

基于SMO和RLS的航空电推进 永磁电机驱动系统



王宏喆¹, 甘醇¹, 倪锴¹, 何琪², 曲荣海¹

1. 华中科技大学 强电磁工程与新技术国家重点实验室, 湖北 武汉 430074

2. 航空电力系统航空科技重点实验室, 陕西 西安 710000

摘要: 针对大功率航空电推进驱动系统高可靠性和轻量化特性的需求, 本文提出了一种基于滑模观测器(SMO)和递推最小二乘法(RLS)的多模式无位置传感器控制策略。首先通过SMO对扩展反电势进行观测, 并对转速估算值进行多模式处理, 实现了快速、准确地提取出电机的转子位置角及转速等信息; 再由RLS对永磁体磁链等参数进行辨识, 依据辨识结果对控制器中的相关控制参数进行整定, 并对观测器参数进行更新, 提高了系统的鲁棒性。本文对300kW的永磁同步电机电推进驱动系统进行了实例仿真, 验证了所提方案的有效性。本文所提出的方案可以实现可靠的无位置传感器驱动控制, 具有快速的动态性能和较高的鲁棒性, 为相关航空电推进驱动系统控制方案的设计和研发提供了参考。

关键词: 航空电推进驱动系统; 永磁同步电机; 无位置传感器控制; 滑模观测器; 递推最小二乘法

中图分类号: TM34

文献标识码: A

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2023.01.012

近年来, 随着电力电子技术、电动机技术、新型材料技术的进步, 电动飞机实现了快速发展。许多学者围绕航空用新型电子器件材料^[1]、高能量密度电池^[2]、高功率密度电动机设计^[3-4]开展了系列研究。

电推进系统是电动飞机的核心研究内容, 相较于传统推进系统, 其具有效率高、噪声及污染物/碳排放低等显著优势^[5]。永磁同步电机(PMSM)具有功率密度高、转矩惯量比大、动态响应速度快的优点, 在大型电推进系统领域具有巨大的潜力^[6]。同时, 永磁同步电机体积小、重量轻、噪声小、可靠性高, 没有励磁损耗, 相比于普通交流电机更加高效节能^[7], 是发展绿色航空的理想研究方向。显然, 研究作为关键驱动设备的大功率永磁同步电机电推进系统的高性能控制方法对于我国多电或全电飞机的发展有着深远意义。

实际应用环境要求大功率永磁同步电机电推进系统具有高可靠性和轻量化特性, 而实现控制系统的高可靠性和高精度控制, 需要实时而精确的转子位置信号。采用物理的位置传感器不仅会提高系统成本、增加系统的体积, 在高

速情况下还会引起可靠性降低等问题。因此采用无位置传感器控制技术可以避免物理传感器存在的诸多问题, 具有很高的研究价值。永磁同步电机在实际运行中由于温度及磁路饱和程度的变化, 内部参数将会不可避免地发生改变。实时准确获取永磁同步电机参数, 不仅可以作为故障检测的重要依据, 同时也能够为在线优化无位置传感器控制奠定基础。

永磁同步电机无位置传感器控制技术可以分为高频信号注入法^[8-10]和扩展反电势法^[11-13]。高频信号注入法包括了高频电流注入法^[8]和高频电压注入法^[9]。高频注入法依赖于永磁同步电机结构的凸极性, 动态性能较差, 适用于低速域无位置传感器控制^[10]。扩展反电势法有模型参考自适应法^[11]、滑模观测器法^[12-13]等多种实现方式。滑模观测器(SMO)实现简单、鲁棒性强且能保证在有限时间内收敛, 在高速运行场合有着巨大的优势。但由于采用了开关函数, 滑模观测器的观测信息存在大量的抖振和谐波。针对此问题, 许多学者提出了改变开关函数^[12]和提高观测器阶数^[13]等方法以便有效地减小抖振。

收稿日期: 2022-07-26; 退修日期: 2022-09-11; 录用日期: 2022-10-25

基金项目: 航空科学基金(20200040079002)

引用格式: Wang Hongzhe, Gan Chun, Ni Kai, et al. Research on sensorless control of SPMSM in aviation electric propulsion drive system based on SMO and RLS[J]. Aeronautical Science & Technology, 2023, 34(01):97-104. 王宏喆, 甘醇, 倪锴, 等. 基于SMO和RLS的航空电推进永磁电机驱动系统[J]. 航空科学技术, 2023, 34(01):97-104.

依据式(1),以扩展反电势作为观测对象,以两相电流作为状态量,建立如式(3)所示的滑模观测器状态方程

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{\alpha\text{est}} \\ i_{\beta\text{est}} \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} i_{\alpha\text{est}} \\ i_{\beta\text{est}} \end{bmatrix} + \frac{1}{L_d} \begin{bmatrix} u_\alpha \\ u_\beta \end{bmatrix} - \frac{1}{L_d} \begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中, $i_{\alpha\text{est}}$ 、 $i_{\beta\text{est}}$ 表示滑模观测器的电流估计值; v_α 、 v_β 表示扩展反电势初始估计值。

(2) 选择滑模面和滑模控制率

根据电流观测值误差设计滑模面和滑模控制率如式

(4)所示

$$s = \begin{bmatrix} i_{\alpha\text{err}} \\ i_{\beta\text{err}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_{\alpha\text{est}} - i_\alpha \\ i_{\beta\text{est}} - i_\beta \end{bmatrix}; \begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = k \begin{bmatrix} \text{sgn}(i_{\alpha\text{err}}) \\ \text{sgn}(i_{\beta\text{err}}) \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中, $i_{\alpha\text{err}}$ 、 $i_{\beta\text{err}}$ 为电流误差; k 为滑模增益; $\text{sgn}(i)$ 为符号函数。

根据滑模控制相关稳定性理论,可以求解得到滑模观测器的稳定性条件

$$k > \max \{ |E_\alpha|, |E_\beta| \} \quad (5)$$

(3) 高频抖振抑制与动态补偿

由于符号函数的引入,故扩展反电势的初始估计值中将包含很多不连续的高频分量,如果直接将初始估计值用于转速和转子位置估算将会产生很大的抖振。本文采用一个二阶巴特沃兹滤波器对高频噪声进行滤除。估计反电势如式(6)所示。

$$\begin{bmatrix} E_{\alpha\text{est}} \\ E_{\beta\text{est}} \end{bmatrix} = \frac{\omega_c^2}{s^2 + \sqrt{2}\omega_c s + \omega_c^2} \begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中, $E_{\alpha\text{est}}$ 和 $E_{\beta\text{est}}$ 为滤波后的反电势估计值; ω_c 为滤波器的截止频率,近似可看作二阶巴特沃兹滤波器的带宽。

由于采用了低通滤波器会导致相位滞后的问题,因此需要对滤波器造成的延时进行补偿,分析二阶巴特沃兹滤波器的相频特性可以建立动态补偿角度 $\Delta\theta$ 为

$$\Delta\theta = \arctan\left(\frac{\sqrt{2}\omega_{\text{est}}}{\omega_c^2 - \omega_{\text{est}}^2}\right) \quad (7)$$

式中, ω_{est} 为电角速度估算值。

根据式(6)和式(7)可估算位置角度为

$$\theta_{\text{est}} = -\arctan\left(\frac{E_{\alpha\text{est}}}{E_{\beta\text{est}}}\right) + \Delta\theta = -\arctan\left(\frac{E_{\alpha\text{est}}}{E_{\beta\text{est}}}\right) + \arctan\left(\frac{\sqrt{2}\omega_{\text{est}}}{\omega_c^2 - \omega_{\text{est}}^2}\right) \quad (8)$$

2.2 多模式转速估算

由于滤波后的反电势观测值有一定幅值的衰减,会影响转速估算值,故先对其幅值进行补偿,转速按照式(9)进行估算

$$\omega_{\text{est}} = \sqrt{1 + \left(\frac{\omega_{\text{est}}}{\omega_c}\right)^4} \frac{\sqrt{E_{\alpha\text{est}}^2 + E_{\beta\text{est}}^2}}{\psi_f} \quad (9)$$

$$n_{\text{est}} = \frac{30}{p\pi} \omega_{\text{est}}$$

式中, n_{est} 为转速估算值。

采用了式(9)所估算的转速中含有较大的高频波动,当转速到达额定转速后,会引起较大的 q 轴电流参考值波动,导致谐波增加等问题。因此,本文采用的无位置传感器策略根据估算转速将运行区域分为两个模式,设定模式切换转速为 n_c 。

(1) 当估算转速小于切换转速时,为加速模式,转速按照式(9)进行估算。

(2) 当估算转速大于切换转速时,为稳态模式,采用一阶滤波器对估算转速进行滤波,转速估算如式(10)所示

$$n_{\text{est}} = \frac{30}{p\pi} \frac{\omega_f}{s + \omega_f} \omega_{\text{est}} \quad (10)$$

式中, ω_f 为滤波器的截止频率。对于稳定状态,转速值几乎保持不变,故 ω_f 的选取可以较小;对于切换转速的设计,若 n_c 过小,则估算转速较真实转速会有较大延时,若过大,将影响转速调整过程的动态性能。

3 基于RLS的参数辨识与控制优化

3.1 基于RLS的参数辨识

要实现永磁同步电机高精度快速响应控制,需要系统具有良好的鲁棒性以应对外部工作环境和内部系统参数的变化,因此观测器中的相关参数也应相应调整。本文基于带遗忘因子RLS建立在线识别系统对定子电阻 R_1 、永磁体磁链 ψ_f 及 d/q 轴电感 L_d 、 L_q 进行参数辨识,并根据辨识值修正观测器中的相关参数。本文的研究对象为表贴式PMSM,故有 $L_d=L_q=L_s$ 。

根据相关理论,可以推导出如式(11)所示的带遗忘因子RLS的辨识递推公式。

$$\begin{cases} \hat{q}_k = \hat{q}_{k-1} + K_k(y_k - f_k^T \hat{q}_{k-1}) \\ P_k = \frac{(I - K_k f_k^T) P_{k-1}}{\lambda} \\ K_k = \frac{P_{k-1} f_k}{\lambda + f_k^T P_{k-1} f_k} \end{cases} \quad (11)$$

式中: \hat{q}_k 、 f_k 、 y_k 分别表示第 k 时刻的辨识值、数据矢量、系统输出值; P_k 和 K_k 分别表示第 k 时刻的协方差矩阵和增益矢量; λ 表示遗忘因子,通常取值为 0.9~1。

基于 q 轴电压方程建立辨识模型即

$$\omega_e i_d = F^T q^T = [-i_q \quad -w_e \quad u_q] \begin{bmatrix} R & y_f & 1 \\ L_s & L_s & L_s \end{bmatrix}^T \quad (12)$$

令 $q^T = [a, b, c]$, 则三个参数的辨识结果即

$$L_{est} = \frac{1}{c}; y_{fest} = \frac{b}{c}; R_{est} = \frac{a}{c} \quad (13)$$

3.2 控制参数的整定与观测器参数更新

(1) 电流环PI参数的整定

根据各部分的物理特性,得到PMSM矢量控制系统的传递函数等效框图如图2所示。(本文以 q 轴闭环为例, d 轴电流环同理。)

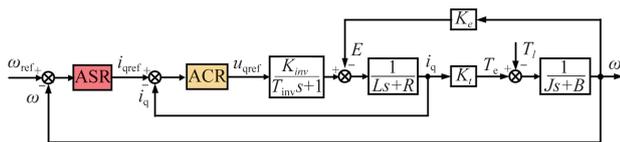


图2 q 轴传递函数等效框图

Fig.2 The block diagram of q -axis transfer function

图2中,ASR为速度环控制器;ACR为电流环控制器; K_{inv} 为逆变器增益,一般取值为1; T_{inv} 为逆变器等效惯性环节时间常数,一般取1.5倍开关周期(T_s); K_c 为电压常数; K_t 为转矩常数; J 为转动惯量; B 为摩擦系数,通常忽略不计。

采用工程整定方法对ACR进行PI参数整定,将电流环校正为I型系统,根据相关理论,按照“ $K_i=0.5$ ”的关系进行整定,可得ACR参数整定公式如式(14)所示,其中, K_{pi} 、 K_{ii} 分别表示ACR的比例增益和积分增益。

$$\begin{cases} K_{pi} = \frac{L_q}{3T_s} \\ K_{ii} = \frac{K_{pi} * R}{L_q} = \frac{R}{3T_s} \end{cases} \quad (14)$$

(2) 转速环PI参数的整定

电流环被整定为I型系统后,当研究转速环时,电流环可以视为一个时间常数为三倍开关周期的延时环节,易得转速环的传递函数框图结构如图3所示。

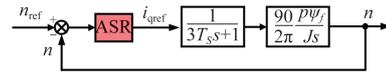


图3 转速环等效框图

Fig.3 The block diagram of speed control loop

采用工程整定方法对ASR进行PI参数整定,将转速环校正为II型系统,根据相关理论,可得ASR参数整定公式如式(15)所示。

$$\begin{cases} K_{ps} = \frac{pJ}{45py_f} \left(3T_s 10^{\frac{h}{2}} \right)^{-1} \\ K_{is} = 10^{-h} \frac{K_{ps}}{3T_s} \end{cases} \quad (15)$$

式中: h 为中频宽; K_{ps} 、 K_{is} 分别为ASR的比例增益和积分增益。

(3) 滑模观测器参数更新

要实现永磁同步电机高精度快速响应控制,需要系统具有良好的鲁棒性以应对外部工作环境和内部系统参数的变化,因此观测器中的相关参数也应予以相应调整。本文所采用的滑模观测器采用了定子电阻、 d/q 轴电感、永磁体磁链三个电机参数。基于已观测出的电机参数,对观测器中的参数值进行更新。

4 实例分析

根据以上工作原理,在Matlab/Simulink中搭建仿真模型,如图4所示。仿真模型采用两电平驱动拓扑,对额定功率为300kW、额定转速为15000r/min的永磁同步电机电推

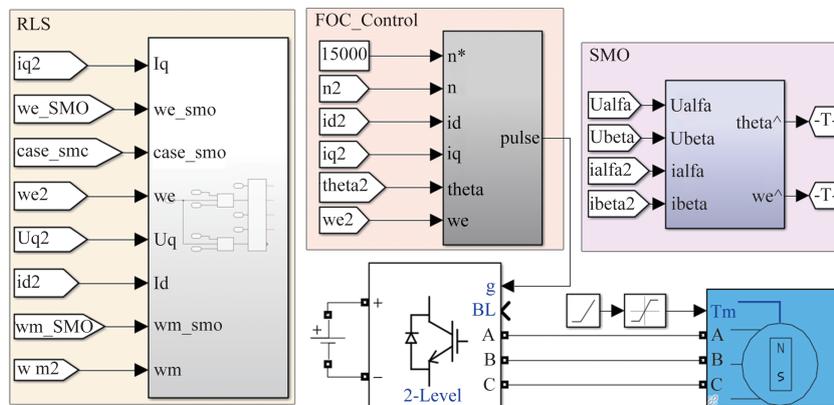


图4 控制系统Simulink仿真模型

Fig.4 The Simulink model of the control system

进驱动系统进行实例仿真验证。采用如下仿真设置: 仿真时长为2.8s, 设置遗忘因子 λ 为0.999, 从0.8s起每隔1s进行一次0.5s的辨识, 共进行两次辨识; 滑模观测器增益为300, 二阶巴特沃兹截止频率为10000rad/s, 稳态模式时的一阶低通滤波器截止频率为150rad/s。

(1) 参数辨识结果分析

三个电机参数辨识结果如图5所示。图5中, 参数真实

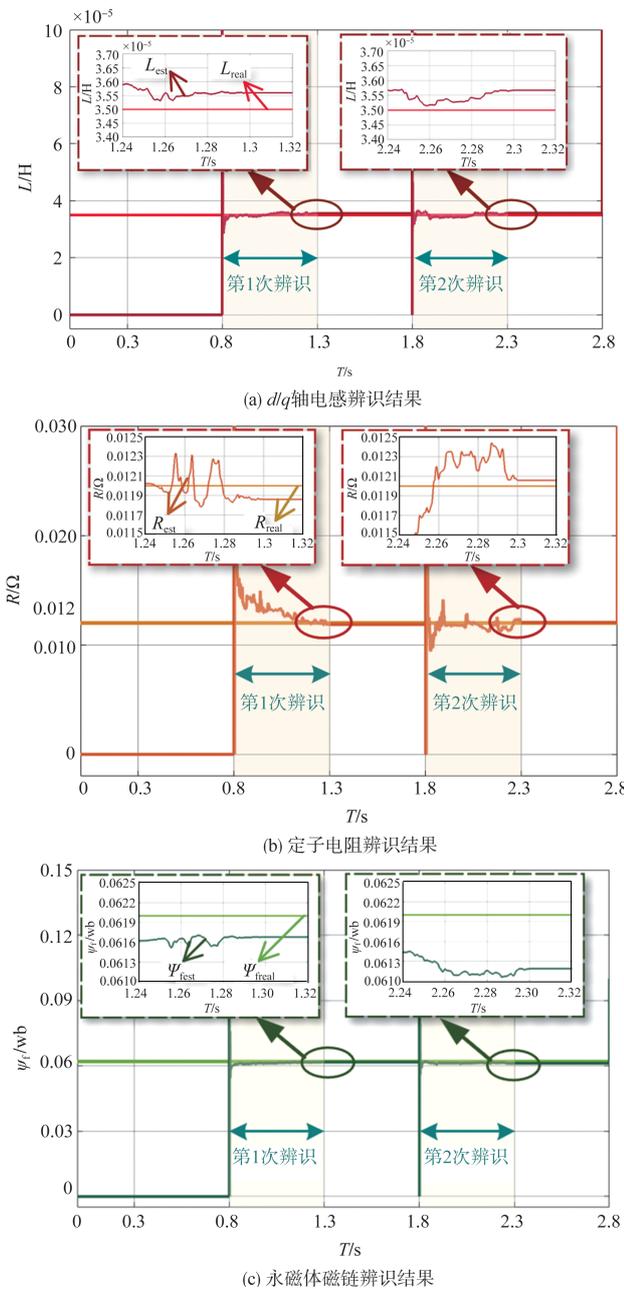


图5 d/q 轴电感、定子电阻、永磁体磁链辨识结果

Fig. 5 The identification results of d/q -axis inductance, stator resistance and permanent magnet flux linkage

值采用角标“real”表示, 辨识值采用角标“est”表示。如图5所示, d/q 轴电感参数辨识值在0.1s内收敛, 在第一次辨识时相对误差为1.71%; 在第二次辨识时相对误差为2%。定子电阻参数辨识值在0.35s内收敛, 在第一次辨识时相对误差为1.67%; 在第二次辨识时相对误差为0.42%。永磁体磁链辨识值在0.05s内收敛, 在第一次辨识时相对误差为0.65%; 在第二次辨识时相对误差为1.37%。上述结果证明, 本文所采用的参数辨识策略有很高的估计精度, 辨识值收敛快速, 可重复实现。

(2) 无位置传感器位置观测结果分析

对比观察电机电角度稳态时真实值和观测值、转速真实值和观测值如图6所示。电角度观测误差为0.025rad

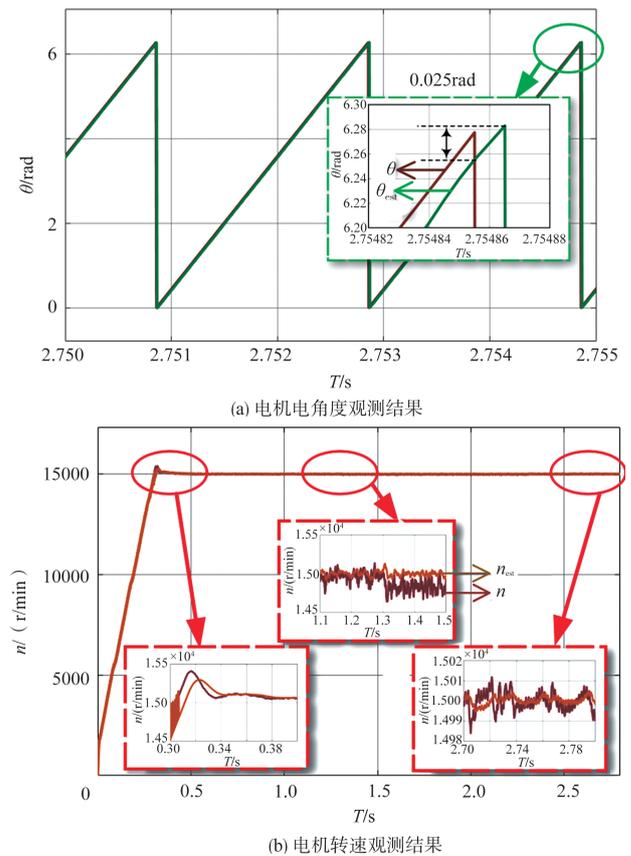


图6 电机电角度和转速观测结果

Fig.6 The observation results of the electric position and the rotor speed

(1.43°), 电机真实转速在1.3s(第一次参数自整定开始作用)时稳定于14970r/min, 稳态误差为0.13%, 转速波动为20r/min(0.13%), 观测值稳定于15000r/min, 无稳态误差; 在2.75s时真实转速和观测值均稳定于15000r/min, 无稳态误差, 转速波动为20r/min(0.13%)。上述结果证明, 本文所采

用的无位置传感器控制策略是有效的,且有很高的估计精度。

(3)控制系统电流结果分析

在2.75~2.755s时观察三相电流波形,并进行FFT分析(设置起点为2.75s,周期数10,基波频率根据稳态值设置)如图7所示。

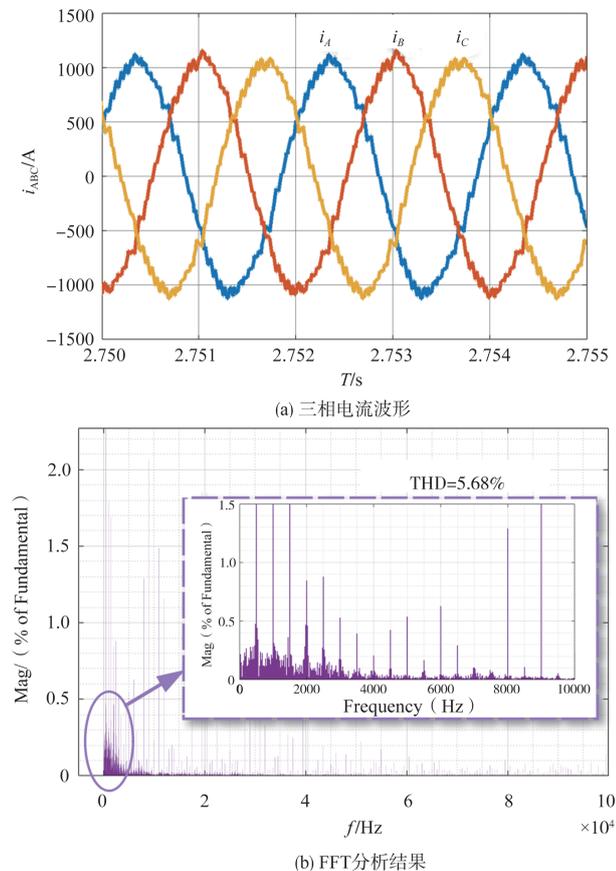


图7 稳态电流波形与FFT分析结果

Fig.7 The three-phase current waveform of the steady state and the corresponding FFT result

从图7中观察可以得到,三相电流正弦性好,THD为5.68%,单次谐波含量低于3%,上述结果证明,本文所采用的控制策略使得控制系统电流具有良好的正弦特性。

5 结论

本文提出了一种基于SMO和RLS的多模式无位置传感器控制策略。通过SMO观测反电动势和多模式处理,提取出永磁同步电机的转子位置转角和转速等信息;再利用带遗忘因子的RLS实现了对定子电阻、 d/q 轴电感和永磁体磁链的高精度辨识,并依据辨识结果对控制器中的相关控制参数进行整定、观测器参数进行更新。仿真验证结果表

明,本文提出的位置观测算法具有很高的观测精度,且能够适应升速、稳定运行等多种情况,观测结果平滑,抖振小;本文提出的参数辨识策略响应快、精度高、可重复性强。同时,通过控制参数整定算法,控制参数能够快速适应系统状态,控制系统具有良好的运行性能,控制系统电流谐波含量小。

AST

参考文献

- [1] 高新华,王经文,魏蕾,等. 高介电常数丙烯酸树脂弹性体的制备[J]. 航空科学技术,2021,32(6): 71-78.
Gao Xinhua, Wang Jingwen, Wei Lei, et al. Preparation of high dielectric constant acrylic resin elastomer[J]. Aeronautical Science & Technology, 2021, 32(6): 71-78. (in Chinese)
- [2] 李开省. 锂离子电池在电动无人机中的应用研究[J]. 航空科学技术,2020,31(5): 1-9.
Li Kaisheng. Research on the application of lithium-ion batteries in electric unmanned aircraft[J]. Aeronautical Science & Technology, 2020, 31(5): 1-9. (in Chinese)
- [3] 张峻涛. 高压直流电机驱动系统电磁兼容设计改进技术研究[J]. 航空科学技术,2020,31(3): 59-67.
Zhang Juntao. Research on electromagnetic compatibility test rectification technology of high voltage DC motor driving system[J]. Aeronautical Science & Technology, 2020, 31(3): 59-67. (in Chinese)
- [4] 高华敏,张卓然,王晨,等. 电推进飞机新型高功率密度轴向磁场永磁电机对比与分析[J]. 航空学报,2022,43(5): 399-409.
Gao Huamin, Zhang Zhuoran, Wang Chen, et al. Comparison and analysis of new high power density axial flux permanent magnet machine for electric propulsion aircraft[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2022, 43(5): 399-409. (in Chinese)
- [5] 穆作栋,程文渊,宋刚. 电推进技术在航空业的应用[J]. 航空科学技术,2019,30(11): 30-35.
Mu Zuodong, Cheng Wenyuan, Song Gang. Application of electric propulsion technology in aviation industry[J]. Aeronautical Science & Technology, 2019, 30(11): 30-35. (in Chinese)
- [6] 刘计龙,肖飞,沈洋,等. 永磁同步电机无位置传感器控制技术综述[J]. 电工技术学报,2017,32(16): 76-88.

- Liu Jilong, Xiao Fei, Shen Yang, et al. Position-sensorless control technology of permanent-magnet synchronous motor-a review [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2017, 32(16): 76-88. (in Chinese)
- [7] 张卓然, 耿伟伟, 陆嘉伟. 定子无铁心永磁电机技术研究现状与发展[J]. 中国电机工程学报, 2018, 38(2): 582-600+689.
- Zhang Zhuoran, Geng Weiwei, Lu Jiawei. Overview of permanent magnet machines with ironless stator[J]. Proceedings of the CSEE, 2018, 38(2):582-600+689. (in Chinese)
- [8] 杜博超, 崔淑梅, 宋立伟, 等. 一种基于变频电流信号的IPMSM无位置传感器高频注入电流噪声抑制方法[J]. 电工技术学报, 2020, 35(18): 3830-3837.
- Du Bochao, Cui Shumei, Song Liwei, et al. A variable frequency current injection sensorless control strategy of IPMSM for audible noise reduction[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2020, 35(18): 3830-3837. (in Chinese)
- [9] 刘兵, 周波. 脉振高频电压注入SPMSM无位置传感器控制的估计误差分析与抑制方法[J]. 中国电机工程学报, 2018, 38(14): 4232-4241+4329.
- Liu Bing, Zhou Bo. Analysis and compensation of position estimation error in SPMSM sensor-less control based on high frequency pulsating voltage injection[J]. Proceedings of the CSEE, 2018, 38(14): 4232-4241+4329. (in Chinese)
- [10] 李浩源, 张兴, 杨淑英, 等. 基于高频信号注入的永磁同步电机无传感器控制技术综述[J]. 电工技术学报, 2018, 33(12): 2653-2664.
- Li Haoyuan, Zhang Xing, Yang Shuying, et al. Review on sensorless control of permanent magnet synchronous motor based on high-frequency signal injection [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2018, 33(12): 2653-2664. (in Chinese)
- [11] 钟臻峰, 金孟加, 沈建新. 基于分段PI调节器的模型参考自适应永磁同步电动机全转速范围无传感器控制[J]. 中国电机工程学报, 2018, 38(4): 1203-1211, 1297.
- Zhong Zhenfeng, Jin Mengjia, Shen Jianxin. Full speed range sensorless control of permanent magnet synchronous motor with phased PI regulator-based model reference adaptive system[J]. Proceedings of the CSEE, 2018, 38(4): 1203-1211, 1297. (in Chinese)
- [12] Qiao Zhaowei, Shi Tingna, Wang Yindong, et al. New sliding-mode observer for position sensorless control of permanent-magnet synchronous motor[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2013, 60(2):710-719.
- [13] Liang Donglai, Li Jian, Qu Ronghai, et al. Adaptive second-order sliding-mode observer for PMSM sensorless control considering VSI nonlinearity[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2018, 33(10): 8994-9004.
- [14] 李旭春, 张鹏, 严乐阳, 等. 具有参数辨识的永磁同步电机无位置传感器控制[J]. 电工技术学报, 2016, 31(14): 139-147, 164.
- Li Xuchun, Zhang Peng, Yan Leyang, et al. Sensorless control of permanent magnet synchronous motor with online parameter identification[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2016, 31(14): 139-147, 164. (in Chinese)
- [15] Yang Chengbo, Song Bao, Xie Yuanlong, et al. Online parallel estimation of mechanical parameters for PMSM drives via a network of interconnected extended sliding-mode observers[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2021, 36(10): 11818-11834.
- [16] Sun Pengkun, Ge Qiongquan, Zhang Bo, et al. Sensorless control technique of PMSM based on RLS on-Line parameter identification[C]// 2018 21st International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), 2018.
- [17] Brosch A, Hanke S, Wallscheid O, et al. Data-driven recursive least squares estimation for model predictive current control of permanent magnet synchronous motors[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2021, 36(2):2179-2190.
- [18] 刘侃, 章兢. 基于自适应线性元件神经网络的表面式永磁同步电机参数在线辨识[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(30): 68-73.
- Liu Kan, Zhang Jing. Adaline neural network based online parameter estimation for surface-mounted permanent magnet synchronous machines[J]. Proceedings of the CSEE, 2010, 30(30): 68-73. (in Chinese)
- [19] 刘细平, 胡卫平, 丁卫中, 等. 永磁同步电机多参数辨识方法研究[J]. 电工技术学报, 2020, 35(6): 1198-1207.
- Liu Xiping, Hu Weiping, Ding Weizhong, et al. Research on multi-parameter identification method of permanent magnet synchronous motor[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2020, 35(6): 1198-1207. (in Chinese)

Research on Sensorless Control of SPMSM in Aviation Electric Propulsion Drive System Based on SMO and RLS

Wang Hongzhe¹, Gan Chun¹, Ni Kai¹, He Qi², Qu Ronghai¹

1. State Key Laboratory of Advanced Electromagnetic Engineering and Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China

2. Key Laboratory of Aviation Science and Technology on Aerospace Power System, Xi'an 710000, China

Abstract: Aiming at the operating requirements of high-power aero electric propulsion drive system in high-speed situation, a multi-mode sensorless control strategy based on sliding mode observer (SMO) and recursive least squares (RLS) is proposed. First, the back electromotive force (back-EMF) is observed through SMO, and the observed value is processed in different modes according to the rotor speed, and the information of position and rotor speed can be estimated quickly and accurately. Then, the parameters such as the permanent magnet flux linkage are identified by RLS, and the related parameter values in SMO and the PI controllers are updated according to the identification results, where the parameter robustness of the system is greatly improved. Simulations are carried out in a 300kW permanent magnet synchronous motor (PMSM) to verify the effectiveness of the proposed strategy. The scheme proposed in this paper can achieve reliable sensorless drive control with fast dynamic performance and high robustness, which provides basis for the design and research on related control schemes for aero electric propulsion drive system.

Key Words: aero electric propulsion drive system; PMSM; sensorless control; SMO; RLS

Received: 2022-07-26; **Revised:** 2022-09-11; **Accepted:** 2022-10-25

Foundation item: Aeronautical Science Foundation of China(20200040079002)