

(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 15 日 (15.12.2022)



(10) 国际公布号
WO 2022/257403 A1

(51) 国际专利分类号:
H02P 21/14 (2016.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2021/137933

(22) 国际申请日: 2021 年 12 月 14 日 (14.12.2021)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202110655134.7 2021年6月11日 (11.06.2021) CN

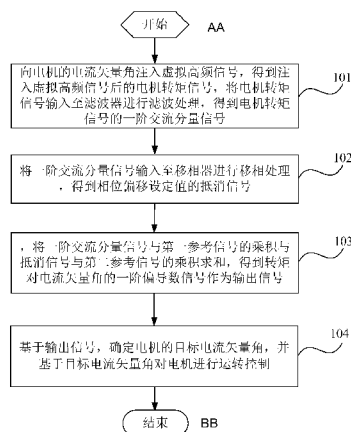
(71) 申请人: 中国科学院深圳先进技术研究院 (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) [CN/CN]; 中国广东省深圳市

南山区深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。

(72) 发明人: 孙天夫 (SUN, Tianfu); 中国广东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。李可 (LI, Ke); 中国广东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。冯伟 (FENG, Wei); 中国广东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。梁嘉宁 (LIANG, Jianing); 中国广东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。李慧云 (LI, Huiyun); 中国广东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。朱松龄 (ZHU, Songling); 中国广

(54) Title: ELECTRIC MOTOR CONTROL METHOD AND APPARATUS, AND TERMINAL AND STORAGE MEDIUM

(54) 发明名称: 一种电机控制方法、装置、终端及存储介质



AA Start
BB End
101 Inject a virtual high-frequency signal into a current vector angle of an electric motor, so as to obtain an electric motor torque signal after the virtual high-frequency signal is injected, and input the electric motor torque signal into a filter for filtering processing, so as to obtain a first-order alternating-current component signal of the electric motor torque signal
102 Input the first-order alternating-current component signal into a phase shifter for phase shifting processing, so as to obtain a cancellation signal of a phase offset set value
103 Summate a product of the first-order alternating-current component signal and a first reference signal and a product of the cancellation signal and a second reference signal, so as to obtain a first-order partial derivative signal of a torque for the current vector angle, and take the first-order partial derivative signal as an output signal
104 Determine a target current vector angle of the electric motor on the basis of the output signal, and perform running control on the electric motor on the basis of the target current vector angle

图 1

(57) Abstract: An electric motor control method and apparatus, and a terminal and a storage medium, which are applicable to the technical field of electric motor control. The method comprises: injecting a virtual high-frequency signal into a current vector angle of an electric motor, so as to obtain an electric motor torque signal after the virtual high-frequency signal is injected, and inputting the electric motor torque signal into a filter for filtering processing, so as to obtain a first-order alternating-current component signal of the electric motor torque signal (101); inputting the first-order alternating-current component signal into a phase shifter for phase

东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道
1068号, Guangdong 518055 (CN)。

(74) 代理人: 北京中巡通大知识产权代理有限公司
(BEIJING ZHONG XUN TONG DA INTELLECTUAL
PROPERTY AGENCY CO., LTD.); 中国北京市
西城区榆树馆胡同东口1层106, Beijing
100195 (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, 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))。

shifting processing, so as to obtain a cancellation signal of a phase offset set value (102); summing a product of the first-order alternating-current component signal and a first reference signal and a product of the cancellation signal and a second reference signal, so as to obtain a first-order partial derivative signal of a torque for the current vector angle, and taking the first-order partial derivative signal as an output signal (103); and determining a target current vector angle of the electric motor on the basis of the output signal, and performing running control on the electric motor on the basis of the target current vector angle (104). The running stability of an electric motor in the optimal state can be ensured.

(57) 摘要: 一种电机控制方法、装置、终端及存储介质, 适用于电机控制技术领域, 其中方法包括: 向电机的电流矢量角注入虚拟高频信号, 得到注入虚拟高频信号后的电机转矩信号, 将电机转矩信号输入至滤波器进行滤波处理, 得到电机转矩信号的一阶交流分量信号(101); 将一阶交流分量信号输入至移相器进行移相处理, 得到相位偏移设定值的抵消信号(102); 将一阶交流分量信号与第一参考信号的乘积与抵消信号与第二参考信号的乘积求和, 得到转矩对电流矢量角的一阶偏导数信号作为输出信号(103); 基于输出信号, 确定电机的目标电流矢量角, 并基于目标电流矢量角对电机进行运转控制(104)。能够确保电机在最佳状态进行运转的稳定性。

一种电机控制方法、装置、终端及存储介质

技术领域

本申请属于电机控制技术领域，尤其涉及一种电机控制方法、装置、终端及存储介质。

背景技术

电能作为一种绿色能源，在新能源产业日益发达的今天，如何对电机进行优化控制，确保电机能够高效稳定运行是至关重要的一个问题。

在常见的电机优化控制中，一个重要的控制原理是，电机转矩 T_e 对电流矢量角 β 的一阶偏导数为零（即 $\partial T_e / \partial \beta = 0$ ）时，可实现在给定电流幅值时，电机输出的转矩为最大。因此，通常需要对电机转矩 T_e 对电流矢量角 β 的一阶偏导数进行提取，以控制相关参数使其趋近于零，确保电机处于最佳的动力输出状态。

现有的电机控制方法中，主要是基于虚拟高频信号注入的方式提取转矩对电流矢量角的一阶偏导项信息（ $\partial T_e / \partial \beta$ ），在提取该一阶偏导项信息时，通常需要使用级联的多个滤波器（带通和低通）进行信号处理，导致电机控制系统结构复杂，动态响应速度慢，工况突变时超调过冲严重，不利于电机最佳控制状态的准确稳定估测，难以达到电机的理想运行状态。

发明内容

本申请实施例提供了一种电机控制方法、装置、终端及存储介质，以解决现有技术电机控制系统结构复杂，动态响应速度慢，工况突变时超调过冲严重，不利于电机最佳控制状态的准确稳定估测，难以达到电机的理想运行状态的问题。

本申请实施例的第一方面提供了一种电机控制方法，包括：

向所述电机的电流矢量角注入虚拟高频信号，得到注入所述虚拟高频信号后的电机转矩信号，将所述电机转矩信号输入至滤波器进行滤波处理，得到所述电机转矩信号的一阶交流分量信号；

将所述一阶交流分量信号输入至移相器进行移相处理，得到相位偏移设定值的抵消信号；

将所述一阶交流分量信号与第一参考信号的乘积与所述抵消信号与第二参考信号的乘积求和，得到转矩对电流矢量角的一阶偏导数信号作为输出信号，所述第一参考信号为将所述虚

拟高频信号的相位调整至与所述转矩信号的相位相同后得到,所述第二参考信号为将所述虚拟高频信号的相位调整至与所述抵消信号的相位相同后得到;

基于所述输出信号,确定所述电机的目标电流矢量角,并基于所述目标电流矢量角对所述电机进行运转控制。

本申请实施例的第二方面提供了一种电机控制装置,包括:

信号处理模块,用于向所述电机的电流矢量角注入虚拟高频信号,得到注入所述虚拟高频信号后的电机转矩信号,将所述电机转矩信号输入至滤波器进行滤波处理,得到所述电机转矩信号的一阶交流分量信号;

移相模块,用于将所述一阶交流分量信号输入至移相器进行移相处理,得到相位偏移设定值的抵消信号;

计算模块,用于将所述一阶交流分量信号与第一参考信号的乘积与所述抵消信号与第二参考信号的乘积求和,得到转矩对电流矢量角的一阶偏导数信号作为输出信号,所述第一参考信号为将所述虚拟高频信号的相位调整至与所述转矩信号的相位相同后得到,所述第二参考信号为将所述虚拟高频信号的相位调整至与所述抵消信号的相位相同后得到;

控制模块,用于基于所述输出信号,确定所述电机的目标电流矢量角,并基于所述目标电流矢量角对所述电机进行运转控制。

本申请实施例的第三方面提供了一种终端,包括存储器、处理器以及存储在所述存储器中并可在所述处理器上运行的计算机程序,所述处理器执行所述计算机程序时实现如第一方面所述方法的步骤。

本申请实施例的第四方面提供了一种计算机可读存储介质,所述计算机可读存储介质存储有计算机程序,所述计算机程序被处理器执行时实现如第一方面所述方法的步骤。

本申请的第五方面提供了一种计算机程序产品,当所述计算机程序产品在终端上运行时,使得所述终端执行上述第一方面所述方法的步骤。

由上可见,本申请实施例中,通过向电机的电流矢量角注入虚拟高频信号,增加电流矢量角的偏移量,得到与之对应的电机转矩信号,将电机转矩信号输入至滤波器进行滤波处理,将电机转矩信号通过一次滤波处理,消除掉电机转矩信号中的直流分量及高频项,得到电机转矩信号的一阶交流分量信号,之后将相位调整过的虚拟高频信号作为参考信号,分别结合一阶交流分量信号本身及移相器移相后的该一阶交流分量信号进行数据抵消,最终提取出转矩对电流矢量角的一阶偏导数信号作为输出信号,能够在简单的电机控制系统结构下,确定出电机的最

优转矩电流比，提升动态响应速度，避免工况突变时的超调过冲现象，确保电机在最佳状态运转的稳定性。

附图说明

为了更清楚地说明本申请实施例中的技术方案，下面将对实施例或现有技术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申请的一些实施例，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。

图 1 是本申请实施例提供的一种电机控制方法的流程图一；

图 2 是本申请实施例提供的低通滤波器下进行信号处理的数据流向图；

图 3 是本申请实施例提供的高通滤波器下进行信号处理的数据流向图；

图 4 是本申请实施例提供的一种电机控制方法的流程图二；

图 5 是本申请实施例提供的一种电机控制装置的结构图；

图 6 是本申请实施例提供的一种终端的结构图。

具体实施方式

以下描述中，为了说明而不是为了限定，提出了诸如特定系统结构、技术之类的具体细节，以便透彻理解本申请实施例。然而，本领域的技术人员应当清楚，在没有这些具体细节的其它实施例中也可以实现本申请。在其它情况中，省略对众所周知的系统、装置、电路以及方法的详细说明，以免不必要的细节妨碍本申请的描述。

应当理解，当在本说明书和所附权利要求书中使用时，术语“包括”指示所描述特征、整体、步骤、操作、元素和/或组件的存在，但并不排除一个或多个其它特征、整体、步骤、操作、元素、组件和/或其集合的存在或添加。

还应当理解，在此本申请说明书中所使用的术语仅仅是出于描述特定实施例的目的而并不意在限制本申请。如在本申请说明书和所附权利要求书中所使用的那样，除非上下文清楚地指明其它情况，否则单数形式的“一”、“一个”及“该”意在包括复数形式。

还应当进一步理解，在本申请说明书和所附权利要求书中使用的术语“和/或”是指相关关联列出的项中的一个或多个的任何组合以及所有可能组合，并且包括这些组合。

如在本说明书和所附权利要求书中所使用的那样，术语“如果”可以依据上下文被解释为

“当...时”或“一旦”或“响应于确定”或“响应于检测到”。类似地，短语“如果确定”或“如果检测到[所描述条件或事件]”可以依据上下文被解释为意指“一旦确定”或“响应于确定”或“一旦检测到[所描述条件或事件]”或“响应于检测到[所描述条件或事件]”。

具体实现中，本申请实施例中描述的终端包括但不限于诸如具有触摸敏感表面(例如，触摸屏显示器和/或触摸板)的移动电话、膝上型计算机或平板计算机之类的其它便携式设备。还应当理解的是，在某些实施例中，所述设备并非便携式通信设备，而是具有触摸敏感表面(例如，触摸屏显示器和/或触摸板)的台式计算机。

在接下来的讨论中，描述了包括显示器和触摸敏感表面的终端。然而，应当理解的是，终端可以包括诸如物理键盘、鼠标和/或控制杆的一个或多个其它物理用户接口设备。

终端支持各种应用程序，例如以下中的一个或多个：绘图应用程序、演示应用程序、文字处理应用程序、网站创建应用程序、盘刻录应用程序、电子表格应用程序、游戏应用程序、电话应用程序、视频会议应用程序、电子邮件应用程序、即时消息收发应用程序、锻炼支持应用程序、照片管理应用程序、数码相机应用程序、数字摄影机应用程序、web 浏览应用程序、数字音乐播放器应用程序和/或数字视频播放器应用程序。

可以在终端上执行的各种应用程序可以使用诸如触摸敏感表面的至少一个公共物理用户接口设备。可以在应用程序之间和/或相应应用程序内调整和/或改变触摸敏感表面的一个或多个功能以及终端上显示的相应信息。这样，终端的公共物理架构(例如，触摸敏感表面)可以支持具有对用户而言直观且透明的用户界面的各种应用程序。

应理解，本实施例中各步骤的序号的大小并不意味着执行顺序的先后，各过程的执行顺序应以其功能和内在逻辑确定，而不对本申请实施例的实施过程构成任何限定。

为了说明本申请所述的技术方案，下面通过具体实施例来进行说明。

参见图 1，图 1 是本申请实施例提供的一种电机控制方法的流程图一。如图 1 所示，一种电机控制方法，该方法包括以下步骤：

步骤 101，向电机的电流矢量角注入虚拟高频信号，得到注入虚拟高频信号后的电机转矩信号，将电机转矩信号输入至滤波器进行滤波处理，得到电机转矩信号的一阶交流分量信号。

该虚拟高频信号具体可以是一个小幅高频信号分量；在电流矢量角上叠加虚拟高频信号用于增加电流矢量角的偏移量，起到信号扰动作用。

该电机例如为内嵌式永磁同步电机，或者其他类型的电机。

在向电机的电流矢量角注入虚拟高频信号后，可以基于增加偏移量后的该电流矢量角，得

到注入虚拟高频信号后的电机转矩信号。

其中，该一阶交流分量信号，受影响于滤波器的增益，具体对应一个与电机转矩信号的一阶交流分量正相关的信号值，更具体地，对应一个与电机转矩信号的一阶交流分量成正比的信号值。

具体地，作为一可选的实施方式，其中向电机的电流矢量角注入虚拟高频信号，得到注入虚拟高频信号后的电机转矩信号，包括：

获取电机在电机转子坐标系下的初始电机转矩信号模型：

$$T_e = \frac{3p}{2} \left[\left(\frac{v_d - Ri_d}{p\omega_m} - L_d i_d \right) + \left(L_d + \frac{v_d - Ri_d}{pi_q \omega_m} \right) i_q \right];$$

其中， T_e 为初始电机转矩信号； v_d 为电机的d轴电压； i_d 为电机的d轴电流， $i_d = -I_a \sin\beta$ ； L_d 为电机的d轴电感； v_q 为电机的q轴电压； i_q 为电机的q轴电流， $i_q = I_a \cos\beta$ ；其中， I_a 为电流幅值， β 为电流矢量角； L_q 为电机的q轴电感； R 为电机的定子电阻； p 为电机的永磁体极对数； ω_m 为电机中转子的机械角速度。

之后，向电流矢量角注入虚拟高频信号，得到注入虚拟高频信号后的d轴电流及q轴电流；其中， $\Delta\beta$ 为虚拟高频信号， $\Delta\beta = A \sin(\omega_h t)$ ， A 为虚拟高频信号的幅值， ω_h 为虚拟高频信号的频率； i_d^h 为注入虚拟高频信号后的d轴电流， $i_d^h = -I_a \sin(\beta + \Delta\beta)$ ； i_q^h 为注入虚拟高频信号后的q轴电流， $i_q^h = I_a \cos(\beta + \Delta\beta)$ ；

基于注入虚拟高频信号后的d轴电流及q轴电流，得到注入虚拟高频信号后的电机转矩信号： $T_e^h = \frac{3p}{2} \left[\frac{v_q - Ri_q}{p\omega_m} - L_d(i_d - i_d^h) + \frac{v_d - Ri_d}{p\omega_m i_q} i_d^h \right] i_q^h$ 。

其中，该初始电机转矩信号模型公式可以是现有的模型公式，或者是通过现有的电机模型推导得到。该推导过程可以是，先对电机在转子坐标系下的电机模型进行定义，定义如下：

$$v_d = Ri_d + L_d \frac{d}{dt} i_d - p\omega_m L_q i_q; \quad (8)$$

$$v_q = Ri_q + L_q \frac{d}{dt} i_q + p\omega_m L_d i_d + p\omega_m \psi_m; \quad (9)$$

$$T_e = \frac{3p}{2} [\psi_m i_q + (L_d - L_q) i_d i_q]; \quad (10)$$

$$i_d = -I_a \sin\beta; \quad i_q = I_a \cos\beta; \quad (11)$$

其中， v_d 为电机d轴定子电压， i_d 为电机d轴定子电流、 v_q 为电机q轴定子电压、 i_q 为电机q轴定子电流， L_d 为d轴电感， L_q 为q轴电感， R 为定子电阻， p 为电机永磁体极对数， ψ_m 为

永磁体磁链， I_a 为电流幅值， β 为电流矢量角， ω_m 为转子的机械角速度。

当电机在稳态运行时，（8）和（9）中的微分项为零，然后将其余项代入（10）中，得到没有注入虚拟高频信号时的电机转矩信号模型：

$$T_e = \frac{3p}{2} \left[\left(\frac{v_d - Ri_q}{p\omega_m} - L_d i_d \right) + \left(L_d + \frac{v_d - Ri_d}{pi_q \omega_m} \right) i_d \right] i_q; \quad (12)$$

向电流矢量角注入虚拟高频信号，得到注入虚拟高频信号后的 d 轴电流及 q 轴电流，在实现过程中，具体可以是：

向电机转矩公式（10）注入一个虚拟高频信号，虚拟高频信号表示为：

$$\Delta\beta = A \sin(\omega_h t); \quad (13)$$

其中A为虚拟高频信号的幅值， ω_h 为虚拟高频信号的频率。这里注入的信号是一个电流矢量角 β 的偏移量 $\Delta\beta$ 。附加该信号后，（11）可以表达为：

$$i_d^h = -I_a \sin(\beta + \Delta\beta); \quad i_q^h = I_a \cos(\beta + \Delta\beta); \quad (14)$$

即得到注入虚拟高频信号后的 d 轴电流 i_d^h 及 q 轴电流 i_q^h 。

因此，即可得到，注入虚拟高频信号后的电机转矩信号可以表示为：

$$T_e^h = \frac{3p}{2} \left[\frac{v_q - Ri_q}{p\omega_m} - L_d (i_d - i_d^h) + \frac{v_d - Ri_d}{p\omega_m i_q} i_d^h \right] i_q; \quad (15)$$

其中，该虚拟高频信号例如是虚拟高频正弦信号，该电机转矩信号为虚拟电机转矩信号。

进一步地，在得到注入虚拟高频信号后的电机转矩信号后，将电机转矩信号输入至滤波器进行滤波处理，得到电机转矩信号的一阶交流分量信号时，仅需通过设置一次滤波处理即可，不需要设置级联的多个滤波器进行信号处理。

前述滤波器具体为用于滤除直流分量的高通滤波器，或者为用于滤除电机转矩信号中的高频交流分量的低通滤波器。由于为了得到电机转矩信号的一阶交流分量信号，需要将电机转矩信号中包括的直流分量及高频交流分量均滤除掉。因此在通过滤波器对信号进行滤波处理，得到电机转矩信号的一阶交流分量信号过程中，可同时在滤波器的滤波处理之前或之后借助于的信号辅助处理来实现。

对应地，作为一可选的实施方式，该将电机转矩信号输入至滤波器进行滤波处理，得到电机转矩信号的一阶交流分量信号，包括：

将电机转矩信号与未注入虚拟高频信号的初始电机转矩信号相减，得到去除直流分量的电机转矩信号；将去除直流分量的电机转矩信号输入至低通滤波器中，滤除电机转矩信号中的高频交流分量，得到电机转矩信号的一阶交流分量信号。

该低通滤波器具体可以采用一阶低通滤波器，仅使用一阶滤波器即可实现信号处理，避免传统方案使用高阶带通滤波器。

在具体实现过程中，根据泰勒级数展开，将注入虚拟高频信号后的电机转矩信号方程(15)左侧部分展开后表达如下：

$$\begin{aligned} T_e^h &= T_e(\beta + \Delta\beta); \\ &= T_e(\beta) + \frac{\partial T_e}{\partial \beta} A \sin(\omega_h t) + \frac{\partial}{\partial \beta} \left(\frac{\partial T_e}{\partial \beta} \right) \times A^2 \sin^2(\omega_h t) + \dots; \end{aligned} \quad (16)$$

在对公式方程(16)中一阶偏导数项进行提取以得到一阶偏导数信号时，结合图2所示，将注入虚拟高频信号后的电机转矩信号(T_e^h)减去计算得到的不考虑注入信号时的转矩信号，即由初始电机转矩信号模型公式(12)计算出的 $T_e(\beta)$ ，由此使信号之间发生抵消，使 T_e^h 中的 $T_e(\beta)$ 项消除掉，即去除已注入虚拟高频信号的电机转矩信号中的直流分量。然后将相减后的信号输入至低通滤波器中，设置该低通滤波器的截止频率 ω 与注入的虚拟高频信号的频率 ω_h 一致，滤除高频交流分量，即交流分量中的高频项。

此时图2中低通滤波器输出的信号(即注入虚拟高频信号后的电机转矩信号中的一阶交流分量信号)可以表示如下：

$$\tilde{y}_L^x = \frac{\partial T_e}{\partial \beta} K_L A \sin(\omega_h t - \varphi_L); \quad (17)$$

其中 K_L 为低通滤波器的增益， φ_L 为频率为 ω_h 的信号在通过低通滤波器时产生的相位偏移。

不同地，作为另一可选的实施方式，该将电机转矩信号输入至滤波器进行滤波处理，得到电机转矩信号的一阶交流分量信号，包括：

将电机转矩信号输入至高通滤波器中，得到滤除直流分量的电机转矩信号；将滤除直流分量的电机转矩信号中的高频交流分量舍弃，得到电机转矩信号的一阶交流分量信号。

同样地，在具体实现过程中，根据泰勒级数展开，将注入虚拟高频信号后的电机转矩信号方程(15)左侧部分泰勒展开后表达如下：

$$\begin{aligned} T_e^h &= T_e(\beta + \Delta\beta); \\ &= T_e(\beta) + \frac{\partial T_e}{\partial \beta} A \sin(\omega_h t) + \frac{\partial}{\partial \beta} \left(\frac{\partial T_e}{\partial \beta} \right) \times A^2 \sin^2(\omega_h t) + \dots; \end{aligned} \quad (21)$$

在对公式方程(21)中一阶偏导数项进行提取以得到一阶偏导数信号时，结合图3所示，将注入虚拟高频信号后的电机转矩信号(T_e^h)输入到高通滤波器中，可设置高通滤波器的截止频率 ω 与注入虚拟高频信号的频率 ω_h 一致，高通滤波器会滤掉方程(21)中的直流分量，由于

所注入信号的幅值A很小，可以忽略二阶及以上的谐波，实现将滤除直流分量的电机转矩信号中的高频交流分量舍弃，得到电机转矩信号的一阶交流分量信号，此时图3中高通滤波器输出的信号可以表示如下：

$$\tilde{y}_h^x = \frac{\partial T_e}{\partial \beta} K_h A \sin(\omega_h t - \varphi_h); \quad (22)$$

其中 K_h 为高通滤波器的增益， φ_h 为频率为 ω_h 的信号在通过高通滤波器时产生的相位延迟，也即相位偏移。

其中，该高通滤波器具体可以采用一阶高通滤波器。同样地，该过程仅使用一阶滤波器即可实现信号处理，避免传统方案使用高阶带通滤波器。

步骤102，将一阶交流分量信号输入至移相器进行移相处理，得到相位偏移设定值的抵消信号。

其中，相位偏移的设定值具体为使正弦波形移相后转变为余弦波形的数值，例如为右移 $\frac{\pi}{2}$ ，即相位 $-\frac{\pi}{2}$ ，或者左移 $\frac{\pi}{2}$ ，即相位 $+\frac{\pi}{2}$ ，以能够得到抵消信号。该抵消信号具体为与一阶交流分量信号这一信号幅值相同但相位相反的信号，以实现与一阶交流分量信号之间在后续运算中进行信号抵消。

在具体实施过程中可以是：

将注入虚拟高频信号后的电机转矩信号的一阶交流分量信号输入到一个一阶全通移相器中，该全通移相器 $p(s)$ 的传递函数表示如下：

$$p(s) = \frac{\tilde{y}_L^y}{\tilde{y}_L^x} = \frac{-s+\omega}{s+\omega}; \quad (18)$$

其中 $p(s)$ 中的移相工作频率 ω 设置为与注入的虚拟高频信号的频率 ω_h 相等，此时该相移器增益恒为1，即不改变信号的幅值，但会将使输入的信号产生一个 $\pi/2$ 的相位偏移，输出抵消信号。

当输入的信号为 $\tilde{y}_L^x$ 时，则输出抵消信号 $\tilde{y}_L^y$ ，表示如下：

$$\tilde{y}_L^y = \frac{\partial T_e}{\partial \beta} K_L A \sin\left(\omega_h t - \varphi_L - \frac{\pi}{2}\right); \quad (19)$$

当输入的信号为 $\tilde{y}_h^x$ 时，则输出抵消信号 $\tilde{y}_h^y$ ，表示如下：

$$\tilde{y}_h^y = \frac{\partial T_e}{\partial \beta} K_h A \sin\left(\omega_h t - \varphi_h - \frac{\pi}{2}\right). \quad (23)$$

步骤103，将一阶交流分量信号与第一参考信号的乘积与抵消信号与第二参考信号的乘积求和，得到转矩对电流矢量角的一阶偏导数信号作为输出信号。

该第一参考信号具体用于作为注入虚拟高频信号后的电机转矩信号的一阶交流分量信号的参考信号，第二参考信号则用于作为抵消信号的参考信号。

其中，第一参考信号为将虚拟高频信号的相位调整至与转矩信号的相位相同后得到；第二参考信号为将虚拟高频信号的相位调整至与抵消信号的相位相同后得到，以使进行乘积运算及最后的求和运算时能够进行表达项之间的抵消运算。

其中，该转矩对电流矢量角的一阶偏导数信号，具体对应一个与转矩对电流矢量角的一阶偏导数正相关的信号值，更具体地，对应一个与转矩对电流矢量角的一阶偏导数成正比的信号值。

在具体应用过程中，分别将注入的虚拟高频信号具有相同相位滞后的表达项（即第一参考信号的） $\sin(\omega_h t - \varphi_L)$ 与电机转矩信号的一阶交流分量信号相乘，将注入的虚拟高频信号的相位滞后信号（即第二参考信号） $\sin(\omega_h t - \varphi_L - \pi/2)$ 与抵消信号相乘，再将结果相加得到转矩对电流矢量角的一阶偏导数信号。

具体地，当电机转矩信号的一阶交流分量信号为 $\tilde{y}_L^x$ 、抵消信号为 $\tilde{y}_L^y$ 时，数据相乘再相加之后可得：

$$\begin{aligned}
 \text{Out}_{\text{LFP}} &= \tilde{y}_L^x \times \sin(\omega_h t - \varphi_L) + \tilde{y}_L^y \times \sin\left(\omega_h t - \varphi_L - \frac{\pi}{2}\right); \\
 &= \frac{\partial T_e}{\partial \beta} K_L A \sin(\omega_h t - \varphi_L) \times \sin(\omega_h t - \varphi_L) + \frac{\partial T_e}{\partial \beta} K_L A \sin\left(\omega_h t - \varphi_L - \frac{\pi}{2}\right) \times \\
 &\sin\left(\omega_h t - \varphi_L - \frac{\pi}{2}\right); \\
 &= \frac{\partial T_e}{\partial \beta} K_L A \left\{ [\sin(\omega_h t - \varphi_L)]^2 + \left[\sin\left(\omega_h t - \varphi_L - \frac{\pi}{2}\right) \right]^2 \right\}; \\
 &= \frac{\partial T_e}{\partial \beta} K_L A \{ [\sin(\omega_h t - \varphi_L)]^2 + [\cos(\omega_h t - \varphi_L)]^2 \}; \\
 &= \frac{\partial T_e}{\partial \beta} K_L A. \tag{20}
 \end{aligned}$$

该 Out_{LFP} 即为转矩对电流矢量角的一阶偏导数信号。

当电机转矩信号的一阶交流分量信号为 $\tilde{y}_h^x$ 、抵消信号为 $\tilde{y}_h^y$ 时，数据相乘再相加之后可得：

$$\text{Out}_{\text{HPF}} = \tilde{y}_h^x \times \sin(\omega_h t - \varphi_h) + \tilde{y}_h^y \times \sin\left(\omega_h t - \varphi_h - \frac{\pi}{2}\right) = \frac{\partial T_e}{\partial \beta} K_h A; \tag{24}$$

该 Out_{LFP} 即为转矩对电流矢量角的一阶偏导数信号。

因此，上述提取转矩对电流矢量角的一阶偏导数信号的过程仅使用一个滤波器即可，避免多个滤波器级联的结构出现。

步骤 104, 基于输出信号, 确定电机的目标电流矢量角, 并基于目标电流矢量角对电机进行运转控制。

基于输出信号, 能够获取到计算出的电机转矩对电流矢量角的一阶偏导数信号, 此时, 利用电机在转矩 T_e 对电流矢量角 β 的一阶偏导数为零 (即 $\partial T_e / \partial \beta = 0$) 时电机输出转矩最大的特点, 确定出电流矢量角 β 的目标值, 通过该目标值对电机实施运转控制, 实现在给定电流幅值时, 电机输出的转矩为最大。

该过程, 本质是通过电机模型公式推导, 使用一个滤波器计算出 $\partial T_e / \partial \beta$ 信号 (转矩对电流矢量角的一阶偏导数), 使其为 0, 使电机工作在最佳状态, 实现在给定电流幅值时, 电机输出的转矩为最大。

该过程, 针对现有电机控制方法所存在的问题, 提出了基于快速正弦虚拟信号注入的电机控制方法, 实现对电机节能控制, 改善现有方案所存在的结构复杂、响应速度慢、工况突变超调过冲严重的问题, 具有结构设计简单、响应速度快、超调过冲小等优点。

上述方法通过分析现有基于虚拟高频扰动注入的电机控制方法, 仅使用一个滤波器即能够获得 $\partial T_e / \partial \beta$ 信号, 并通过调节系统控制器使得该偏导项收敛于零, 进而实现对电机最佳状态运行点的准确估测。该方案相较于现有基于带通滤波器和低通滤波器的电机控制方式, 可以有效提升估测的速度, 并减少计算量和复杂程度, 能够在多变的工况下稳定地估测最佳状态运行点。

本申请实施例中, 通过向电机的电流矢量角注入虚拟高频信号, 增加电流矢量角的偏移量, 得到与之对应的电机转矩信号, 将电机转矩信号输入至滤波器进行滤波处理, 将电机转矩信号通过一次滤波处理, 消除掉电机转矩信号中的直流分量及高频项, 得到电机转矩信号的一阶交流分量信号, 之后将相位调整过的虚拟高频信号作为参考信号, 分别结合一阶交流分量信号本身及移相器移相后的该一阶交流分量信号进行数据抵消, 最终提取出转矩对电流矢量角的一阶偏导数信号作为输出信号, 能够在简单的电机控制系统结构下, 确定出电机的最优转矩电流比, 提升动态响应速度, 避免工况突变时的超调过冲现象, 确保电机在最佳状态进行运转的稳定性。

本申请实施例中还提供了电机控制方法的不同实施方式。

参见图 4, 图 4 是本申请实施例提供的一种电机控制方法的流程图二。如图 2 所示, 一种电机控制方法, 该方法包括以下步骤:

步骤 401, 向电机的电流矢量角注入虚拟高频信号, 得到注入虚拟高频信号后的电机转矩信号, 将电机转矩信号输入至滤波器进行滤波处理, 得到电机转矩信号的一阶交流分量信号。

该步骤的实现过程与前述实施方式中的步骤 101 的实现过程相同，此处不再赘述。

步骤 402，将一阶交流分量信号输入至移相器进行移相处理，得到相位偏移设定值的抵消信号。

该步骤的实现过程与前述实施方式中的步骤 102 的实现过程相同，此处不再赘述。

步骤 403，将一阶交流分量信号与第一参考信号的乘积与抵消信号与第二参考信号的乘积求和，得到转矩对电流矢量角的一阶偏导数信号作为输出信号。

其中，第一参考信号为将虚拟高频信号的相位调整至与转矩信号的相位相同后得到，第二参考信号为将虚拟高频信号的相位调整至与抵消信号的相位相同后得到。

该步骤的实现过程与前述实施方式中的步骤 103 的实现过程相同，此处不再赘述。

步骤 404，基于该输出信号中，将转矩对电流矢量角的一阶偏导数信号趋近于零时对应的电流相位超前角，确定为电机的目标电流矢量角。

结合图 2、图 3 所示，在确定目标电流矢量角时，具体是将输出信号(Out_{LFP} 或者 Out_{HPF})输入至控制器中（控制器可为神经网络、模糊控制器、PI 控制器、比例-积分-微分（PID）控制器、积分器等），基于控制器调节电流矢量角，直至转矩对电流矢量角的一阶偏导数信号逐渐趋近于零。当其趋近于零时（即 $\partial T_e / \partial \beta = 0$ ），此时输出的电流矢量角就是最优电流矢量角 β_{ref} （即目标电流矢量角），此时的电流矢量角也就对应电机的最佳状态运行点，仅使用一个滤波器即可确保电机稳定地运行在最佳状态。

步骤 405，基于目标电流矢量角，计算电机的 d 轴电流命令及 q 轴电流命令；

基于目标电流矢量角，进行坐标转换计算得到，电机的 d 轴电流命令及 q 轴电流命令。

步骤 406，将 d 轴电流命令及 q 轴电流命令，输入至 PI 控制器解耦生成 d 轴电压命令及 q 轴电压命令。

PI 控制器（proportional integral controller）是一种线性控制器，它根据给定值与实际输出值构成控制偏差，将偏差的比例和积分通过线性组合构成控制量，对被控对象进行控制。通过该 PI 控制器将 d 轴电流命令及 q 轴电流命令解耦生成 d 轴电压命令及 q 轴电压命令。

步骤 407，基于 d 轴电压命令及 q 轴电压命令，生成电压脉冲信号输出至用于对电机进行驱动控制的逆变器。

基于 d 轴电压命令及 q 轴电压命令，生成电压脉冲信号时，具体需要将 d 轴电压命令及 q 轴电压命令经过数据坐标转换，具体为将两相旋转坐标系 d-q 坐标系转换为三相静止坐标系 A-B-C 坐标系，得到电压坐标转换后的脉冲信号，输入至逆变器。

逆变器是把稳定的直流电转化为频率电压可调的交流电，从而用想要的状态去驱动电机。

本申请实施例中，通过向电机的电流矢量角注入虚拟高频信号，增加电流矢量角的偏移量，得到与之对应的电机转矩信号，将电机转矩信号输入至滤波器进行滤波处理，将电机转矩信号通过一次滤波处理，消除掉电机转矩信号中的直流分量及高频项，得到电机转矩信号的一阶交流分量信号，之后将相位调整过的虚拟高频信号作为参考信号，分别结合一阶交流分量信号本身及移相器移相后的该一阶交流分量信号进行数据抵消，最终提取出转矩对电流矢量角的一阶偏导数信号作为输出信号，能够在简单的电机控制系统结构下，确定出电机的最优转矩电流比，提升动态响应速度，避免工况突变时的超调过冲现象，确保电机在最佳状态运行点进行运转的状态稳定性。

参见图 5，图 5 是本申请实施例提供的一种电机控制装置的结构图，为了便于说明，仅示出了与本申请实施例相关的部分。

该电机控制装置 500 包括：

信号处理模块 501，用于向所述电机的电流矢量角注入虚拟高频信号，得到注入所述虚拟高频信号后的电机转矩信号，将所述电机转矩信号输入至滤波器进行滤波处理，得到所述电机转矩信号的一阶交流分量信号；

移相模块 502，用于将所述一阶交流分量信号输入至移相器进行移相处理，得到相位偏移设定值的抵消信号；

计算模块 503，用于将所述一阶交流分量信号与第一参考信号的乘积与所述抵消信号与第二参考信号的乘积求和，得到转矩对电流矢量角的一阶偏导数信号作为输出信号，所述第一参考信号为将所述虚拟高频信号的相位调整至与所述转矩信号的相位相同后得到，所述第二参考信号为将所述虚拟高频信号的相位调整至与所述抵消信号的相位相同后得到；

控制模块 504，用于基于所述输出信号，确定所述电机的目标电流矢量角，并基于所述目标电流矢量角对所述电机进行运转控制。

其中，信号处理模块具体用于：

将所述电机转矩信号与未注入所述虚拟高频信号的初始电机转矩信号相减，得到去除直流分量的所述电机转矩信号；

将去除直流分量的所述电机转矩信号输入至低通滤波器中，滤除所述电机转矩信号中的高频交流分量，得到所述电机转矩信号的一阶交流分量信号。

其中，信号处理模块，具体用于：

将所述电机转矩信号输入至高通滤波器中,得到滤除直流分量的所述电机转矩信号;

将滤除直流分量的所述电机转矩信号中的高频交流分量舍弃,得到所述电机转矩信号的一阶交流分量信号。

其中,控制模块,具体用于:

基于所述输出信号中,将所述转矩对电流矢量角的一阶偏导数信号趋近于零时对应的电流相位超前角,确定为所述电机的目标电流矢量角。

其中,控制模块,还具体用于:

基于所述目标电流矢量角,计算所述电机的d轴电流命令及q轴电流命令;

将所述d轴电流命令及所述q轴电流命令,输入至PI控制器解耦生成d轴电压命令及q轴电压命令;

基于所述d轴电压命令及所述q轴电压命令,生成电压脉冲信号输出至用于对所述电机进行驱动控制的逆变器。

其中,信号处理模块,还具体用于:

获取所述电机在电机转子坐标系下的初始电机转矩信号模型:

$$T_e = \frac{3p}{2} \left[\left(\frac{v_d - Ri_q}{p\omega_m} - L_d i_d \right) + \left(L_d + \frac{v_d - Ri_d}{pi_q\omega_m} \right) i_d \right] i_q;$$

其中, T_e 为所述初始电机转矩信号; v_d 为所述电机的d轴电压; i_d 为所述电机的d轴电流, $i_d = -I_a \sin\beta$; L_d 为所述电机的d轴电感; v_q 为所述电机的q轴电压; i_q 为所述电机的q轴电流, $i_q = I_a \cos\beta$; 其中, I_a 为电流幅值, β 为所述电流矢量角; L_q 为所述电机的q轴电感; R 为所述电机的定子电阻; p 为所述电机的永磁体极对数; ω_m 为所述电机中转子的机械角速度;

向所述电流矢量角注入所述虚拟高频信号,得到注入所述虚拟高频信号后的所述d轴电流及所述q轴电流; 其中, $\Delta\beta$ 为所述虚拟高频信号, $\Delta\beta = A \sin(\omega_h t)$, A 为所述虚拟高频信号的幅值, ω_h 为所述虚拟高频信号的频率; i_d^h 为注入所述虚拟高频信号后的所述d轴电流, $i_d^h = -I_a \sin(\beta + \Delta\beta)$; i_q^h 为注入所述虚拟高频信号后的所述q轴电流, $i_q^h = I_a \cos(\beta + \Delta\beta)$;

基于注入所述虚拟高频信号后的所述d轴电流及所述q轴电流,得到注入所述虚拟高频信号后的电机转矩信号 $T_e^h = \frac{3p}{2} \left[\frac{v_q - Ri_q}{p\omega_m} - L_d(i_d - i_d^h) + \frac{v_d - Ri_d}{p\omega_m i_q} i_d^h \right] i_q^h$ 。

本申请实施例提供的电机控制装置能够实现上述电机控制方法的实施例的各个过程,且能达到相同的技术效果,为避免重复,这里不再赘述。

图6是本申请实施例提供的一种终端的结构图。如该图所示,该实施例的终端6包括:至

少一个处理器 60（图 6 中仅示出一个）、存储器 61 以及存储在所述存储器 61 中并可在所述至少一个处理器 60 上运行的计算机程序 62，所述处理器 60 执行所述计算机程序 62 时实现上述任意各个方法实施例中的步骤。

所述终端 6 可以是桌上型计算机、笔记本、掌上电脑及云端服务器等计算设备。所述终端 6 可包括，但不仅限于，处理器 60、存储器 61。本领域技术人员可以理解，图 6 仅仅是终端 6 的示例，并不构成对终端 6 的限定，可以包括比图示更多或更少的部件，或者组合某些部件，或者不同的部件，例如所述终端还可以包括输入输出设备、网络接入设备、总线等。

所述处理器 60 可以是中央处理单元(Central Processing Unit, CPU)，还可以是其他通用处理器、数字信号处理器(Digital Signal Processor, DSP)、专用集成电路(Application Specific Integrated Circuit, ASIC)、现场可编程门阵列(Field-Programmable Gate Array, FPGA) 或者其他可编程逻辑器件、分立门或者晶体管逻辑器件、分立硬件组件等。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等。

所述存储器 61 可以是所述终端 6 的内部存储单元，例如终端 6 的硬盘或内存。所述存储器 61 也可以是所述终端 6 的外部存储设备，例如所述终端 6 上配备的插接式硬盘，智能存储卡（Smart Media Card, SMC），安全数字（Secure Digital, SD）卡，闪存卡（Flash Card）等。可选地，所述存储器 61 还可以既包括所述终端 6 的内部存储单元也包括外部存储设备。所述存储器 61 用于存储所述计算机程序以及所述终端所需的其他程序和数据。所述存储器 61 还可以用于暂时地存储已经输出或者将要输出的数据。

所属领域的技术人员可以清楚地了解到，为了描述的方便和简洁，仅以上述各功能单元、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功能分配由不同的功能单元、模块完成，即将所述装置的内部结构划分成不同的功能单元或模块，以完成以上描述的全部或者部分功能。实施例中的各功能单元、模块可以集成在一个处理单元中，也可以是各个单元单独物理存在，也可以两个或两个以上单元集成在一个单元中，上述集成的单元既可以采用硬件的形式实现，也可以采用软件功能单元的形式实现。另外，各功能单元、模块的具体名称也只是为了便于相互区分，并不用于限制本申请的保护范围。上述系统中单元、模块的具体工作过程，可以参考前述方法实施例中的对应过程，在此不再赘述。

在上述实施例中，对各个实施例的描述都各有侧重，某个实施例中没有详述或记载的部分，可以参见其它实施例的相关描述。

本领域普通技术人员可以意识到，结合本文中所公开的实施例描述的各示例的单元及算法步骤，能够以电子硬件、或者计算机软件和电子硬件的结合来实现。这些功能究竟以硬件还是软件方式来执行，取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。专业技术人员可以对每个特定的应用来使用不同方法来实现所描述的功能，但是这种实现不应认为超出本申请的范围。

在本申请所提供的实施例中，应该理解到，所揭露的装置/终端和方法，可以通过其它的方式实现。例如，以上所描述的装置/终端实施例仅仅是示意性的，例如，所述模块或单元的划分，仅仅为一种逻辑功能划分，实际实现时可以有另外的划分方式，例如多个单元或组件可以结合或者可以集成到另一个系统，或一些特征可以忽略，或不执行。另一点，所显示或讨论的相互之间的耦合或直接耦合或通讯连接可以是通过一些接口，装置或单元的间接耦合或通讯连接，可以是电性，机械或其它的形式。

所述作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的，作为单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元，即可以位于一个地方，或者也可以分布到多个网络单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部单元来实现本实施例方案的目的。

另外，在本申请各个实施例中的各功能单元可以集成在一个处理单元中，也可以是各个单元单独物理存在，也可以两个或两个以上单元集成在一个单元中。上述集成的单元既可以采用硬件的形式实现，也可以采用软件功能单元的形式实现。

所述集成的模块/单元如果以软件功能单元的形式实现并作为独立的产品销售或使用时，可以存储在一个计算机可读取存储介质中。基于这样的理解，本申请实现上述实施例方法中的全部或部分流程，也可以通过计算机程序来指令相关的硬件来完成，所述的计算机程序可存储于一计算机可读取存储介质中，该计算机程序在被处理器执行时，可实现上述各个方法实施例的步骤。其中，所述计算机程序包括计算机程序代码，所述计算机程序代码可以为源代码形式、对象代码形式、可执行文件或某些中间形式等。所述计算机可读介质可以包括：能够携带所述计算机程序代码的任何实体或装置、记录介质、U 盘、移动硬盘、磁碟、光盘、计算机存储器、只读存储器（ROM, Read-Only Memory）、随机存取存储器（RAM, Random Access Memory）、电载波信号、电信信号以及软件分发介质等。需要说明的是，所述计算机可读介质包含的内容可以根据司法管辖区内立法和专利实践的要求进行适当的增减，例如在某些司法管辖区，根据立法和专利实践，计算机可读介质不包括电载波信号和电信信号。

本申请实现上述实施例方法中的全部或部分流程，也可以通过计算机程序产品来实现，当计算机程序产品在终端上运行时，使得所述终端执行时实现可实现上述各个方法实施例中的步骤。

以上所述实施例仅用以说明本申请的技术方案，而非对其限制；尽管参照前述实施例对本申请进行了详细的说明，本领域的普通技术人员应当理解：其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改，或者对其中部分技术特征进行等同替换；而这些修改或者替换，并不使相应技术方案的本质脱离本申请各实施例技术方案的精神和范围，均应包含在本申请的保护范围之内。

权 利 要 求 书

1、一种电机控制方法，其特征在于，包括：

向所述电机的电流矢量角注入虚拟高频信号，得到注入所述虚拟高频信号后的电机转矩信号，将所述电机转矩信号输入至滤波器进行滤波处理，得到所述电机转矩信号的一阶交流分量信号；

将所述一阶交流分量信号输入至移相器进行移相处理，得到相位偏移设定值的抵消信号；

将所述一阶交流分量信号与第一参考信号的乘积与所述抵消信号与第二参考信号的乘积求和，得到转矩对电流矢量角的一阶偏导数信号作为输出信号，所述第一参考信号为将所述虚拟高频信号的相位调整至与所述转矩信号的相位相同后得到，所述第二参考信号为将所述虚拟高频信号的相位调整至与所述抵消信号的相位相同后得到；

基于所述输出信号，确定所述电机的目标电流矢量角，并基于所述目标电流矢量角对所述电机进行运转控制。

2、根据权利要求1所述的电机控制方法，其特征在于，所述将所述电机转矩信号输入至滤波器进行滤波处理，得到所述电机转矩信号的一阶交流分量信号，包括：

将所述电机转矩信号与未注入所述虚拟高频信号的初始电机转矩信号相减，得到去除直流分量的所述电机转矩信号；

将去除直流分量的所述电机转矩信号输入至低通滤波器中，滤除所述电机转矩信号中的高频交流分量，得到所述电机转矩信号的一阶交流分量信号。

3、根据权利要求1所述的电机控制方法，其特征在于，所述将所述电机转矩信号输入至滤波器进行滤波处理，得到所述电机转矩信号的一阶交流分量信号，包括：

将所述电机转矩信号输入至高通滤波器中，得到滤除直流分量的所述电机转矩信号；

将滤除直流分量的所述电机转矩信号中的高频交流分量舍弃，得到所述电机转矩信号的一阶交流分量信号。

4、根据权利要求1所述的电机控制方法，其特征在于，所述基于所述输出信号，确定所述电机的目标电流矢量角，包括：

基于所述输出信号中，将所述转矩对电流矢量角的一阶偏导数信号趋近于零时对应的电流相位超前角，确定为所述电机的目标电流矢量角。

5、根据权利要求1所述的电机控制方法，其特征在于，所述基于所述目标电流矢量角对

所述电机进行运转控制，包括：

基于所述目标电流矢量角，计算所述电机的 d 轴电流命令及 q 轴电流命令；

将所述 d 轴电流命令及所述 q 轴电流命令，输入至 PI 控制器解耦生成 d 轴电压命令及 q 轴电压命令；

基于所述 d 轴电压命令及所述 q 轴电压命令，生成电压脉冲信号输出至用于对所述电机进行驱动控制的逆变器。

6、根据权利要求 1 所述的电机控制方法，其特征在于，所述向所述电机的电流矢量角注入虚拟高频信号，得到注入所述虚拟高频信号后的电机转矩信号，包括：

获取所述电机在电机转子坐标系下的初始电机转矩信号模型：

$$T_e = \frac{3p}{2} \left[\left(\frac{v_d - Ri_q}{p\omega_m} - L_d i_d \right) + \left(L_d + \frac{v_d - Ri_d}{pi_q\omega_m} \right) i_d \right] i_q;$$

其中， T_e 为所述初始电机转矩信号； v_d 为所述电机的 d 轴电压； i_d 为所述电机的 d 轴电流， $i_d = -I_a \sin\beta$ ； L_d 为所述电机的 d 轴电感； v_q 为所述电机的 q 轴电压； i_q 为所述电机的 q 轴电流， $i_q = I_a \cos\beta$ ；其中， I_a 为电流幅值， β 为所述电流矢量角； L_q 为所述电机的 q 轴电感； R 为所述电机的定子电阻； p 为所述电机的永磁体极对数； ω_m 为所述电机中转子的机械角速度；

向所述电流矢量角注入所述虚拟高频信号，得到注入所述虚拟高频信号后的所述 d 轴电流及所述 q 轴电流；其中， $\Delta\beta$ 为所述虚拟高频信号， $\Delta\beta = A \sin(\omega_h t)$ ， A 为所述虚拟高频信号的幅值， ω_h 为所述虚拟高频信号的频率； i_d^h 为注入所述虚拟高频信号后的所述 d 轴电流，

$i_d^h = -I_a \sin(\beta + \Delta\beta)$ ； i_q^h 为注入所述虚拟高频信号后的所述 q 轴电流， $i_q^h = I_a \cos(\beta + \Delta\beta)$ ；

基于注入所述虚拟高频信号后的所述 d 轴电流及所述 q 轴电流，得到注入所述虚拟高频信号后的电机转矩信号 $T_e^h = \frac{3p}{2} \left[\frac{v_q - Ri_q}{p\omega_m} - L_d(i_d - i_d^h) + \frac{v_d - Ri_d}{p\omega_m i_q} i_d^h \right] i_q^h$ 。

7、一种电机控制装置，其特征在于，包括：

信号处理模块，用于向所述电机的电流矢量角注入虚拟高频信号，得到注入所述虚拟高频信号后的电机转矩信号，将所述电机转矩信号输入至滤波器进行滤波处理，得到所述电机转矩信号的一阶交流分量信号；

移相模块，用于将所述一阶交流分量信号输入至移相器进行移相处理，得到相位偏移设定值的抵消信号；

计算模块，用于将所述一阶交流分量信号与第一参考信号的乘积与所述抵消信号与第二

参考信号的乘积求和，得到转矩对电流矢量角的一阶偏导数信号作为输出信号，所述第一参考信号为将所述虚拟高频信号的相位调整至与所述转矩信号的相位相同后得到，所述第二参考信号为将所述虚拟高频信号的相位调整至与所述抵消信号的相位相同后得到；

控制模块，用于基于所述输出信号，确定所述电机的目标电流矢量角，并基于所述目标电流矢量角对所述电机进行运转控制。

8、根据权利要求7所述的电机控制装置，其特征在于，所述信号处理模块具体用于：

将所述电机转矩信号与未注入所述虚拟高频信号的初始电机转矩信号相减，得到去除直流分量的所述电机转矩信号；

将去除直流分量的所述电机转矩信号输入至低通滤波器中，滤除所述电机转矩信号中的高频交流分量，得到所述电机转矩信号的一阶交流分量信号。

9、一种终端，包括存储器、处理器以及存储在所述存储器中并可在所述处理器上运行的计算机程序，其特征在于，所述处理器执行所述计算机程序时实现如权利要求1至6任一项所述方法的步骤。

10、一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质存储有计算机程序，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6任一项所述方法的步骤。

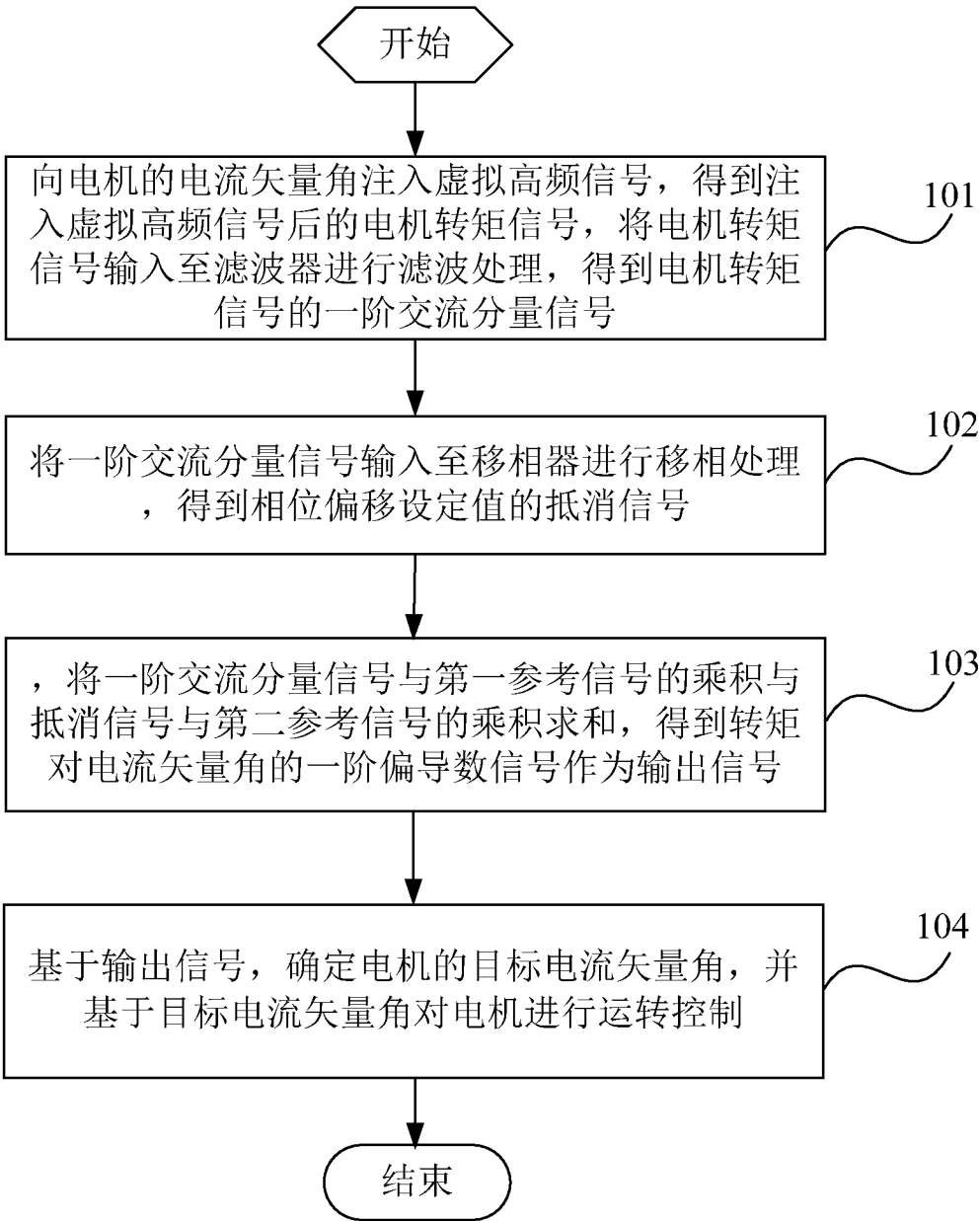


图 1

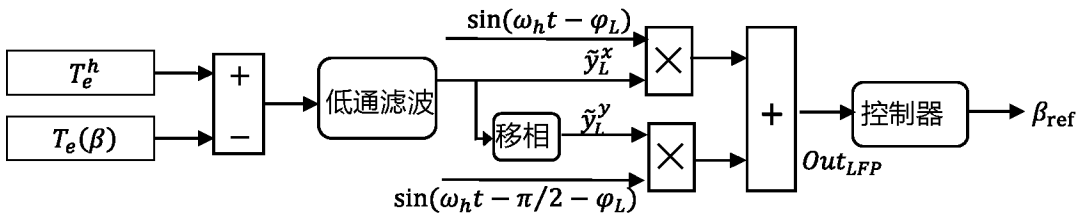


图 2

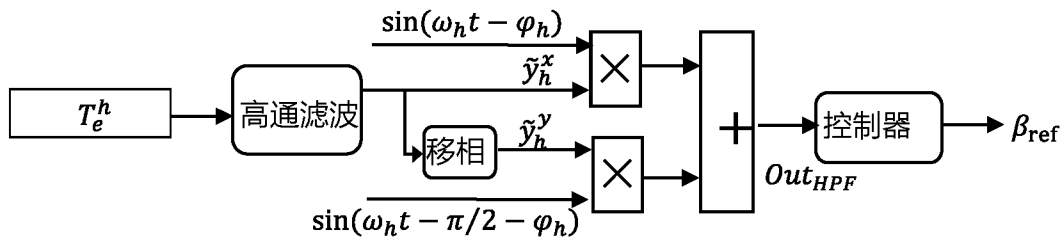


图 3

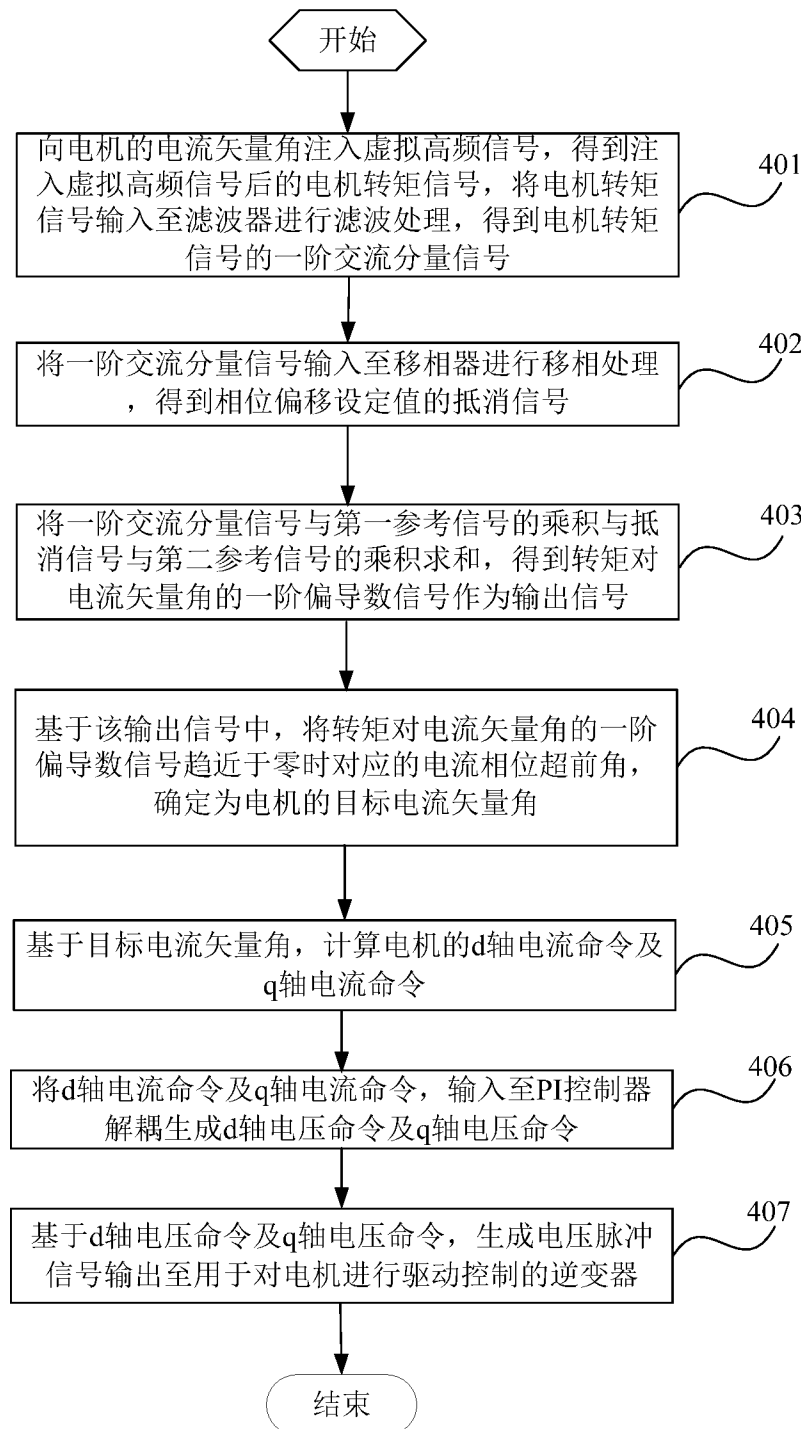


图 4

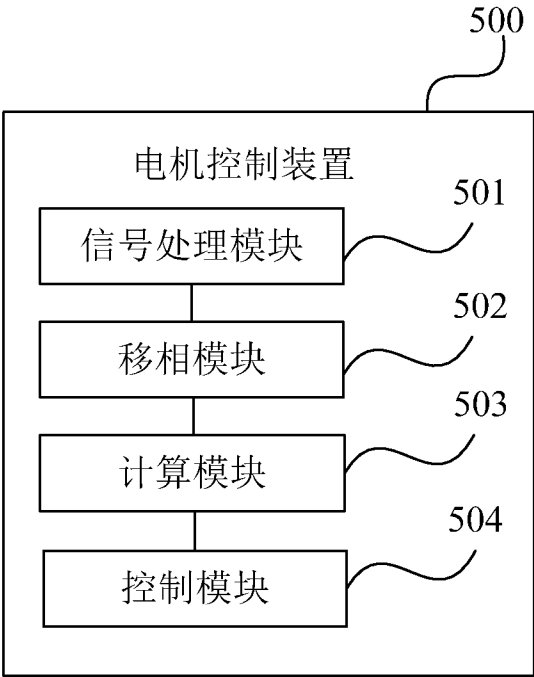


图 5

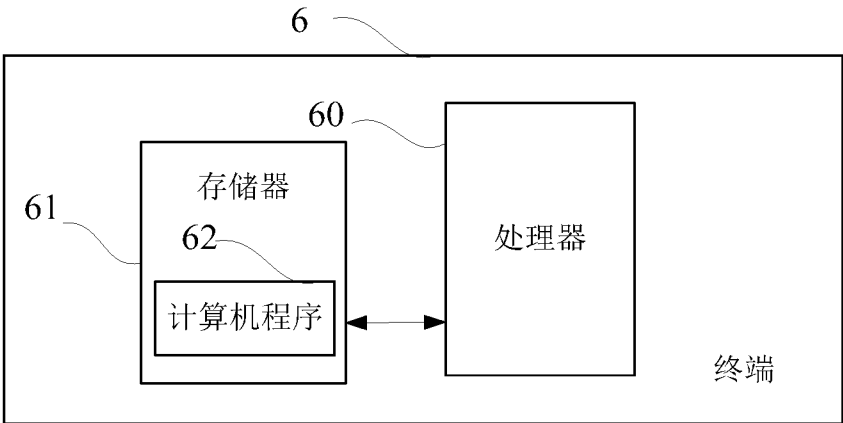


图 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2021/137933

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

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: 电机, 控制, 矢量角, 虚拟, 信号, 交流, 转矩, 滤波, 孙天夫, 李可, 冯伟, 梁嘉宁, 李慧云, 朱松龄, motor, control, signal, filter, angle, vector, phase, virtual, tianfu sun, ke li, wei feng, jianing liang, huiyun li, songling zhu

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 113346814 A (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 03 September 2021 (2021-09-03) claims 1-10	1-10
A	CN 107800344 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 13 March 2018 (2018-03-13) description, paragraphs [0026]-[0066], and figures 1-5	1-10
A	CN 110429889 A (BEIHANG UNIVERSITY) 08 November 2019 (2019-11-08) entire document	1-10
A	CN 109905063 A (NORTHWESTERN POLYTECHNIC UNIVERSITY) 18 June 2019 (2019-06-18) entire document	1-10
A	US 2015372629 A1 (SYSTEM GENERAL CORP.) 24 December 2015 (2015-12-24) 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

28 February 2022

Date of mailing of the international search report

09 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/CN2021/137933

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	113346814	A	03 September 2021	None			
CN	107800344	A	13 March 2018	None			
CN	110429889	A	08 November 2019	None			
CN	109905063	A	18 June 2019	None			
US	2015372629	A1	24 December 2015	TW	201601445	A	01 January 2016

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2021/137933

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

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: 电机, 控制, 矢量角, 虚拟, 信号, 交流, 转矩, 滤波, 孙天夫, 李可, 冯伟, 梁嘉宁, 李慧云, 朱松龄, motor, control, signal, filter, angle, vector, phase, virtual, tianfu sun, ke li, wei feng, jianing liang, huiyun li, songling zhu

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 113346814 A (中国科学院深圳先进技术研究院) 2021年9月3日 (2021 - 09 - 03) 权利要求1-10	1-10
A	CN 107800344 A (浙江大学) 2018年3月13日 (2018 - 03 - 13) 说明书第[0026]-[0066]段, 图1-5	1-10
A	CN 110429889 A (北京航空航天大学) 2019年11月8日 (2019 - 11 - 08) 全文	1-10
A	CN 109905063 A (西北工业大学) 2019年6月18日 (2019 - 06 - 18) 全文	1-10
A	US 2015372629 A1 (SYSTEM GENERAL CORP.) 2015年12月24日 (2015 - 12 - 24) 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

2022年2月28日

国际检索报告邮寄日期

2022年3月9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

田晶

电话号码 86-(10)-53961334

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2021/137933

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	113346814	A	2021年9月3日	无			
CN	107800344	A	2018年3月13日	无			
CN	110429889	A	2019年11月8日	无			
CN	109905063	A	2019年6月18日	无			
US	2015372629	A1	2015年12月24日	TW	201601445	A	2016年1月1日