



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109703779 B

(45) 授权公告日 2022. 05. 27

(21) 申请号 201811264168.8

(22) 申请日 2018.10.26

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109703779 A

(43) 申请公布日 2019.05.03

(73) 专利权人 中国飞行试验研究院
地址 710089 陕西省西安市73信箱

(72) 发明人 尤俊彬 张喆 王言 华艺欣
邹泉 胡雅晖

(74) 专利代理机构 中国航空专利中心 11008
专利代理师 杜永保

(51) Int. Cl.
B64F 5/60 (2017.01)

(56) 对比文件

- CN 106649909 A, 2017.05.10
- CN 105784318 A, 2016.07.20
- US 2017300056 A1, 2017.10.19
- WO 2016109832 A2, 2016.07.07
- CN 104573177 A, 2015.04.29
- CN 107697271 A, 2018.02.16
- CN 103674474 A, 2014.03.26
- CN 103057697 A, 2013.04.24

审查员 强祝君

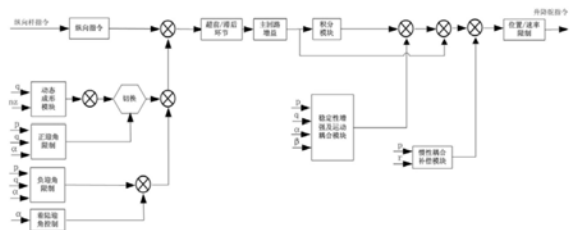
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

一种用于民用电传飞机PIO研究的控制律设计方法

(57) 摘要

本发明一种用于民用电传飞机PIO研究的控制律设计方法属于飞行试验技术领域。本发明基于空中模拟试验机而实现,通过分析空中模拟试验机在试验状态点的气动模型及飞行品质特性,根据库珀-哈珀准则选定在纵向和横航向上具有不同等级的目标品质特性,采用全状态反馈法计算控制律的反馈增益矩阵,同时加入时间延迟模块以及舵机速率饱和模块,使得空中模拟试验机的全量模型具有典型民用电传飞机响应特性并能够激发驾驶员诱发振荡PIO现象。本发明能够使得一架飞机在保证飞行安全的前提下,具备不同的驾驶员诱发振荡PIO趋势,为民用电传飞机PIO研究提供试验对象,填补国内空白。



1. 一种用于民用电传飞机PIO研究的控制律设计方法,基于空中模拟试验机而实现,其特征在于,所述方法包括以下步骤:

步骤1:选定驾驶员诱发振荡PIO评价试验的试验状态,对空中模拟试验机的气动参数进行分析,建立空中模拟试验机的六自由度全量模型,并得到在该试验状态下空中模拟试验机的小扰动线性矩阵和品质特性,所述品质特性包括纵向静稳定性、短周期模态特性、横航向静稳定性、荷兰滚模态特性、滚转模态特性、螺旋模态特性;

步骤2:利用步骤1中得到的小扰动线性矩阵、短周期模态特性、荷兰滚模态特性、滚转模态特性、螺旋模态特性,根据库珀-哈珀准则选定在纵向和横航向上具有不同等级的目标品质特性,采用全状态反馈法计算控制律的反馈增益矩阵,并搭建控制律模型;

步骤3:以步骤2中得到的控制律模型为基础,向其加入指令模型模块、迎角保护模块、纵向通道积分模块、横航向交联模块,使得空中模拟试验机在该试验状态下具有典型的民机品质特性;

步骤4:将步骤3中得到的控制律模型加入到空中模拟试验机的全量模型中,并根据空中模拟试验机的全量模型的仿真计算结果对控制律模型的参数进行调整;

步骤5:以步骤4中得到的空中模拟试验机的全量模型为基础,向其加入时间延迟模块以及舵机速率饱和模块,使得空中模拟试验机的全量模型能够激发驾驶员诱发振荡PIO现象;

步骤6:将步骤5中得到的空中模拟试验机的全量模型集成至模拟器中,进行人在回路的模拟器闭环试验,对步骤4中得到的控制律模型进行参数调整,使空中模拟试验机的全量模型达到适用于民用电传飞机驾驶员诱发振荡PIO评价方法研究的状态。

2. 根据权利要求1所述的一种用于民用电传飞机PIO研究的控制律设计方法,其特征在于,在步骤2中选择目标品质特性时,目标品质特性共选取五组,其中:第一组目标品质特性纵向与横航向飞行品质都为1级,第二组目标品质特性纵向为2级、横航向为1级,第三组目标品质特性纵向为3级、横航向为1级,第四组目标品质特性纵向为1级、横航向为2级,第五组目标品质特性纵向为1级、横航向为3级。

3. 根据权利要求1所述的一种用于民用电传飞机PIO研究的控制律设计方法,其特征在于,步骤5在空中模拟试验机的全量模型中加入时间延迟模块以及舵机速率饱和模块,时间延迟模块的延迟值和舵机速率饱和模块的舵机速率限制值,应给出至少2组不同的参数,使空中模拟试验机的全量模型具有不同程度的驾驶员诱发振荡PIO趋势。

4. 根据权利要求1所述的一种用于民用电传飞机PIO研究的控制律设计方法,其特征在于,在步骤6中采用人在回路模拟器闭环试验,通过试飞员主观评价对控制律参数模型进行调整;依据统计学原理,选取驾驶水平优、良、一般各1、2、2名试飞员依据库珀-哈珀评价准则对控制律模型进行主观评价,并根据综合评价结果选定控制律参数。

一种用于民用电传飞机PIO研究的控制律设计方法

技术领域

[0001] 本发明一种用于民用电传飞机PIO研究的控制律设计方法属于飞行试验技术领域。

背景技术

[0002] 驾驶员诱发振荡PIO事件作为飞行品质问题的反映现象之一,具有偶然性和普遍性,同时对飞行安全具有严重的危害性。我国民用电传飞机发展起步较晚,驾驶员诱发振荡PIO试飞技术基础薄弱,虽然国内在驾驶员诱发振荡PIO基础技术和适航试飞技术方面开展了大量研究,但是在适航试飞方法与评价方法等方面,缺乏驾驶员参与的、系统的飞行试验演示验证,其中,最大的制约因素是没有可用于民用电传飞机PIO研究的试验对象。

[0003] 在进行民用电传飞机PIO驾驶员诱发振荡趋势评价方法研究过程中,试验对象需要具有不同的驾驶员诱发振荡PIO趋势,其中包括库珀-哈珀准则评分等级为1、2、3级的飞机。目前国内没有驾驶员诱发振荡PIO趋势明显的飞机,这种飞机飞行安全不能得到保证。

发明内容

[0004] 本发明的目的是:根据民用电传飞机驾驶员诱发振荡PIO趋势评价方法研究的需要,设计一种控制律,使得试验机具有典型的民机飞行响应,且具备不同的驾驶员诱发振荡PIO趋势。

[0005] 本发明的技术方案是:

[0006] 一种用于民用电传飞机PIO研究的控制律设计方法,基于空中模拟试验机而实现,所述方法包括以下步骤:

[0007] 步骤1:选定驾驶员诱发振荡PIO评价试验的试验状态,对空中模拟试验机的气动参数进行分析,建立空中模拟试验机的六自由度全量模型,并得到在该试验状态下空中模拟试验机的小扰动线性矩阵和品质特性,所述品质特性包括纵向静稳定性、短周期模态特性、横航向静稳定性、荷兰滚模态特性、滚转模态特性、螺旋模态特性;

[0008] 步骤2:利用步骤1中得到的小扰动线性矩阵、短周期模态特性、荷兰滚模态特性、滚转模态特性、螺旋模态特性,根据库珀-哈珀准则选定在纵向和横航向上具有不同等级的目标品质特性,采用全状态反馈法计算控制律的反馈增益矩阵,并搭建控制律模型;

[0009] 步骤3:以步骤2中得到的控制律模型为基础,向其加入指令模型模块、迎角保护模块、纵向通道积分模块、横航向交联模块,使得空中模拟试验机在该试验状态下具有典型的民机品质特性;

[0010] 步骤4:将步骤3中得到的控制律模型加入到空中模拟试验机的全量模型中,并根据空中模拟试验机的全量模型的仿真计算结果对控制律模型的参数进行调整;

[0011] 步骤5:以步骤4中得到的空中模拟试验机的全量模型为基础,向其加入时间延迟模块以及舵机速率饱和模块,使得空中模拟试验机的全量模型能够激发驾驶员诱发振荡PIO现象;

[0012] 步骤6:将步骤5中得到的空中模拟试验机的全量模型集成至模拟器中,进行人在回路的模拟器闭环试验,对步骤4中得到的控制律模型进行参数调整,使空中模拟试验机的全量模型达到适用于民用电传飞机驾驶员诱发振荡PIO评价方法研究的状态。

[0013] 在步骤2中选择目标品质特性时,目标品质特性共选取五组,其中:第一组目标品质特性纵行与横航向飞行品质都为1级,第二组目标品质特性纵向为2级、横航向为1级,第三组目标品质特性纵向为3级、横航向为1级,第四组目标品质特性纵向为1级、横航向为2级,第五组目标品质特性纵向为1级、横航向为3级;

[0014] 步骤5在空中模拟试验机的全量模型中加入时间延迟模块以及舵机速率饱和模块,时间延迟模块的延迟值和舵机速率饱和模块的舵机速率限制值,应给出至少2组不同的参数,使空中模拟试验机的全量模型具有不同程度的驾驶员诱发振荡PIO趋势;

[0015] 在步骤6中采用人在回路模拟器闭环试验,通过试飞员主观评价对控制律参数模型进行调整。依据统计学原理,选取驾驶水平优、良、一般各1、2、2名试飞员依据库珀-哈珀评价准则对控制律模型进行主观评价,并根据综合评价结果选定控制律参数。

[0016] 本发明的优点是:本发明一种用于民用电传飞机PIO研究的控制律设计方法,使得一架飞机在保证飞行安全的前提下,具备不同的飞行品质特性以及不同的驾驶员诱发振荡PIO趋势,解决目前国内没有用于民用电传飞机PIO研究试验对象的问题,为民机PIO趋势评价方法研究提供了支持,弥补了国内在该领域的技术缺口,并且达到了国际先进的技术水平。

附图说明

[0017] 图1是纵向电传控制律框图

[0018] 图2是横航向电传控制律框图

具体实施方式

[0019] 下面结合附图对本发明进行进一步详细的说明。

[0020] 一种用于民用电传飞机PIO研究的控制律设计方法,基于空中模拟试验机而实现,所述方法包括以下步骤:

[0021] 步骤1:选定驾驶员诱发振荡PIO评价试验的试验状态,对空中模拟试验机的气动参数进行分析,建立空中模拟试验机的六自由度全量模型,并得到在该试验状态下空中模拟试验机的小扰动线性矩阵和品质特性,所述品质特性包括纵向静稳定性、短周期模态特性、横航向静稳定性、荷兰滚模态特性、滚转模态特性、螺旋模态特性;

[0022] 步骤2:利用步骤1中得到的小扰动线性矩阵、短周期模态特性、荷兰滚模态特性、滚转模态特性、螺旋模态特性,根据库珀-哈珀准则选定在纵向和横航向上具有不同等级的目标品质特性,采用全状态反馈法计算控制律的反馈增益矩阵,并搭建控制律模型。目标品质特性共选取五组,其中:第一组目标品质特性纵行与横航向飞行品质都为1级,第二组目标品质特性纵向为2级、横航向为1级,第三组目标品质特性纵向为3级、横航向为1级,第四组目标品质特性纵向为1级、横航向为2级,第五组目标品质特性纵向为1级、横航向为3级;

[0023] 步骤3:以步骤2中得到的控制律模型为基础,向其加入指令模型模块、迎角保护模块、纵向通道积分模块、横航向交联模块,使得空中模拟试验机在该试验状态下具有典型的

民机品质特性；

[0024] 步骤4:将步骤3中得到的控制律模型加入到空中模拟试验机的全量模型中,并根据空中模拟试验机的全量模型的仿真计算结果对控制律模型的参数进行调整,具体目标为:

[0025] 纵向控制律功能、特点包括:

[0026] a) 控制增稳,在设计包线范围内,纵向短周期频率、阻尼比、操纵期望参数等指标满足一级飞行品质要求;

[0027] b) 高速区,纵向杆位移指令法向过载;低速区,纵向杆位移指令俯仰角速率;中速区,纵向杆位移指令法向过载与俯仰角速率的混合;

[0028] c) 飞机具有中立速度稳定性,即保持等速直线飞行时的纵向操纵杆位移几乎为零;

[0029] d) 法向过载限制,飞机最大过载指令 $3g$;

[0030] e) 惯性耦合抑制,抵消部分由于滚转角速率和偏航角速率引起的纵向惯性耦合。

[0031] 横航向控制律功能、特点包括:

[0032] a) 控制增稳,在设计包线范围内,滚转模态时间常数、荷兰滚频率、阻尼等指标满足一级飞行品质要求;

[0033] b) 横向杆位移指令滚转角速率,且滚转角速率限制值随空速变化(速度越小,滚转角速率限制值越小);

[0034] c) 飞机基本实现绕速度矢量滚转,即飞机压杆滚转过程中侧滑很小,飞行员不蹬舵可以协调转弯;

[0035] d) 脚踏位移基本指令侧滑角,且侧滑角限制值随空速变化(速度越大,侧滑角限制值越小);

[0036] e) 方向舵-副翼交联,改善蹬舵后的滚转响应(蹬舵后相比原机滚转响应大大减小);

[0037] f) 航向惯性耦合抑制,抵消部分由于滚转角速率和俯仰角速率引起的航向惯性耦合。

[0038] 步骤5:以步骤4中得到的空中模拟试验机的全量模型为基础,向其加入时间延迟模块以及舵机速率饱和模块,使得空中模拟试验机的全量模型能够激发驾驶员诱发振荡PIO现象,具体要求为:

[0039] 纵向满足以下要求:

[0040] a) 升降舵时间延迟数值可变;

[0041] b) 升降舵速率限制数值可变。

[0042] 横航向满足以下要求:

[0043] a) 副翼、方向舵时间延迟数值可变;

[0044] b) 副翼、方向舵速率限制数值可变。

[0045] 步骤6:将步骤5中得到的空中模拟试验机的全量模型集成至模拟器中,进行人在回路的模拟器闭环试验,对步骤4中得到的控制律模型进行参数调整,使空中模拟试验机的全量模型达到适用于民用电传飞机驾驶员诱发振荡PIO评价方法研究的状态。依据统计学原理,选取驾驶水平优、良、一般各1、2、2名试飞员依据库珀-哈珀评价准则对控制律模型进

行主观评价,并根据综合评价结果选定控制律参数。

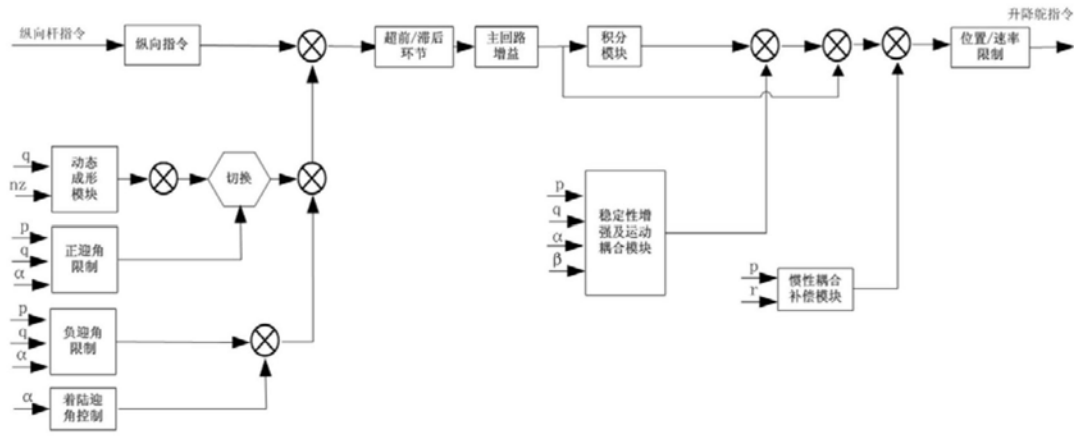


图1

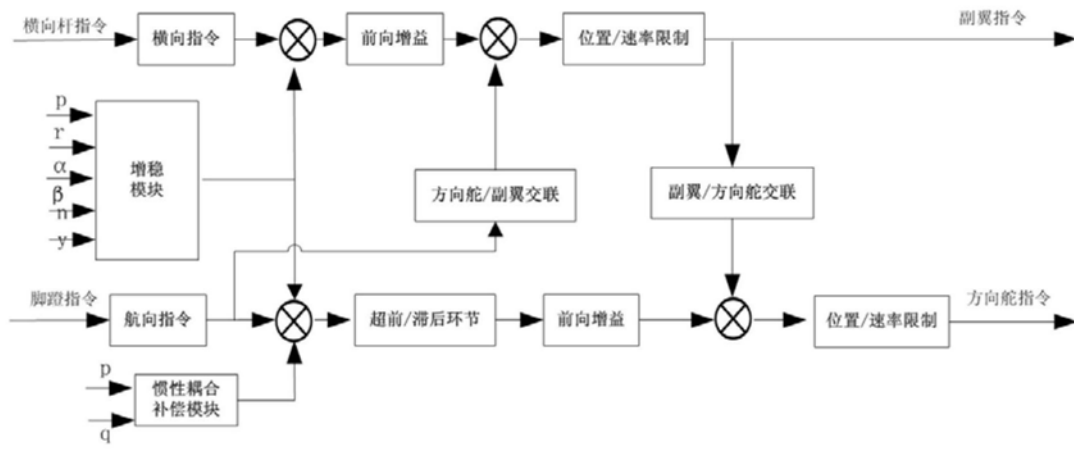


图2