电阻 R_{lead}

采集电压信号,并分别通过 ADC 模数转换器将电压信号和电流信号由模拟信号转换为数字信号,以获取处于工作状态下的马达两端的实际电压实际电压 v_{cm} 和实际电流 i_{cm} 。

步骤 104: 基于所述实际电压和实际电流对所述马达的电压误差进行建模,得到所述马达的电压误差函数。

其中,根据不同采样点的实际电压与不同采样点的预测电压之间的差得到所述电压误差函数,也即电压误差函数定义为预测电压与实际电压时间的误差。

具体的,根据公式

$$\varepsilon_{oev}[n] = v_{cm}[n] - v_{cp}[n] \quad (1)$$

计算出所述电压误差函数;其中, n 为采样点索引, v_{cm} 为实际电压, v_{cp} 为预测电压。

进一步的,式(1)中的预测电压可以根据马达参数和马达模型计算得出,具体根据公式

$$v_{cp}[n] = R_{eb}[n]i_{cm}[n] + L_{eb}[n]\frac{di_{cm}}{dt}[n] + \phi_0[n]u_d[n] \quad (2)$$

计算出预测电压;其中, n 为采样点索引, R_{eb} 为马达的电阻, i_{cm} 为实际电流, L_{eb} 为马达的电感, ϕ_0 为电磁力系数, u_d 为马达的振子速度。

式(2)中电流对时间的导数 $\frac{di_{cm}}{dt}[n]$ 采用如下公式计算:

$$\frac{di_{cm}}{dt}[n] = \frac{i_{cm}[n] - i_{cm}[n-1]}{T_s} \quad (3);$$

其中, n 为采样点索引, i_{cm} 为实际电流, T_s 为数字信号采样周期。

式(2)中马达的振子速度 u_d 采用如下公式计算:

$$u_d[n] = \sigma_u[n]f_{c,p}[n] - \sigma_u[n]f_{c,p}[n-2] - a_1[n]u_d[n-1] - a_2[n]u_d[n-2] \quad (4) ;$$

其中, n 为采样点索引, σ_u 、 a_1 和 a_2 为马达二阶模型的系数, $f_{c,p}$ 为电磁力。

式 (4) 中电磁力 $f_{c,p}$ 按如下公式计算:

$$f_{c,p}[n] = \phi_0[n]i_{cm}[n] \quad (5) ;$$

其中, n 为采样点索引, ϕ_0 为电磁力系数, i_{cm} 为实际电流。

步骤 106: 根据所述电压误差函数和预设迭代步长对马达参数进行迭代运算, 以实现对所述马达参数的动态追踪。

其中, 本实施例基于电压误差函数和 NLMS (Normalized Least Mean Square, 归一化最小均方自适应滤波) 算法对马达参数进行动态追踪。也即基于马达两端实际电压 v_{cm} 和预测电压 v_{cp} 的误差信号进行归一化最小均方自适应滤波。

具体的, 为马达参数设置同一个预设迭代步长, 利用 NLMS 算法根据马达参数的迭代步长及电压误差函数的梯度对马达参数进行迭代运算, 从而得到马达参数的追踪结果。需要说明的是, NLMS 算法不需要为各个马达参数分别设置迭代步长, 只需为所有马达参数设定同一步长值即可, 不仅降低了调参的难度, 而且降低了算法对参数的敏感性。

以下作为具体举例说明, 马达参数包括电阻、电感、滤波器反馈系数和电磁力系数, NLMS 算法在逐帧迭代运算过程中, 各个马达参数含义及计算公式如下所述:

电阻的计算公式及追踪结果为:

$$\frac{\partial}{\partial R_{eb}} \varepsilon_{oev}[n] = -i_{cm}[n] \quad (6)$$

$$R_{eb}[n+1] = R_{eb}[n] - \mu \frac{\sum_{m=1}^{frame_sample} (-\varepsilon_{oev}[m] i_{cm}[m])}{\sum_{m=1}^{frame_sample} (u^2[m])} \quad (7) ;$$

其中, R_{eb} 为电阻, n 为采样点索引, μ 为迭代步长, $frame_sample$ 为每帧的样本总数, m 为每帧样本索引, ε_{oev} 为电压误差函数, i_{cm} 为实际电流, 式 (7) 中 $u[m] = -i_{cm}[m]$ 。

电感的计算公式及追踪结果为:

$$\frac{\partial}{\partial L_{eb}} \varepsilon_{oev}[n] = -\frac{di_{cm}}{dt}[n] \quad (8)$$

$$L_{eb}[n+1] = L_{eb}[n] - \mu \frac{\sum_{m=1}^{frame_sample} \left(-\varepsilon_{oev}[m] \frac{di_{cm}}{dt}[m] \right)}{\sum_{m=1}^{frame_sample} (u^2[m])} \quad (9) ;$$

其中, L_{eb} 为电感, n 为采样点索引, μ 为迭代步长, $frame_sample$ 为每帧的样本总数, m 为每帧样本索引, ε_{oev} 为电压误差函数, i_{cm} 为实际电流, 式 (9) 中 $u[m] = -\frac{di_{cm}}{dt}[m]$ 。

滤波器反馈系数的计算公式及追踪结果为:

$$\frac{\partial}{\partial \alpha_k} \varepsilon_{oev}[n] = -\phi_0[n] \alpha_k[n] \quad (10)$$

$$\alpha_k[n] = \frac{\partial}{\partial \alpha_k} u_d[n] = -u_d[n-k] - a_1[n] \alpha_k[n-1] - a_2[n] \alpha_k[n-2] \quad (11)$$

$$\alpha_k[n+1] = \alpha_k[n] - \mu \frac{\sum_{m=1}^{frame_sample} (-\varepsilon_{oev}[m] \phi_0[n] \alpha_k[m])}{\sum_{m=1}^{frame_sample} (u^2[m])} \quad (12) ;$$

其中, α_k 为滤波器反馈系数, 包括 α_1 和 α_2 , n 为采样点索引, μ 为迭代步长, $frame_sample$ 为每帧的样本总数, m 为每帧样本索引, ε_{oev} 为电压误差函数, ϕ_0 为电磁力系数, 式 (12) 中 $u[m] = -\phi_0[m]\alpha_k[m]$ 。

电磁力系数的计算公式及追踪结果为:

$$\frac{\partial}{\partial \phi_0} \varepsilon_{oev}[n] = -u_d[n] - \phi_0[n] \partial_{\phi_u}[n] \quad (13)$$

$$\partial_{\phi_u}[n] = \sigma_u[n] (i_{c-m}[n] - i_{c-m}[n-2]) - \alpha_1[n] \partial_{\phi_u}[n-1] - \alpha_2[n] \partial_{\phi_u}[n-2] \quad (14)$$

$$\phi_0[n+1] = \phi_0[n] - \mu \frac{\sum_{m=1}^{frame_sample} (\varepsilon_{oev}[m] (-u_d[m] - \phi_0[n] \partial_{\phi_u}[m]))}{\sum_{m=1}^{frame_sample} (u^2[m])} \quad (15);$$

其中, ϕ_0 为电磁力系数, n 为采样点索引, μ 为迭代步长, $frame_sample$ 为每帧的样本总数, m 为每帧样本索引, ε_{oev} 为电压误差函数, u_d 为马达的振子速度, 式 (15) 中 $u[m] = -u_d[m] - \phi_0[n] \partial_{\phi_u}[m]$ 。

本实施例提供的马达参数追踪方法, 通过电压激励信号激励马达工作, 获取处于工作状态下的马达两端的实际电压和实际电流, 基于实际电压和实际电流对马达的电压误差进行建模, 得到马达的电压误差函数, 据电压误差函数和预设迭代步长对马达参数进行迭代运算, 以实现对于马达参数的动态追踪。通过上述马达参数追踪方法, 能够对于马达的批次和个体之间的差异进行自适应调整, 能够动态跟踪由于马达温度、姿态等方面变化而引起的参数变化, 并且只需为所有马达参数设定同一步长值, 不仅降低了调参的难度, 而且降低了算法对参数的敏感性。

在一个实施例中, 在包含有线性马达的实验设备上对该线性马达进行参数追踪, 具体的, 采用白噪声作为电压激励信号, 运行马达参数追踪系

统，以帧为单位，通过 NLMS 算法对该线性马达的马达参数进行追踪。

NLMS 算法中部分参数设置如下表 1 所示，其中原始信号采样率可以理解为激励信号的采样频率，NLMS 信号采样率可以理解为 NLMS 算法的采样频率。

表 1 NLMS 算法参数

参数	单位	设置值
原始信号采样率	Hz	48000
NLMS 信号采样率	Hz	4000
帧长	ms	44
参数步长	/	0.07

图 3 至图 6 分别为电感、电阻、电磁力系数和滤波器反馈系数的马达参数追踪结果，其中各图中实线表示算法追踪参数，算法追踪参数的初始值可以根据系统任意设置，虚线表示马达额定设计参数。将图 3 至图 6 中的算法追踪结果与设计参数对比可以得出，各个马达参数的算法追踪参数随时间的变化逐渐趋近于马达额定设计参数，也即本实施例中的马达参数追踪方法有效实现了对马达参数的动态追踪。

基于相同的发明构思，以下提供一种马达参数追踪系统，如图 7 所示，为一个实施例中马达参数追踪系统的结构框图，该系统包括系统控制模块 710、系统辨识模块 720 和参数追踪模块 730。

系统控制模块 710 用于通过电压激励信号激励马达工作，获取处于工作状态下的所述马达两端的实际电压和实际电流。

系统辨识模块 720 用于基于所述实际电压和实际电流对所述马达的电压误差进行建模，得到所述马达的电压误差函数。

参数追踪模块 730 用于根据所述电压误差函数和预设迭代步长对马达参数进行迭代运算，以实现所述马达参数的动态追踪。

本实施例提供的马达参数追踪系统，能够对于马达的批次和个体之间的差异进行自适应调整，能够动态跟踪由于马达温度、姿态等方面变化而引起的参数变化，并且只需为所有马达参数设定同一步长值，不仅降低了

调参的难度，而且降低了算法对参数的敏感性。

本发明实施例还提供了一种终端，该终端包括马达及控制所述马达的马达参数追踪系统，还包括存储器及处理器，所述存储器中储存有计算机程序，所述计算机程序被所述处理器执行时，使得所述处理器执行如上述各实施例中所描述的马达参数追踪方法。

本发明实施例还提供了一种计算机可读存储介质。一个或多个包含计算机可执行指令的非易失性计算机可读存储介质，当所述计算机可执行指令被一个或多个处理器执行时，使得所述处理器执行如上述各实施例中所描述的马达参数追踪方法。

本发明实施例还提供了一种计算机程序产品。一种包含指令的计算机程序产品，当其在计算机上运行时，使得计算机执行上述各实施例中所描述的马达参数追踪方法。

以上所述的仅是本发明的实施方式，在此应当指出，对于本领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明创造构思的前提下，还可以做出改进，但这些均属于本发明的保护范围。

权 利 要 求 书

1、一种马达参数追踪方法，其特征在于，包括：

通过电压激励信号激励马达工作，获取处于工作状态下的所述马达两端的实际电压和实际电流；

基于所述实际电压和实际电流对所述马达的电压误差进行建模，得到所述马达的电压误差函数；

根据所述电压误差函数和预设迭代步长对马达参数进行迭代运算，以实现所述马达参数的动态追踪。

2、根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述电压激励信号为数字信号，所述通过电压激励信号激励马达工作，包括：

将所述电压激励信号经过数模转换器将数字信号转为模拟信号，然后经过功率放大器对所述模拟信号进行放大，通过放大后的所述模拟信号激励所述马达工作。

3、根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述基于所述实际电压和实际电流对所述马达的电压误差进行建模，得到所述马达的电压误差函数，包括：

根据不同采样点的实际电压与不同采样点的预测电压之间的差得到所述电压误差函数，其中所述预测电压根据所述马达参数和马达模型计算得出。

4、根据权利要求3所述的方法，其特征在于，所述根据不同采样点的实际电压与不同采样点的预测电压之间的差得到所述电压误差函数包括：

根据公式

$$\varepsilon_{\text{oev}}[n] = v_{\text{cm}}[n] - v_{\text{cp}}[n]$$

计算出所述电压误差函数；其中， n 为采样点索引， v_{cm} 为实际电压， v_{cp}

为预测电压。

5、根据权利要求4所述的方法，其特征在于，所述预测电压根据所述马达参数和马达模型计算得出，包括：

根据公式

$$v_{cp}[n] = R_{eb}[n]i_{cm}[n] + L_{eb}[n]\frac{di_{cm}}{dt}[n] + \phi_0[n]u_d[n]$$

计算出所述预测电压；其中， n 为采样点索引， R_{eb} 为马达的电阻， i_{cm} 为实际电流， L_{eb} 为马达的电感， ϕ_0 为电磁力系数， u_d 为马达的振子速度。

6、根据权利要求5所述的方法，其特征在于，所述马达的振子速度根据公式

$$u_d[n] = \sigma_u[n]f_{c,p}[n] - \sigma_u[n]f_{c,p}[n-2] - a_1[n]u_d[n-1] - a_2[n]u_d[n-2]$$

计算得出，其中， n 为采样点索引， σ_u 、 a_1 和 a_2 为马达二阶模型的系数， $f_{c,p}$ 为电磁力。

7、根据权利要求6所述的方法，其特征在于，所述电磁力根据公式

$$f_{c,p}[n] = \phi_0[n]i_{cm}[n]$$

计算得出，其中， n 为采样点索引， ϕ_0 为电磁力系数， i_{cm} 为实际电流。

8、根据权利要求1所述的方法，其特征在于，为所述马达参数设置同一个预设迭代步长；所述根据所述电压误差函数和预设迭代步长对马达参数进行迭代运算，以实现所述马达参数的动态追踪，包括：

基于所述电压误差函数和所述预设迭代步长对所述马达参数进行归一化最小均方自适应滤波，得到所述马达参数的追踪结果。

9、根据权利要求8所述的方法，其特征在于，所述马达参数包括电阻、电感、滤波器反馈系数和电磁力系数；

所述电阻的追踪结果为：

$$R_{eb}[n+1] = R_{eb}[n] - \mu \frac{\sum_{m=1}^{frame_sample} (-\varepsilon_{oev}[m] i_{cm}[m])}{\sum_{m=1}^{frame_sample} (u^2[m])} ;$$

其中， R_{eb} 为电阻， n 为采样点索引， μ 为迭代步长， $frame_sample$ 为每帧的样本总数， m 为每帧样本索引， ε_{oev} 为电压误差函数， i_{cm} 为实际电流，其中 $u[m] = -i_{cm}[m]$ ；

所述电感的追踪结果为：

$$L_{eb}[n+1] = L_{eb}[n] - \mu \frac{\sum_{m=1}^{frame_sample} \left(-\varepsilon_{oev}[m] \frac{di_{cm}}{dt}[m] \right)}{\sum_{m=1}^{frame_sample} (u^2[m])} ;$$

其中， L_{eb} 为电感， n 为采样点索引， μ 为迭代步长， $frame_sample$ 为每帧的样本总数， m 为每帧样本索引， ε_{oev} 为电压误差函数， i_{cm} 为实际电流，其中 $u[m] = -\frac{di_{cm}}{dt}[m]$ ；

所述滤波器反馈系数的追踪结果为：

$$a_k[n+1] = a_k[n] - \mu \frac{\sum_{m=1}^{frame_sample} (-\varepsilon_{oev}[m] \phi_0[n] \alpha_k[m])}{\sum_{m=1}^{frame_sample} (u^2[m])} ;$$

其中， a_k 为滤波器反馈系数，包括 a_1 和 a_2 ， n 为采样点索引， μ 为迭代

步长, $frame_sample$ 为每帧的样本总数, m 为每帧样本索引, ε_{oev} 为电压误差函数, ϕ_0 为电磁力系数, 其中 $u[m] = -\phi_0[m]\alpha_k[m]$;

所述电磁力系数的追踪结果为:

$$\phi_0[n+1] = \phi_0[n] - \mu \frac{\sum_{m=1}^{frame_sample} (\varepsilon_{oev}[m](-u_d[m] - \phi_0[n]\partial_{\phi u}[m]))}{\sum_{m=1}^{frame_sample} (u^2[m])};$$

其中, ϕ_0 为电磁力系数, n 为采样点索引, μ 为迭代步长, $frame_sample$ 为每帧的样本总数, m 为每帧样本索引, ε_{oev} 为电压误差函数, u_d 为马达的振子速度, 其中 $u[m] = -u_d[m] - \phi_0[n]\partial_{\phi u}[m]$ 。

10、一种马达参数追踪系统, 其特征在于, 包括:

系统控制模块, 用于通过电压激励信号激励马达工作, 获取处于工作状态下的所述马达两端的实际电压和实际电流;

系统辨识模块, 用于基于所述实际电压和实际电流对所述马达的电压误差进行建模, 得到所述马达的电压误差函数;

参数追踪模块, 用于根据所述电压误差函数和预设迭代步长对马达参数进行迭代运算, 以实现所述马达参数的动态追踪。

11、一种终端, 其特征在于, 包括马达及控制所述马达的马达参数追踪系统, 还包括存储器及处理器, 所述存储器中储存有计算机程序, 所述计算机程序被所述处理器执行时, 使得所述处理器执行如权利要求 1 至 9 中任一项所述的方法的步骤。

12、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时实现如权利要求 1 至 9 中任一项所述的方法的步骤。

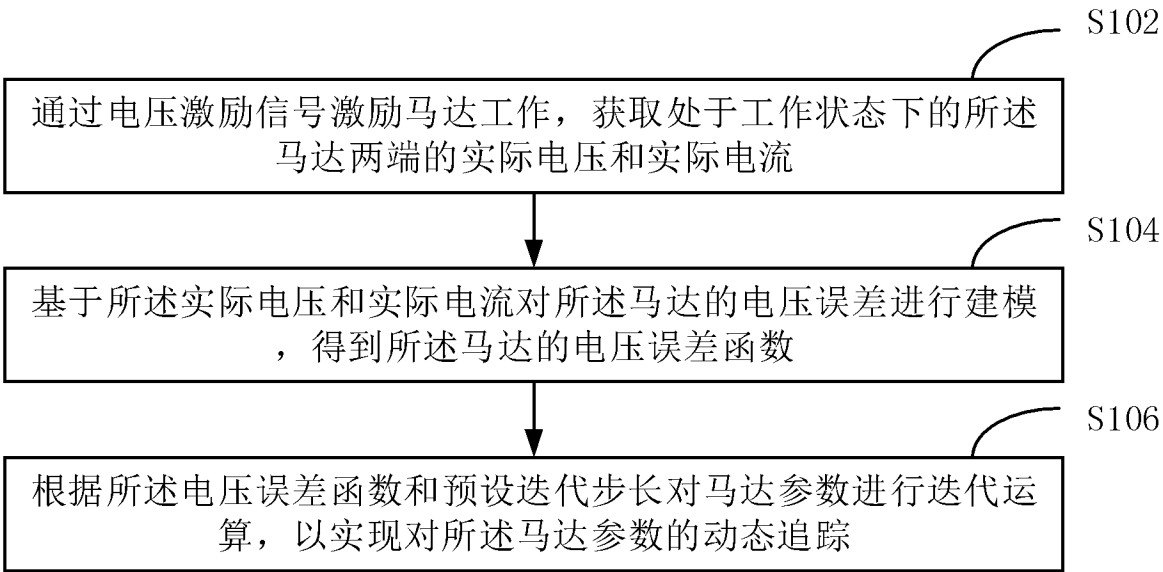


图 1

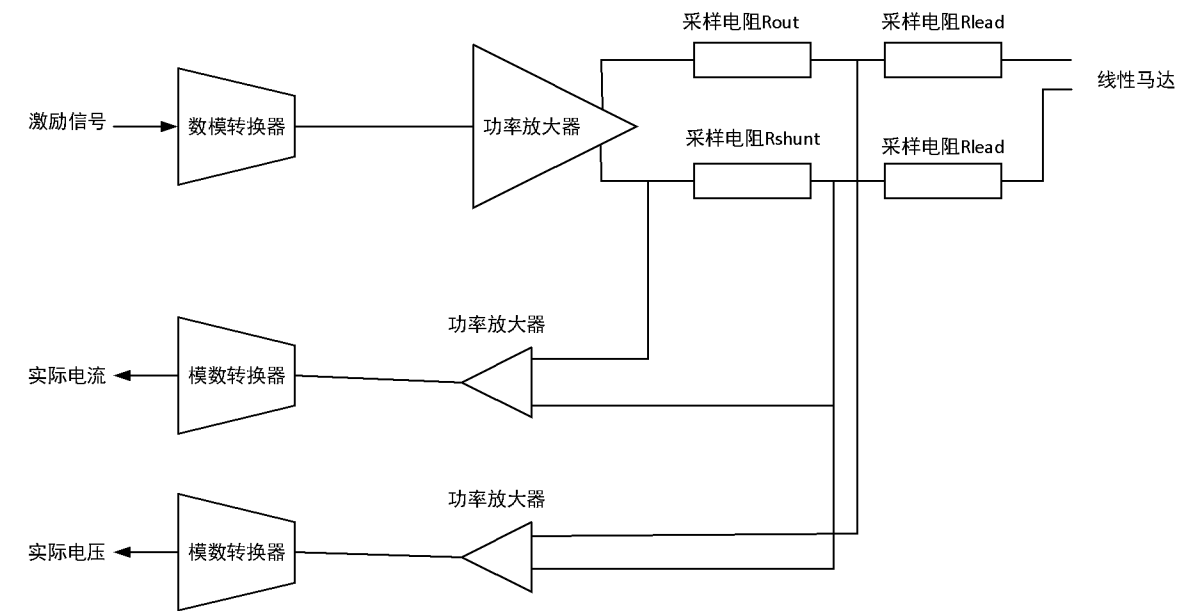


图 2

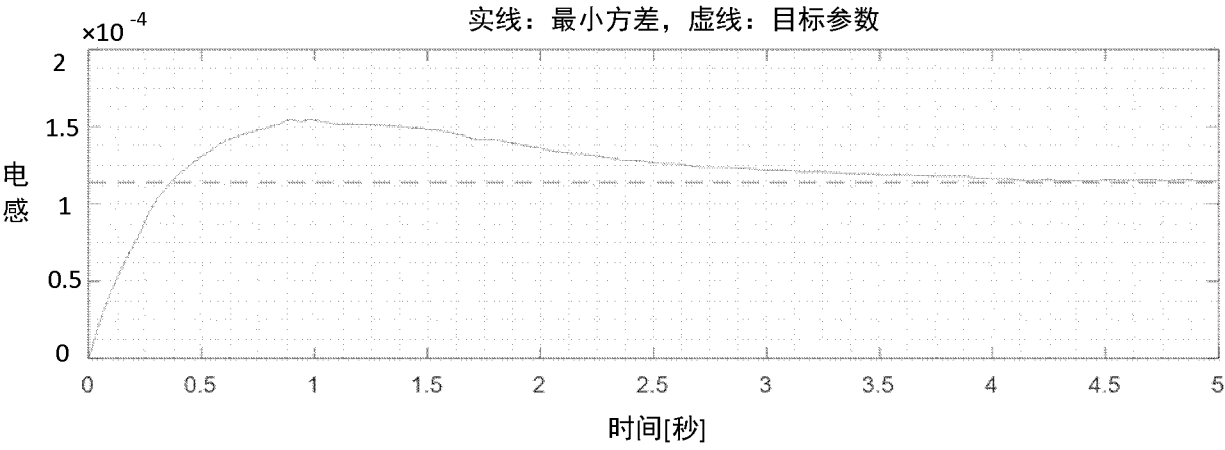


图 3

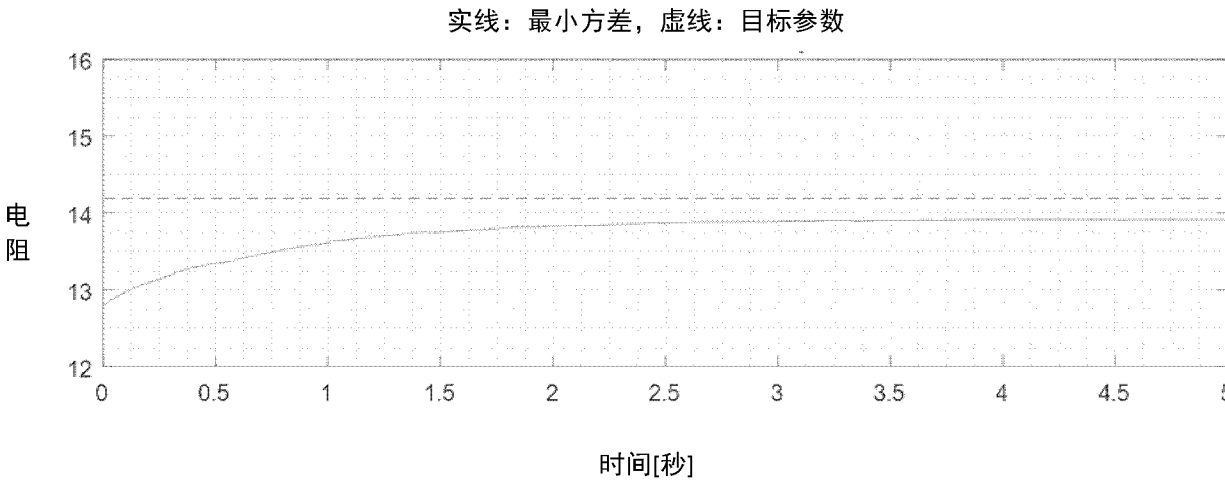


图 4

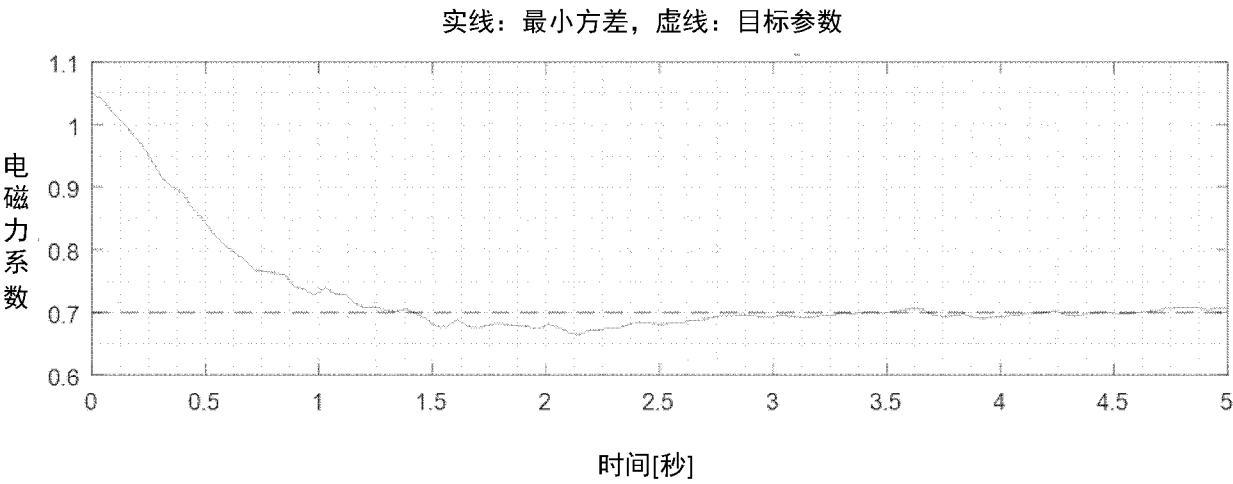


图 5

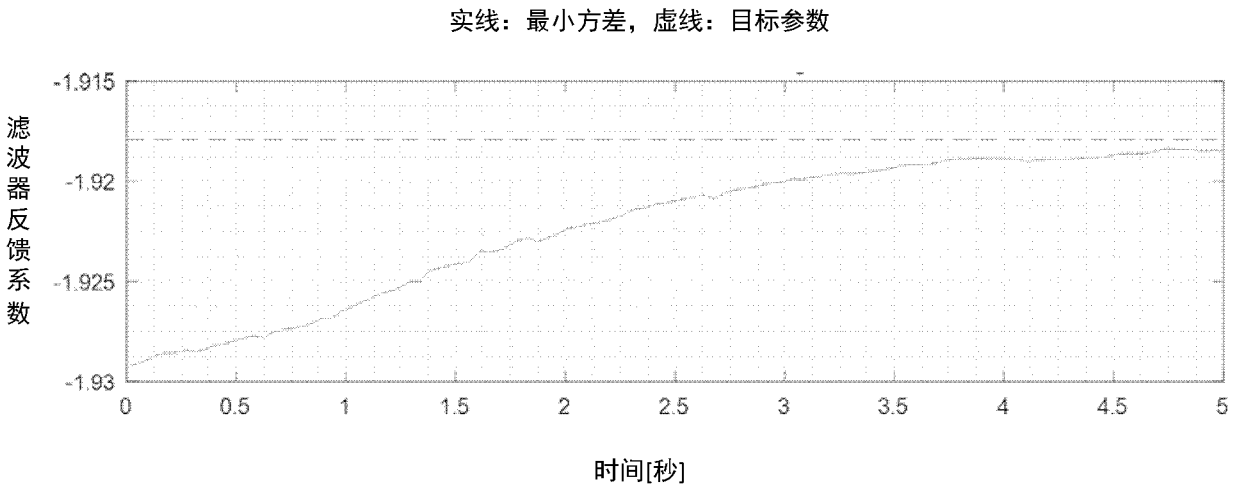


图 6

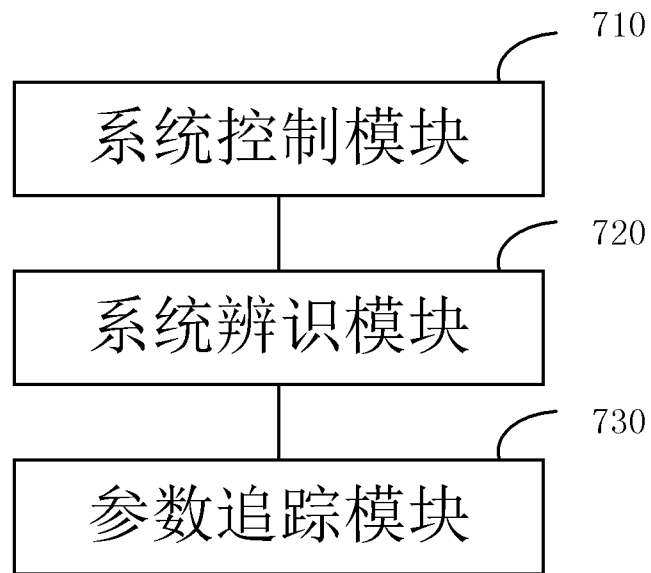


图 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/093505

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02P 7/02(2016.01)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)

H02P

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)

WPI, EPODOC, CNPAT, CNKI: 马达, 电机, 电动机, 电压, 电流, 误差, 滤波, 参数, 追踪, 跟踪, 估计, 辨识, 步长, 建模, 模型, 函数, motor, voltage, current, error, filter, parameter, track+, estimat+, identif+, step, model+, function

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 109274308 A (AAC TECHNOLOGIES (SINGAPORE) CO., LTD.) 25 January 2019 (2019-01-25) description, paragraphs 0002-0079, and figure 1	1-12
A	CN 103036498 A (CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE STATE GRID CORP CHINA et al.) 10 April 2013 (2013-04-10) entire document	1-12
A	CN 109672383 A (BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 23 April 2019 (2019-04-23) entire document	1-12
A	CN 106068007 A (AAC TECHNOLOGIES (SINGAPORE) CO., LTD.) 02 November 2016 (2016-11-02) entire document	1-12
A	US 7230403 B2 (INTERNATIONAL RECTIFIER CORPORATION) 12 June 2007 (2007-06-12) entire document	1-12



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

05 March 2020

Date of mailing of the international search report

26 March 2020

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

Authorized officer

Facsimile No. (86-10)62019451

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2019/093505

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	109274308	A	25 January 2019	None			
CN	103036498	A	10 April 2013	CN	103036498	B	22 July 2015
CN	109672383	A	23 April 2019	None			
CN	106068007	A	02 November 2016	CN	106068007	B	13 September 2019
				US	2017353791	A1	07 December 2017
US	7230403	B2	12 June 2007	US	2005242767	A1	03 November 2005

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/093505

A. 主题的分类 H02P 7/02 (2016.01) 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) H02P 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)) WPI, EPDOC, CNPAT, CNKI: 马达, 电机, 电动机, 电压, 电流, 误差, 滤波, 参数, 追踪, 跟踪, 估计, 辨识, 步长, 建模, 模型, 函数, motor, voltage, current, error, filter, parameter, track+, estimat+, identif+, step, model+, function																				
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>CN 109274308 A (瑞声科技新加坡有限公司) 2019年 1月 25日 (2019 - 01 - 25) 说明书第0002-0079段, 附图1</td> <td>1-12</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 103036498 A (中国电力科学研究院 等) 2013年 4月 10日 (2013 - 04 - 10) 全文</td> <td>1-12</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 109672383 A (北京理工大学) 2019年 4月 23日 (2019 - 04 - 23) 全文</td> <td>1-12</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 106068007 A (瑞声科技新加坡有限公司) 2016年 11月 2日 (2016 - 11 - 02) 全文</td> <td>1-12</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 7230403 B2 (INTERNATIONAL RECTIFIER CORPORATION) 2007年 6月 12日 (2007 - 06 - 12) 全文</td> <td>1-12</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	X	CN 109274308 A (瑞声科技新加坡有限公司) 2019年 1月 25日 (2019 - 01 - 25) 说明书第0002-0079段, 附图1	1-12	A	CN 103036498 A (中国电力科学研究院 等) 2013年 4月 10日 (2013 - 04 - 10) 全文	1-12	A	CN 109672383 A (北京理工大学) 2019年 4月 23日 (2019 - 04 - 23) 全文	1-12	A	CN 106068007 A (瑞声科技新加坡有限公司) 2016年 11月 2日 (2016 - 11 - 02) 全文	1-12	A	US 7230403 B2 (INTERNATIONAL RECTIFIER CORPORATION) 2007年 6月 12日 (2007 - 06 - 12) 全文	1-12
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																		
X	CN 109274308 A (瑞声科技新加坡有限公司) 2019年 1月 25日 (2019 - 01 - 25) 说明书第0002-0079段, 附图1	1-12																		
A	CN 103036498 A (中国电力科学研究院 等) 2013年 4月 10日 (2013 - 04 - 10) 全文	1-12																		
A	CN 109672383 A (北京理工大学) 2019年 4月 23日 (2019 - 04 - 23) 全文	1-12																		
A	CN 106068007 A (瑞声科技新加坡有限公司) 2016年 11月 2日 (2016 - 11 - 02) 全文	1-12																		
A	US 7230403 B2 (INTERNATIONAL RECTIFIER CORPORATION) 2007年 6月 12日 (2007 - 06 - 12) 全文	1-12																		
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																				
<table border="0"> <tr> <td> * 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 </td> <td> “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 </td> </tr> </table>			* 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																
* 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 2020年 3月 5日		国际检索报告邮寄日期 2020年 3月 26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		授权官员 赵文华 电话号码 (86-10) 53961290																		

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/093505

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	109274308	A	2019年 1月 25日	无			
CN	103036498	A	2013年 4月 10日	CN	103036498	B	2015年 7月 22日
CN	109672383	A	2019年 4月 23日	无			
CN	106068007	A	2016年 11月 2日	CN	106068007	B	2019年 9月 13日
				US	2017353791	A1	2017年 12月 7日
US	7230403	B2	2007年 6月 12日	US	2005242767	A1	2005年 11月 3日