

# 永磁同步电机滑膜变结构 MATLAB 仿真

吴祥瑞, 高 键

(江苏科技大学 江苏 镇江 212000)

**摘要:** 针对多变量, 非线性, 强耦合的永磁同步电机 (PMSM) 系统设计了一种转速控制器, 利用滑模控制的鲁棒性强, 可以弥补传统 PI 控制鲁棒性弱的缺点, 设计了滑模转速控制器。首先介绍了 PMSM 矢量控制下的坐标变换, 然后建立了转速滑模控制器, 并证明了稳定性, 其次介绍了 SVPWM 的步骤, 最后以 MATLAB 进行了仿真验证, 结果表明所设计控制器较传统控制抑制抖振效果佳, 控制性能好。

**关键词:** 永磁同步电机; 坐标变换; 滑模控制; SVPWM

中图分类号: TN99

文献标识码: A

文章编号: 1674-6236(2017)11-0111-03

## Application of electronic cam on vertical packaging machine

WU Xiang-rui, GAO Jian

(Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212000, China)

**Abstract:** For multi-variable, nonlinear, strong coupling of Permanent Magnet Synchronous Motor (PMSM), a speed controller system design, the use of robust sliding mode control is strong, it can make up for the traditional PI control robustness weak shortcomings design sliding speed controller! introduces the coordinate transformation under PMSM vector control, and the establishment of a sliding mode speed controller, and prove the stability, followed by the introduction SVPWM steps were finally MATLAB simulation results show that the controller design than traditional control suppressing buffeting good effect, good control performance.

**Key words:** PMSM; coordinate transformation; sliding mode control ; SVPWM

DOI:10.14022/j.cnki.dzsjgc.2017.11.027

永磁同步电机因为其使用方便、可靠性高、性能优越等优点, 广泛运用于交流伺服系统中。传统的 PID 控制算法简单, 可靠性高, 一定程度上能够满足控制要求, 但在外界扰动过大或精度要求高时, 难以满足调速要求。

近年来, 包括模糊控制、遗传算法控制、滑模控制在内的许多现代控制理论被逐渐应用到永磁同步电机的调速系统中<sup>[1-6]</sup>。其中, 滑模变结构控制因具有很强的鲁棒性以及系统参数要求低等优点得到越来越多学者的关注, 并在电机的伺服控制中得到应用。

文中结合文献[7-15]的思想, 设计了一种滑膜变结构控制器。系统仿真及实验结果表明, 该控制器使系统具有快速性、超调小等优点, 并且对负载扰动具有较强的鲁棒性。

## 1 永磁同步电机的坐标变换

为了简化分析过程, 常常忽略一些影响较小的参数, 作如下假设:

- 1) 定子电枢绕组产生正弦波感应电动势, 转子永磁体的气隙磁场也以正弦波分布在气隙空间;
- 2) 铁芯的涡流和磁滞损耗忽略不计;
- 3) 定子铁芯的饱和忽略不计, 电感参数不变, 且认为磁路线性;
- 4) 忽略转子的阻尼绕组。

按转子磁链定向的永磁同步电机在 dq 坐标系上的转矩方程为:

$$T_e = \frac{3}{2} n_p [\Psi_f \cdot i_q + (L_d - L_q) \cdot i_d \cdot i_q] \quad (1)$$

$$\text{机械运动方程为 } J \cdot \frac{d\omega_r}{dt} + D \cdot \omega_r = T_e - T_L \quad (2)$$

对于面贴式转子结构的永磁同步电机 (SPMSM)

收稿日期: 2016-05-13 稿件编号: 201605129

作者简介: 吴祥瑞 (1992—), 男, 江苏泰州人, 硕士。研究方向: 工业控制、信号与信息处理。



$$=s(-\alpha|e|\operatorname{sgn}(s)-\beta\cdot s)$$

$$=-\alpha|e|\operatorname{sgn}(s)-\beta\cdot s^2$$

$$=-\alpha|e|\cdot|s|-\beta\cdot s^2<0$$

从而:

$\dot{V}\leq 0$  ( $\dot{V}=0$ , 当  $s=0$ ), 所以系统稳定

因为调节速度, 最终到落实到对电流的控制上, 所以设控制率为取

$$U=f[\delta(\alpha|e|\operatorname{sgn}(s)+\beta s+\gamma\dot{e})] \quad (9)$$

通过符号函数  $\operatorname{sgn}(s)$ , 使系统运动到滑模面上并保持在上面, 使得速度保持恒定。系统在控制过程中, 随着开关的不断切换, 在相平面中系统状态将沿切换面, 来回运动形成滑模运动, 最后成为沿切换线的滑动, 电机速度  $\omega$  达到轨迹点即给定速度  $\omega^*$ 。

#### 4 基于 Matlab 的系统模型建立

在 Matlab 中应用 Simulink 建立永磁同步电机滑模控制系统仿真模型。仿真时, 设置电机参数为, 电机定子相绕组电阻  $R=2.875\ \Omega$ , 电枢电感  $15\ \text{mH}$ , 转动惯量  $J=0.029\ \text{kg}\cdot\text{m}^2$ , 极对数  $p=4$ , 摩擦系数  $B$  为  $0.0049\ \text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{s}$ , 直流侧电压为  $600\ \text{V}$ , 初始负载转矩为  $5\ \text{N}\cdot\text{m}$ , 初始转速为  $600\ \text{r/min}$ 。图 2 为三相电流波形, 图 3 为电机转速输出值, 图 4 为电机输出力矩, 在  $t=0.2\ \text{s}$  时改变电机转速为  $1000\ \text{r/min}$ , 在  $t=0.4\ \text{s}$  时改变电机的负载转矩为  $20\ \text{N}\cdot\text{m}$  转矩, 可以看到在极短的时间内, 电机转矩和三相电流过渡到稳定值, 响应迅速, 误差较小, 平滑过渡。

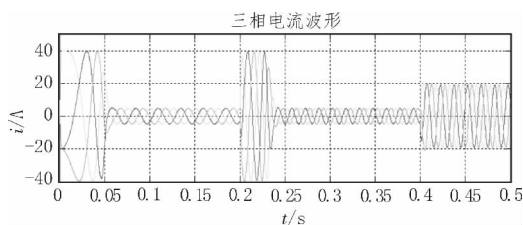


图 2 三相电流波形

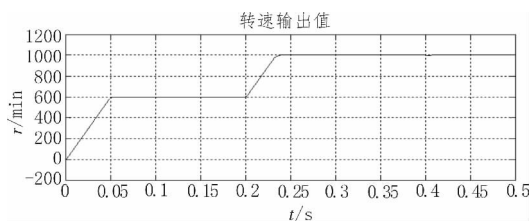


图 3 转速输出值

#### 5 结束语

文中详细介绍了永磁同步电机的矢量控制, 并

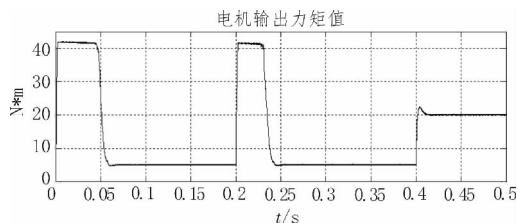


图 4 电机输出力矩值

对其电流环采用滑模变结构控制, 通过 SVPWM 输出三相交流电, 经过 Matlab 仿真, 波形响应快速, 稳定, 能很好的实现对电机的控制, 鲁棒性好, 为以后的应用提供一定的理论基础。

参考文献:

- [1] 李芳, 王毓顺, 张家瑞. 基于模糊 PI 控制的永磁同步电机的建模与仿真[J]. 工业控制计算机, 2013, 26(8): 73-74.
- [2] 易伯瑜, 康龙云, 陶思念, 等. 永磁同步电机抗扰高阶滑模观测器设计学报. 电工技术学报, 2014, 29(5): 133-138.
- [3] 张晓光, 赵克, 孙力, 等. 永磁同步电机滑模变结构调速系统动态品质控制[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(15): 47-52.
- [4] 张晓光, 孙力, 赵克. 基于负载转矩滑模观测的永磁同步电机滑模控制 [J]. 中国电机工程学报. 2012, 32(3): 111-116.
- [5] 王岛林, 张国强, 贵献国. 永磁同步电机无位置传感器混合控制策略[J]. 中国电机工程学报. 2012, 32(24): 104-108.
- [6] 郭鸿浩, 周波, 左广杰. 无刷直流电机反电势自适应滑模观测[J]. 中国电机工程学报. 2011, 31(21): 143-149.
- [7] 董雷, 杨向宇, 赵世伟. 基于滑模算法的两相混合式步进电机位置控制研究[J]. 微电机, 2015, 48(9): 50-52.
- [8] 邹权, 钱林方, 蒋清山. 永磁同步电机伺服系统的自适应模糊滑模控制[J]. 控制理论与应用, 2015, 32(6): 818-820.
- [9] 丁文, 梁得亮, 罗战强. 两级滤波滑模观测器的永磁同步电机无位置传感器控制[J]. 电机与控制学报, 2012, 16(11): 1-10.

[10] Zhugang Ding, Guoliang Wei and Xueming Ding. Speed identification and control for permanent magnet synchronous motor via sliding mode

(下转第 118 页)

表2 自动控制下的检测项目

序号	测试项目
1	按反应顺序,生产自动进行
2	系统在进行升温、恒温与降温过程中,手动控制与自动控制之间的转换,根据实际检测的OP温度和系统设定温度自动进行恒温、升温与降温控制,并绘制历史曲线
3	积分运算处理
4	低温与高温的连锁,系统直接跳出自动控制模式进行手动控制
5	阀、搅拌电机的开/关与定时器的定时/延时控制

机操作站与SHCAN型智能测控组件连接的模式,并根据PP催化剂生产的工艺需求进行硬件设备的选型配置。软件体系主要包括根据PP催化剂的生产过程设计的过程数据库、人机交互界面等。系统经调试后已于2015年底正式投入使用,经过辽宁省某化工厂的实际工作验证,该控制系统设计合理,设备控制精度高,安全系数高,满足了工厂对实际生产流程的相关需求。

## 参考文献:

- [1] 杨蕾.聚丙烯生产工艺及其市场应用分析[J].河南科技,2015(20):148-149.
- [2] 刘欣,毕志伟,周厚金,等.CAN总线在客车电控气动换挡系统中的应用[J].电子设计工程,2013(15):65-67.
- [3] 李江忠.SHCAN2000现场总线控制系统在PP-催化剂主反应釜生产中的应用[J].太原科技,2009(5):88-89.
- [4] 王营博,许同乐,李璞晟.基于CAN总线的DCS远程供水在线预警系统[J].给水排水,2016(2):125-128.

(上接第113页)

- approach[J]. Systems Science & Control Engineering, 2014,2(1):161-167.
- [11] Attou, A., Massoum, A., Chiali, E. Sliding mode control of a permanent magnets synchronous machine [C]// IEEE Conference POWERENG, 2013:115-119.
  - [12] Li S, Zhou M, Yu X. Design and implementation of terminal sliding mode control method for PMSM speed regulation system. IEEE Trans [J]. Ind. Informat., 2013(9):665-671.
- 118-

- [5] 郭治永.基于SHCAN2000污水处理自动控制系统的设计与实现[D].大连:大连交通大学,2010.
- [6] 袁爱进.SHCAN2000分布控制系统智能测控组件系统使用手册 [EB/OL][2015-11-04]. <http://dxxy.djtu.edu.cn/>.
- [7] 王长友,张毅珏,陈晓侠.丙烯腈催化剂评价装置的全自动监控系统[J].化工自动化及仪表,2015(2):129-133.
- [8] 王蒙蒙,姚晓峰.基于现场总线的油品添加剂生产监控系统的设计[J].工业控制计算机,2014(10):12-13.
- [9] 王心遴.DJD-G催化剂生产装置现场总线控制系统的设计[D].大连:大连交通大学,2015.
- [10] WU Hua-zhu, LV Ye-min, WANG Chang-you. The standardization of OPC interface based on a Field Bus control system [C]// 2010 International Symposium on Computer, Communication, Control and Automation Proceedings (Volume 1), 2010: 3.
- [11] 陈晓侠.CAN现场总线控制系统的研究及其在聚酯生产中的应用[D].大连:大连铁道学院,2001.
- [12] 黄明,梁旭,岳洋.基于CAN总线设计实现的数据采集监控系统[J].化工自动化及仪表,2010(6):79-81.
- [13] 陈辉,周文超,闫冠宇,等.基于CAN总线的远程数据分布式测控系统设计[J].电子设计工程,2012(17):186-188.
- [14] 李少雷.基于KNX总线的智能照明控制系统[J].电子设计工程,2016(2):140-141.
- [15] 徐振东.基于CAN总线的可燃性气体监控系统的研究与设计[D].长春:吉林大学,2007.

- [13] 欧阳叙稳,尹华杰.基于变指数趋近律的永磁同步电机滑模控制研究[J].微电机,2011,44(9):31-34.
- [14] 李政,胡广大,崔家瑞,等.永磁同步电机调速系统的积分型滑模变结构控制[J].中国电机工程学报,2014,43(3):431-437.
- [15] 钱荣荣,骆敏舟,赵江海,等.永磁同步电动机新型自适应滑模控制[J].控制理论与应用,2013,30(11):1414-1421.