



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115811260 A

(43) 申请公布日 2023. 03. 17

(21) 申请号 202211554067.0

(22) 申请日 2022.12.02

(71) 申请人 浙江凌昇动力科技有限公司

地址 311228 浙江省杭州市钱塘区前进街
道绿荫路222号综合办公楼220-114室

申请人 浙江零跑科技股份有限公司

(72) 发明人 王俊杰 曹然

(74) 专利代理机构 深圳市威世博知识产权代理
事务所(普通合伙) 44280

专利代理师 管自英

(51) Int. Cl.

H02P 21/18 (2016.01)

H02P 21/22 (2016.01)

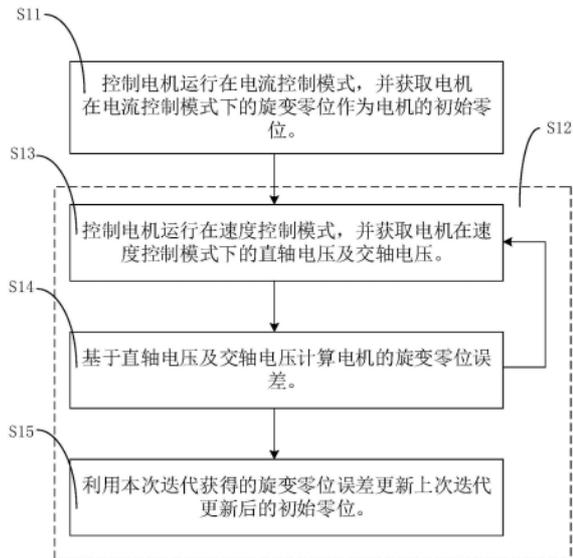
权利要求书2页 说明书9页 附图6页

(54) 发明名称

一种电机的旋变零点辨识方法、装置及计算机存储介质

(57) 摘要

本申请公开了一种电机的旋变零点辨识方法、装置及计算机存储介质,涉及电机驱动技术领域。该旋变零点辨识方法包括:控制电机运行在电流控制模式,并获取电机在电流控制模式下的旋变零点作为电机的初始零点;获取电机的旋变零点误差,并利用旋变零点误差更新初始零点,包括以迭代方式重复执行以下步骤:控制电机运行在速度控制模式,并获取电机在速度控制模式下的直轴电压及交轴电压;基于直轴电压及交轴电压计算电机的旋变零位误差;利用本次迭代获得的旋变零点误差更新上次迭代更新后的初始零点。通过上述方式,本申请能够仅通过控制电机辨识出旋变零点,且不受延时偏差的影响。



1. 一种电机的旋变零点辨识方法,其特征在于,包括:

控制所述电机运行在电流控制模式,并获取所述电机在所述电流控制模式下的旋变零点作为所述电机的初始零点;

获取所述电机的旋变零点误差,并利用所述旋变零点误差更新所述初始零点,包括以迭代方式重复执行以下步骤:

控制所述电机运行在速度控制模式,并获取所述电机在所述速度控制模式下的直流电压及交轴电压;

基于所述直流电压及所述交轴电压计算所述电机的旋变零点误差;

利用本次迭代获得的所述旋变零点误差更新上次迭代更新后的所述初始零点。

2. 根据权利要求1所述的零点辨识方法,其特征在于,所述控制所述电机运行在速度控制模式下,并获取所述电机在所述速度控制模式下的直流电压及交轴电压,包括:

控制所述电机以第一预定转速正向旋转,并获取所述电机正向旋转时的第一直流电压及第一交轴电压;

控制所述电机以第二预定转速反向旋转,并获取所述电机反向旋转时的第二直流电压及第二交轴电压;

所述基于所述直流电压及所述交轴电压计算所述电机的旋变零点误差,包括:

基于所述第一直流电压、所述第一交轴电压、所述第二直流电压及所述第二交轴电压计算所述电机的旋变零点误差。

3. 根据权利要求2所述的零点辨识方法,其特征在于,所述基于所述第一直流电压、所述第一交轴电压、所述第二直流电压及所述第二交轴电压计算所述电机的旋变零点误差,包括:

获取所述第一交轴电压与所述第二交轴电压的第一差值,及获取所述第一直流电压与所述第二直流电压的第二差值;

计算所述第二差值与所述第一差值的比值的反正切值为所述电机的旋变零点误差。

4. 根据权利要求1所述的零点辨识方法,其特征在于,还包括:

响应于本次迭代对应的旋变零点误差与上一次迭代对应的旋变零点误差之间的差值的绝对值小于或等于误差阈值,则终止迭代。

5. 根据权利要求1所述的零点辨识方法,其特征在于,所述控制所述电机运行在电流控制模式,包括:

控制所述电机采用电流闭环模式工作,且设置所述电机的交轴电流给定值为零、直流电流给定值为额定值、坐标变换的角度给定值为零。

6. 根据权利要求2所述的零点辨识方法,其特征在于,所述控制所述电机以第一预定转速正向旋转,包括:

控制所述电机采用转速电流双闭环工作模式以第一预定转速正向旋转。

7. 根据权利要求6所述的零点辨识方法,其特征在于,所述控制所述电机以第二预定转速反向旋转,包括:

控制所述电机采用转速电流双闭环工作模式以第二预定转速反向旋转;

其中,所述第二预定转速与所述第一预定转速相同。

8. 根据权利要求1所述的零点辨识方法,其特征在于,所述利用本次迭代获得的所述旋

变零点误差更新上次迭代更新后的所述初始零点,包括:

获取上次迭代更新后的所述初始零点与本次迭代获得的所述旋变零点误差之间的差值;

利用所述差值更新上次迭代更新后的所述初始零点。

9. 一种电机的旋变零点辨识装置,其特征在于,包括:

电流传感器,用于采集所述电机的相电流;

旋变测量电路,用于测量所述电机的角度;

控制电路,分别与所述电流传感器及所述旋变测量电路连接,用于基于所述相电流及所述角度采用权利要求1至8任一项所述的旋变零点辨识方法对所述电机进行零点辨识。

10. 一种计算机存储介质,其特征在于,其内部存储有程序指令,所述程序指令被执行以实现权利要求1至8任一项所述的零点辨识方法。

一种电机的旋变零点辨识方法、装置及计算机存储介质

技术领域

[0001] 本申请涉及电机技术领域，具体涉及一种电机的旋变零点辨识方法、电机的旋变零点辨识装置及计算机存储介质。

背景技术

[0002] 目前，电机的控制方式有磁场定向控制，磁场定向控制能够实现电机转矩的高精度控制，但这一高精度控制依赖于准确的实时转子磁场角度。

[0003] 常见的电机位置传感器有编码器和旋转变压器。旋转变压器安装在电机轴上，由于安装偏差，旋转变压器的读数与电机的转子磁场角度往往并不一致，一般存在固定的偏差值，这一偏差称为旋变零点。只有确定了旋变零点，才能根据旋变零点获取电机实际的转子磁场角度，以用于磁场定向控制。如果转子磁场角度不准确，则磁场定向控制存在偏差，影响电机控制性能。尤其是高速弱磁区域的转矩控制对于角度误差十分敏感，不准确的转子磁场角度会降低电机的效率。

[0004] 现有的技术方案中存在对零点的辨识过程复杂、需要台架等专用设备、无法解耦出初始角度偏差和延时偏差的影响、难以应用于电机批量生产下线等问题。

发明内容

[0005] 本申请提出一种电机的旋变零点辨识方法、电机的旋变零点辨识装置及计算机存储介质，能够仅通过控制电机辨识出旋变零点，且不受延时偏差的影响。

[0006] 为解决上述技术问题，本申请采用的一个技术方案是：提供一种电机的旋变零点辨识方法，该旋变零点辨识方法包括：控制电机运行在电流控制模式，并获取电机在电流控制模式下的旋变零点作为电机的初始零点；获取电机的旋变零点误差，并利用旋变零点误差更新初始零点，包括以迭代方式重复执行以下步骤：控制电机运行在速度控制模式，并获取电机在速度控制模式下的直轴电压及交轴电压；基于直轴电压及交轴电压计算电机的旋变零点误差；利用本次迭代获得的旋变零点误差更新上次迭代更新后的初始零点。

[0007] 其中，控制电机运行在速度控制模式下，并获取电机在速度控制模式下的直轴电压及交轴电压，包括：控制电机以第一预定转速正向旋转，并获取电机正向旋转时的第一直轴电压及第一交轴电压；控制电机以第二预定转速反向旋转，并获取电机反向旋转时的第二直轴电压及第二交轴电压；基于直轴电压及交轴电压计算电机的旋变零点误差，包括：基于第一直轴电压、第一交轴电压、第二直轴电压及第二交轴电压计算电机的旋变零点误差。

[0008] 其中，基于第一直轴电压、第一交轴电压、第二直轴电压及第二交轴电压计算电机的旋变零点误差，包括：获取第一交轴电压与第二交轴电压的第一差值，及获取第一直轴电压与第二直轴电压的第二差值；计算第二差值与第一差值的比值的反正切值为电机的旋变零点误差。

[0009] 其中，零点辨识方法还包括：响应于本次迭代对应的旋变零点误差与上一次迭代对应的旋变零点误差之间的差值的绝对值小于或等于误差阈值，则终止迭代。

[0010] 其中,控制电机运行在电流控制模式,包括:控制电机采用电流闭环模式工作,且设置电机的交轴电流给定值为零、直轴电流给定值为额定值、坐标变换的角度给定值为零。

[0011] 其中,控制电机以第一预定转速正向旋转,包括:控制电机采用转速电流双闭环工作模式以第一预定转速正向旋转。

[0012] 其中,控制电机以第二预定转速反向旋转,包括:控制电机采用转速电流双闭环工作模式以第二预定转速反向旋转;其中,第二预定转速与第一预定转速相同。

[0013] 其中,利用本次迭代获得的旋变零点误差更新上次迭代更新后的初始零点,包括:获取上次迭代更新后的初始零点与本次迭代获得的旋变零点误差之间的差值;利用差值更新上次迭代更新后的初始零点。

[0014] 为解决上述技术问题,本申请采用的另一个技术方案是:提供一种电机的旋变零点辨识装置,该旋变零点辨识装置包括:电流传感器,用于采集电机的相电流;旋变测量电路,用于测量电机的角度;控制电路,分别与电流传感器及旋变测量电路连接,用于基于相电流及角度采用上述任一项的零点辨识方法对电机进行零点辨识。

[0015] 为解决上述技术问题,本申请采用的另一个技术方案是:提供了一种计算机可读存储介质,其内部存储有程序指令,程序指令被执行以实现上述任一项的旋变零点辨识方法。

[0016] 本申请的有益效果是:区别于现有技术的情况,本申请控制电机运行在电流控制模式,并获取电机在电流控制模式下的旋变零点作为电机的初始零点;获取电机的旋变零点误差,并利用旋变零点误差更新初始零点,包括以迭代方式重复执行以下步骤:控制电机运行在速度控制模式,并获取电机在速度控制模式下的直轴电压及交轴电压;基于直轴电压及交轴电压计算电机的旋变零点误差;利用本次迭代获得的旋变零点误差更新上次迭代更新后的初始零点。通过这种方式,当对旋变零点进行辨识时,控制电机运行在电流控制模式,获取电机在电流控制模式下的旋变零点作为电机的初始零点,然后通过迭代方式获取电机的旋变零点误差,并利用旋变零点误差更新初始零点,以获得旋变零点。因此,本申请仅需要控制电机就能辨识出旋变零点,无需依赖外部设备,结构简单,成本低,且本申请的旋变零点辨识方法过程简单,不受延时偏差的影响,能够提高旋变零点辨识的精准度。

附图说明

[0017] 图1是本申请一实施例的电机的旋变零点辨识方法的流程示意图;

[0018] 图2是图1实施例中步骤S13及步骤S14的具体流程示意图;

[0019] 图3是图2实施例中步骤S23的具体流程示意图;

[0020] 图4是图1实施例中步骤S15的具体流程示意图;

[0021] 图5是本申请电机的旋变零点辨识装置一实施例的结构示意图;

[0022] 图6是图5实施例旋变零点辨识装置一实施例的具体电路结构示意图;

[0023] 图7是图5实施例中旋变测量电路的具体实施方法的同步旋转坐标系图;

[0024] 图8是图5实施例旋变零点辨识装置的具体工作流程示意图;

[0025] 图9是本申请一实施例的计算机可读存储介质的结构示意图。

具体实施方式

[0026] 下面将结合本申请实施例中的附图,对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅是本申请的一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本申请保护的范围。

[0027] 本申请首先提出了一种电机的旋变零点辨识方法,如图1所示,图1是本申请一实施例的电机的旋变零点辨识方法的流程示意图。本实施例电机的旋变零点辨识方法具体包括以下步骤:

[0028] 步骤S11:控制电机运行在电流控制模式,并获取电机在电流控制模式下的旋变零点作为电机的初始零点。

[0029] 可选地,本实施例中控制电机运行在电流控制模式包括:控制电机采用电流闭环模式工作,且设置电机的交轴电流给定值为零、直轴电流给定值为额定值、坐标变换的角度给定值为零。

[0030] 例如,使用控制电路,可以是电机控制器控制电机采用电流闭环模式工作,此时,电机处于预定阶段,采用电流闭环控制,使电机运行在电流控制模式下。令直轴,即d轴电流给定值为额定值,交轴,即q轴电流给定值为0,坐标变换的角度给定值为0,将电机预定位在0度;电机定位后,记录此时的旋变读数为 $\theta_{\text{offset}}(0)$,旋变零点误差 $\theta_{\text{err}}(0)$,将此时的旋变读数作为初始零点,即电机的初始零点。

[0031] 步骤S12:获取电机的旋变零点误差,并利用旋变零点误差更新初始零点。

[0032] 获取电机在速度控制模式下的d轴电压及q轴电压,由d轴电压及q轴电压计算出旋变零点误差,利用计算得出的旋变零点误差更新初始零点数据。

[0033] 本实施例采用包括以迭代方式重复执行实现步骤S12,本实施例的方法具体包括步骤S13至步骤S15。

[0034] 步骤S13:控制电机运行在速度控制模式,并获取电机在速度控制模式下的直轴电压及交轴电压。

[0035] 可选地,本实施例可以采用图2中步骤S21和步骤S22实现步骤S13。

[0036] 步骤S21:控制电机以第一预定转速正向旋转,并获取电机正向旋转时的第一直轴电压及第一交轴电压。

[0037] 可选地,本实施例中控制电机以第一预定转速正向旋转包括:控制电机采用转速电流双闭环工作模式以第一预定转速正向旋转。

[0038] 其中,转速电流双闭环工作模式能够使转速和电流两种负反馈分别起作用,通过在电路中设置两个调节器,分别引入转速负反馈和电流负反馈以调节转速和电流,二者之间实行嵌套,能够保证电机运行的快速性及稳定性。

[0039] 例如,旋变零点设定为 $\theta_{\text{offset}}(0)$ 或经过k次迭代后的值 $\theta_{\text{offset}}(k)$,控制电机采用转速电流双闭环控制,d轴电流给定值为0,控制电机以第一预定转速n正向旋转。当第一预定转速为n时,d轴电压记录为 u_d^+ ,q轴电压记录为 u_q^+ ,d轴电压 u_d^+ 及q轴电压 u_q^+ 从电流调节器的输出端获得,并进行存储。d轴电压 u_d^+ 即电机正向旋转时的第一直轴电压,q轴电压 u_q^+ 即电机正向旋转时的第一交轴电压。

[0040] 步骤S22:控制电机以第二预定转速反向旋转,并获取电机反向旋转时的第二直轴

电压及第二交轴电压。

[0041] 例如,旋变零点设定为 $\theta_{\text{offset}}(0)$ 或经过k次迭代后的值 $\theta_{\text{offset}}(k)$,电机采用转速电流双闭环控制,d轴电流参考值给定为0,控制电机以第二预定转速反向旋转,当第二预定转速为-n时,d轴电压记录为 u_d^- ,q轴电压记录为 u_q^- ,d轴电压及q轴电压从电流调节器的输出端获得,并进行存储。d轴电压 u_d^- 即电机反向旋转时的第二直轴电压,q轴电压 u_q^- 即电机反向旋转时的第二交轴电压。

[0042] 基于步骤S21及步骤S22获取的电机正向旋转时的第一直轴电压、第一交轴电压及电机反向旋转时的第二直轴电压、第二交轴电压来计算电机的旋变零点误差。

[0043] 可选地,本实施例中控制电机以第二预定转速反向旋转包括:控制电机采用转速电流双闭环工作模式以第二预定转速反向旋转;其中,第二预定转速与第一预定转速相同。

[0044] 例如,控制电机采用转速电流双闭环控制,d轴电流给定为0,控制电机以第二预定转速-n反向旋转,能够得到d轴电压 u_d^- 及q轴电压 u_q^- ,并对d轴电压 u_d^- 及q轴电压 u_q^- 进行记录。其中,第二预定转速与第一预定转速相同。

[0045] 步骤S14:基于直轴电压及交轴电压计算电机的旋变零点误差。

[0046] 可选地,本实施例可以利用图2中步骤S23实现步骤S14。

[0047] 步骤S23:基于直轴电压及交轴电压计算电机的旋变零点误差,包括:基于第一直轴电压、第一交轴电压、第二直轴电压及第二交轴电压计算电机的旋变零点误差。

[0048] 可选地,本实施例可以采用图3所示的方法实现步骤S23,本实施例的方法具体包括步骤S31至步骤S32。

[0049] 步骤S31:获取第一交轴电压与第二交轴电压的第一差值,及获取第一直轴电压与第二直轴电压的第二差值。

[0050] 例如,电机正向旋转时的第一直轴电压为d轴电压 u_d^+ ,电机正向旋转时的第一交轴电压为q轴电压 u_q^+ ,电机反向旋转时的第二直轴电压为d轴电压 u_d^- ,电机反向旋转时的第二交轴电压为q轴电压 u_q^- 。第一交轴电压与第二交轴电压的第一差值为电机正向旋转时的第一交轴电压与电机反向旋转时的第二交轴电压的差值,即q轴电压与q轴电压 u_q^- 的差值。第一直轴电压与第二直轴电压的第二差值为电机正向旋转时的第一直轴电压与电机反向旋转时的第二直轴电压的差值,即d轴电压 u_d^+ 与d轴电压 u_d^- 的差值。

[0051] 步骤S32:计算第二差值与第一差值的比值的反正切值为电机的旋变零点误差。

[0052] 例如,第一差值为q轴电压 u_q^+ 与q轴电压 u_q^- 的差值 $u_q^+ - u_q^-$,第二差值为d轴电压 u_d^+ 与d轴电压 u_d^- 的差值 $u_d^+ - u_d^-$,则计算第二差值 $u_d^+ - u_d^-$ 与第一差值 $u_q^+ - u_q^-$ 的比值的反正切值,即电机的旋变零点误差。计算旋变零点误差具体参照如下式子:

$$[0053] \quad \theta_{\text{err}}(k) = \arctan \frac{u_d^+ - u_d^-}{u_q^+ - u_q^-}$$

[0054] 其中, $\theta_{\text{err}}(k)$ 为第k次迭代获取的旋变零点误差。

[0055] 步骤S15:利用本次迭代获得的旋变零点误差更新上次迭代更新后的初始零点。

[0056] 可选地,本实施例可以采用图4所示的方法实现步骤S15,本实施例的方法具体包括步骤S41至步骤S42。

[0057] 步骤S41:获取上次迭代更新后的初始零点与本次迭代获得的旋变零点误差之间的差值。

[0058] 例如,上次迭代的更新后的初始零点为 $\theta_{\text{offset}}(k-1)$,本次迭代获得的旋变零点误差为 $\theta_{\text{err}}(k)$,获取上次迭代更新后的初始零点 $\theta_{\text{offset}}(k-1)$ 与本次迭代获得的旋变零点误差 $\theta_{\text{err}}(k)$ 的差值 $\theta_{\text{offset}}(k-1) - \theta_{\text{err}}(k)$ 。

[0059] $\theta_{\text{offset}}(k) = \theta_{\text{offset}}(k-1) - \theta_{\text{err}}(k)$

[0060] 步骤S42:利用差值更新上次迭代更新后的初始零点。

[0061] 例如,差值为 $\theta_{\text{offset}}(k-1) - \theta_{\text{err}}(k)$,上次迭代更新后的初始零点为 $\theta_{\text{offset}}(k-1)$,本次迭代更新后的初始零点为 $\theta_{\text{offset}}(k)$,利用该差值更新上次迭代更新后的初始零点 $\theta_{\text{offset}}(k-1)$,能够得到本次迭代更新后的初始零点为 $\theta_{\text{offset}}(k)$ 。

[0062] 区别于现有技术的情况,本申请控制电机运行在电流控制模式,并获取电机在电流控制模式下的旋变零点作为电机的初始零点;获取电机的旋变零点误差,并利用旋变零点误差更新初始零点,包括以迭代方式重复执行以下步骤:控制电机运行在速度控制模式,并获取电机在速度控制模式下的直轴电压及交轴电压;基于直轴电压及交轴电压计算电机的旋变零点误差;利用本次迭代获得的旋变零点误差更新上次迭代更新后的初始零点。通过这种方式,当对旋变零点进行辨识时,能够控制电机运行在电流控制模式,获取电机在电流控制模式下的旋变零点作为电机的初始零点,然后通过迭代方式获取电机的旋变零点误差,并利用旋变零点误差更新初始零点,以获得旋变零点。因此,本申请仅需要控制电机就能辨识出旋变零点,无需依赖外部设备,结构简单,成本低,且本申请的旋变零点辨识方法过程简单,不受延时偏差的影响,能够提高旋变零点辨识的精准度。

[0063] 可选地,本实施例中旋变零点辨识方法进一步包括:响应于本次迭代对应的旋变零点误差与上一次迭代对应的旋变零点误差之间的差值的绝对值小于或等于误差阈值,则终止迭代。

[0064] 若本次迭代对应的旋变零点误差与上一次迭代对应的旋变零点误差之间的差值的绝对值小于或等于误差阈值,则终止迭代。

[0065] 例如,本次迭代对应的旋变零点误差为 $\theta_{\text{err}}(k)$,上一次迭代对应的旋变零点误差为 $\theta_{\text{err}}(k-1)$,误差阈值为 $\Delta\theta_{\text{TH}}$,本次迭代对应的旋变零点误差 $\theta_{\text{err}}(k)$ 与上一次迭代对应的旋变零点误差 $\theta_{\text{err}}(k-1)$ 的差值的绝对值为 $|\theta_{\text{err}}(k) - \theta_{\text{err}}(k-1)|$ 。若 $|\theta_{\text{err}}(k) - \theta_{\text{err}}(k-1)|$ 小于或等于误差阈值,则终止迭代,通过迭代获得的获得的 $\theta_{\text{offset}}(k)$ 作为最终辨识出的旋变零点,此时,获得最终的旋变零点误差为本次迭代对应的旋变零点误差 $\theta_{\text{err}}(k)$,依据最终的旋变零点误差能够计算最终的旋变零点数据。若 $|\theta_{\text{err}}(k) - \theta_{\text{err}}(k-1)|$ 大于误差阈值,则将获得的 $\theta_{\text{offset}}(k)$ 用于重复上述步骤S13~S14,重复进行旋变零点辨识。

[0066] 本申请进一步提出一种电机的旋变零点辨识装置,如图5所示,图5是本申请电机的旋变零点辨识装置一实施例的结构示意图。本实施例的旋变零点辨识装置包括:

[0067] 电流传感器51,用于采集电机52的相电流;旋变测量电路53,用于测量电机52的角度;控制电路54,分别与电流传感器51及旋变测量电路53连接,用于基于相电流及角度采用上述旋变零点辨识方法对电机52进行旋变零点辨识。本实施例的旋变零点辨识装置可以用于实现上述旋变零点辨识方法。

[0068] 其中,电机52由电机控制器驱动,驱动系统包括电流传感器51、旋变测量电路53及控制电路54。电机52的输出端与电流传感器51的输入端及旋变测量电路53的输入端连接。电流传感器51的输入端采集电机52传输的相电流,其输出端传输相电流至控制电路54的输

入端。旋变测量电路53的输入端接收电机52输出的信号,并对该信号进行计算,获得测量得到的电机角度并输出至控制电路54的输入端。控制电路54分别与电流传感器51及旋变测量电路53连接,获取电流传感器51输出的相电流及旋变测量电路53输出的电机角度,采用上述旋变零点辨识方法,能够对电机52进行旋变零点辨识,获取电机52的旋变零点位置。

[0069] 在一应用场景中,如图6所示,图6是图5实施例旋变零点辨识装置一实施例的具体电路结构示意图,本实施例的旋变零点辨识装置包括电流传感器51、旋变解码电路(即上述旋变测量电路53)、微控制器(即上述控制电路54)。

[0070] 其中,逆变器55的主要功能是将直流电转换为交流电,逆变器55可以配备三重变压器组,可以满足对电压要求更高的负载,输出信号稳定且输出频率范围宽,能够用于工业领域的大功率装置。逆变器55输出三路相电流至电机52,电流传感器51采集三路相电流分别为 i_A 、 i_B 及 i_C ,并传输至微控制器,电机52接收逆变器55的信号并进行工作,旋变解码电路测量电机52的角度,并将测量得到的电机角度传输至微控制器。微控制器获取电流传感器51输出的相电流及旋变解码电路输出的电机角度,采用上述旋变零点辨识方法,能够对电机52进行旋变零点辨识,获取电机52的旋变零点位置。微控制器将信号Q1~Q6传输至逆变器55。

[0071] 在一应用场景中,如图7所示,图7是图5实施例中旋变测量电路的具体实施方法的同步旋转坐标系图。本实施例的旋变测量电路53利用同步旋转坐标系对应旋转工况,以此来确定旋变零点的误差。

[0072] 其中, α 表示旋变零点的误差, β 表示由于传感器延时带来的角度误差,且 $\beta = \omega * T_{\text{delay}}$, ω 代表电机52的转速, T_{delay} 代表延时,d-q坐标系为电机52实际的同步旋转坐标系。一般地,此延时与闭环系统耦合,难以直接准确获取; d^0-q^0 坐标系为仅考虑误差 α 的同步旋转坐标系,此时对应静止工况; d^+-q^+ 坐标系为考虑误差 α 和 β 的同步旋转坐标系,此时对应正向旋转工况; d^-q^- 坐标系为考虑误差 α 和 β 的同步旋转坐标系,此时对应反向旋转工况。

[0073] 当电机52正转时,转速为 $\omega^+ = \omega$,在 $i_d = 0$ 的控制方式下,设 d^+-q^+ 坐标系中的q轴电流幅值为 I_q ,那么实际d-q轴的电流为:

$$[0074] \quad i_d = -I_q \sin(\alpha + \beta)$$

$$[0075] \quad i_q = I_q \cos(\alpha + \beta)$$

[0076] 代入电压方程,得到实际坐标系的d-q轴电压:

$$[0077] \quad u_d = R_s i_d - \omega^+ L_q i_q = -I_q R_s \sin(\alpha + \beta) - \omega^+ I_q L_q \cos(\alpha + \beta)$$

$$[0078] \quad u_q = R_s i_q + \omega^+ (L_d i_d + \psi_f) = I_q R_s \cos(\alpha + \beta) + \omega^+ [-I_q L_d \sin(\alpha + \beta) + \psi_f]$$

[0079] 式中, R_s 、 L_d 、 L_q 和 ψ_f 分别为定子电阻、d轴电感、q轴电感和永磁体磁链。

[0080] 通过坐标系转换得到 d^+-q^+ 坐标系的d-q轴电压为:

$$[0081] \quad u_d^+ = u_d \cos(\alpha + \beta) + u_q \sin(\alpha + \beta) = \omega^+ \psi_f \sin(\alpha + \beta) - \omega^+ I_q [L_q \cos^2(\alpha + \beta) + L_d \sin^2(\alpha + \beta)]$$

$$[0082] \quad u_q^+ = -u_d \sin(\alpha + \beta) + u_q \cos(\alpha + \beta) = \omega^+ \psi_f \cos(\alpha + \beta) + \omega^+ I_q (L_q - L_d) / 2 * \sin[2(\alpha + \beta)] + R_s I_q$$

[0083] 当电机52反转时,转速 $\omega^- = -\omega^+ = -\omega$,在 $i_d = 0$ 的控制方式下,电机52空载,正反转至相同转速时,需要的q轴电流大小基本相同,因此可设 d^-q^- 坐标系中的q轴电流幅值与正转时一致,均为 I_q ,那么可类似得到 d^-q^- 坐标系的dq轴电压为:

$$[0084] \quad u_d^- = u_d \cos(\alpha - \beta) + u_q \sin(\alpha - \beta) = \omega^- \psi_f \sin(\alpha - \beta) + \omega^- I_q [L_q \cos^2(\alpha - \beta) + L_d \sin^2(\alpha - \beta)]$$

[0085] $u_q^- = -u_d \sin(\alpha - \beta) + u_q \cos(\alpha - \beta) = \omega^- \psi_f \cos(\alpha - \beta) + \omega^- I_q (L_q - L_d) / 2 * \sin[2(\alpha - \beta)] - R_s I_q$

[0086] 电压差值为:

[0087] $\Delta u_d = u_d^+ - u_d^- = 2 \omega \psi_f \sin \alpha \cos \beta + \omega I_q (L_q - L_d) \sin 2\alpha \sin 2\beta$

[0088] $\Delta u_q = u_q^+ - u_q^- = 2 \omega \psi_f \cos \alpha \cos \beta + \omega I_q (L_q - L_d) \cos 2\alpha \sin 2\beta + 2 I_q R_s$

[0089] 由于电机52的电感值较低,且空载时电流较小,所以可以只考虑第一项时,得到:

[0090] $\alpha = \arctan(\Delta u_d / \Delta u_q)$

[0091] 其中, α 值为旋变零点的误差。

[0092] 在一应用场景中,如图8所示,图8是图5实施例旋变零点辨识装置的具体工作流程示意图,本实施例的旋变零点辨识装置具体工作流程包括:

[0093] S1:预定位。

[0094] 例如,使用电机控制器控制电机52运行,此时,电机52处于预定位阶段,采用电流闭环控制,使电机52运行在电流控制模式下。令d轴电流给定为额定值,q轴电流参考值给定为0,坐标变换的角度给定为0,将电机52预定位在0度,记录此时的旋变读数为 $\theta_{offset}(0)$,旋变零点误差 $\theta_{err}(0)$,将此时的旋变读数作为初始零点,即电机52的初始零点。

[0095] S2:电机正转,记录dq轴电压。

[0096] 例如,旋变零点设定为 $\theta_{offset}(0)$ 或经过k次迭代后的值 $\theta_{offset}(k)$,电机52采用转速电流双闭环控制,d轴电流参考值给定为0,控制电机52以正转转速正向旋转。当正转转速为n时,d轴电压记录为 u_d^+ ,q轴电压记录为 u_q^+ ,d轴电压及q轴电压从电流调节器的输出端获得,并进行存储。

[0097] S3:电机反转,记录dq轴电压。

[0098] 例如,旋变零点设定为 $\theta_{offset}(0)$ 或经过k次迭代后的值 $\theta_{offset}(k)$,电机52采用转速电流双闭环控制,d轴电流参考值给定为0,控制电机52以反转转速反向旋转,当反转转速为-n时,d轴电压记录为 u_d^- ,q轴电压记录为 u_q^- ,d轴电压及q轴电压从电流调节器的输出端获得,并进行存储。

[0099] S4:计算旋变零点误差 $\theta_{err}(k)$,更新旋变零点位置 $\theta_{offset}(k)$ 。

[0100] 例如,q轴电压 u_q^+ 与q轴电压 u_q^- 的第一差值为 $u_q^+ - u_q^-$,d轴电压 u_d^+ 与d轴电压 u_d^- 的第二差值为 $u_d^+ - u_d^-$,则计算第一差值 $u_q^+ - u_q^-$ 与第二差值 $u_d^+ - u_d^-$ 的比值的反正切值,即电机52的旋变零点误差 $\theta_{err}(k)$ 。利用旋变零点误差 $\theta_{err}(k)$ 获得更新后的旋变零点 $\theta_{offset}(k)$ 。

[0101] S5:判断 $|\theta_{err}(k) - \theta_{err}(k-1)| < \Delta \theta_{TH}$ 是否满足条件。

[0102] 例如,上一次迭代对应的旋变零点误差为 $\theta_{err}(k-1)$,本次迭代获得的零点误差为 $\theta_{err}(k)$,若 $|\theta_{err}(k) - \theta_{err}(k-1)|$ 小于或等于误差阈值 $\Delta \theta_{TH}$,则满足条件,跳至步骤S6。若 $|\theta_{err}(k) - \theta_{err}(k-1)|$ 大于误差阈值 $\Delta \theta_{TH}$,则不满足条件,跳至步骤S2。

[0103] S6:存储零点位置。

[0104] 满足 $|\theta_{err}(k) - \theta_{err}(k-1)| < \Delta \theta_{TH}$,则获取旋变零点 $\theta_{offset}(k)$,将旋变零点 $\theta_{offset}(k)$ 进行存储,存储旋变零点 $\theta_{offset}(k)$ 后,结束。

[0105] 本实施例的旋变零点辨识装置使用的旋变零点辨识方法对旋变零点进行辨识的过程简单,不受延时偏差的影响,能够获取旋变零点,且能够提高旋变零点辨识的精准度。

[0106] 本申请进一步提出一种计算机可读存储介质。如图9所示,图9是本申请计算机可

读存储介质一实施例的结构示意图。本申请实施例的计算机可读存储介质900内部存储有程序指令910,程序指令910被执行以实现上述电机的零点辨识方法。

[0107] 其中,程序指令910可以形成程序文件以软件产品的形式存储在上述存储介质中,以使得一台电子设备(可以是个人计算机,服务器,或者网络设备等)或处理器(processor)执行本申请各个实施方式方法的全部或部分步骤。而前述的存储介质包括:U盘、移动硬盘、只读存储器(ROM,Read-Only Memory)、随机存取存储器(RAM,Random Access Memory)、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质,或者是计算机、服务器、手机、平板等终端设备。

[0108] 本实施例计算机可读存储介质900可以是但不局限于U盘、SD卡、PD光驱、移动硬盘、大容量软驱、闪存、多媒体记忆卡、服务器等。

[0109] 在一个实施例中,提供了一种计算机程序产品或计算机程序,该计算机程序产品或计算机程序包括计算机指令,该计算机指令存储在计算机可读存储介质中。电子设备的处理器从计算机可读存储介质读取该计算机指令,处理器执行该计算机指令,使得该电子设备执行上述各方法实施例中的步骤。

[0110] 另外,上述功能如果以软件功能的形式实现并作为独立产品销售或使用,可存储在一个移动终端可读取存储介质中,即,本申请还提供一种存储有程序数据的存储装置,所述程序数据能够被执行以实现上述实施例的方法,该存储装置可以为如U盘、光盘、服务器等。也就是说,本申请可以以软件产品的形式体现出来,其包括若干指令用以使得一台智能终端执行各个实施例所述方法的全部或部分步骤。

[0111] 此外,术语“第一”、“第二”仅用于描述目的,而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。由此,限定有“第一”、“第二”的特征可以明示或者隐含地包括至少一个该特征。在本申请的描述中,“多个”的含义是至少两个,例如两个,三个等,除非另有明确具体的限定。

[0112] 流程图中或在此以其他方式描述的任何过程或方法描述可以被理解为,表示包括一个或更多个用于实现特定逻辑功能或过程的步骤的可执行指令的代码的机构、片段或部分,并且本申请的优选实施方式的范围包括另外的实现,其中可以不按所示出或讨论的顺序,包括根据所涉及的功能按基本同时的方式或按相反的顺序,来执行功能,这应被本申请的实施例所属技术领域的技术人员所理解。

[0113] 在流程图中表示或在此以其他方式描述的逻辑和/或步骤,例如,可以被认为是用于实现逻辑功能的可执行指令的定序列列表,可以具体实现在任何计算机可读介质中,以供指令执行系统、装置或设备(可以是个人计算机,服务器,网络设备或其他可以从指令执行系统、装置或设备取指令并执行指令的系统)使用,或结合这些指令执行系统、装置或设备而使用。就本说明书而言,“计算机可读介质”可以是任何可以包含、存储、通信、传播或传输程序以供指令执行系统、装置或设备或结合这些指令执行系统、装置或设备而使用的装置。计算机可读介质的更具体的示例(非穷尽性列表)包括以下:具有一个或多个布线的电连接部(电子装置),便携式计算机盘盒(磁装置),随机存取存储器(RAM),只读存储器(ROM),可擦除可编程只读存储器(EPROM或闪速存储器),光纤装置,以及便携式光盘只读存储器(CDROM)。另外,计算机可读介质甚至可以是可在其上打印所述程序的纸或其他合适的介质,因为可以例如通过对纸或其他介质进行光学扫描,接着进行编辑、解译或必要时以其他

合适方式进行处理来以电子方式获得所述程序,然后将其存储在计算机存储器中。

[0114] 以上所述仅为本申请的实施例,并非因此限制本申请的专利范围,凡是利用本申请说明书及附图内容所作的等效结构或等效流程变换,或直接或间接运用在其他相关的技术领域,均同理包括在本申请的专利保护范围内。

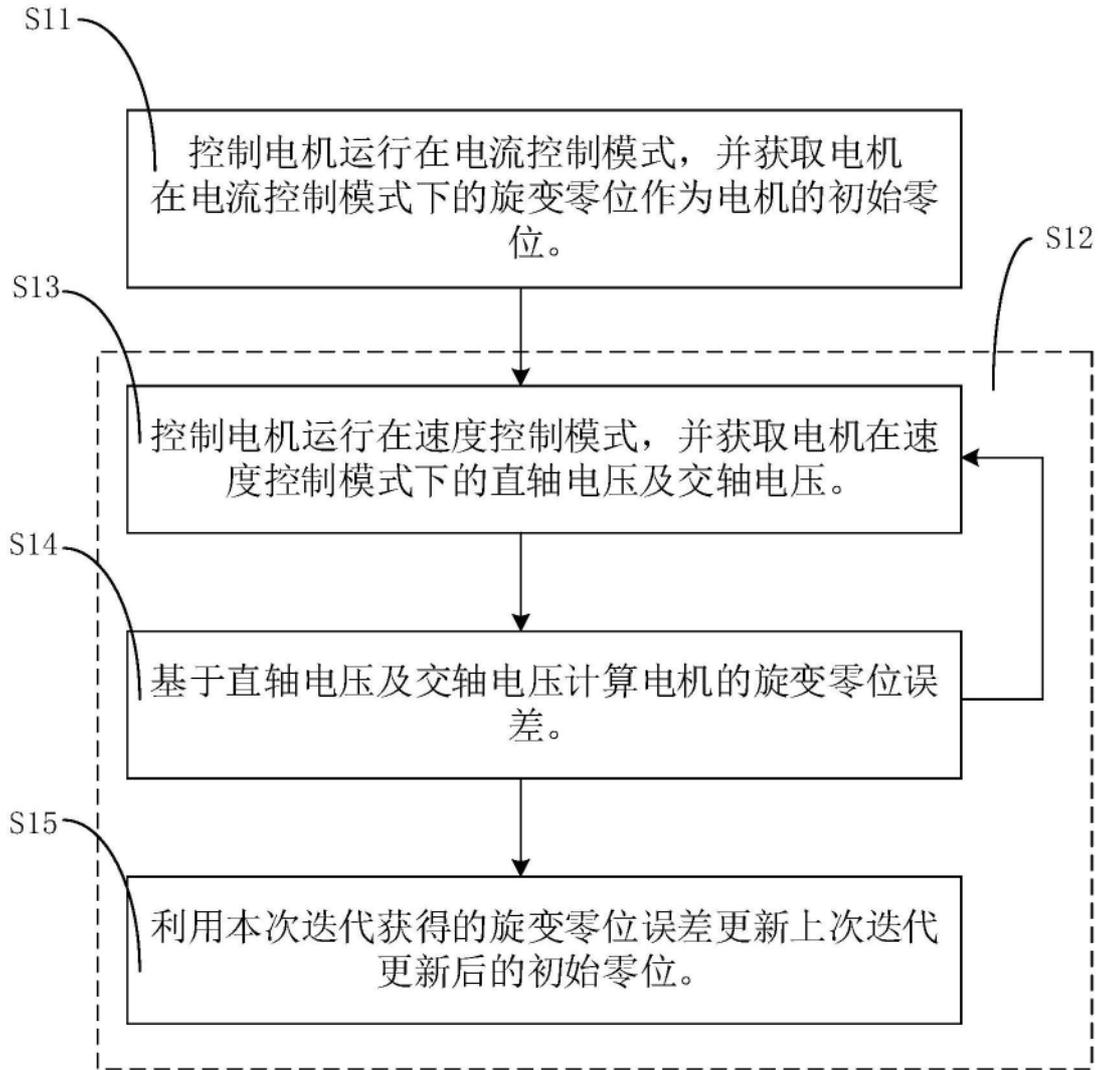


图1

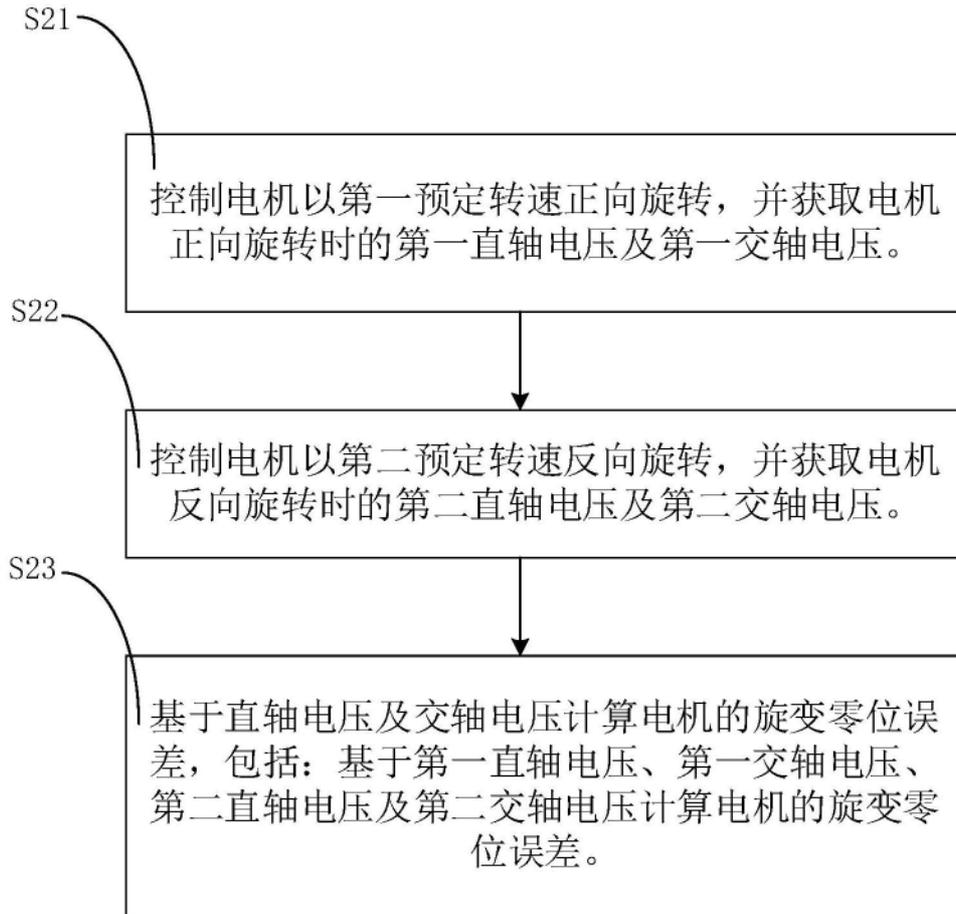


图2

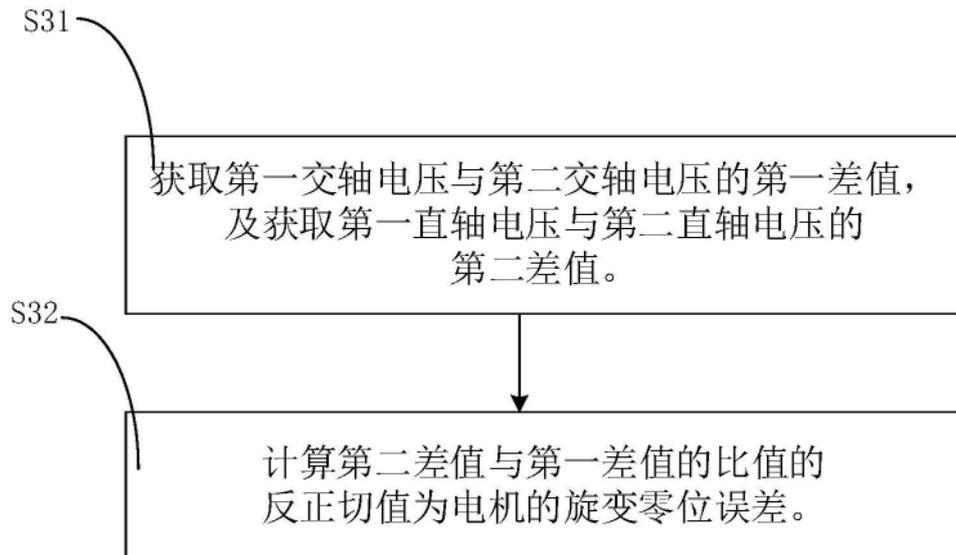


图3

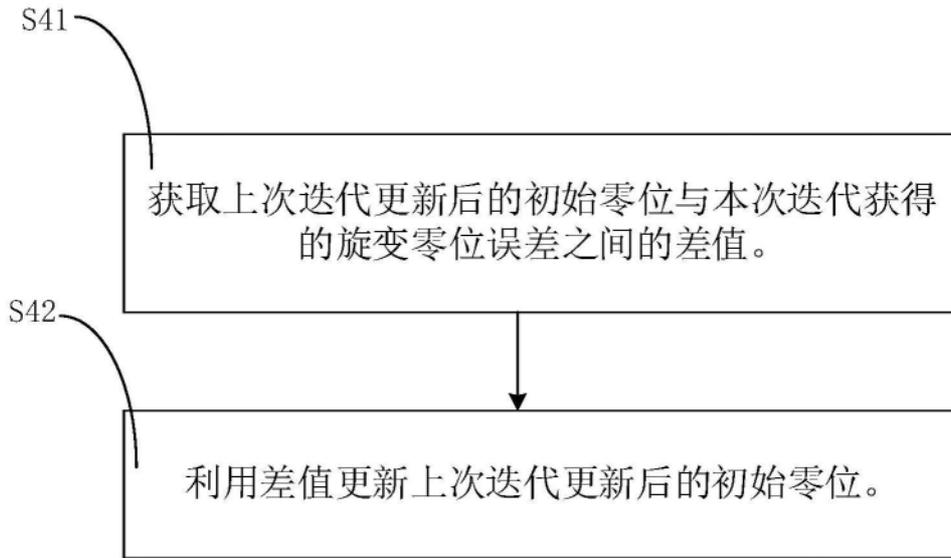


图4

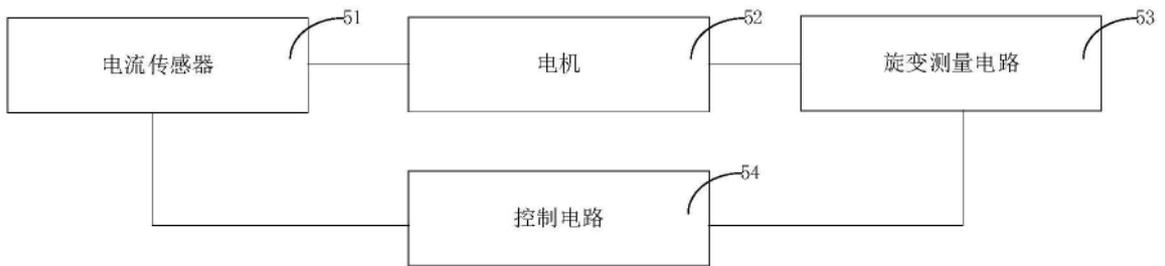


图5

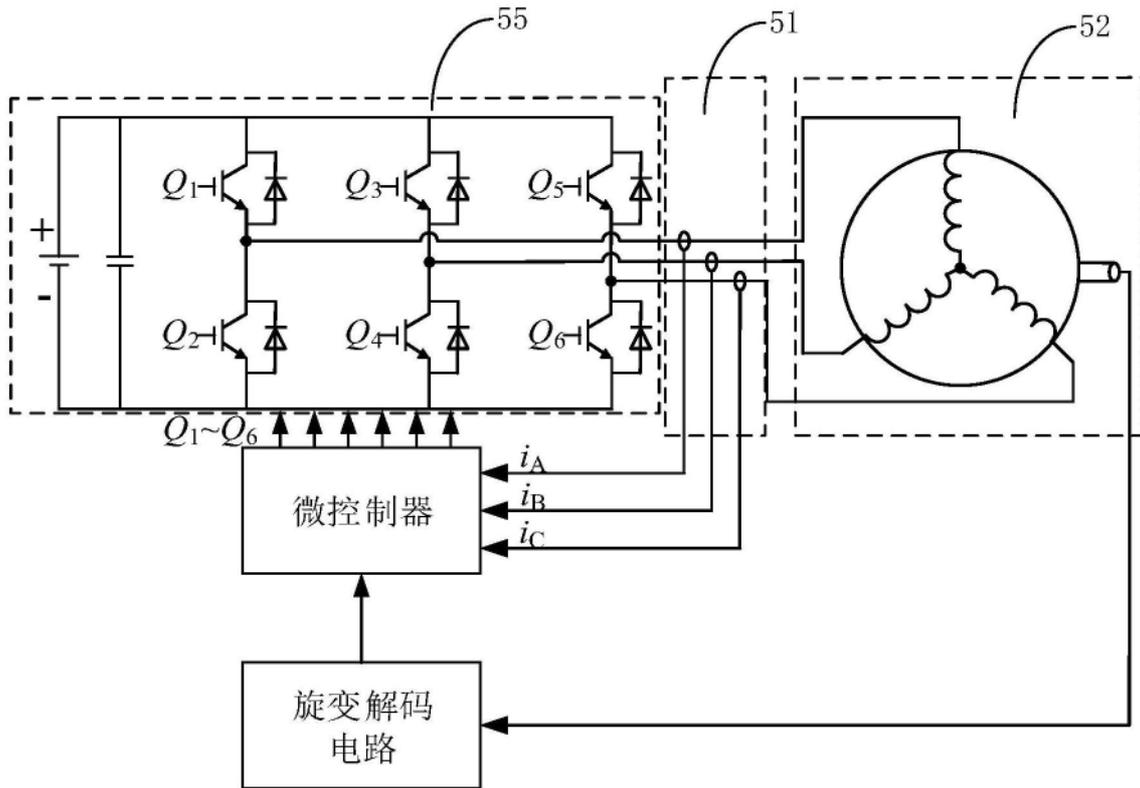


图6

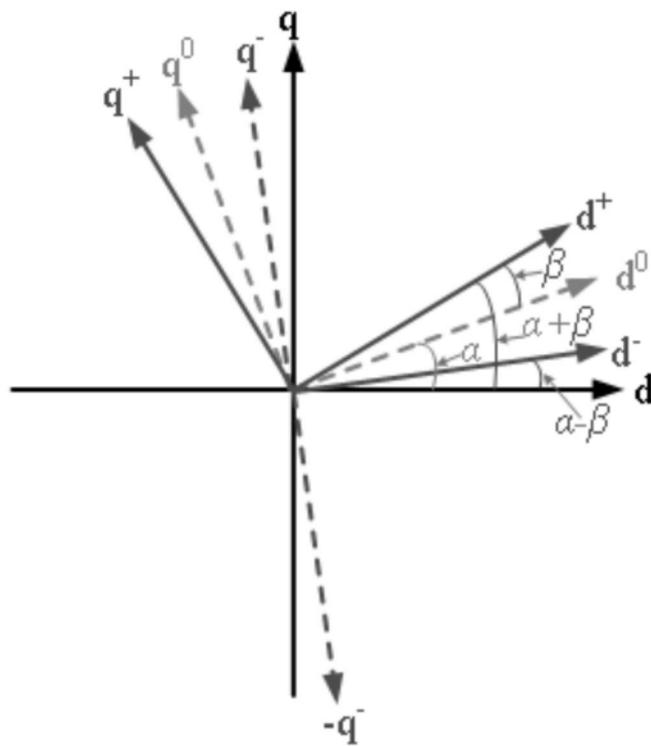


图7

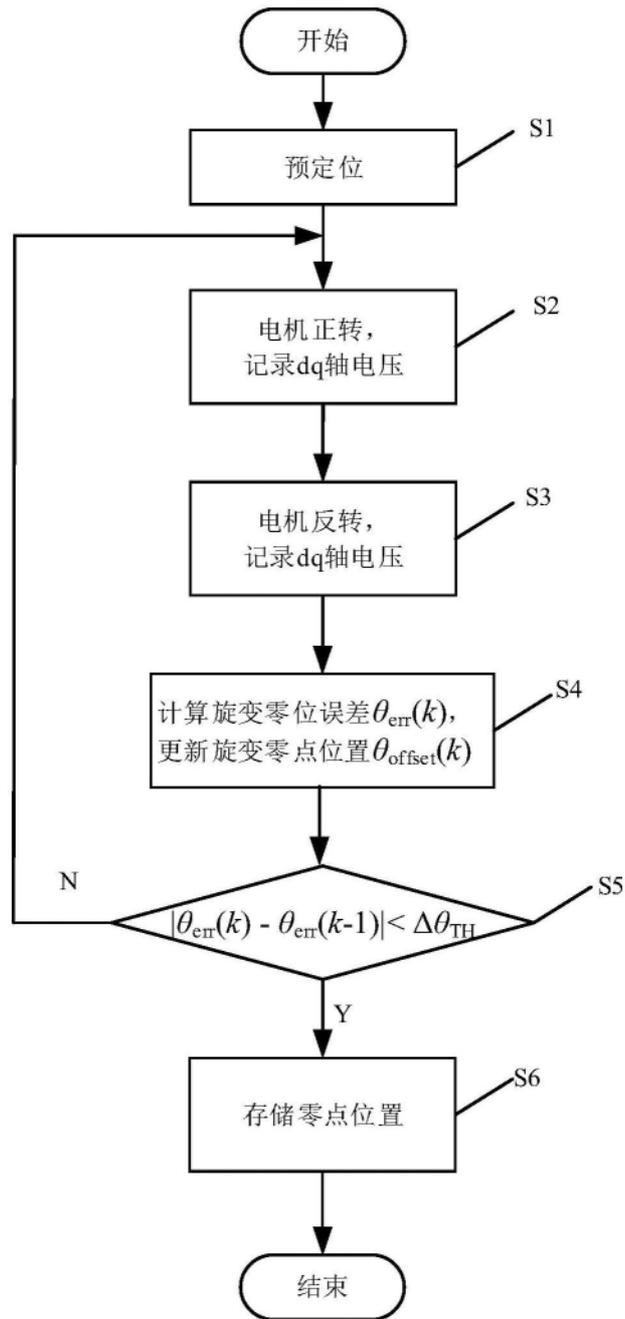


图8

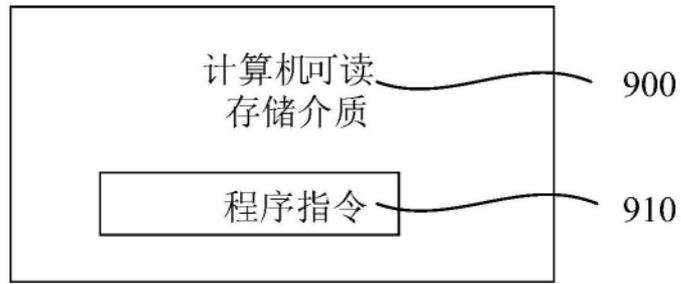


图9