

# 基于模糊滑模算法的永磁同步电机 无位置传感器矢量控制

诸德宏, 汪 瑶, 周振飞

(江苏大学 电气信息工程学院, 江苏 镇江 212013)

**摘要:** 针对传统超螺旋算法二阶滑模观测器(STASSMO)在进行永磁同步电机(PMSM)转子位置和转速估算时固定滑模增益导致鲁棒性差的问题,在已有的稳定条件下提出一种模糊超螺旋算法二阶滑模观测器(FSTASSMO)。利用模糊控制器按照模糊规则进行滑模增益的整定,实现了超螺旋算法滑模增益自整定过程,提高了观测精度,拓宽了有效观测范围,增强了 PMSM 无位置传感器矢量控制系统的鲁棒性。最后,在 MATLAB 环境下搭建仿真控制系统对所提出的算法进行验证,结果表明所提算法有效可行。

**关键词:** 永磁同步电机; 二阶滑模; 无位置传感器矢量控制; 模糊控制; 超螺旋算法

**中图分类号:** TM 351 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-6540(2020)08-0029-07

**doi:** 10.12177/emca.2020.076

## Position Sensorless Vector Control of PMSM Based on Fuzzy Sliding Mode Algorithm

ZHU Dehong, WANG Yao, ZHOU Zhenfei

(School of Electrical and Information Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

**Abstract:** The poor robustness of permanent magnet synchronous motor (PMSM) is caused by constant sliding mode gain when the traditional super-twisting algorithm second-order sliding mode observer (STASSMO) is used to estimate the rotor position and speed. For this problem, a fuzzy super-twisting algorithm second-order sliding mode observer (FSTASSMO) is proposed under the existing stable conditions. The fuzzy controller is used to set the sliding mode gain according to the fuzzy rules. The sliding mode gain self-tuning process of the super-twisting algorithm (STA) is realized, which improves the observation accuracy, broadens the effective observation range, and enhances the robustness of position sensorless vector control system of PMSM. Finally, the proposed algorithm is verified by a simulation control system built in MATLAB circumstances. The simulation result shows that the proposed algorithm is effective.

**Key words:** permanent magnet synchronous motor (PMSM); second-order sliding mode; position sensorless vector control; fuzzy control; super-twisting algorithm (STA)

## 0 引言

永磁同步电机(PMSM)因其优异的功率密度和高效被广泛应用于各种工控领域。为了减少成本和提高控制系统的稳定性,自1980年以来,更

多的学者投入到了无位置传感器矢量控制方法的研究中<sup>[1-3]</sup>。一般来说,无位置传感器矢量控制方法有2大类:高频注入法<sup>[4]</sup>和基于电机模型的反电动势法<sup>[5-7]</sup>。高频注入法能够较好地工作在电机的零低速运行段,但会注入额外的高频信号,造成

收稿日期: 2020-04-24; 收到修改稿日期: 2020-06-10

作者简介: 诸德宏(1968—),男,博士,教授,研究方向为特种电机及其控制系统。

汪 瑶(1993—),男,硕士研究生,研究方向为永磁同步电机控制。

电流和转矩脉动问题;而基于电机模型的反电动势法能够较好地工作在电机的中高速运行阶段,包括模型参考自适应法(MRAS)<sup>[5]</sup>、扩展卡尔曼滤波器法(EKF)<sup>[6]</sup>以及滑模观测器法(SMO)<sup>[7]</sup>。

实际应用中,MRAS对系统参数变化敏感且自适应律难以确定<sup>[8]</sup>。EKF虽能较好地工作在噪声环境下,但在线计算量太大,对控制器运算能力要求高<sup>[9]</sup>。传统SMO工程构造简单,但开关函数的不连续特性导致出现严重的抖振问题,在转子位置估算时会使用低通滤波器,由此带来相位滞后和幅值衰减问题<sup>[10]</sup>。针对传统SMO存在的抖振问题和相位延迟问题,文献[11]提出了多种二阶滑模算法,其中超螺旋算法(STA)被广泛应用于观测器和控制器中。文献[12]中,超螺旋算法二阶滑模观测器(STASSMO)被应用于PMSM无位置传感器控制系统中,削减了抖振问题,减小了估算误差。但是,这些STASSMO均采用了固定的滑模增益,在PMSM无位置传感器矢量控制系统中极大地限制了可调速域,也就是说固定滑模增益STASSMO抗扰性差。为此,文献[13]提出一种自适应滑模观测器,在面对参数变化时鲁棒性高;文献[14]提出了一种自适应观测器,提高了PMSM在宽速域范围内转子位置估算精度。

本文以表贴式PMSM为研究对象,进行无位置传感器矢量控制研究。首先,推导出表贴式PMSM的数学模型并在稳定条件下构造传统STASSMO;其次,针对传统STA存在的固定滑模增益导致的鲁棒性差问题提出了一种模糊超螺旋算法二阶滑模观测器(FSTASSMO),应用于表贴式PMSM无位置传感器矢量控制系统中;最后,通过Simulink仿真验证所提算法的可行性。

## 1 数学模型

### 1.1 表贴式PMSM数学模型

表贴式PMSM在 $\alpha\beta$ 静止坐标系下的数学模型可写为

$$\begin{cases} \frac{di_\alpha}{dt} = -\frac{R}{L}i_\alpha + \frac{1}{L}u_\alpha - \frac{1}{L}e_\alpha \\ \frac{di_\beta}{dt} = -\frac{R}{L}i_\beta + \frac{1}{L}u_\beta - \frac{1}{L}e_\beta \end{cases} \quad (1)$$

式中: $i_\alpha$ 、 $i_\beta$ 、 $u_\alpha$ 、 $u_\beta$ 、 $e_\alpha$ 、 $e_\beta$ 分别为表贴式PMSM在 $\alpha$ 、 $\beta$ 静止坐标系下的电流、电压和感应反电动势;

$R$ 和 $L$ 分别为定子电阻和定子电感。

需要注意的是,这里的数学模型是假设表贴式PMSM处在理想情况下并且忽略了涡流和磁滞损耗下得到的。

### 1.2 超螺旋算法

文献[15-16]提出基于STA的控制器和观测器理论,具体形式为

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = -k_1|\bar{x}_1|^{1/2}\text{sign}(\bar{x}_1) + x_2 + \rho_1(x_1, t) \\ \frac{dx_2}{dt} = -k_2\text{sign}(\bar{x}_1) + \rho_2(x_2, t) \end{cases} \quad (2)$$

式中: $x_i$ 、 $\bar{x}_i$ 、 $k_i$ 、 $\rho_i$ 分别为状态变量、估计误差、滑模增益、扰动条件; $\text{sign}()$ 为 $\text{sign}$ 开关函数。

对于STA的稳定证明,根据文献[11],滑模增益只要满足:

$$\begin{cases} k_1 > 2\xi_1 \\ k_2 > k_1 \frac{5\xi_1 k_1 + 4\xi_1^2}{2(k_1 - 2\xi_1)} \end{cases} \quad (3)$$

扰动条件满足全局有界

$$\begin{cases} |\rho_1| \leq \xi_1 |x_1|^{1/2} \\ \rho_2 = 0 \end{cases} \quad (4)$$

式中: $\xi_1$ 为一个正数。

那么,STA就能保证渐进稳定。

## 2 传统STASSMO

根据第1.2节的数学模型,基于表贴式PMSM定子电流的STASSMO可以按照式(5)构造:

$$\begin{cases} \frac{d\hat{i}_\alpha}{dt} = -\frac{R}{L}\hat{i}_\alpha + \frac{1}{L}u_\alpha + \frac{1}{L}k_1|\bar{i}_\alpha|^{1/2}\text{sign}(\bar{i}_\alpha) + \frac{1}{L}\int k_2\text{sign}(\bar{i}_\alpha) dt \\ \frac{d\hat{i}_\beta}{dt} = -\frac{R}{L}\hat{i}_\beta + \frac{1}{L}u_\beta + \frac{1}{L}k_1|\bar{i}_\beta|^{1/2}\text{sign}(\bar{i}_\beta) + \frac{1}{L}\int k_2\text{sign}(\bar{i}_\beta) dt \end{cases} \quad (5)$$

式中:带有“ $\hat{\cdot}$ ”上标的量表示估算值。

估算反电动势由式(5)和式(1)可得到,当STASSMO到达滑模面时,反电动势公式为:

$$\begin{cases} \hat{e}_\alpha = -k_1|\bar{i}_\alpha|^{1/2}\text{sign}(\bar{i}_\alpha) - \int k_2\text{sign}(\bar{i}_\alpha) dt \\ \hat{e}_\beta = -k_1|\bar{i}_\beta|^{1/2}\text{sign}(\bar{i}_\beta) - \int k_2\text{sign}(\bar{i}_\beta) dt \end{cases} \quad (6)$$

通过比较式(1)和式(5),估算反电动势由  $\alpha\beta$  参考系下的电压方程得到, STA 扰动条件为  $-\frac{R}{L}\hat{i}_\alpha + \frac{1}{L}u_\alpha$  与  $-\frac{R}{L}\hat{i}_\beta + \frac{1}{L}u_\beta$ 。式(6)中,一般来说,  $k_2 \gg k_1$ , 其中  $k_1$  决定观测器的动态响应速度, 积分项和较大的  $k_2$  能够有效削减由 sign 开关函数带来的抖振问题, 即估算反电动势由  $k_1$  和  $k_2$  共同决定。

在  $\alpha\beta$  参考系下反电动势可表示如下:

$$\begin{cases} e_\alpha = -\psi_f \omega_e \sin\theta_e \\ e_\beta = \psi_f \omega_e \cos\theta_e \end{cases} \quad (7)$$

式中:  $\psi_f$  为转子永磁体产生的磁通。

由反正切函数即可得到转子估算位置与转速:

$$\begin{cases} \hat{\theta}_e = \arctan\left(-\frac{\hat{e}_\alpha}{\hat{e}_\beta}\right) \\ \hat{\omega}_e = \frac{d\hat{\theta}_e}{dt} \end{cases} \quad (8)$$

STASSMO 结构框图如图 1 所示。

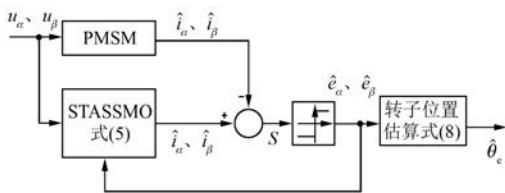


图 1 STASSMO 结构框图

### 3 模糊超螺旋算法二阶滑模观测器

由于传统 STASSMO 在稳定条件下的滑模增益选取方法并不明确, 文献[17]提出一种基于扰动条件上界的选取方法, 然而这种取值方式依然存在问题: 由于取值单一, 在低速段由于扰动条件比上界小得多, 如果仍然采用这种取值方式则会导致严重的抖振问题, 甚至导致系统不稳定。此外, 如果采用较小的滑模增益, 那么在高速运行段又会因为不满足式(4)的全局有界性而导致系统不稳定。文献[13]提出一种自适应 STA 取得了不错的控制效果, 但自适应律难以确定, 收敛速度慢。本节基于模糊控制和 STA 提出了一种 FSTASSMO。

模糊逻辑控制器 (FLC) 因其强鲁棒性、良好的抗扰能力等优点广泛应用于工业控制领域<sup>[18-19]</sup>, 其中部分学者将 FLC 应用于 SMO, 但是这些研究均是用 FLC 代替开关函数, 增加了系统

的复杂度<sup>[20]</sup>。本文提出的 FSTASSMO 在不改变开关函数的情况下, 将 FLC 与 STASSMO 进行整合, 用来整定决定趋近速度的滑模增益  $k_1$ 。FLC 的基本规则如下:

(1) 当观测器观测误差  $s$  较大时, 相应地需要增大滑模增益  $k_1$  来增加适应速度和减少响应时间;

(2) 当观测器观测误差  $s$  较小时, 相应地需要减小滑模增益  $k_1$  来降低系统超调量。

FLC 结构框图如图 2 所示。  $s$  以及  $\dot{s}$  作为 FLC 的输入,  $K_p$ 、 $K_d$ 、 $K_i$  分别为量化因子, 按照模糊规则通过推理机和解模糊的过程得到滑模增益  $k_1$ 。

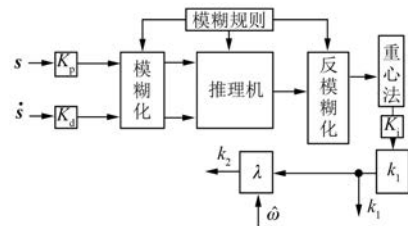


图 2 FLC 结构框图

其中, 2 个输入的论域均选定为  $[-3 \ 3]$ , 划分为 {负大, 负小, 零, 正小, 正大}, 记为 {NB, NS, ZO, PS, PB}; 输出的论域选为  $[0 \ 5]$ , 划分为 {正小, 小, 正中, 大, 正大}, 记为 {PS, S, M, B, PB}。FLC 模糊规则如表 1 所示。按照理论与经验当电流误差  $s$  与变化率  $\dot{s}$  较大时, 系统处于初始状态或者扰动较大, 需要匹配相应较大的滑模增益来快速消除误差和扰动带来的影响。反之,  $s$  和  $\dot{s}$  较小时则需要匹配较小的滑模增益来减小系统超调和波动。另外, 当  $s\dot{s} < 0$  时应适当减小滑模增益, 因为此时系统是加速朝着滑模面运动的。由图 2 可知,  $k_2$  由  $k_1$  与估算转速  $\hat{\omega}_e$  以及系数  $\lambda$  共同决定,  $k_2$  计算式如下:

$$k_2 = \lambda \cdot k_1 \cdot \hat{\omega}_e \quad (9)$$

表 1 FLC 模糊规则

$s \backslash \dot{s}$	NB	NS	ZO	PS	PB
NB	PB	PB	B	B	M
NS	PB	B	B	M	M
ZO	B	M	M	S	S
PS	S	M	M	B	B
PB	M	B	B	PB	PB

对式(9)进行证明。从前文的分析可以知道,STA 下的扰动条件可写为

$$\rho_1 = \frac{1}{L}(u - R\dot{i}) \quad (10)$$

由于表贴式 PMSM 定子电阻阻值较小,大多数情况下,忽略定子电阻  $R$  上的压降<sup>[15]</sup>,那么式(10)就可以简化为

$$\rho_1 \approx \frac{1}{L}u \approx \tau\omega \quad (11)$$

其中: $\tau = \frac{\psi_f}{L}$ 。

全局限定条件式(4)可改写为

$$|\rho_1| \approx \frac{1}{L}u \approx |\tau\omega| \leq \xi_1 |\dot{i}|^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

当 FSTASSMO 稳定时,  $|\dot{i}|^{\frac{1}{2}}$  也稳定在一个小范围内,因此必然存在一个足够大的正数  $\tau_1$  满足下列不等式:

$$|\rho_1| \approx |\tau\omega| \leq \xi_1 |\dot{i}|^{\frac{1}{2}} = |\tau_1\omega| |\dot{i}|^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

这里,  $\xi_1 = |\tau_1\omega|$ , 因此对于稳定条件,如式(3),则必然存在一个够大的正数  $\lambda_1$  满足稳定条件,  $k_1$  计算式为

$$k_1 = \lambda_1\omega > 2\xi_1 = 2\tau_1\omega \quad (14)$$

将  $k_1 = \lambda_1\omega$ 、 $\xi_1 = \tau_1\omega$  代入式(3)后得到  $k_2$  的取值条件:

$$k_2 > \lambda_1\omega \frac{5\tau_1\omega\lambda_1\omega + 4\tau_1^2\omega^2}{2(\lambda_1\omega - 2\tau_1\omega)} = \lambda_1 \frac{5\tau_1\lambda_1 + 4\tau_1^2}{2(\lambda_1 - 2\tau_1)}\omega^2 = \tau_2\omega^2 \quad (15)$$

即存在足够大的正数  $\lambda_2$ ,使得:

$$k_2 = \lambda_2\omega^2 > \lambda_1\omega \frac{5\tau_1\omega\lambda_1\omega + 4\tau_1^2\omega^2}{2(\lambda_1\omega - 2\tau_1\omega)} = \lambda_1 \frac{5\tau_1\lambda_1 + 4\tau_1^2}{2(\lambda_1 - 2\tau_1)}\omega^2 = \tau_2\omega^2 \quad (16)$$

由此可知,2个滑模增益之间存在一定的定量关系,因此本文提出用模糊控制方法来确定出  $k_1$ ,再根据式(14)、式(16)得出  $k_2$ :

$$k_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \cdot k_1 \cdot \omega = \lambda \cdot k_1 \cdot \omega \quad (17)$$

由此,构建 FSTASSMO 的结构框图如图3所示。将由 FSTASSMO 得到的感应反电动势通过

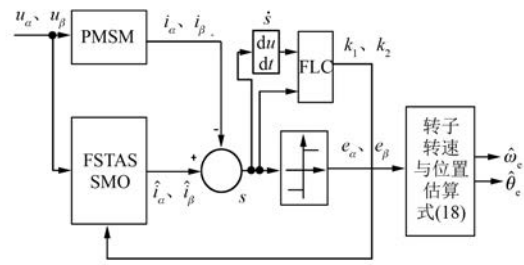


图3 FSTASSMO 结构框图

转子位置和转速估算单元计算出  $\hat{\theta}_e$  和  $\hat{\omega}_e$ , 进一步提高了无位置传感器矢量控制系统位置以及转速估算精度。 $\hat{\omega}_e$ 、 $\hat{\theta}_e$  计算式如下:

$$\begin{cases} \hat{\omega}_e = \frac{\sqrt{e_\alpha^2 + e_\beta^2}}{\psi_f} \\ \hat{\theta}_e = \arccos \frac{e_\beta}{\sqrt{e_\alpha^2 + e_\beta^2}} \end{cases} \quad (18)$$

由 STASSMO 和 FSTASSMO 构建 PMSM 矢量控制系统,如图4所示。

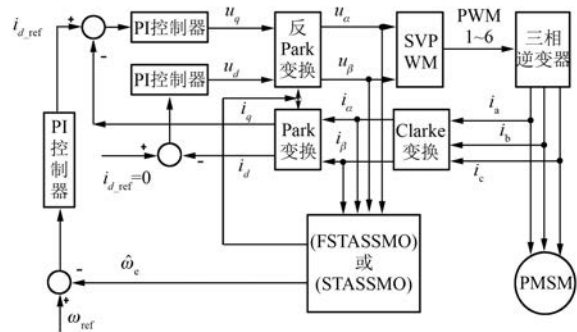


图4 PMSM 无位置传感器矢量控制系统结构框图

## 4 仿真实验

在 MATLAB 环境下,利用 Simulink 搭建如图4的控制系统对所提出的基于 FSTASSMO 的表贴式 PMSM 无位置传感器矢量控制方法进行验证,并与传统 STASSMO 控制方法进行比较。表贴式 PMSM 参数如表2所示。

采用固定滑模参数  $k_1 = 90$ 、 $k_2 = 15\ 000$  建立基于传统 STASSMO 的 PMSM 无位置传感器矢量控制系统,仿真时长为 0.5 s,0~0.2 s 为空载,转速为 100 r/min,0.2 s 由 100 r/min 加速到 1 000 r/min,0.3 s 突加 50% 额定负载,继而运行到 0.5 s 结束仿真。转子位置估算如图5所示。

表 2 表贴式 PMSM 参数

参数名称	参数值
定子电阻/ $\Omega$	1.6
转子磁链/Wb	0.185 2
定子电感/mH	6.365
额定转速/ $(r \cdot \text{min}^{-1})$	4 250
极对数	2
额定转矩/ $(N \cdot m)$	2.8
转动惯量/ $(\text{kg} \cdot \text{m}^2)$	0.000 185 4

由图 5 可以看出,在 0~0.2 s 阶段,转子位置估算出现较大纹波,说明电机在低速段运行时抖动,转子位置估算曲线出现较大畸变。转向中高速运行阶段后,转子位置估算较为准确,感应反电动势较为平滑,如图 6 所示。

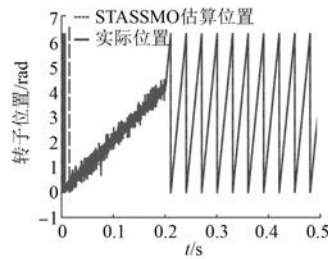


图 5 STASSMO 转子位置估算

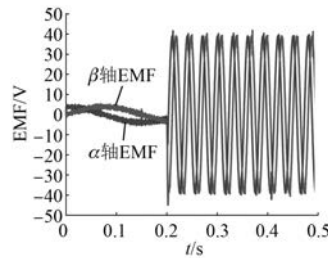


图 6 STASSMO 感应反电动势

采用 FSTASSMO 搭建的 PMSM 无位置传感器矢量控制系统试验过程与传统 STASSMO 仿真过程相同,得到的转子位置估算图和感应反电动势如图 7 和图 8 所示。转子位置在整个仿真阶段没有出现纹波和畸变,估算精度高。另外,感应反电动势与 STASSMO 相比更加平滑,特别是在低速运行阶段,即 0~0.2 s 内,说明在电机整个运行阶段 FSTASSMO 鲁棒性强。

2 种观测器下的转速图如图 9 所示。STASSMO 的转速响应在低速段运行时超调大,抖动明显,在 0.3 s 时突加负载后虽能快速响应,但

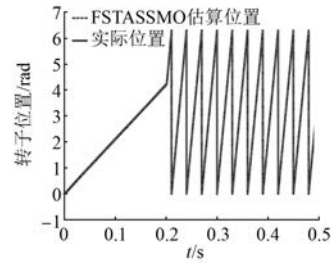


图 7 FSTASSMO 转子位置估算

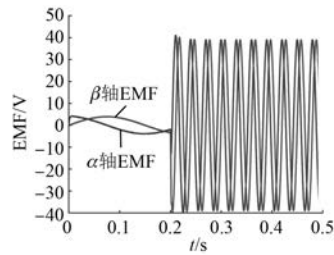


图 8 FSTASSMO 感应反电动势

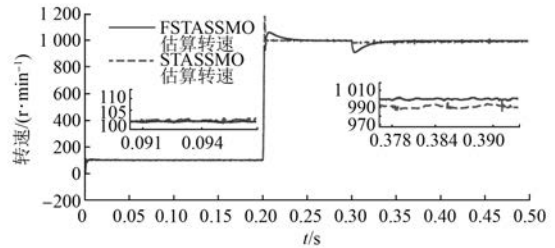


图 9 不同观测器的转速估算

此时与给定转速差值过大,带载能力受到限制。FSTASSMO 无论在高速还是低速运行阶段,转速响应都十分平滑,低速段由于模糊滑模的引入,基本无超调,而高速段超调量明显比 STASSMO 小,并且带载能力并未减弱,在突加负载后能快速回到给定转速,鲁棒性较强。

观测误差如图 10、图 11 所示。显然无论是位置还是转速估算误差,FSTASSMO 均明显小于 STASSMO。在转子位置观测中,FSTASSMO 最大误差为 0.03 rad,STASSMO 最大误差为 0.45 rad;在转子转速观测误差方面,FSTASSMO 在低速段与高速段均大幅小于 STASSMO 观测结果。仿真结果表明,FSTASSMO 增加了系统的鲁棒性,对于转速变化有较好的自适应性,观测精度进一步提高,确保了 PMSM 无传感器矢量控制获得更好的控制效果。

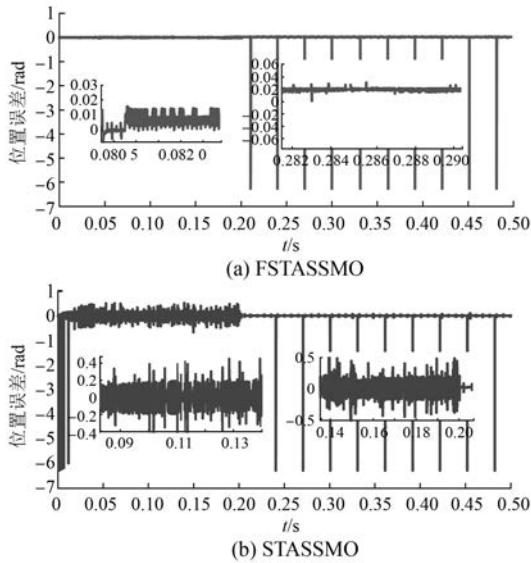


图 10 转子位置估算误差

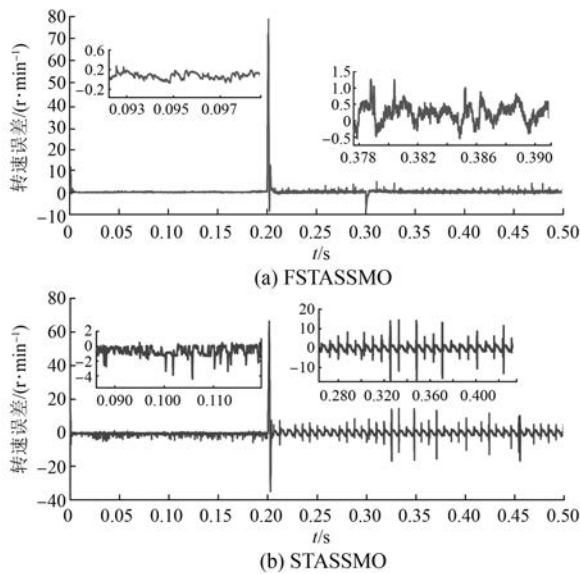


图 11 转子转速估算误差

## 5 结 语

本文采用 FSTASSMO 方法来对表贴式 PMSM 无位置传感器矢量控制系统中的转子位置和转速进行估算。将模糊控制器与 SMO 相结合,不再关注于对滑模开关函数的改造,利用滑模面作为模糊输入,滑模增益  $k_1$  作为输出,滑模增益  $k_2$  由转速和  $k_1$  决定,实现了自适应。有效解决了传统 STASSMO 滑模增益固定导致鲁棒性差的问题,拓

宽了观测范围,在低速段以及中高速运行阶段均取得了理想的控制效果。

## 【参考文献】

[ 1 ] KIM H, HUH K, LORENZ R D, et al. A novel method for initial rotor position estimation for IPM synchronous machine drives [ C ] // 38th IAS Annual Meeting on Conference Record of the Industry Applications Conference, 2003.

[ 2 ] YANG S, LORENZ R D. Surface permanent-magnet machine self-sensing at zero and low speeds using improved observer for position, velocity, and disturbance torque estimation [ J ]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2012, 48(1): 151.

[ 3 ] LIU J M, ZHU Z Q. Sensorless control strategy by square-waveform high-frequency pulsating signal injection into stationary reference frame [ J ]. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, 2014, 2(2): 171.

[ 4 ] 秦峰, 贺益康, 刘毅, 等. 2 种高频信号注入法的无传感器运行研究 [ J ]. 中国电机工程学报, 2005, 25(5): 118.

[ 5 ] LEE Y, SUL S. Model-based sensorless control of an IPMSM with enhanced robustness against load disturbances based on position and speed estimator using a speed error [ J ]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2018, 54(2): 1448.

[ 6 ] 张猛, 肖曦, 李永东. 基于扩展卡尔曼滤波器的 PMSM 转速和磁链观测器 [ J ]. 中国电机工程学报, 2007, 27(36): 36.

[ 7 ] 鲁文其, 胡育文, 杜栩杨, 等. PMSM 新型滑模观测器无传感器矢量控制调速系统 [ J ]. 中国电机工程学报, 2010, 30(33): 78.

[ 8 ] 李冉. PMSM 无位置传感器运行控制技术研究 [ D ]. 杭州: 浙江大学, 2012.

[ 9 ] 薛树功, 魏利胜, 凌有铸. 基于扩展卡尔曼滤波的 PMSM 无传感器矢量控制 [ J ]. 电机与控制应用, 2011, 38(8): 15.

[ 10 ] 丁文, 梁得亮, 罗战强. 2 级滤波滑模观测器的 PMSM 无位置传感器控制 [ J ]. 电机与控制学报, 2012, 16(11): 1.

[ 11 ] MORENO J A, OSORIO M. A Lyapunov approach to second-order sliding mode controllers and observers [ C ] // 2008 47th IEEE Conference on Decision and Control, 2008.

[ 12 ] LIANG D, LI J, QU R. Sensorless control of

- permanent magnet synchronous machine based on second-order sliding-mode observer with online resistance estimation [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2017, 53(4): 3672.
- [13] LIANG D, LI J, QU R, et al. Adaptive second-order sliding-mode observer for PMSM sensorless control considering VSI nonlinearity [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2018, 33(10): 8994.
- [14] 尚喆, 赵荣祥, 窦汝振. 基于自适应滑模观测器的 PMSM 无位置传感器控制研究 [J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(3): 23.
- [15] LEVANT A. Sliding order and sliding accuracy in sliding mode control [J]. International Journal of Control, 1993, 58(6): 1247.
- [16] LEVANT A. Principles of 2-sliding mode design [J]. Automatica, 2006, 43(4): 576.
- [17] ILIUDIS V C. Chattering reduction applied in PMSM sensorless control using second order sliding mode observer [C] // 2015 9th International Conference on Compatibility and Power Electronics (CPE), 2015.
- [18] 周永勤, 王旭东, 张玉光, 等. 开关磁阻电机模糊滑模观测器间接位置检测 [J]. 电机与控制学报, 2013, 17(6): 57.
- [19] YE S. Fuzzy sliding mode observer with dual SOGI-FLL in sensorless control of PMSM drives [J]. ISA Transactions, 2019, 85: 161.
- [20] 周慧龙. 模糊滑模变结构控制在 PMSM 中的应用 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2018.

◎广告◎

## 四川宜宾力源电机有限公司

为了适应公司技术持续创新、经济规模不断扩大的迫切需要, 诚聘电机行业人才!

1、电机设计工程师 3 人

任职要求: 工业电机制造行业工程技术岗位 5 年以上。

2、电机工艺工程师 3 人

任职要求: 工业电机制造行业工程技术岗位 3 年以上。

3、生产、质量管理工程师 2 人

任职要求: 工业电机制造行业生产、质量管理岗位 3 年以上(有 6σ 管理经验者优先)。

4、销售工程师(销售经理) 2 人

任职要求: 工业电机销售岗位 3 年以上, 具有国际贸易经验、熟练英语口语交流能力者优先, 可带团队加入。

待遇:

1、具有市场竞争力的薪资待遇, 具体面议;

2、五险一金, 双休;

3、公司安排小区环境住房;

4、协助子女入学;

5、解决配偶就业;

6、省外人才春节假期多休五天;

7、就业 5 年且有突出贡献的人员, 公司额外予以丰厚奖励。

公司地址: 四川省宜宾市叙州区盐坪坝工业园 1 号

电话: 0831-2400330

网址: www.yblydj.cn

邮箱: yblydj@126.com

扫码关注公众号:

