

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.07.012

基于 ADAMS 与 Simulink 的电动式自动机联合仿真

江君, 赫雷, 周克栋

(南京理工大学机械工程学院, 南京 210094)

摘要: 为提高设计效率, 将 ADAMS 与 Simulink 结合, 对电动式自动机系统进行仿真研究。以某导气式自动武器自动机为研究对象, 以伺服电机为动力源, 曲柄滑块机构为传动机构, 采用电流与速度双闭环控制, 建立电动式自动机系统。利用 Solidworks、ADAMS、Matlab/Simulink 软件分别建立系统的实体模型、动力学模型以及电机伺服系统的控制方案, 以 ADAMS/Controls 作为接口模块, 实现系统的联合仿真。仿真结果表明: 系统输出对输入具有较好的轨迹跟踪能力, 证明所建动力学模型和电气控制模型准确, 可为系统的设计与调试提供可靠依据。

关键词: 电动式; 自动机; 曲柄滑块机构; 联合仿真

中图分类号: TJ29 **文献标志码:** A

Co-Simulation of Dynamoelectric Automatic Mechanism Based on ADAMS and Simulink

Jiang Jun, He Lei, Zhou Kedong

(School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: In order to improve design efficiency, combine the software of ADAMS and Simulink to do simulation study for dynamoelectric automatic mechanism system. With the automatic mechanism of certain type gas-operated weapon as the research object, the dynamoelectric automatic mechanism system was established, in which the servo motor was used as the power, the crank-slider mechanism as the transmission mechanism, and the control system used the double close-cycle control with electric current and velocity as the controlling parameters. The 3-D model, dynamics model and the control scheme were set up on Solidworks, ADAMS and Matlab/Simulink respectively, and the co-simulation were completed by the ADAMS/Control interface module. The simulation results demonstrated that the system had good path tracking ability to the input signal, and showed that the established dynamics model and electric controlling model were accurate and could provide reliable basis for the design of dynamoelectric automatic mechanism system.

Key words: dynamoelectric; automatic mechanism; crank-slider mechanism; co-simulation

0 引言

自动武器发射时完成自动动作各机构的总称为自动机^[1], 电动式自动机是利用电动机通过传动机构将力与运动传递给自动机来代替实弹射击时火药燃气给自动机的冲量, 驱动自动机后座。电动式自动机系统是一个复杂的机电系统, 传统的设计模式是加工成样机后再对其进行反复测试改进, 不仅需要消耗大量的时间, 花费高额的费用, 而且难以开展自动机动力学理论研究。因此有必要借助虚拟技术, 在制造物理样机之前, 先建立一个虚拟的样机系统。通过对虚拟样机系统的测试, 发现不足后及时进行改进, 以有效缩短电动式自动机系统的研制周期。ADAMS 软件能实现复杂机械系统的动力学仿真, 但其建模功能不是很强大, 对于结构比较复杂的自动武器建模尤其麻烦。为了能够准确建立电动式自动机系统的三维模型, 笔者选择 Solidworks 作为三维设计软件。利用这 2 个软件建立电动式自

动机联合仿真系统, 通过交互式联合仿真, 可以为实际物理样机的研制提供技术依据^[2]; 因此, 笔者以某导气式自动武器自动机为研究对象, 采用 Matlab 与 Simulink 对其进行仿真分析。

1 虚拟样机机械系统动力学建模

1.1 电动式自动机系统三维模型的建立

设计的电动式自动机系统包括永磁式同步电机、曲柄滑块传动机构、滑块导向装置、夹具、带有自动机的自动武器以及试验台。电动式自动机系统模型如图 1 所示。

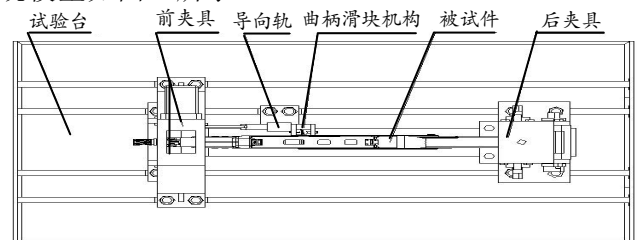


图 1 电动式自动机系统二维图

收稿日期: 2012-02-17; 修回日期: 2012-03-12

作者简介: 江君(1986—), 男, 浙江人, 在读研究生, 从事机械结构设计及动力学仿真研究。

1.2 电动式自动机系统动力学模型的建立

由 SolidWorks 建立的三维模型不能直接导入到 ADAMS 中, 需经过数据交换接口 Parasolid, 先将 SolidWorks 环境中的模型另存为 Parasolid 类型, 再导入到 ADAMS 中。删除对仿真结果不会造成影响的试验台、夹具、导向装置以及永磁式同步电机, 只保留曲柄滑块机构与自动武器的主要结构。对导入 ADAMS 中的每个零部件进行编辑, 定义其材料、质量、转动惯量等相关属性; 定义各零部件间的约束副以及虚拟样机的阻力和弹簧; 最后添加驱动, 该系统的驱动添加在电机和曲柄的旋转副上。图 2 为简化后全枪主要构件的拓扑结构-约束连接图。

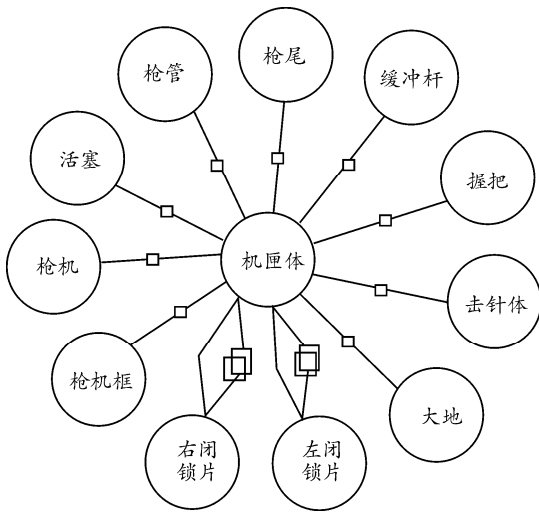


图 2 全枪主要构件的拓扑结构-约束连接图

2 虚拟样机电气控制系统建模

2.1 工作原理分析

当给定自动机运动的期望速度时, 将自动机的期望速度与自动机的实际速度进行比较, 产生误差

信号, 经控制器处理后驱动电机转动。电机通过传动机构将规定的力与运动传递到自动机上, 使自动机速度向期望速度逼近。当自动机的实际速度达到期望速度时, 系统达到新的平衡状态, 电机停止转动, 从而实现自动机速度的跟踪。系统的被控对象是自动机, 被控量是自动机运动速度, 输入是自动机的期望速度, 输出是自动机的实际速度。系统方框图如图 3 所示。

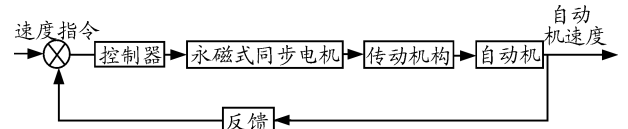


图 3 电动式自动机伺服控制系统框图

2.2 基于 Simulink 的 PMSM 双环控制系统建模

控制系统采用以交流伺服电机作为驱动元件的半闭环交流伺服系统, 实现电流和速度的控制。电流环和速度环构成了永磁式同步电机双闭环控制系统。其中电流环为内环, 综合电流指令信号和反馈信号, 通过控制电枢绕组中的电流来实现伺服电机转矩的控制, 是永磁式同步电机提高伺服系统响应速度、提升控制精度和改善控制性能的关键。速度环是外环, 其主要作用是控制电机的速度^[3-4]。首先设计电流环, 把电流环看作速度环中的一个环节, 再设计速度环。

为了获取控制信号, 要将被控制量与给定值相比较, 以构成误差信号, 直接利用误差进行控制。系统速度环采用 PID 控制, 提高系统的指令快速跟踪特性, 能够实现对交流伺服系统的高速定位控制, 同时来补偿输出对输入的跟随误差, 提高速度控制精度, 改善系统性能。PMSM 双环控制系统仿真总图如图 4 所示。

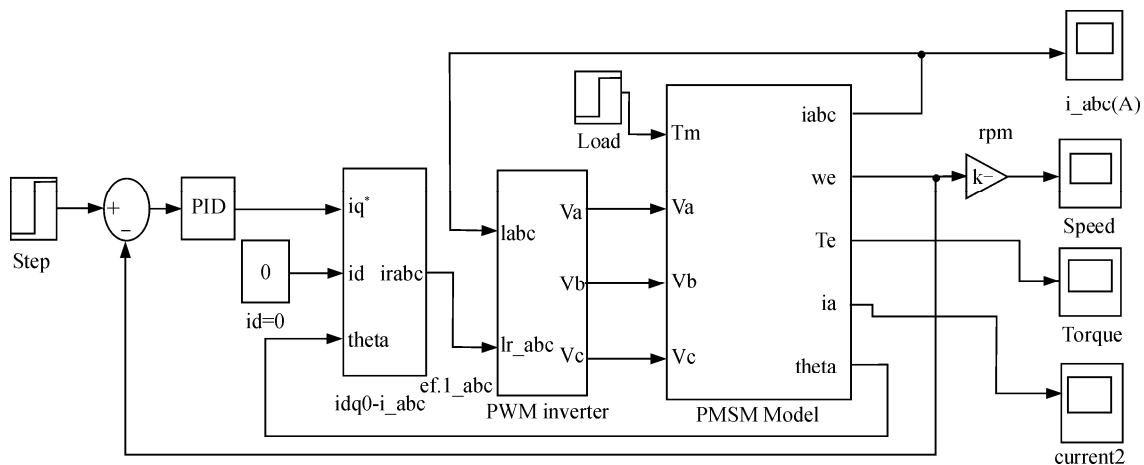


图 4 PMSM 双环控制系统仿真总图

3 ADAMS 与 Simulink 联合仿真

3.1 联合仿真模型的建立

Matlab/Simulink 与 ADAMS 的联合仿真是先在 ADAMS 中建立机械系统动力学模型, 确定系统的输入与输出, 再将 ADAMS 输出模块读入到 Simulink 中, 并在 Simulink 中建立控制方案。在仿真过程中, Simulink 与 ADAMS 进行数据的实时交换, Simulink 负责求解控制方程, ADAMS 求解器则求解系统的方程, 两者配合共同实现整个控制过程。要将 ADAMS 中的机械系统导入到 Matlab 中, 需要通过 ADAMS/control 模块, 利用该接口模块可以实现 ADAMS 与 Matlab 之间的数据传递^[5]。

该系统输入状态变量设为控制力矩 (.Xitong.Torque), 力矩变量用来存放从 Matlab 中输出的力矩指令, 控制力矩值将取自控制程序的输出, 初值设为 0; 输出状态变量为滑块的速度 (.Xitong.Velocity) 和曲柄的转速 (.Xitong.qubing_speed), 用来控制系统中速度反馈输入。

将接口模块 adams_sub、永磁式同步电机模型和 PID 控制器模型组合起来, 建立联合仿真模型, 如图 5 所示, 图 5 中 adams_sub 模块为由 ADAMS 构建的非线性子系统。该模型的功能是实现自动机运动速度跟踪, 其中设定了自动机速度信号, 以 adams_sub 输出的实际自动机速度和曲柄转速为反馈值, 通过电机模型输出的转矩控制 ADAMS 中的模型运动。

图 5 中的 motor 模块为图 4 中永磁式同步电机模型的封装模块, in 为控制输入端, 输出端为转矩 TM。

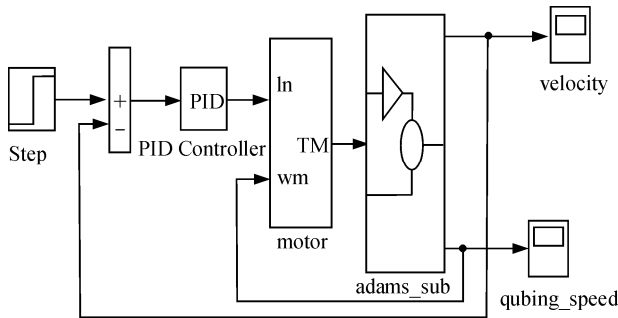
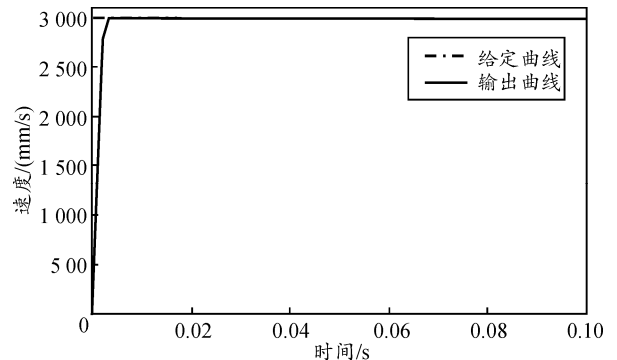


图 5 电动式自动机系统联合仿真模型

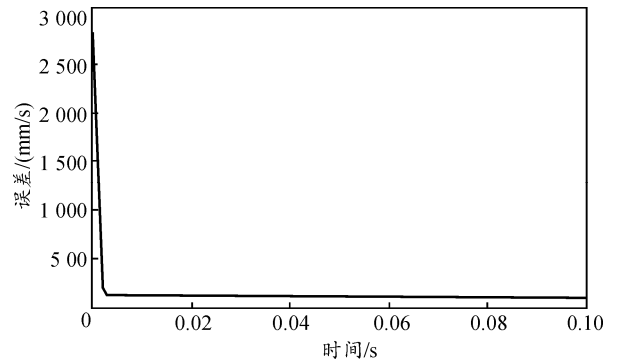
3.2 联合仿真计算

控制器参数的确定是一个反复计算验证过程, 先根据工程实际经验初选控制器的结构参数, 然后将结构参数导入模型中进行仿真计算, 如果不行就得重新修改, 直到满足设计要求为止。进行联合仿

真时, 对仿真模型分别施加阶跃信号、正弦信号和斜坡信号作为输入信号, 得到自动机运动速度响应及误差曲线如图 6~图 8。

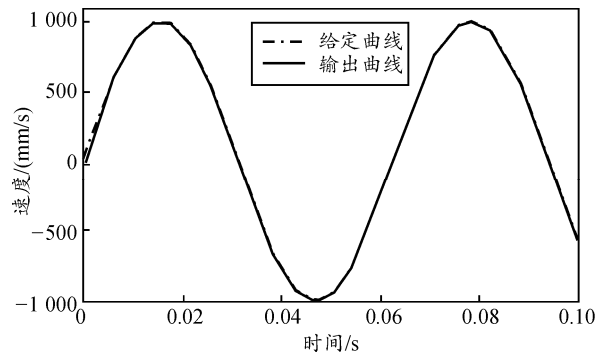


(a) 自动机速度阶跃信号跟踪曲线

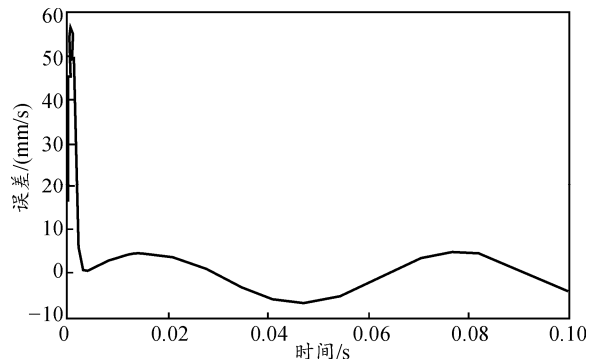


(b) PID 控制的阶跃响应误差曲线

图 6 自动机速度阶跃信号跟踪及误差曲线

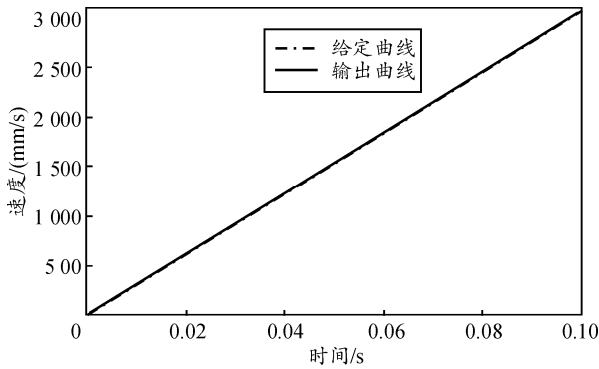


(a) 自动机速度正弦信号跟踪曲线

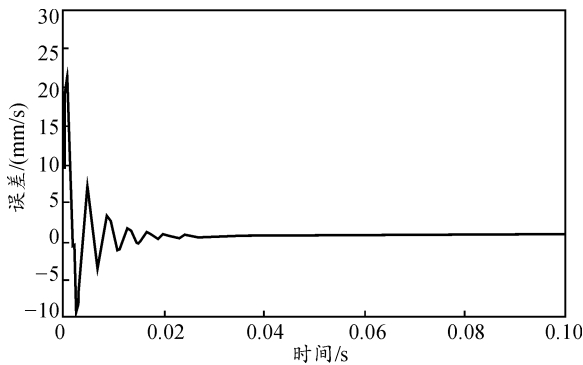


(b) PID 控制的正弦响应误差曲线

图 7 自动机速度正弦信号跟踪及误差曲线



(a) 自动机速度斜坡信号跟踪曲线



(b) PID 控制的斜坡响应误差曲线

图 8 自动机速度斜坡信号跟踪及误差曲线

图 6 是输入信号为阶跃信号时的响应及误差曲线。由图 6 可见，响应过程平滑没有出现超调现象，响应时间快，在平衡位置也没有出现抖动现象，精确地跟踪到了给定的速度值；图 7 是输入信号为正弦信号时的响应及误差曲线。由图 7 可见，系统输出对输入能实现很好的跟踪；图 8 是输入信号为斜坡信号时的响应及误差曲线。由图 8 可见，响应过程在刚开始位置出现了较小爬动，之后就实现了准

确的跟踪。阶跃信号、正弦信号和斜坡信号是仿真时最常用的信号，同时正弦信号也是最难实现准确跟踪的信号之一，笔者所搭建的联合仿真模型能很好地实现这 3 种信号的跟踪，说明所搭建的联合仿真模型是正确的。只要用 PLC 准确发送输入信号，系统输出就能实现准确跟踪，从而达到对自动机速度的准确控制。

4 结论

笔者利用虚拟设计方法，在避免推导繁琐的动力学方程的情况下，实现了电动式自动机的本体及控制系统的设计，提高了设计效率。仿真结果验证了电动式自动机系统的可行性，仿真过程中得到的大量设计参数，有助于物理样机的设计与研制。所采用的设计分析方法可为虚拟样机的实际应用提供餐卡。总之，ADAMS 和 Matlab 的联合仿真能充分发挥各自的优势，将机械系统仿真同控制设计仿真有机地结合起来，实现机电一体化的联合分析，为复杂系统的研究提供一种新的途径。

参考文献:

[1] 王裕安, 徐万和, 薄玉成. 自动武器构造[M]. 南京: 南京理工大学翻印, 2005.
 [2] 何亚银. 基于 ADAMS 和 MATLAB 的动力学联合仿真[J]. 现代机械, 2007(5): 60-61.
 [3] 渠向东. 6-THS 并联机构支链传动动力学模型[D]. 南京: 南京理工大学, 2009.
 [4] 陈瑜, 谢国善, 熊鹏俊. PMSM 的矢量控制与仿真[J]. 控制技术, 2010, 30(2): 18-21.
 [5] 郑建荣. ADAMS 虚拟样机技术入门与提高[M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2002.

(上接第 30 页)

[4] 苗海军, 刘正威, 马亚军. 基于“联合指数”的联合作战编组集团能力量化分析[J]. 海军工程大学学报, 2006, 18(5): 102-106.
 [5] 李跃辉, 周勇, 洪贞起. 潜艇作战能力的综合量化评估[J]. 系统工程理论与实践, 2004, 8: 136-140.
 [6] 张岩, 刘军, 李雄. 层次分析法在装甲师作战能力评估中的应用[J]. 装甲兵工程学院学报, 2002, 16(1): 14-16.
 [7] 郝海燕, 李勇, 梁宇, 等. 信息化防空兵部队作战能力评估[J]. 兵工自动化, 2005, 24(3): 6-7.
 [8] 高浩珉, 贾荣宝. 基于集对一层次分析法的自行火炮作战能力分析[J]. 兵工自动化, 2007, 26(2): 11-12.
 [9] 孙水军, 许国银. 模糊综合评判的同类地空导弹火力单元作战能力评估[J]. 火力与指挥控制, 2007, 32(3): 65-67.
 [10] 王海, 端木京顺, 王晓钧. 基于模糊综合评价 DEA 方

法的信息化部队作战能力评估[J]. 军事运筹与系统工程, 2006, 20(3): 69-72.
 [11] 田秀丽, 纪玲利, 马宏刚. 防空体系作战能力灰色聚类评估[J]. 现代防御技术, 2006, 34(2): 6-9.
 [12] 陈玉飞, 屈洋. 数字化坦克营作战能力灰色聚类评估[J]. 指挥控制与仿真, 2007, 29(2): 75-78.
 [13] 朱传志, 孙旭明, 马士友. 基于三角白化权函数的导弹分队信息作战能力评估[J]. 兵工自动化, 2006, 25(6): 9-10.
 [14] 武文军, 成洪俊, 曹宁. 云重心理论在防空兵作战能力评估中的运用[J]. 火力指挥与控制, 2005, 30(4): 82-84.
 [15] 陈敏雅, 喻中华. 炮兵武器装备体系作战能力评估研究[J]. 兵工自动化, 2010, 29(9): 18-24.
 [16] 褚凡, 梁涛. 灰色层次分析法在炮兵部队作战能力评估中的应用[J]. 指挥控制与仿真, 2011, 33(2): 51-54.