一体化数字液压作动系统的建模仿真和控制

齐海涛 付永领 祁晓野

(北京航空航天大学 工程训练中心, 北京 100191) (北京航空航天大学 机械工程及自动化学院, 北京 100191)

摘 要: 随着机电液控集成一体化技术和数字液压技术的发展,基于数字缸和电液泵提出了一种新型的一体化数字液压作动系统,阐述了其系统组成和工作原理. 基于 AMESim 建立了电液泵、数字缸及整个系统的数学模型,分别从系统的位移响应、溢流流量、电机转速和控制阀开口等方面,与传统的采用集中液压源供油和伺服阀控制伺服油缸的作动系统进行了仿真对比分析,指出了一体化数字液压作动系统的优缺点.

关 键 词: 数字液压; 作动系统; 建模; 仿真; 控制; AMESim

中图分类号: TH 137

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2014)01-0044-04

Modelling, simulation and control of integrated digital hydraulic actuation system

Qi Haitao

(Engineering Training Center, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Fu Yongling Qi Xiaoye

(School of Mechanical Engineering and Automation, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: With the developing of integrated technology of mechanical, electrical, hydraulic and control and the developing of digital hydraulic technology, a new integrated digital hydraulic actuation system (IDA) was put forward based on digital cylinder and edropump(electric-hydraulic-pump). The system composition and operating principle were analyzed. The mathematical models of the edropump, digital cylinder and the whole system were built in AMESim. Then, from the aspects of displacement response, overflow, motor speed and control valve opening and so on, it was simulated and compared with servo valve controlled hydraulic actuator (SHA) which was supplied by the centralized hydraulic oil source. Finally, the advantages and drawbacks of the integrated digital hydraulic actuation system were put forward.

Key words: digital hydraulic; actuation system; modelling; simulation; control; AMESim

传统的液压作动系统一般采用中央恒压液压源供油、伺服阀控制液压缸的形式,液压源与伺服阀之间通过液压管路连接,以传递能量[1]. 该型作动系统虽然具有很好的动态性能,但无法避免溢流损失造成的系统效率低、发热量大的问题;且采用管路连接,易产生振动噪声;同时伺服阀的抗污染能力也比较差,这大大降低了系统的可靠性[2]. 随着目前机电液控集成技术、数字液压技术、控制手段和方法及计算机技术的发展,液压作动系统正朝着一体化、小型化、智能化、高效率、高可靠性和低噪声的方向发展[3]. 各种新型的作动系统,如电动静液作动器(EHA, Electro-Hydrostatic Actuator)、电备份液压作动器(EBHA, Electric Back-up Hydraulic Actuator)、集成电液作动器(IAP, Integrated Actuator Package)、电液复合作动器、阀泵协调控制作动器和电机-泵-阀联合控制

收稿日期: 2013-03-12; **网络出版时间**: 2013-06-03 16:47

网络出版地址: www.cnki.net/kcms/detail/11.2625.V.20130603.1647.003.html

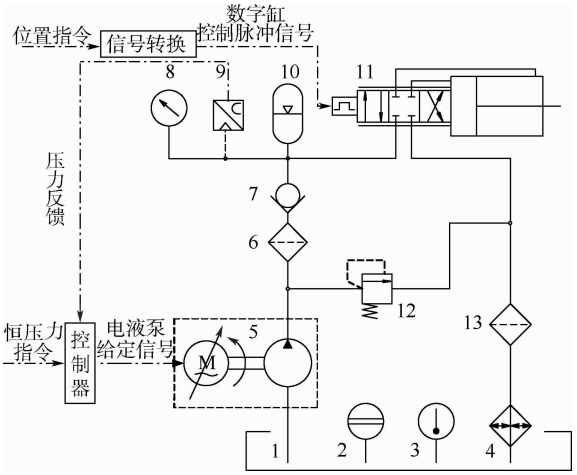
基金项目: 国家国际科技合作专项资助项目(2010DFA72540)

作者简介: 齐海涛(1981 -),男,山东淄博人,讲师,qihaitao@buaa.edu.cn.

作动器等,也随之出现[4-6].上述各种新型的作动系统各有各的优缺点,本文将数字液压技术和泵源控制技术相结合,基于数字缸[7-8]和电液泵[9-11]提出了一种新型的一体化数字液压作动系统(IDA, Integrated Digital hydraulic Actuation system).基于 AMESim[12-13]建立了其数字化模型,并与传统的采用集中液压源(恒压定量泵)供油和伺服阀控制伺服油缸的作动系统进行了仿真对比分析,指出了一体化数字液压作动系统的优缺点.

1　系统组成和工作原理

图 1 所示为所设计的一体化数字液压作动系统,主要由封闭式油箱、液位计、温度计、热交换器、电液泵、高压过滤器、单向阀、压力表、压力传感器、蓄能器、数字缸、溢流阀、回油过滤器和控制器组成.其中,电液泵 5 为电机与泵真正合二为一融合设计的泵源,省去了电机与泵之间的机械联结,具有体积小、噪音低、振动小、散热好等优点;数字缸 11 为由电脉冲信号控制位置、速度和方向的液压缸,只要接通电源和油源,就能完成各种液压控制要求.



1—封闭式油箱;2—液位计;3—温度计;4—热交换器;
5—电液泵;6—高压过滤器;7—单向阀;8—压力表;
9—压力传感器;10—蓄能器;11—数字缸;
12—溢流阀;13—回油过滤器.

图 1　一体化数字液压作动系统工作原理图

一体化数字液压作动系统的工作原理如下:电液泵 5 用于将电能转化为液压能,给系统供油;数字缸 11 用于将液压能转化为机械能,伺服输出系统位移;给定的位置指令信号经过信号转换直接控制数字缸的位移输出,为开环控制,简单实用;控制器接收给定的恒压力指令信号和压力传感器 9 反馈回来的供油压力信号,用于控制电液泵的转速,进而达到控制供油压力恒定的目的.由于作动系统是一种间歇式的动力设备,当停止动作时,供油量需求几乎为零;当满行程动作时,需要最大的供油量,可见其工作与油源的供油量有着密切的关系.传统的液压系统采用的是恒压定量泵的形式,当作动器不动作时,卸荷溢流阀会继续产生溢流,损失很大的能量,同时带来了发热的问题.而通过控制电液泵的转速,可以在保证供油压力的情况下匹配负载所需的流量,达到不动作时不输出流量的目的,减小液压系统的溢流损失,同时也减小了发热,提高了效率.单向阀 7 用于防止停泵回油;蓄能器 10 用于吸收电液泵出口液压油的压力脉动;高压过滤器 6 和回油过滤器 13 用于清除液压油中的杂质;热交换器 4 用于控制油温;液位计 2、温度计 3 和压力表 8 用于安全警示.

此外,该液压作动系统采用集成一体化设计,取消了传统的泵源与作动器之间的连接管路,从而大大减小了整个系统的体积和重量.

2　数学模型

2.1　电液泵

采用 AMESim 构建的电液泵模型如图 2 所示,图中的 elect03 [LAG1] 为信号控制库中的一阶惯性环节模型,用于仿真电液泵的动态特性;pmover01 [PMV00] 为机械库中的调速电机模型,用于仿真电液泵中电机部分的特性;pump01 [PU001] 为液压库中的单向定量泵模型,用于仿真电液泵中液压泵部分的特性.

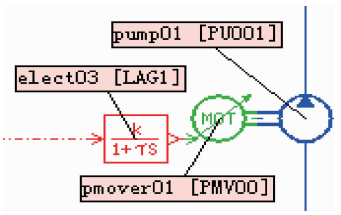


图 2　电液泵模型

2.2　数字缸

所采用的数字缸为双级螺旋内反馈式,其中的步进电机接收数字脉冲信号转动带螺纹阀芯的同时控制阀口接通液压缸,活塞杆在液压油的推动下移动,在运动过程中通过中空活塞杆上的拨销拨动第 1 级大导程槽形螺旋杆、再带动第 2 级螺母套反馈到控制阀芯上,由于第 1 级大导程槽形螺旋杆的放大作用,在步进电机转速不高的情况下,实现了油缸的高速运动和位置跟踪,从而真正实现了数字缸的高速高精度全程数字传动与控制.

在 AMESim 中构建的数字缸简化模型如图 3 所示,图中的 actuatormass01 [HJ000] 为液压库中的考虑质量特性的双作用单出杆液压缸模型,用于仿真数字缸中液压缸的特性;hsv_3pos4port_01 [HSV34_01] 为液压库中的 3 位 4 通阀模型,用于仿真数字缸中数字阀的液压特性;机械库中的位

移传感器模型 displacementsensor［DT000］和信号控制库中的增益模型 elect01_1［GA00］，elect01_2［GA00］以及相加点模型 control01［JUN3M］组成闭环反馈，用于仿真数字缸的机械反馈特性.

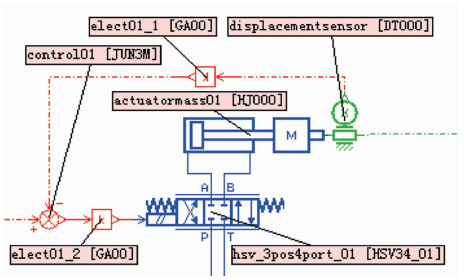


图 3 数字缸模型

2.3 系统模型

其他液压辅件直接采用 AMESim 液压库中的标准模型，搭建完成的一体化数字液压作动系统的整体模型如图 4 所示.

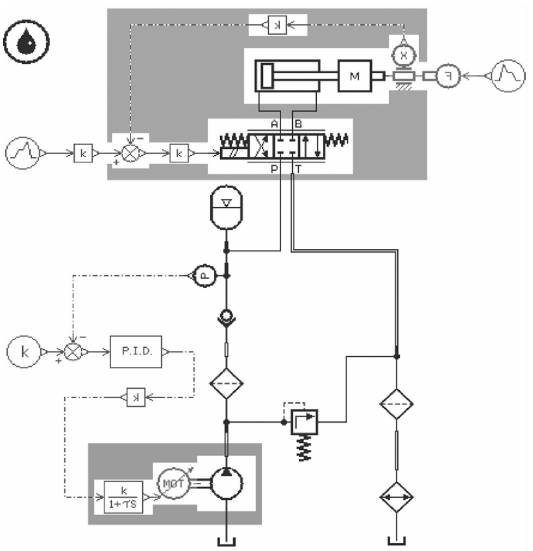


图 4 整个系统的模型

3 仿真分析

为了对比分析 IDA 和传统的阀控液压作动器(SHA，Servo valve controlled Hydraulic Actuator)两种不同类型液压作动器的响应情况，根据实际操舵经验，给定如图 5 所示的操舵给定信号. 仿真参数如表 1 所示.

表 1 仿真参数

名称	参数	数值	名称	参数	数值
电液泵	压力/MPa	17.5	单向阀	开启压力/MPa	0.05
	排量/(cm^3/r)	20.1		流量/(L/min)	30
	转速/(r/min)	1 500		压降/MPa	0.09
数字缸	流量/(L/min)	30	溢流阀	设定压力/MPa	16
	阀压降/MPa	0.08		流量/(L/min)	30
	行程/mm	450		压降/MPa	0.1
	活塞杆直径/mm	100	高压过滤器	流量/(L/min)	40
	活塞直径/mm	160		压降/MPa	0.02
蓄能器	充气压力/MPa	10	回油过滤器	流量/(L/min)	40
	容积/L	1		压降/MPa	0.01

图 5 所示为两种不同类型液压作动器的输出位移响应情况. 可见，不管是传统的阀控液压作动器还是一体化数字液压作动器都能够跟踪给定的位移信号，但就跟踪效果而言，传统的阀控液压作动器要优于一体化数字液压作动器.

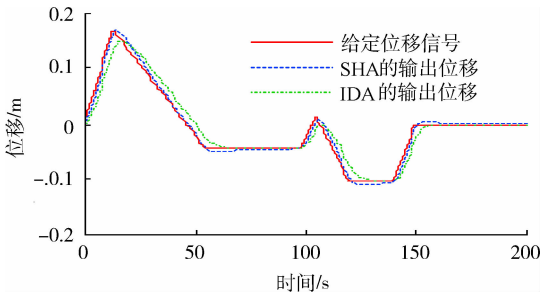


图 5 位移曲线

图 6 所示为两种不同类型液压作动器中溢流阀的输出流量情况. 可见，采用一体化数字液压作动器较传统的阀控液压作动器中溢流阀的输出流量明显减少，特别是当系统给定信号为零时，能够大大减少阀的溢流，这不仅能够大大降低系统的噪声，同时还能大大减少系统的发热. 这也是一体化数字液压作动器最大的优势所在.

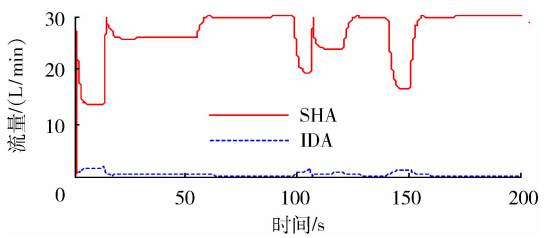


图 6 溢流阀输出流量曲线

图 7 所示为两种不同类型液压作动器中电机的转速情况. 可见，传统的阀控液压作动器中电机一直恒速旋转，不够节能；而一体化数字液压作动器中的电机将匹配给定信号进行旋转，可以大大降低噪声，节约能源，减少发热.

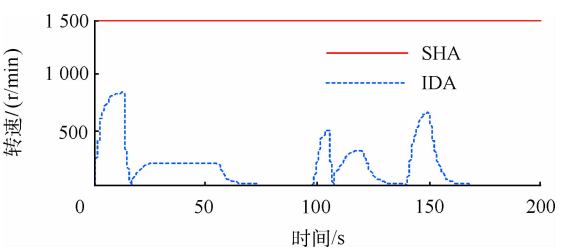


图 7 电机转速曲线

图 8 所示为两种不同类型液压作动器的输出速度情况. 可见，传统的阀控液压作动器的输出速度要快于一体化数字液压作动器，响应更快.

图 9 所示为两种不同类型液压作动器的流量情况. 可见，传统的阀控液压作动器的流量要大于一体化数字液压作动器，因此其响应更快.

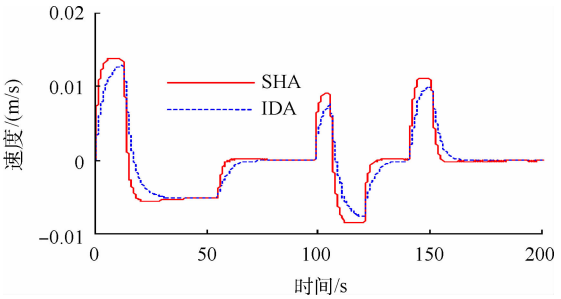


图 8　作动器输出速度曲线

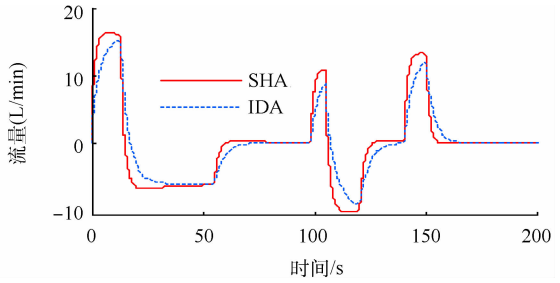


图 9　作动器流量曲线

图 10 所示为两种不同类型液压作动器中控制阀的开口情况. 可见,传统的阀控液压作动器中伺服阀的开口要大于一体化数字液压作动器中数字阀的开口,原因在于传统的阀控液压作动器采用闭环控制,其伺服阀的开口取决于控制器的输出,而一体化数字液压作动器采用开环控制,其数字阀的开口取决于给定信号与输出位移的差值.

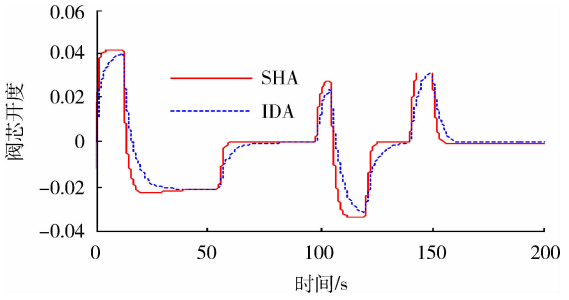


图 10　控制阀的开口曲线

4　结　论

1) 所设计的一体化数字液压作动器原理正确,能够满足作动要求;

2) 一体化数字液压作动器的优势在于可以降低系统噪声,减小系统发热,更好地节约能源;

3) 一体化数字液压作动器较传统的阀控液压作动器响应慢.

参考文献 (References)

[1] 王占林,李培滋. 飞机液压传动与伺服控制[M]. 北京:国防工业出版社,1980
Wang Zhanlin , Li Peizi . Aircraft hydraulic power transmission and servo control[M]. Beijing:National Defence Industry Press, 1980(in Chinese)

[2] 王占林. 近代电气液压伺服控制[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2005
Wang Zhanlin. Modern electric hydraulic servo control[M]. Beijing:Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2005(in Chinese)

[3] 王占林,陈斌. 未来飞机液压系统的特点[J]. 中国工程科学,1999,1(3):5 - 10
Wang Zhanlin,Chen Bin. Characters of future aircraft hydraulic system[J]. Engineering Science, 1999, 1(3):5 - 10(in Chinese)

[4] Botten S L,Whitley C R,King A D. Flight control actuation technology for next generation all-electric aircraft[J]. Technology Review Journal-Millennium Issue,2000:55 - 68

[5] 祁晓野,付永领,王占林. 功率电传机载作动系统方案分析[J]. 北京航空航天大学学报,1999,25(4):426 - 430
Qi Xiaoye,Fu Yongling,Wang Zhanlin. Scheme analysis of power-by-wire airborne actuator systems[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics,1999,25(4):426 - 430 (in Chinese)

[6] Charrier J J,Kulshreshtha A. Electric actuation for flight & engine control system:evolution,current trends & future challenges [C]//Proceedings of the 45th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit. Reno,Nevada:American Institute of Aeronautics and Astronautics,2007:1 - 20

[7] Victory Controls LLC. Digital hydraulic linear positioner[EB/OL]. Bristol:Victory Controls LLC,2005[2005-06-12]. http://www. victorycontrols. com/DSSC. pdf

[8] 杨世祥. 一种双级螺旋内反馈数字流体缸:中国,200410069392. 3[P]. 2007-10-10
Yang Shixiang. A kind of digital fluid cylinder with a two-stage helical internal feedback:China,200410069392. 3[P]. 2007-10-10(in Chinese)

[9] Claar L M,Hodges R C. Integrated electric motor driven in line hydraulic pump:United States,5708311[P]. 1998-01-13

[10] Voith Turbo GmbH & Co. KG. Voith motor/pump hybrid systems-type EPAI[EB/OL]. Indianapolis, Indiana: Progressive Power & Control, 2013[2013-01-30]. http://www. progressivepower. net/v-voith-turbo. htm

[11] 付永领,李祝锋,安高成,等. 电液泵发展现状与关键技术综述[J]. 机床与液压,2012,40(1):143 - 149,160
Fu Yongling,Li Zhufeng,An Gaocheng,et al. State of the art and core techniques of edropump[J]. Machine Tool & Hydraulics,2012,40(1):143 - 149,160(in Chinese)

[12] 付永领,祁晓野. LMS Imagine Lab AMESim 系统建模和仿真参考手册[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2011
Fu Yongling,Qi Xiaoye. LMS Imagine Lab AMESim system modeling and simulation reference[M]. Beijing:Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press,2011(in Chinese)

[13] 付永领,齐海涛. LMS Imagine Lab AMESim 系统建模和仿真实例教程[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2011
Fu Yongling, Qi Haitao. LMS Imagine Lab AMESim system modeling and simulation tutorial[M]. Beijing:Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press,2011(in Chinese)