

# 永磁同步电机混沌运动反步动态面控制

王明新<sup>1</sup>, 张树凯<sup>2</sup>, 李文萍<sup>1</sup>, 孙刚<sup>1</sup>

(1.湖南工学院理学院,湖南 衡阳 421002;

2.湖南高速铁路职业技术学院铁道电信学院,湖南 衡阳 421002)

**摘要:**针对永磁同步电机运动系统的混沌控制问题,提出一种反步动态面控制设计方法。首先,针对误差面子系统采用反步设计方法递归设计虚拟控制律和实际控制律,保证各子系统稳定;其次,使用动态面控制技术对虚拟控制信号进行滤波处理,解决控制设计复杂和控制结构循环依赖问题;最后,对闭环控制系统的结构进行分析,给出所有信号半全局一致最终有界的结果。此外,利用数值仿真技术对所提控制设计方法的有效性进行了模拟验证。

**关键词:**永磁同步电机;混沌运动;反步设计;动态面控制

**中图分类号:**TP273

**文献标志码:**A

## 引言

永磁同步电机(Permanent Magnet Synchronous Motor, PMSM)具有结构简单、功率效率高、调速特性平滑、运行可靠等优点<sup>[1-2]</sup>,因而被广泛应用于汽车工业、航空航天、船舶工程、电力工业以及机械工程等领域<sup>[3-7]</sup>。在这些应用中,电驱动系统是非常重要的核心部件,而永磁同步电机及其控制系统则是影响电驱动系统最为关键的因素。常用于永磁同步电机控制的技术有直接转矩控制<sup>[1,5]</sup>、矢量控制<sup>[1,8]</sup>等。由于永磁同步电机系统存在非线性、多变量等特点,导致对其进行控制的难度大、算法复杂,有时难以达到要求的控制目标或控制精度。近年来,国内

外学者基于一些先进的控制理论与技术等,提出一系列有效的永磁同步电机控制设计方法,如自适应控制<sup>[9-10]</sup>、模糊控制<sup>[8,10]</sup>、滑模控制<sup>[3,9-10]</sup>等。

永磁同步电机系统的非线性、多变量特点还可能引起另一个不容忽视的重要问题,即电机系统在某些特定条件下会出现混沌运动状态<sup>[11-13]</sup>,如随机振荡、控制性能不稳定等。这些混沌运动状态有时会对电机系统的运行产生不利影响,甚至可能会对系统产生损害。因此,如何避免有害混沌运动状态的出现或是在混沌状态出现时及时加以抑制或消除,保证系统运行稳定并达到期望的目标就成为永磁同步电机系统控制中一个具有实际意义的问题。针对永磁同步电机运动系统的混沌抑制或消除问

收稿日期:2022-02-04

基金项目:国家自然科学基金项目(61463019);湖南省教育厅项目(18C0910;20C0565;21C0806)

作者简介:王明新(1980-),女,讲师,硕士,研究方向为非线性系统理论,(E-mail)wangmx54@126.com

通信作者:张树凯(1979-),男,讲师,研究方向为信号处理与铁道信号控制,(E-mail)67864040@qq.com

题,国内外学者近年来提出了很多有效的控制策略和方法。2008年,蔡明山<sup>[14]</sup>针对永磁同步电机混沌运动控制问题给出了一个具有分段二次函数形式的非线性反馈控制器设计方法。为了控制永磁同步电机动力系统不良混沌振动,范本正等<sup>[15]</sup>提出了一个基于自适应反步的滑模变结构非线性控制器设计方法。2009年,李东等<sup>[16]</sup>针对参数不确定的永磁同步电机提出了一种基于Takagi-Sugen模型的模糊控制设计方法。李峰磊等<sup>[17]</sup>设计了一种具有自抗扰能力的永磁同步电机混沌控制器。唐传胜等<sup>[18]</sup>针对含有参数不确定性的永磁同步电机混沌系统提出了一种主动有限时间稳定控制设计方法,设计的控制器能够有效提高系统的响应能力。针对永磁同步电机系统状态不完全可测的情况,陈强等<sup>[19]</sup>提出了基于扩张状态观测器的自适应滑模控制设计方法,改善了滑模控制抖振的问题。侯利民等<sup>[20]</sup>设计了一种非奇异快速终端滑模控制器。黄俊豪等<sup>[21]</sup>针对永磁直线同步电机系统提出了基于粒子群算法优化的状态反馈滑模混沌控制器。其他一些永磁同步电机混沌控制设计方法见文献[22-23]等。

反步(Backstepping)是由Krstic等<sup>[24]</sup>提出的一种系统化的控制器设计方法,它是将一个高阶非线性系统的控制设计问题分解为多个低阶(或一阶)系统的递归设计问题。文献[15]中的工作就用到了反步设计方法。然而,反步设计存在“复杂程度显著增长”的缺点,即随着被控系统阶数的增加,所设计的控制器复杂性显著增加,从而导致高阶系统的控制器实现非常困难<sup>[25]</sup>。1997年,Swaroop等<sup>[25]</sup>针对“复杂性问题”提出了一种动态面控制(Dynamic surface control, DSC)技术,即在控制律递归设计过程中加入若干一阶低通滤波器对虚拟控制信号进行处理,将复杂的求导运算转变为简单的代数运算,从而有效降低基于反步设计的控制器的复杂程度。此外,传统的反步设计主要适用于系统具有严格反馈结构的情况。对于不满足严格反馈结构形

式的非线性系统,基于反步设计的控制器可能会存在“控制结构循环依赖”的问题,从而无法实现。2011年,Wang<sup>[26]</sup>将DSC技术与自适应反步设计相结合,解决了纯反馈非线性系统控制设计中的“控制结构循环依赖”问题。2019年,Sun和Wang<sup>[27-28]</sup>将反步设计与动态面控制技术相结合,对具有非下三角形结构形式的非线性系统进行了控制器设计。

受上述工作启发,本文对永磁同步电机混沌运动系统控制问题进行了研究,主要工作为:对于给定的永磁同步电机混沌运动系统,利用反步方法递归设计状态反馈虚拟控制律和实际控制律,保证各误差子系统稳定;使用一阶滤波器对虚拟控制信号进行处理,解决复杂性问题和控制结构循环依赖问题;给出闭环系统的稳定性分析结果;对所设计的控制器的有效性进行数值仿真验证。

## 1 问题描述

取永磁同步电机运动系统的无量纲数学模型如下<sup>[11,23]</sup>:

$$\begin{cases} \dot{i}_d = -i_d + \omega i_q + U_d \\ \dot{i}_q = -i_q - \omega i_d + r\omega + U_q \\ \dot{\omega} = s(i_q - \omega) - T_l \end{cases} \quad (1)$$

其中: $i_d$ 、 $i_q$ 和 $\omega$ 分别为经过线性变换后的直轴电流、交轴电流和旋转角速度; $U_d$ 和 $U_q$ 分别为 $d$ 轴电压和 $q$ 轴电压; $T_l$ 为电机负载转矩; $r$ 和 $s$ 为电机系统参数。

根据文献[11]对电机运动系统的分析可知,当相关参数满足一定条件时系统存在混沌吸引子,从而在状态初始值为不平衡点的情况下系统将进入混沌运动状态。例如,当 $U_d = -5$ 、 $U_q = 1$ 、 $T_l = 1$ 、 $r = 25$ 、 $s = 3$ 、初始状态为 $(x_1, x_2, x_3) = (0, 0, 0)$ (显然为不平衡状态)时<sup>[23]</sup>,系统会进入到混沌运动状态中,其相轨迹与系统状态随时间变化情况分别如图1与图2所示。

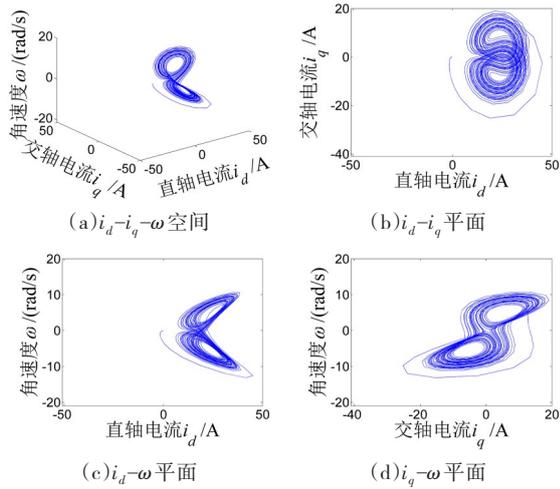


图1 PMSW系统混沌运动的相轨迹

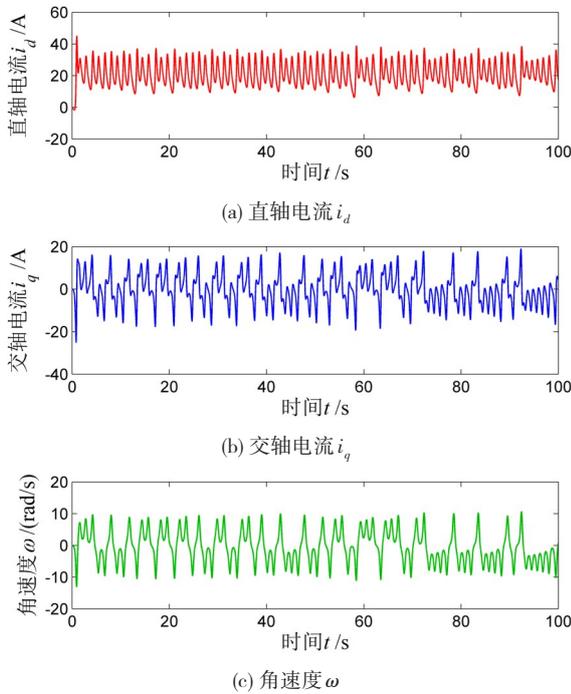


图2 PMSW系统混沌运动的状态变化

为了抑制混沌运动状态,需要对系统(1)施加控制。若控制目标为使得系统输出信号能够稳定于设定值,则可得如下形式的永磁同步电机运动控制系统数学模型:

$$\begin{cases} \dot{i}_d = -i_d + \omega i_q + U_d \\ \dot{i}_q = -i_q - \omega i_d + r\omega + U_q \\ \dot{\omega} = s(iq - \omega) - T_l + u \\ y = i_d \end{cases} \quad (2)$$

其中: $u$ 为由 $\omega$ -子系统注入的控制输入信号; $y$ 为系统输出信号。

## 2 反步动态面控制设计

本节将结合反步设计与动态面控制技术对系统(2)构造控制器,最终目标是使得系统输出信号 $y$ 能够稳定于期望输出信号的设定值 $y_r$ (常数)。控制器通过反步设计递归实现,分三步完成:第一步是对第一个误差面子系统设计虚拟控制律,保证该子系统稳定;第二步是对第二个误差面子系统设计虚拟控制律,保证该子系统及第一个误差面子系统稳定;第三步是对第三个误差面子系统设计控制律,保证该子系统与前两个误差面子系统同时稳定。通过上述过程,设计的控制器由两个虚拟控制律和一个实际控制律构成。需要指出的是,在基于传统反步设计的控制器递归设计过程中,前一步的虚拟控制律的导数需要进入下一步的控制设计中,这将会导致出现“复杂程度显著增长”问题<sup>[25]</sup>。此外,由于系统(2)具有非仿射结构形式,基于传统反步设计的控制律递归设计过程中还会出现“控制结构循环依赖”问题<sup>[26]</sup>,即某些虚拟控制律或实际控制律的设计依赖于其本身。为此,采用动态面控制技术解决复杂性问题和控制结构循环依赖问题,即令虚拟控制信号先通过一个一阶低通滤波器,然后再进入下一步的设计环节中。通过使用低通滤波器对虚拟控制信号进行处理,一方面可以将复杂的求导运算用简单的代数运算代替,解决“复杂程度显著增长”问题;另一方面使用滤波器的输出信号而不是原始的虚拟控制信号进入下一步的设计环节中,可以避免“控制结构循环依赖”情况的出现。控制器的具体设计过程如下:

I、令 $S_1 = y - y_r = i_d - y_r$ (第一个误差面)。将 $S_1$ 对时间 $t$ 求导可得:

$$\dot{S}_1 = \dot{i}_d - \dot{y}_r = -i_d + \omega i_q + U_d \quad (3)$$

将 $i_q$ 看作 $S_1$ -子系统(3)的输入信号(虚拟控制输入信号),并将子系统(3)变换为如下形式:

$$\dot{S}_1 = i_q + (-i_d + \omega i_q + U_d - i_q)$$

则虚拟控制输入信号 $i_q$ 的期望值为:

$$\alpha_2 = -k_1 S_1 - (-i_d + \omega i_q + U_d - i_q)$$

其中  $k_1 > 0$  为控制参数。

令  $\alpha_2$  经过第一个低通滤波器, 可得:

$$\tau_1 \dot{\hat{\alpha}}_2 + \hat{\alpha}_2 = \alpha_2$$

其中:  $\hat{\alpha}_2$  为滤波器输出信号(实际进入下一步的设计环节中),  $\tau_1 > 0$  为滤波器参数。

II、令  $S_2 = i_q - \hat{\alpha}_2$  (第二个误差面)。类似地, 将  $S_2$  对时间  $t$  求导可得:

$$\dot{S}_2 = \dot{i}_q - \dot{\hat{\alpha}}_2 = -i_q - \omega i_d + r\omega + U_q - \dot{\hat{\alpha}}_2 \quad (4)$$

将  $\omega$  看作  $S_2$ -子系统(4)的输入信号(虚拟控制输入信号), 并将子系统(4)变换为如下形式:

$$\dot{S}_2 = r\omega + (-i_q - \omega i_d + U_q) - \dot{\hat{\alpha}}_2$$

则虚拟控制输入信号  $\omega$  的期望值为:

$$\alpha_3 = \left[ -k_2 S_2 - (-i_q - \omega i_d + U_q) \right] / r + \dot{\hat{\alpha}}_2$$

其中  $k_2 > 0$  为控制参数。

令  $\alpha_3$  经过第2个低通滤波器, 可得:

$$\tau_2 \dot{\hat{\alpha}}_3 + \hat{\alpha}_3 = \alpha_3$$

其中:  $\hat{\alpha}_3$  为滤波器输出信号(实际进入下一步的设计环节中),  $\tau_2 > 0$  为滤波器参数。

III、令  $S_3 = \omega - \hat{\alpha}_3$  (第三个误差面), 则  $S_3$  对时间  $t$  的导数为:

$$\dot{S}_3 = \dot{\omega} - \dot{\hat{\alpha}}_3 = u + \left[ s(i_q - \omega) - T_l \right] - \dot{\hat{\alpha}}_3 \quad (5)$$

其中  $u$  为  $S_3$ -子系统(5)的输入信号(即系统(2)的控制输入信号)。

令控制输入信号  $u$  为:

$$u = -k_3 S_3 - \left[ s(i_q - \omega) - T_l \right] + \dot{\hat{\alpha}}_3$$

其中  $k_3 > 0$  为控制参数。

### 3 系统稳定性分析

通过上述设计, 得到由误差面子系统、控制器以及滤波器子系统所构成的闭环系统, 形式记为  $\Sigma = \{\Sigma_1, \Sigma_2, \Sigma_3\}$ , 其中,

误差面子系统为:

$$\Sigma_1: \begin{cases} \dot{S}_1 = i_q + (-i_d + \omega i_q + U_d - i_q) \\ \dot{S}_2 = r\omega + (-i_q - \omega i_d + U_q) - \dot{\hat{\alpha}}_2 \\ \dot{S}_3 = u + \left[ s(i_q - \omega) - T_l \right] - \dot{\hat{\alpha}}_3 \end{cases}$$

控制器为:

$$\Sigma_2: \begin{cases} \alpha_2 = -k_1 S_1 - (-i_d + \omega i_q + U_d - i_q) \\ \alpha_3 = \left[ -k_2 S_2 - (-i_q - \omega i_d + U_q) \right] / r + \dot{\hat{\alpha}}_2 \\ u = -k_3 S_3 - \left[ s(i_q - \omega) - T_l \right] + \dot{\hat{\alpha}}_3 \end{cases}$$

滤波器子系统为:

$$\Sigma_3: \begin{cases} \tau_1 \dot{\hat{\alpha}}_2 + \hat{\alpha}_2 = \alpha_2 \\ \tau_2 \dot{\hat{\alpha}}_3 + \hat{\alpha}_3 = \alpha_3 \end{cases}$$

文献[26]对一类不确定纯反馈非线性系统设计了神经网络自适应反步动态面控制器, 并利用 Lyapunov 稳定性理论证明了由误差面子系统、控制器、滤波器子系统和神经网络自适应律等构成的闭环系统的所有信号半全局一致最终有界。在此基础上, 文献[27-28]对具有非下三角形结构形式的一类非线性系统提出了反步动态面控制设计方法, 并给出了由误差面子系统、控制器和滤波器子系统等构成的闭环系统所有信号半全局一致最终有界的结论。本文主要应用反步技术与动态面控制技术对具有非下三角形结构形式的3阶非线性系统(2)设计控制器, 得到的闭环系统由误差面子系统  $\Sigma_1$ 、控制器  $\Sigma_2$  和滤波器子系统  $\Sigma_3$  构成。因此, 根据文献[26-28]给出的稳定性分析结果可知: 对于给定的系统初始状态, 通过选择控制器参数  $k_i (i = 1, 2, 3)$  和滤波器参数  $\tau_j (j = 1, 2)$ , 可以保证闭环系统  $\Sigma = \{\Sigma_1, \Sigma_2, \Sigma_3\}$  的所有信号半全局一致最终有界, 并且可以通过参数调整使得系统输出误差收敛于0的一个任意小邻域内。

从而, 系统输出信号  $y$  能够稳定于设定值  $y_r$ 。

### 4 仿真实验

为了验证所设计控制器的有效性, 考虑永磁同步电机运动控制系统的数学模型(2), 其中的系统参数取值保持与前文相同, 即  $U_d = -5$ 、 $U_q = 1$ 、 $T_l =$

1、 $r = 25$ 、 $s = 3$ 、系统初始状态为  $(x_1, x_2, x_3) = (0, 0, 0)$ 。由前面的仿真结果可知,若对该系统不予施加控制,即控制输入信号  $u$  恒为零,则系统运动进入混沌状态(见图 1~2)。

下面,使用控制器  $\Sigma_2$  对系统(2)进行控制,并利用滤波器子系统  $\Sigma_3$  对  $\Sigma_2$  中的虚拟控制信号进行滤波处理。首先利用 MATLAB/SIMULINK 搭建控制系统的仿真模型,然后选取适当的控制器参数和滤波器参数进行数值仿真。当相关参数取值为  $k_1 = k_2 = k_3 = 2$ 、 $\tau_1 = \tau_2 = 1$ 、 $\hat{\alpha}_2(0) = \hat{\alpha}_3(0) = 0$ 、期望输出信号的设定值  $y_r = 20$  时,所得仿真结果如图 3~5 所示。

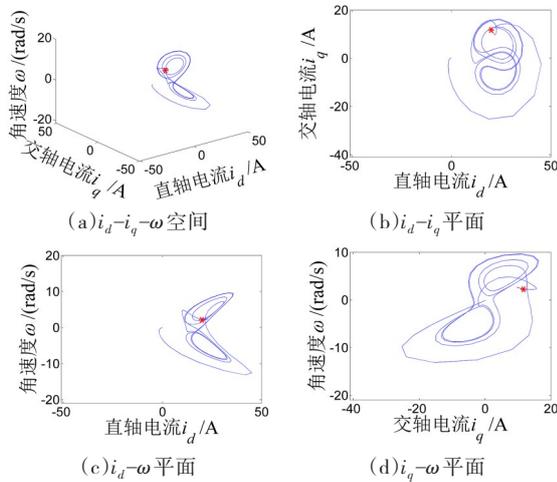


图 3 PMSW 控制系统运动的相轨迹

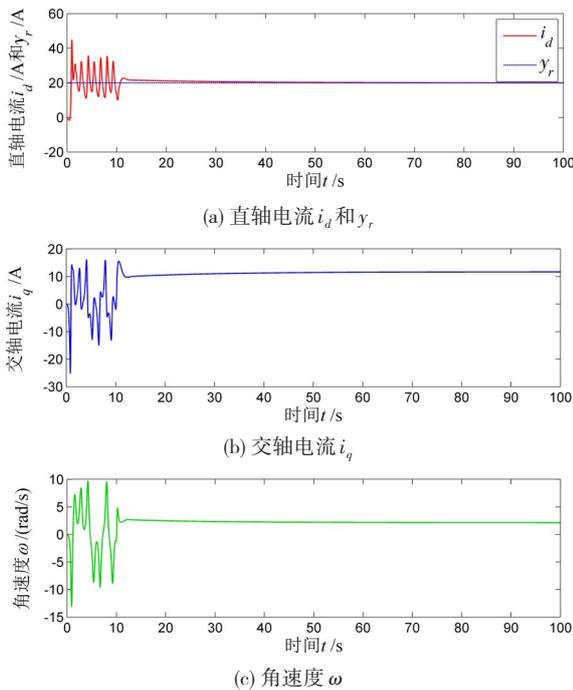


图 4 PMSW 控制系统的状态变化

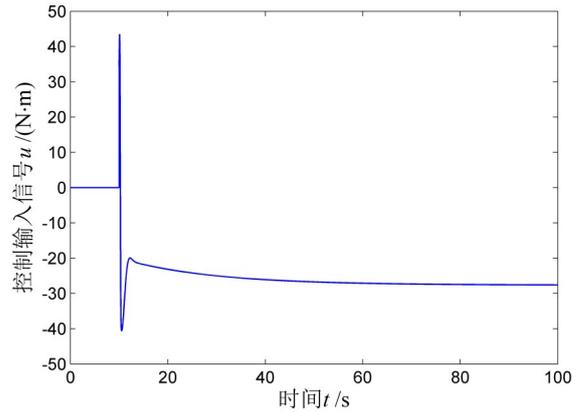


图 5 PMSW 控制系统的输入信号

由图 3~4 可以看出,在未对系统施加控制的时间内( $t:0\sim 10$  s),系统运动进入混沌状态;当  $t = 10$  s 时开始施加控制,系统运动状态快速地收敛于稳定状态(图 3 中“\*”点位置),即系统的混沌运动状态得到了有效控制。由图 4(a)可以看出,在对系统施加控制后,系统输出信号快速地收敛于期望输出信号的设定值,从而验证了所设计的控制器具有良好的控制性能。图 5 给出了控制输入信号的变化情况。由图 5 可见,在控制施加的初始阶段( $t:10\sim 12$  s),控制输入信号需要在一个相对较大的范围内( $u:-41\sim -44$  N·m)变化才能快速抑制系统的混沌运动状态;当系统进入稳定运动状态后,控制输入信号只需在一个相对较小的范围内( $u:-28\sim -27$  N·m)变化即可保持系统输出信号稳定于设定值附近。

**注 1:**在对永磁同步电机运动系统进行实际控制时,可以根据具体情况与性能指标要求,通过对控制器参数和滤波器参数等进行适当调整来实现。

**注 2:**对于状态变量  $i_q$  和  $\omega$ ,也可以利用本文方法实现设定值稳定调节。

### 5 结束语

本文对永磁同步电机混沌运动状态的控制问题进行了研究,提出了一种基于反步设计和动态面控制技术相结合的设计方法,设计的控制器结构简单、实现容易。数值仿真结果进一步验证了所提方法的有效性。

## 参考文献:

- [1] 张文娟.高性能永磁同步电机控制方法的研究[D].长沙:湖南大学,2014.
- [2] 王宇,张成糕,郝雯娟.永磁电机及其驱动系统容错技术综述[J].中国电机工程学报,2022,42(1):351-372.
- [3] 王晓远,刘铭鑫,陈学永,等.电动汽车用PMSM带滤波补偿三阶滑模自抗扰控制[J].电机与控制学报,2021,25(11):25-34.
- [4] 于登云,王光远,郑照明.永磁同步电机驱动太阳翼扰动力矩建模与仿真[J].宇航学报,2019,40(7):742-747.
- [5] 莫莉萍,叶勇.船舶永磁同步电机直接转矩控制机制研究[J].舰船科学技术,2019,41(18):70-72.
- [6] LIU T H,WANG Y W.Implementation of a fault-tolerant AC/DC converter for permanent magnet synchronous motor drive systems[J].Frontiers in Electronics,2021,2:670077.doi:10.3389/felec.2021.670077.
- [7] JIANG S,LI W,WANG Y,et al.Study on electromechanical coupling torsional resonance characteristics of gear system driven by PMSM:a case on shearer semi-direct drive cutting transmission system[J].Nonlinear Dynamics,2021,104(2):1205-1225.
- [8] 田超,岳伟,陈焕明.基于模糊PI的表贴式永磁同步电机矢量控制[J].青岛大学学报(工程技术版),2021,36(4):8-15.
- [9] 刘胜,郭晓杰,张兰勇.六相永磁同步电机鲁棒自适应反步滑模容错控制[J].电机与控制学报,2020,24(5):68-78,88.
- [10] 侯利民.永磁同步电机传动系统的几类非线性控制策略研究及其调速系统的实现[D].沈阳:东北大学,2010.
- [11] 李忠.永磁同步电动机混沌模型及其混沌现象分析与控制[D].广州:华南理工大学,2000.
- [12] 张波,李忠,毛宗源,等.利用Lyapunov指数和容量维分析永磁同步电机仿真中的混沌现象[J].控制理论与应用,2001(4):589-592,596.
- [13] 薛薇,郭彦岭,陈增强.永磁同步电机的混沌分析及其电路实现[J].物理学报,2009,58(12):8146-8151.
- [14] 蔡明山.永磁同步电动机中混沌运动的非线性反馈控制[J].武汉理工大学学报,2008(4):139-141.
- [15] 范本正,李钟慎.永磁同步电机的自适应反步滑模变结构的混沌控制[J].福州大学学报(自然科学版),2008(S1):78-82.
- [16] 李东,张小洪,杨丹,等.参数不确定永磁同步电机混沌的模糊控制[J].物理学报,2009,58(3):1432-1440.
- [17] 李峰磊,贾亚飞,刘福才.永磁同步电机中混沌运动的自抗扰控制[J].控制工程,2013,20(S1):129-132.
- [18] 唐传胜,戴跃洪.参数不确定永磁同步电机混沌系统的有限时间稳定控制[J].物理学报,2013,62(18):68-73.
- [19] 陈强,南余荣,邢科新.基于扩张状态观测器的永磁同步电机混沌系统自适应滑模控制[J].物理学报,2014,63(22):117-124.
- [20] 侯利民,李勇,孙钊.PMSM混沌运动的非奇异快速终端滑模控制[J].控制工程,2017,24(11):2206-2210.
- [21] 黄俊豪,杨俊华,陈海峰,等.基于PSO优化的永磁直线同步电机混沌滑模控制[J].计算机仿真,2021,38(11):215-220,229.
- [22] 谢东桑,杨俊华,熊锋俊,等.永磁直线同步电机解耦自适应滑模混沌控制[J].计算机仿真,2019,36(5):263-268.
- [23] 周群利.永磁同步电动机混沌系统的控制[J].四川轻化工大学学报(自然科学版),2020,33(5):14-19.
- [24] KRSTIC M,KANELLAKOPOULOS I,KOKOTOVIC P V.Nonlinear and adaptive control design[M].New York:John Wiley & Sons,Inc.1995.
- [25] SWAROOP D,GERDES J C,YIP P P,et al.Dynamic surface control of nonlinear systems[C]//Proceedings of American Control Conference, Albuquerque,USA,June 6,1997:3028-3034.
- [26] WANG D.Neural network-based adaptive dynamic surface control of uncertain nonlinear pure-feedback systems[J].International Journal of Robust and Nonlinear Control,2011,21(5):527-541.
- [27] SUN G,WANG M X.A DSC based adaptive control scheme for a class of uncertain non-lower triangular nonlinear systems[C]//Proceedings of the 8th Data Driven Control and Learning Systems Conference,Dali,China,May 24-27,2019:523-527.
- [28] WANG M X,SUN G.A backstepping based dynamic surface control method for a class of non-lower triangular nonlinear systems[C]//Proceedings of the 38th Chinese Control Conference,Guangzhou,China,July 27-30,2019:539-543.

**引用格式:**

中文:王明新,张树凯,李文萍,等.永磁同步电机混沌运动反步动态面控制[J].四川轻化工大学学报(自然科学版),2022,35(6):35-41.

英文:WANG M X,ZHANG S K,LI W P,et al.Backstepping dynamic surface control of chaotic motion of permanent magnet synchronous motor[J].Journal of Sichuan University of Science & Engineering (Natural Science Edition),2022,35(6):35-41.

## **Backstepping Dynamic Surface Control of Chaotic Motion of Permanent Magnet Synchronous Motor**

*WANG Mingxin<sup>1</sup>, ZHANG Shukai<sup>2</sup>, LI Wenping<sup>1</sup>, SUN Gang<sup>1</sup>*

(1. School of Science, Hunan Institute of Technology, Hengyang 421002, China; 2. School of Railway Telecommunication, Hunan Technical College of Railway High-Speed, Hengyang 421002, China)

**Abstract:** Aiming at the chaos control problem of permanent magnet synchronous motor motion system, a backstepping dynamic surface control design method is proposed. Firstly, for the error surface subsystem, a recursive design with the backstepping method is used to design virtual control laws and an actual control law to ensure the stability of each subsystem; secondly, a dynamic surface control technology is used to filter the virtual control signals to solve the problems of complex control design and circular dependence of control structure; finally, the structure of the closed-loop control system is analyzed, and the semi global uniform final boundedness of all signals is given. In addition, the effectiveness of the proposed control design method is verified by numerical simulation.

**Key words:** permanent magnet synchronous motor; chaotic motion; backstepping design; dynamic surface control