

小型飞机起落架全电控制器设计

包群民,慕德俊,张慧翔

(西北工业大学 自动化学院,陕西 西安 710072)

摘要:使用多电架构将会使飞行器减少对环境的影响和提高可靠性,同时降低维修成本。因此,航空工业、政府机构和研究所已经把注意力放在功率电传或多电架构上,用电来控制飞机飞行面。针对小型飞机起落架全电控制需求,提出了一种双冗余收放控制器设计方案。该控制器采用 DSP 为控制核心,能够实现电机四象限运行控制,负载能力达到 600Kg,且该系统具有过流保护功能。实验结果表明,该控制器具有很好的速度控制效果,并能准确完成起落架上锁,适用于小功率起落架控制应用场合。

关键词:起落架;双冗余;收放;四象限;DSP

中图分类号:TP273

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2012)10-0213-04

Design of All Electric Controller for Small Aircraft Landing Gear

BAO Qun-min, MU De-jun, ZHANG Hui-xiang

(College of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, Chian)

Abstract: Employing 'More Electric' architectures for the aircraft may lead to more beneficial environmental impacts and improve reliability as well as reduce maintenance cost for airline operators. Therefore, the aircraft industry, governmental organizations and research institutes have focused their attention towards "power-by-wire" or "More Electric" architectures in which electrical power moves aircraft flight surfaces. Take account of the requirement of all electric control for small aircraft landing gear, a design scheme of dual-redundant controller is provided. Based on digital signal processor (DSP) chips, the controller can drive the motor in four quadrant, with the largest load capacity of 600Kg, and the system has the ability of over-current protection. The experiment results indicate that, the controller has good constant speed controlling effect, and can accurately lock the landing gear, which is competent to be used in the situation of low power landing gear control.

Key words: landing gear; dual-redundant; extension and retraction; four quadrant; DSP

0 引言

目前小型飞机各种系统中,除起落架收放系统仍需采用液压驱动外,其余系统均已实现全电控制,因此,小型飞机起落架收放采用功率电传作动器显得非常迫切和必要^[1-3]。作为功率电传作动器的主要形式之一,机电作动器与电静液作动器相比,具有可靠性高、结构简单、传动效率高等优点,使其成为小型飞机起落架收放作动的最佳选择^[4,5]。

电机的控制性能决定了起落架收放性能。文中采用 TMS320F2812 DSP 为控制核心,采用智能功率模块 MSK4301HD 作为逆变器,基于电机四象限运行控制技术,为小型飞机起落架设计了双冗余控制器,并通过起落架地面收放实验验证,给出了实验结果。

1 控制器原理设计

整个控制系统由一块通信底板和四块控制板组成,控制板使用直插式电连接器与通信底板连接,控制器原理如图 1 所示。通信底板 DSP 和控制板 DSP 通过 RS422 总线接收主控机收放指令。主控制板查询对应起落架电机霍尔值,经过转速控制,向驱动器输出当前状态下的 PWM 波,完成对电机的驱动,实现对起落架的收放控制,最后利用锁信号进行准确上锁。同时,主控制板实时的检测自身状态,备份控制板实时检测主控制板的状态信息。当主控制板发现自身存在故障时,便停止一切行为,自身挂起。备份控制板发现主控制板故障后,立即进行切换,代替其完成起落架收放。通信底板接收所有控制板的反馈信息,将信息处理后反馈给主控机。

2 控制器硬件设计

2.1 通信底板硬件设计

考虑到尽可能地减少控制器重量和体积,采用大

收稿日期:2012-02-23;修回日期:2012-05-26

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60803158)

作者简介:包群民(1987-),男,硕士生,主要研究方向为模式识别与智能控制;慕德俊,教授,博士生导师,主要研究方向为自动控制、网络信息安全。

型组件共享设计概念^[6],除 DSP 及其外围电路外,通信底板集成了滤波模块、DC/DC 电源模块、继电器切换电路、电机霍尔滤波电路和起落架应急放电路。

两个电爆管。引爆信号由主控机给出,地开信号通过 PC817 控制两路 IRF540N 的开启,分别引爆电爆管。

2.2 控制板硬件设计

2.2.1 控制板 DSP 及其外围电路

根据图 1 可知,控制板主要使用的 DSP 外设及其外围电路如下:

① SCI 模块:SCI-A 用于调试阶段控制板功能测试,外围串口通信接口芯片采用 DS26C32AMJ / DS26C31MJ。SCI-B 用于从通信底板串口接收芯片中获取主控机命令。串口通信速率为 38.4Kb/s。

② GPIO 电路:GPIO 口主要用于电机霍尔信号

采集和向通信底板反馈自身状态。电平转换芯片使用 LVCH16T245。

③ 事件管理器 EVA 的定时器和 PWM 波模块:定时器控制采样周期,通过四象限 PI 速度控制生成相应的 PWM 波信号。

④ A/D 转换模块:采集驱动器回路电流,用于系统大电流故障判断。由于采样电阻非常小,所以电流信号需经过功率放大芯片 LM158 放大并通过线性光耦 HCNR201 进行光电隔离后,供 DSP 采集。

2.2.2 功率电路

功率电路如下:

① 逆变电路:逆变器采用 MSK 公司生产的智能功率模块 MSK4301HD,其内部集成了 MOSFET 及其驱动电路,模块体积小且易于散热,可简化系统设计,提高可靠性。MSK4301HD 最大开关频率为 100KHz,死区可调,最大持续输出电流为 29A,最高供电电压 75V,RESENSE 引脚可串接电阻检测电流。

② 隔离电路:为实现控制电路和驱动电路、弱电和强电之间隔离,需要通过光电耦合芯片把控制电路的 PWM 信号转变成驱动器可识别电平信号。隔离电路通过 HCPL0630 搭建,其是 HP 公司的一款双路高速光耦,典型的脉冲上升和下降时间在 0.5 μ s 左右。

③ 泵升电压抑制电路:考虑到飞机起飞和降落过程中起落架受风速影响因素,专门为电机四象限运行控制设计了泵升电压抑制电路,采用半桥升压斩波原理实现电机制动^[7-9]。二极管采用 STTH2002,电压比较器采用 LM2903 芯片,比较输出信号通过控制功率管 IRFB4110 的开启,进行能耗电阻快速放电。

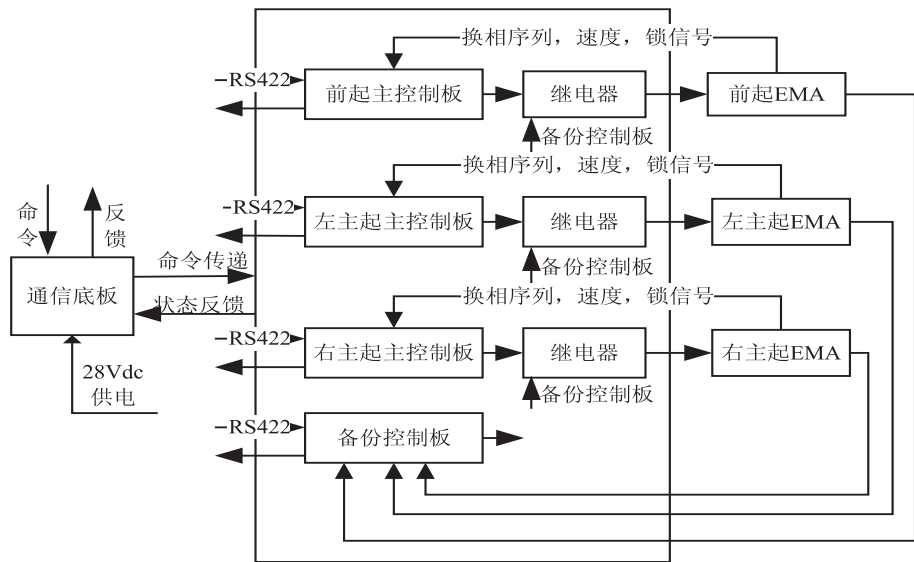


图 1 控制器原理图

说明如下:

① 通信底板 DSP 外围电路:通信底板 DSP 外围接口主要为 SCI 模块和 GPIO 电路。通信底板与主控机间采用 RS422 进行数据通信,选择四通道差分发送/接收芯片 DS26C32AMJ/883 和 DS26C31MJ/883。GPIO 电平转换芯片使用 LVCH16T245。

② 滤波模块:滤波器选择 WKF2803M,输入电压 16~40V,额定电压 28V,输出电压跌落小、效率高,且插入损耗 500KHz 时可达 30dB。

③ 电源模块:DC/DC 模块选择 WKI2805S-25 和 WK302812D-15,分别获得+5V 和 \pm 12V 电压,它们具有同步、禁止、过流/短路保护等功能,其余电压通过 LM1117 系列电源芯片由+5V 和+12V 转换获得。

④ 继电器切换电路:当主控制板出现故障时,备份控制板通过切换继电器获得其电机控制权。继电器采用四路转换型小型密封电磁继电器,其中 3 路为电机三相绕组的切换,第 4 路作为反馈信号。DSP 发出的切换信号通过 PC817 控制 IRF540N 的开启实现继电器的切换。

⑤ 霍尔滤波电路:电机霍尔传感器非常靠近变化的磁场和高 di/dt 变化的地方,因此,霍尔滤波电路显得十分必要。滤波电路采用施密特触发反相器 74HC14 和滤波电容的组合,可获得近似方波的良好信号。

⑥ 起落架应急放电路:若主控制板和备份控制板均发生故障,可启动爆破装置,使起落架上位锁开锁,在重力和复位弹簧的作用下完成下位上锁。三套起落架对应 3 套电爆管电路,每一套电爆管电路同时引爆

3 控制器软件设计

3.1 通信底板软件

通信底板 DSP 主要功能为接收主控机命令并向其反馈系统状态。通过 SCI-A 串口接收和发送中断完成与主控机通信。使用 CPU0 定时器周期采样控制板 GPIO 反馈,并定时使能串口发送中断,采样周期为 $50\mu\text{s}$,使能串口发送中断周期为 100ms 。控制板 GPIO 状态信息如表 1 所示。

表 1 控制板 GPIO 状态信息

4bit 反馈	0000	0001	0010	0011	0100
位置状态	心跳	上锁	下锁	收起	放下
4bit 反馈	0101	0110	0111	1000	1111
故障状态	上位锁	下位锁	电机	控制板	心跳

3.2 主控制板软件

主控制板软件按功能分为串口接收模块、电机驱动模块、状态反馈模块。

① 串口接收模块:使用 SCI-B 串口接收中断获取主机命令。

② 电机驱动模块: 电机电动运行采用 PWM_ON 调制方式^[10,11], 制动运行采用能量回馈制动控制方式, 速度调节采用增量式 PI 算法控制。为减小电机启动电流, 采用 50% 恒定占空比 PWM 波方式慢启动, 当速度稳定后, 便进行电动运行 (在正常载荷范围内, 电机转速始终低于预设值), 一旦速度达到预设值, 立即进行制动运行, 稳定速度, 实现平稳收放。同时, 在电机控制过程中, 实时检测电流 A/D 采样值, 若出现过流, 立即停止电机。起落架收放速度采用 M/T 测速法获得^[12]。整个控制程序在 T1 定时器周期中断中完成, 中断周期 50 μ s, A/D 中断也由 T1 定时器开启。

电机四象限驱动控制流程如图 2 所示。

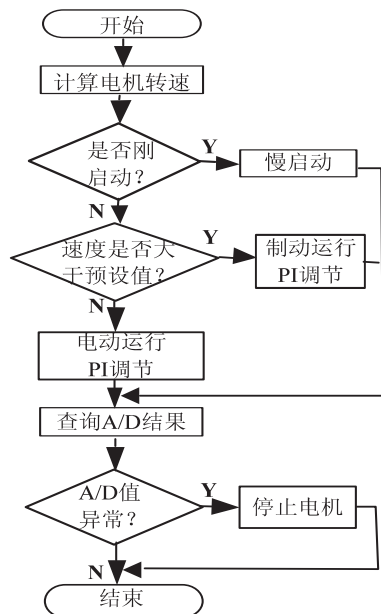


图2 电机四象限驱动控制流程

③ 状态反馈模块:如表 1 所示,状态反馈包括故障状态和位置状态反馈。采用分时反馈及反馈优先级策略,当有故障或是位置状态改变时,立即更新状态信息。状态反馈在 CPU0 定时器中断中完成,反馈周期为 1ms。

3.3 备份控制板软件

备份控制板在主控制板软件基础上增加了冗余控制功能,一旦替代主控制板,其软件功能与主控制板完全一致。按起落架主起先着陆原则,冗余控制优先级按左主起、右主起、前起依次递减。

以左主控制板为例,备份控制板对其冗余控制如图 3 所示。

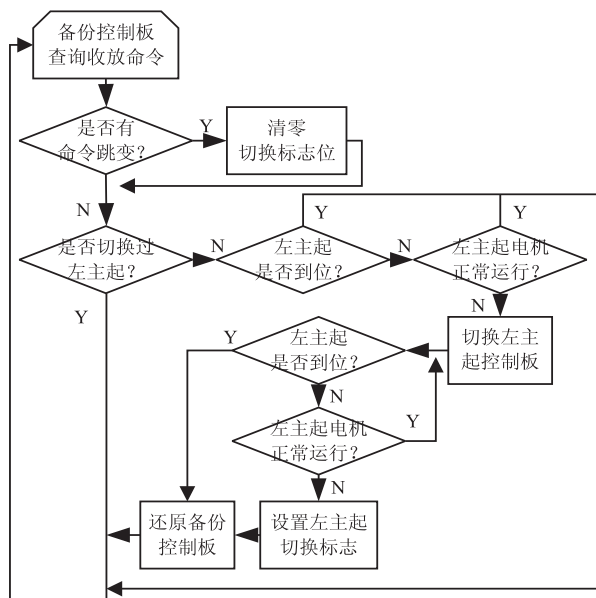


图3 备份控制板对左主起控制板冗余控制

4 实验验证

搭建实验平台对起落架全电控制器进行地面实验验证。无刷直流电机采用了 maxon EC-45 250W 系列电机,额定电压 28V 时,额定转速约为 160 转/秒,齿轮箱减速比为 53 : 1。EMA 主要参数为:行程 220mm,丝杆导程 5mm,最大输出力 8000N。在正常载荷(约 100kg)条件下,通过起落架收放实验,验证了小型飞机起落架平稳收放、准确上锁和冗余控制功能。

表2和表3分别给出了收放操作和冗余切换主要完成技术指标。

表2 收放操作主要完成技术指标

检测参数	技术指标	鉴定次数	鉴定指标
收起时间	≤16s	10	15.5s(最大)
放下时间	≤16s	10	14.9s(最大)
收起电流	≤10A	10	6.4A(平均)
放下电流	≤10A	10	4.0A(平均)
收-上到位	准确上锁	100	准确上锁
放-下到位	准确上锁	100	准确上锁

图 4 给出了在设计载荷 600kg 条件下,单个起落架收操作和放操作的电机四象限运行(预设转速 = 160r/s, $P = 0.125, I = 0.05$)转速实验数据,数据表明,该控制器有良好的速度控制效果。

表 3 冗余切换主要技术指标

检测参数	技术指标	鉴定次数	鉴定指标
前起切换	$\leq 1s$	100	$\leq 0.5s$ (正常切换)
左主起切换	$\leq 1s$	100	$\leq 0.5s$ (正常切换)
右主起切换	$\leq 1s$	100	$\leq 0.5s$ (正常切换)

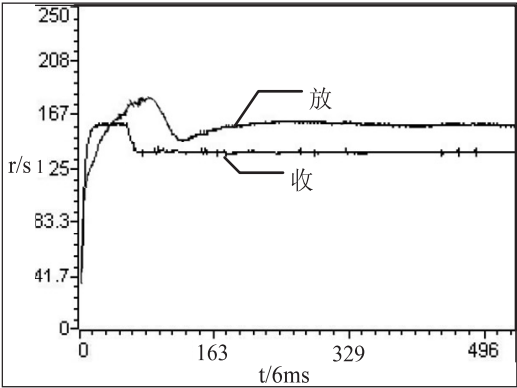


图 4 电机四象限运行转速

5 结束语

文中设计的起落架全电控制器,控制效果好,上锁准确,满足小型飞机起落架低功率收放控制实验要求,经过长时间的实际测试和运行,具有稳定性好、可靠性高的特性。另外,该起落架全电控制器具有很高的可扩展架构,在此基础上可实现更高的可靠性和更广泛的实用性。

参考文献:

[1] 孙继勇. 小型飞机起落架收放机电作动器研究[J]. 机电工程技术,2009,38(7):53-55.

[2] Verschoor M. The More Electric Architecture Revolution[J]. Aerotech magazine,2005,1(1):3-7.

[3] Lester F. Beyond the More Electric Aircraft[J]. Aerospace America,2005,47(6):35-40.

[4] 胡务农,刘 向,张玮萍. 非相似余度功率电传作动器研究[C]//中国航空学会 2005 年学术年会论文集. 北京:中国航空学会,2005.

[5] Janker P, Claeysen F. New Actuators for Aircraft and Space Applications[C]//International Conference on New Actuators. Germany:[s. n.],2006:14-16.

[6] Wijekoon T, Empringham L, Wheeler P. Dual-output motor control unit for an electromechanically actuated nose landing gear[C]//35th Annual Conference of IEEE. [s. l.]:[s. n.],2009:2563-2568.

[7] 刘 军,李金飞,俞金寿. 无刷直流伺服电机四象限运行分析[J]. 上海交通大学学报,2009,43(12):1910-1915.

[8] 张 毅,杨 林,李立明,等. 电动汽车无刷直流电动机的回馈制动控制[J]. 上海交通大学学报,2005,39(9):1457-1460.

[9] 季小尹,宋保维,严卫生. 牵引用永磁无刷直流电机的四象限运行控制[J]. 测控技术,2007,26(6):48-50.

[10] 徐科军,陈志辉,傅大丰. TMS320F2812 DSP 应用技术[M]. 北京:科学出版社,2010.

[11] 李 宏,徐德民,焦振宏. 永磁无刷直流电动机不同 PWM 调节方式比较[J]. 微电机,2005,39(8):67-70.

[12] 李昕奇,金 勇. 基于 DSP2812 的电动机测速方法的研究[J]. 测量与检测技术,2011,33(4):81-82.

(上接第 212 页)

2002,164(36):30-32.

[7] Smaros J, Holmstrom J. Viewpoint: reaching the consumer through grocery VMI[J]. International Journal of Retail and Distribution Management,2000,28(2):55-61.

[8] Luk W T, Shum K M, Cheng L M. Second-generation RFID[J]. IEEE Security & Privacy,2008,6(4):21-27.

[9] Brock D. The Electronic Product Code™ - A Naming Scheme for Physical Objects[R]. Massachusetts: Auto-ID Center, 2001.

[10] Brock D. The Compact Electronic Product Code™ - a 64-bit Representation of the Electronic Product Code™[R]. Massachusetts: Auto-ID Center,2001.

[11] Engels D W. EPC-256: The 256-bit Electronic Product Code™ Representation[R]. Massachusetts: Auto-ID Center, 2003.

[12] Zhang X, Hu T, Janz B D. Radio Frequency Identification: The Initiator of a Domino Effect[C]//The 9th Southern Associa-

tion for Information Systems Conference. [s. l.]:[s. n.], 2006.

[13] Duc D N, Lee H, Kim K. Enhancing Security of EPCGlobal Gen-2 RFID against Traceability and Cloning[C]//Proc of The 2006 Symposium on Cryptography and Information Security. Hiroshima: Institute of Electronics, Information and Communication Engineers,2006:17-20.

[14] Staake T, Thiesse F, Fleisch E. Extending the EPC network: the potential of RFID in anti-counterfeiting[C]//The 2005 ACM Symposium on Applied Computing. [s. l.]:[s. n.], 2005:1607-1612.

[15] Hoag J E, Thompson C W. Architecting RFID Middleware[J]. IEEE Internet Computing, 2006,10(5):88-92.

[16] Qadirand S, Siddiqi M U. Performance Evaluation of a Secure Low Level Reader Protocol (LLRP) Connection[J]. International Journal of Computer Science and Network Security, 2009,9(3):40-49.

小型飞机起落架全电控制器设计

作者: [包群民, 慕德俊, 张慧翔](#)
作者单位: [西北工业大学 自动化学院, 陕西 西安710072](#)
刊名: [计算机技术与发展](#)
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)
年, 卷(期): 2012(10)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjz201210056.aspx