

文章编号:1671-251X(2011)12-0052-04

DOI:CNKI:32-1627/TP.20111128.1611.015

基于滑模变结构的感应电动机控制策略研究

黄文涛

(中煤科工集团上海研究院检测中心, 上海 201401)

摘要:感应电动机是一个高阶、非线性、强耦合的多变量系统,在运行的过程中参数易受温度、负载变化的影响,会造成电动机进入不稳定区域运行。为了适应系统的非线性特性,提出了一种基于滑模变结构的控制策略。该策略对电流、转速、磁链误差分别建立滑模面,构造出各环节变结构控制器,并推导出自适应控制律。仿真结果证明了控制策略的有效性和可行性。

关键词:感应电动机;滑模变结构;变结构控制器;自适应控制律;鲁棒性

中图分类号:TD614 文献标识码:A 网络出版时间:2011-11-28 16:11

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20111128.1611.015.html>

Research of Control Strategy of Induction Motor Based on Sliding Mode Variable Structure

HUANG Wen-tao

(Testing Center of Shanghai Research Institute of China Coal Technology and Engineering
Group Corporation, Shanghai 201401, China)

Abstract: Induction motor is a high-level, non-linear, strong coupled and multi-variable system. When it's running, its parameters are influenced by temperature and load and caused the motor to run into unstable region. To adapt to its non-linear system property, a control strategy based on sliding mode variable structure was proposed. Sliding surface was established corresponding to current, rotate speed, flux error, variable structure controller of each link was constructed, and self-adaptive control law was derived. The simulation results showed that the control strategy has effectiveness and feasibility.

Key words: induction motor, sliding mode variable structure, variable structure controller, self-adaptive control law, robust

0 引言

感应电动机矢量控制系统的性能指标要求其控制系统的控制精度高,响应速度快,还要求感应电动机矢量控制系统对负载扰动和电动机参数变化具有较强的鲁棒性^[1-5]。目前,电动机的转速、电流和磁链的控制多采用传统的PI控制。但感应电动机是一个多变量、强耦合、非线性系统^[6],传统的PI控制是基于线性系统的设计方法,当参数匹配时,能够获得较好的控制性能。若电动机的非线性特性变得突

出时,如电动机参数发生变化时,就无法满足电动机调速系统的控制性能要求^[7-8]。而滑模变结构控制,适应于参数不确定或者未精确建模的系统的控制,解决在建模不准情况下保持稳定性和一致性能问题^[9-10]。因此,滑模变结构控制能够有效解决电动机系统的非线性特性以及参数变化等因素对电动机矢量控制系统的影响。

为此,笔者提出了一种基于滑模变结构控制的感应电动机矢量控制策略,仿真结果证明了该控制策略的有效性和可行性。

1 感应电动机矢量控制

采用坐标变化的方法,将三相感应电动机转换到两相旋转坐标系中。基于转子磁链定向,感应电

收稿日期:2011-08-10

作者简介:黄文涛(1982-),男,山西太原人,助理工程师,现主要从事矿用隔爆型产品的电气性能检验工作。E-mail:hwt4work@163.com

非线性控制——滑模变结构控制。采用滑模变结构控制时,电动机矢量控制系统具有超调量小、响应速度快、鲁棒性强等优点。

2 滑模变结构控制

滑模变结构控制属于非线性控制,适用于系统参数不确定或者系统未精确建模,解决各种系统建模不准情况下保持稳定性和一致性问题的方法。考察单输入系统

$$\dot{x}^{(n)} = f(x) + b(x)u \quad (9)$$

式中: x 为 n 阶状态量; $f(x)$ 为非线性不精确模型; $b(x)$ 为不精确控制增益; u 为输入。

使状态 x 跟踪状态 x_d 。记跟踪误差为

$$\tilde{x} = x - x_d$$

定义状态空间 R^n 中时变曲面 $S(t)$,若采用积分控制:

$$s = \left(\frac{d}{dt} + \lambda\right) \int_0^t \tilde{x} dt \quad (10)$$

于是有

$$\dot{s} = (x - x_d)^1 + \lambda \tilde{x} = f(x) + b(x)u - \dot{x}_d + \lambda \tilde{x} \quad (11)$$

使得 $\dot{s}=0$ 的一个连续控制规律的最好逼近为

$$\hat{u} = -\frac{1}{b(x)}[f(x) - \dot{x}_d + \lambda \tilde{x}] \quad (12)$$

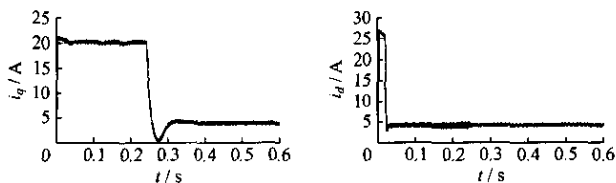
在穿越曲面 $s=0$ 时,加上不连续项,即

$$u = \hat{u} + k \operatorname{sgn}(s) \quad (13)$$

其中: sgn 是符号函数:

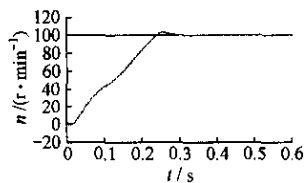
$$\begin{cases} \operatorname{sgn}(s) = +1, & s > 0 \\ \operatorname{sgn}(s) = -1, & s < 0 \end{cases} \quad (14)$$

根据以上推导,电动机的电流控制律为

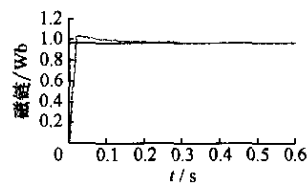


(a) q 轴电流

(b) d 轴电流

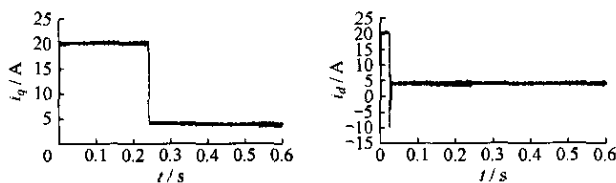


(c) 电动机转速



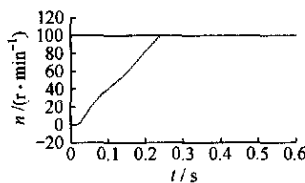
(d) 转子磁链

图4 采用传统PI调节器的仿真结果

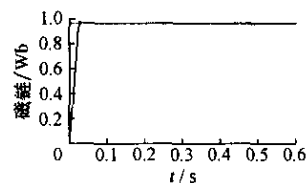


(a) q 轴电流

(b) d 轴电流



(c) 电动机转速



(d) 转子磁链

图5 采用滑模变结构控制的仿真结果

$$\begin{cases} u_{sd(eq)} = \sigma L_s p i_d^* + R_s i_{sd} + e_d + \sigma L_s \lambda \tilde{x} \\ u_{sd} = u_{sd(eq)} + k \operatorname{sgn}(s) \end{cases} \quad (15)$$

$$\begin{cases} u_{sq(eq)} = \sigma L_s p i_q^* + R_s i_{sq} + e_q + \sigma L_s \lambda \tilde{x} \\ u_{sq} = u_{sq(eq)} + k \operatorname{sgn}(s) \end{cases} \quad (16)$$

转速控制律为

$$i_{sq} = \frac{J L_r}{L_m \varphi_r} \lambda \tilde{x} + k \operatorname{sgn}(s)$$

$$\tilde{x} = \omega^* - \omega, \quad s = \tilde{x} + \lambda \int_0^t \tilde{x} dt \quad (17)$$

磁链滑模变结构控制律为

$$\begin{cases} i_{sd} = \frac{T_r}{L_m} \left(\frac{\varphi_r}{T_r} + \lambda \tilde{x} \right) + k \operatorname{sgn}(s) \\ \tilde{x} = (\varphi_r^* - \varphi_r), \quad s = \tilde{x} + \lambda \int_0^t \tilde{x} dt \end{cases} \quad (18)$$

3 仿真研究

在 Matlab/Simulink 环境下进行仿真研究,仿真所采用的电动机参数如表1所示。分别搭建了基于PI调节器的转子磁链定向矢量控制和滑模变结构转子磁链定向矢量控制仿真系统,所采用的电动机参数均为额定值时,仿真结果如图4和图5所示。

表1 电动机参数

额定 电压/V	额定 电流/A	额定 功率/kW	定子 电阻/ Ω	转子 电阻/ Ω	互感 /H
380	5	2.5	2.94	2.39	0.235 07
转子 漏感/mH	定子 漏感/mH	极对数	负载/ (N·m)	母线 电压/V	
26.062	26.062	2	10	700	

图4与图5中的(a)、(b)分别为采用传统PI调节器和滑模变结构控制的 q 轴和 d 轴电流。

通过比较可以看出,采用滑模变结构控制,电流能够更准确地跟踪给定值,稳态误差小,而且电流几乎没有超调。图4与图5中的(c)、(d)分别表示电动机的转速和磁链。通过比较可以发现采用滑模变结构控制,外环几乎没有超调,比传统PI控制更迅速收敛,稳态误差小。因此,在正常条件下,采用滑模变结构控制,电动机的性能优于传统的采用PI控

制的电动机系统。

图6与图7分别为采用传统PI调节器和滑模变结构控制的电动机参数发生变化时的仿真波形。定子电阻变为 $1.94\ \Omega$,转子电阻变为 $0.7\ \Omega$,定子磁链变为 $0.14569\ \text{H}$,转子磁链变为 $0.14569\ \text{H}$ 。从图6与图7中的(a)可以看出,采用传统PI控制时,转矩电流波动较大,影响电动机的稳定。

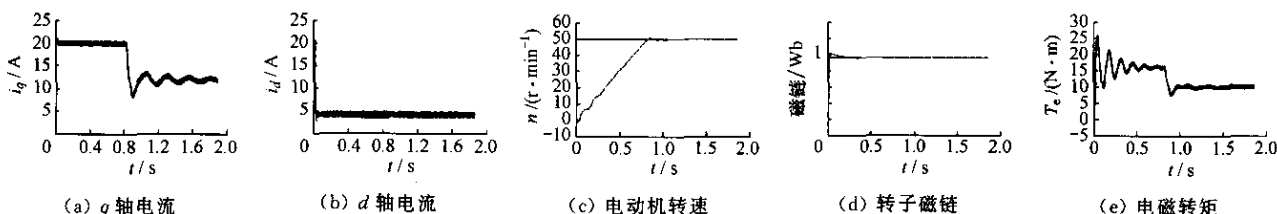


图6 采用传统PI调节器的仿真波形

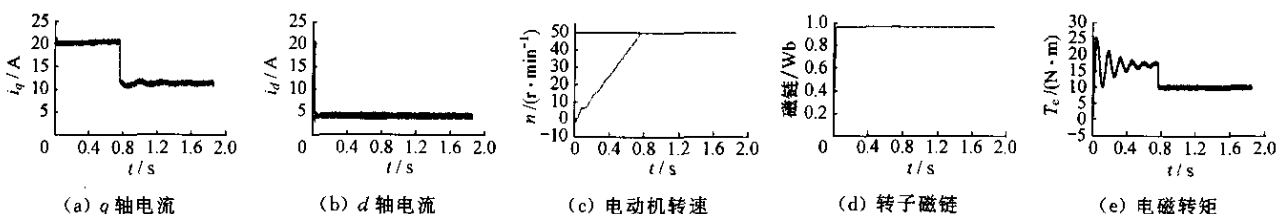


图7 采用滑模变结构控制的仿真波形

从图6与图7(c)可看出,由于PI控制电动机电磁转矩的影响,造成传统的电动机转速的波动,在稳态时依然存在。从图6与图7(e)可看出,在暂态过程中,电动机的电磁转矩都存在波动,而在电动机达到控制转速时,采用滑模变结构控制电动机的电磁转矩稳定,磁链收敛的速度更快,在 $0.01\ \text{s}$ 便可以跟踪给定值。而采用传统的PI控制的电动机电磁转矩依然存在波动。

4 结语

针对电动机非线性特性以及电动机参数不稳定性等问题,采用了滑模变结构控制策略取代了传统的PI控制策略。采用滑模变结构控制能够降低电动机参数变化对电动机控制系统的影响,提高了系统鲁棒性。而且该控制策略能够提高系统响应速度,降低超调量。仿真结果证明了该控制策略的有效性和可行性。

对于滑模变结构控制的抖动问题还有待进一步研究。

参考文献:

[1] 吴竞之,张建文,蔡旭,等.基于鼠笼异步发电机风力发电控制系统研究[J].电力电子技术,2011,45(6):18-20.

[2] 苏晓梨.基于DSP的异步电动机SVPWM变频调速控制系统[J].变频器世界,2011(6):103-108.
[3] 张敬.变频调速技术在油田的应用现状及前景分析[J].江汉石油科技,2006,16(2):48-52.
[4] IWASAKI M, MATSUNAGA N. Robust Speed Control of IM with Torque Feed Forward Control [J]. IEEE Transactions on Industry Electronic, 1993, 40(6): 553-560.
[5] 王敬生,王庆龙.感应电动机无传感器滑模变结构控制[J].合肥工业大学学报,2010,33(5):661-664.
[6] 陈伯时.电力拖动自动控制系统——运动控制系统[M].北京:机械工业出版社,2003.
[7] KARARNAYI B, RAHMAN M F, GRANTHAM C. Speed Sensorless Vector Controlled Induction Motor Driver with Rotor Time Constant Identification Using Artificial Neural Networks [C]//International Symposium on Intelligent Control IEEE, 2002: 715-720.
[8] VASIC V, SLOBODAN N V, LEVI E. Stator Resistance Estimation Scheme for Speed Sensorless Rotor Flux Oriented Induction Motor Drives [J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2003, 18(4): 476-483.
[9] SLOTINE J E, LI Weiping. 应用非线性控制[M].程代展,译.北京:机械工业出版社,2006.
[10] 魏伟,胜辉,郭新超.感应电动机混合滑模变结构控制方法[J].电动机与控制学报,2009,13(3):458-463.