(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
2021 年 5 月 20 日 (20.05.2021)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2021/092812 A1

(51) 国际专利分类号:
*H02P 6/14* (2016.01) *H02P 21/00* (2016.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2019/118185

(22) 国际申请日: 2019 年 11 月 13 日 (13.11.2019)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(71) 申请人: 广东美的白色家电技术创新中心有限公司 (**GUANGDONG MIDEA WHITE HOME APPLIANCE TECHNOLOGY INNOVATION CENTER CO. LTD.**) [CN/CN]; 中国广东省佛山市顺德区北滘镇工业大道美的全球创新中心4栋, Guangdong 528311 (CN)。 美的集团股份有限公司(**MIDEA GROUP CO., LTD.**) [CN/CN]; 中国广东省佛山市顺德区北滘镇美的大道6号美的总部大楼B区26-28楼, Guangdong 528311 (CN)。

(72) 发明人: 王鲁 (**WANG, Lu**); 中国广东省佛山市顺德区北滘镇工业大道美的全球创新中心4栋, Guangdong 528311 (CN)。 诸自强(**ZHU, Ziqiang**); 中国广东省佛山市顺德区北滘镇工业大道美的全球创新中心4栋, Guangdong 528311 (CN)。 宾宏(**BIN, Hong**); 中国广东省佛山市顺德区北滘镇工业大道美的全球创新中心4栋, Guangdong 528311 (CN)。

(74) 代理人: 北京派特恩知识产权代理有限公司(**CHINA PAT INTELLECTUAL PROPERTY**

(54) **Title:** COMMUTATION ERROR COMPENSATION METHOD AND APPARATUS FOR ELECTRIC MOTOR, AND STORAGE MEDIUM

(54) 发明名称: 一种电机的换相误差补偿方法、装置及存储介质

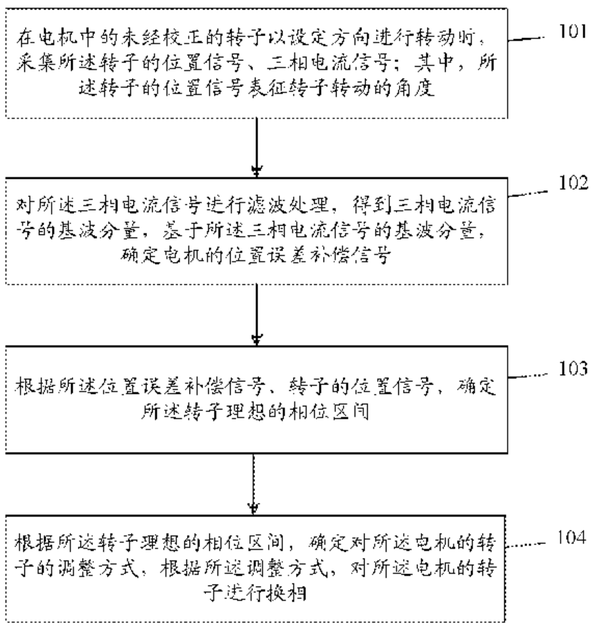


图 2

101 When a rotor, that has not been corrected, in an electric motor rotates in a set direction, collect a position signal and a three-phase current signal of the rotor, wherein the position signal of the rotor represents the rotation angle of the rotor

102 Carry out filtering processing on the three-phase current signal to obtain a fundamental component of the three-phase current signal, and determine a position error compensation signal of the electric motor on the basis of the fundamental component of the three-phase current signal

103 Determine an ideal phase interval of the rotor according to the position error compensation signal and the position signal of the rotor

104 Determine an adjustment method for the rotor of the electric motor according to the ideal phase interval of the rotor, and commutate the rotor of the electric motor according to the adjustment method

(57) **Abstract:** Disclosed is a commutation error compensation method for an electric motor. The method comprises: when a rotor, that has not been corrected, in an electric motor rotates in a set direction, collecting a position signal and a three-phase current signal of the rotor, wherein the position signal of the rotor represents the rotation angle of the rotor (101); carrying out filtering processing on the three-phase current signal to obtain a fundamental component of the three-phase current signal, and determining a position error compensation signal of the electric motor on the basis of the fundamental component of the three-phase current signal (102); determining an ideal phase interval of the rotor according to the position error compensation signal and the position signal of the rotor (103); and determining an adjustment method for the rotor of the electric motor according to the ideal phase interval of the rotor, and commutating the rotor of the electric motor according to the adjustment method (104).

(57) 摘要: 一种电机的换相误差补偿方法，所述方法包括：在电机中的未经校正的转子以设定方向进行转动时，采集所述转子的位置信号、三相电流信号；其中，所述转子的位置信号表征转子转动的角度（101）；对所述三相电流信号进行滤波处理，得到三相电流信号的基波分量，基于所述三相电流信号的基波分量，确定电机的位置误差补偿信号（102）；根据所述位置误差补偿信号、转子的位置信号，确定所述转子理想的相位区间（103）；根据所述转子理想的相位区间，确定对所述电机的转子的调整方式，根据所述调整方式，对所述电机的转子进行换相（104）。

WO 2021/092812 A1

[见续页]

**OFFICE)**；中国北京市海淀区海淀南路21号中关村知识产权大厦B座2层, Beijing 100080 (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))。

# 一种电机的换相误差补偿方法、装置及存储介质

## 技术领域

本公开涉及电机控制技术领域，尤其涉及一种电机的换相误差补偿方法、装置及存储介质。

## 背景技术

高速小型化的无刷直流电机（Brushless Direct Current，BLDC）如今应用领域越来越广泛，尤其是在小型电动工具如手持式的真空吸尘器等领域。由于绕组电抗等因素的存在，传统的 BLDC 的驱动方式存在换相误差，无法保证高速 BLDC 在最佳换相点处换相，从而导致相电流滞后相应的反电动势，对电机性能带来诸多不利影响。

相关技术中通常通过磁链观测器与电流积分器来判断换相的相位误差，并生成误差补偿信号。但是，这种换相误差补偿方案建立在电机的磁链观测器的电阻电感信息精确，电流积分器不存在偏移误差的前提下。然而，在实际过程中，由于制造过程中出现的偏差、电流信号的偏移使得换相误差无法被精确检测，导致无法使高速的 BLDC 在最佳换相点处换相，影响 BLDC 的驱动性能。

## 发明内容

为解决相关技术问题，本公开实施例提出一种电机的换相误差补偿方法、装置及存储介质，能够产生理想的换相误差补偿信号，保证 BLDC 在最佳换相点处换相。

本公开实施例提供了一种电机的换相误差补偿方法，包括:

在电机中的未经校正的转子以设定方向进行转动时，采集所述转子的位置信号、三相电流信号；其中，所述转子的位置信号表征转子转动的角度;

对所述三相电流信号进行滤波处理，得到三相电流信号的基波分量，基于

所述三相电流信号的基波分量，确定电机的位置误差补偿信号;

根据所述位置误差补偿信号、转子的位置信号，确定所述转子理想的相位区间;

根据所述转子理想的相位区间，确定对所述电机的转子的调整方式，根据所述调整方式，对所述电机的转子进行换相。

在上述方案中，所述对所述三相电流信号进行滤波处理，得到三相电流信号的基波分量，包括:

获取电机的未经校正的转子的角速度;

根据所述角速度，确定余弦参考信号、正弦参考信号;

基于所述余弦参考信号、正弦参考信号，确定初始电流输出信号;

基于所述三相电流信号和所述初始电流输出信号的差值，产生权重信号;

根据所述权重信号、余弦参考信号和正弦参考信号，得到三相电流信号的基波分量。

在上述方案中，所述基于所述三相电流信号的基波分量，确定电机的位置误差补偿信号，包括:

将静止坐标系上的所述三相电流信号的基波分量转换为旋转坐标系上的两相电流信号; 其中，所述旋转坐标系的转动的角度与电机的转子转动的角度相同，所述两相电流信号包括与旋转坐标系中的一轴对应的 d 轴电流;

根据所述 d 轴电流与转子的位置信号的对应关系，对所述 d 轴电流进行调节，确定转子的位置误差补偿信号。

在上述方案中，所述根据所述位置误差补偿信号、转子的位置信号，确定所述转子理想的相位区间，包括:

将所述位置误差补偿信号补偿至所述未经校正的转子的位置信号中，得到理想的转子的位置信号;

根据预设的相位区间与转子的位置信号的对应关系，确定所述转子理想的相位区间。

在上述方案中，所述根据所述转子理想的相位区间，确定对所述电机的转

子的调整方式，包括:

确定对所述转子进行调整所需的控制电压;

基于所述控制电压、所述转子理想的相位区间，确定对所述电机的转子的调整方式。

在上述方案中，所述确定对所述转子进行调整所需的控制电压，包括:

获取所述电机的未经校正的转子的当前角速度和给定角速度；其中，所述给定角速度为期望达到的角速度;

利用调节器对所述当前角速度和给定角速度的差值进行处理，确定对所述转子进行调整所需的控制电压。

本公开实施例还提供一种电机的换相误差补偿装置，包括：采集单元、滤波单元、确定单元以及换相单元；其中，

所述采集单元，用于在电机中的未经校正的转子以设定方向进行转动时，采集所述转子的位置信号、三相电流信号；其中，所述转子的位置信号表征转子转动的角度;

所述滤波单元，用于对所述三相电流信号进行滤波处理，得到三相电流信号的基波分量，基于所述三相电流信号的基波分量，确定电机的位置误差补偿信号;

所述确定单元，用于根据所述位置误差补偿信号、转子的位置信号，确定所述转子理想的相位区间;

所述换相单元，用于根据所述转子理想的相位区间，确定对所述电机的转子的调整方式，根据所述调整方式，对所述电机的转子进行换相。

本公开实施例还提供一种电机的换相误差补偿装置，包括：处理器和配置为存储能够在处理器上运行的计算机程序的存储器;

其中，所述处理器配置为运行所述计算机程序时，执行上述任一项所述方法的步骤。

本公开实施例还提供一种存储介质，其上存储有计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时实现上述任一项所述方法的步骤。

本公开实施例提供的电机的换相误差补偿方法、装置及存储介质，通过对采集的三相电流信号进行滤波处理来提取三相电流信号中每相电流信号对应的基波分量；根据得到的基波分量来确定电机的位置误差补偿信号；由于通过滤波处理去除了电流信号中的谐波，使得获得的基波分量中不存在信号的偏移。在此基础上，结合位置误差补偿信号和实际采集的位置信号确定出了转子理想的换相相位，进而在对应的调整方式下，实现电机的转子的换相。如此，在不引入信号偏移的基础上，实现了 BLDC 在最佳换相点处换相，保证了 BLDC 的驱动性能。

附图说明

图 1a 为相关技术中的判断换相误差的方法的实现示意图；

图 1b 为相关技术中的判断换相误差的方法中反电动势信号 e 与电流信号 i、磁链信号 $\psi$ 与电流积分信号 $\int idt$ 的关系示意图；

图 2 为本公开实施例提供的一种电机的换相误差补偿方法；

图 3 为本公开实施例提供的神经网络滤波器的原理示意图；

图 4 为将静止两轴坐标系 α，β 上的电压矢量投影到旋转的两轴坐标系 d 轴，q 轴上的示意图；

图 5 为预设的扇区与转子位置信号、驱动方式的对应关系示意图；

图 6 为控制电压与三相全桥电路中各开关器件的控制关系的示意图；

图 7 为本公开实施例 BLDC 应用在电子设备中的硬件系统结构示意图；

图 8 为 BLDC 线反电势波形、扇区以及驱动信号的对应关系的一种示意图；

图 9 为本公开实施例提供的电机的换相误差补偿方法的实现示意图；

图 10 为本公开实施例提供的一种电机的换相误差补偿装置的组成结构示意图；

图 11 为本公开实施例提供的一种电机的换相误差补偿装置的硬件组成结构示意图。

具体实施方式

为使本公开实施例的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合本公开实施例中的附图，对发明的具体技术方案做进一步详细描述。以下实施例用于说明本公开，但不用来限制本公开的范围。

相关技术中提出了一种判断换相误差的方法，图 1a 为相关技术中的判断换相误差的方法的实现示意图；如图 1a 所示，通过传感器采集电机的电流和电压信号，进而通过磁链观测器得到的磁链信号$\psi$和电流积分模块得到电流积分信号 *fidt* 之间的相位差来得到换相误差补偿信号。这里，在该判断换相误差的方法中提出了可以根据磁链信号$\psi$与电流积分信号 *fidt* 的相位差来代替电机中反电动势信号与电流信号的相位差。

图 1b 为相关技术中的判断换相误差的方法中反电动势信号 e 与电流信号 i、磁链信号$\psi$与电流积分信号 *fidt* 的关系示意图；如图 1b 所述，链信号$\psi$滞后反电动势信号 e 90°，而电流积分信号 *fidt* 滞后电流信号 i 90°；如此可以将磁链信号$\psi$与电流积分信号 *fidt* 的相位差来代替电机中反电动势信号与电流信号的相位差，通过相位差检测模块来确定磁链信号$\psi$与电流积分信号 *fidt* 的相位差$\alpha$，进而调节相位差为 0 来得到换相误差补偿信号。

但是，这种换相误差补偿方案建立在电机的磁链观测器的电阻电感信息精确，电流积分器不存在偏移误差的前提下。然而，在实际过程中，高速电机电阻电感参数较小，在实际制造过程中，由于模块化制造，匝数不对称，线路接触电阻不同等原因，容易产生实际阻感参数与理论值不同的现象，因此会导致磁链观测器模型的电阻电感不准确。除此之外，电流信号经积分模块处理后，会产生直流偏移分量，该偏移会导致电流积分信号过零点存在误差，影响相位差检测。

基于此，为了补偿换相误差，本公开实施例提供一种电机的换相误差补偿方法，如图 2 所示，包括以下步骤:

步骤 101，在电机中的未经校正的转子以设定方向进行转动时，采集所述

转子的位置信号、三相电流信号；其中，所述转子的位置信号表征转子转动的角度。

本公开实施例中，所述电机为 BLDC；所述设定方向可以是顺时针方向、逆时针方向。所述 BLDC 的换相是指 BLDC 中转子的换相。所述转子的位置信号就是指转子转动的角度，例如，转子转动了 60°，则转子的位置信号为 60°。

实际应用时，BLDC 的转子的位置信号处于 0-360°之间，每 60°划分一个扇区，共六个扇区；其中：第 30°～90°为第 I 扇区；第 90°～150°为第 II 扇区；第 150°～210°为第 III 扇区；第 210°～270°为第 IV 扇区；第 270°～330°为第 V 扇区；第 330°～30°为第 VI 扇区。BLDC 的转子从第 I 扇区转动至第 II 扇区，或者从第 III 扇区转动至第 IV 扇区就是指发生一次换相。

实际应用时，上述步骤 101 中的 BLDC 的转子的位置信号可以通过无传感器技术来获得，也可以通过 BLDC 的转子位置传感器（霍尔传感器，光电码盘等）直接读取。

需要说明的是，通过无传感器技术来获得 BLDC 的转子的位置信号的方式相较于读取转子位置传感器的方式，由于无需另外配备传感器，降低了硬件成本。但使用转子位置传感器实现的转子的位置信号的采集方式，实现简单，容易操作，本公开实施例对转子的位置信号的采集方式不作限定，可根据实际需要选择相应的方式。

上述步骤 101 中的三相电流信号可以通过采样电阻来获得；采样电阻可以实现对电流、电压的采样；采集电流可以是串联一个阻值较小的电阻来实现，而采集电压则并需要并联一个阻值较大的电阻。如此，可以通过设定对应的电阻实现对三相电流和三相电压的采集。

步骤 102，对所述三相电流信号进行滤波处理，得到三相电流信号的基波分量，基于所述三相电流信号的基波分量，确定电机的位置误差补偿信号。

对于 BLDC 的驱动方式，所述三相电流信号不是正弦波而是含有大量谐波的方波。基于此，需要滤除掉所述三相电流信号中的谐波。在本公开实施例中，通过构造神经网络滤波器实现对三相电流信号中的谐波的过滤，在不

产生信号偏移的基础上，得到三相电流信号对应的基波分量。

这里，对所述三相电流信号进行滤波处理，得到三相电流信号的基波分量，包括:

获取电机的未经校正的转子的角速度;

根据所述角速度，确定余弦参考信号、正弦参考信号;

基于所述余弦参考信号、正弦参考信号，确定初始电流输出信号;

基于所述三相电流信号和所述初始电流输出信号的差值，产生权重信号;

根据所述权重信号、余弦参考信号和正弦参考信号，得到三相电流信号的基波分量。

需要说明的是，本公开实施例通过神经网络滤波器对所述三相电流信号进行滤波处理，得到三相电流信号的基波分量。由于基波函数可由幅值，角速度和初始相位来确定，即$a_1\cos(\omega_i t)+a_2\sin(\omega_i t)$，该式子表示基波信号在 i 点的值。如此，可以先通过余弦参考信号、正弦参考信号来构造基波函数，进而再通过自适应的权重系数得到三相电流信号对应的基波分量。

这里，结合附图 3 对所述三相电流信号的滤波处理进行说明:

图 3 为本公开实施例提供的神经网络滤波器的原理示意图；如图 3 所示，所述神经网络滤波器包括：参考信号输入模块 501、滤波输出模块 502 和权重产生模块 503。其中，所述参考信号输入模块 501 包括：第一参考信号输入子模块 5011 和第二参考信号输入子模块 5012；所述滤波输出模块 502 包括：第一参考信号处理子模块 5021 和第二参考信号处理子模块 5022。

所述第一参考信号输入子模块 5011 和第二参考信号输入子模块 5012 的输入信号均与 BLDC 的转速相关；其中，所述第一参考信号输入子模块 5011 可表示为：$\mathrm{r}_1=\cos(w_e nT_s)$；所述第二参考信号输入子模块 5012 可表示为：$\mathrm{r}_2=\sin(w_e nT_s)$；$w_e$为电机旋转的角速度，$T_s$为采样步长，n 为采样次数，$\mathrm{r}_1$为余弦参考信号，$\mathrm{r}_2$为正弦参考信号。

所述第一参考信号处理子模块 5021 的输入信号为：余弦参考信号$\mathrm{r}_1$和权重

信号$w_1$；输出信号为：$y_1$；这里，$y_1 = r_1 \times w_1$。

所述第二参考信号处理子模块5022的输入信号为：正弦参考信号$\mathrm{r}_2$和权重信号$w_2$；输出信号为：$y_2$；这里，$y_2 = r_2 \times w_2$。

将余弦参考信号$\mathrm{r}_1$、正弦参考信号$\mathrm{r}_2$以及对应的权重信号$w_1$、$w_2$作为滤波输出模块502的输入信号，输入滤波输出模块502中，输出初始电流输出信号$y_0$；即：$y_0 = y_1 + y_2 = r_1 \times w_1 + r_2 \times w_2$。

如图3所示，权重信号$w_1$、$w_2$由权重产生模块503产生；所述权重产生模块503根据输入信号$I_{abc}$与滤波输出模块502的输出信号$y$之间的差值$e$自适应的产生权重信号$w_1$、$w_2$。所述调节过程可以表示为：

$$w^n = w^{n-1} + \eta e^n r^n;$$

其中，$\eta$为神经网络滤波器的自适应学习因子，$w^{n-1}$为采样次数为$n-1$时的权重信号，$w^n$为采样次数为$n$时的权重信号，$e^n$为采样次数为$n$时，输入信号$I_{abc}$与滤波输出模块502的输出信号$y$之间的差值，所述$e^n$可以表示为：

$$e^n = I_{abc}{}^n - y_0{}^n = I_{abc}{}^n - \left(r_1{}^n w_1{}^n + r_2{}^n w_2{}^n\right)$$

实际应用中，输入信号$I_{abc}$经过所述神经网络滤波器进行滤波处理时，是分别进行的处理，三相电流之间互不影响，即：将A相电流$I_a$经过所述神经网络滤波器的滤波处理得到对应的基波电流信号$I_{a_1}$；将B相电流$I_b$经过所述神经网络滤波器的滤波处理得到对应的基波电流信号$I_{b_1}$；将C相电流$I_c$经过所述神经网络滤波器的滤波处理得到对应的基波电流信号$I_{c_1}$。

由于是通过神经网络滤波器提取的电流信号的基波幅值，可以在极大程度上减轻信号偏移所带来的影响，使得提取的电流信号的基波相位没有误差，为后续的补偿信号的准确确定提供了基础。

在本公开实施例中，在得到三相电流信号的基波分量$I_{a_1}$、$I_{b_1}$和$I_{c_1}$后，

对 BLDC 的三相电流信号的基波分量$I_{a_1}$、$I_{b_1}$和$I_{c_1}$进行矢量分解，变成励磁电流分量$I_d$（d 轴电流分量$I_d$）和转矩电流分量$I_q$（q 轴电流分量$I_q$）；其中，励磁电流$I_d$主要是产生励磁，控制的是 BLDC 中磁场的强度，而 q 轴电流$I_q$是用来控制 BLDC 的力矩；那么，当励磁电流$I_d$为 0 时，BLDC 由于没有 d 轴的电枢反应，即 d 轴不贡献转矩，使得 BLDC 的所有的电流全部用来产生电磁转矩；因此，在理想状态下，电机 d 轴电流$I_d$为 0。而高速的 BLDC 由于绕组电抗等因素的存在，导致实际运行中 d 轴电流$I_d$不为 0，那么，如果将 d 轴电流调节至 0 就可以确定出位置误差补偿信号，这里，用$\theta_{adv}$来表示所述位置误差补偿信号。

如此，步骤 102 中的所述基于所述三相电流信号的基波分量，确定电机的位置误差补偿信号，包括:

步骤 b1，将静止坐标系上的所述三相电流信号的基波分量转换为旋转坐标系上的两相电流信号；其中，所述旋转坐标系的转动的角度与电机的转子转动的角度相同，所述两相电流信号包括与旋转坐标系中的一轴对应的 d 轴电流;

步骤 b2，根据所述 d 轴电流与转子的位置信号的对应关系，对所述 d 轴电流进行调节，确定转子的位置误差补偿信号。

这里，步骤 b1 中，将静止坐标系上的所述三相电流信号的基波分量转换为旋转坐标系上的两相电流信号可以通过先进行 Clark 变换、再进行 Park 变换得到。所述 Clark 变换用于将静止坐标系上的三相电流信号转变为静止坐标系上的两相电流信号，即将三相定子坐标系（三个轴互为 120°，$I_a$、$I_b$、$I_c$）转化为两相定子直角坐标系（两个轴互为 90°，$I_\alpha$、$I_\beta$）。所述 Park 变换用于将静止坐标系上的两相电流信号转变为旋转坐标系上的两相电流信号，即将两相定子直角坐标系（两个轴互为 90°，$I_\alpha$、$I_\beta$）转化为两相转子直角坐标系（两个轴互为 90°，$I_d$、$I_q$）。

所述旋转坐标系上的两相电流信号包括：与旋转坐标系中的一轴对应的 d

轴电流、与旋转坐标系中的另一轴对应的 q 轴电流。

需要说明的是，将静止三轴坐标系 a，b，c 上的电流矢量投影到静止的两轴坐标系 α，β 轴上，可通过下式进行:

$$\begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} = k \times \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}$$

式中，$I_\alpha$ 为静止两轴坐标系 α，β 中 α 轴的电流，$I_\beta$ 为静止两轴坐标系 α，β 中 β 轴的电流，$I_a$ 为静止三轴坐标系 a，b，c 中上 a 轴的电流，$I_b$ 为静止三轴坐标系 a，b，c 中上 b 轴的电流，$I_c$ 为静止三轴坐标系 a，b，c 中上 c 轴的电流；$k$ 为三相绕组每相的有效匝数与两相绕组每相的有效匝数的比值，当变换前后总功率不变的情况下，$k=\sqrt{2/3}$。

而将静止两轴坐标系 α，β 上的电压矢量投影到旋转的两轴坐标系 d 轴，q 轴上，可通过下式进行:

$$\begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\varphi & \sin\varphi \\ -\sin\varphi & \cos\varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix}$$

其中，$\varphi$ 为 d 轴与 α 轴的夹角，具体是指转子旋转的角度，$I_d$ 为 d 轴的电流，$I_q$ 为 q 轴的电流。如此，通过步骤 101 中采集的转子的位置信号和 $I_\alpha$、$I_\beta$，即可确定出 $I_d$、$I_q$。

图 4 为将静止两轴坐标系 α，β 上的电压矢量投影到旋转的两轴坐标系 d 轴，q 轴上的示意图，如图 4 所示，$\overrightarrow{OF}$ 为 $I_d$、$I_q$ 的合成电流矢量。$\varphi$ 为 d 轴与 α 轴的夹角，是指静止两轴坐标系 α，β 上的电压矢量投影到旋转的两轴坐标系 d 轴，q 轴上的旋转角度。

在得到励磁电流分量 $I_d$ 和转矩电流分量 $I_q$ 后，可以通过调节器对 d 轴电流与转子的位置信号的对应关系进行调节，确定转子的位置误差补偿信号。

由于通对三相电流信号进行 Clark 变换、再进行 Park 变换后，得到旋转坐标系上的两个电流分量$I_d$、$I_q$，而在理想状态下，$I_d=0$，如此需要通过调节器调节$I_d$至 0，输出对应的位置误差补偿信号。这里，所述调节器可以是比例调节器，通过设定的比例系数，将实际值$I_d$与给定值 0 的差值输入到比例调节器中，输出对应的误差补偿信号。其中，所述比例系数是角度与电流的比值。如此可以得到位置误差补偿信号$\theta_{adv}$。

步骤 103，根据所述位置误差补偿信号、转子的位置信号，确定所述转子理想的相位区间。

这里，所述理想的相位区间是指理想的对应扇区。所述转子的位置信号为上述步骤 101 中采集的实际的转子的位置信号，或者是未经校正的置信号，用$\theta$表示。

如上所述，将 BLDC 的转子转动一周所对应的角度划分为 6 个扇区；第 30°~90°为第 I 扇区；第 90°~150°为第 II 扇区；第 150°~210°为第 III 扇区；第 210°~270°为第 IV 扇区；第 270°~330°为第 V 扇区；第 330°~30°为第 VI 扇区。那么，转子的位置信号$\theta$进行补偿后可以得到理想的转子位置信号$\theta_0$，而理想的转子位置信号$\theta_0$与扇区存在一个对应关系，如此，可以确定出所述转子理想的对应扇区；例如，假设转子的位置信号为 120°，则对应第 II 扇区。

这里，所述根据所述位置误差补偿信号$\theta_{adv}$、转子的位置信号$\theta$，确定所述转子理想的相位区间，包括：将所述位置误差补偿信号$\theta_{adv}$补偿至所述未经校正的转子的位置信号$\theta$中，得到理想的转子的位置信号$\theta_0$；根据预设的相位区间与转子的位置信号的对应关系，确定所述转子理想的相位区间。

需要说明的是，在得到位置误差补偿信号$\theta_{adv}$后，将所述位置误差补偿信号$\theta_{adv}$与所述转子的位置信号$\theta$相加即可确定出理想的位置信号$\theta_0$。

所述预设的扇区与转子的位置信号的对应关系是指理想情况下扇区与转子的位置信号的对应关系。实际应用时，确定转子的位置信号后，可以通过

查找预先设置在程序中的映射表获得对应的扇区，也可以通过其它方式获得，这里不作限定。

图 5 为预设的扇区与转子的位置信号的对应关系示意图，如图 5 所述，在本公开应用实施例中，BLDC 的转子位置为 0°~360°，每 60°划分一个扇区；在每个扇区驱动器需要输出对应的驱动方式。其中，图 5 中的驱动方式中，A、B、C 分别表示 BLDC 的 A 相、B 相、C 相；+、-分别表示各相的上开关器件和下开关器件。

步骤 104，根据所述转子理想的相位区间，确定对所述电机的转子的调整方式，根据所述调整方式，对所述电机的转子进行换相。

需要说明的是，所述根据所述转子理想的对应扇区，确定对所述电机的转子的调整方式，包括：确定对所述转子进行调整所需的控制电压；基于所述控制电压、所述转子理想的相位区间，确定对所述电机的转子的调整方式。

这里，所述控制电压用于对三相全桥电路中各开关器件进行控制，确定各开关器件的工作状态，通过各开关器件的工作状态控制实现所述 BLDC 在理想位置换相。所述三相全桥电路中包含六个开关器件 S1-S6。实际应用中，三相全桥电路中六个开关器件 S1-S6 分别对应不同的 PWM 驱动信号，即三相六状态 PWM 驱动信号。每个开关器件的 PWM 驱动信号可以控制相应的开关器件的工作状态。如此，通过驱动信号控制相应的开关器件，即可实现对转子的换相。

关于控制电压与三相全桥电路中各开关器件的控制关系可以如图 6 所示，图 6 中各开关器件所处的状态有三种：PWM 状态、全通状态、关断状态，这里的三种状态直接反映了作用在各开关器件上的工作电压。例如，假设 BLDC 的转子的位置为 40° ，从图 5 查找到与 BLDC 的转子的位置为 40° 对应的驱动方式 A+B-，即此时需要将图 6 中 A 相上开关器件 S1 与 B 相下开关器件 S4 导通，其它 4 个管 S2、S3、S5、S6 不导通，来得到所述三相全桥电路中各开关器件的工作电压。

需要说明的是，得到控制电压即可确定出 PWM 驱动信号的占空比，由于

PWM 驱动信号的占空比直接反应了 PWM 驱动信号的幅度，可以用于控制三相全桥电路中开关器件的工作方式。那么，可以基于控制电压确定出的 PWM 驱动信号的占空比、所述转子理想的对应扇区，确定对所述电机的转子的调整方式。

需要说明的是，所述确定对所述转子进行调整所需的控制电压，包括:

获取所述电机的未经校正的转子的当前角速度和给定角速度；其中，所述给定角速度为期望达到的角速度;

利用调节器对所述当前角速度和给定角速度的差值进行处理，确定对所述转子进行调整所需的控制电压。

这里，由于转子的角速度和位置信号的关系为：$\theta = \omega t$，那么可以通过对位置信号$\theta$进行微分得到转子的角速度$\omega$。如此，通过对采集的当前的位置信号$\theta$进行微分，即可得到当前的角速度$\omega$；所述给定角速度为期望达到的角速度。所述当前的角速度$\omega$是指通过采集的位置信号$\theta$微分得到实际的角速度。

所述对所述当前角速度和给定角速度的差值进行处理的调节器可以是转速调节器；所述转速调节器是一种用于调节转速的调节器。具体实现时，通过将采集的角速度和给定角速度的差值作为输入值输入到所述转速调节器中，得到控制电压。

由于确定了控制电压后，可以根据控制电压来控制 PWM 的占空比从而生成对应的控制信号，通过所述控住信号控制三相全桥中的开关器件的工作状态来驱动 BLDC。

下面结合具体的应用实例对本公开进行详细的说明。

在应用实施例中，BLDC 具有六个扇区，且采用图 7 所示的硬件系统来实现。如图 7 所示，所述硬件系统包括：BLDC 701、三相端电流采样电阻 702、三相全桥 703、电池 704、电容 705、微控制单元（Micro Controller Unit，MCU）706、位置传感器 707；S1-S6 为控制开关。MCU 706 通过驱动信号控制三相全桥 703，从而实现控制 BLDC 701；MCU 706 通过位置传感器 707 采集位置信

号；MCU 706 通过三相端电流采样电阻 702 采集电流信号。BLDC 701 的三相分别接有三组电流采样电阻即三相端电流采样电阻 702。

图 8 示出了 BLDC 线反电势波形、扇区以及驱动信号的对应关系的一种示意图，在图 8 中，波形 401、波形 402 和波形 403 分别为 BLDC 的线 AB、线 BC 和线 CA 的反电势波形，三个线反电动势相位之间相位差为 120°，一个 BLDC 本体的电磁周期包括 6 个扇区，它们的编号为：扇区Ⅰ、扇区Ⅱ、扇区Ⅲ、扇区Ⅳ、扇区Ⅴ和扇区Ⅵ，扇区边界为 BLDC 换相的角度位置，在理想状态下，各扇区间角度间隔为 60°。

本公开实施例通过提供的换相误差补偿方法来得到位置误差补偿信号 $\theta_{adv}$，通过在采集的位置信号 $\theta$ 的基础上加上位置补偿信号 $\theta_{adv}$ 得到理想的位置信号 $\theta_0$，由此实现 BLDC 换相。

图 9 本公开实施例提供的电机的换相误差补偿方法的实现示意图，如图 9 所示，通过采样电阻 207 对 BLDC205 的三相电流信号进行采集得到 $I_{abc}$（$I_a$、$I_b$、$I_c$）；进而通过神经网络滤波器 208 对三相电流信号 $I_{abc}$ 进行滤波处理，得到对应的基波分量 $I_{a_1}$、$I_{b_1}$ 和 $I_{c_1}$，通过坐标变换 209 将 BLDC 的三相电流信号的基波分量 $I_{a_1}$、$I_{b_1}$ 和 $I_{c_1}$ 进行矢量分解，变成励磁电流分量 $I_d$（d 轴电流分量 $I_d$）；考虑到理想状态下电机 d 轴电流 $I_d$ 为 0，如此，通过调节器 210 调节 $I_d$ 为 0 得到位置误差补偿信号 $\theta_{adv}$。将位置误差补偿信号 $\theta_{adv}$ 和采集的位置信号 $\theta$ 进行相加，得到理想的位置信号 $\theta_0$

在另一方面，通过传感器 206 和位置检测单元 211 采集 BLDC 的位置信号 $\theta$，通过微分模块 212 对所述位置信号 $\theta$ 进行处理得到当前角速度 $\omega$，在获取到给定角速度 $\omega^*$ 后，将当前角速度 $\omega$ 和给定角速度 $\omega^*$ 的差值输入转速调节器 201 中进行调节，得到控制电压。如此，经控制电压和理想的位置信号 $\theta_0$ 来确定出换相的逻辑表 202，所述换相的逻辑表是指换相的驱动信号与相位、扇区的对应关系；最后，通过 PWM 模块 203 控制三相全桥电路 204 中开关的工作状态

开驱动 BLDC 的换相。

本公开实施例提供的电机的换相误差补偿方法、装置及存储介质，通过对采集的三相电流信号进行滤波处理来提取三相电流信号中每相电流信号对应的基波分量；根据得到的基波分量来确定电机的位置误差补偿信号；由于通过神经网络滤波器提取的电流信号的基波幅值，可以在极大程度上减轻信号偏移所带来的影响。在此基础上，结合位置误差补偿信号和实际采集的位置信号确定出了转子理想的换相相位，进而在对应的调整方式下，实现电机的转子的换相。如此，在不引入信号偏移的基础上，实现了 BLDC 在理想的换相点处换相，保证了 BLDC 的驱动性能。

此外，本公开实施例的方案不需要进行硬件上改进，仅通过软件方式实现了 BLDCM 的及时换相，不会增加硬件成本，并且实现简单、方便。

为了实现本公开实施例的方法，本公开实施例还提供一种电机的换相误差补偿装置，图 10 为本公开实施例的电机的换相误差补偿装置的组成结构示意图，如图 10 所示，所述电机的换相误差补偿装置 1000 包括：采集单元 1001、滤波单元 1002、确定单元 1003 以及换相单元 1004；其中，

所述采集单元 1001，用于在电机中的未经校正的转子以设定方向进行转动时，采集所述转子的位置信号、三相电流信号；其中，所述转子的位置信号表征转子转动的角度；

所述滤波单元 1002，用于对所述三相电流信号进行滤波处理，得到三相电流信号的基波分量，基于所述三相电流信号的基波分量，确定电机的位置误差补偿信号；

所述确定单元 1003，用于根据所述位置误差补偿信号、转子的位置信号，确定所述转子理想的相位区间；

所述换相单元 1004，用于根据所述转子理想的相位区间，确定对所述电机的转子的调整方式，根据所述调整方式，对所述电机的转子进行换相。

实际应用时，采集单元 1001、滤波单元 1002、确定单元 1003 以及换相单

元 1004 可由 BLDC 的换相误差补偿装置中的处理器实现。

需要说明的是：上述实施例提供的 BLDC 的换相误差补偿装置在进行 BLDC 换相控制时，仅以上述各程序模块的划分进行举例说明，实际应用中，可以根据需要而将上述处理分配由不同的程序模块完成，即将装置的内部结构划分成不同的程序模块，以完成以上描述的全部或者部分处理。另外，上述实施例提供的电机的换相误差补偿装置与电机的换相误差补偿方法实施例属于同一构思，其具体实现过程详见方法实施例，这里不再赘述。

基于上述程序模块的硬件实现，且为了实现本公开实施例的方法，本公开实施例提供还一种电机的换相误差补偿装置，如图 11 所示，所述装置 1100 包括：处理器 1101 和配置为存储能够在处理器上运行的计算机程序的存储器 1102，其中：

所述处理器 1101 配置为运行所述计算机程序时执行上述一个或多个技术方案提供的方法。

实际应用时，如图 11 所示，所述装置 1100 中的各个组件通过总线系统 1103 耦合在一起。可理解，总线系统 1103 用于实现这些组件之间的连接通信。总线系统 1103 除包括数据总线之外，还包括电源总线、控制总线和状态信号总线。但是为了清楚说明起见，在图 11 中将各种总线都标为总线系统 1103。

在示例性实施例中，本公开实施例还提供了一种存储介质，是计算机可读存储介质，例如包括计算机程序的存储器，上述计算机程序可由电机的换相误差补偿装置的处理器执行，以完成前述方法所述步骤。计算机可读存储介质可以是磁性随机存取存储器（FRAM，ferromagnetic random access memory）、只读存储器（ROM，Read Only Memory）、可编程只读存储器（PROM，Programmable Read-Only Memory）、可擦除可编程只读存储器（EPROM，Erasable Programmable Read-Only Memory）、电可擦除可编程只读存储器（EEPROM，Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory）、快闪存储器（Flash Memory）、磁表面存储器、光盘、或只读光盘（CD-ROM，Compact Disc Read-Only Memory）等存储器。

需要说明的是：“第一”、“第二”等是用于区别类似的对象，而不必用于描述特定的顺序或先后次序。

另外，本公开实施例所记载的技术方案之间，在不冲突的情况下，可以任意组合。

以上所述，仅为本公开的较佳实施例而已，并非用于限定本公开的保护范围。

# 权利要求书

1、一种电机的换相误差补偿方法，其特征在于，所述方法包括:

在电机中的未经校正的转子以设定方向进行转动时，采集所述转子的位置信号、三相电流信号；其中，所述转子的位置信号表征转子转动的角度；

对所述三相电流信号进行滤波处理，得到三相电流信号的基波分量，基于所述三相电流信号的基波分量，确定电机的位置误差补偿信号；

根据所述位置误差补偿信号、转子的位置信号，确定所述转子理想的相位区间；

根据所述转子理想的相位区间，确定对所述电机的转子的调整方式，根据所述调整方式，对所述电机的转子进行换相。

2、根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述对所述三相电流信号进行滤波处理，得到三相电流信号的基波分量，包括:

获取电机的未经校正的转子的角速度；

根据所述角速度，确定余弦参考信号、正弦参考信号；

基于所述余弦参考信号、正弦参考信号，确定初始电流输出信号；

基于所述三相电流信号和所述初始电流输出信号的差值，产生权重信号；

根据所述权重信号、余弦参考信号和正弦参考信号，得到三相电流信号的基波分量。

3、根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述基于所述三相电流信号的基波分量，确定电机的位置误差补偿信号，包括:

将静止坐标系上的所述三相电流信号的基波分量转换为旋转坐标系上的两相电流信号；其中，所述旋转坐标系的转动的角度与电机的转子转动的角度相同，所述两相电流信号包括与旋转坐标系中的一轴对应的 d 轴电流；

根据所述 d 轴电流与转子的位置信号的对应关系，对所述 d 轴电流进行调节，确定转子的位置误差补偿信号。

4、根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述根据所述位置误差补偿

信号、转子的位置信号，确定所述转子理想的相位区间，包括:

将所述位置误差补偿信号补偿至所述未经校正的转子的位置信号中，得到理想的转子的位置信号;

根据预设的相位区间与转子的位置信号的对应关系，确定所述转子理想的相位区间。

5、根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述根据所述转子理想的相位区间，确定对所述电机的转子的调整方式，包括:

确定对所述转子进行调整所需的控制电压;

基于所述控制电压、所述转子理想的相位区间，确定对所述电机的转子的调整方式。

6、根据权利要求 5 所述的方法，其特征在于，所述确定对所述转子进行调整所需的控制电压，包括:

获取所述电机的未经校正的转子的当前角速度和给定角速度; 其中，所述给定角速度为期望达到的角速度;

利用调节器对所述当前角速度和给定角速度的差值进行处理，确定对所述转子进行调整所需的控制电压。

7、一种电机的换相误差补偿装置，包括: 采集单元、滤波单元、确定单元以及换相单元; 其中，

所述采集单元，用于在电机中的未经校正的转子以设定方向进行转动时，采集所述转子的位置信号、三相电流信号; 其中，所述转子的位置信号表征转子转动的角度;

所述滤波单元，用于对所述三相电流信号进行滤波处理，得到三相电流信号的基波分量，基于所述三相电流信号的基波分量，确定电机的位置误差补偿信号;

所述确定单元，用于根据所述位置误差补偿信号、转子的位置信号，确定所述转子理想的相位区间;

所述换相单元，用于根据所述转子理想的相位区间，确定对所述电机的转

子的调整方式，根据所述调整方式，对所述电机的转子进行换相。

8、一种电机的换相误差补偿装置，包括：处理器和配置为存储能够在处理器上运行的计算机程序的存储器；

其中，所述处理器配置为运行所述计算机程序时，执行权利要求 1 至 6 任一项所述方法的步骤。

9、一种存储介质，其上存储有计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时实现权利要求 1 至 6 任一项所述方法的步骤。

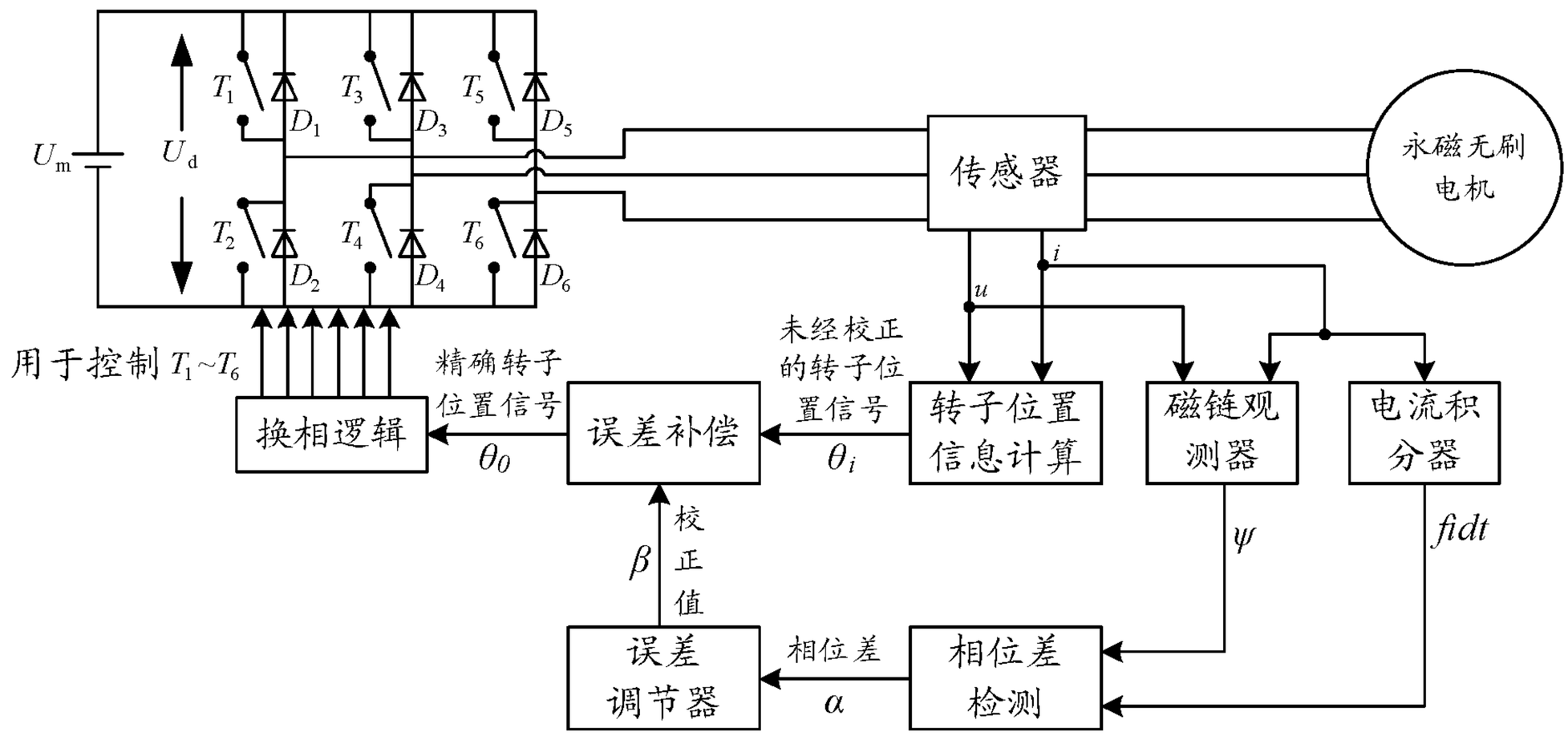
$U_m$
$U_d$
$T_1$
$T_2$
$T_3$
$T_4$
$T_5$
$T_6$
$D_1$
$D_2$
$D_3$
$D_4$
$D_5$
$D_6$
传感器
永磁无刷电机
$u$
$i$
用于控制 $T_1$~$T_6$
换相逻辑
精确转子位置信号
$\theta_0$
误差补偿
未经校正的转子位置信号
$\theta_i$
转子位置信息计算
磁链观测器
电流积分器
$\psi$
$fidt$
$\beta$
校正值
误差调节器
相位差
$\alpha$
相位差检测

图 1a

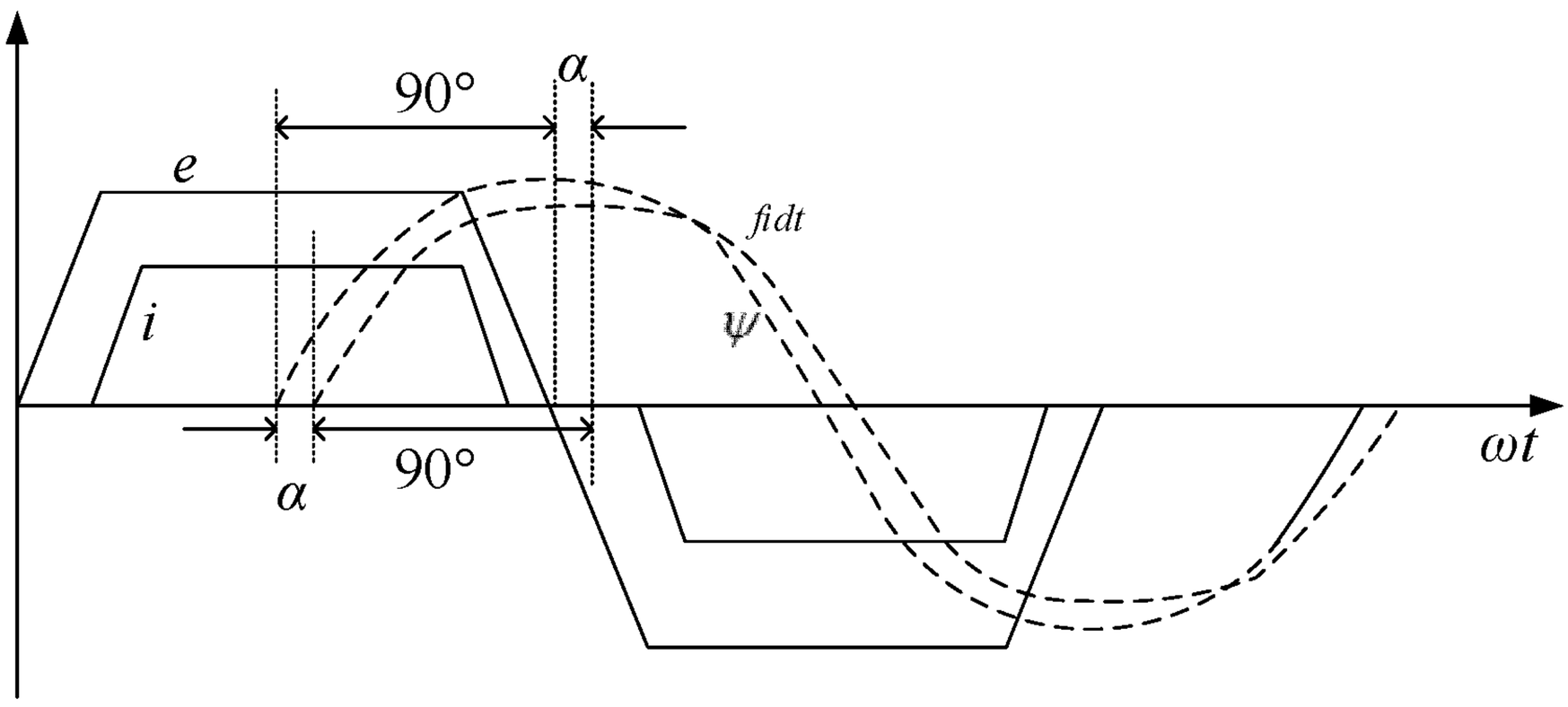
90°
$\alpha$
$e$
$fidt$
$i$
$\psi$
$\alpha$
90°
$\omega t$

图 1b

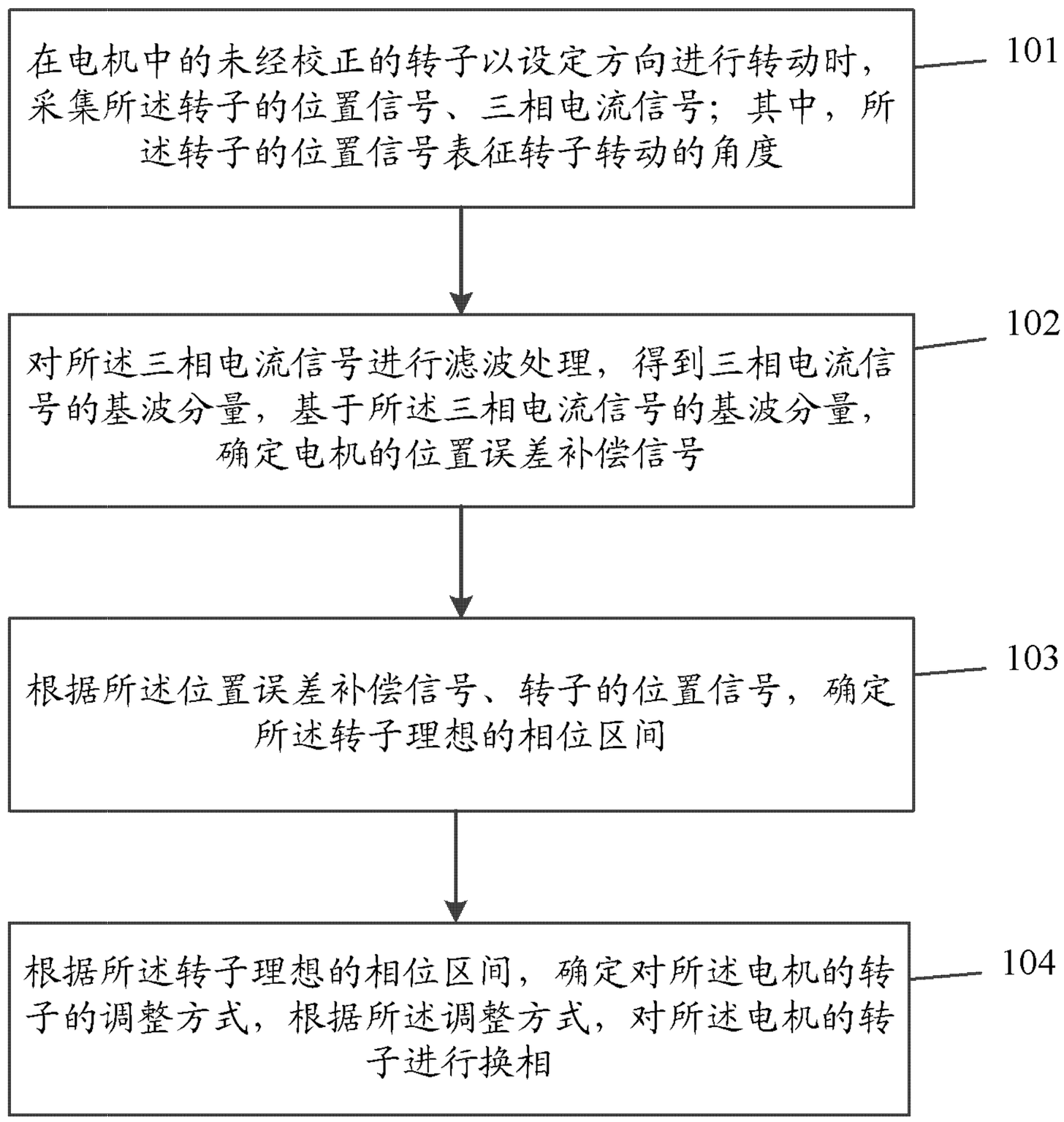
在电机中的未经校正的转子以设定方向进行转动时，采集所述转子的位置信号、三相电流信号；其中，所述转子的位置信号表征转子转动的角度
101
对所述三相电流信号进行滤波处理，得到三相电流信号的基波分量，基于所述三相电流信号的基波分量，确定电机的位置误差补偿信号
102
根据所述位置误差补偿信号、转子的位置信号，确定所述转子理想的相位区间
103
根据所述转子理想的相位区间，确定对所述电机的转子的调整方式，根据所述调整方式，对所述电机的转子进行换相
104

图 2

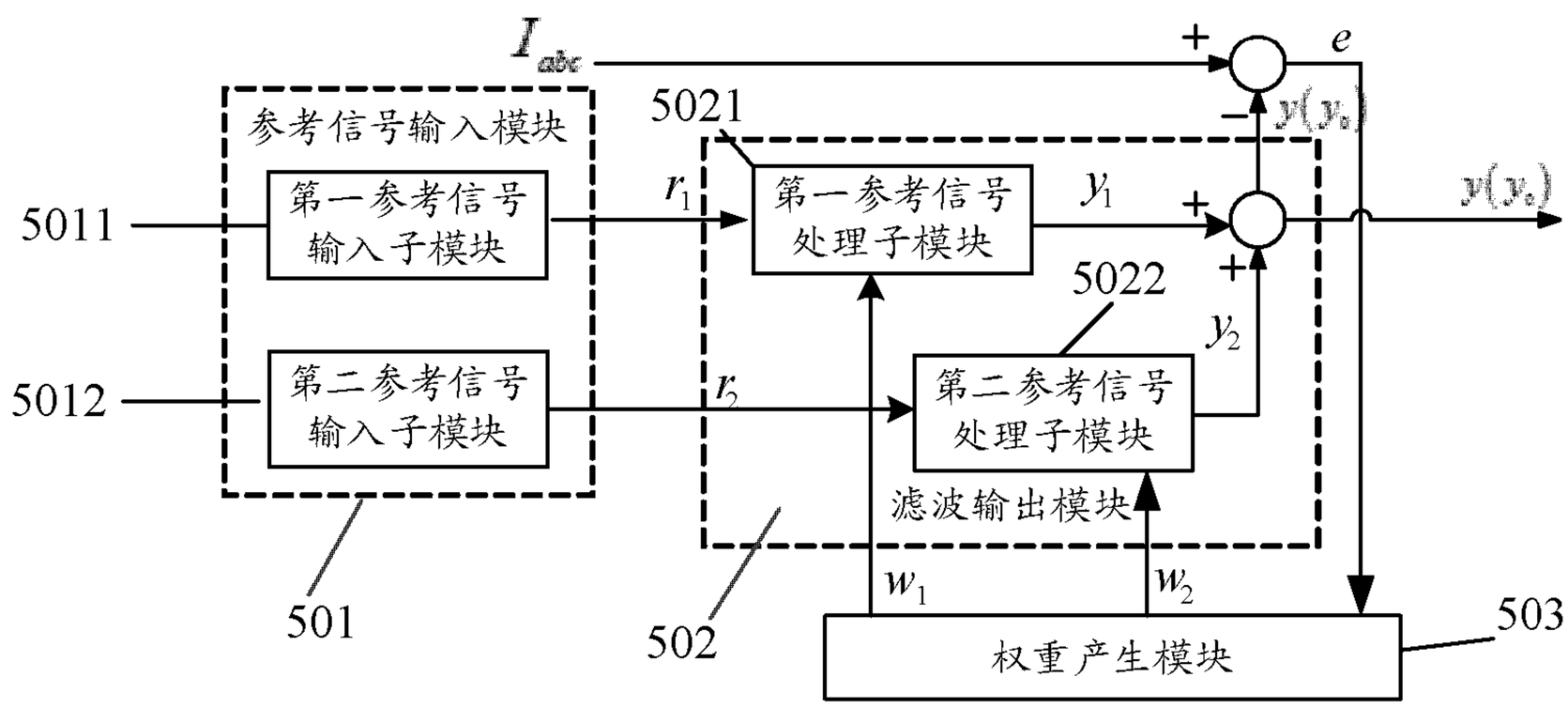
$I_{abc}$
e
参考信号输入模块
5021
5011
第一参考信号输入子模块
$r_1$
第一参考信号处理子模块
$y_1$
$y(y_0)$
5022
$y_2$
5012
第二参考信号输入子模块
$r_2$
第二参考信号处理子模块
滤波输出模块
501
502
$w_1$
$w_2$
权重产生模块
503

图 3

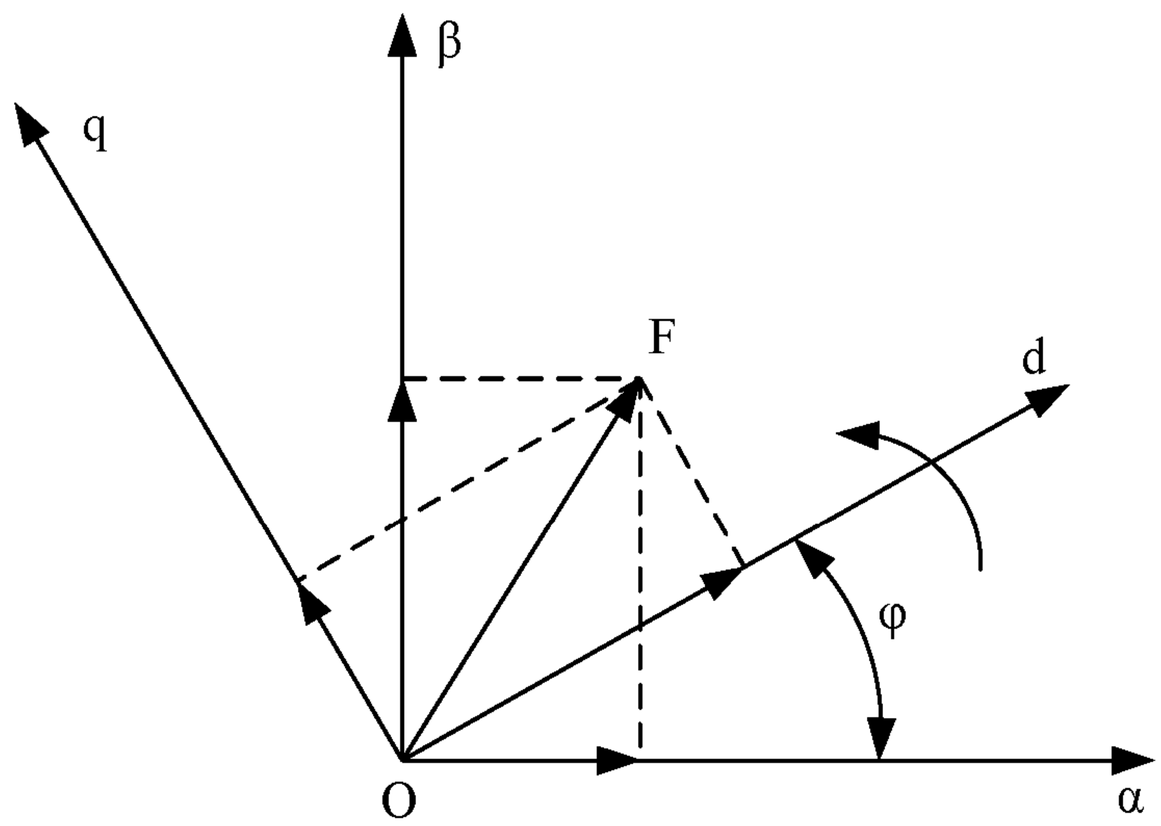


图 4

| 转子位置信号 | 30° ~ 90° | 90° ~ 150° | 150° ~ 210° | 210° ~ 270° | 270° ~ 330° | 330° ~ 30° |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 扇区 | I | II | III | IV | V | VI |
| 驱动方式 | A+B- | A+C- | B+C- | B+A- | C+A- | C+B- |

图 5

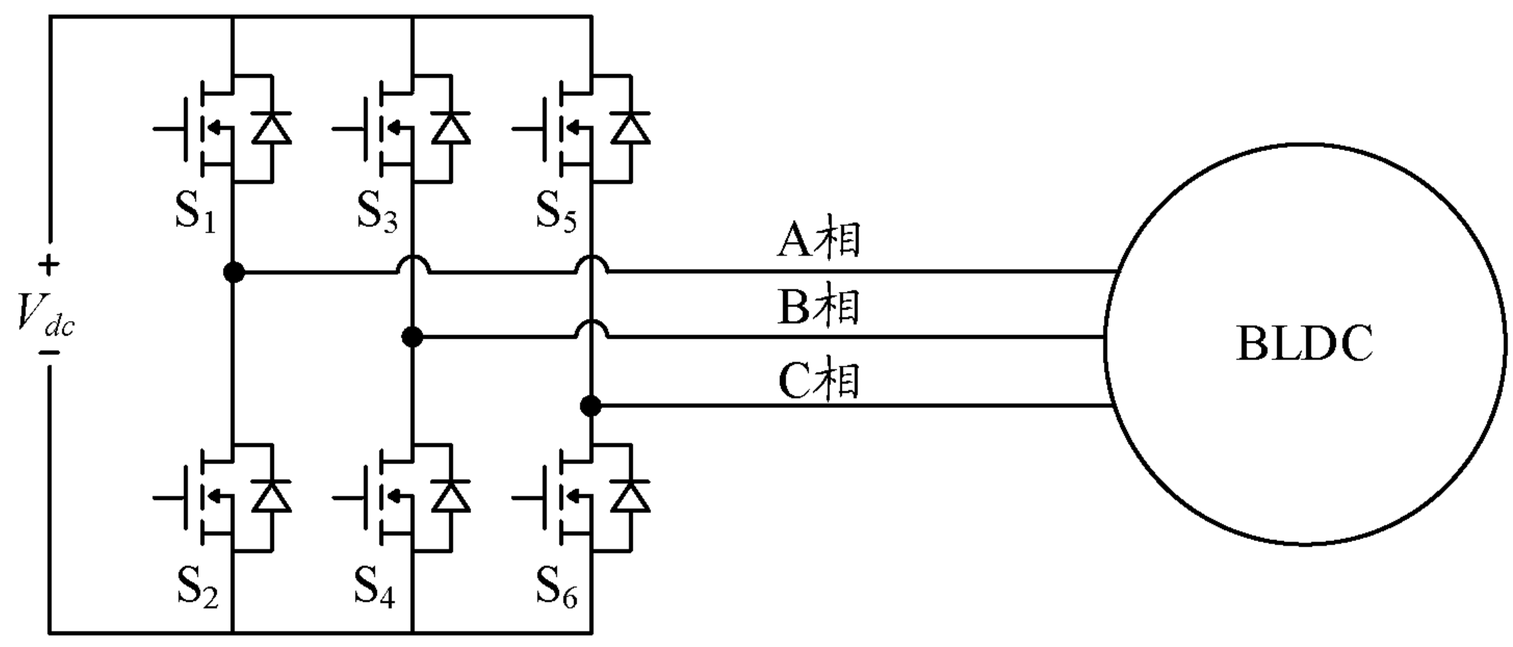


图 6

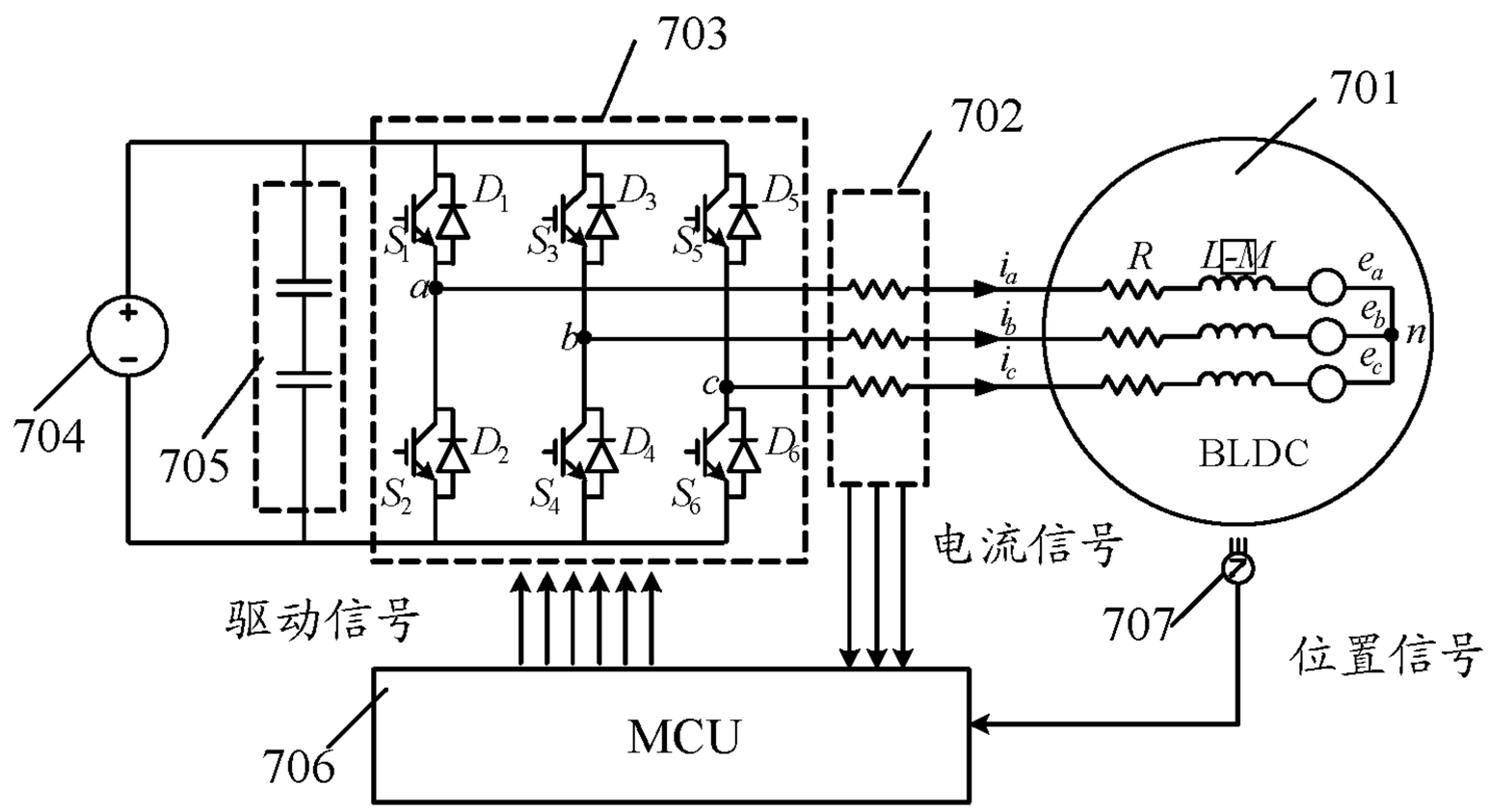
703
702
701
704
705
706
707
BLDC
MCU
驱动信号
电流信号
位置信号

图 7

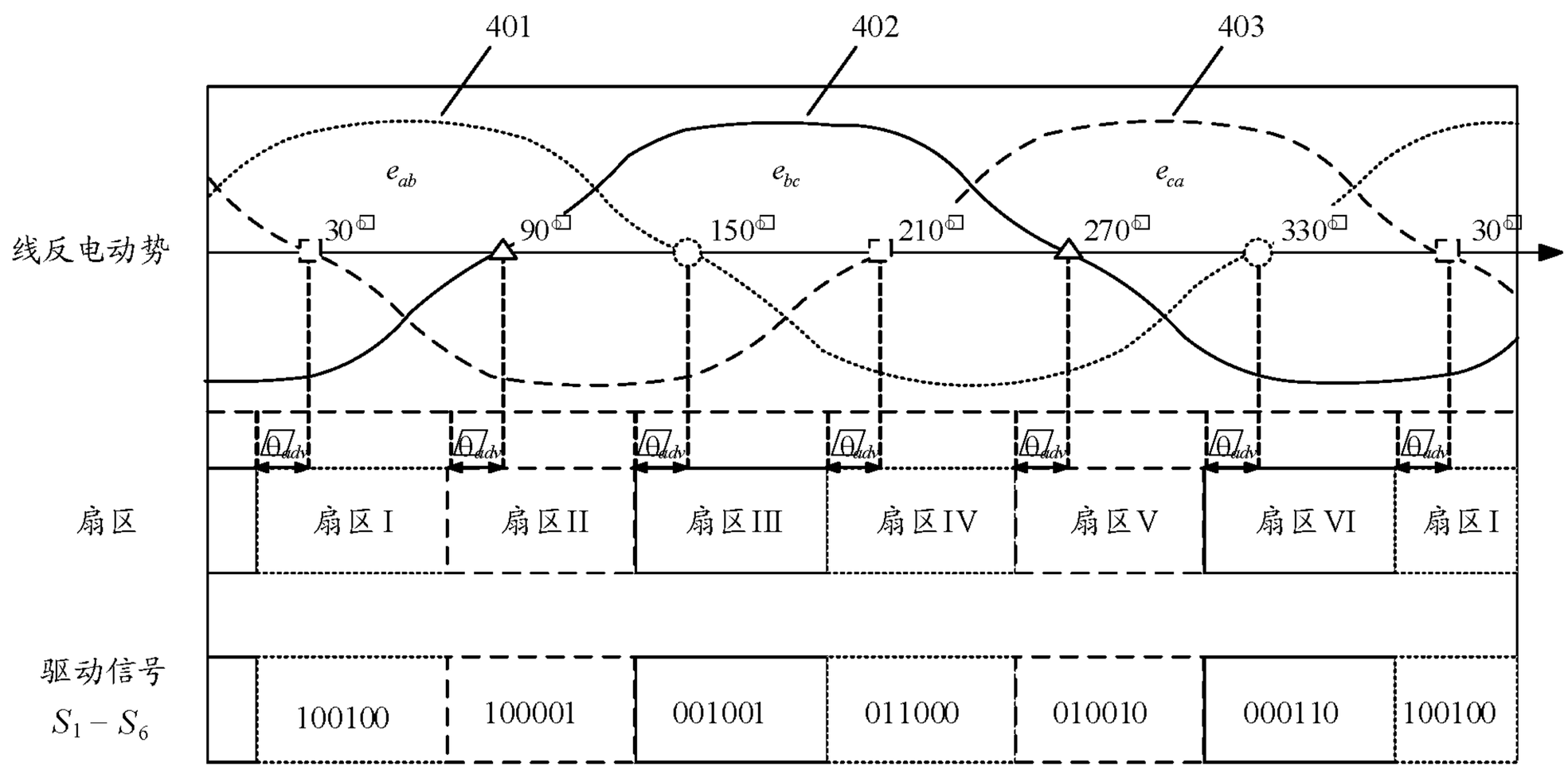
401
402
403
线反电动势
30°
90°
150°
210°
270°
330°
30°
扇区
扇区 I
扇区 II
扇区 III
扇区 IV
扇区 V
扇区 VI
扇区 I
驱动信号
$S_1 - S_6$
100100
100001
001001
011000
010010
000110
100100

图 8

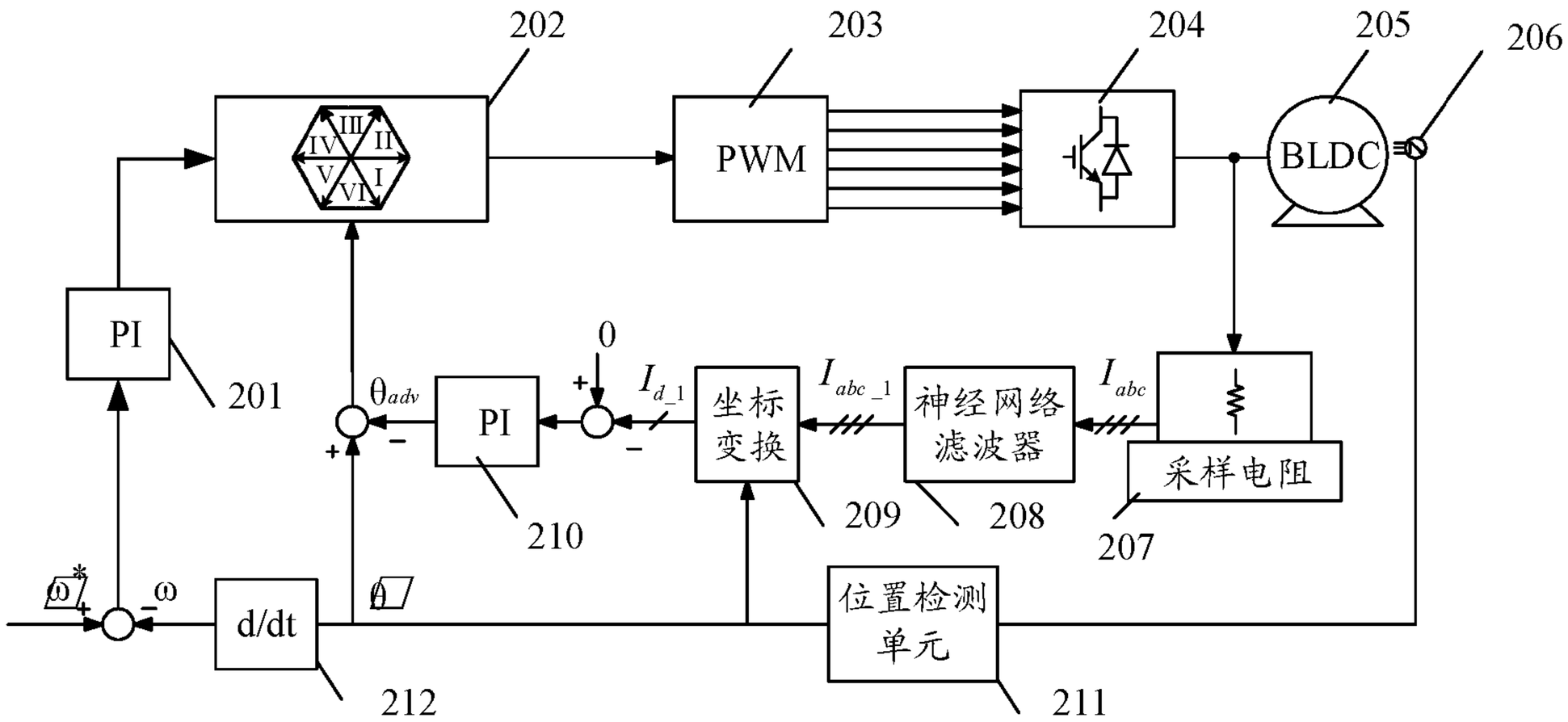
202
203
204
205
206
PWM
BLDC
PI
201
0
θadv
PI
Id_1
坐标变换
Iabc_1
神经网络滤波器
Iabc
采样电阻
210
209
208
207
ω*
ω
d/dt
θ
位置检测单元
212
211

图 9

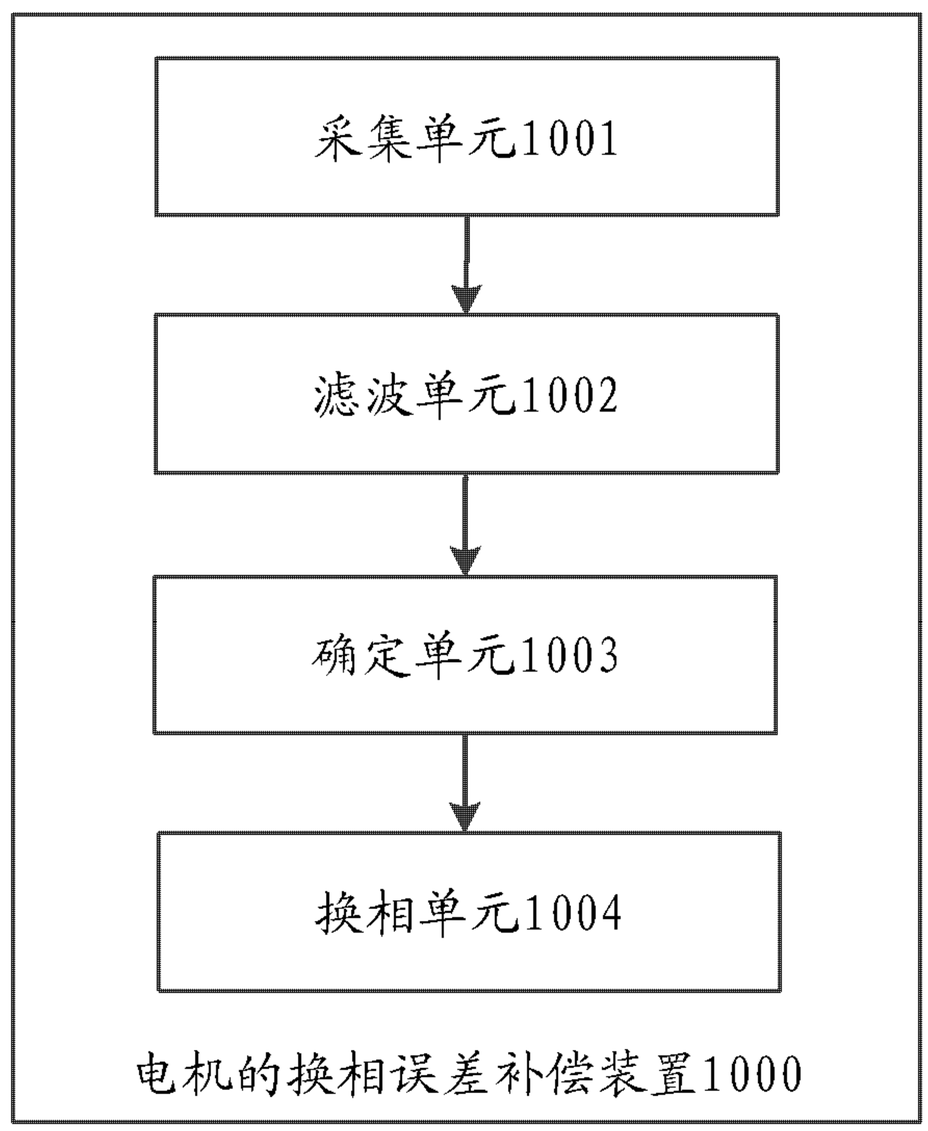
采集单元1001
滤波单元1002
确定单元1003
换相单元1004
电机的换相误差补偿装置1000

图 10

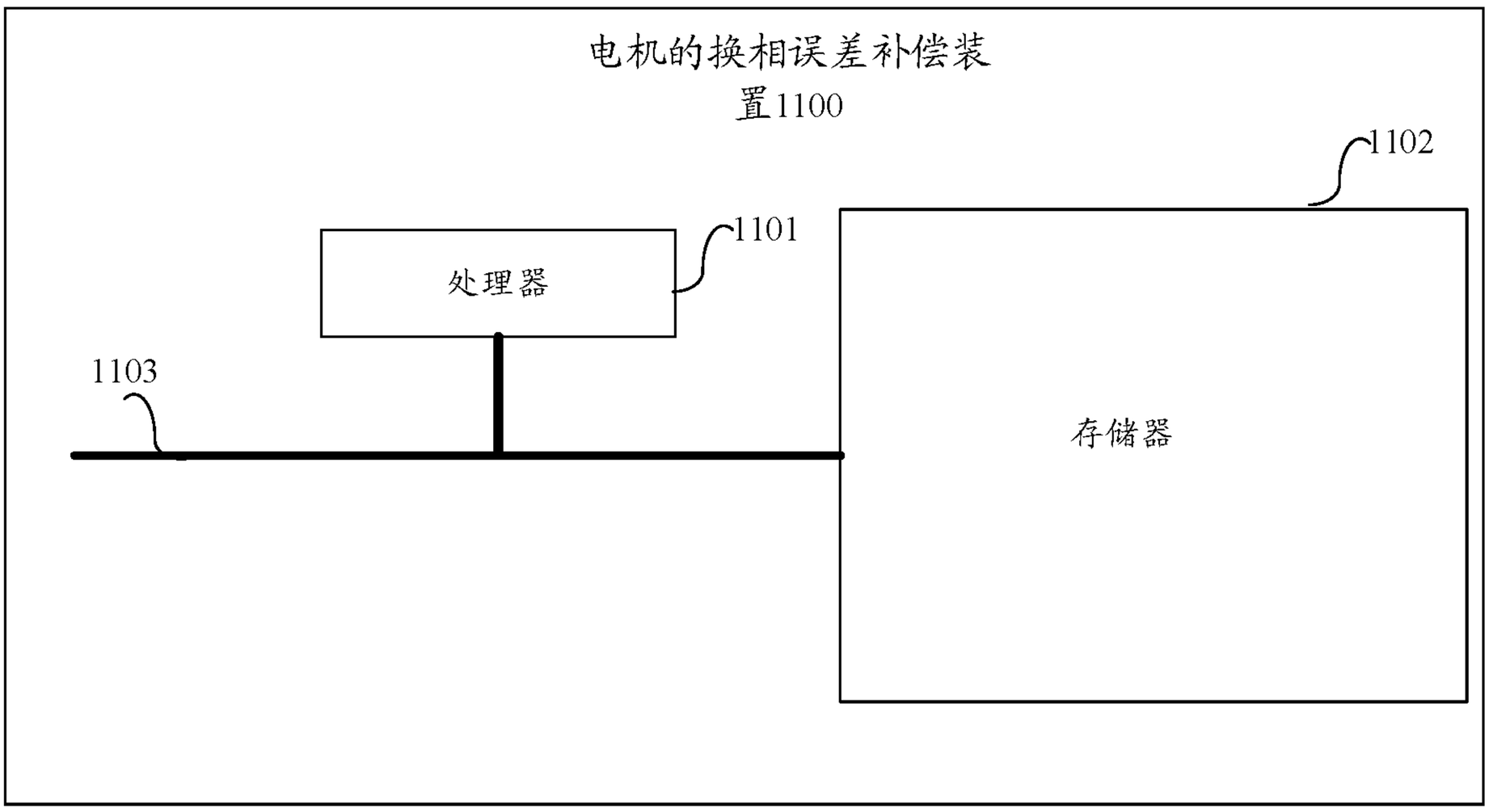


图 11

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
**PCT/CN2019/118185**

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

H02P 6/14(2016.01)i; H02P 21/00(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: 换相, 位置, 误差, 补偿, 转子, 电流, 基波; commutation, position, error, compensation, rotor, current, fundamental

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|---|---|---|
| A | CN 106059409 A (BEIHANG UNIVERSITY) 26 October 2016 (2016-10-26)<br>description, paragraphs [0045]-[0059], and figures 1-5 | 1-9 |
| A | US 2014225548 A1 (DEERE & COMPANY) 14 August 2014 (2014-08-14)<br>entire document | 1-9 |
| A | CN 108809161 A (SHENZHEN SHUNLIU TECHNOLOGY CO., LTD.) 13 November 2018 (2018-11-13)<br>entire document | 1-9 |
| A | CN 108900131 A (SHANDONG UNIVERSITY) 27 November 2018 (2018-11-27)<br>entire document | 1-9 |
| A | CN 109039171 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 18 December 2018 (2018-12-18)<br>entire document | 1-9 |
| A | CN 102437805 A (WEIHAI KELAITE ELECTROMECHANICAL CO., LTD.) 02 May 2012 (2012-05-02)<br>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 | Date of mailing of the international search report |
|---|---|
| **15 July 2020** | **24 July 2020** |
| Name and mailing address of the ISA/CN<br>**China National Intellectual Property Administration (ISA/CN)**<br>**No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088**<br>**China**<br>Facsimile No. **(86-10)62019451** | Authorized officer<br>Telephone No. |

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**
**Information on patent family members**

International application No.
**PCT/CN2019/118185**

| Patent document cited in search report | | | Publication date (day/month/year) | Patent family member(s) | | | Publication date (day/month/year) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CN | 106059409 | A | 26 October 2016 | CN | 106059409 | B | 08 June 2018 |
| US | 2014225548 | A1 | 14 August 2014 | EP | 2957030 | A4 | 01 March 2017 |
| | | | | EP | 2957030 | A1 | 23 December 2015 |
| | | | | CN | 104995833 | A | 21 October 2015 |
| | | | | CN | 104995833 | B | 08 June 2018 |
| | | | | WO | 2014126893 | A1 | 21 August 2014 |
| | | | | US | 9093940 | B2 | 28 July 2015 |
| | | | | BR | 112015017526 | A2 | 04 February 2020 |
| CN | 108809161 | A | 13 November 2018 | | None | | |
| CN | 108900131 | A | 27 November 2018 | | None | | |
| CN | 109039171 | A | 18 December 2018 | CN | 109039171 | B | 28 April 2020 |
| CN | 102437805 | A | 02 May 2012 | CN | 102437805 | B | 13 November 2013 |

# 国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2019/118185

**A. 主题的分类**

H02P 6/14(2016.01)i; H02P 21/00(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,EPODOC,CNPAT,CNKI: 换相, 位置, 误差, 补偿, 转子, 电流, 基波; commutation, position, error, compensation, rotor, current, fundamental

**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 106059409 A (北京航空航天大学) 2016年 10月 26日 (2016-10-26)<br>说明书第[0045]-[0059]段，图1-5 | 1-9 |
| A | US 2014225548 A1 (DEERE & COMPANY) 2014年 8月 14日 (2014-08-14)<br>全文 | 1-9 |
| A | CN 108809161 A (深圳市顺溜科技有限公司) 2018年 11月 13日 (2018-11-13)<br>全文 | 1-9 |
| A | CN 108900131 A (山东大学) 2018年 11月 27日 (2018-11-27)<br>全文 | 1-9 |
| A | CN 109039171 A (浙江大学) 2018年 12月 18日 (2018-12-18)<br>全文 | 1-9 |
| A | CN 102437805 A (威海克莱特机电有限公司) 2012年 5月 2日 (2012-05-02)<br>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 | 国际检索报告邮寄日期 |
|---|---|
| 2020年 7月 15日 | 2020年 7月 24日 |
| ISA/CN的名称和邮寄地址<br>中国国家知识产权局(ISA/CN)<br>中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088<br>传真号 (86-10)62019451 | 受权官员<br>李新瑞<br>电话号码 86-(10)-53961505 |

# 国际检索报告
## 关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2019/118185

| 检索报告引用的专利文件 | | | 公布日<br>(年/月/日) | 同族专利 | | | 公布日<br>(年/月/日) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CN | 106059409 | A | 2016年 10月 26日 | CN | 106059409 | B | 2018年 6月 8日 |
| US | 2014225548 | A1 | 2014年 8月 14日 | EP | 2957030 | A4 | 2017年 3月 1日 |
| | | | | EP | 2957030 | A1 | 2015年 12月 23日 |
| | | | | CN | 104995833 | A | 2015年 10月 21日 |
| | | | | CN | 104995833 | B | 2018年 6月 8日 |
| | | | | WO | 2014126893 | A1 | 2014年 8月 21日 |
| | | | | US | 9093940 | B2 | 2015年 7月 28日 |
| | | | | BR | 112015017526 | A2 | 2020年 2月 4日 |
| CN | 108809161 | A | 2018年 11月 13日 | | 无 | | |
| CN | 108900131 | A | 2018年 11月 27日 | | 无 | | |
| CN | 109039171 | A | 2018年 12月 18日 | CN | 109039171 | B | 2020年 4月 28日 |
| CN | 102437805 | A | 2012年 5月 2日 | CN | 102437805 | B | 2013年 11月 13日 |