

开关磁阻伺服电机传动系统研究

陈 昊, 俞普德

(中国矿业大学 信息与电气工程学院, 江苏 徐州 221116)

[摘要] 该方法描述了开关磁阻电机单机伺服系统基本组成和开关磁阻电机双机伺服系统的基本组成, 给出了 Matlab/Simulink 环境下所建立的开关磁阻电机双机伺服系统的非线性仿真模型. 进行了开关磁阻电机双机伺服系统仿真, 仿真结果表明, X 轴方向给定位置、 Y 轴方向给定位置虽不同, 而 X 、 Y 方向到达给定位置的时间相同. 最后, 给出了开关磁阻电机双机伺服系统样机的实物照片和实验结果.

[关键词] 开关磁阻, 伺服电动机, 电机控制

[中图分类号] TM 85 [文献标识码] A [文章编号] 1672-1292(2010) 03-0025-05

Study on Switched Reluctance Servomotor Drive System

Chen Hao, Yu Pude

(School of Information and Electrical Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract The composition of switched reluctance motor single servo system and dual servo system are proposed in this paper. Nonlinear simulation model of switched reluctance motor dual servo system was proposed by MATLAB/Simulink. The results of simulation show that although the given positions are different in X -axis and Y -axis, the time which they reached the given position are the same. The photos of switched reluctance motor servo system and experiment results are also proposed in this paper.

Key words switched reluctance motor; servomotor; motor control

开关磁阻伺服电机传动系统是一种结构简单、工作可靠、成本较低、效率高和可控性好的伺服系统^[1-4]. 其突出的优点在于电机启动时电流小而转矩大、低速下具有较大转矩、再生制动回馈方便以及具有较高的转矩惯量比, 容易实现直接驱动, 取消了中间机械变速装置, 从而提高了系统快速响应能力, 降低了成本和能量损失.

1 系统组成

开关磁阻电机伺服系统的被控制量 (输出量) 是负载机械空间位置的角位移, 当位置给定量 (输入量) 作特定变化时, 该系统的主要任务是使输出量快速而准确地复现给定量的变化^[5]. 图 1 为开关磁阻电机单机伺服系统的基本组成示意图, 主要有以下 4 个部分组成: (1) PC 机: PC 机采用上位机监控软件实现对开关磁阻电机伺服系统监控, 可给定系统位置、获得系统位置运行轨迹和瞬时速度曲线. (2) CPU: 该开关磁阻电机伺服控制系统以美国 TI 公司生产的 TM S320F2812 数字信号处理器为核心, 辅以其它功能模块, 实现对开关磁阻电机伺服系统功率变换器换相控制、电机转子位置跟踪伺服控制、电机转子位置检测、电机与功率变换器相电流检测与控制等. (3) 驱动信号放大及功率变换电路: CPU 输出信号经驱动信号放大电路的隔离和放大, 控制不对称半桥式功率变换器电路主开关的导通和关断, 向电机相绕组适时、循序供电. 其功率变换电路采用三相不对称桥式结构. (4) 伺服电机: 该伺服系统中采用的伺服电机是三相 12/8 结构开关磁阻伺服电机, 其截面如图 2 所示. 其定子上有 12 个极, 转子上有 8 个极, 每个定子极上装有集中

收稿日期: 2010-05-20
基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金项目 (20070290504)、江苏省高校科研成果产业化推进项目 (JH07-021)、中国与斯洛文尼亚政府间科技合作项目 (国科外字 [2009] 157 号 8-6).
通讯联系人: 陈 昊, 教授, 博士, 研究方向: 电力电子与电力传动. E-mail: hchen@cumt.edu.cn

式线圈, 中心线正交的 4 个定子极上的线圈连接构成一相绕组, 转子上无刷、无绕组、无永磁体。

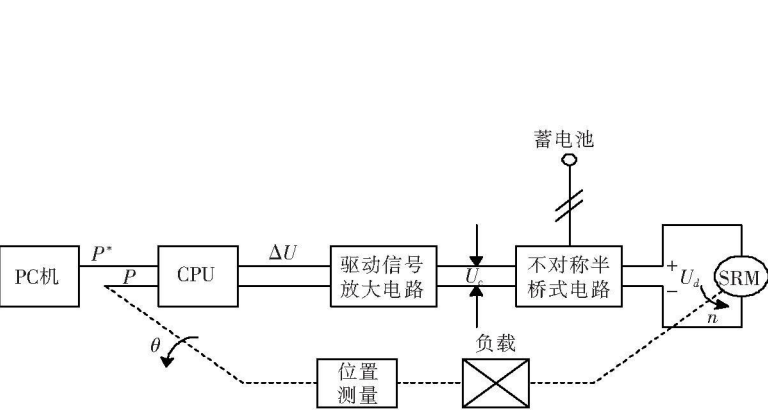


图 1 开关磁阻电机单机伺服系统基本组成示意图

Fig.1 SRM single basic component diagram of servo system

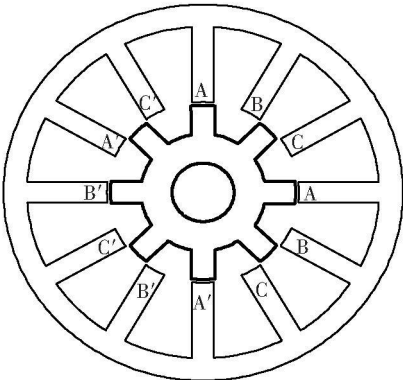


图 2 三相 12/8 结构开关磁阻伺服电机截面示意图

Fig.2 Three-phase 12 / 8 structure switched reluctance servo motor cross-section diagram

由于伺服系统驱动的机械要求能够进行多自由度运动, 单机伺服系统很难独立完成, 但可由双机伺服系统实现. 图 3 为开关磁阻电机双机伺服系统的基本组成示意图。

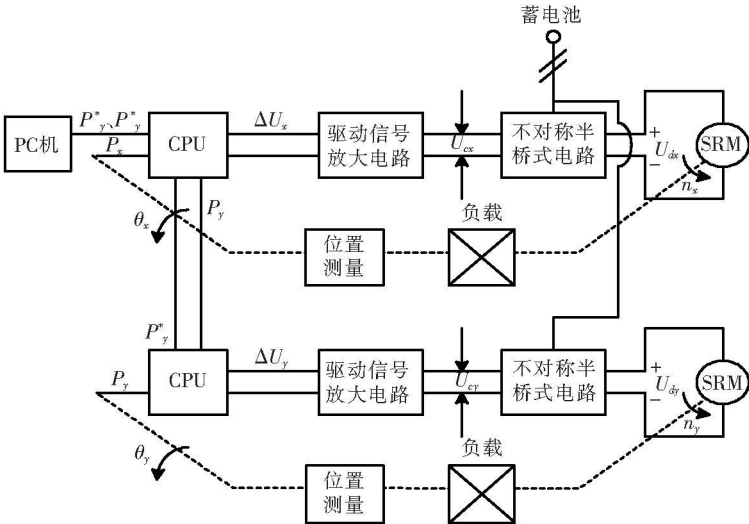


图 3 开关磁阻电机双机伺服系统的基本组成示意图

Fig.3 Dual switched reluctance motor servo system diagram of the basic components

2 系统仿真模型

本文在 Matlab/Simu link 环境下, 建立了开关磁阻电机双机伺服系统的非线性仿真模型, 如图 4 所示. 将 “master” 或 “slave” 模块展开, 得到三相 12/8 结构开关磁阻电机与三相不对称桥式功率变换电路相结合的仿真模型如图 5 所示. 该模型有 4 个输入和两个输出, 4 个输入分别为电源电压、开通角、关断角和斩波电流幅值, 两个输出分别是转子角度位置和角加速度。

图 5 中, A、B、C 三相的仿真模块基本一致. 它们均由以下几个子模块构成, 包括相电感及其偏导数计算模块、功率变换器模块、转子位置角计算模块、电流滞环控制模块、电流计算模块和转矩计算模块等。

“开通角”、“关断角”和“角加速度”的控制都是通过开关模块来实现的. 以“角加速度”控制模块为例, 在实际转子位置 θ 到达给定位置 θ_g 的一半之前, 模块输出为加速度值, 让电机匀加速运行; 而在后半段, 模块输出为负加速度值, 让电机匀减速运行. 其仿真模型如图 6 所示。

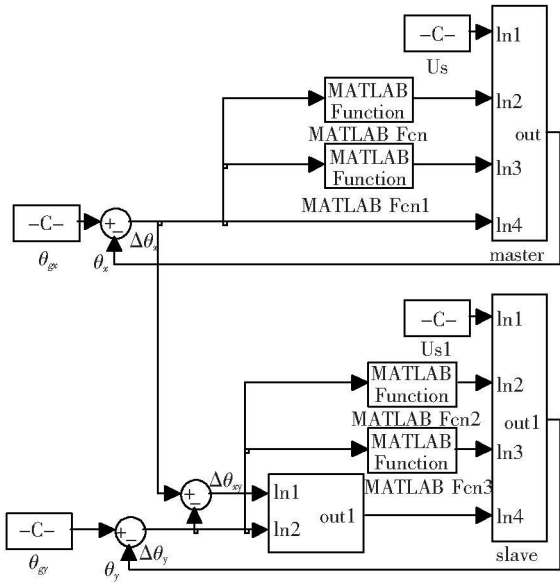


图 4 开关磁阻电机双机伺服系统非线性仿真模型

Fig.4 Switched reluctance motor dual nonlinear simulation model of servo system

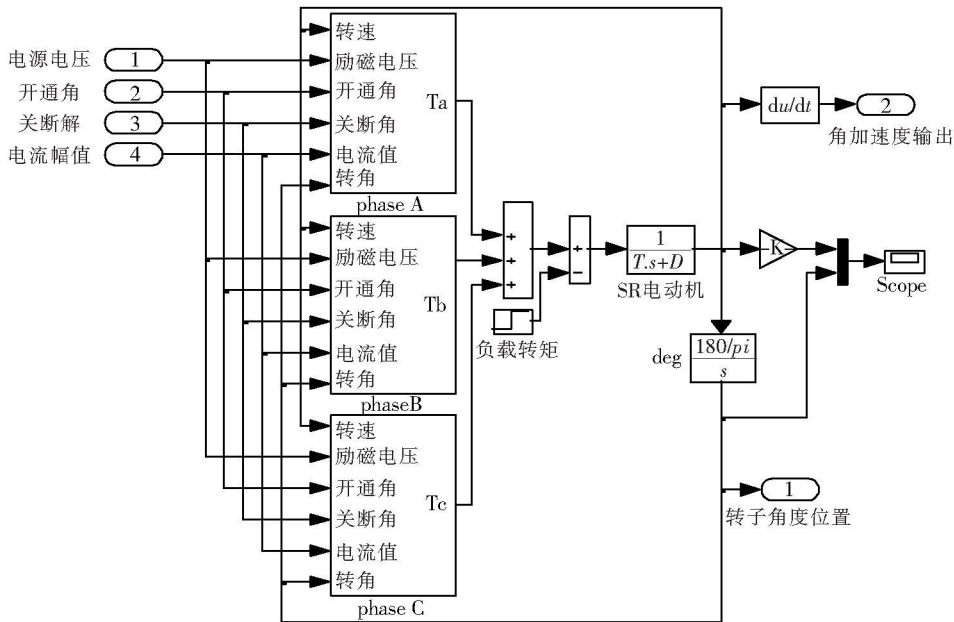


图 5 开关磁阻电机与功率变换电路相结合的仿真模型

Fig.5 SRM combined with the power conversion circuit simulation model

3 系统仿真分析

用所建立的系统非线性仿真模型, 进行了开关磁阻电机双机伺服系统仿真. 若让一台电机驱动负载做 X 轴方向运动, 其给定位置为 θ_x ; 一台电机驱动负载做 Y 轴方向运动, 其给定位置为 θ_y . $\theta_x = 270^\circ$, $\theta_y = 210^\circ$ 时 X 、 Y 轴方向电机运动轨迹的仿真曲线如图 7(a) 所示. $\theta_x = 270^\circ$, $\theta_y = 300^\circ$ 时 X 、 Y 轴方向电机运动轨迹的仿真曲线如图 7(b) 所示. $\theta_x = 270^\circ$, $\theta_y = 360^\circ$ 时 X 、 Y 轴方向电机运动轨迹的仿真曲线如图 7(c) 所示. $\theta_x = 360^\circ$, $\theta_y = 300^\circ$ 时 X 、 Y 轴方向电机运动轨迹的仿真曲线如图 7(d) 所示. $\theta_x = 360^\circ$, $\theta_y = 330^\circ$ 时 X 、 Y 轴方向电机运动轨迹的仿真曲线如图 7(e) 所示. $\theta_x = 360^\circ$, $\theta_y = 420^\circ$ 时 X 、 Y 轴方向电机运动轨迹的仿真曲线如图 7(f) 所示. 由仿真结果可见, X 轴方向给定位置、 Y 轴

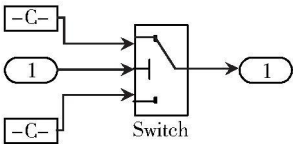


图 6 角加速度控制仿真模型
Fig.6 Angular acceleration control model

方向给定位置虽不同, 而 X 、 Y 方向到达给定位置的时间相同.

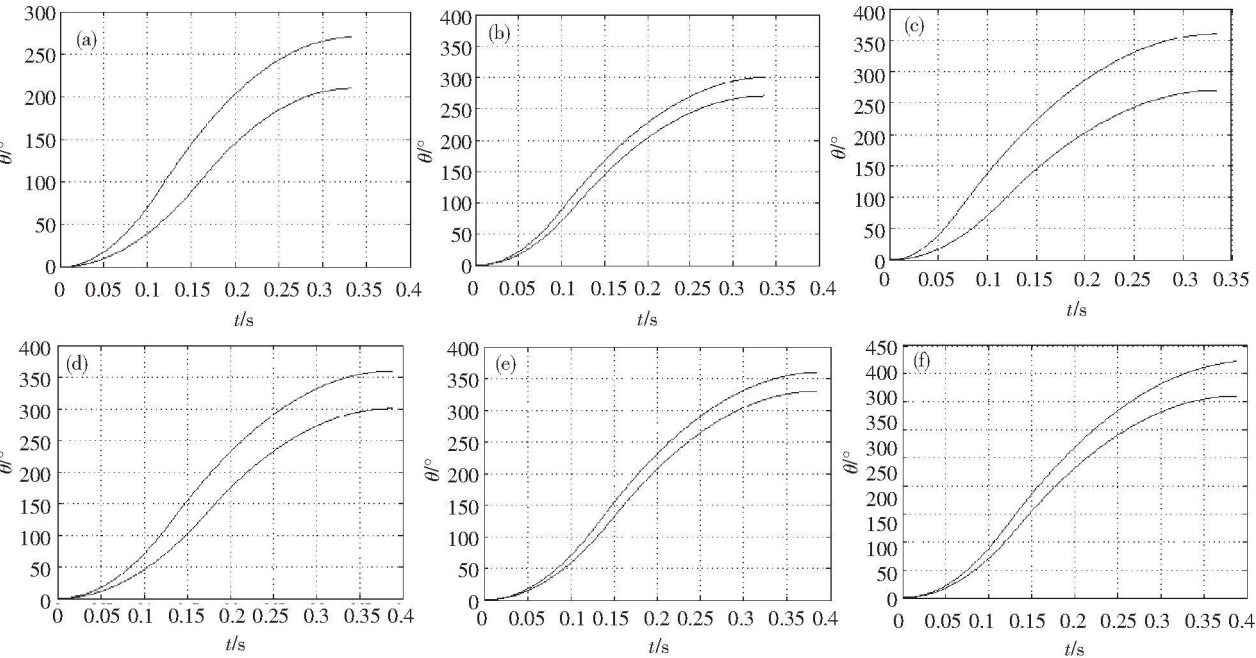


图 7 X 、 Y 轴方向电机运动轨迹的仿真曲线

Fig.7 X 、 Y axis motor trajectory simulation curve

4 样机实物系统

图 8 所示为样机实物系统的实拍照片. 样机硬件系统包括两台三相 12/8 结构开关磁阻电机、两相三相对称半桥式功率变换器、两块 TM S320F2812 数字信号处理器板、两块驱动电路板、两块故障保护板、双 DSP 通信电路板等.

$\theta_x = 360^\circ$, $\theta_y = 300^\circ$ 时, 实测 X 、 Y 轴方向电机各自运动轨迹如图 9 (a) 所示, 实测 X 、 Y 轴方向电机合成运动轨迹如图 9 (b) 所示, 实测 X 、 Y 轴方向电机相电流波形如图 9 (c) 所示. 图 9 (c) 中, “CH 1” 为 X 轴方向电机相电流波形, “CH 2” 为 Y 轴方向电机相电流波形.

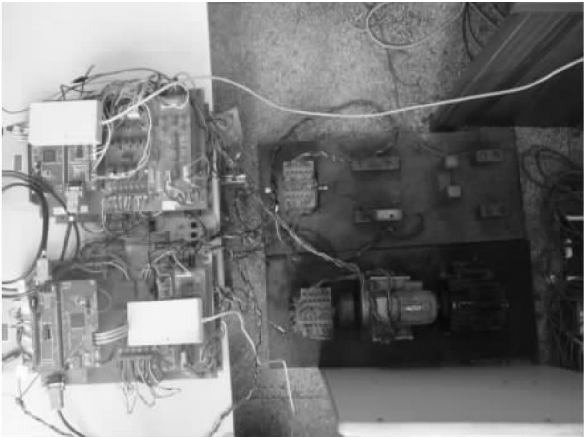


图 8 样机实物系统实拍照片

Fig.8 Prototype physical system implementation take pictures

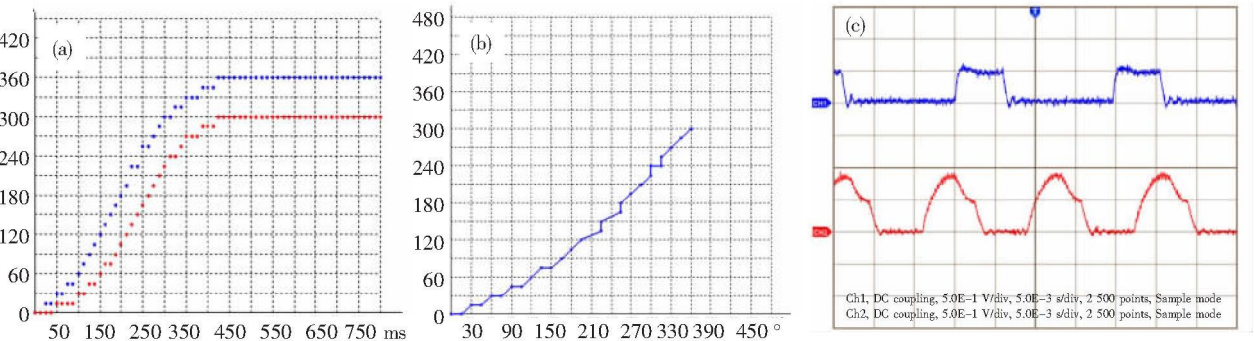


图 9 样机系统实验结果

Fig.9 Experimental results of prototype system

5 结论

开关磁阻电机双机伺服系统从硬件电路上看是两个独立的单机伺服系统的并联, 各系统之间互不影响, 稳定性好. 由于采用角加速度控制, 即在实际转子位置到达给定位置的一半之前, 让电机匀加速运行, 而在后半段, 让电机匀减速运行, 仿真与实验结果表明, 系统位置伺服响应迅速、无超调.

[参考文献] (References)

- [1] 张东, 陈昊, 朱艺峰. DSP控制的开关磁阻电机伺服传动系统[J]. 中小型电机, 2003, 30(1): 35-38
Zhang Dong Chen Hao Zhu Yifeng Switched reluctance motor servo drive based on DSP[J]. S and M Electric Machines, 2003, 30(1): 35-38 (in Chinese)
- [2] Oraee H, Arefi A, Valley P, et al. Comparison of different drives in servo systems[C] // Proceedings of the Universities Power Engineering Conference Greece Technological Educational Institute, 2003(38): 236-239.
- [3] Kosaka T, Pollock C, Shikayama T, et al. GA-based computer aided autonomous electromagnetic design of switched reluctance servomotor drives[C] // 39th IAS Annual Meeting, Seattle, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2004.
- [4] 宋桂英, 孙鹤旭, 郑易. 开关磁阻电动机微步位置伺服控制[J]. 微特电机, 2006, 34(5): 35-38
Song Guiying, Sun Hexu, Zheng Yi. Micro-step position control of switched reluctance motors[J]. Small and Special Electrical Machines, 2006, 34(5): 35-38 (in Chinese)
- [5] 嵇丽丽, 陈昊, 朱艺峰. 基于 Matlab 的开关磁阻电机伺服系统建模仿真[J]. 中小型电机, 2005, 32(1): 15-19.
Ji Lili, Chen Hao, Zhu Yifeng. Modeling and simulation of SRSD based on matlab [J]. S and M Electric Machines, 2005, 32(1): 15-19 (in Chinese)
- [6] 蔡际令, 金若君. 基于 DSP 控制的开关磁阻电机可逆传动系统[J]. 浙江大学学报: 工学版, 2006, 40(6): 1 019-1 026
Cai Jiling, Jin Ruojun. Reversible drive system of switched reluctance motor based on DSP controller[J]. Journal of Zhejiang University Engineering Science Edition, 2006, 40(6): 1 019-1 026 (in Chinese)
- [7] 顾晨宇, 白连平. 开关磁阻电机制动控制系统的研究[J]. 北京机械工业学院学报, 2007, 22(4): 44-47.
Gu Chenyu, Bai Lianping. Study on braking control system of switched reluctance motor[J]. Journal of Beijing Institute of Machinery, 2007, 22(4): 44-47 (in Chinese)

[责任编辑: 刘 健]