



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104811102 B

(45)授权公告日 2018.02.02

(21)申请号 201410033555.6

(22)申请日 2014.01.23

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104811102 A

(43)申请公布日 2015.07.29

(73)专利权人 广东美的制冷设备有限公司

地址 528311 广东省佛山市顺德区北滘镇
美的工业城东区制冷综合楼

(72)发明人 杨辉

(74)专利代理机构 北京清亦华知识产权代理事
务所(普通合伙) 11201

代理人 张大威

(51)Int.Cl.

H02P 6/08(2016.01)

H02P 6/182(2016.01)

(56)对比文件

CN 103178769 A, 2013.06.26,

CN 103178769 A, 2013.06.26,

CN 103248306 A, 2013.08.14,

CN 103532465 A, 2014.01.22,

US 2010060210 A1, 2010.03.11,

CN 103066913 A, 2013.04.24,

吴家彪. 伺服系统永磁同步电机参数辨识策略.《轻工机械》.2013,第31卷(第6期),第45-50页.

审查员 余雯雯

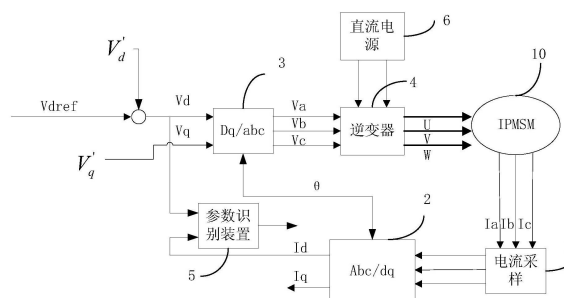
权利要求书4页 说明书13页 附图7页

(54)发明名称

永磁同步电机的控制系统及参数识别方法

(57)摘要

本发明提出一种永磁同步电机的控制系统,包括:电流采样模块,用于采样三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c ;第一坐标转换模块,在电角度为0时对三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c 进行坐标转换以获得直轴电流 I_d 和交轴电流 I_q ;第二坐标转换模块,在电角度为0时对直轴电压 V_d 和交轴电压 V_q 进行坐标转换以获得三相参考电压 V_a 、 V_b 、 V_c ;逆变模块,将三相电压 V_a 、 V_b 、 V_c 进行功率放大以获得三相电压 U 、 V 、 W ;参数识别模块,根据直轴电压 V_d 和直轴电流 I_d 获得直轴电感;直流电源模块,为逆变模块提供直流电。由此,能够获取高精度的参数,为位置的准确估计及电流环和速度环的参数自整定提供了基础。本发明还提出一种永磁同步电机的参数识别方法。



1. 一种永磁同步电机的控制系统,其特征在于,包括:

电流采样模块,用于采样所述永磁同步电机的三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c ;

第一坐标转换模块,用于在电角度为0时对所述三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c 进行坐标转换以获得直轴电流 I_d 和交轴电流 I_q ;

第二坐标转换模块,用于在电角度为0时对直轴电压 V_d 和交轴电压 V_q 进行坐标转换以获得三相参考电压 V_a 、 V_b 、 V_c ,其中,所述直轴电压 V_d 根据直轴参考电压 V_{dref} 与直轴注入电压 V_d' 之和获得,所述交轴电压 V_q 根据交轴注入电压 V_q' 获得;

逆变模块,用于将所述三相电压 V_a 、 V_b 、 V_c 进行功率放大以获得所述永磁同步电机的三相电压 U 、 V 、 W ;

参数识别模块,用于根据所述直轴电压 V_d 和所述直轴电流 I_d 获得直轴电感;

直流电源模块,所述直流电源模块为所述逆变模块提供直流电;

其中,所述参数识别模块还用于根据所述直轴电流 I_d 和所述直轴电压 V_d 获得定子电阻阻值,并用于根据所述交轴电压 V_q 和所述交轴电流 I_q 获得交轴电感;

其中,所述的永磁同步电机的控制系统还包括:电流校正模块,用于根据直轴参考电流 I_{dref} 和交轴参考电流 I_{qref} 分别对所述直轴电流 I_d 和所述交轴电流 I_q 进行电流校正以获得所述直轴电压 V_d 和所述交轴电压 V_q ;

所述第一坐标转换模块还用于在电角度为预设电角度 θ_r 时对所述三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c 进行坐标转换以获得所述直轴电流 I_d 和所述交轴电流 I_q ;

所述第二坐标转换模块还用于在电角度为预设电角度 θ_r 时对所述直轴电压 V_d 和所述交轴电压 V_q 进行坐标转换以获得三相参考电压 V_a 、 V_b 、 V_c ;

所述参数识别模块还用于根据所述交轴电流 I_q 、所述交轴电压 V_q 、所述预设电角度 θ_r 、定子电阻阻值 R 获得反电动势系数;

其中,所述的永磁同步电机的控制系统,还包括:

计时模块,用于计时以使电流采样模块分别在第一预设时间范围、第二预设时间范围、第三预设时间范围和第四预设时间范围采样所述永磁同步电机的三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c ,其中,

在所述第一预设时间范围,设置所述电角度为0、且所述直轴注入电压 V_d' 为一常量、且所述交轴注入电压 V_q' 为0,并根据在所述第一预设时间范围采样的所述永磁同步电机的三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c ,所述参数识别模块获得所述定子电阻阻值;

在所述第二预设时间范围,设置所述电角度为0、且所述直轴注入电压 V_d' 为第一余弦电压 $U_{i1}\cos\omega_{i1}t$ 、且所述交轴注入电压 V_q' 为0,并根据在所述第二预设时间范围采样的所述永磁同步电机的三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c ,所述参数识别模块获得所述直轴电感;

在所述第三预设时间范围,设置所述电角度为0、且所述直轴注入电压 V_d' 为0、且所述交轴注入电压 V_q' 为第二余弦电压 $U_{i2}\cos\omega_{i2}t$,并根据在所述第三预设时间范围采样的所述永磁同步电机的三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c ,所述参数识别模块获得所述交轴电感;

在所述第四预设时间范围,设置所述电角度为预设电角度 θ_r ,并根据在所述第四预设时间范围采样的所述永磁同步电机的三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c ,所述参数识别模块获得所述反电动势系数;

其中,根据所述永磁同步电机的U相电流的状态来确定所述第一预设时间范围、所述第二预设时间范围、所述第三预设时间范围和所述第四预设时间范围。

2. 如权利要求1所述的永磁同步电机的控制系统,其特征在于,在所述直轴注入电压 V_d' 为第一余弦电压 $U_{i1}\cos \omega_{i1}t$,所述交轴注入电压 V_q' 为0时,所述参数识别模块根据以下公式获得所述直轴电感:

$$L_d = -\frac{U_{i1}}{\omega_{i1}I_{i1}}$$

其中, L_d 为所述直轴电感, U_{i1} 为所述第一余弦电压的峰值, ω_{i1} 为所述第一余弦电压的角频率, I_{i1} 为所述直轴电流 I_d 的峰值。

3. 如权利要求1所述的永磁同步电机的控制系统,其特征在于,在所述直轴注入电压 V_d' 为一常量,所述交轴注入电压 V_q' 为0时,所述参数识别模块根据以下公式获得所述定子电阻阻值:

$$R = V_d / I_d$$

其中, R 为定子电阻阻值。

4. 如权利要求1所述的永磁同步电机的控制系统,其特征在于,在所述直轴注入电压 V_d' 为0,所述交轴注入电压 V_q' 为第二余弦电压 $U_{i2}\cos \omega_{i2}t$ 时,所述参数识别模块根据以下公式获得所述交轴电感:

$$L_q = -\frac{U_{i2}}{\omega_{i2}I_{i2}}$$

其中, L_q 为所述交轴电感, U_{i2} 为所述第二余弦电压的峰值, ω_{i2} 为所述第二余弦电压的角频率, I_{i2} 为所述交轴电流 I_q 的峰值。

5. 如权利要求1所述的永磁同步电机的控制系统,其特征在于,其中,所述预设电角度 θ_r 根据所述预设角速度 ω_r 的积分获取,则所述参数识别模块根据以下公式获取所述反电动势系数:

$$K_e = \psi_r \times \frac{1000}{60 \times poles \times (2 \times \pi)}$$

其中, $\psi_r = \frac{u_q - i_q R}{\omega_r}$, K_e 为所述反电势系数, ψ_r 为永磁体磁通, $poles$ 为所述磁同步电机的极对数, u_q 为所述交轴电压, i_q 为所述交轴电流, R 为所述定子电阻阻值, ω_r 为所述预设角速度。

6. 一种永磁同步电机的参数识别方法,其特征在于,包括:

S1, 采样所述永磁同步电机的三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c ;

S2, 在电角度为0时,对所述三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c 进行坐标转换以获得直轴电流 I_d 和交轴电流 I_q ;

S3, 在电角度为0时,对直轴电压 V_d 和交轴电压 V_q 进行坐标转换以获得三相参考电压 V_a 、 V_b 、 V_c ,其中,所述直轴电压 V_d 根据直轴参考电压 V_{dref} 与直轴注入电压 V_d' 之和获得,所述交轴电压 V_q 根据交轴注入电压 V_q' 获得;

S4, 将所述三相电压 V_a 、 V_b 、 V_c 进行功率放大以获得所述永磁同步电机的三相电压 U 、 V 、 W ;

S5, 根据所述直轴电压 V_d 和所述直轴电流 I_d 获得直轴电感;

其中,所述的永磁同步电机的参数识别方法,还包括:

根据所述直轴电流 I_d 和所述直轴电压 V_d 获得定子电阻阻值,并根据所述交轴电压 V_q 和所述交轴电流 I_q 获得交轴电感;

其中,所述的永磁同步电机的参数识别方法还包括:

在电角度为预设电角度 θ_r 时对所述三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c 进行坐标转换以获得直轴电流 I_d 和交轴电流 I_q ;

根据直轴参考电流 I_{dref} 和交轴参考电流 I_{qref} 分别对所述直轴电流 I_d 和所述交轴电流 I_q 进行电流校正以获得所述直轴电压 V_d 和所述交轴电压 V_q ;

在电角度为预设电角度 θ_r 时对所述直轴电压 V_d 和所述交轴电压 V_q 进行坐标转换以获得三相参考电压 V_a 、 V_b 、 V_c ;

根据所述交轴电流 I_q 、所述交轴电压 V_q 、所述预设电角度 θ_r 、定子电阻阻值 R 获得反电动势系数;

其中,所述的永磁同步电机的参数识别方法还包括:

在第一预设时间范围、第二预设时间范围、第三预设时间范围和第四预设时间范围分别采样所述永磁同步电机的三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c ,其中,

在所述第一预设时间范围,设置所述电角度为0、且所述直轴注入电压 V_d' 为一常量、且所述交轴注入电压 V_q' 为0,并根据在所述第一预设时间范围采样的所述永磁同步电机的三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c ,获得所述定子电阻阻值;

在所述第二预设时间范围,设置所述电角度为0、且所述直轴注入电压 V_d' 为第一余弦电压 $U_{i1}\cos\omega_{i1}t$ 、且所述交轴注入电压 V_q' 为0,并根据在所述第二预设时间范围采样的所述永磁同步电机的三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c ,获得所述直轴电感;

在所述第三预设时间范围,设置所述电角度为0、且所述直轴注入电压 V_d' 为0、且所述交轴注入电压 V_q' 为第二余弦电压 $U_{i2}\cos\omega_{i2}t$,并根据在所述第三预设时间范围采样的所述永磁同步电机的三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c ,获得所述交轴电感;

在所述第四预设时间范围,设置所述电角度为预设电角度 θ_r ,并根据在所述第四预设时间范围采样的所述永磁同步电机的三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c ,获得所述反电动势系数;

其中,根据所述永磁同步电机的U相电流的状态来确定所述第一预设时间范围、所述第二预设时间范围、所述第三预设时间范围和所述第四预设时间范围。

7.如权利要求6所述的永磁同步电机的参数识别方法,其特征在于,在所述直轴注入电压 V_d' 为第一余弦电压 $U_{i1}\cos\omega_{i1}t$,所述交轴注入电压 V_q' 为0时,根据以下公式获得所述直轴电感:

$$L_d = -\frac{U_{i1}}{\omega_{i1}I_{i1}}$$

其中, L_d 为所述直轴电感, U_{i1} 为所述第一余弦电压的峰值, ω_{i1} 为所述第一余弦电压的角频率, I_{i1} 为所述直轴电流的峰值。

8.如权利要求6所述的永磁同步电机的参数识别方法,其特征在于,在所述直轴注入电压 V_d' 为一常量,所述交轴注入电压 V_q' 为0时,根据以下公式获得所述定子电阻阻值:

$$R=V_d/I_d$$

其中, R 为定子电阻阻值。

9.如权利要求6所述的永磁同步电机的参数识别方法,其特征在于,在所述直轴注入电

压 V_d' 为0,所述交轴注入电压 V_q' 为第二余弦电压 $U_{i2}\cos \omega_{i2}t$ 时,根据以下公式获得所述交轴电感:

$$L_q = -\frac{U_{i2}}{\omega_{i2}I_{i2}}$$

其中, L_q 为所述交轴电感, U_{i2} 为所述第二余弦电压的峰值, ω_{i2} 为所述第二余弦电压的角频率, I_{i2} 为所述交轴电流的峰值。

10.如权利要求6所述的永磁同步电机的参数识别方法,其特征在于,其中,所述预设电角度 θ_r 根据所述预设角速度 ω_r 的积分获取,则根据以下公式获取所述反电动势系数:

$$Ke = \psi_r \times \frac{1000}{60 \times poles \times (2 \times \pi)}$$

其中, $\psi_r = \frac{u_q - i_q R}{\omega_r}$, Ke 为所述反电势系数, ψ_r 为永磁体磁通, $poles$ 为所述磁同步电机的极对数, U_q 为所述交轴电压, I_q 为所述交轴电流, R 为所述定子电阻阻值, ω_r 为所述预设角速度。

永磁同步电机的控制系统及参数识别方法

技术领域

[0001] 本发明涉及电器技术领域,特别涉及一种永磁同步电机的控制系统以及一种永磁同步电机的参数识别方法。

背景技术

[0002] 永磁同步电动机具有高功率密度、宽调速范围、高效率、体积小、响应快和运行可靠等优点,在家用电器、数控机床、工业机器人、电动汽车以及航空设备等交流驱动场合得到广泛的应用。在永磁同步电机运行过程中,转子位置检测是一个必不可少的环节,通常需要传感器来检测电机的转子磁极位置。然而在一些特定场合,如高温密封、粉尘环境等特殊场合,在永磁同步电机上安装转子位置传感器,不仅增加系统成本、维修上的难度,也降低了系统的稳定性及可靠度。因此,无位置传感器永磁同步电机就成了一个研究热点。

[0003] 但是,无位置传感器永磁同步电机的位置估计是建立在电压平衡方程基础上的,而电压平衡方程又依赖于永磁同步电机的参数。永磁同步电机的参数不准确会造成电机的运行状况不良、噪音增大、效率降低等问题。现有技术中,永磁同步电机的参数识别精度较低,因而现有技术存在改进的需要,以便更精确地识别出永磁同步电机的电阻、电感和反电势系数。另外,永磁同步电机的参数自动识别也可以拓展硬件的通用性,降低人力调试成本和售后服务成本。

发明内容

[0004] 本发明的目的旨在至少解决上述的技术缺陷之一。

[0005] 为此,本发明的一个目的在于提出一种永磁同步电机的控制系统,该永磁同步电机的控制系统能够获取高精度的永磁同步电机的参数,从而为位置的准确估计及电流环和速度环的参数自整定提供了基础。

[0006] 本发明的另一个目的在于提出一种永磁同步电机的参数识别方法。

[0007] 为达到上述目的,本发明一方面实施例提出一种永磁同步电机的控制系统,包括:电流采样模块,用于采样所述永磁同步电机的三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c ;第一坐标转换模块,用于在电角度为0时对所述三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c 进行坐标转换以获得直轴电流 I_d 和交轴电流 I_q ;第二坐标转换模块,用于在电角度为0时对直轴电压 V_d 和交轴电压 V_q 进行坐标转换以获得三相参考电压 V_a 、 V_b 、 V_c ,其中,所述直轴电压 V_d 根据直轴参考电压 V_{dref} 与直轴注入电压 V_d' 之和获得,所述交轴电压 V_q 根据交轴注入电压 V_q' 获得;逆变模块,用于将所述三相电压 V_a 、 V_b 、 V_c 进行功率放大以获得所述永磁同步电机的三相电压 U 、 V 、 W ;参数识别模块,用于根据所述直轴电压 V_d 和所述直轴电流 I_d 获得直轴电感;直流电源模块,所述直流电源模块为所述逆变模块提供直流电。

[0008] 根据本发明实施例提出的永磁同步电机的控制系统,在电角度为0时,通过第一坐标转换模块对三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c 进行坐标转换以获得直轴电流 I_d 和交轴电流 I_q ,并通过第二坐标转换模块对直轴电压 V_d 和交轴电压 V_q 进行坐标转换以获得三相参考电压 V_a 、 V_b 、 V_c ,直轴

电压 V_d 根据直轴参考电压 V_{dref} 与直轴注入电压 V_d' 之和获得,交轴电压 V_q 根据交轴注入电压 V_q' 获得,之后,参数识别模块根据直轴电压 V_d 和直轴电流 I_d 获得直轴电感。这样,该永磁同步电机的控制系统能够获取高精度的永磁同步电机的参数,从而为位置的准确估计及电流环和速度环的参数自整定提供了基础。

[0009] 具体地,在所述直轴注入电压 V_d' 为第一余弦电压 $U_{i1}\cos\omega_{i1}t$,所述交轴注入电压 V_q' 为0时,所述参数识别模块根据以下公式获得所述直轴电感:

$$[0010] \quad L_d = -\frac{U_{i1}}{\omega_{i1}I_{i1}}$$

[0011] 其中, L_d 为所述直轴电感, U_{i1} 为所述第一余弦电压的峰值, ω_{i1} 为所述第一余弦电压的角频率, I_{i1} 为所述直轴电流 I_d 的峰值。

[0012] 在本发明的一个实施例中,所述参数识别模块还用于根据所述直轴电流 I_d 和所述直轴电压 V_d 获得定子电阻阻值,并用于根据所述交轴电压 V_q 和所述交轴电流 I_q 获得交轴电感。这样,该永磁同步电机的控制系统能够获取高精度的永磁同步电机的参数。

[0013] 具体地,在所述直轴注入电压 V_d' 为一常量,所述交轴注入电压 V_q' 为0时,所述参数识别模块根据以下公式获得所述定子电阻阻值:

$$[0014] \quad R = V_d / I_d$$

[0015] 其中, R 为定子电阻阻值。

[0016] 具体地,在所述直轴注入电压 V_d' 为0,所述交轴注入电压 V_q' 为第二余弦电压 $U_{i2}\cos\omega_{i2}t$ 时,所述参数识别模块根据以下公式获得所述交轴电感:

$$[0017] \quad L_q = -\frac{U_{i2}}{\omega_{i2}I_{i2}}$$

[0018] 其中, L_q 为所述交轴电感, U_{i2} 为所述第二余弦电压的峰值, ω_{i2} 为所述第二余弦电压的角频率, I_{i2} 为所述交轴电流 I_q 的峰值。

[0019] 在本发明的另一个实施例中,所述的永磁同步电机的控制系统还包括:电流校正模块,用于根据直轴参考电流 I_{dref} 和交轴参考电流 I_{qref} 分别对所述直轴电流 I_d 和所述交轴电流 I_q 进行电流校正以获得所述直轴电压 V_d 和所述交轴电压 V_q ;所述第一坐标转换模块还用于在电角度为预设电角度 θ_r 时对所述三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c 进行坐标转换以获得所述直轴电流 I_d 和所述交轴电流 I_q ;所述第二坐标转换模块还用于在电角度为预设电角度 θ_r 时对所述直轴电压 V_d 和所述交轴电压 V_q 进行坐标转换以获得三相参考电压 V_a 、 V_b 、 V_c ;所述参数识别模块还用于根据所述交轴电流 I_q 、所述交轴电压 V_q 、所述预设电角度 θ_r 、定子电阻阻值 R 获得反电动势系数。这样,该永磁同步电机的控制系统能够获取高精度的永磁同步电机的参数。

[0020] 具体地,所述预设电角度 θ_r 根据所述预设角速度 ω_r 的积分获取,所述参数识别模块根据以下公式获取所述反电动势系数:

$$[0021] \quad Ke = \psi_r \times \frac{1000}{60 \times poles \times (2 \times \pi)}$$

[0022] 其中, $\psi_r = \frac{u_q - i_q R}{\omega_r}$, Ke 为所述反电势系数, ψ_r 为永磁体磁通, $poles$ 为所述磁同步

电机的极对数, U_q 为所述交轴电压, I_q 为所述交轴电流, R 为所述定子电阻阻值, ω_r 为所述预

设角速度。

[0023] 在本发明一个实施例中,永磁同步电机的控制系统还包括:计时模块,用于计时以使电流采样模块分别在第一预设时间范围、第二预设时间范围、第三预设时间范围和第四预设时间范围采样所述永磁同步电机的三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c ,其中,根据在所述第一预设时间范围采样的所述永磁同步电机的三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c ,所述参数识别模块获得所述定子电阻阻值;根据在所述第二预设时间范围采样的所述永磁同步电机的三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c ,所述参数识别模块获得所述直轴电感;根据在所述第三预设时间范围采样的所述永磁同步电机的三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c ,所述参数识别模块获得所述交轴电感;根据在所述第四预设时间范围采样的所述永磁同步电机的三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c ,所述参数识别模块获得所述反电动势系数。

[0024] 从而可以按照一定顺序自动获取定子电阻阻值、直轴电感、交轴电感和反电动势系数,且具有较高的精度,并能够为位置的准确估计及电流环和速度环的参数自整定提供了基础。

[0025] 为达到上述的目的,本发明另一方面实施例提出一种永磁同步电机的参数识别方法,包括:S1,采样所述永磁同步电机的三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c ;S2,在电角度为0时,对所述三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c 进行坐标转换以获得直轴电流 I_d 和交轴电流 I_q ;S3,在电角度为0时,对直轴电压 V_d 和交轴电压 V_q 进行坐标转换以获得三相参考电压 V_a 、 V_b 、 V_c ,其中,所述直轴电压 V_d 根据直轴参考电压 V_{dref} 与直轴注入电压 V_d' 之和获得,所述交轴电压 V_q 根据交轴注入电压 V_q' 获得;S4,将所述三相电压 V_a 、 V_b 、 V_c 进行功率放大以获得所述永磁同步电机的三相电压 U 、 V 、 W ;S5,根据所述直轴电压 V_d 和所述直轴电流 I_d 获得直轴电感。

[0026] 根据本发明实施例提出的永磁同步电机的参数识别方法,在电角度为0时,对三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c 进行坐标转换以获得直轴电流 I_d 和交轴电流 I_q ,并对直轴电压 V_d 和交轴电压 V_q 进行坐标转换以获得三相参考电压 V_a 、 V_b 、 V_c ,直轴电压 V_d 根据直轴参考电压 V_{dref} 与直轴注入电压 V_d' 之和获得,交轴电压 V_q 根据交轴注入电压 V_q' 获得,之后,根据直轴电压 V_d 和直轴电流 I_d 获得直轴电感。这样,该永磁同步电机的参数识别方法能够获取高精度的永磁同步电机的参数,从而为位置的准确估计及电流环和速度环的参数自整定提供了基础。并且,该参数识别方法算法简单。

[0027] 具体地,在所述直轴注入电压 V_d' 为第一余弦电压 $U_{i1}\cos\omega_{i1}t$,所述交轴注入电压 V_q' 为0时,根据以下公式获得所述直轴电感:

$$[0028] \quad L_d = -\frac{U_{i1}}{\omega_{i1}I_{i1}}$$

[0029] 其中, L_d 为所述直轴电感, U_{i1} 为所述第一余弦电压的峰值, ω_{i1} 为所述第一余弦电压的角频率, I_{i1} 为所述直轴电流的峰值。

[0030] 在本发明的一个实施例中,所述步骤S5之后还包括:根据所述直轴电流 I_d 和所述直轴电压 V_d 获得定子电阻阻值,并根据所述交轴电压 V_q 和所述交轴电流 I_q 获得交轴电感。这样,能够获取高精度的永磁同步电机的参数。并且,该参数识别方法算法简单。

[0031] 具体地,在所述直轴注入电压 V_d' 为一常量,所述交轴注入电压 V_q' 为0时,根据以下公式获得所述定子电阻阻值:

$$[0032] \quad R = V_d / I_d$$

[0033] 其中, R 为定子电阻阻值。

[0034] 具体地,在所述直轴注入电压 V_d' 为0,所述交轴注入电压 V_q' 为第二余弦电压 $U_{i2}\cos \omega_{i2}t$ 时,根据以下公式获得所述交轴电感:

$$[0035] \quad L_q = -\frac{U_{i2}}{\omega_{i2}I_{i2}}$$

[0036] 其中, L_q 为所述交轴电感, U_{i2} 为所述第二余弦电压的峰值, ω_{i2} 为所述第二余弦电压的角频率, I_{i2} 为所述交轴电流的峰值。

[0037] 在本发明另一个实施例中,在所述步骤S1之后,还包括:在电角度为预设电角度 θ_r 时对所述三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c 进行坐标转换以获得直轴电流 I_d 和交轴电流 I_q ;根据直轴参考电流 I_{dref} 和交轴参考电流 I_{qref} 分别对所述直轴电流 I_d 和所述交轴电流 I_q 进行电流校正以获得所述直轴电压 V_d 和所述交轴电压 V_q ;在电角度为预设电角度 θ_r 时对所述直轴电压 V_d 和所述交轴电压 V_q 进行坐标转换以获得三相参考电压 V_a 、 V_b 、 V_c ;根据所述交轴电流 I_q 、所述交轴电压 V_q 、所述预设电角度 θ_r 、定子电阻阻值 R 获得反电动势系数。这样,能够获取高精度的永磁同步电机的参数。并且,该参数识别方法算法简单。

[0038] 具体地,所述预设电角度 θ_r 根据所述预设角速度 ω_r 的积分获取,则根据以下公式获取所述反电动势系数:

$$[0039] \quad Ke = \psi_r \times \frac{1000}{60 \times poles \times (2 \times \pi)}$$

[0040] 其中, $\psi_r = \frac{u_q - i_q R}{\omega_r}$, Ke 为所述反电势系数, ψ_r 为永磁体磁通, $poles$ 为所述磁同步电机的极对数, U_q 为所述交轴电压, I_q 为所述交轴电流, R 为所述定子电阻阻值, ω_r 为所述预设角速度。

[0041] 在本发明的一个实施例中,所述的永磁同步电机的参数识别方法还包括:在第一预设时间范围、第二预设时间范围、第三预设时间范围和第四预设时间范围分别采样所述永磁同步电机的三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c ,其中,根据在所述第一预设时间范围采样的所述永磁同步电机的三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c ,获得所述定子电阻阻值;根据在所述第二预设时间范围采样的所述永磁同步电机的三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c ,获得所述直轴电感;根据在所述第三预设时间范围采样的所述永磁同步电机的三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c ,获得所述交轴电感;根据在所述第四预设时间范围采样的所述永磁同步电机的三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c ,获得所述反电动势系数。

[0042] 从而可以按照一定顺序自动获取定子电阻阻值、直轴电感、交轴电感和反电动势系数,且具有较高的精度,并能够为位置的准确估计及电流环和速度环的参数自整定提供了基础。

[0043] 本发明附加的方面和优点将在下面的描述中部分给出,部分将从下面的描述中变得明显,或通过本发明的实践了解到。

附图说明

[0044] 本发明上述的和/或附加的方面和优点从下面结合附图对实施例的描述中将变得明显和容易理解,其中:

[0045] 图1为根据本发明实施例的永磁同步电机的控制系统的结构示意图;

[0046] 图2为根据本发明实施例的永磁同步电机的控制系统的定子电阻两端的电压电流的等效示意图；

[0047] 图3为根据本发明一个实施例的永磁同步电机的控制系统的结构示意图；

[0048] 图4为根据本发明另一个实施例的永磁同步电机的控制系统的结构示意图；

[0049] 图5为根据本发明实施例的永磁同步电机的控制系统的参数识别模块的结构示意图；

[0050] 图6为根据本发明实施例的永磁同步电机的控制系统的U相电流的曲线示意图；

[0051] 图7为根据本发明实施例的永磁同步电机的参数识别方法的流程图；

[0052] 图8为根据本发明一个实施例的永磁同步电机的参数识别方法的流程图；

[0053] 图9为根据本发明另一个实施例的永磁同步电机的参数识别方法的流程图；以及

[0054] 图10为根据本发明一个具体实施例的永磁同步电机的参数识别方法的流程图。

[0055] 附图标记：

[0056] 永磁同步电机10、电流采样模块1、第一坐标转换模块2、第二坐标转换模块3、逆变模块4、参数识别模块5、直流电源模块6、第一选择开关81、第二选择开关82和电流校正模块7。

具体实施方式

[0057] 下面详细描述本发明的实施例，所述实施例的示例在附图中示出，其中自始至终相同或类似的标号表示相同或类似的元件或具有相同或类似功能的元件。下面通过参考附图描述的实施例是示例性的，仅用于解释本发明，而不能解释为对本发明的限制。

[0058] 下文的公开提供了许多不同的实施例或例子用来实现本发明的不同结构。为了简化本发明的公开，下文中对特定例子的部件和设置进行描述。当然，它们仅仅为示例，并且目的不在于限制本发明。此外，本发明可以在不同例子中重复参考数字和/或字母。这种重复是为了简化和清楚的目的，其本身不指示所讨论各种实施例和/或设置之间的关系。此外，本发明提供了的各种特定的工艺和材料的例子，但是本领域普通技术人员可以意识到其他工艺的可应用于性和/或其他材料的使用。另外，以下描述的第一特征在第二特征之“上”的结构可以包括第一和第二特征形成为直接接触的实施例，也可以包括另外的特征形成在第一和第二特征之间的实施例，这样第一和第二特征可能不是直接接触。

[0059] 在本发明的描述中，需要说明的是，除非另有规定和限定，术语“安装”、“相连”、“连接”应做广义理解，例如，可以是机械连接或电连接，也可以是两个元件内部的连通，可以是直接相连，也可以通过中间媒介间接相连，对于本领域的普通技术人员而言，可以根据具体情况理解上述术语的具体含义。

[0060] 参照下面的描述和附图，将清楚本发明的实施例的这些和其他方面。在这些描述和附图中，具体公开了本发明的实施例的一些特定实施方式，来表示实施本发明的实施例的原理的一些方式，但是应当理解，本发明的实施例的范围不受此限制。相反，本发明的实施例包括落入所附加权利要求书的精神和内涵范围内的所有变化、修改和等同物。

[0061] 下面参照附图来描述根据本发明实施例提出的永磁同步电机的控制系统以及永磁同步电机的参数识别方法。

[0062] 图1为根据本发明实施例的永磁同步电机的控制系统的结构示意图。如图1所示，

永磁同步电机的控制系统包括：电流采样模块1、第一坐标转换模块2、第二坐标转换模块3、逆变模块4、参数识别模块5和直流电源模块6。

[0063] 其中，电流采样模块1用于采样永磁同步电机10的三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c 。第一坐标转换模块2用于在电角度 θ 为0时对三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c 进行坐标转换以获得直轴电流 I_d 和交轴电流 I_q ，也就是说，第一坐标转换模块2用于将三相静止坐标转换到两相旋转坐标，其中，电角度 θ 一直为0，保持永磁同步电机静止不动。

[0064] 第二坐标转换模块3用于在电角度 θ 为0时对直轴电压 V_d 和交轴电压 V_q 进行坐标转换以获得三相参考电压 V_a 、 V_b 、 V_c ，其中，直轴电压 V_d 根据直轴参考电压 V_{dref} 与直轴注入电压 V_d' 之和获得，交轴电压 V_q 根据交轴注入电压 V_q' 获得。也就是说，第二坐标转换模块3用于将两相旋转坐标转换到三相静止坐标。

[0065] 逆变模块4用于将三相电压 V_a 、 V_b 、 V_c 进行功率放大以获得永磁同步电机的三相电压 U 、 V 、 W ，具体地，逆变模块4可以采用IPM模块(Intelligent Power Module, 智能功率模块)。参数识别模块5用于根据直轴电压 V_d 和直轴电流 I_d 获得直轴电感。直流电源模块6为逆变模块4提供直流电，具体而言，直流电源模块6可以将交流电经二极管或二极管桥整流，并利用滤波器滤波后得到直流电，从而为逆变模块4提供直流电。

[0066] 在本发明的一个具体实施例中，在直轴注入电压 V_d' 为第一余弦电压 $U_{i1}\cos\omega_{i1}t$ ，交轴注入电压 V_q' 为0时，参数识别模块5根据以下公式获得直轴电感：

$$[0067] \quad L_d = -\frac{U_{i1}}{\omega_{i1}I_{i1}}$$

[0068] 其中， L_d 为直轴电感， U_{i1} 为第一余弦电压的峰值， ω_{i1} 为第一余弦电压的， I_{i1} 为直轴电流 I_d 的峰值。

[0069] 具体而言，永磁同步电机直轴电压平衡公式可以为：

$$[0070] \quad V_d = I_d R + L_d \frac{dI_d}{dt} - \omega L_q I_q \quad (1)$$

[0071] 其中， V_d 为直轴电压， I_d 直轴电流， L_d 为直轴电感、 L_q 为交轴电感， ω 为角速度。在本实施例中，电角度 θ 一直为0，则永磁同步电机保持静止不动，角速度 ω 为0，这样，在直轴电压 V_d 为高频电压时，一般满足 $L_d \frac{dI_d}{dt} \gg I_d R$ ，即可以忽略定子电阻的影响，则式(1)可以简化为：

$$[0072] \quad V_d = L_d \frac{dI_d}{dt} \quad (2)$$

[0073] 由此，在直轴参考电压 V_{dref} 为第一预设电压，例如第一预设电压为负的直流电压，直轴注入电压 V_d' 为第一余弦电压 $U_{i1}\cos\omega_{i1}t$ 时，式(2)可以写为：

$$[0074] \quad U_{i1}\cos\omega_{i1}t = L_d \frac{dI_{i1}U_{i1}(\cos\omega_{i1}t + \varphi)}{dt} \quad (3)$$

[0075] 取上式(3)的峰值，即有下式成立：

$$[0076] \quad L_d = -\frac{U_{i1}}{\omega_{i1}I_{i1}}$$

[0077] 其中, L_d 为直轴电感, U_{i1} 为第一余弦电压的峰值, ω_{i1} 为第一余弦电压的角频率, I_{i1} 为直轴电流 I_d 的峰值。

[0078] 在本发明的一个实施例中, 参数识别模块5还用于根据直轴电流 I_d 和直轴电压 V_d 获得定子电阻阻值, 并用于根据交轴电压 V_q 和交轴电流 I_q 获得交轴电感。

[0079] 具体地, 在直轴注入电压 V_d' 为一常量, 交轴注入电压 V_q' 为0时, 参数识别模块5根据以下公式获得定子电阻阻值:

$$[0080] \quad R = V_d / I_d$$

[0081] 其中, R 为定子电阻阻值。

[0082] 在本实施例中, 通过逆变模块4向永磁同步电机10施加了一个固定的空间电压, 并且当电角度 θ 为0时, 两相旋转坐标系的直轴与三相静止坐标的U轴相重合, 如图2所示, 总电阻为VW相电阻并联再与U相电阻串联的结果, 因此求取的相电阻即定子电阻需要乘以2/3, 则可以根据以下公式获取定子电阻阻值 R :

$$[0083] \quad R = \frac{2}{3} \frac{U_0}{I_0}$$

[0084] 其中, U_0 为永磁同步电机10的UV两端的等效直流电压, I_0 为流过定子电阻的电流, 本实施例中, 如图2所示, U_0 可为三相电压U、V、W中UV两相的相电压, I_0 可为三相电流中U相的相电流 I_a 。

[0085] 可以理解的是, 在本发明的实施例中, 永磁同步电机10的V端和W端连接在一起, 因此, 永磁同步电机10的UV两端的等效直流电压也可为永磁同步电机10的UW两端的等效直流电压。

[0086] 具体地, 在直轴注入电压 V_d' 为0, 交轴注入电压 V_q' 为第二余弦电压 $U_{i2} \cos \omega_{i2} t$ 时, 参数识别模块5根据以下公式获得交轴电感:

$$[0087] \quad L_q = -\frac{U_{i2}}{\omega_{i2} I_{i2}}$$

[0088] 其中, L_q 为交轴电感, U_{i2} 为第二余弦电压的峰值, ω_{i2} 为第二余弦电压的角频率, I_{i2} 为交轴电流 I_q 的峰值。

[0089] 需要说明的是, 如图3所示, 可通过第一选择开关81和第二选择开关82来分别改变直轴注入电压 V_d' 和交轴注入电压 V_q' 的电压值。具体而言, 第一选择开关81选择触点802, 第二选择开关82选择触点812时, 则直轴注入电压 V_d' 为0, 交轴注入电压 V_q' 为第二余弦电压 $U_{i2} \cos \omega_{i2} t$, 从而获取交轴电感 L_q ; 第一选择开关81选择触点801, 第二选择开关82选择触点811时, 直轴注入电压 V_d' 为第一余弦电压 $U_{i1} \cos \omega_{i1} t$, 交轴注入电压 V_q' 为0, 从而获取直轴电感 L_d ; 第一选择开关81选择触点802, 第二选择开关82选择触点811时, 直轴注入电压 V_d' 为第一余弦电压0, 交轴注入电压 V_q' 为0, 从而获取定子电阻阻值 R 。

[0090] 具体而言, 永磁同步电机交轴电压平衡公式可以为:

$$[0091] \quad V_q = I_q R + L_q \frac{dI_q}{dt} + \omega (L_d I_d + \psi_r) \quad (4)$$

[0092] 其中, V_q 为交轴电压, I_q 为交轴电流, L_d 为直轴电感, L_q 为交轴电感, ω 为角速度, ψ_r 为永磁体磁通。在本实施例中, 电角度 θ 一直为0, 则永磁同步电机保持静止不动, 角速度 ω 为

0, 这样, 在交轴电压 V_q 为高频电压时, 一般满足 $L_q \frac{dI_q}{dt} \gg I_q R$, 即可以忽略定子电阻的影响, 则式(4)可以简化为:

$$[0093] \quad V_q = L_q \frac{dI_q}{dt} \quad (5)$$

[0094] 由此, 在直轴参考电压 V_{dref} 为第二预设电压, 例如第二预设电压为负的直流电压, 交轴注入电压 V_q' 为第二余弦电压 $U_{i2} \cos \omega_{i2} t$ 时, 式(5)可以写为:

$$[0095] \quad U_{i2} \cos \omega_{i2} t = L_q \frac{dI_{i2} U_{i2} (\cos \omega_{i2} t + \varphi)}{dt} \quad (6)$$

[0096] 取上式(6)的峰值, 即有下式成立:

$$[0097] \quad L_q = -\frac{U_{i2}}{\omega_{i2} I_{i2}}$$

[0098] 其中, L_q 为交轴电感, U_{i2} 为第二余弦电压的峰值, ω_{i2} 为第二余弦电压的角频率, I_{i2} 为交轴电流 I_q 的峰值。

[0099] 在本发明的另一个实施例中, 如图4所示, 永磁同步电机的控制系统还包括: 电流校正模块7。其中, 电流校正模块7用于根据直轴参考电流 I_{dref} 和交轴参考电流 I_{qref} 分别对直轴电流 I_d 和交轴电流 I_q 进行电流校正以获得直轴电压 V_d 和交轴电压 V_q 。之后, 第一坐标转换模块2还用于在电角度 θ 为预设电角度 θ_r 时对三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c 进行坐标转换以获得直轴电流 I_d 和交轴电流 I_q ; 第二坐标转换模块3还用于在电角度为预设电角度 θ_r 时对直轴电压 V_d 和交轴电压 V_q 进行坐标转换以获得三相参考电压 V_a 、 V_b 、 V_c ; 参数识别模块5还用于根据交轴电流 I_q 、交轴电压 V_q 、预设电角度 θ_r 、定子电阻阻值 R 获得反电动势系数。这样, 该永磁同步电机的控制系统能够获取高精度的永磁同步电机的参数。

[0100] 具体而言, 电流校正模块7可以比例积分调节器, 则在获取反电动势系数时, 直轴电压 V_d 可以根据直轴参考电流 I_{dref} 与直轴电流 I_d 的差经过比例积分调节器后得到, 交轴电压 V_q 可以根据交轴参考电流 I_{qref} 与交轴电流 I_q 的差经过比例积分调节器后得到。

[0101] 具体地, 如图4所示, 预设电角度 θ_r 可以根据预设角速度 ω_r 的积分获取, 则参数识别模块5根据以下公式获取反电动势系数:

$$[0102] \quad Ke = \psi_r \times \frac{1000}{60 \times poles \times (2 \times \pi)}$$

[0103] 其中, $\psi_r = \frac{u_q - i_q R}{\omega_r}$, Ke 为反电势系数, ψ_r 为永磁体磁通, $poles$ 为磁同步电机的极对数, U_q 为交轴电压, I_q 为交轴电流, R 为定子电阻阻值, ω_r 为预设角速度。

[0104] 在本实施例中, 在直轴电流 I_d 为0, 并按预设角速度 ω_r 运行时, 式(4)可以简化为:

$$[0105] \quad \psi_r = \frac{u_q - i_q R}{\omega_r} \quad (7)$$

[0106] 其中, ψ_r 为永磁体磁通, U_q 为所述交轴电压, I_q 为所述交轴电流, R 为所述定子电阻阻值, ω_r 为所述预设角速度。

[0107] 将式(7)经过下式转换后获取反电动势系数:

$$[0108] \quad Ke = \psi_r \times \frac{1000}{60 \times poles \times (2 \times \pi)}$$

[0109] 其中, Ke 为反电势系数, $ploes$ 是永磁同步电机的极对数。

[0110] 下面以内埋式永磁同步电机为例, 来详细描述本发明实施例的永磁同步电机的控制系统。其中, 磁同步电机10的参数为: 线间定子电阻为 1.9Ω , 直轴电感 L_d 为 18.2mH , 交轴电感 L_q 为 31.1mH , 反电势系数 Ke 为 41.9V/krpm , 极对数 $poles$ 为 2, 转动惯量为 $7.6 \times 10^{-4} \text{kgim}^2$ 。根据如图5所示的参数识别模块, 以直轴电压 V_d , 直轴电流 I_d , 交轴电压 V_q , 交轴电流 I_q , 预设角速度 ω_r 作为输入, 分别获取定子电阻阻值 R 、直轴电感 L_d 、交轴电感 L_q 和反电势系数 Ke , 其中, 预设电角度 θ_r 根据预设角速度 ω_r 的积分获得。

[0111] 具体地, 在直轴电压 V_d 为正的直流电压时, 即言, 直轴参考电压 V_{dref} 为正的直流电压, 应保证直轴电流 I_d 大于等于 5A 直流, 之后根据采样数据, 获取定子电阻阻值 R 。换言之, 在直轴电压 V_d 为正, 直轴电流 I_d 大于等于 5A , 其他输入量为 0 时, 根据直轴电压 V_d 和直轴电流 I_d 获取定子电阻阻值 R 。

[0112] 具体地, 在直轴电压 V_d 为负的直流电压与一个小幅值高频交流电压的叠加时, 即言, 直轴参考电压 V_{dref} 为负的直流电压, 直轴注入电压 V_d' 为峰值 1V , 频率 100Hz 的余弦电压, 应保证直轴电流 I_d 小于等于 -5A , 之后根据采样数据, 获取直轴电感 L_d 。换言之, 在直轴参考电压 V_{dref} 为负, 直轴注入电压 V_d' 为峰值 1V , 频率 100Hz 的余弦电压, 直轴电流 I_d 小于等于 -5A , 其他输入量为 0 时, 根据直轴电压 V_d 和直轴电流 I_d 获取直轴电感 L_d 。

[0113] 具体地, 在直轴电压 V_d 为负的直流电压, 交轴电压 V_q 为一个小幅值高频交流电压时, 即言, 直轴参考电压 V_{dref} 为负的直流电压, 交轴注入电压 V_q' 为峰值 1V , 频率 100Hz 的余弦电压, 应保证直轴电流 I_d 小于等于 -5A , 之后根据采样数据, 获取交轴电感 L_q 。换言之, 在直轴参考电压 V_{dref} 为负, 交轴注入电压 V_q' 为峰值 1V , 频率 100Hz 的余弦电压, 直轴电流 I_d 小于等于 -5A , 其他输入量为 0 时, 根据交轴电压 V_q 和交轴电流 I_q 获取交轴电感 L_q 。

[0114] 具体地, 在直轴参考电流 I_{dref} 为 0, 交轴参考电流 I_{qref} 为 6A , 预设角速度 ω_r 为 30Hz 时, 应保证直轴电流 I_d 为 0 时, 采样数据, 获取反电势系数 Ke 。换言之, 在直轴电流 I_d 等于直轴参考电流 I_{dref} , 即直轴电流 I_d 为 0 时, 根据所述交轴电流 I_q 、所述交轴电压 V_q 、预设角速度 ω_r 、定子电阻阻值 R 获得永磁体磁通 ψ_r , 进一步获取反电势系数 Ke 。

[0115] 在本发明另一个实施例中, 永磁同步电机的控制系统还包括: 计时模块。计时模块用于计时以使电流采样模块分别在第一预设时间范围 $T1$ 、第二预设时间范围 $T2$ 、第三预设时间范围 $T3$ 和第四预设时间范围 $T4$ 采样永磁同步电机10的三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c , 其中, 根据在第一预设时间范围 $T1$ 采样的永磁同步电机10的三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c , 参数识别模块5获得定子电阻阻值; 根据在第二预设时间范围 $T2$ 采样的永磁同步电机10的三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c , 参数识别模块5获得直轴电感; 根据在第三预设时间范围 $T3$ 采样的永磁同步电机10的三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c , 参数识别模块5获得交轴电感; 根据在第四预设时间范围 $T4$ 采样的永磁同步电机10的三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c , 参数识别模块5获得反电势系数。从而可以按照一定顺序自动获取定子电阻阻值、直轴电感、交轴电感和反电势系数, 且具有较高的精度, 并能够为位置的准确估计及电流环和速度环的参数自整定提供了基础。

[0116] 需要说明的时, 第一预设时间范围 $T1$ 、第二预设时间范围 $T2$ 、第三预设时间范围 $T3$ 和第四预设时间范围 $T4$ 可以根据辨识参数收敛在某一范围内选取, 其中, 辨识参数可以为

定子电阻阻值、直轴电感、交轴电感和反电动势系数。在本发明的一个优选实施例中,在永磁同步电机10启动时开始计时,可根据U相电流的状态来确定第一预设时间范围T1、第二预设时间范围T2、第三预设时间范围T3和第四预设时间范围T4,即通过如图6所示的U相电流来监测参数识别模块5的计算过程。这是因为在电角度为0,两相旋转坐标系中的直轴与三相电压的U相重合。

[0117] 具体地,如图6所示,其在,横坐标为采样点,纵坐标为电流,单位为A,1A对应10mV。在获取定子电阻阻值R时,可以U相电流大于等于5A直流的一个时刻作为起点的预设时间范围作为第一预设时间范围T1;在获取直轴电感 L_d 时,可以U相电流小于等于-5A的一个时刻作为起点的预设时间范围作为第二预设时间范围T2,其中,根据采样的直轴电流 I_d 数据可通过求取最大值和最小值获取直轴电流 I_d 的峰值;在获取交轴电感 L_q 时,可以U相电流小于等于-5A的一个时刻作为起点的预设时间范围作为第三预设时间范围T3,其中,根据采样的交轴电流 I_q 数据可通过求取最大值和最小值获取直轴电流 I_d 的峰值;在获取反电动势系数 K_e 时,可以U相电流等于0的一个时刻作为起点的预设时间范围作为第四预设时间范围T4。

[0118] 根据本发明实施例提出的永磁同步电机的控制系统,在电角度为0时,通过第一坐标转换模块对三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c 进行坐标转换以获得直轴电流 I_d 和交轴电流 I_q ,并通过第二坐标转换模块对直轴电压 V_d 和交轴电压 V_q 进行坐标转换以获得三相参考电压 V_a 、 V_b 、 V_c ,直轴电压 V_d 根据直轴参考电压 V_{dref} 与直轴注入电压 V_d' 之和获得,交轴电压 V_q 根据交轴注入电压 V_q' 获得,之后,参数识别模块根据直轴电压 V_d 和直轴电流 I_d 获得直轴电感,另外,参数识别模块还根据直轴电流 I_d 和直轴电压 V_d 获得定子电阻阻值,根据交轴电压 V_q 和交轴电流 I_q 获得交轴电感,以及交轴电流 I_q 、交轴电压 V_x 、预设电角度 θ_r 、定子电阻阻值R获得反电动势系数。此外,还根据第一预设时间范围、第二预设时间范围、第三预设时间范围和第四预设时间范围,按照一定顺序自动获取定子电阻阻值、直轴电感、交轴电感和反电动势系数。这样,该永磁同步电机的控制系统能够获取高精度的永磁同步电机的参数,从而为位置的准确估计及电流环和速度环的参数自整定提供了基础。

[0119] 图7为根据本发明实施例的永磁同步电机的参数识别方法的流程图。如图7所示,永磁同步电机的参数识别方法包括:

[0120] S1,采样永磁同步电机的三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c 。

[0121] S2,在电角度为0时,对三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c 进行坐标转换以获得直轴电流 I_d 和交轴电流 I_q 。

[0122] 也就是说,将三相静止坐标转换到两相旋转坐标,其中,电角度 θ 为0。

[0123] S3,在电角度 θ 为0时,对直轴电压 V_d 和交轴电压 V_q 进行坐标转换以获得三相参考电压 V_a 、 V_b 、 V_c 。

[0124] 其中,直轴电压 V_d 根据直轴参考电压 V_{dref} 与直轴注入电压 V_d' 之和获得,交轴电压 V_q 根据交轴注入电压 V_q' 获得。也就是说,将两相旋转坐标转换到三相静止坐标,其中,电角度 θ 为0。

[0125] S4,将三相电压 V_a 、 V_b 、 V_c 进行功率放大以获得永磁同步电机的三相电压U、V、W。

[0126] S5,根据直轴电压 V_d 和直轴电流 I_d 获得直轴电感。

[0127] 具体地,在直轴注入电压 V_d' 为第一余弦电压 $U_{i1}\cos\omega_{i1}t$,交轴注入电压 V_q' 为0时,根据以下公式获得所述直轴电感:

$$[0128] \quad L_d = -\frac{U_{i1}}{\omega_{i1} I_{i1}}$$

[0129] 其中, L_d 为直轴电感, U_{i1} 为第一余弦电压的峰值, ω_{i1} 为第一余弦电压的角频率, I_{i1} 为直轴电流的峰值。

[0130] 在本发明的一个实施例中, 如图8所示, 步骤S5之后还包括:

[0131] S6, 根据直轴电流 I_d 和直轴电压 V_d 获得定子电阻阻值, 并根据交轴电压 V_q 和交轴电流 I_q 获得交轴电感。

[0132] 具体地, 在直轴注入电压 V_d' 为一常量, 交轴注入电压 V_q' 为0时, 根据以下公式获得定子电阻阻值:

$$[0133] \quad R = V_d / I_d$$

[0134] 其中, R 为定子电阻阻值。

[0135] 在本发明的其他实施例中, 还可以根据以下公式获取定子电阻阻值 R :

$$[0136] \quad R = \frac{2 U_0}{3 I_0}$$

[0137] 其中, U_0 为永磁同步电机10的UV两端的等效直流电压, I_0 为流过定子电阻的电流, 本实施例中, 如图2所示, U_0 可为三相电压 U 、 V 、 W 中 UV 两相的相电压, I_0 可为三相电流中 U 相的相电流 I_a 。

[0138] 具体地, 在直轴注入电压 V_d' 为0, 交轴注入电压 V_q' 为第二余弦电压 $U_{i2} \cos \omega_{i2} t$ 时, 根据以下公式获得交轴电感:

$$[0139] \quad L_q = -\frac{U_{i2}}{\omega_{i2} I_{i2}}$$

[0140] 其中, L_q 为交轴电感, U_{i2} 为第二余弦电压的峰值, ω_{i2} 为第二余弦电压的角频率, I_{i2} 为交轴电流的峰值。

[0141] 这样, 能够获取高精度的永磁同步电机的参数。并且, 该参数识别方法算法简单。

[0142] 在本发明另一个实施例中, 如图9所示, 在步骤S1之后, 还包括:

[0143] S21, 在电角度为预设电角度 θ_r 时对三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c 进行坐标转换以获得直轴电流 I_d 和交轴电流 I_q 。

[0144] 具体地, 预设电角度 θ_r 可根据预设角速度 ω_r 的积分获取。

[0145] S31, 根据直轴参考电流 I_{dref} 和交轴参考电流 I_{qref} 分别对直轴电流 I_d 和交轴电流 I_q 进行电流校正以获得直轴电压 V_d 和交轴电压 V_q 。

[0146] 具体地, 直轴电压 V_d 可以根据直轴参考电流 I_{dref} 与直轴电流 I_d 的差经过比例积分调节器后得到, 交轴电压 V_q 可以根据交轴参考电流 I_{qref} 与交轴电流 I_q 的差经过比例积分调节器后得到。

[0147] S41, 在电角度为预设电角度 θ_r 时对直轴电压 V_d 和交轴电压 V_q 进行坐标转换以获得三相参考电压 V_a 、 V_b 、 V_c 。

[0148] S51, 根据交轴电流 I_q 、交轴电压 V_q 、预设电角度 θ_r 、定子电阻阻值 R 获得反电动势系数。

[0149] 具体地, 预设电角度 θ_r 可根据预设角速度 ω_r 的积分获取, 则根据以下公式获取反

电动势系数:

$$[0150] \quad Ke = \psi_r \times \frac{1000}{60 \times poles \times (2 \times \pi)}$$

[0151] 其中, $\psi_r = \frac{u_q - i_q R}{\omega_r}$, Ke为反电势系数, ψ_r 为永磁体磁通, poles为磁同步电机的极

对数, U_q 为交轴电压, I_q 为交轴电流, R为定子电阻阻值, ω_r 为预设角速度。

[0152] 在本发明的一个实施例中, 永磁同步电机的参数识别方法还包括: 在第一预设时间范围T1、第二预设时间范围T2、第三预设时间范围T3和第四预设时间范围T4分别采样永磁同步电机的三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c , 其中, 根据在第一预设时间范围T1采样的永磁同步电机的三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c , 获得定子电阻阻值R; 根据在第二预设时间范围T2采样的永磁同步电机的三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c , 获得直轴电感 L_d ; 根据在第三预设时间范围T3采样的永磁同步电机的三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c , 获得交轴电感 L_q ; 根据在第四预设时间范围T4采样的永磁同步电机的三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c , 获得反电动势系数 K_e 。

[0153] 在本发明的一个具体实施例中, 如图10所示, 永磁同步电机的参数识别方法包括以下步骤:

[0154] S101, 永磁同步电机上电初始化。

[0155] S102, 在第一预设时间范围T1内采样, 获取定子电阻阻值R。

[0156] S103, 在第二预设时间范围T2内采样, 获取直轴电感 L_d 。

[0157] S104, 在第三预设时间范围T3内采样, 获取交轴电感 L_q 。

[0158] S105, 在第四预设时间范围T4内采样, 获取反电动势系数 K_e 。

[0159] 从而可以按照一定顺序自动获取定子电阻阻值、直轴电感、交轴电感和反电动势系数, 且具有较高的精度, 并能够为位置的准确估计及电流环和速度环的参数自整定提供了基础。

[0160] 根据本发明实施例提出的永磁同步电机的参数识别方法, 在电角度为0时, 通过对三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c 进行坐标转换以获得直轴电流 I_d 和交轴电流 I_q , 并通过对直轴电压 V_d 和交轴电压 V_q 进行坐标转换以获得三相参考电压 V_a 、 V_b 、 V_c , 直轴电压 V_d 根据直轴参考电压 V_{dref} 与直轴注入电压 V_d' 之和获得, 交轴电压 V_q 根据交轴注入电压 V_q' 获得, 之后, 根据直轴电压 V_d 和直轴电流 I_d 获得直轴电感, 另外, 还根据直轴电流 I_d 和直轴电压 V_d 获得定子电阻阻值, 根据交轴电压 V_q 和交轴电流 I_q 获得交轴电感, 以及根据交轴电流 I_q 、交轴电压 V_q 、预设电角度 θ_r 、定子电阻阻值R获得反电动势系数。此外, 还根据第一预设时间范围、第二预设时间范围、第三预设时间范围和第四预设时间范围, 按照一定顺序自动获取定子电阻阻值、直轴电感、交轴电感和反电动势系数。这样, 永磁同步电机的参数识别方法能够获取高精度的永磁同步电机的参数, 从而为位置的准确估计及电流环和速度环的参数自整定提供了基础。并且, 该参数识别方法算法简单。

[0161] 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模块、片段或部分, 并且本发明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, 这应被本发明的实施例所属技术领域的技术人员所理解。

[0162] 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,可以被认为是在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(如基于计算机的系统、包括处理器的系统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。

[0163] 应当理解,本发明的各部分可以用硬件、软件、固件或它们的组合来实现。在上述实施方式中,多个步骤或方法可以用存储在存储器中且由合适的指令执行系统执行的软件或固件来实现。例如,如果用硬件来实现,和在另一实施方式中一样,可用本领域公知的下列技术中的任一项或他们的组合来实现:具有用于对数据信号实现逻辑功能的逻辑门电路的离散逻辑电路,具有合适的组合逻辑门电路的专用集成电路,可编程门阵列(PGA),现场可编程门阵列(FPGA)等。

[0164] 本技术领域的普通技术人员可以理解实现上述实施例方法携带的全部或部分步骤是可以通程序来指令相关的硬件完成,所述的程序可以存储于一种计算机可读存储介质中,该程序在执行时,包括方法实施例的步骤之一或其组合。

[0165] 此外,在本发明各个实施例中的各功能单元可以集成在一个处理模块中,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模块中。上述集成的模块既可以采用硬件的形式实现,也可以采用软件功能模块的形式实现。所述集成的模块如果以软件功能模块的形式实现并作为独立的产品销售或使用,也可以存储在一个计算机可读取存储介质中。

[0166] 上述提到的存储介质可以是只读存储器,磁盘或光盘等。

[0167] 在本说明书的描述中,参考术语“一个实施例”、“一些实施例”、“示例”、“具体示例”、或“一些示例”等的描述意指结合该实施例或示例描述的具体特征、结构、材料或者特点包含于本发明的至少一个实施例或示例中。在本说明书中,对上述术语的示意性表述不一定指的是相同的实施例或示例。而且,描述的具体特征、结构、材料或者特点可以在任何的一个或多个实施例或示例中以合适的方式结合。

[0168] 尽管已经示出和描述了本发明的实施例,对于本领域的普通技术人员而言,可以理解在不脱离本发明的原理和精神的情况下可以对这些实施例进行多种变化、修改、替换和变型,本发明的范围由所附权利要求及其等同限定。

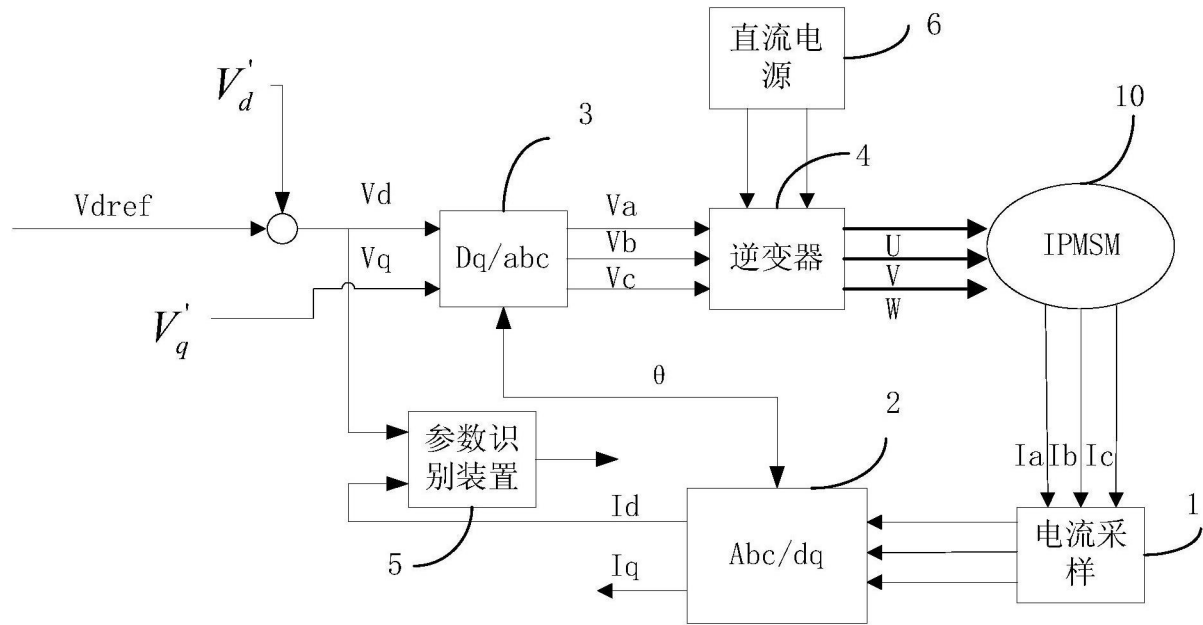


图1

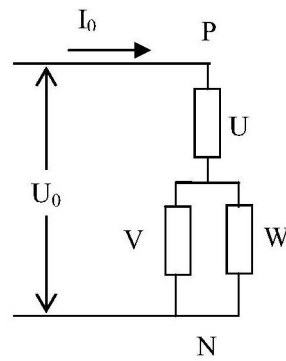


图2

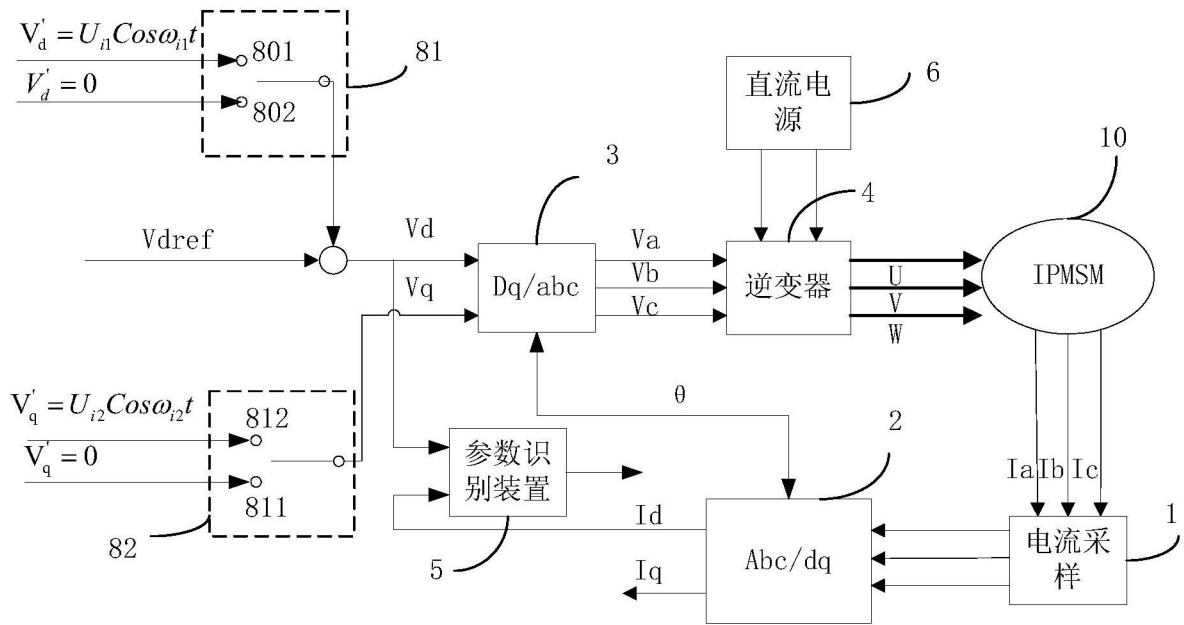


图3

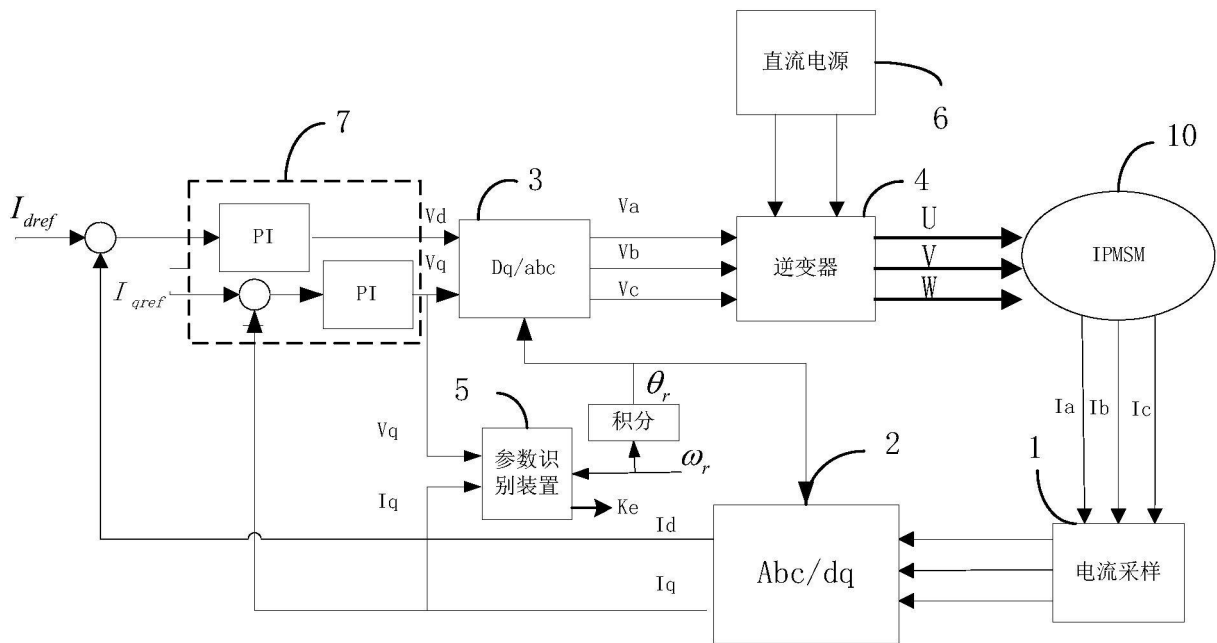


图4

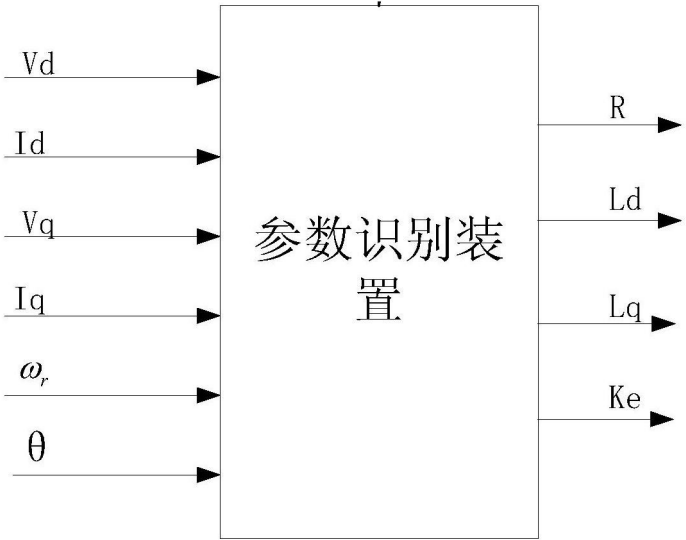


图5

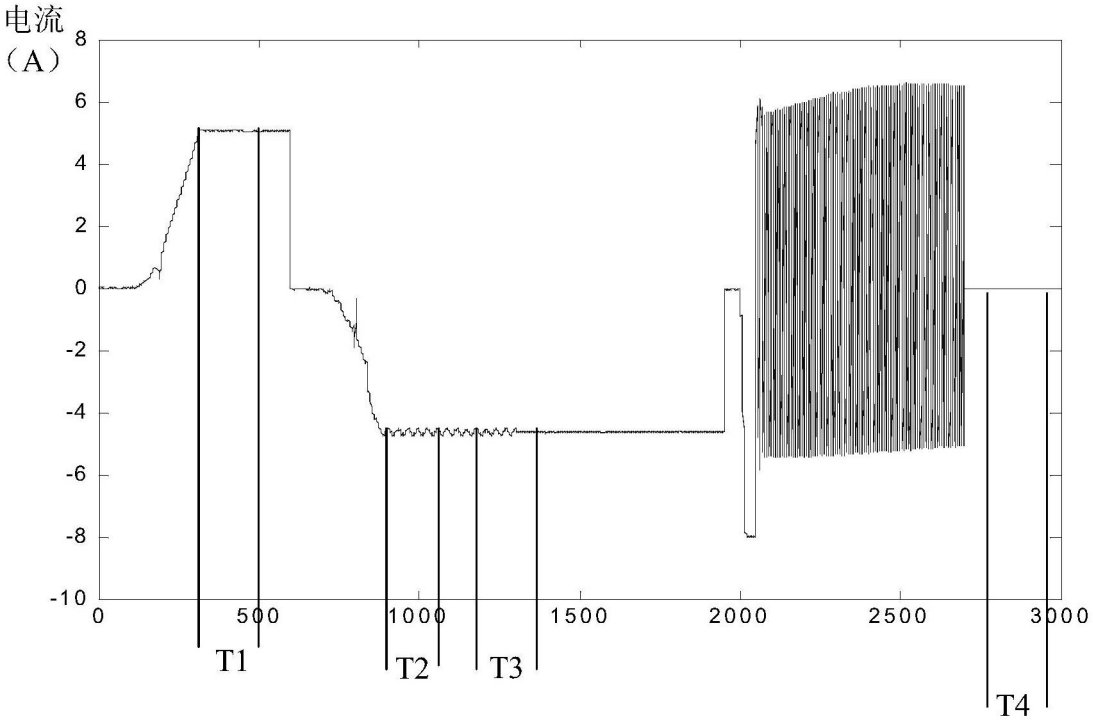


图6

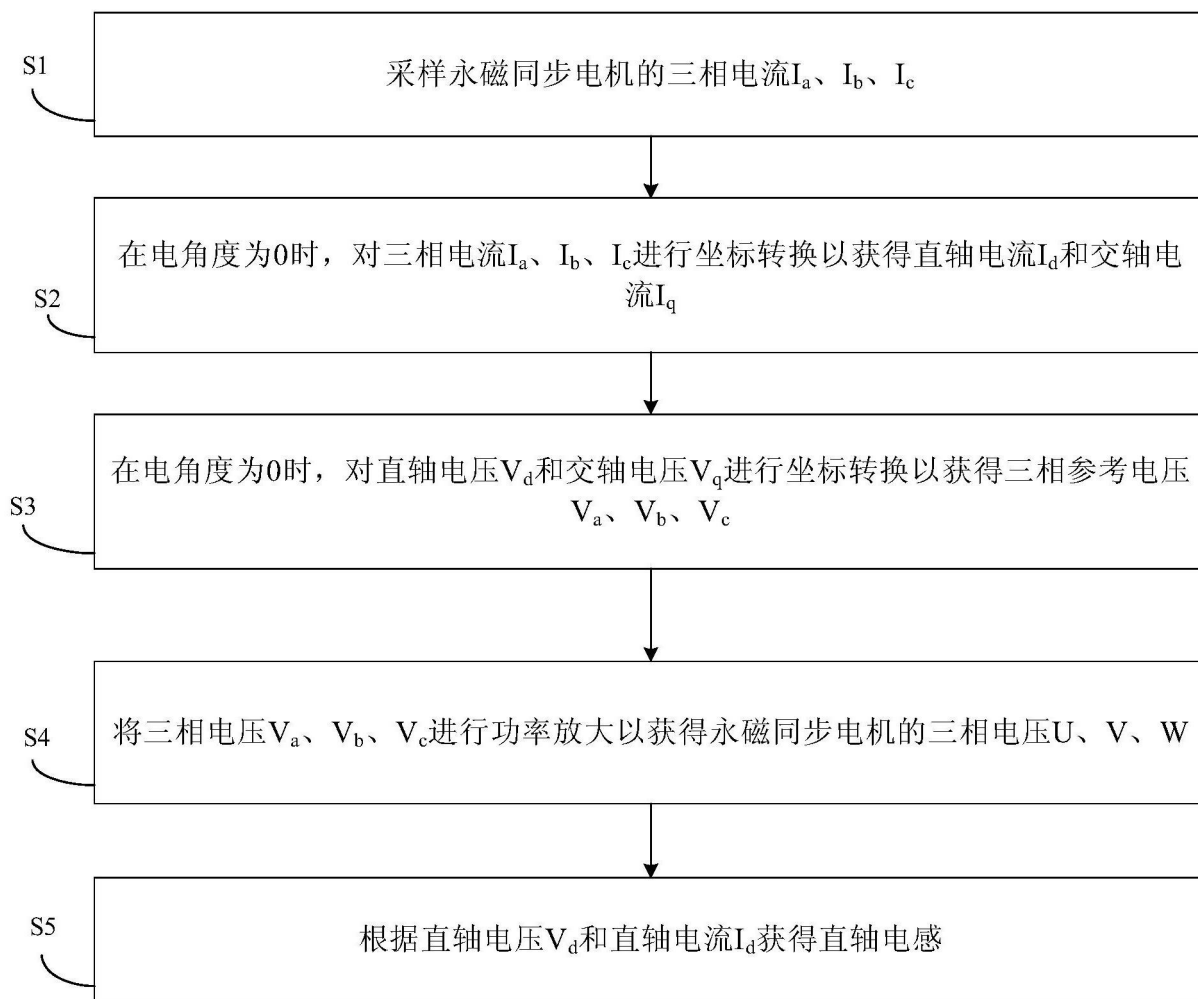


图7

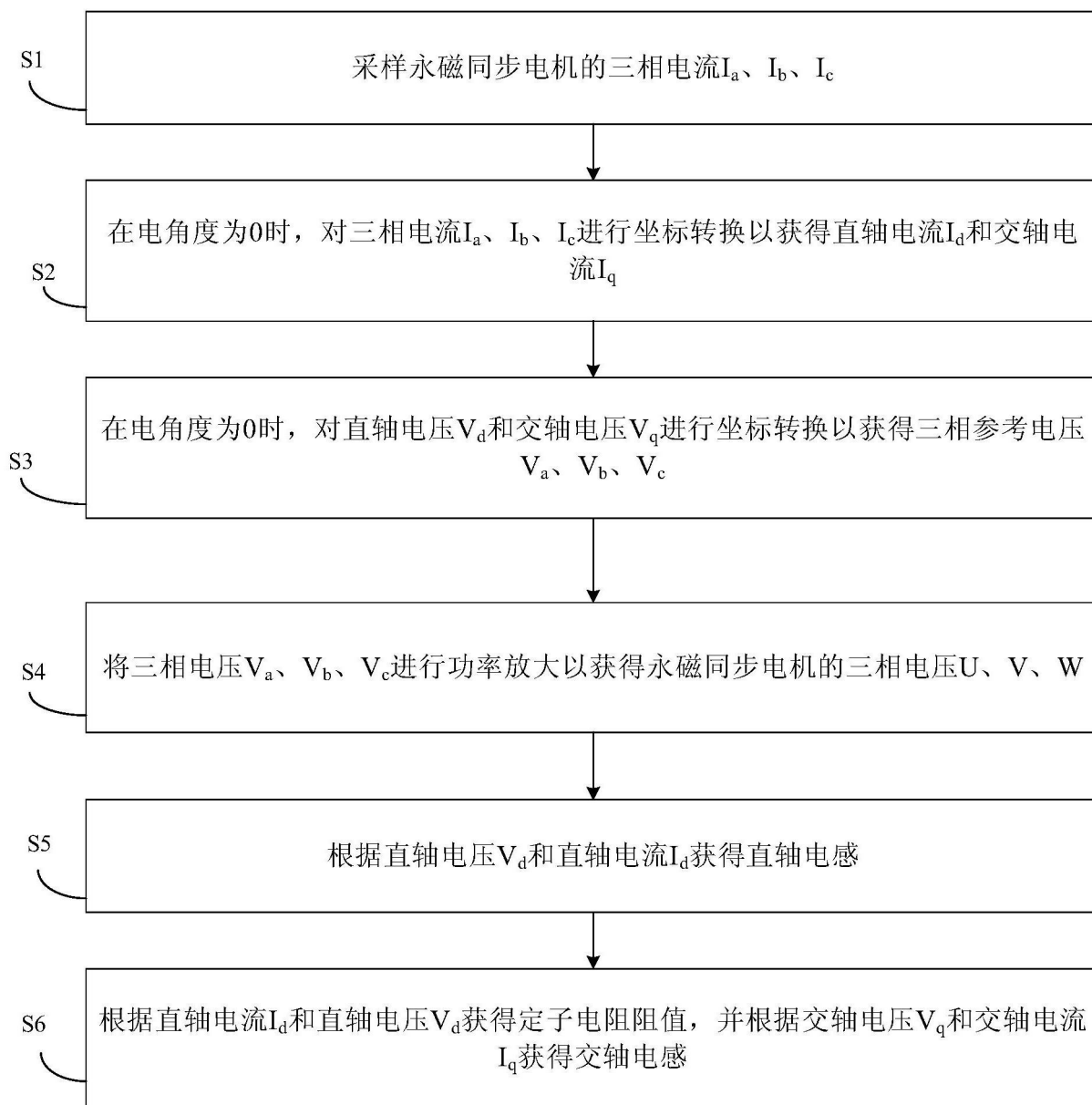


图8

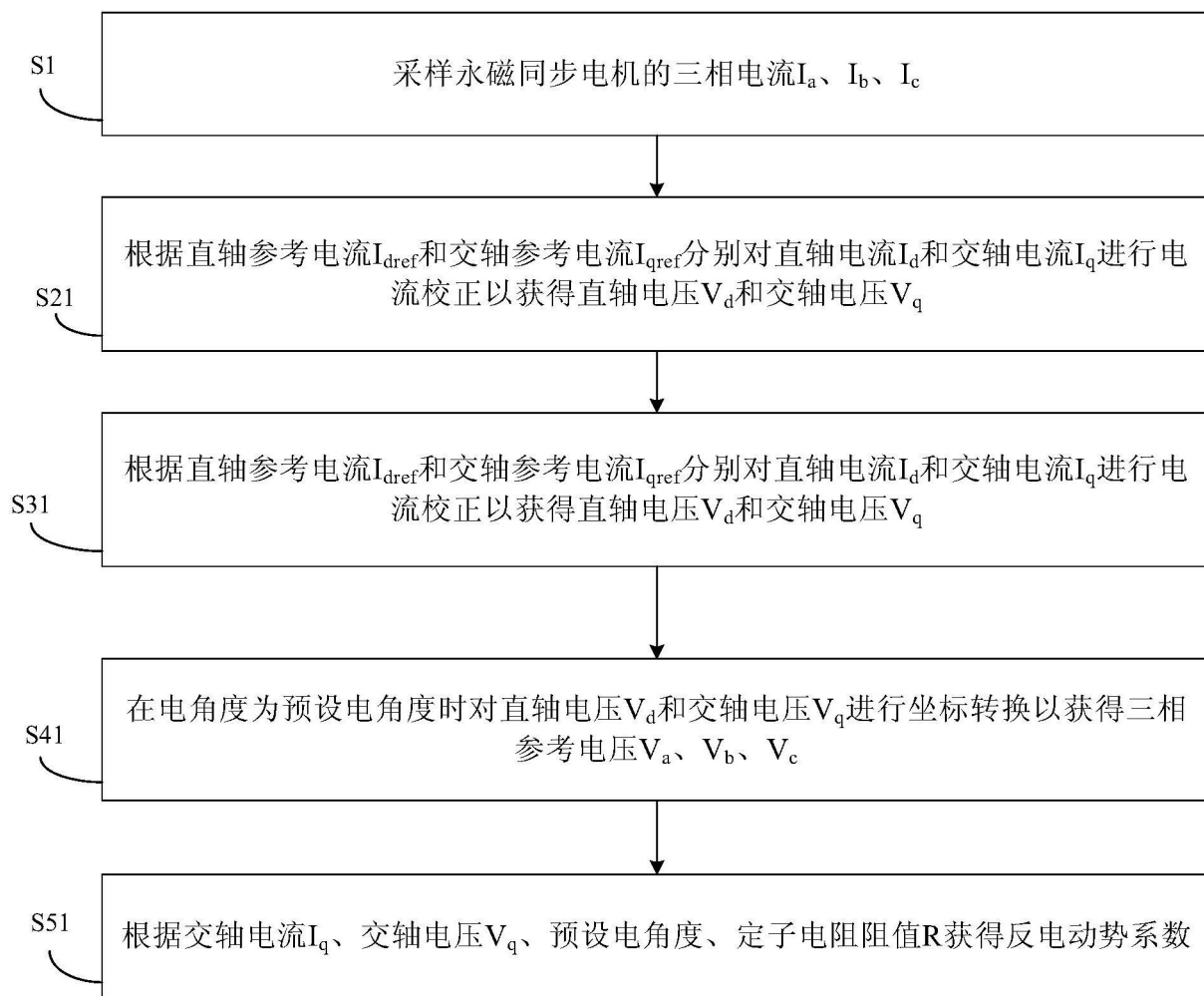


图9

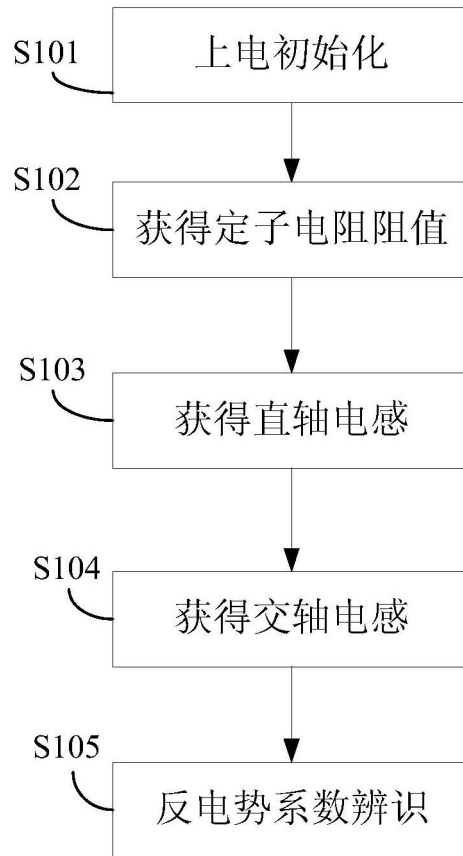


图10