



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111245329 A

(43)申请公布日 2020.06.05

(21)申请号 202010108025.9

(22)申请日 2020.02.21

(71)申请人 山东省科学院自动化研究所

地址 250014 山东省济南市历下区科院路
19号

(72)发明人 马建辉 慕永云 宋宁冉 周广旭
朱孟美 高佳

(74)专利代理机构 济南圣达知识产权代理有限公司 37221

代理人 李圣梅

(51)Int.Cl.

H02P 21/22(2016.01)

H02P 21/00(2016.01)

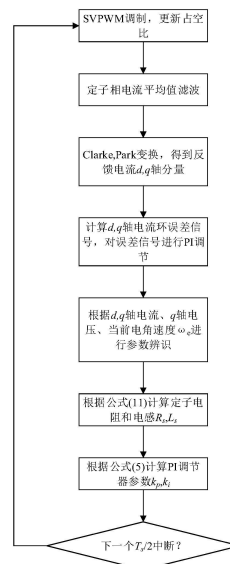
权利要求书2页 说明书7页 附图2页

(54)发明名称

一种永磁同步电机电流环PI调节器参数自整定方法及系统

(57)摘要

本发明公开了一种永磁同步电机电流环PI调节器参数自整定方法及系统,包括:将电流反馈环节简化为不带延迟的单位负反馈,简化掉PWM逆变器环节,得到包含PI调节器和定子绕组的简化电流环结构;基于简化电流环结构建立简化的电流环开环传递函数;将PI调节器传递函数和定子绕组传递函数形成零极点相消,得出一阶惯性环节形式的电流环闭环传递函数;针对定子电阻和定子电感随电机运行状态发生变化的情况,识别出最优估计的定子电阻和电感,实时调整PI调节器的参数。本发明实现了电流环PI调节器参数的自适应整定,解决了PI调节器参数与电机实际运行条件不匹配的问题。



1. 一种永磁同步电机电流环PI调节器参数自整定方法,其特征是,包括:

将电流反馈环节简化为不带延迟的单位负反馈,简化掉PWM逆变器环节,得到包含PI调节器和定子绕组的简化电流环结构;

基于简化电流环结构建立简化的电流环开环传递函数;

将PI调节器传递函数和定子绕组传递函数形成零极点相消,得出一阶惯性环节形式的电流环闭环传递函数;

针对定子电阻和定子电感随电机运行状态发生变化的情况,识别出最优估计的定子电阻和电感,实时调整PI调节器的参数。

2. 如权利要求1所述的一种永磁同步电机电流环PI调节器参数自整定方法,其特征是,在电流反馈环节,以高于PWM开关频率的采样频率进行过采样,然后进行求平均值滤波,采用数字滤波的形式消除采用硬件方式进行低通滤波造成的延迟,使得电流反馈环节的时间常数 $T_d \ll T_e$, T_e 为永磁同步电机的电气时间常数。

3. 如权利要求1所述的一种永磁同步电机电流环PI调节器参数自整定方法,其特征是,根据电流环设计带宽、定子电阻、定子电感求取PI调节器参数。

4. 如权利要求1所述的一种永磁同步电机电流环PI调节器参数自整定方法,其特征是,根据带遗忘因子的递推最小二乘法识别永磁同步电机定子电阻和定子电感时:

选择待估计参数向量,根据永磁同步电机PMSM数学模型建立最小二乘形式的状态方程;

根据带遗忘因子的递推最小二乘法计算参数向量的最优估计;

根据参数向量最优估计计算定子电阻和定子电感。

5. 如权利要求4所述的一种永磁同步电机电流环PI调节器参数自整定方法,其特征是,根据永磁同步电机数学模型建立最小二乘形式的状态方程:

根据基尔霍夫电压定律,建立d,q轴的电压平衡方程;

以d,q轴电流 i_d, i_q 为状态变量,将电压方程改写成状态方程形式;

以电流更新周期将状态方程进行离散化,给出矩阵方程形式的离散化状态方程;

将上述离散化状态方程改写最小二乘形式。

6. 如权利要求5所述的一种永磁同步电机电流环PI调节器参数自整定方法,其特征是,定子电流的d,q轴分量 i_d, i_q 由定子相电流经Clarke变换和Park变换计算得出,定子电压的d,q轴分量 u_d, u_q 由定子相电压经Clarke变换和Park变换计算得出。

7. 一种永磁同步电机电流环PI调节器参数自整定系统,其特征是,包括:控制器,所述控制器被配置为执行以下步骤:

将电流反馈环节简化为不带延迟的单位负反馈,简化掉PWM逆变器环节,得到包含PI调节器和定子绕组的简化电流环结构;

基于简化电流环结构建立简化的电流环开环传递函数;

将PI调节器传递函数和定子绕组传递函数形成零极点相消,得出一阶惯性环节形式的电流环闭环传递函数;

针对定子电阻和定子电感随电机运行状态发生变化的情况,识别出最优估计的定子电阻和电感,实时调整PI调节器的参数。

8. 如权利要求7所述的一种永磁同步电机电流环PI调节器参数自整定系统,其特征是,

在电流反馈环节,以高于PWM开关频率的采样频率进行过采样,然后进行求平均值滤波,采用数字滤波的形式消除采用硬件方式进行低通滤波造成的延迟,使得电流反馈环节的时间常数 $T_d \ll T_e$, T_e 为永磁同步电机的电气时间常数。

9.如权利要求7所述的一种永磁同步电机电流环PI调节器参数自整定系统,其特征是,根据电流环设计带宽、定子电阻、定子电感求取PI调节器参数。

10.一种永磁同步电机电流环PI调节器参数自整定系统,其特征是,包括电流控制环路,所述电流控制环路由PI调节器、PWM逆变器、定子绕组、电流反馈四个环节构成;

电流反馈环节实现电流过采样及平均值滤波,通过过采样,在一个PWM开关周期内得到多个电流数据,对这些数据求平均值起到过滤噪声的作用;

定子绕组识别即电机电感及电阻的在线实时识别,采用带遗忘因子的递推最小二乘法把随着工作状态发生变化的电机电感值和电阻的当前值“估计”出来;

PI调节器系数计算是根据“最优估计”的电感值、电阻值和电流环带宽计算出比例环节系数和积分环节系数;

PWM逆变器基于PI调节器的计算参数进行PWM波的逆变信号并输出至定子绕组。

一种永磁同步电机电流环PI调节器参数自整定方法及系统

技术领域

[0001] 本发明属于电机控制技术领域,尤其涉及一种永磁同步电机电流环PI调节器参数自整定方法及系统。

背景技术

[0002] 本部分的陈述仅仅是提供了与本公开相关的背景技术信息,不必然构成在先技术。

[0003] 永磁同步电机(PMSM)的矢量控制一般采用双闭环或者三闭环级联控制结构,其中,最内环为电流环,一般采用PI调节器实现快速的电流控制。在电流环的PI调节器设计中,比例项系数 k_p 、积分项系数 k_i 和电机参数不匹配将导致系统运行性能的降低,还可能影响系统的运行稳定性。由于PMSM的定转子参数会随着温升和磁路饱和发生变化,因此,需要在电机运行过程中对PI调节器参数进行自整定。

[0004] 现有技术中公开的相关永磁同步电机双闭环矢量控制PI调节器参数整定方法中,利用电流环闭环传递函数中的零极点相消原理将电流内环系统校正为一阶系统,并根据一阶系统的带宽整定出电流环PI调节器的比例系数和积分系数。该方法简化了电流环闭环传递函数,给出了电流环PI调节器参数的整定过程,但是并没有给出将电流环简化为一阶系统的具体方法,而且整定出的PI调节器参数不会随着电机实际运行过程发生变化,无法解决PI参数的自适应整定问题。

发明内容

[0005] 为克服上述现有技术的不足,本发明提供了一种永磁同步电机电流环PI调节器参数自整定系统,可以简化电流环控制结构,并实现PI调节器参数在电机实际运行过程中的自适应调整。

[0006] 为实现上述目的,本发明的一方面,本发明的一个或多个实施例提供了如下技术方案:

[0007] 一种永磁同步电机电流环PI调节器参数自整定方法,包括:

[0008] 将电流反馈环节简化为不带延迟的单位负反馈,简化掉PWM逆变器环节,得到包含PI调节器和定子绕组的简化电流环结构;

[0009] 基于简化电流环结构建立简化的电流环开环传递函数;

[0010] 将PI调节器传递函数和定子绕组传递函数形成零极点相消,得出一阶惯性环节形式的电流环闭环传递函数;

[0011] 针对定子电阻和定子电感随电机运行状态发生变化的情况,识别出最优估计的定子电阻和电感,实时调整PI调节器的参数。

[0012] 本发明的另一方面,本发明的一个或多个实施例还提供了如下技术方案:

[0013] 一种永磁同步电机电流环PI调节器参数自整定系统,包括:控制器,所述控制器被配置为执行以下步骤:

- [0014] 将电流反馈环节简化为不带延迟的单位负反馈,简化掉PWM逆变器环节,得到包含PI调节器和定子绕组的简化电流环结构;
- [0015] 基于简化电流环结构建立简化的电流环开环传递函数;
- [0016] 将PI调节器传递函数和定子绕组传递函数形成零极点相消,得出一阶惯性环节形式的电流环闭环传递函数;
- [0017] 针对定子电阻和定子电感随电机运行状态发生变化的情况,识别出最优估计的定子电阻和电感,实时调整PI调节器的参数。
- [0018] 本发明的第三方面,本发明的一个或多个实施例还提供了如下技术方案:
- [0019] 一种永磁同步电机电流环PI调节器参数自整定系统,其特征是,包括电流控制环路,所述电流控制环路由PI调节器、PWM逆变器、定子绕组、电流反馈四个环节构成;
- [0020] 电流反馈环节实现电流过采样及平均值滤波,通过过采样,在一个PWM开关周期内得到多个电流数据,对这些数据求平均值起到过滤噪声的作用;
- [0021] 定子绕组识别即电机电感及电阻的在线实时识别,采用带遗忘因子的递推最小二乘法把随着工作状态发生变化的电机电感值和电阻的当前值“估计”出来;
- [0022] PI调节器系数计算是根据“最优估计”的电感值、电阻值和电流环带宽计算出比例环节系数和积分环节系数;
- [0023] PWM逆变器基于PI调节器的计算参数进行PWM波的逆变信号并输出至定子绕组。
- [0024] 以上一个或多个技术方案存在以下有益效果:
- [0025] 本公开将电流反馈环节简化为不带延迟的单位负反馈,简化掉PWM逆变器环节,得到包含PI调节器和定子绕组的简化电流环结构;基于简化电流环结构建立简化的电流环开环传递函数,采用基于传递函数的经典控制理论,避免了现代控制理论涉及的复杂计算,可以在控制器上(例如嵌入式MCU)上高效实现。
- [0026] 本公开将PI调节器传递函数和定子绕组传递函数形成零极点相消,得出一阶惯性环节形式的电流环闭环传递函数;针对定子电阻和定子电感随电机运行状态发生变化的情况,识别出最优估计的定子电阻和电感,实时调整PI调节器的参数通过电机参数的实时辨识,实现了电流环PI调节器参数的自适应整定,解决了PI调节器参数与电机实际运行条件不匹配的问题。

附图说明

- [0027] 构成本发明的一部分的说明书附图用来提供对本发明的进一步理解,本发明的示意性实施例及其说明用于解释本发明,并不构成对本发明的不当限定。
- [0028] 图1为本发明实施例整体算法流程图;
- [0029] 图2为本发明实施例的完整电流环结构图;
- [0030] 图3为本发明实施例的简化电流环结构及各环节传递函数图。

具体实施方式

- [0031] 应该指出,以下详细说明都是示例性的,旨在对本发明提供进一步的说明。除非另有指明,本文使用的所有技术和科学术语具有与本发明所属技术领域的普通技术人员通常理解的相同含义。

[0032] 需要注意的是,这里所使用的术语仅是为了描述具体实施方式,而非意图限制根据本发明的示例性实施方式。如在这里所使用的,除非上下文另外明确指出,否则单数形式也意图包括复数形式,此外,还应当理解的是,当在本说明书中使用术语“包含”和/或“包括”时,其指明存在特征、步骤、操作、器件、组件和/或它们的组合。

[0033] 在不冲突的情况下,本发明中的实施例及实施例中的特征可以相互组合。

[0034] 实施例一

[0035] 本实施例公开了一种永磁同步电机电流环PI调节器参数自整定系统,参见附图2所示,将电流控制环路划分成PI调节器、PWM逆变器、定子绕组、电流反馈四个环节,建立完整的电流环控制结构图。

[0036] 电流过采样及平均值滤波可以对应电路环中的电流反馈环节,通过过采样,可以在一个PWM开关周期内得到16个电流数据,对这些数据求平均值可以起到过滤噪声的作用,避免了采用硬件滤波器(倘若使用硬件滤波,电流反馈环节就不可避免存在较大的延迟)。

[0037] 电机电感及电阻的在线实时识别是采用带遗忘因子的递推最小二乘法把随着工作状态发生变化的电机电感值和电阻的当前值“估计”出来。

[0038] PI调节器系数计算是根据“最优估计”的电感值、电阻值和电流环带宽计算出比例环节系数和积分环节系数。

[0039] 参见附图3所示,通过实施过采样及平均值滤波技术,消除传统的硬件滤波方式引入的延迟,将电流反馈环节简化为不带延迟的单位负反馈。结合电流过采样及平均值滤波,采用单个PWM开关周期内更新两次PWM占空比的方式降低逆变器环节引入的延迟,简化掉PWM逆变器环节,得到只包含PI调节器和定子绕组的简化电流环结构,建立简化的电流环开环传递函数。

[0040] 只有建立简化的电流环开环传递函数,才能得到PI调节器系数的简单计算方式,才可以用于嵌入式实时应用。否则,电流环传递函数很复杂的话,计算PI调节器系数也会很复杂。

[0041] 令PI调节器传递函数和定子绕组传递函数形成零极点相消,得出一阶惯性环节形式的电流环闭环传递函数,建立由电流环设计带宽、定子电阻、定子电感求取PI调节器参数的计算公式。同时,针对定子电阻和定子电感随电机运行状态发生变化的情况,采用带遗忘因子的递推最小二乘法,识别出最优估计的定子电阻和电感,根据上述计算公式实时调整PI调节器的参数。

[0042] 在另一实施例子中,一种永磁同步电机电流环PI调节器参数自整定系统,包括:控制器,所述控制器被配置为执行以下步骤:

[0043] 将电流反馈环节简化为不带延迟的单位负反馈,简化掉PWM逆变器环节,得到包含PI调节器和定子绕组的简化电流环结构;

[0044] 基于简化电流环结构建立简化的电流环开环传递函数;

[0045] 将PI调节器传递函数和定子绕组传递函数形成零极点相消,得出一阶惯性环节形式的电流环闭环传递函数;

[0046] 针对定子电阻和定子电感随电机运行状态发生变化的情况,识别出最优估计的定子电阻和电感,实时调整PI调节器的参数。

[0047] 实施例二

[0048] 本实施例公开了一种永磁同步电机电流环PI调节器参数自整定方法,参见附图1所示,包括:SVPWM调制,更新占空比,获得定子相电流平均值滤波,进行Clarke变换和Park变换,得到反馈电流dq轴分量,计算dq轴电流环误差信号,对误差信号进行PI调节,根据dq轴电流、q轴电压、当前电角速度进行参数辨识,计算定子电阻及电感,计算PI调节器参数,判断下一个半周期是否中断。

[0049] 对于一般形式下的电流环结构,建立的(这里的开环传递函数不是最简形式,是“一般形式”)电流环开环传递函数为:

$$[0050] \quad G_k(s) = (k_p + \frac{k_i}{s}) \frac{1}{(T_i s + 1)} \frac{\frac{1}{R_s}}{(T_e s + 1)} \frac{1}{(T_d s + 1)} \quad (1)$$

[0051] 式中, k_p 为PI调节器比例项系数, k_i 为PI调节器积分项系数; T_i 为逆变器环节对应的时间常数,具体取值为从电流采样到PWM占空比更新的时间延迟; T_e 为PMSM的电气时间常数,具体值为 $\frac{L_s}{R_s}$, R_s 为PMSM定子电阻, L_s 为PMSM定子电感; T_d 为电流反馈环节对应的时间常数。记PWM开关周期为 T_s 。

[0052] 在电流反馈环节,以16倍于PWM开关频率的采样频率进行过采样,然后进行求平均值滤波,采用数字滤波的形式消除采用传统硬件方式进行低通滤波造成的延迟,使得电流反馈环节的时间常数 $T_d \ll T_e$,该环节简化为不带延迟的单位负反馈。

[0053] 在电流反馈环节采用过采样及平均值滤波技术消除了传统硬件低通滤波方式造成的延迟,不仅简化了PI调节器的设计,还有助于提高电流环的带宽。

[0054] 在逆变器环节,在第k个开关周期起始时刻 kT_s 采用(k-1)个开关周期中以过采样+求平均值方式得到的相电流进行PI调节计算,在 $(k+0.5)T_s$ 时刻更新PWM占空比,并采用 $[(k-0.5)T_s, (k+0.5)T_s]$ 内得到的相电流进行PI调节计算,在 $(k+1)T_s$ 时刻更新PWM占空比,使得逆变器环节的时间常数 $T_i = T_s \ll T_e$,该环节可以忽略不计。

[0055] 在经典控制理论中,分母上存在多个极点的话,大极点远远大于小极点的话,可以忽略大极点,极点和时间常数成倒数关系,所以逆变器环节是个大极点。

[0056] 简化电流环的开环传递函数为:

$$[0057] \quad G_k(s) = \frac{(\frac{k_p}{k_i} s + 1)}{s} \frac{\frac{1}{R_s k_i}}{(\frac{L_s}{R_s} s + 1)} \quad (2)$$

[0058] 令 $\frac{k_p}{k_i} = \frac{L_s}{R_s}$,PI调节器传递函数和定子绕组传递函数形成零极点相消,最简形式的电流环开环传递函数为:

$$[0059] \quad G_k(s) = \frac{1}{R_s k_i s} \quad (3)$$

[0060] 闭环传递函数为:

$$[0061] \quad G_b(s) = \frac{1}{R_s k_i s + 1} \quad (4)$$

[0062] 根据电流环设计带宽(电流环设计带宽的单位是Hz,比如带宽为1kHz时,电流环会以1ms的速度跟随“给定值”,可以认为带宽越大,跟随速度越快)、定子电阻、定子电感求取PI调节器参数的计算公式为:

$$[0063] \quad \begin{cases} k_i = \alpha R_s \\ k_p = \alpha L_s \end{cases} \quad (5)$$

[0064] 式中, α 为电流环设计带宽。

[0065] 根据带遗忘因子的递推最小二乘法识别PMSM定子电阻和定子电感的方法为:

[0066] 步骤一:选择合适的待估计参数向量,根据PMSM数学模型建立最小二乘形式的状态方程;

[0067] 步骤二:根据带遗忘因子的递推最小二乘法计算参数向量的最优估计;

[0068] 步骤三:根据参数向量最优估计计算定子电阻和电感。

[0069] 根据PMSM数学模型建立最小二乘形式的状态方程的方法为:

[0070] 步骤1-1:根据基尔霍夫电压定律,建立d,q轴的电压平衡方程:

$$[0071] \quad \begin{cases} u_d = R_s i_d + L_s \frac{di_d}{dt} - \omega_e L_s i_q \\ u_q = R_s i_q + L_s \frac{di_q}{dt} + \omega_e L_s i_d + \omega_e \psi_f \end{cases} \quad (6)$$

[0072] 式中, u_d, u_q 为定子电压的d,q轴分量, i_d, i_q 为定子电流的d,q轴分量, ω_e 为电角速度, ψ_f 为转子磁链。

[0073] 步骤1-2:以d,q轴电流 i_d, i_q 为状态变量,将电压方程改写成状态方程形式:

$$[0074] \quad \begin{cases} \frac{di_d}{dt} = \frac{u_d}{L_s} - \frac{R_s i_d}{L_s} + \omega_e i_q \\ \frac{di_q}{dt} = \frac{u_q}{L_s} - \frac{R_s i_q}{L_s} - \omega_e i_d - \frac{\omega_e \psi_f}{L_s} \end{cases} \quad (7)$$

[0075] 步骤1-3:以电流更新周期T将状态方程进行离散化,给出矩阵方程形式的离散化状态方程:

$$[0076] \quad \begin{bmatrix} i_d(k) \\ i_q(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - \frac{TR_s}{L_s} & \omega_e T \\ -\omega_e T & 1 - \frac{TR_s}{L_s} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d(k-1) \\ i_q(k-1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{T}{L_s} & 0 \\ 0 & \frac{T}{L_s} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_d(k-1) \\ u_q(k-1) - \omega_e \psi_f \end{bmatrix} \quad (8)$$

[0077] 式中, $T = T_s/2$ 。

[0078] 步骤1-4:以 $\hat{\theta} = \left[1 - \frac{TR_s}{L_s} \quad \frac{T}{L_s} \quad \frac{\psi_f}{L_s} \quad -\omega_e T \right]^T$ 为待估计参数向量,将上述离散化状态

方程改写为 $Y = \Phi \hat{\theta}$ 的最小二乘形式:

$$[0079] \quad \begin{bmatrix} i_d(k) \\ i_q(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_d(k-1) & u_d(k-1) & 0 & -i_q(k-1) \\ i_q(k-1) & u_q(k-1) & -\omega_e T & i_d(k-1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 - \frac{TR_s}{L_s} & \frac{T}{L_s} & \frac{\psi_f}{L_s} & -\omega_e T \end{bmatrix}^T \quad (9)$$

[0080] 其中,

$$[0081] \quad Y = \begin{bmatrix} i_d(k) \\ i_q(k) \end{bmatrix}, \Phi = \begin{bmatrix} i_d(k-1) & u_d(k-1) & 0 & -i_q(k-1) \\ i_q(k-1) & u_q(k-1) & -\omega_e T & i_d(k-1) \end{bmatrix}, \hat{\theta} = \begin{bmatrix} 1 - \frac{TR_s}{L_s} & \frac{T}{L_s} & \frac{\psi_f}{L_s} & -\omega_e T \end{bmatrix}^T$$

[0082] 根据带遗忘因子的递推最小二乘法计算参数向量的最优估计的公式为:

$$[0083] \quad \begin{cases} \hat{\theta}_k = \hat{\theta}_{k-1} + F_k (y_k - \psi_k^T \hat{\theta}_{k-1}) \\ F_k = \frac{P_{k-1} \psi_k^T}{\lambda + \psi_k^T P_{k-1} \psi_k} \\ P_k = \frac{1}{\lambda} (I - F_k \psi_k^T) P_{k-1} \end{cases} \quad (10)$$

[0084] 式中, $\hat{\theta}_k$ 为参数向量 $\hat{\theta}$ 的第k次估计, $\hat{\theta}_{k-1}$ 为参数向量 $\hat{\theta}$ 的第k-1次估计, y_k 为Y矩阵的行向量, 选择为 $i_q(k)$, ψ_k 为 Φ 的行向量, 选择为 $[i_q(k-1) \ u_q(k-1) \ -\omega_e T \ i_d(k-1)]$, F_k 为增益矩阵, P_k 为协方差矩阵, 均为计算过程中的中间变量, λ 为遗忘因子, 选择为0.98。

[0085] 根据参数向量最优估计计算定子电阻和电感的公式为:

$$[0086] \quad \begin{cases} L_s = \frac{T}{\hat{\theta}_k(2)} \\ R_s = \frac{1 - \hat{\theta}_k(1)}{\hat{\theta}_k(2)} \end{cases} \quad (11)$$

[0087] 式中, $\hat{\theta}_k(1)$ 为参数向量 $\hat{\theta}$ 第k次估计值的第一个元素, $\hat{\theta}_k(2)$ 为参数向量 $\hat{\theta}$ 第k次估计值的第二个元素。

[0088] 电角速度 ω_e 为由机械角速度 ω_m 计算得出, 记PMSM极对数为p, ω_e , ω_m 满足以下关系:

$$[0089] \quad \omega_e = p \omega_m \quad (12)$$

[0090] 定子电流的d,q轴分量 i_d, i_q 由定子相电流经Clarke变换和Park变换计算得出, 所述定子电压的d,q轴分量 u_d, u_q 由定子相电压经Clarke变换和Park变换计算得出。

[0091] 本领域技术人员应该明白, 上述本发明的各模块或各步骤可以用通用的计算机装置来实现, 可选地, 它们可以用计算装置可执行的程序代码来实现, 从而, 可以将它们存储在存储装置中由计算装置来执行, 或者将它们分别制作成各个集成电路模块, 或者将它们中的多个模块或步骤制作成单个集成电路模块来实现。本发明不限制于任何特定的硬件和软件的结合。

[0092] 以上所述仅为本发明的优选实施例而已, 并不用于限制本发明, 对于本领域的技术人员来说, 本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内, 所作的任何修改、等同替换、改进等, 均应包含在本发明的保护范围之内。

[0093] 上述虽然结合附图对本发明的具体实施方式进行了描述,但并非对本发明保护范围的限制,所属领域技术人员应该明白,在本发明的技术方案的基础上,本领域技术人员不需要付出创造性劳动即可做出的各种修改或变形仍在本发明的保护范围以内。

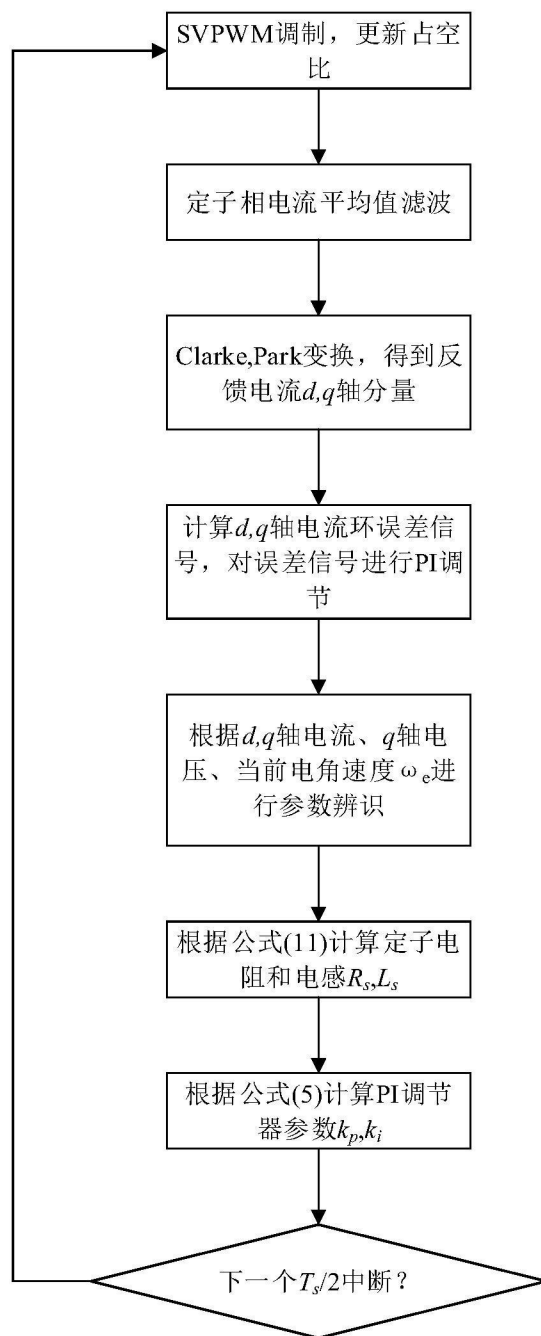


图1

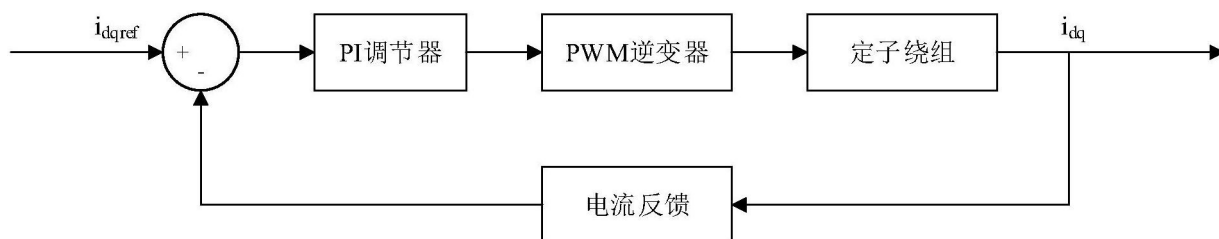


图2

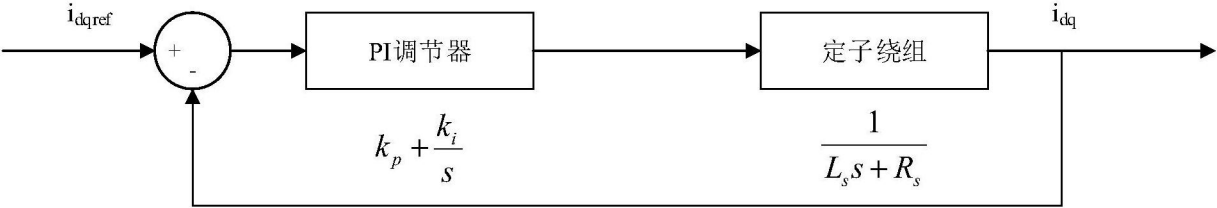


图3