

某型高速无人机舵控系统的设计

黄 健, 应 浩, 阮承治
(南京模拟技术研究所, 江苏 南京 210016)

摘要: 为解决高速无人机舵机控制系统体积小、反应快、噪声低等技术需求, 结合某型高速无人机系统, 设计了一种以模拟电路的方式实现舵电机系统 PID 调节的伺服控制系统, 并在电路中采用一种有差比例控制的方式, 实现了系统频率响应要求。对该系统进行了控制过程曲线分析及实际飞行测试, 其结果表明: 舵控系统满足了设计需求, 达到了高速无人机系统快速响应的要求。

关键词: 高速无人机; 有差比例控制; 响应频率; MSK4206

中图分类号: TM383.4

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2011)12-1488-03

Design of electric actuator for high-speed UAVS

HUANG Jian, YING Hao, RUAN Cheng-zhi
(Nanjing Research Institute on Simulation Technique, Nanjing 210016, China)

Abstract: In order to solve the technical requirements of electric actuator for high-speed UAVS, including small size, fast response and low noise, combined with a certain type of high-speed UAV system, a kind of servo control system was designed through to analog circuits way to realize rudder motor system PID regulation and the method of a discriminating proportional control in circuit was used to attain system frequency response requirements. Through the system control process curve analysis and actual flight testing, the results show that, the electric actuator satisfies the design requirements, reaches the high-speed UAV system of the requirements for rapid response.

Key words: high-speed UAV; discriminating proportional control; frequency response; MSK4206

0 引言

在无人机系统中, 舵机控制系统是无人机动作控制的重要执行机构, 也是其动作的主要动力来源。为便于系统扩展和升级, 在飞控系统中往往采用分布式策略, 将舵机的控制部分作为一个独立单元进行设计, 通常称为舵机控制系统^[1]。目前舵机控制系统主要分为气动、液动和电动控制方式, 前两种由于体积、功耗等方面的因素, 现阶段在无人机上通常采用电动舵机控制系统。高速无人飞机由于其体积小、速度快、灵活性强等特点, 在对其舵机控制系统要求保证其动态响应的前提下, 要尽量控制其体积和功耗, 并要在狭小的空间内尽量减小电机等功率器件对其他系统的影响, 这样研制体积小、成本低、响应快、噪声低的舵控系统的意义就显得尤为重要^[2-3]。

本研究主要探讨某型高速无人机舵控系统的实现。

1 模拟舵机控制系统

伺服舵机控制系统通常分为模拟舵机控制系统和数字舵机控制系统, 其原理主要是通过检测给定量与反馈量的误差对伺服舵机进行 PID 控制, 使无人机舵面既快又准确地达到预定位置。模拟舵控存在响应快、无需 CPU 芯片、成本低、调节参数难以确定和改变等特点, 数字舵控参数容易调节, 但要进行软件开发, 频率响应有时候难以做到高速系统的要求。本设计主要针对高速无人机控制系统, 在频率响应上有其特殊的要求, 在设计上该型无人机选择模拟舵机控制系统。

2 系统主要构成

系统主要由给定调理电路、误差检测电路、模块驱动电路、滤波及信号隔离等组成,系统组成及信号流程图如图 1 所示。

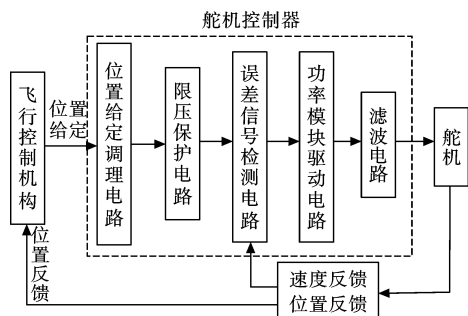


图 1 舵机控制系统及信号流程图

2.1 给定调理部分

位置给定调理电路的输入信号包括位置给定信号和位置调整信号。位置给定信号是飞行控制机构控制舵机位置的信号,位置调整信号可以用来消除机械安装时无人机舵面不在零点时的误差,电路结构如图2所示。

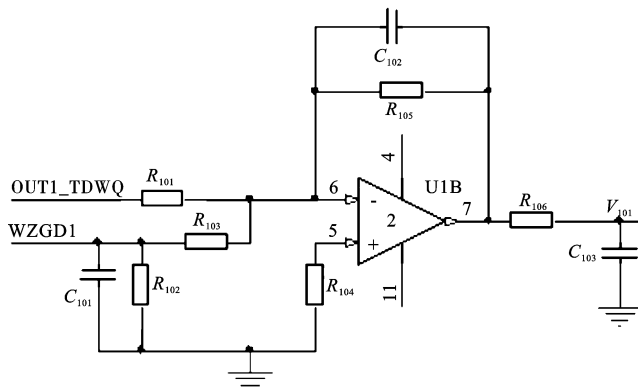


图 2 位置给定调理电路

2.2 误差检测电路

误差信号检测电路主要用来得到控制舵机的控制量,其电路如图3所示,通过飞行控制机构的给定

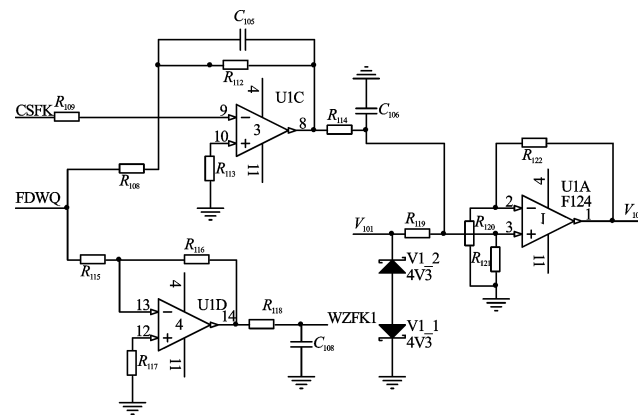


图3 误差信号检测电路

舵机舵面的控制量、舵面位置信号和速度信号的反馈量,计算其差值。

位置环决定舵机控制系统的动、静态性能,但很难保证系统有较快的响应速度,速度环能对舵机位置的快速变化做出反应,但同时也会对稳态精度有影响。对于高速无人机系统,响应速度有着严格的要求,与常用的位置环作为外环,速度环作为内环的控制方式不同,本研究对位置环和速度环采用不同加权系数的方法达到系统快速响应和稳定度的要求^[4-5]。

对于位置反馈,通常的做法是将位置电压等比例的进行放大,然后分别送与误差检测电路和飞控计算机,则飞控计算机得到的是实时舵面的位置。这种情况下,若增加比例调节的作用,则系统响应速度越快,但同时会引起系统的不稳定。为了达到系统响应的要求,本研究对比例调节进行改进,在此对位置环采用不同比例反馈的方法,即对于误差检测电路的反馈和对飞控计算机的反馈采用不同的比例系数(即有差比例反馈),区别于通常的采用同一个比例系数的调节(无差比例调节),预先告知飞控计算机,舵面已达到设定位置或舵面已在允许的误差范围。通过测试,这个值根据不同要求可在 0.1%~1%之间选择,本设计选用 0.37%,经过测试达到了各指标的要求^[6]。

2.3 模块驱动电路

模块驱动电路以功率模块 MSK4206 为核心,外围对以相应的限压电路、差模电路、滤波电路等。MSK4206 是美国 MSK 公司生产的大功率脉宽调制型放大器,可用于有刷直流电机的控制电路,最大功率输出可达 2 kW。全桥输出放大器由单电源供电,而且电源电压可在很宽的范围(16 V~100 V)内变化。此外,该芯片内还有一个 7.5 V 精密基准电压,可作为补偿误差放大器的电源电压^[7]。其内部结构如图 4 所示。

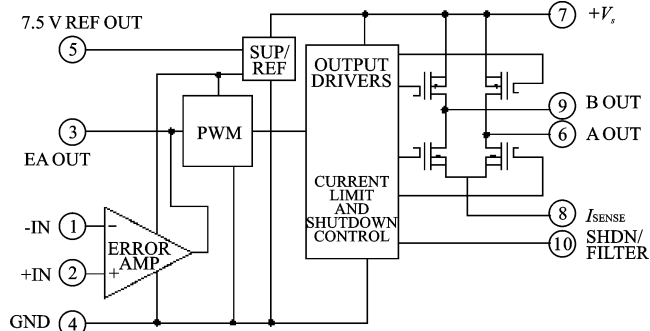


图 4 MSK4206 内部结构图

限压电路采用稳压二极管方式,对输入信号进行一定范围的限制,以保护后端舵机、舵面不至于发生过冲。差模电路将输入的双极性信号对应于 MSK4206 的内部所需 2.5 V~7.5 V 的控制信号,以控制伺服电机。

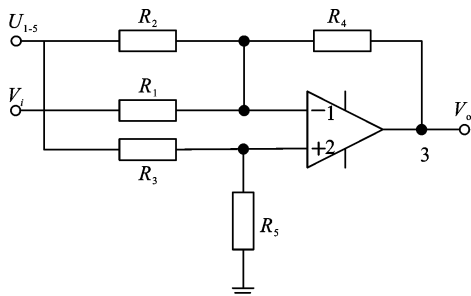


图 5 外围差模电路

转速与转向,其电路如图 5 所示。

2.4 滤波及信号隔离

无人机系统各部件在设计时,要考虑到系统的 EMI 和 EMC 能力。所以在设计时,对功率模块的输出端进行 LC 滤波,根据 MSK4206 的截止频率 f_c 取不超过 4.2 kHz,通过计算可取相应的 L 和 C 值。同时,由于伺服舵机为感性负载,可通过缓冲网络电路与负载进行匹配,用以抑制尖峰电压。

同时,为了减小电源等外部电路对舵控系统的影响,系统经常采用内外地隔离等抗干扰措施。

3 系统测试

本研究针对设计要求对舵机(最大扭矩 17 N·m)舵控系统进行了空载测试,并对反馈电路部分做了有差比例反馈、无差比例反馈的测试,测试结果对比如表 1 所示。

表 1 设计要求与测试结果对比表

设计输入	设计要求			测试结果			
	频率	时延	幅值	无差比例反馈		有差比例反馈 (相差 0.37%)	
				时延	幅值	时延	幅值
频率响应	1 Hz	<10 ms	无衰减	5 ms	无衰减	5 ms	无衰减
	2 Hz	<10 ms	无衰减	5 ms	无衰减	5 ms	无衰减
	3 Hz	<10 ms	无衰减	10 ms	无衰减	10 ms	无衰减
	4 Hz	<20 ms	无衰减	20 ms	±5%	20 ms	无衰减
	5 Hz	≤30 ms	±5%	30 ms	±10%	30 ms	±5%
	6 Hz	≤40 ms	±10%	≤40 ms	±10%	≤30 ms	±5%
阶跃响应	超调	15%		≈10%		≈10%	
	响应时间	<120 ms		100 ms~120 ms		90 ms~100 ms	

对应 4 Hz、6 Hz 相同比例反馈、有差比例反馈的正弦输入频率响应对比如图 6、图 7 所示,阶跃响应对比如图 8 所示(前者为相同比例响应,后者为有差响应)。

从对比图中可以看出,有差时系统动态性能良好,频率响应得到了一定程度的改善,对于无负载的阶跃输入,系统能在 100 ms 内达到稳态。

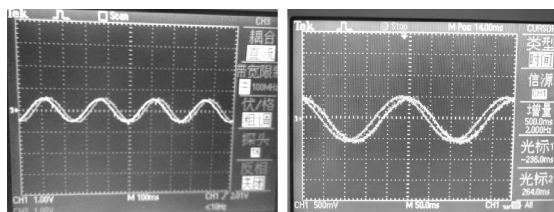


图 6 输入 4 Hz 正弦波时对比图

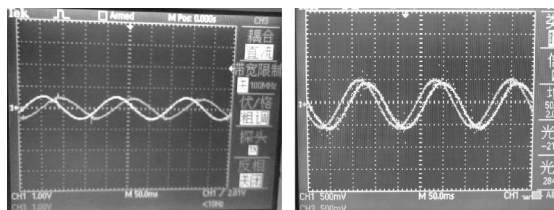
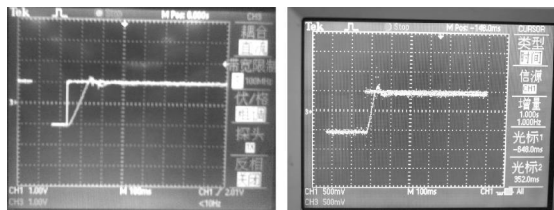


图 7 输入 6 Hz 正弦波时对比图



(a) 同比例响应

(b) 有差响应

图 8 阶跃响应对比图

4 结束语

本研究针对某高速无人机舵面系统的响应要求,设计了一种模拟舵机控制系统,并通过对频率响应的测试,使系统的频率响应达到了 6 Hz,抗干扰能力也得到了加强,同时简化了系统设计的复杂度,节约了系统成本。该设计各项功能均达到了设计要求,经多次试飞实验,系统稳定可靠,满足飞行要求。同时,对于设计更高频率响应的舵控系统有一定的借鉴作用。

参考文献(References):

- [1] 张健鹏,刘世前,敬忠良. 基于 MSP430 的舵机控制系统设计[J]. 微电机,2010,43(1):46-49.
- [2] 王志远,闫建国,孙倩. 无人机微型舵机伺服控制器及其测试系统的设计[J]. 航空计算技术,2008,38(5):96-99.
- [3] 贺晓明,唐永哲. 无刷直流电动机控制系统的设计及应用研究[J]. 微电机,2007,40(1):60-67.
- [4] 童诗白,华成英. 模拟电子技术基础[M]. 北京:高等教育出版社,2004:313-314.
- [5] 赵一鹏,姜伟. 基于模糊 PID 电液伺服控制系统的设计和仿真[J]. 轻工机械,2010,28(3):69-72.
- [6] KIM J H,OH S J.A fuzzy PID controller for nonlinear and uncertain systems[J]. Soft Computing,2000(4):123-129.
- [7] 马军骥. 由脉宽调制放大器 SA01 控制的大功率马达驱动电路[J]. 国外电子元器件,1996,3(3):13-15.

[编辑:张翔]