

电动助力转向系统虚拟试验平台的搭建

刘超颖¹, 张璐², 吴文江³, 王战中²

(1. 河北中医药大学, 河北 石家庄 050000;

2. 石家庄铁道大学 机械工程学院, 河北 石家庄 050043;

3. 石家庄铁道大学 工程训练中心, 河北 石家庄 050043)

摘要:以转向试验台架为研究对象,使用UG软件建立了转向试验台架的三维模型。将该三维模型导入ADMAS建立了电动助力转向系统的多体动力学模型。使用SIMULINK软件建立助力电机模型,选择直线型助力特性曲线为电动助力转向系统的助力特性曲线,搭建了电动助力转向系统的PID控制系统,整定了PID参数。进行了电动助力转向系统的联合仿真,实验结果符合相关要求,表明电动助力转向系统虚拟试验平台搭建成功。

关键词:电动助力转向系统;联合仿真;虚拟试验平台

中图分类号:U461.1 **文献标志码:**A **文章编号:**2095-0373(2017)01-0086-06

0 引言

目前汽车已经走进了千家万户,人们对于行车安全的关注度也越来越高,据统计有40%的交通事故和转向系统有关^[1]。汽车电动助力转向系统(Electric Power Steering,简称EPS)是目前汽车转向系统的主流发展方向^[2]。目前关于机械式、液压式的转向系统性能的研究已经很多,而对于电动助力转向系统性能的研究较少。汽车转向试验台架是根据国家相关标准建立的研究电动助力转向系统的实验设备。建立试验台架的虚拟试验平台有利于提高EPS性能的研究效率,还可以节省人力、物力、财力。所以对于试验台架虚拟试验平台的研究意义重大。

1 虚拟样机技术

虚拟样机技术是一门新技术。设计人员可以在计算机上直接修改零件的几何属性、物理属性、零部件之间的连接关系、装配关系。虚拟样机技术不仅可以分析机械系统动力学特性,而且可以完善系统的细节,直到系统达到理想状态。

现在的系统越来越复杂,仅仅依靠某一项技术往往难以达到预期目标。对于一个复杂的系统往往需要多种技术的支持,各取所长,才能完成好分析工作。比如几何建模、结构分析、控制系统建模、有限元分析等等^[3-5]。

(1)几何建模技术。几何建模技术是在计算机里实现几何实体输出的技术。几何建模技术是CAD/CAM技术的关键部分。几何建模技术需要创建完整的实体信息,并且为其他信息聚合提供帮助。几何建模包括:特征建模、线框建模、表面建模、实体建模4个部分。通常所采用的建模软件有:CAD、SOILDWORKS、UG、CATIA等等。

(2)控制系统建模技术。控制系统建模是对目标对象进行控制的一种方法。将输入信号导入系统中,系统会按照既定程序对其进行计算,得到目标输出量。控制系统的核心是算法,控制方法也有很多种。控制系统建模软件有:SIMULINK和PLC等等。

收稿日期:2016-01-20 责任编辑:刘宪福 DOI:10.13319/j.cnki.sjztdxxb.2017.01.16

基金项目:河北省自然科学基金项目(E2013210107)

作者简介:刘超颖(1959-),女,教授,研究方向为机械制造及自动化。E-mail:liucy2009_good@126.com

刘超颖,张璐,吴文江,等.电动助力转向系统虚拟试验平台的搭建[J].石家庄铁道大学学报:自然科学版,2017,30(1):86-90.

(3)多体动力学建模技术。随着多体动力学软件功能的日益成熟,多体动力学软件 ADAMS 已经被广泛应用与各种研究领域。在车辆动力学研究中,多体动力学可以建立复杂的车辆模型,并且直接对系统的性能进行评估,进行静态分析和动态分析。运用多体动力学软件研究车辆动力学大大地提高了研究效率和精度。

2 虚拟试验平台的搭建

2.1 电动助力转向系统的多体动力学建模

电动助力转向系统试验台架是根据国家汽车行业相关标准所建立的电动助力转向系统物理实验平台。试验台架具有真实性、可靠性、易操作性等特点。

对转向台架进行三维建模,转向台架如图 1 所示。



图 1 转向试验台架

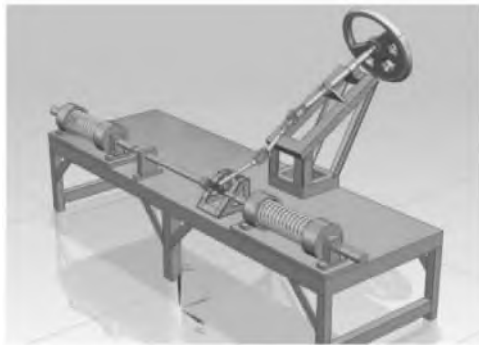


图 2 转向台架的三维模型主视图

转向台架底座长 1 800 mm,宽 600 mm,高 365 mm。转向台架的整体高度为 960 mm。斜齿轮齿条转向器,齿轮参数如下:法向模数 2.00 mm,牙数 7,齿宽 25.00 mm,法向压力角 20° ,螺旋方向为右旋。齿条全长 672 mm,有效长度(齿轮齿条可以啮合的部分)为 135 mm。该齿轮齿条为斜齿轮齿条,倾斜角为 13.93° 。使用 UG 软件建立的转向台架三维模型主视图如图 2 所示。

将转向台架的三维模型导入到 ADAMS 中,通过添加相关约束、质量、转动惯量和力矩,建立电动助力转向系统的多体动力学模型。本文用弹簧来模拟地面的摩擦阻力,因此需要创建拉压弹簧阻尼器。弹簧的刚度系数为 17 250 N/m,阻尼系数为 0.1。

因为在多体动力学计算时需要用到构件的质量和转动惯量,所以将试验台架的全部构件进行测量和计算,得到各个部件的质量和转动惯量。把关键部件的参数记录在表 1。图 3 为电动助力转向系统各构件位置。

表 1 转向系统各构件质量和转动惯量

构件名称	质量/kg	转动惯量/($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)		
		X 轴	Y 轴	Z 轴
转向盘	1.02	1.73×10^{-4}	9.42×10^{-5}	9.42×10^{-5}
转向柱 1	0.70	4.76×10^{-3}	4.76×10^{-3}	3.51×10^{-5}
转向柱 2	0.46	5.72×10^{-4}	5.72×10^{-4}	3.60×10^{-5}
转向柱 3	0.13	9.81×10^{-5}	9.79×10^{-5}	3.52×10^{-6}
转向柱 4	0.23	1.45×10^{-4}	1.45×10^{-4}	1.27×10^{-5}
转向柱 5	0.27	5.01×10^{-4}	5.01×10^{-4}	9.63×10^{-6}
齿轮	3.96×10^{-2}	2.84×10^{-6}	2.84×10^{-6}	1.56×10^{-6}
齿条	1.92	7.05×10^{-2}	7.05×10^{-2}	1.14×10^{-4}

经过以上操作就建立了转向系统的多体动力学模型,经统计构建转向系统一共用了 108 个连接,如图 4 所示。



图 3 电动助力转向系统各构件位置

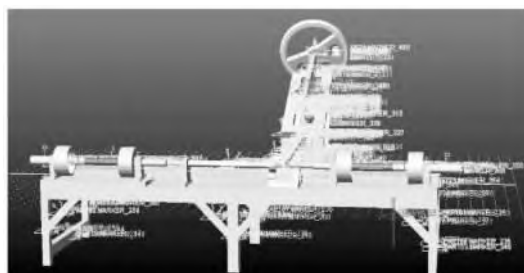


图 4 转向系统的多体动力学模型

2.2 电动助力转向系统的控制系统建模

控制系统是电动助力转向系统的核心之一。PID 控制又被称为比例、积分、微分控制。PID 控制至今已经有 70 多年的发展历程。经过长时间的发展, PID 控制已经形成了较为成熟的理论体系。

助力特性曲线是根据方向盘转矩和汽车行驶速度来确定助力电机目标电流的一种曲线。助力特性曲线有 3 种, 分别是直线型助力特性曲线、折线型助力特性曲线和曲线型助力特性曲线^[6]。因为直线型助力特性曲线简单、便于控制, 所以本文采用直线型助力特性曲线。如图 5 所示。

直线型助力特性曲线方程式为

$$I = \begin{cases} 0 & -1 \leq T_h \leq 1 \\ K(T_{h\max} - T_{h\min}) & 1 < T_h < 10 \\ I_{\max} & T_h \leq -10, T_h \geq 10 \end{cases} \quad (1)$$

不同的车速下对应着不同的比例系数 K , 如图 5 所示。

本文选取的电动机为直流永磁式助力电机, 助力电机的微分方程为^[7]

$$U_m = L_m \frac{dI_m}{dt} + R_m I_m + K_n N_m \quad (2)$$

式中, U_m 为电机端电压(V); L_m 为助力电机电感, 取 0.02 H; I_m 为助力电机电流(A); R_m 为电枢电阻, 取 0.123 12 Ω ; K_n 为助力电机转速常数, 取 0.007 87 V · min/r; N_m 为助力电机转速(rad/s)。

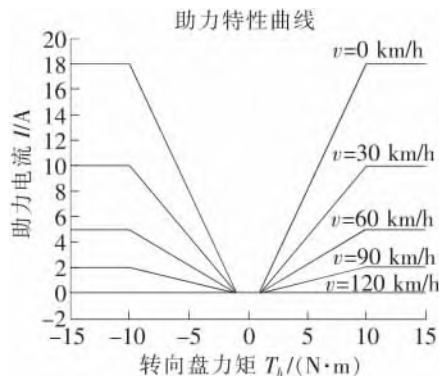


图 5 助力曲线

$$N_m = i_g \frac{d\theta}{dt} \quad (3)$$

式中, θ 为转向轴转角。搭建电动助力转向系统的 PID 控制系统, 并整定 PID 参数。

PID 参数共有 3 个分别是比例系数 K_p , 积分系数 K_i , 微分系数 K_d 。设置 $K_p=1, K_i=0, K_d=0$ 。不妨选取车速为 30 km/h 进行调试。如果结果理想, 助力电流曲线和目标电流曲线始终重合。

对转向盘提供正弦转矩: $-2 \sin \pi/3x$, 设定运行时间为 12 s, 两个周期, 步长为 0.005。如图 6 所示, 助力电流和目标电流的重合度很是不好。尤其是在目标电流达到最大值或者最小值时, 助力电流值与目标电流值差值可达到 2 A。可见当 $K_p=1, K_i=0, K_d=0$ 时, 调试结果不够理想。

实验表明, 当 $K_p=25, K_i=1.1, K_d=0.005$ 时, 调试效果最为良好, 如图 7 所示, 达到了目标电流的要求。

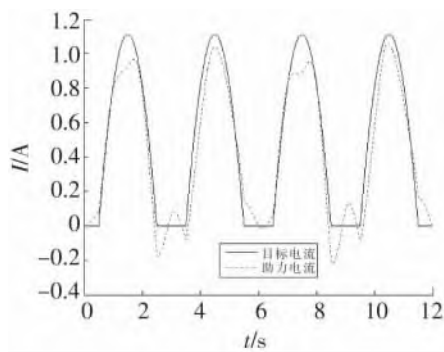


图 6 PID 参数整定 1

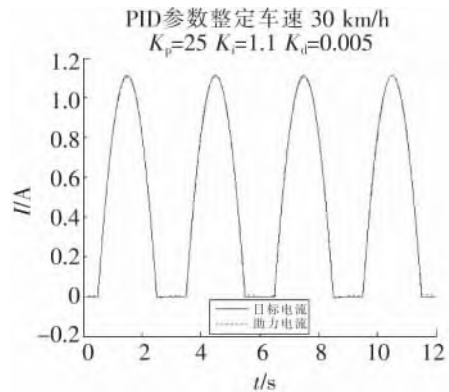


图 7 PID 参数整定 2

2.3 电动助力转向系统的联合仿真

实现电动助力转向系统的联合仿真就是实现控制系统和多体动力学系统的数据交换^[8]。将 Adams 中的多体动力学模型与控制系统相连接,进行相关的参数调试后,就可以实现电动助力转向系统的联合仿真了。

Matlab 通过 Adams/controls 模块与 Adams 实现数据交换。Matlab 的控制系统将转向助力输入到 Adams 多体动力学模型中,Adams 将助力电机转速反馈给 Matlab 控制系统,实现了电动助力转向系统的控制闭环回路。搭建电动助力转向系统的联合仿真的 simulink 模型,如图 8 所示。

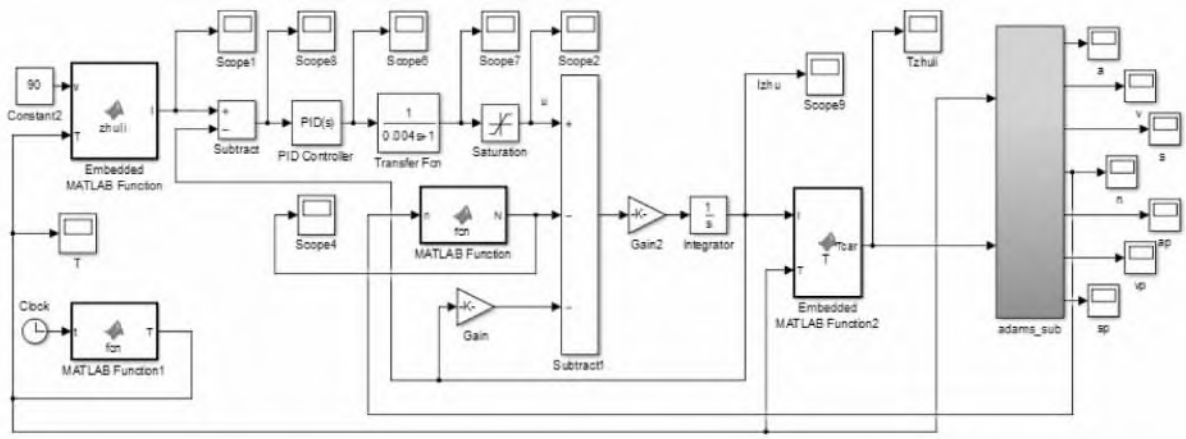


图 8 联合仿真模型

3 转向轻便性实验

转向轻便性是指车速很慢时系统转向的灵活性,通俗的来讲就是开车很轻松。在相同的车速、转向盘转矩和转向时间下,通过比较无助力转向力矩和有助力转向力矩来观察转向轻便性。转向力矩是转向盘力矩与助力力矩的和。

设定车速为 0 km/h、30 km/h、60 km/h、90 km/h 和 120 km/h 对电动助力转向系统的转向轻便性进行分析。给予转向盘一个 $-2 \sin(\pi x)$ 的转矩,设置仿真时间为 2 s。观察转向力矩。

如图 9 所示,随着汽车行驶速度的变小,转向力矩逐渐增大,符合轻便性的要求。当汽车在车速为 0 时,转向力矩最大,满足了转向轻便性的要求。

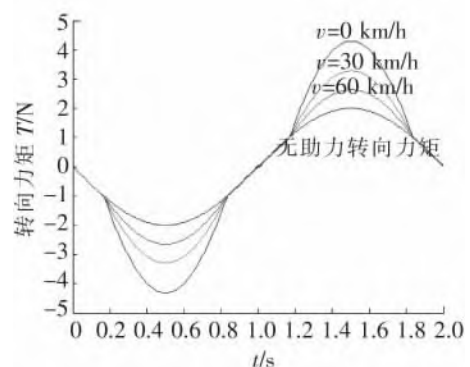


图 9 转向轻便性实验

图 9 记录了不同行车速度下的转向力矩。可以看出,当车速达到 120 km/h 时,助力电机不提供助力转矩,保证了汽车的转向稳定性,提供了一定的路感。当汽车原地转向时,有助力转向力矩最大值约为 4,是无力转向力矩最大值的 2 倍。当汽车以 30 km/h 行驶时,有助力转向力矩最大值是无力转向力矩最大值的 1.5 倍。满足了电动助力转向系统的轻便性要求。当车速为 60 km/h 时,最大比值约为 1.3,兼顾了轻便性和路感。

4 转向稳定性实验

转向稳定性是指车速很快时,助力尽可能小或者为 0,齿条位移曲线连续平缓,确保路感和稳定性。

设定车速为 90 km/h 和 120 km/h 对电动助力转向系统的转向稳定性进行分析。给予转向盘一个 $-2\sin(\pi x)$ 的转矩,设置仿真时间为 2 s。观察转向力矩和齿条位移。

如图 10,当车速为 90 km/h 时,有助力转向力矩最大值约为 $2.3 \text{ N} \cdot \text{m}$,是无力转向力矩最大值的 1.1 倍。助力变小,路感增强。当车速为 120 km/h 时,最大比值为 1,不提供转向助力,保证了车辆安全。

如图 11,齿条位移曲线呈现出周期为 2 s 类似正弦曲线的变化,曲线光滑平缓,表明汽车转向稳定性良好。当车速为 120 km/h 时,齿条位移略小于车速为 90 km/h,表明转向力矩变小。与图 10 相吻合。

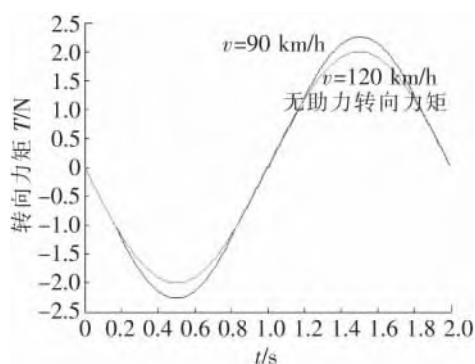


图 10 转向稳定性实验(转向力矩)

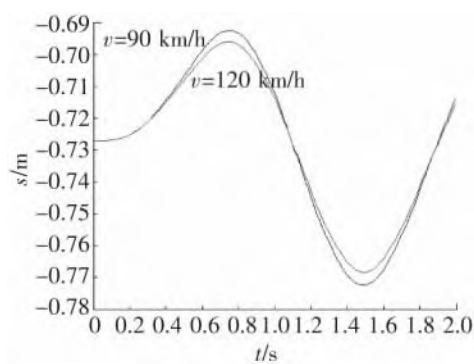


图 11 转向稳定性实验(齿条位移)

5 结论

通过计算机软件的联合仿真,建立了试验台架的虚拟试验平台,成功模拟了试验台架的运行状况。虚拟平台的建立使得对电动助力转向系统整体性能的研究更加方便。节省了人力物力财力,为接下来的研究打下了基础。

参 考 文 献

- [1] Glaser H. Electronic stability program ESP[D]. Sweden: Audi Press Presentation of Sweden, 1996.
- [2] 丁志刚,宋洪烈. 汽车转向系统发展简述[J]. 海峡科学, 2010, 12: 144-146.
- [3] 陈志伟,董月亮. MSC ADAMS 多体动力学仿真基础与实例解析. [M]. 北京:中国水利水电出版社, 2013.
- [4] 刘晋霞,胡仁喜,康士庭,等. ADAMS2012 虚拟样机从入门到精通. [M]. 北京:机械工业出版社, 2013.
- [5] 范成建. 虚拟样机软件 MSC. ADAMS 应用与提高[M]. 北京:机械工业出版社, 2006.
- [6] 郑建华,高占凤,吴文江. 模糊 PID 控制策略在电动助力转向系统中的应用[J]. 石家庄铁道学院学报:自然科学版, 2008, 21(4): 79-82.
- [7] 王其东,杨孝剑,陈无畏,等. 电动助力转向系统的建模及控制[J]. 农业机械学报, 2004, 35(5): 3-4.
- [8] 刘超颖,杜启鑫,王战中. 基于虚拟样机技术 3 自由度数控实验平台设计及联合仿真[J]. 机械设计与制造, 2013(5): 130-132.

(下转第 103 页)

- [7]王硕禾. 基于模态分析的牵引供电系统谐波谐振过电压研究[J]. 铁道学报, 2013, 35(7): 32-41.
- [8]邱关源, 罗先觉. 电路[M]. 5 版. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [9]王洪新, 程树康, 文习山, 等. XLPE 老化过程中交流绝缘参数特性[J]. 高电压技术, 2005, 31(3): 7-10.
- [10]杨柳. 高速铁路馈线电缆接地方案与故障监测[D]. 成都: 西南交通大学, 2009.
- [11]张海龙. 110~220 kV XLPE 电缆绝缘在线检测技术研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2009.

Theoretical Study and Simulation Verification About Online Monitoring of Cable Leakage Current

Chang Yujian, Li Jiajv

(School of Electrical and Electronic Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: Based on the contact network of about 100 meters of buried cable in a traction substation, studying on the cable fault leakage current detection method both theoretically and in the way of simulation, the leakage current can be obtained by subtracting the current head and tail ends of each cable. Simulation study shows that, the leakage current will increase with the deterioration of the cable insulation material; and the trend of the change can be used as the basis for judging whether the insulation of the cable is aging or not; and in the deterioration process, the phase difference of current cable head and tail end will has a tendency of increase. Therefore, the phase difference is corrected to calculate the correct leakage current value, which has important significance to guarantee the validity of this method.

Key words: cable insulation failure; online monitoring; leakage current; theoretical modeling; ATP simulation

(上接第 90 页)

Construction of Virtual Experiment Platform for Electric Power Steering System

Liu Chaoying¹, Zhang Lu², Wu Wenjiang³, Wang Zhanzhong²

(1. Hebei Medical University, Shijiazhuang 050000, China;

2. College of Mechanical Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China;

3. Engineering Training Center, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: Steering test bench is studied in this paper, and a three-dimensional model test bench is established by UG software. The three-dimensional model is introduced into ADAMS software, and electric power steering system of multi-body dynamics model is established. Booster motor model is established by SIMULINK software, linear assist characteristic curve is selected as the electric power steering system booster characteristic curve, the electric power steering system PID control system is set up, and PID parameters are tuned. Co-simulation of electric power steering system has been carried out, and the results meet the relevant requirements. The co-simulation results show that the electric power steering system virtual experiment platform has been built successfully.

Key words: electric power steering system; co-simulation; virtual experiment platform