

大转动惯量负载双机同步控制策略仿真研究

马志军

(沈阳远大电力电子科技有限公司, 辽宁 沈阳 110027)

摘要: 针对双同步电机通过软性轴驱动大转动惯量压缩机传动系统轴振荡问题, 设计了一种有转速差补偿转速微分的控制方案。该控制方案在经转速环控制的基础上, 引入转速差补偿和转速微分, 通过对转速及转矩进行补偿, 起到增加阻尼抑制振荡的作用。在 Simulink 平台上搭建了双同步电机拖动压缩机模型及双同步电机同步控制模型, 为控制策略研究提供依据。仿真结果表明, 所提出的控制方案可显著地抑制扭振。

关键词: 双同步电机系统; 同步控制; 振荡抑制; 转速差补偿; 转速微分

中图分类号: TP 921.54⁺3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-6540(2020)08-0047-05

doi: 10.12177/emca.2020.069

Simulation on Synchronous Control Strategy of Dual-Motor System with Large Rotating Inertia Load

MA Zhijun

(Shenyang Yuanda Power Electronic Technology Company, Shenyang 110027, China)

Abstract: Shaft oscillation takes place in the drive system of a large-rotation inertia compressor driven by a dual-synchronous-motor system through a flexible shaft. For this problem, a control scheme with speed difference compensation and speed differentiation is designed. The control scheme introduces speed difference compensation and speed differentiation into speed loop control. By compensating the speed and torque, the purpose of increasing damping to suppress oscillation is achieved. A dual-synchronous-motor dragging compressor model and a dual-motor synchronous control model are built on the Simulink platform, and the theoretical basis of control strategies is provided. Simulation results show that the proposed control scheme can significantly suppress oscillation.

Key words: dual-synchronous-motor system; synchronous control; oscillation suppression; speed difference compensation; speed differentiation

0 引言

对于具有轴联接的驱动场合, 例如大功率风机、高铁牵引系统、多机传送系统、多点提升系统等, 各电机间通过机械连接, 因此需要多电机同步控制^[1-3]。多电机的同步控制性能较差可能导致轴振荡、断裂等问题, 影响了企业的安全生产和生产效率^[4]。各电机驱动系统间的联接方式可分为刚性轴联接和软性轴联接。刚性轴联接的驱动系统通常控制转矩同步即可实现电机同步运行。软性轴联接的多机同步系统, 由于轴两端的转速不

同, 容易引起扭振, 尤其是软性轴联接的大转动惯量负载, 轴两端更容易产生大滞后角, 对驱动系统的同步性要求更高。

对于多机同步控制, 目前主要的控制方法有主从控制、交叉耦合控制、智能控制等^[5-7]。文献[8-9]提出了基于交叉耦合的双机同步控制, 但未对大转动惯量负载进行研究, 适用场合有限。文献[10]提出基于模糊神经网络的多机控制方案, 抗扰性强, 控制精度高, 但计算量大, 难以在工程中实现。

双同步电机驱动压缩机风洞动力系统为一典

收稿日期: 2020-04-20; 收到修改稿日期: 2020-06-01

作者简介: 马志军(1988—), 男, 硕士, 研究方向为电机控制、变频器控制等。

型的软性轴联接大转动惯量负载同步控制系统, 本文针对其高同步控制性能的要求设计了“有转速差补偿转速微分”的交叉耦合控制方案, 并在 Simulink 平台上搭建了控制模型, 对其进行了仿真研究。

1 双机同步控制系统

具有机械联接的双机控制系统根据轴的刚度程度选择不同的控制方案, 刚性轴联接系统结构简单, 控制容易, 一般选择经转矩环的控制方案, 即 2 套电机控制共用一个速度环, 主机的速度环输出传递给从机, 从机只有转矩控制环。软性轴联接的双机控制方案比较复杂, 一般选择经转速的控制方案, 即使用 2 套速度环, 通过主机与从机的转矩给定差调节从机的给定转速, 以达到减小主从机和负载的转速差。经转速环控制系统如图 1 所示。

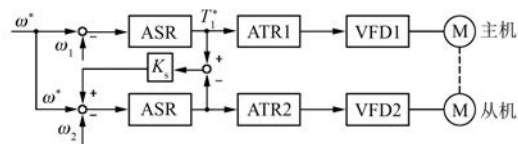


图 1 经转速环控制系统

经转速环的控制方案对轴的振荡有一定的抑制作用, 但软性轴的转角差很大程度上取决于速度环的 PI 参数, 负载转动惯量较大时会引起较大的转差角, 对速度环优化可以减小软性轴转差角, 但会影响系统的控制性能。长时间大转角差振荡运行会对轴造成损害, 因此在经转速环控制基础上增设了微分环节以增强阻尼, 通过调节系数 K_d 可调节阻尼系数, 控制系统如图 2 所示。

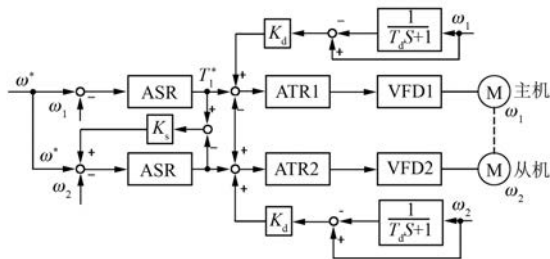


图 2 增设微分环节的控制系统

对于双电机驱动压缩机传动系统, 增设微分环节的控制方案依然存在转角差振荡, 经分析后

可知, 振荡是压缩机和电机有速度差所造成的。

为了减小速度差, 设计了“有转速差补偿转速微分”的控制方案, 如图 3 所示。控制系统采用 2 套速度环和电流环驱动电机, 转速和转矩的给定通过耦合算法相互补偿校正。在传统经转速环控制基础上引入“转速差补偿”和“转速微分”。转速差补偿的输入为主机转速 ω_1 、从机转速 ω_2 和负载的转速 ω , ω_1 和 ω 通过 K_{c1} 调节调整主机给定转矩, ω_2 和 ω 通过 K_{c2} 调节调整从机给定转矩, 从而减小主从机和负载的转速差。转速微分的输入为 ω_1 和 ω_2 , 通过调节 K_d 调整主从机的给定转矩, 从而抑制轴的振荡。

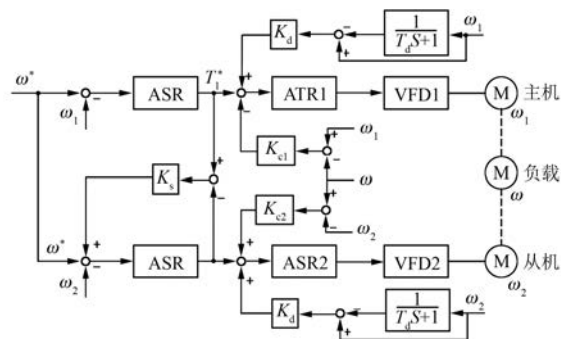


图 3 有转速差补偿转速微分的控制系统

2 控制系统仿真模型

为了验证所设计双机同步控制算法抑制扭振的有效性, 在 MATLAB R2014a 平台上利用 Simscape 模块对双同步电机对拖驱动压缩机传动系统进行仿真。搭建的轴连接双电机对拖模型如图 4 所示。共有 4 个连接器, 中间的轴为刚性轴, 模拟压缩机负载, 中间两侧分别为连接压缩机和电机的软性轴。电机的转动惯量 $J = 15 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, 刚性轴的参数设置为: 轴长 1 m、直径 0.527 3 m、密度 7800 kg/m^3 , 可计算出轴的转动惯量为 $59.2 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ 。

主从变频器控制系统仿真模型如图 5 所示。图 5 中, 上半部分为主变频器控制系统, 下半部分为从变频器控制系统, 采用有编码器的速度环控制, 运行时主变频器将实际转速、给定转矩等数据实时传递给从变频器。主同步电机和从同步电机的电机参数相同, 为额定功率 149.2 kW、额定电压 460 V、额定频率 60 Hz。参数 K_{c1} 、 K_{c2} 和 K_s 的

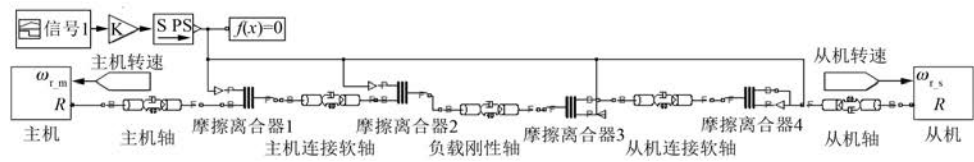


图4 双电机对拖系统模型

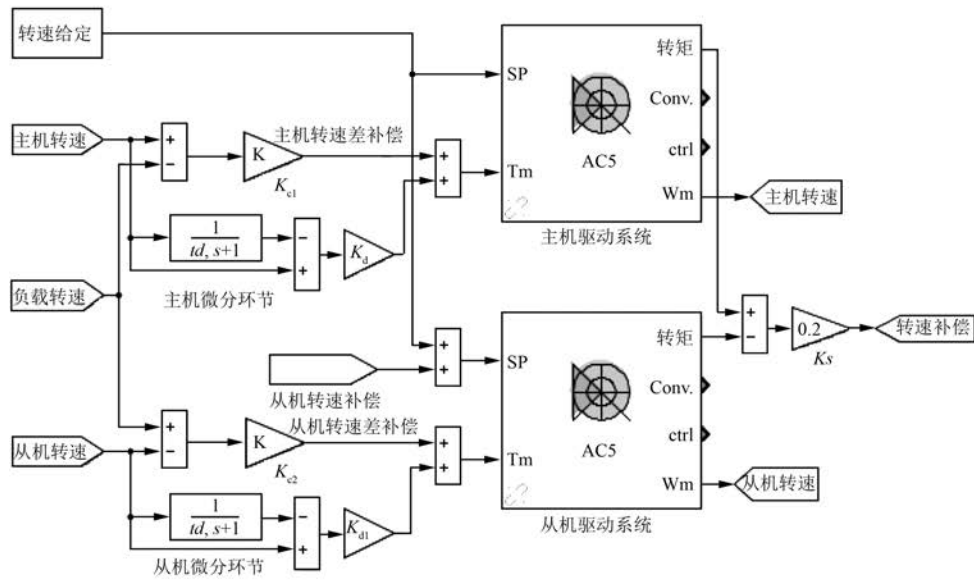


图5 主从变频器同步控制系统仿真模型

选取通过电机机械方程计算后适当调整,转动惯量越大, K_{c1} 和 K_{c2} 越大, K_s 越小。转速环PI参数根据系统频域模型整定,即 $K_p = J\omega_{sc}/K_t$ 、 $K_i = B\omega_{sc}/K_t$,其中 ω_{sc} 为速度环开环截止频率,取值范围为1~50 Hz, K_t 为转矩常数, B 为摩擦因数,在实际系统中再进行适当调整。

3 仿真与分析

3.1 小滞后角系统

加速较慢时,软性轴两侧的转角差较小,为小滞后角系统。采用经转速环控制,参数 K_s 选为0.2,转速环 K_p 为10、 K_i 为20,变频器给定转速为150 r/min,同时施加二次曲线负载。

主从控制系统的仿真结果如图6所示。可以看出,由于刚性轴的转动惯量大,加速过程中软性轴的两侧存在较大的转角差。

采用增设微分环节的控制方案,参数 K_s 不变, K_d 选为650,仿真结果如图7所示。可以看出,与图6相比,系统转角差由等幅振荡变为衰

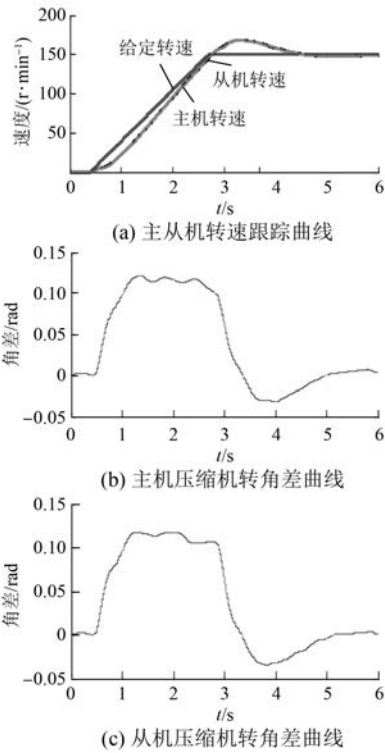


图6 经转速环控制主从控制系统仿真结果

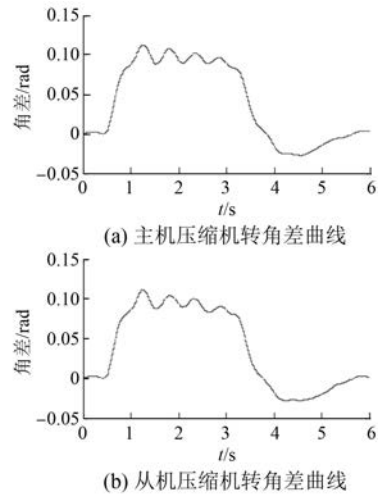


图7 增设微分环节的主从控制系统仿真结果

减振荡。

采用有转速差补偿转速微分的控制方案,参数 K_s 、 K_d 不变, K_{e1} 和 K_{e2} 为200,仿真结果如图8所示。可以看出,系统由振荡衰减变为平滑衰减。但需要在压缩机上安装速度传感器,增加了成本。

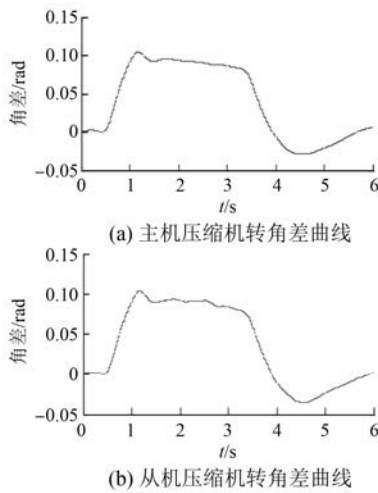


图8 有转速差补偿转速微分的主从控制系统仿真结果

3.2 大滞后角系统

加快转速上升速度,此时为大滞后角系统,调节参数不变。图9和图10所示分别为采用经转速环控制和有转速差补偿转速微分控制方案的仿真结果,可以看出,轴转角差由剧烈振荡变为等幅值,并且转角差减小。

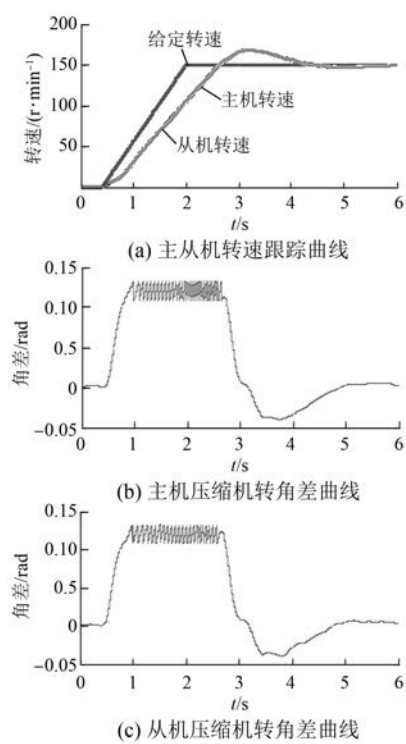


图9 大滞后角系统经转速环控制主从控制系统仿真结果

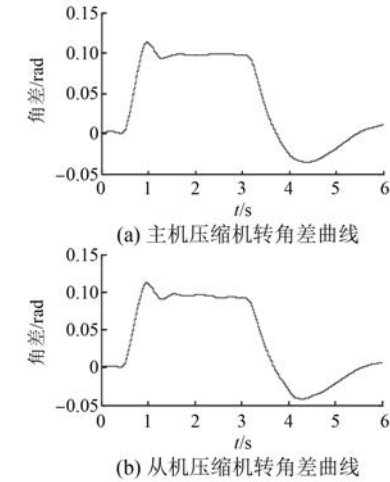


图10 大滞后角系统有转速差补偿转速微分的主从控制系统仿真结果

4 结 语

针对双同步电机驱动压缩机大转动惯量负载系统,为了抑制软性轴振荡,设计了“有转速差补偿转速微分”的交叉耦合控制方案,并在 Simulink 平台上搭建了双机同步控制模型。仿真研究表明,该控制方案同时适用于大滞后角系统和小滞

后角系统,显著地抑制了轴振荡,仿真模型的搭建可推进控制算法的研究。

【参考文献】

- [1] 马小亮,魏学森. 有机械联系的多电机传动系统的负荷均衡控制和扭振抑制[J]. 电气传动, 2007, 37(3): 3.
- [2] 王延博,佃松宜,向国菲. 基于新型模糊补偿器的多电机同步控制研究[J]. 计算机仿真, 2016, 33(2): 389.
- [3] 张承慧,石庆升,程金. 一种基于相邻耦合误差的多电机同步控制策略[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(15): 59.
- [4] 汤杰,李志勇. 变频调速在双电机同步传动中的应用[J]. 电气传动, 2008, 38(11): 8.
- [5] 张若青,胡俊霞. 基于偏差耦合控制的电机同步控

制实验研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2018(2): 100.

- [6] 熊海洋,张李超,郭斌,等. 基于转矩跟随的双电机同步控制策略研究[J]. 电机与控制应用, 2015, 42(8): 24.
- [7] 郭丽莎,关立文,蔡钊勇,等. 双电机同步驱动系统控制参数整定研究[J]. 机械设计与制造, 2014(11): 1.
- [8] 王建红,陈耀忠,陈桂,等. 基于交叉耦合控制的双电机同步控制系统研究[J]. 南京理工大学学报, 2017, 41(6): 693.
- [9] 易静姝. 双电机驱动同步控制系统的研究进展与关键技术[J]. 应用能源技术, 2019(1): 32.
- [10] 徐玲. 基于模糊神经网络的多电机同步控制技术[J]. 实验室研究与探索, 2017, 36(4): 16.

(上接第 39 页)

- [4] YAN R Z, LI B Z, ZHOU F. Sensorless control of PMSMs based on parameter-optimized MRAS speed observer[C]//2008 IEEE International Conference on Automation and Logistics, 2008.
- [5] 张伯泽,阮毅. 基于 MRAS 内置式永磁同步电机无位置传感器控制研究[J]. 电机与控制应用, 2016, 43(4): 13.
- [6] BOLOGNANI S, TUNIANA L, ZIGLIOTTO M. Extended Kalman filter tuning in sensorless PMSM drives [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2003, 39(6): 1741.
- [7] 张伯泽,阮毅. 基于高频旋转电压注入的内置式永磁同步电机无位置传感器矢量控制[J]. 电机与控制应用, 2016, 43(7): 12.
- [8] 秦峰,贺毅康,刘毅,等. 两种高频信号注入法的无传感器运行研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(5): 116.
- [9] 陆斌泉,林鹤云,冯奕,等. 永磁同步电机无传感器控制的软开关滑模观测器[J]. 电工技术学报, 2015, 30(2): 106.
- [10] LI C, ELBULUK M. A sliding mode observer for

sensorless control of permanent magnet synchronous motors[C]//Conference Record of the 2001 IEEE Industry Applications Conference, 36th IAS Annual Meeting (Cat. No. 01CH37248), 2001.

- [11] ZHOU F, LI B, YANG J, et al. A sliding model speed/position observer integrated with a PI controller for PM synchronous motors[C]//2007 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), 2007.
- [12] 易龙龙,张复春,郝雁中,等. 基于改进滑模的永磁同步电机控制研究[J]. 微电机, 2013, 46(12): 67.
- [13] 高川,冯友兵,陈坤华. 基于滑模变结构的船用永磁同步电机直接转矩控制[J]. 舰船科学技术, 2017, 39(10): 88.
- [14] 王志宇,王长松,范普成,等. 基于滑模变结构的永磁同步电机调速系统设计[J]. 微电机, 2011, 44(6): 52.
- [15] 童克文,张兴,张煜,等. 基于新型趋近律的永磁同步电动机滑模变结构控制[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(21): 102.