

多电飞机非相似混合作动器 综合性能分析与研究

Analysis and Study on Comprehensive Performances of Dissimilar Hybrid Actuators of More-Electric Aircraft

叶自清 金荣深 徐德胜 / Ye Ziqing Jin Rongshen Xu Desheng

(上海飞机设计研究院,上海 201210)

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

摘要:

介绍了两种作动器的组成和工作原理,在此基础上对其进行仿真分析,重点研究了混合非相似余度作动系统在不同工作模式下的动态性能。由于采用非相似余度配置,混合余度作动系统存在力纷争的问题,就此提出了均值均衡技术,并在 AMESim/Simulink 平台进行仿真,收到较好效果。

关键词:非相似余度;作动系统;力纷争

[Abstract] The working principle and composing of two kinds of the actuators are introduced, and then based on these, the models are built to study the performance of the actuators. The simulation analysis focuses on the dynamic performances of hybrid actuation system with dissimilar redundancies worked in different modes. There are fighting forces in the hybrid system, which is dissimilar redundant. The paper proposes mean equalization technology to relieve the fighting force, and the simulation results in AMESim show that the method is effective.

[Key words] Dissimilar Redundant; Actuation System; Force Fighting

0 引言

随着多电和全电飞机技术的发展,未来大型民用飞机飞控作动系统将采用新型混合能源驱动的作动系统,以提高飞机的可靠性,减轻系统重量,降低飞行成本。因此,多电与全电飞机的未来发展趋势要求飞行控制作动系统采用新型作动系统体系结构以及新型作动器。其作动系统部分将逐步采用功率电传电力作动器,逐步取消中央液压源和气压源^[5],这对飞机作动系统来说是一次革命性的变化,也对飞机的总体设计和动力系统设计等产生了巨大影响。基于系统级考虑和设计,必须对具有新型电力作动器系统的飞行控制系统体系结构进行充分研究,采用新技术,进行新设计,才能成功实现大型飞机关键子系统——飞控作动系统的功率优化设计。

1 三种作动器的建模仿真

1.1 SHA、EHA 的构成

图 1 是 SHA (Servo-Hydraulic Actuator, 伺服液压作动器)的功能原理图。SHA 的基本组成部分包括作动器控制器,功率驱动器等信号处理单元,主系统由电液伺服阀、液压缸以及功能阀组成^[1],液压油源来自中央液压源。

图 2 是 EHA (Electrical-Hydraulic Actuator, 电动静液作动器)的功能原理图。EHA 系统中,电机驱动泵和蓄能器,以及其他液压部件组成闭式液压回路,同时也包括作动器控制器、功率驱动器液压缸。工作时,由电机带动泵供给液压缸油液。根据电机和泵不同的调节方式,EHA 可以分为 3 种:定排量变转速,定转速变排量,变转速变排量。

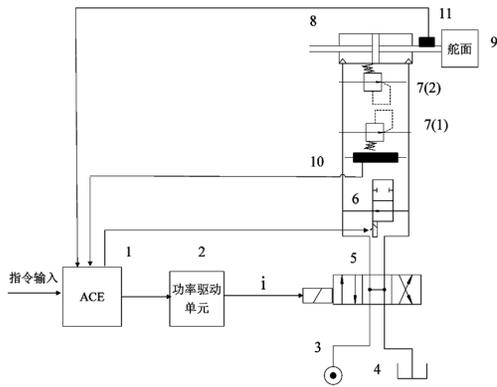


图1 SHA的功能原理图

1.2 模型的搭建和仿真分析

根据两种作动器的结构在 Simulink 中分别搭建模型,如图3所示。

当分别对各个作动器加以 3cm 的位移指令信号,并在 4s 时给作动器加上 10 000N 的外负载干扰,与同类型 SHA 对比,得到仿真图型,如图4所示。

从仿真图可以看出,在系统趋于稳定阶段之前,SHA 的响应速度要比 EHA 快,但是当对舵面加入大的外负载干扰时,EHA 的抗干扰能力要比 SHA 强^[2]。

图5分别给出了两种作动器的闭环幅频特性,对比可以看出,两者之间并不存在太大的区别。其中 SHA 的频宽约为 10.5Hz, EHA 为 13Hz。表1对两种作动器的动态性能指标做了比较,从对比数据可以看出 SHA 的动态性能要优于 EHA。

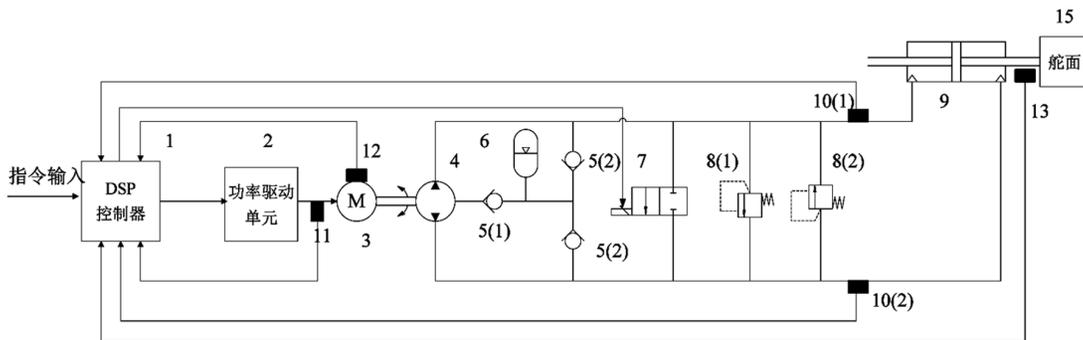


图2 EHA的功能原理图

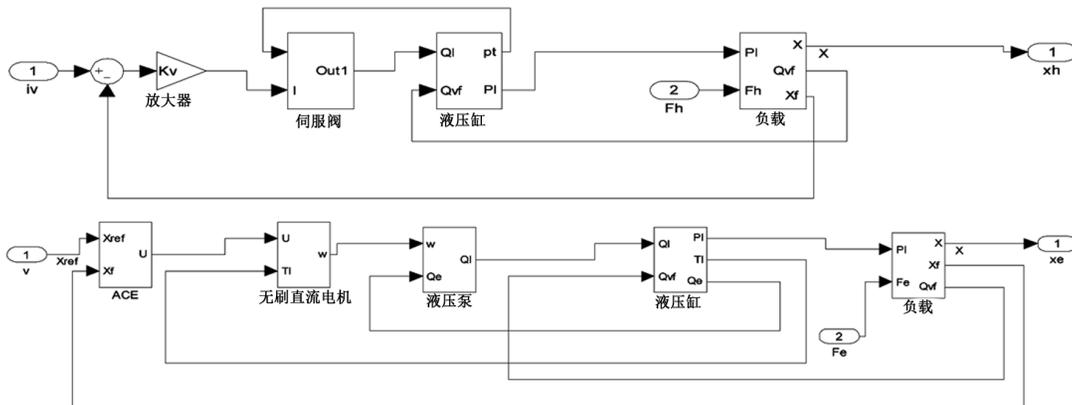


图3 SHA、EHA 的框图模型

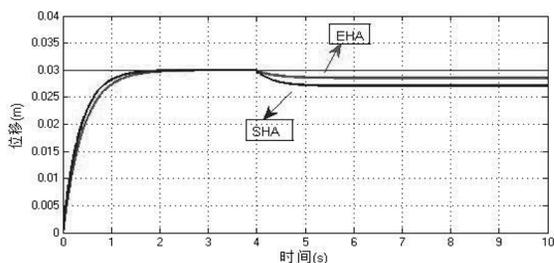


图4 SHA、EHA、EBHA 的阶跃响应曲线

表1 单通道作动器性能比较

	SHA	EHA
调整时间 t_s/s	0.283	0.405
上升时间 t_r/s	0.205	0.273
超调量 $\sigma/\%$	-	-
带宽 ω_b/Hz	10.5	13

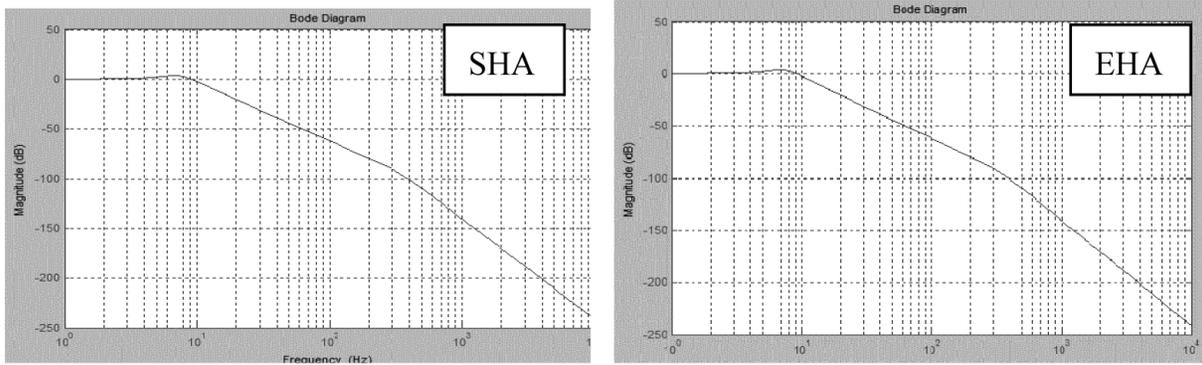


图5 两种不同类型作动器的幅频特性

2 SHA、EHA 组成的混合作动系统的力纷争分析

2.1 未采用均衡技术的双冗余混合作动系统的力纷争分析

为了研究的方便,本文研究由液压伺服作动器和电动静液作动器组成的非相似作动系统的力纷争问题。首先在 AMESim 中搭建上述系统的模型分别如图6和图7所示。根据 SHA、EHA 的仿真模型,混合作动系统的方针模型如图8所示。

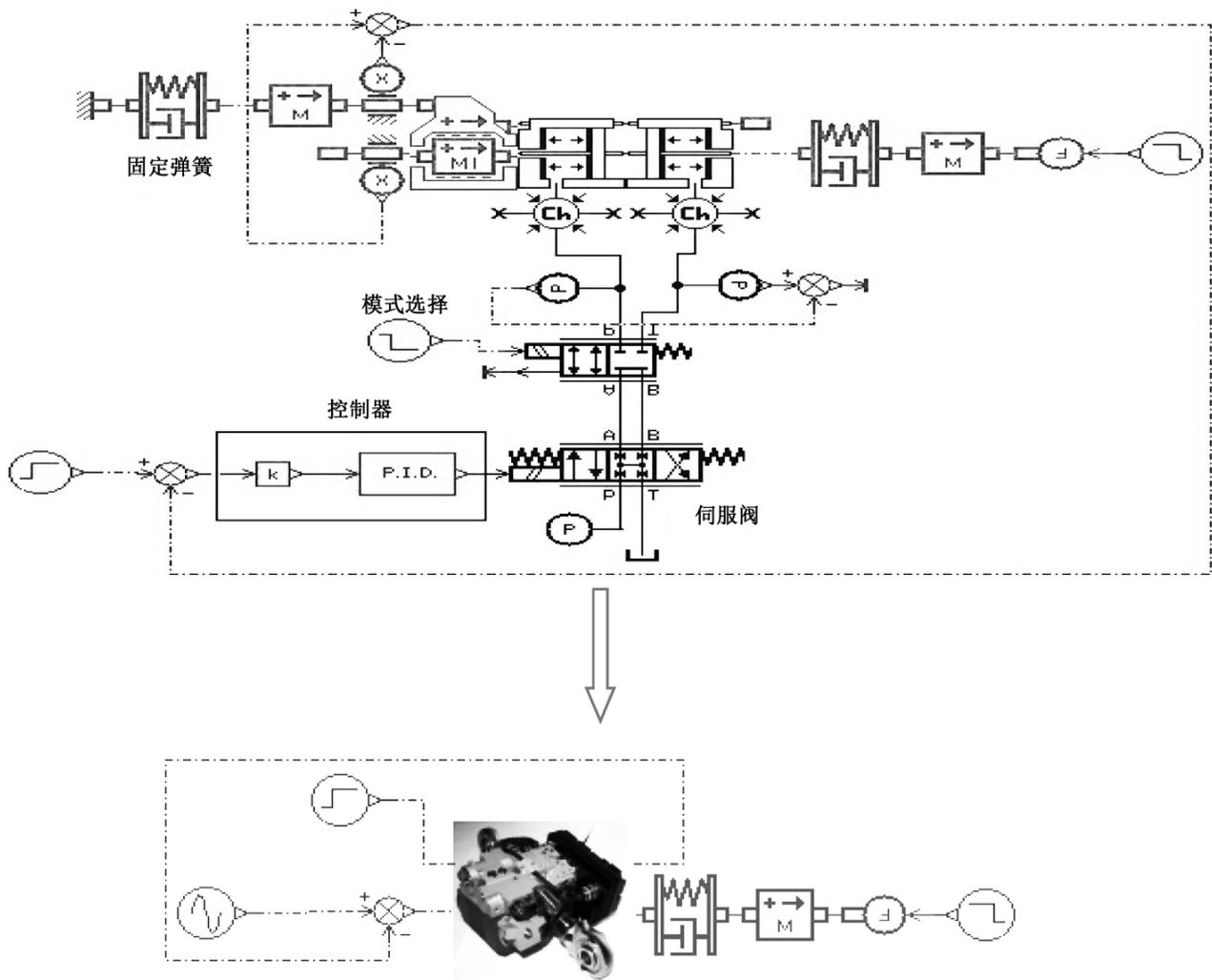


图6 SHA 仿真模型

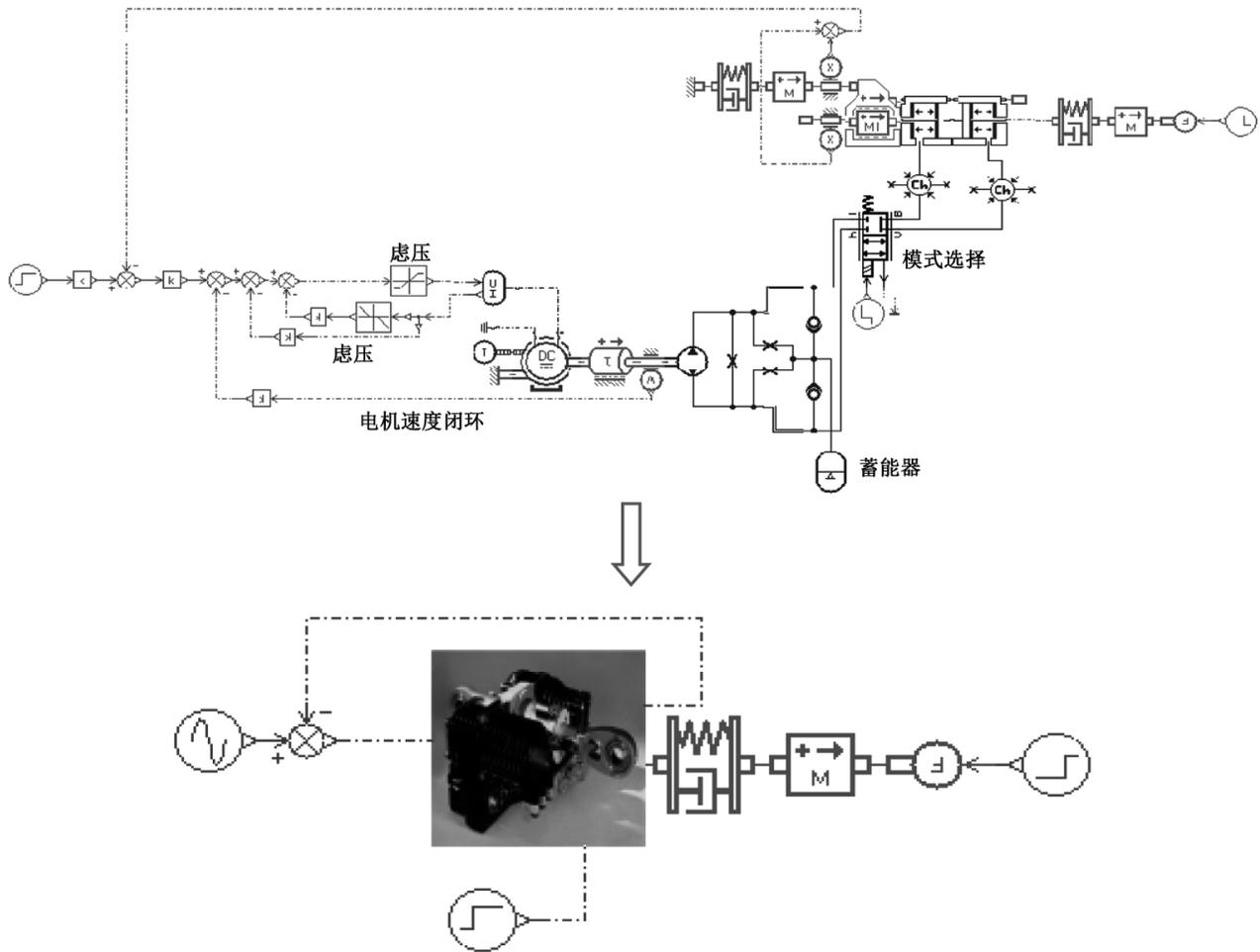


图7 EHA 仿真模型

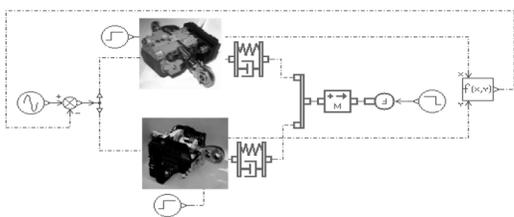


图8 SHA、EHA 组成的双冗余度作动系统

EHA、SHA 分别采用压力、位移反馈控制,两通道之间未采用均衡技术的情况下,对舵面施加外力(N):

$$F = \begin{cases} 2\ 500t, & 0 < t < 4 \\ 10\ 000, & t \geq 4 \end{cases}$$

得到冗余舵机的力纷争情况如图9所示。

可以看出舵机的力纷争最大值约为32kN,随着系统稳定,舵机的力纷争也趋于稳定,约为4.5kN。

2.2 力纷争均衡控制律

冗余伺服作动系统的均衡技术是对各通道的工作压力进行一致性的调节,依据工作压力的参照

标准不同,均衡技术一般分为中值均衡和均值均衡两类。所谓中值,是指各通道工作压力中按大小顺序排在中间位置的数值;均值,即是各通道工作压力的平均值^[4]。显然,中值均衡技术应用于奇数冗余系统中,如三冗余系统,而均值均衡技术应用范围则更广。使用均值均衡技术,其控制律如图10所示。

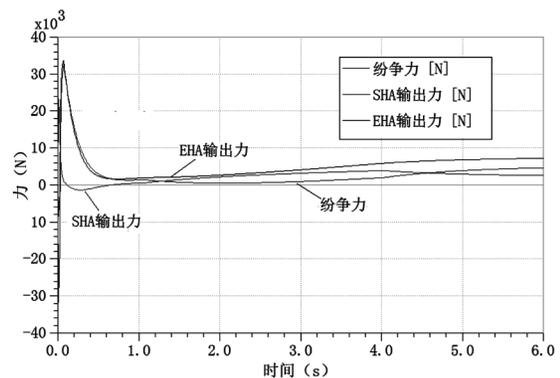


图9 双冗余混合作动系统的力纷争

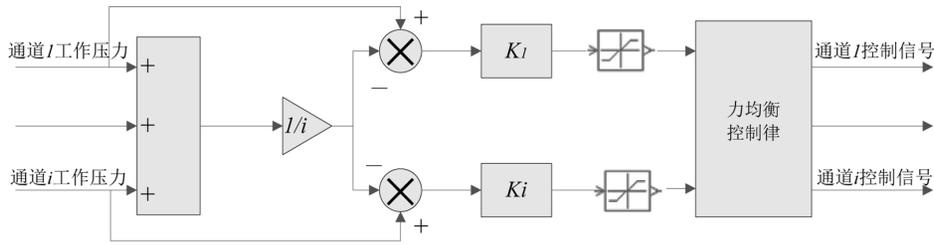


图 10 力纷争均衡控制律

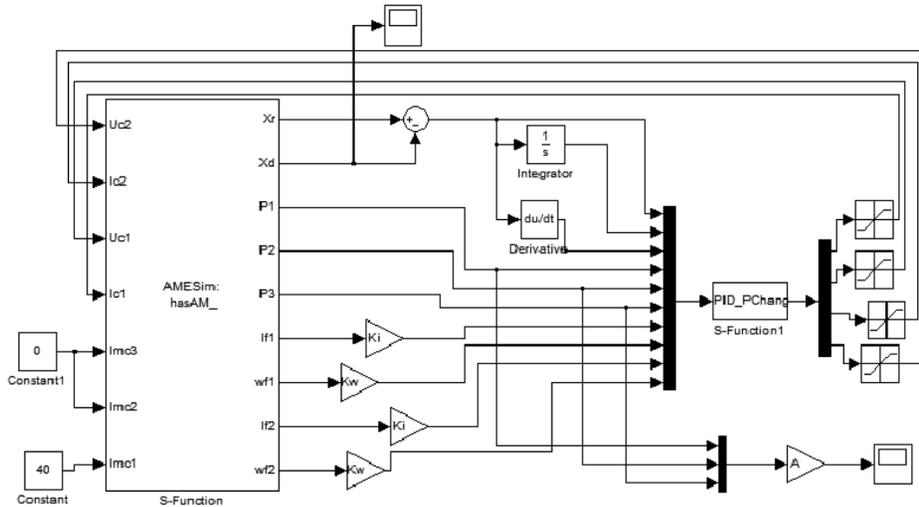


图 11 AMESim 与 MATLAB 联合仿真框图

力纷争控制律使用变参数的 PID 控制算法, 根据各通道工作压力和通道平均工作压力比值大小, 给定不同 PID 参数, 可以使得各个通道之间的压力快速趋于一致。利用 AMESim 和 Simulink 进行联合仿真, 仿真框图如图 11 所示, 仿真结果如图 12 所示。

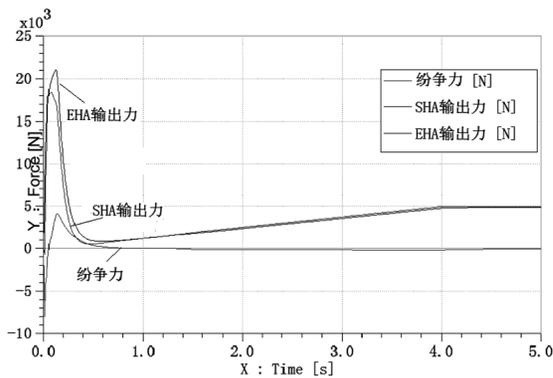


图 12 采用均衡技术的双冗余混合动作系统的力纷争

对比未进行均衡控制的系统, 可以看出, 舵面的力纷争得到了较大的缓解, 纷争力的最大值约为 50kN, 在系统稳定后, 最大的纷争力小于 1kN。

3 结论

通过仿真分析发现, 在外负载很小的情况下, SHA 和 EHA 单位阶跃响应曲线满足飞行要求, 前者的响应速度快于后者。由于 EHA 使用电能源代替液压能源, 增加了系统的灵敏度, 所以当负载加大时, SHA 的抗干扰能力明显弱于 EHA。力纷争方面, 通过均衡技术对力纷争进行了优化, 达到作动系统飞行要求及可靠性要求。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 王少萍. 工程可靠性[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2000.
- [3] 高金源, 焦宗夏, 张平. 飞机电传操纵系统与主动控制技术[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005.
- [4] 王占林, 裘丽华, 李军. 功率电传作动系统的发展趋势[DB]. 中国科技论文在线, 2004/08/25.
- [5] 路多. A380 的液压与作动系统[J]. 国际航空杂志, 2006(4): 71-73.