

文章编号: 1673 - 9469(2014) 04 - 079 - 03

doi: 10. 3969/j. issn. 1673 - 9469. 2014. 04. 019

一类同步磁阻电机混沌系统的分析与控制

孟敬, 陈恒, 雷腾飞

(西京学院 研究生部, 陕西 西安 710123)

摘要: 针对同步磁阻电机系统中的混沌现象, 在分析运动特性的基础上, 提出了一种自适应控制方法。首先, 该方法验证了某些特定的参数和工作条件下系统会出现复杂的混沌运动。然后, 对 Lyapunov 指数图、分岔图和相图进行分析。再以 Lyapunov 稳定性理论为基础, 提出了系统在已知参数与未知参数下的自适应控制器。该控制器克服了以往一般自适应控制器中空置率不连续的缺点, 使系统脱离了混沌。仿真结果验证了理论分析的正确性以及该方法的可行性, 对研究优良的控制方法提供了理论参考。

关键词: 同步磁阻电机; 混沌控制; 自适应控制

中图分类号: TM352

文献标识码: A

Analysis and control of a class of the chaotic systems in Synchronous Reluctance Motor

MENG Jing, CHEN Heng, LEI Teng-fei

(Graduate Department, Xijing University, Shanxi Xi'an 710123, China)

Abstract: Aiming at the chaotic phenomenon in the system of synchronous reluctance motor, an adaptive control method is proposed in this paper on the basis of analyzing the motion characteristics. First, in some cases with certain parameters, it is verified that the system will appear complicated chaotic motion. Then, the Lyapunov index map, bifurcation diagram and phase diagram are analyzed. Then, based on Lyapunov stability theory, an adaptive controller is proposed in the system with known or unknown parameters, which overcomes the disadvantages of the vacancy rate's discontinuity between general adaptive controller. The simulation result verifies the correctness of the theory analysis and the feasibility of this method. Meanwhile, it also provides a theoretical reference for the study of excellent control method.

Key words: synchronous reluctance motor; chaos control; adaptive control

同步磁阻电机是一种应用广泛的执行元件, 具有转子内部不需要附加励磁且转换效率高及可靠性等特点, 广泛应用于工农业、航空等领域的交流调速系统中。大量的研究表明物理学中的微电子、光、量子以及生物学和通信等领域普遍存在混沌现象。因此, 近年来许多科研工作者都从事于混沌理论研究, 并将其应用于工程, 譬如飞行器与电机混沌的研究控制等。当前对电机混沌的研究主要集中在永磁同步电机系统, 对同步磁阻电动机混沌属性的控制研究较少。文[1]验证了在某些参数与工作条件下系统会出现非常复杂的混沌

运动或极限环; 文[2-3]证明风力发电系统中存在的混沌现象; 文[4]验证了在特定条件下, 无刷直流电机可产生混沌现象, 并进行了数值分析及仿真; 文[5]对无刷双馈风力发电机进行了控制; 文[6]对永磁同步发电机混沌系统采取了滑模变结构控制, 但滑模变结构对数学模型要求精度不高, 所以存在一定误差; 文[7]提出了一种适用于永磁同步电机的自适应控制方法; 文[8]对同步磁阻电机混沌系统混沌现象进行了分析, 但没有解决问题。

根据同步磁阻电机的特点, 在已有的同步磁

收稿日期: 2014 - 09 - 13

基金项目: 陕西省教育厅自然科学基金项目(12JK1077); 西京学院科研基金(XJ130117)

作者简介: 孟敬(1988-), 女, 河北石家庄人, 硕士, 从事混沌电路与控制的研究。

阻电机系统的模型基础上采用了 Lyapunov 稳定性理论,设计一种自适应同步控制器。该控制方法可以适应同步磁阻电机参数已知与参数未知的混沌系统。

1 同步磁阻电动机混沌系统模型

同步磁阻电动机混沌系统的模型可写作:

$$\begin{cases} Ld \frac{di_d}{dt} = -R_s i_d + \omega_g L_q i_q + u_d \\ Lq \frac{di_q}{dt} = -R_s i_q + \omega_g L_d i_d - \Phi \omega_g + u_q \\ J_{ep} \frac{d\omega_g}{dt} = \frac{3}{4} n_p (L_d - L_q) i_d i_q - T_L - B \omega_g \end{cases} \quad (1)$$

式中: i_d i_q 与 u_d u_q 分别为定子电流与电压的的直轴与交轴的分量; R_s 为定子电阻; ω_e ω_g 分别为电角频率与发电机转速; L_d L_q 分别为直轴与交

轴的电感; J_{ep} 为机组等效转动惯量; Φ 为永磁磁铁的磁通; T_e 为转磁转矩; B 为发电机的转动粘滞系数。

假设发电机气隙均匀, d 轴与 q 轴电感量相同,经过仿射变换与时间尺度变换得到了的无量纲的状态模型如下:

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = -bx_1 + x_2 x_3 + \hat{u}d \\ \frac{dx_2}{dt} = -x_2 - x_1 x_3 + \gamma x_3 + \hat{u}q \\ \frac{dx_3}{dt} = -ax_3 + x_1 x_2 - \hat{T}_L \end{cases} \quad (2)$$

式中 $x_1 = i_d$ $x_2 = i_q$ $x_3 = \omega_g$, 当 $\hat{u}d = 0$ $\hat{u}q = 0$ $\hat{T}_L = 0$ 可以看同步磁阻电机空载运行的情况,现取某电机的参数如下: $a = 1.6$ $b = 0.2$ $\gamma = 10$ 。

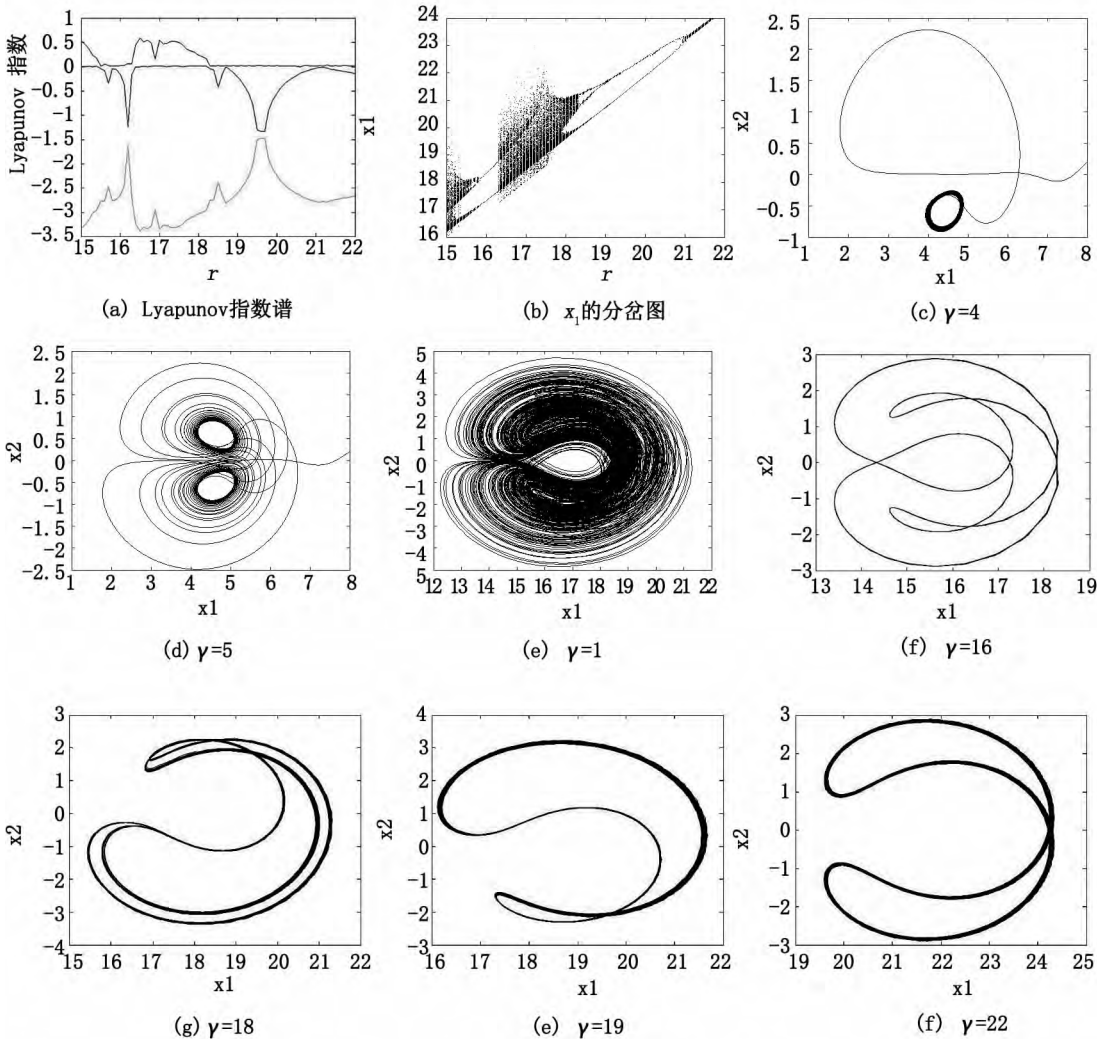


图1 参数 γ 变化时系统变化情况

Fig.1 The variations when the parameter γ changes

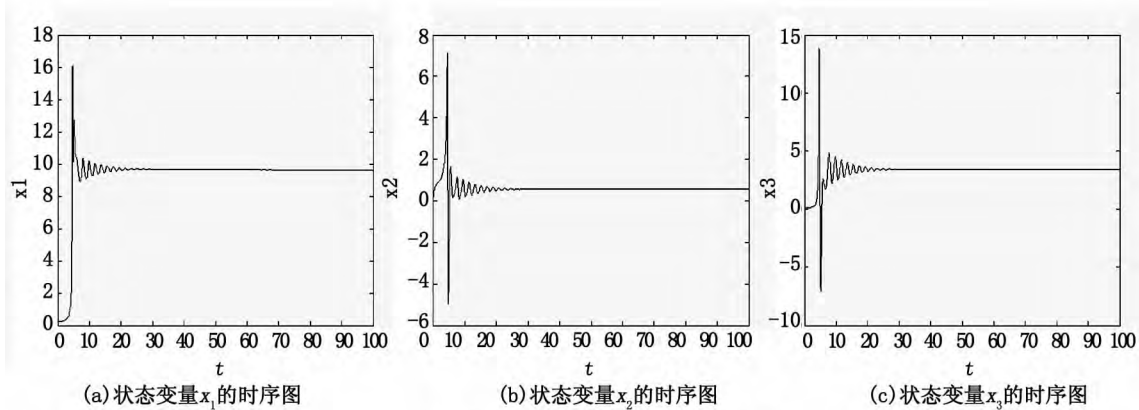


图2 参数未知受控系统的动态特性

Fig.2 The dynamic characteristics of the controlled system with unknown parameters

2 同步磁阻电机的混沌吸引子

上述参数无量纲后,可以看出同步磁阻电机是一个多变量强耦合的系统。该系统在上述参数下呈现出复杂的混沌动态行为。 R_s 与 Φ 受电机工作运行的影响最大,表现在模型上即参数 γ 的变化。以 γ 为分岔参数做出 Lyapunov 指数图、分岔图和相图,如图 1 所示。根据分岔图,可以看出同步磁阻电机脱离混沌的主要途径是倒置分岔。

3 自适应控制器设计

设计一个状态反馈控制器 u ,使所构成的闭环系统趋于稳定。为了使所设计的控制器简单且不失一般性,本文只对状态 x_1 的变量施加控制作用。令控制器 $u = -kx_2$,则系统(2)可以写成:

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = -bx_1 + x_2x_3 \\ \frac{dx_2}{dt} = -x_2 - x_1x_3 + \gamma x_3 - kx_2 \\ \frac{dx_3}{dt} = -ax_3 + x_1x_2 \end{cases} \quad (3)$$

在实际的系统中,系统参数往往是未知的。下面议论系统未知时的,自适应控制器的设计如下:

$$\begin{aligned} u &= kx_2 \quad \dot{k} = ax_2^2 \\ \text{首先构造 Lyapunov 函数} \\ V &= 0.5(x_1^2 + x_3^2 + \frac{1}{a}k^2) + x_2^2 \end{aligned} \quad (4)$$

对 V 函数进行求导,则:

$$\begin{aligned} \dot{V} &= \dot{x}_1x_1 + 2\dot{x}_2x_2 + \dot{x}_3x_3 + \dot{k}x_2^2 \\ &= -bx_1^2 - 2x_2^2 - ax_3^2 + 2\gamma x_2x_3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= - [x_1 \quad x_2 \quad x_3] \begin{bmatrix} b & 0 & 0 \\ 0 & 2 & -2\gamma \\ 0 & 0 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} \\ &= -X^T P X \end{aligned} \quad (5)$$

因为矩阵 P 为正定的,故闭环系统是渐进稳定的,可以通过 Matlab 软件仿真出来本方法的有效性。

4 仿真分析

根据上述规则,通过 Matlab 对该方法进行仿真,验证上述控制方法的有效性。当取电机的模型参数为 $\hat{u}_d = 0, \hat{u}_q = 0, \hat{T}_w = 0, a = 1.6, b = 0.2, \gamma = 10$ 时,同步磁阻电机的运动呈现混沌状态。令系统的初始值为 $(0.1 \ 0.2 \ 0)$ 。当运行到 20 s 时,加入控制项。参数未知时的仿真结果如图 2(a)、(b)、(c)。分析结果可知,加入控制项之后,系统快速趋于稳定状态,具有良好的稳定性能。

5 结论

运用 Lyapunov 函数分析计算同步磁阻电机的稳定性,其结果表明参数已知与参数未知时的动态特性均趋于稳定,可以实现对同步磁阻电机系统的混沌控制。仿真结果表明,系统在控制器的作用下迅速达到稳定状态,理论分析与数值仿真结果相一致,验证了理论分析的正确性。

参考文献:

[1]雷腾飞,陈恒.分数阶永磁同步风力发电机中混沌运动的自适应同步控制[J].曲阜师范大学学报,2014,40(3):63-68.

(下转第 97 页)

费率。如果企业运转正常,能最终偿还贷款,那么银行和担保公司面临的风险自然会随着贷款的到期而消除,如果企业因风险问题保证金账号中的保证金被提前收取完毕,担保公司执行“强行平仓”担保公司代偿贷款,这样银行和担保公司的信用风险得到有效控制。

参考文献:

- [1]高立军. 基于 VaR 模型的中小企业信用担保风险定价[J]. 银企合作, 2011(3): 74-75.
[2]张国立. 商业银行贷后风险管理问题与对策[J]. 济南

金融, 2012(3): 67-70.

- [3]唐吉平, 陈浩. 贷款信用保险定价研究[J]. 金融研究, 2004(10): 77-83.
[4]陈晓红, 韩文强, 余坚. 基于 VaR 模型的信用担保定价方法[J]. 系统工程, 2010(3): 108-110.
[5]陈晓红, 陈坚, 王宗润, 等. 信用担保的动态定价模型[J]. 统计与决策, 2007(4): 54-56.
[6]梅强, 秦默. 再担保体系下银保合作的机制研究[J]. 统计与决策, 2008(1): 16-21.

(责任编辑 王利君)

(上接第81页)

- [2]安学利, 蒋东翔. 风力发电机组运行状态的混沌特性识别及其趋势预测[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(3): 13-24.
[3]张波, 李忠, 毛宗源, 等. 一类永磁同步电机混沌模型与霍夫分叉[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(9): 13-17.
[4]杨志红, 姚琼荃. 无刷直流电动机系统非线性研究[J]. 动力学与控制学报, 2006, 4(1): 59-62.
[5]蔡超豪. 无刷双馈风力发电机的控制[J]. 电机与控制应用, 2011, 38(3): 45-50.

- [6]杨国良, 李惠光. 直驱式永磁同步风力发电机中混沌运动的滑模变结构控制[J]. 物理学报, 2009, 58(11): 7552-7557.

- [7]张兴华, 丁守刚. 非均匀气隙永磁同步电机的自适应混沌同步[J]. 控制理论与应用, 2009, 26(6): 661-664.

- [8]GAO Y, CHAU K T. Hopf bifurcation and chaos in synchronous reluctance motor driver[J]. IEEE Transaction on Energy Conversion, 2004, 19(2): 296-302.

(责任编辑 王利君)