

(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 12 月 22 日 (22.12.2022)



(10) 国际公布号
WO 2022/262091 A1

(51) 国际专利分类号:
H02P 21/14 (2016.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2021/110343

(22) 国际申请日: 2021 年 8 月 3 日 (03.08.2021)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202110670546.8 2021年6月17日 (17.06.2021) CN

(71) 申请人: 浙江大学先进电气装备创新中心 (ZHEJIANG UNIVERSITY ADVANCED ELECTRICAL EQUIPMENT INNOVATION CENTER) [CN/CN]; 中国浙江省杭州市余杭区仁和街道永泰路2号, Zhejiang 311107

(CN)。浙江大学(ZHEJIANG UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。

(72) 发明人: 林治臣(LIN, Zhichen); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。史婷娜(SHI, Tingna); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。张振(ZHANG, Zhen); 中国浙江省杭州市余杭区仁和街道永泰路2号, Zhejiang 311107 (CN)。夏长亮(XIA, Changliang); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。

(74) 代理人: 杭州求是专利事务所有限公司 (HANGZHOU QIUSHI PATENT OFFICE CO., LTD.) [CN]; 中国浙江省杭州市西湖区古墩路701号紫金广场C座1506室/林超, Zhejiang 310013 (CN)。

(54) Title: MULTI-CURRENT SENSOR PROPORTIONAL ERROR BALANCING CONTROL METHOD FOR PMSM

(54) 发明名称: 用于PMSM的多电流传感器比例误差平衡控制方法

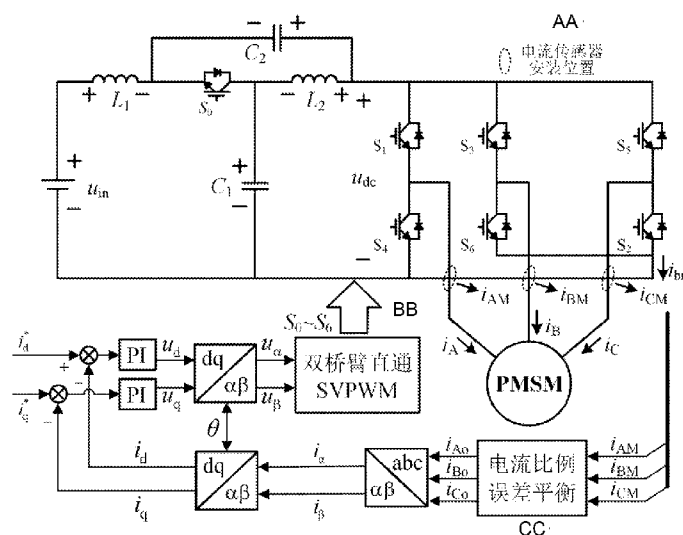


图 1

AA: Current sensor mounting position
BB: Double bridge arm shoot-through SVPWM
CC: Current proportional error balance

(57) Abstract: A multi-current sensor proportional error balancing control method for a permanent magnet synchronous motor (PMSM), comprising: providing an impedance network between a direct current power supply and a three-phase inverter connected to a PMSM, wherein the impedance network avoids a short circuit between a positive electrode and a negative electrode of the direct current power supply during the action of shoot-through vectors; under the action of two shoot-through vectors in a PWM period, using three-phase current sensors to respectively sample the sum of a current of each of the three-phase output branches of the three-phase inverter and a current of a same bridge arm branch of the three-phase inverter, and performing calculation according to the sampled currents to obtain

(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))。

a relationship between proportional error coefficients of the three-phase current sensors; and then calculating a correction coefficient, and using the correction coefficient to provide feedback for control, thereby implementing the correction of a proportional error of the current sensors. According to the method, current sampling is performed during the action of shoot-through vectors, and the pumping of a bus voltage of a three-phase inverter is realized, so that the problem of sampling blind areas would not occur, and an operating range of a motor is expanded.

(57) 摘要: 一种用于PMSM的多电流传感器比例误差平衡控制方法。在直流电源和永磁同步电机所连接的三相逆变器间设置一个避免直通矢量作用时直流电源正负极短路的阻抗网络; 在PWM周期中的两个直通矢量作用下, 使用三相的电流传感器分别对三相逆变器的三相输出支路的其中每一路和三相逆变器同一个桥臂支路的电流之和进行采样, 依据采样的电流运算获得三相的电流传感器的比例误差系数之间的关系; 再计算矫正系数, 利用矫正系数反馈控制实现电流传感器比例误差的矫正。该方法在直通矢量作用时进行采样电流, 同时实现了三相逆变器母线电压的泵升, 不会出现采样盲区的问题, 扩展了电机的运行范围。

用于 PMSM 的多电流传感器比例误差平衡控制方法

技术领域

本发明涉及 PMSM 控制领域的一种三相逆变器-永磁同步电机 PMSM 平衡控制方法，特别是涉及一种应用于三相逆变器-PMSM 控制中的多电流传感器比例误差平衡控制方法。

背景技术

由于具有较高的功率密度，PMSM 已被广泛应用于电动汽车、轨道交通和家用电器等应用场合。PMSM 的高性能控制依赖于准确的定子电流反馈。为了获得准确的电机三相电流值，电流传感器以及对应的模拟信号调理电路、模/数转换模块必不可少。然而，随着电流传感器以及对应调理电路参数的变化，各个电流传感器之间将会产生不同的采样电流误差。采样电流误差包括偏移误差以及比例误差。其中，偏移误差会在转矩中引入电机基波频率的波动量，比例误差会在转矩中引入电机二倍基波频率的波动量。

为了消除采样电流误差对电机控制性能的影响，各种采样电流误差补偿策略被相继提出。现有方案可以分为两类。一类方法通过观测器或者解析的方法实现采样电流误差的估计与补偿。M. Kim 和 S. Sul 等利用定子电压误差分别提取出了电流传感器偏移误差和比例误差，实现了稳态时的采样电流误差的补偿 (IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 50, no.9, pp. 3365-3373, 2014 年 9 月)。现有文献在处理比例误差时，一般是将多个电流传感器的比例误差进行平衡，使多个电流传感器具有相同的比例误差系数，并没有获得准确的比例误差系数。为了解决这一问题，H. Heo 和 S. Hwang 等通过在一个特定转速下给定 q 轴电流两个不同的参考值来获取两次电流环 PI 调节器积分项的值，将其作差以获得比例误差系数与准确比例误差系数的关系，从而实现了比例误差系数的准确矫正 (Proc. IPEMC-ECCE Asia, 2016, pp. 374-378)。

另一类方法通过特殊的硬件结构避免了采样电流误差对电机控制性能的影响。其中，单电流传感器采样-三相电流重构技术可以使用一个电流传感器实现电机的高性能控制。由于只使用一个电流传感器，该方法避免了多个电流传感器之间比例误差不平衡的影响。在此基础上，Y. Cho 和 T. LaBella 等给出了应用于单电流传感器采样-三相电流重构技术的电流传感器采样偏移误差补偿方法，

进一步消除了电流传感器采样误差的影响(IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 59, no.7, pp. 2924-2933, 2012 年 7 月)。与单电流传感器采样-三相电流重构技术不同, J. Lu 和 Y. Hu 等提出了另一种硬件结构来实现传统电压源三相逆变器驱动的 PMSM 控制中三相电流传感器采样电流误差的估计与补偿。该方法使用电流传感器测量三相逆变器输出相支路与三相逆变器一个桥臂支路电流的和。通过在零矢量和有效矢量作用时对电流进行采样, 并将采样值做普通的数值运算, 即可获得准确的采样电流误差。由于采用了特殊的硬件结构, 这类方法往往需要在特定矢量中进行采样电流, 当采样所需矢量的长度不足以完成一次采样时, 会导致采样失败。在矢量平面中, 可能产生采样失败的区域被称为采样盲区(IEEE Trans. Power Electron., vol. 36, no.5, pp. 5748-5759, 2021 年 5 月)。

发明内容

本发明的目的是为了克服现有技术中的不足, 提供一种可以消除分布于高调制区的采样盲区, 提高直流电压利用率的多电流传感器比例误差平衡方法。

本发明方法在直通矢量作用时进行采样电流, 同时实现了三相逆变器母线电压的泵升, 不会出现采样盲区的问题, 扩展了电机的运行范围。

如图 1 所示, 本发明的目的是通过以下技术方案实现的:

1) 在直流电源和永磁同步电机所连接的三相逆变器之间设置一个避免直通矢量作用时直流电源正负极短路的阻抗网络;

2) 在三相逆变器的一个 PWM 周期中的两个直通矢量作用下, 使用三相的电流传感器分别对三相逆变器的三相输出支路的其中每一路和三相逆变器同一个桥臂支路的电流之和进行采样, 获得三相各自的一个采样电流, 然后依据采样电流进行运算获得三相的电流传感器的比例误差系数之间的关系;

3) 通过三相电流传感器的比例误差系数之间的关系计算矫正系数, 利用矫正系数反馈控制实现电流传感器比例误差的矫正。

所述步骤 1) 中的阻抗网络包括了第一电感 L_1 、第二电感 L_2 、第一电容 C_1 、第二电容 C_2 和开关管 S_0 , 原本直流电源 u_{in} 并联在三相逆变器上, 即直流电源 u_{in} 的两端分别连接三相逆变器的两个桥臂支路上, 第二电容 C_2 并联于直流电源 u_{in} 、第一电感 L_1 和开关管 S_0 串联后的两端, 直流电源 u_{in} 正极和三相逆变器其中一个桥臂支路之间依次串联有第一电感 L_1 、开关管 S_0 和第二电感 L_2 , 第一电容 C_1 并联在开关管 S_0 和第二电感 L_2 串联后的两端, 开关管 S_0 的发射极经第一电感 L_1 和直流电源 u_{in} 正极连接, 开关管 S_0 的集电极和第二电感 L_2 连接。

所述的开关管 S_0 采用 MOS 管或者 IGBT 管。

所述步骤2)中,三相逆变器的桥臂支路是指两个相的下桥臂相连后的节点与剩余一相的下桥臂之间的支路。

所述步骤2)中,在三相逆变器的一个PWM周期中,A相的上桥臂和下桥臂分别单独导通时插入一次直通矢量:以B相和C相的上桥臂和下桥臂均导通、A相仅上桥臂导通状态作为直通矢量 V_{APsh} ,以B相和C相的上桥臂和下桥臂均导通、A相仅下桥臂导通状态作为直通矢量 V_{ANsh} ;

然后在为直通矢量 V_{APsh} 和直通矢量 V_{ANsh} 情况下分别通过三相的电流传感器采集获得的采样电流值,再按照以下公式获得三相的电流传感器比例误差系数之间的关系,表示为:

$$k_A : k_B : k_C = \Delta i_{AM} : \Delta i_{BM} : \Delta i_{CM}$$

$$\Delta i_{AM} = i_{AMP} - i_{AMN}, \quad \Delta i_{BM} = i_{BMP} - i_{BMN}, \quad \Delta i_{CM} = i_{CMP} - i_{CMN}$$

其中, Δi_{AM} 表示两次直通矢量 V_{APsh} 和 V_{ANsh} 下A相的电流传感器的采样电流值的差值, i_{AMP} 表示直通矢量为 V_{APsh} 时A相的电流传感器的采样电流值, i_{AMN} 表示直通矢量为 V_{ANsh} 时A相的电流传感器的采样电流值; Δi_{BM} 表示两次直通矢量 V_{APsh} 和 V_{ANsh} 下B相的电流传感器的采样电流值的差值, i_{BMP} 表示直通矢量为 V_{APsh} 时B相的电流传感器的采样电流值, i_{BMN} 表示直通矢量为 V_{ANsh} 时B相的电流传感器的采样电流值; Δi_{CM} 表示两次直通矢量 V_{APsh} 和 V_{ANsh} 下C相的电流传感器的采样电流值的差值, i_{CMP} 表示直通矢量为 V_{APsh} 时C相的电流传感器的采样电流值, i_{CMN} 表示直通矢量为 V_{ANsh} 时C相的电流传感器的采样电流值; k_A 、 k_B 、 k_C 分别表示A相、B相、C相处的电流传感器的比例误差系数。

所述步骤3)中,将三相的电流传感器比例误差系数之间的关系代入以下公式:

$$\begin{cases} x \cdot k_A = y \cdot k_B = z \cdot k_C \\ x \cdot y \cdot z = 1 \end{cases}$$

进而获得三个矫正系数 x , y , z :

$$\begin{cases} x = \sqrt[3]{\Delta i_{BM} \cdot \Delta i_{CM} / \Delta i_{AM}^2} \\ y = \sqrt[3]{\Delta i_{AM} \cdot \Delta i_{CM} / \Delta i_{BM}^2} \\ z = \sqrt[3]{\Delta i_{AM} \cdot \Delta i_{BM} / \Delta i_{CM}^2} \end{cases}$$

其中, x 、 y 、 z 分别表示A相、B相、C相的电流传感器的矫正系数;根据矫正系数按照以下公式处理获得矫正的三相电流:

$$\begin{cases} i_{A0} = x \cdot i_{AMP} - x \cdot i_{AMN} \\ i_{B0} = y \cdot i_{BMP} - x \cdot i_{AMN} \\ i_{C0} = z \cdot i_{CMP} - x \cdot i_{AMN} \end{cases}$$

其中, i_{A0} 、 i_{B0} 、 i_{C0} 为矫正后的 A 相、B 相、C 相的电流;

最后采用矫正后的三相电流反馈给永磁同步电机的电流环进行控制, 消除由于三相传感器比例误差系数误差带来的三相电流不平衡问题。

所述步骤 3) 中, 三相电流传感器之间的比例误差系数关系是通过将两个不同的直通矢量作用下的电流传感器采样值作差来获得。

与现有技术相比, 本发明的技术方案所带来的有益效果是:

(1) 本发明在直通矢量作用下进行采样电流与电流传感器比例误差矫正, 零矢量与有效矢量被用于电机调速, 采样电流与电机调速被分离, 因此本发明不会受到因零矢量与有效矢量长度不足而产生的采样盲区的影响。

(2) 由于本发明阻抗网络的存在, 直通矢量不仅可以提供采样电流窗口, 也实现了三相逆变器直流母线电压的泵升, 从而实现了电压利用率的提升。

(3) 本发明可以有效矫正多电流传感器比例误差的不平衡问题, 从而消除了由于电流传感器比例误差的不平衡导致的电机电流畸变与转矩波动。

附图说明

图 1 是本发明方法的结构框图。

图 2 是电流传感器安装位置示意图;

图 3 是两相直通时电流流向示意图;

图 4 是 B、C 两相直通调制方法开关信号示意图;

图 5 是 B、C 两相直通调制示意图;

图 6 是三相电流传感器比例误差对转矩的影响波形图。

具体实施方式

以下结合附图和具体实施例对本发明作进一步详细说明。应当理解, 此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明, 并不用于限定本发明。

本发明的实施例及其实施情况过程如下:

一、布置系统

如图 2 所示, 具体实施的整个系统由直流电源、对称的阻抗网络, 三相逆变器以及永磁同步电机 PMSM 组成。

图中, u_{in} 为直流电源, i_A 、 i_B 、 i_C 为永磁同步电机 PMSM 的三相电流, $L_1=L_2=L$ 分别为阻抗网络的第一电感、第二电感及其电感值, $C_1=C_2=C$ 为阻抗网络的第

一电容、第二电容及其电容值。

系统允许三相逆变器同一相的上、下桥臂同时导通，该状态为直通矢量。直通矢量为其中的一种电压矢量，在一个PWM周期中直通矢量的占空比为 d_{sh} 。

图2所示对称的阻抗网络与三相逆变器的构成，可通过调节直通矢量占空比实现母线电压的泵升，此时可以在不增加调制系数的前提下增加三相逆变器输出电压的幅值。这一特性为电机控制提供了另一个采样窗口。

二、电流传感器采样误差与抑制采样误差的电流传感器安装

在三相逆变器的三相输出支路的其中每一路和三相逆变器同一个桥臂支路之间的交叉处安装一个电流传感器，三相输出支路对应的三个交叉处安装三个电流传感器，每个电流传感器同时采集的各自一相输出支路的电流和桥臂支路的电流的和。

电流传感器安装后，考虑采样电流误差，电流传感器采样值表示为：

$$\begin{cases} i_{AM}=k_A(i_A-i_{br})+e_A \\ i_{BM}=k_B(i_B-i_{br})+e_B \\ i_{CM}=k_C(i_C-i_{br})+e_C \end{cases} \quad (1)$$

其中， i_{br} 为三相逆变器的桥臂支路的电流， i_{AM} 、 i_{BM} 、 i_{CM} 为三相的电流传感器的采样电流值， k_A 、 k_B 、 k_C 为三相的电流传感器的比例误差系数， e_A 、 e_B 、 e_C 为三相的电流传感器的偏移误差。

三、直通矢量采样-电流传感器比例误差平衡

系统允许三相逆变器工作于多种直通状态，包括三桥臂直通、两桥臂直通以及单桥臂直通。综合考虑采样电流的实现与三相逆变器电流应力，本发明选择B、C相同时直通的方式实现直通矢量采样电流。定义A相仅上桥臂导通时的直通矢量为 V_{APsh} 以及A相仅下桥臂导通时的直通矢量为 V_{ANsh} 。 V_{APsh} 与 V_{ANsh} 对应的三相逆变器状态如图3所示。图3中 i_{sh} 为三相逆变器直通时的直通电流。

所述的三相逆变器的三相分为A相、B相和C相。

在三相逆变器的一个PWM周期中，A相的上桥臂和下桥臂分别单独导通时插入一次直通矢量：以B相和C相的上桥臂和下桥臂均导通、A相仅上桥臂导通状态作为直通矢量 V_{APsh} ，以B相和C相的上桥臂和下桥臂均导通、A相仅下桥臂导通状态作为直通矢量 V_{ANsh} ；

本发明具体实施中，电流传感器偏移误差在电机未工作时进行补偿，电流传感器采样偏移误差已经被补偿。

然后在为直通矢量 V_{APsh} 和直通矢量 V_{ANsh} 情况下分别通过三相的电流传感

器采集获得的采样电流值，再按照以下公式获得三相的电流传感器比例误差系数之间的关系，表示为：

$$k_A : k_B : k_C = \Delta i_{AM} : \Delta i_{BM} : \Delta i_{CM} \quad (2)$$

$$\Delta i_{AM} = i_{AMP} - i_{AMN}, \quad \Delta i_{BM} = i_{BMP} - i_{BMN}, \quad \Delta i_{CM} = i_{CMP} - i_{CMN}$$

其中， Δi_{AM} 表示两次直通矢量 V_{APsh} 和 V_{ANsh} 下 A 相的电流传感器的采样电流值的差值， i_{AMP} 表示直通矢量为 V_{APsh} 时 A 相的电流传感器的采样电流值， i_{AMN} 表示直通矢量为 V_{ANsh} 时 A 相的电流传感器的采样电流值；

Δi_{BM} 表示两次直通矢量 V_{APsh} 和 V_{ANsh} 下 B 相的电流传感器的采样电流值的差值， i_{BMP} 表示直通矢量为 V_{APsh} 时 B 相的电流传感器的采样电流值， i_{BMN} 表示直通矢量为 V_{ANsh} 时 B 相的电流传感器的采样电流值；

Δi_{CM} 表示两次直通矢量 V_{APsh} 和 V_{ANsh} 下 C 相的电流传感器的采样电流值的差值， i_{CMP} 表示直通矢量为 V_{APsh} 时 C 相的电流传感器的采样电流值， i_{CMN} 表示直通矢量为 V_{ANsh} 时 C 相的电流传感器的采样电流值； k_A 、 k_B 、 k_C 分别表示 A 相、B 相、C 相的电流传感器的比例误差系数。

具体实施中，设置相应的调制方式，以实现在一个 PWM 周期中插入直通矢量 V_{APsh} 与 V_{ANsh} 。以参考直通矢量位于第 I 扇区为例，插入直通矢量 V_{APsh} 与矢量 V_{ANsh} 后的开关信号图如图 4 所示。其中， S_{AP} ， S_{BP} ， S_{CP} 分别为三相逆变器三相上桥臂开关信号， S_{AN} ， S_{BN} ， S_{CN} 分别为三相逆变器三相下桥臂开关信号。

实现该开关信号的调制方式如图 5 所示。

四、矫正处理

当电流传感器比例误差系数不同时，将三相的电流传感器比例误差系数之间的关系代入以下公式用以平衡电流传感器比例误差系数：

$$\begin{cases} x \cdot k_A = y \cdot k_B = z \cdot k_C \\ x \cdot y \cdot z = 1 \end{cases} \quad (3)$$

获得三个矫正系数 x ， y ， z ：

$$\begin{cases} x = \sqrt[3]{\Delta i_{BM} \cdot \Delta i_{CM} / \Delta i_{AM}^2} \\ y = \sqrt[3]{\Delta i_{AM} \cdot \Delta i_{CM} / \Delta i_{BM}^2} \\ z = \sqrt[3]{\Delta i_{AM} \cdot \Delta i_{BM} / \Delta i_{CM}^2} \end{cases} \quad (4)$$

其中， x 、 y 、 z 分别表示 A 相、B 相、C 相的电流传感器的矫正系数；根据矫正系数按照以下公式处理获得矫正的三相电流：

$$\begin{cases} i_{A0} = x \cdot i_{AMP} - x \cdot i_{AMN} \\ i_{B0} = y \cdot i_{BMP} - x \cdot i_{AMN} \\ i_{C0} = z \cdot i_{CMP} - x \cdot i_{AMN} \end{cases} \quad (5)$$

其中, i_{A0} 、 i_{B0} 、 i_{C0} 为矫正后的 A 相、B 相、C 相的电流。

最后采用矫正后的三相电流反馈给永磁同步电机的电流环进行控制, 消除由于三相传感器比例误差带来的三相电流不平衡问题。

图 6 示出了电机运行于 1000r/min, 电机转矩分别为 20N·m、40N·m、60N·m 时, 三相电流传感器不存在比例误差与存在误差时电机转矩的波形。其中, 图 6(a)示出了三相电流传感器不存在比例误差时的电机转矩波形; 图 6(b)示出了三相电流传感器存在比例误差时的电机转矩波形。图中, T 表示转矩, 是通过使用转矩传感器测量得到的。由图 6 可知, 通过采用本发明的技术方案对多电流传感器比例误差的不平衡问题进行矫正, 可以消除由于电流传感器比例误差的不平衡导致的电机电流畸变与转矩波动。

综上所述, 本发明实施例通过上述步骤可以实现多电流传感器比例误差的不平衡的矫正, 从而消除了由于电流传感器比例误差的不平衡导致的电机电流畸变与转矩波动。

本发明实施例对各器件的型号除做特殊说明的以外, 其他器件的型号不做限制, 只要能完成上述功能的器件均可。

本领域技术人员可以理解附图只是一个优选实施例的示意图, 上述本发明实施例序号仅仅为了描述, 不代表实施例的优劣。

本发明并不限于上文描述的实施方式。以上对具体实施方式的描述旨在描述和说明本发明的技术方案, 上述的具体实施方式仅仅是示意性的, 并不是限制性的。在不脱离本发明宗旨和权利要求所保护的范围情况下, 本领域的普通技术人员在本发明的启示下还可做出很多形式的具体变换, 这些均属于本发明的保护范围之内。

权利要求书

1、一种用于 PMSM 的多电流传感器比例误差平衡控制方法，其特征在于，包括以下步骤：

1) 在直流电源和永磁同步电机所连接的三相逆变器之间设置一个避免直通矢量作用时直流电源正负极短路的阻抗网络；

2) 在三相逆变器的一个 PWM 周期中的两个直通矢量作用下，使用三相的电流传感器分别对三相逆变器的三相输出支路的其中每一路和三相逆变器同一个桥臂支路的电流之和进行采样，获得三相各自的采样电流，然后依据采样电流进行运算获得三相的电流传感器的比例误差系数之间的关系；

3) 通过三相电流传感器的比例误差系数之间的关系计算矫正系数，利用矫正系数反馈控制实现电流传感器比例误差的矫正。

2、根据权利要求 1 所述的一种直通矢量作用下采样多电流传感器比例误差平衡方法，其特征在于：所述步骤 1) 中的阻抗网络包括了第一电感 L_1 、第二电感 L_2 、第一电容 C_1 、第二电容 C_2 和开关管 S_0 ，直流电源 u_{in} 并联在三相逆变器上，第二电容 C_2 并联于直流电源 u_{in} 、第一电感 L_1 和开关管 S_0 串联后的两端，直流电源 u_{in} 正极和三相逆变器其中一个桥臂支路之间依次串联有第一电感 L_1 、开关管 S_0 和第二电感 L_2 ，第一电容 C_1 并联在开关管 S_0 和第二电感 L_2 串联后的两端。

3、根据权利要求 1 所述的一种直通矢量作用下采样多电流传感器比例误差平衡方法，其特征在于：所述步骤 2) 中，三相逆变器的桥臂支路是指两个相的下桥臂相连后的节点与剩余一相的下桥臂之间的支路。

4、根据权利要求 1 所述的一种直通矢量作用下采样多电流传感器比例误差平衡方法，其特征在于：所述步骤 2) 中，在三相逆变器的一个 PWM 周期中，A 相的上桥臂和下桥臂分别单独导通时插入一次直通矢量：以 B 相和 C 相的上桥臂和下桥臂均导通、A 相仅上桥臂导通状态作为直通矢量 V_{APsh} ，以 B 相和 C 相的上桥臂和下桥臂均导通、A 相仅下桥臂导通状态作为直通矢量 V_{ANsh} ；

然后在为直通矢量 V_{APsh} 和直通矢量 V_{ANsh} 情况下分别通过三相的电流传感器采集获得的采样电流值，再按照以下公式获得三相的电流传感器比例误差系数之间的关系，表示为：

$$k_A : k_B : k_C = \Delta i_{AM} : \Delta i_{BM} : \Delta i_{CM}$$

$$\Delta i_{AM} = i_{AMP} - i_{AMN}, \quad \Delta i_{BM} = i_{BMP} - i_{BMN}, \quad \Delta i_{CM} = i_{CMP} - i_{CMN}$$

其中, Δi_{AM} 表示两次直通矢量 V_{APsh} 和 V_{ANsh} 下 A 相的电流传感器的采样电流值的差值, i_{AMP} 表示直通矢量为 V_{APsh} 时 A 相的电流传感器的采样电流值, i_{AMN} 表示直通矢量为 V_{ANsh} 时 A 相的电流传感器的采样电流值; Δi_{BM} 表示两次直通矢量 V_{APsh} 和 V_{ANsh} 下 B 相的电流传感器的采样电流值的差值, i_{BMP} 表示直通矢量为 V_{APsh} 时 B 相的电流传感器的采样电流值, i_{BMN} 表示直通矢量为 V_{ANsh} 时 B 相的电流传感器的采样电流值; Δi_{CM} 表示两次直通矢量 V_{APsh} 和 V_{ANsh} 下 C 相的电流传感器的采样电流值的差值, i_{CMP} 表示直通矢量为 V_{APsh} 时 C 相的电流传感器的采样电流值, i_{CMN} 表示直通矢量为 V_{ANsh} 时 C 相的电流传感器的采样电流值; k_A 、 k_B 、 k_C 分别表示 A 相、B 相、C 相处的电流传感器的比例误差系数。

5、根据权利要求 1 所述的一种直通矢量作用下采样多电流传感器比例误差平衡方法, 其特征在于: 所述步骤 3) 中, 将三相的电流传感器比例误差系数之间的关系代入以下公式:

$$\begin{cases} x \cdot k_A = y \cdot k_B = z \cdot k_C \\ x \cdot y \cdot z = 1 \end{cases}$$

进而获得三个矫正系数 x , y , z :

$$\begin{cases} x = \sqrt[3]{\Delta i_{BM} \cdot \Delta i_{CM} / \Delta i_{AM}^2} \\ y = \sqrt[3]{\Delta i_{AM} \cdot \Delta i_{CM} / \Delta i_{BM}^2} \\ z = \sqrt[3]{\Delta i_{AM} \cdot \Delta i_{BM} / \Delta i_{CM}^2} \end{cases}$$

其中, x 、 y 、 z 分别表示 A 相、B 相、C 相的电流传感器的矫正系数; 根据矫正系数按照以下公式处理获得矫正的三相电流:

$$\begin{cases} i_{A0} = x \cdot i_{AMP} - x \cdot i_{AMN} \\ i_{B0} = y \cdot i_{BMP} - x \cdot i_{AMN} \\ i_{C0} = z \cdot i_{CMP} - x \cdot i_{AMN} \end{cases}$$

其中, i_{A0} 、 i_{B0} 、 i_{C0} 为矫正后的 A 相、B 相、C 相的电流;

最后采用矫正后的三相电流反馈给永磁同步电机的电流环进行控制, 消除由于三相传感器比例误差系数误差带来的三相电流不平衡问题。

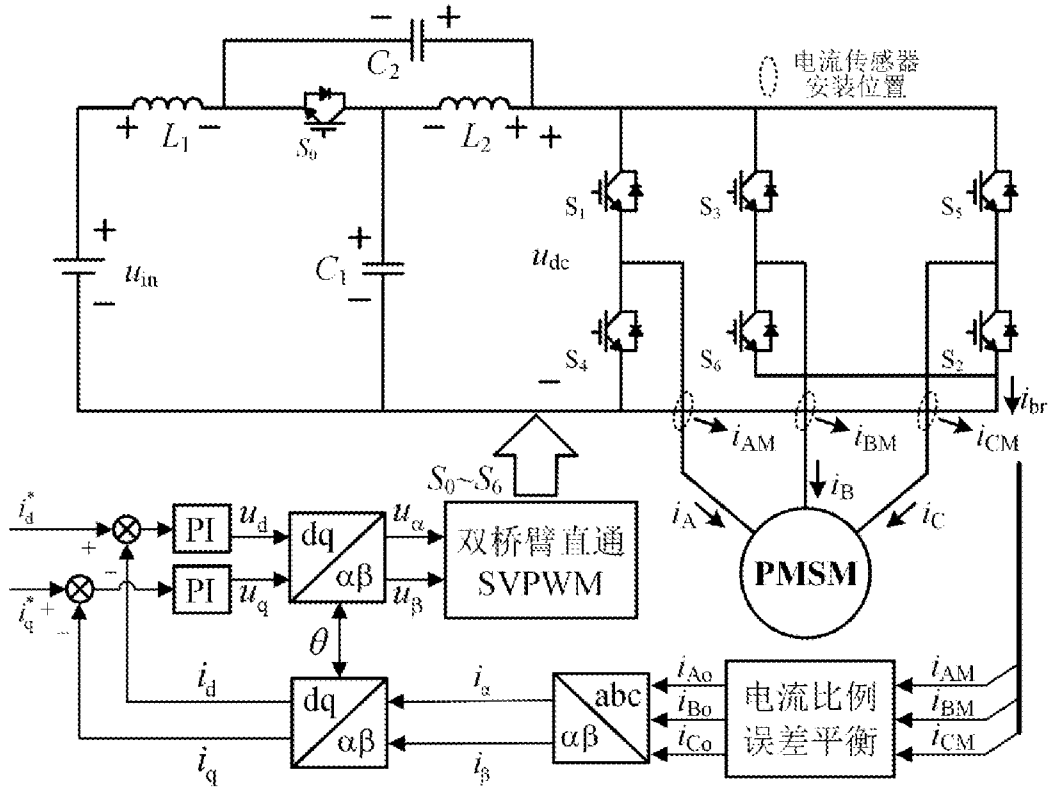


图 1

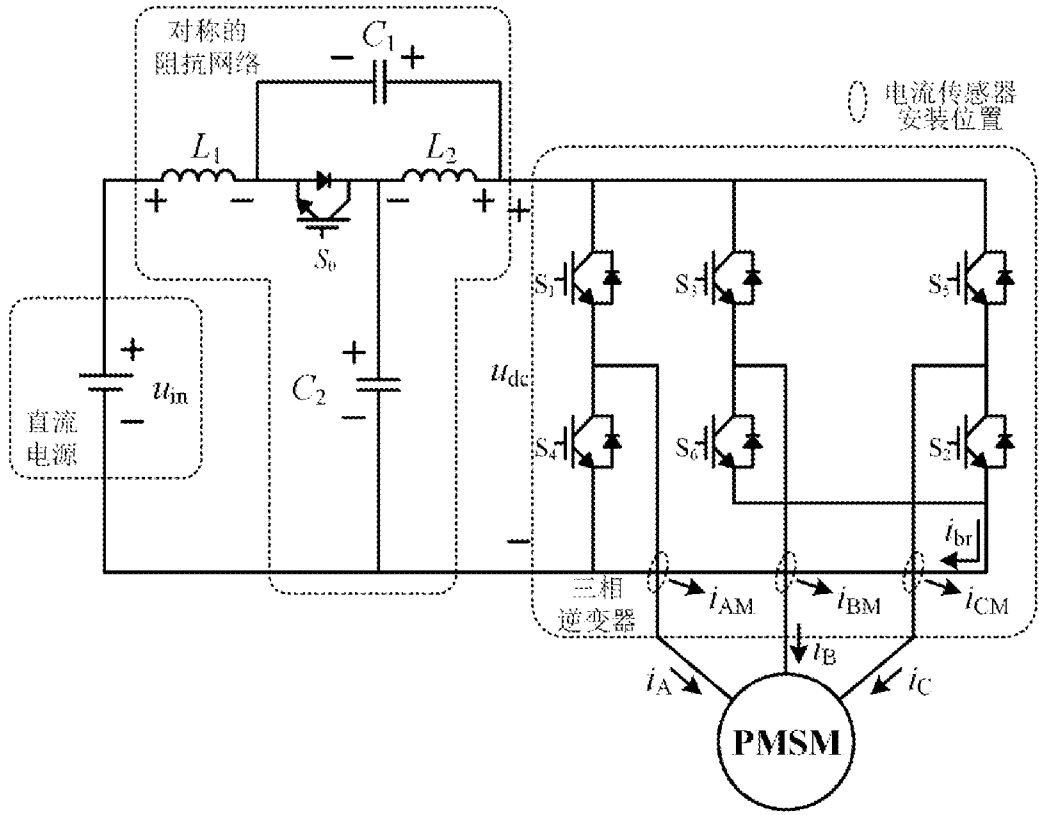


图 2

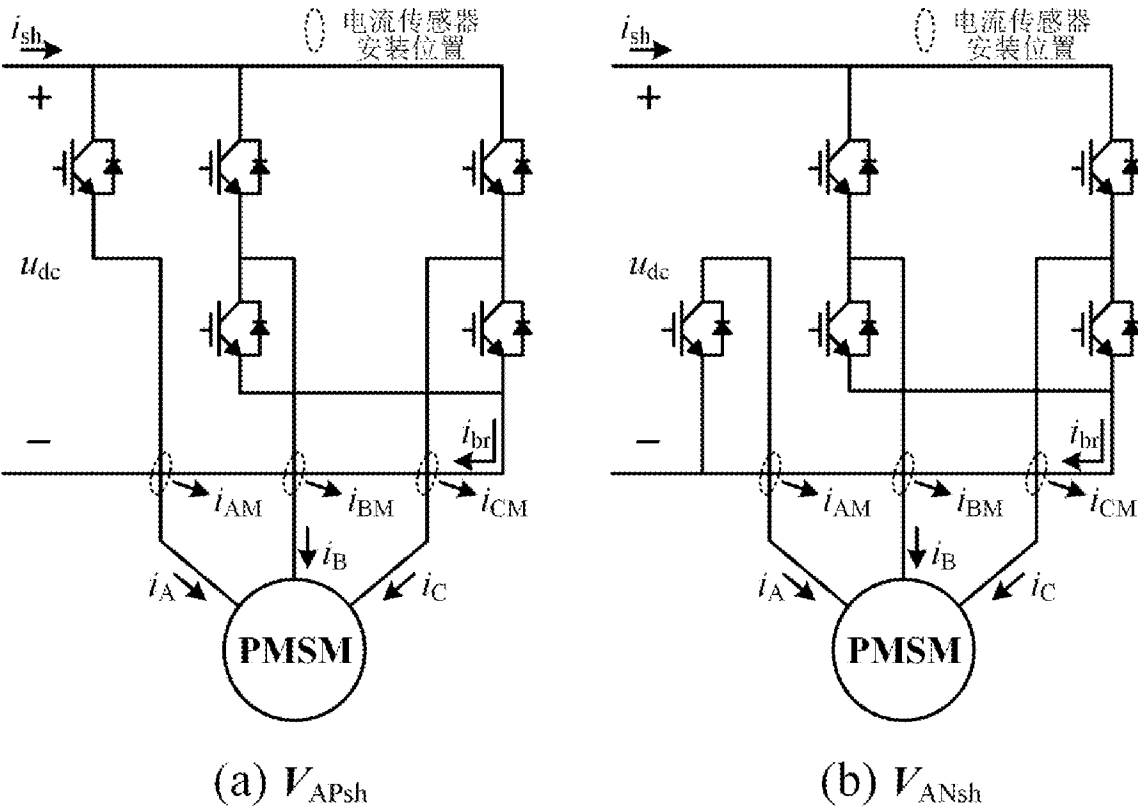


图 3

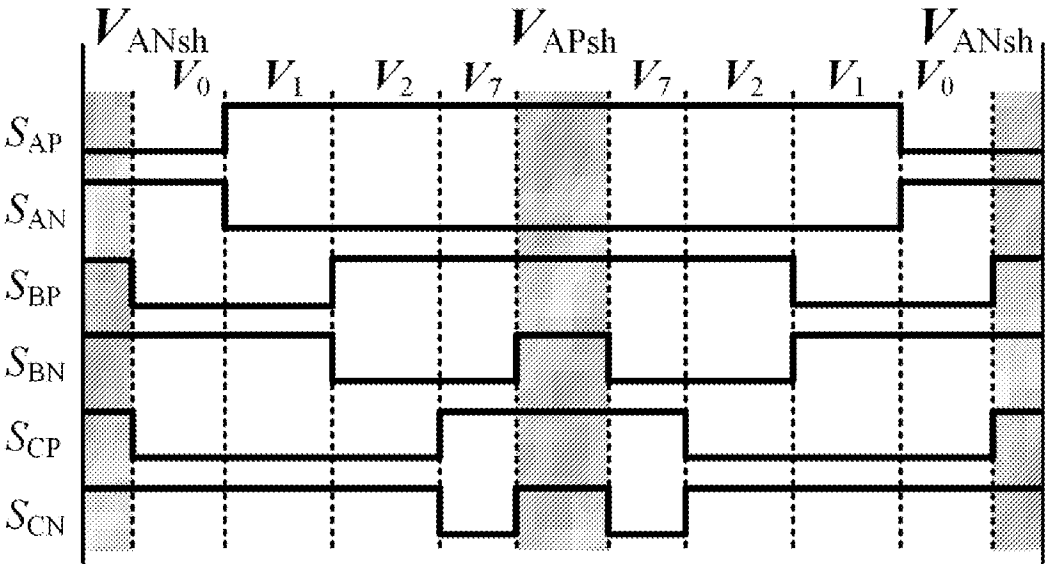


图 4

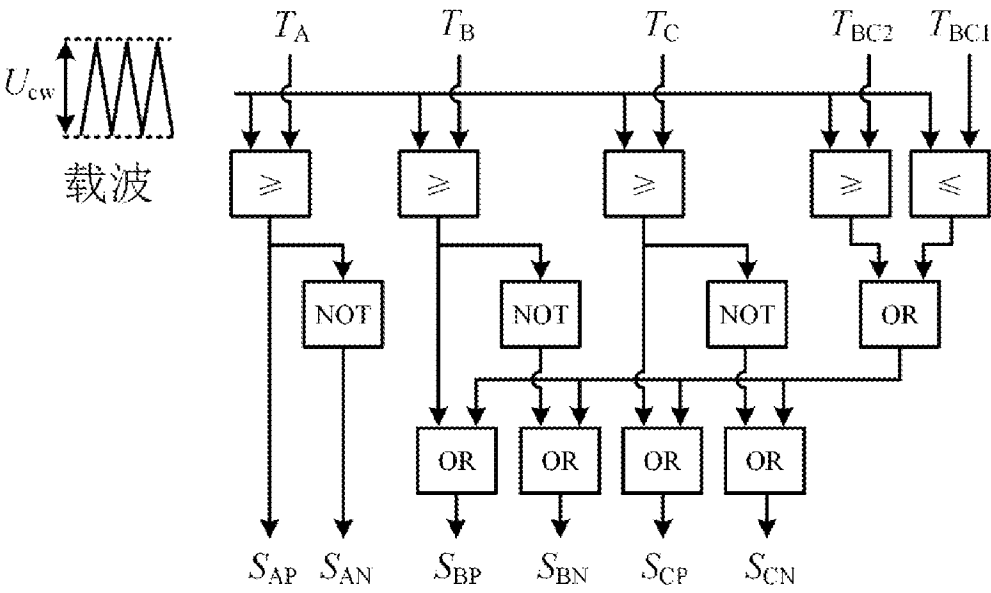


图 5

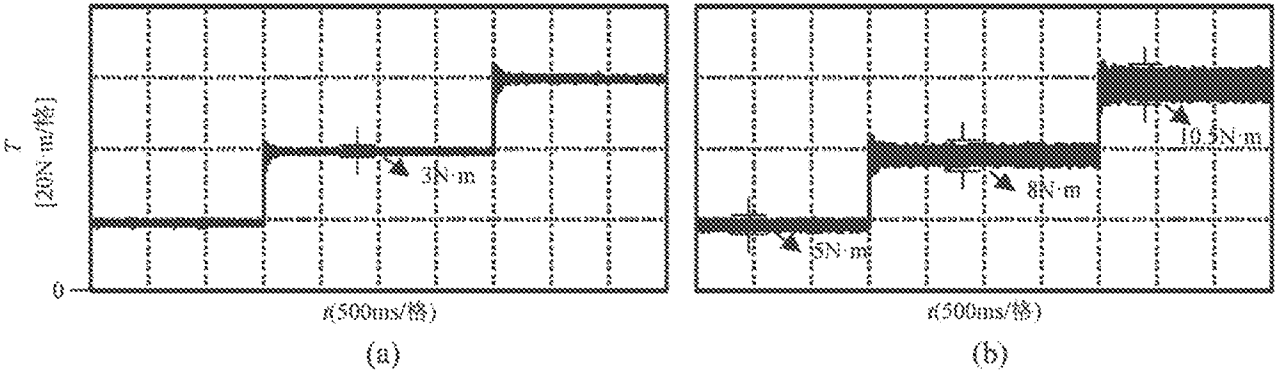


图 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2021/110343

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02P 21/14(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,H02M

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)

CNPAT, WPI, EPODOC, CNKI: 逆变器, 电流, 永磁同步, 矫正, 校正, 补偿, 比例误差, 阻抗网络, correct+, proportional, error, multi+, current, PMSM, sensor+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 108418493 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 17 August 2018 (2018-08-17) description, paragraphs [0009]-[0011], and figure 3	1-5
A	CN 109167545 A (XINJIANG UNIVERSITY et al.) 08 January 2019 (2019-01-08) entire document	1-5
A	CN 111510035 A (CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE et al.) 07 August 2020 (2020-08-07) entire document	1-5
A	CN 112271970 A (SOOCHOW UNIVERSITY) 26 January 2021 (2021-01-26) entire document	1-5
A	CN 112054732 A (SHANGHAI UNIVERSITY et al.) 08 December 2020 (2020-12-08) entire document	1-5
A	JP 2009232536 A (SHARP K. K.) 08 October 2009 (2009-10-08) entire document	1-5
A	JP 2011050170 A (SHARP K. K.) 10 March 2011 (2011-03-10) entire document	1-5



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

21 February 2022

Date of mailing of the international search report

15 March 2022

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
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2021/110343

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	108418493	A	17 August 2018	None	
CN	109167545	A	08 January 2019	None	
CN	111510035	A	07 August 2020	None	
CN	112271970	A	26 January 2021	None	
CN	112054732	A	08 December 2020	None	
JP	2009232536	A	08 October 2009	None	
JP	2011050170	A	10 March 2011	None	

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2021/110343

A. 主题的分类

H02P 21/14 (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, H02M

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))

CNPAT, WPI, EPDOC, CNKI: 逆变器, 电流, 永磁同步, 矫正, 校正, 补偿, 比例误差, 阻抗网络, correct+, proportional, error, multi+, current, PMSM, sensor+

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 108418493 A (浙江大学) 2018年8月17日 (2018 - 08 - 17) 说明书第 [0009] - [0011] 段, 附图3	1-5
A	CN 109167545 A (新疆大学等) 2019年1月8日 (2019 - 01 - 08) 全文	1-5
A	CN 111510035 A (中国电力科学研究院有限公司等) 2020年8月7日 (2020 - 08 - 07) 全文	1-5
A	CN 112271970 A (苏州大学) 2021年1月26日 (2021 - 01 - 26) 全文	1-5
A	CN 112054732 A (上海大学等) 2020年12月8日 (2020 - 12 - 08) 全文	1-5
A	JP 2009232536 A (SHARP KK) 2009年10月8日 (2009 - 10 - 08) 全文	1-5
A	JP 2011050170 A (SHARP KK) 2011年3月10日 (2011 - 03 - 10) 全文	1-5

☐ 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

2022年2月21日

国际检索报告邮寄日期

2022年3月15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

余汐霆

电话号码 010-53962482

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2021/110343

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	108418493	A	2018年8月17日	无	
CN	109167545	A	2019年1月8日	无	
CN	111510035	A	2020年8月7日	无	
CN	112271970	A	2021年1月26日	无	
CN	112054732	A	2020年12月8日	无	
JP	2009232536	A	2009年10月8日	无	
JP	2011050170	A	2011年3月10日	无	