

DOI: 10.3969/j.issn.1001-4551.2013.10.025

双核 DSP28335 飞控计算机的抗干扰设计*

罗秋凤¹, 李 勇², 高 振²

- (1. 南京航空航天大学 无人机研究院, 江苏 南京 210016;
2. 南京航空航天大学 自动化学院, 江苏 南京 210016)

摘要: 针对无人机(UAV)飞控计算机可靠性要求高而机载电磁环境恶劣的特点,提出了一套双TMS320F28335(简称DSP28335)架构飞控计算机的抗干扰设计方案。设计了双核的DSP28335母板,实现了40路I/O、16路A/D、6路PWM舵回路控制、15路串行接口的双MCU飞控计算机功能,简化了外设扩展接口的电路设计,并使CPU降额使用。通过单片的CPLD可编程逻辑芯片实现了全部译码、缓冲功能,并将接口逻辑电路进行了进一步简化。采用过压、欠压、硬件watchdog的设计方法增加了系统失控后自恢复能力;采用引脚滤波窗式的噪声抑制、边界保护技术提高了飞控计算机抗高频信号、超边界信号的干扰能力。通过模拟各类干扰信号验证测试,及整机12h的拷机试验,其结果表明,抗干扰措施有效,显著提高了飞控计算机在复杂电磁环境下的适应能力。

关键词: 无人机; 双核DSP28335; 抗干扰; 降额使用; 噪声抑制

中图分类号: TP212

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2013)10-1273-04

Anti-interference design for dual-core flight control computer based on DSP28335

LUO Qiu-feng¹, LI Yong², GAO Zhen²

- (1. Institute of Unmanned Aerial Vehicle, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing 210016, China;
2. College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: Aiming at reliability of flight control computer in the unmanned aerial vehicle(UAV) adverse electromagnetic environment, dual-core TMS320F28335(DSP28335) structure were designed. The dual-DSP28335 mother board was designed and a powerful flight control computer which had 40 channels(ch) I/O, 16ch ADC, 6ch PWM/CAP and 15ch serial interfaces was implement, MCU was derated, and the peripheral circuits were simplified. Its logic interface circuits were also simplified by the complex programmable logic device(CPLD) for all decoders and drivers. To increase the system self-recovery, over/under voltage monitor and hardware watchdog methods were proposed. Finally, pin-filter-window noise suppression and boundary protection technique were used to improve further the anti-interference for higher frequency signals and over the limit signals. Jamming signals simulation and 12-hour performance experiments results indicate that the above EMC considerations are valid, and the adaptability of flight control computer in complex electromagnetic environment is remarkably improved.

Key words: unmanned aerial vehicle(UAV); Dual-DSP28335; anti-interferencere; derating; noise suppression

0 引 言

随着无人机在现代战争领域的优势发挥,无人机系统的组成也日益复杂和庞大。典型无人机系统的基本航

电子系统包括发动机、遥测、遥控、GPS/GLONASS/BD、飞控、动力、电气共7个子系统,另外无人机平台上往往搭载各类侦查电子设备、数种电子干扰设备等任务设备,因此无人机系统中的磁信号干扰、高频电信号干扰呈现一

收稿日期: 2013-05-10

基金项目: 南京航空航天大学基本科研业务专项研究基金资助项目(NP2011006)

作者简介: 罗秋凤(1970-),女,江苏南京人,高级工程师,硕士生导师,主要从事无人飞行器自动检测与故障诊断方面的研究。E-mail:

YQWL2002@126.com

种在时间域、频率域、空间域上相互交叠的特点^[1]。

飞控计算机作为一种复杂电子设备,其内部存在大量高频信号,也会对其本身的正常工作产生影响^[2]。飞控计算机作为无人机系统的核心,在飞行过程中负责对姿态和航迹做出实时调整,并协调管理其他机载设备,其可靠性直接关系到飞行任务的成败。因此如何消除飞控计算机电源线、信号线的传导干扰,以及降低空间磁场、电场对飞控计算机的辐射与传导干扰,是飞控计算机设计与实现过程须考虑的问题^[3-5]。研究者必须提高飞控计算机在复杂电磁环境的抗干扰能力,从而提高无人机系统完成任务的可靠性。

飞控计算机抗干扰能力提高分别取决于其硬件平台与内嵌的飞行控制软件两方面的抗干扰设计^[6]。该飞控计算机内嵌的飞行控制软件是数型号成功应用的成熟软件,并且其抗干扰性属软件设计研究领域,因此这里不作阐述。本研究设计的 DSP28335 双核飞控计算机是一款新研的自主产权程度高、小型化、集成化强、成本低,并且硬件裁剪灵活方便的飞行控制平台,相对于依赖进口的货架硬件板卡为主的 PC104 型飞控计算机,新研产品的硬件抗干扰设计是主要的研究重点。

1 双核 DSP28335 飞控计算机

TI 公司面向控制领域的高性能浮点型数字信号处理器 TMS320F28335(简称 DSP28335)^[7],主频 150 MHz,内含 32 位单精度硬件浮点运算单元和 32×32 位硬件乘法单元。该双核飞控计算机基于双 DSP28335 架构设计,一核专用于导航信息的解算和传感器信息的综合处理,另一核专用于控制律解算和机载任务设备管理^[8]。双核架构片上接口资源丰富。另外系统在片外还扩展了 8 路模拟量输出(D/A)通道、8 路模拟量输入(A/D)通道和 8 通道异步串口。双核飞控机原理样机如图 1 所示。



图 1 双核原理样机图

ADDA 模拟量扩展板的所有模拟量通道,在与 DSP28335 的接口电路中都设计了硬件二阶低通巴特沃斯滤波电路,其应用于飞控计算机与模拟式位置陀螺、速率陀螺、舵机回路间的信号采集处理,滤除了信号中的高频随机干扰^[9]。

多串口扩展板是基于 RS422/RS485 或 RS232 的异

步串行接口,板上设计了两种模式的跳线,可根据无人机系统的外挂串行外设的信号传输特性而灵活设置。由于 RS422/485 为平衡差分传输,具有强抗干扰性和长传输距离,被众多的机载设备选为信号接口,如遥控、遥测、差分 GPS、惯导、大气数据计算机、磁航向等传感器等。

2 多种干扰设计

本研究通过电路结构的简化设计、内核 CPU 的降额使用、硬件看门狗(Watch dog)过/欠压状态的自恢复、外部输入引脚的滤波窗式噪声抑制、控制总线/接口信号的边界保护、屏蔽设计、按电路信号频率特点设置的多类接地等各种抗干扰措施,提高了飞控计算机复杂电磁环境下的可靠性,以下分别讨论。

2.1 简化降额原则的双核设计

DSP28335 具有丰富的片上资源,如图 2 所示。利用这些片上资源,飞控计算机可实现模拟式机载传感设备的 16 路信息采集,7 种串口制机载传感设备的通信与信息采集处理、40 路任务设备的离散口控制管理,以及 6 路舵机闭环控制(6 通道 PWM 舵机控制输入与 6 通道 CAP 的位置信息反馈)等功能,省去了大量外围扩展电路,仅双核的 CPU 就可以完成大多数无人机系统的飞控功能,达到了简化结构与降额使用目的。

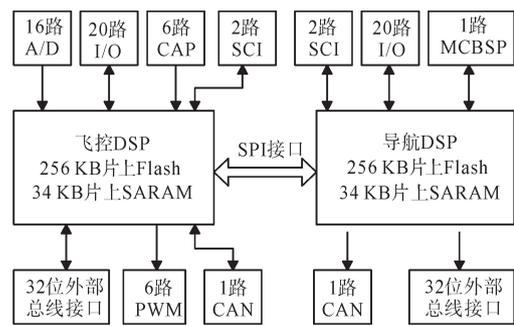


图 2 双 DSP 的片上资源配置

2.2 接口逻辑优化设计

本研究使用 CYPRESS 公司的 CPLD^[10] 芯片 CY37064P44-125JC 实现 DSP28335 与外扩资源 Flash、RAM、A/D、D/A、异步串行芯片等的接口驱动和译码逻辑,取代了驱动和整形的接口芯片、译码器、与非门等数字芯片;软件编程法即可实现接口逻辑的最佳时序匹配,并减少了集成电路芯片的种类和数量,电路简单,可靠性高。

该 CPLD 还用于实施飞控计算机的复位与中断源扩展电路的功能。

2.3 失控自恢复的设计

程序跑飞和系统掉电/欠压是飞控计算机最常见的两种失控状态,若不能及时发现并恢复,将带

来极严重的后果。因此本研究为飞控计算机设计了基于硬件看门狗复位和掉电/欠压复位的组合与门复位功能。同时配置了2 MB的并行Flash空间,以实时记录无人机的飞行状态,当复位发生后,DSP能够以单字读周期70 ns的速度将最后一次写入Flash的状态信息调出以供程序使用。

2.4 噪声抑制设计

DSP的输入引脚具有捕获高频信号的能力,某一时刻引脚状态确认是通过多次采样一致性情况来认定。研究者利用DSP输入引脚自带的采样机制,通过软件对每个输入引脚所接收信号的频率上限进行设定,可阻断高于该频率的噪声对DSP输入引脚的侵入。

借鉴DSP输入引脚的采样机制,研究者也为可编程逻辑芯片CPLD的每个输入引脚配置一个采样模块,当该输入引脚信号发生跳变时,立即启动采样功能。该方法有效避免了因高频噪声而导致的逻辑误判,进一步提高了CPLD逻辑运算的准确性和可靠性。

2.5 边界保护设计

对于系统中关键的控制信号,本研究使用CPLD进行电平转换,同时完成信号的整形与驱动。

对于DSP的外部总线,本研究使用TI公司双电源供电的隔离驱动芯片SN74LVC8T245进行隔离驱动后再与外扩芯片连接。

对输入至DSP的离散量,本研究均使用光耦芯片TLP521-4进行光电隔离;对DSP输出的离散量,本研究先经过SN74LVC8T245驱动,再使用固态继电器隔离。

2.6 屏蔽设计

本研究使用高导电率的屏蔽体制作飞控计算机的封闭式机箱,并将机箱壳体与无人机机体共地;飞控计算机与外部机载设备的通信电缆采用带屏蔽层的双绞电缆传输;供电电缆使用带有穿心电容的连接器的有效阻断静电干扰和电磁干扰进入飞控计算机内部。

2.7 多种接地设计

合理接地能够为电路确定精确的基准电位,并阻断由接地线侵入的噪声干扰。板间采用单点并接地。电路板的基准电位一致,板间不形成接地环路,并且等电势。板内数字电路采用覆铜技术,多点就近接地,以降低板内地平面阻抗;且每个地平面对其内的电路模块有屏蔽作用,可有效抑制板内模块间的静电干扰。

模拟地与数字地在单点通过铁氧体磁珠隔离,即阻断来自数字地回路的高频噪声,也确保模拟地与数字地等电位。

3 抗干扰实验室验证

3.1 失控自恢复的验证

本研究主要验证两项内容:①看门狗在定时周期内得不有效“喂狗”时,能否及时送出复位脉冲;②看门狗送出复位脉冲后,DSP能否正确复位并重新开始执行程序。

飞控系统一个完整的控制周期不超过20 ms,看门狗的定时周期设置为15 ms。每个控制周期执行两次“喂狗”操作,可保证看门狗不送出复位脉冲。该实验中不执行“喂狗”操作,故理论上每隔15 ms看门狗将送出复位脉冲。软件驱动I/O引脚产生周期为2.5 ms的方波脉冲,用示波器监测该I/O引脚即可获知DSP程序运行情况。

实验结果如图3所示,可得出复位脉冲高电平持续时间为15 ms,与理论分析一致;有效复位脉冲结束后,再经过5 ms(即DSP的启动时间),I/O引脚即送出周期为2.5 ms的方波脉冲;当复位脉冲再次到来时,I/O引脚状态立即过渡到复位状态,说明DSP能够正确复位并重新开始执行程序。

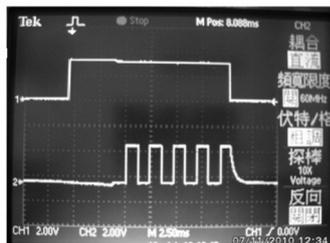


图3 看门狗复位的波形(每栅格宽度为2.5 ms)

3.2 噪声抑制的验证

实验时DSP28335的I/O1引脚送出频率可调的方波脉冲,I/O2脚对该脉冲采样,I/O3引脚将采样结果原样输出。采样窗口宽度设置为29.1 μ s。

信号脉宽低采样窗宽时噪声抑制图如图4所示,当输入引脚I/O1脉冲宽度(半个周期)为25 μ s时,因小于采样窗口宽度时,该信号被DSP视为高频噪声而没有被采样。图4中,示波器的每栅格宽度为50 μ s,上面是I/O3的输出波形,下面是I/O1的输出波形。

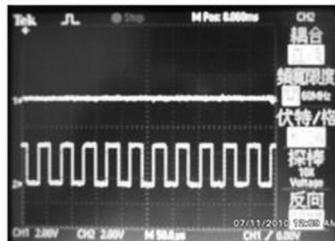


图4 信号脉宽低于采样窗宽时噪声抑制图(每栅格宽度为50 μ s)
信号脉宽高于采样窗宽时噪声抑制图如图5所

示,当 I/O1 输出方波脉冲的宽度(半个周期)为 $35 \mu\text{s}$,大于采样窗口宽度, I/O3 输出波形与 I/O1 一致,证明已将输入信号认作有效输入。由于理论上 I/O3 输出较 I/O1 有 $29.1 \mu\text{s}$ 的延时,已接近脉冲宽度,故 I/O3 与 I/O1 输出近似为反相。

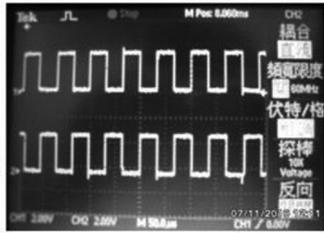


图5 信号脉宽高于采样窗宽时噪声抑制图(每栅格宽度为 $50 \mu\text{s}$)

3.3 双核飞控计算机性能验证

本研究使用 PC 机作为上位机,通过 RS-232 接口建立起上位机与双核飞控机原理样机的通信连接。由上位机发送指令,对原理样机的 I/O、A/D、D/A、COM 通道的接口资源进行包括启动、关断、修改工作模式等控制,原理样机运行相关程序支持上位机的控制操作。测试结果表明:同时启动 10 路离散量通道、8 路 PWM 通道、8 路 A/D 转换通道、8 路 D/A 转换通道和 4 通道串口,在 6 次每 2 h 的运行过程中,界面回显数据表明各通道符合设置的工作模式要求,各串口也无丢码或错码,双核飞控计算机性能稳定可靠。

4 结束语

本研究着重从飞控计算机处理器架构、电路简化、接口优化、失控自恢复、噪声抑制与接地等方面引入了富有特色的可靠性设计理念,整个系统的抗干扰设计

方案完整,工程实用价值进一步提高;相关的抗干扰设计理念在其他嵌入式系统中同样可以推广使用。

同时,本研究通过模拟程序跑飞、电源电压过压欠压、输入引脚高频等干扰信号验证了对应设计措施的有效性。进一步又通过硬件平台整体性能的长时间拷机测试,验证了平台整体的可靠性。随着后续飞控计算机投入工程应用,还需按国军标中有关电磁兼容性试验要求,进行数项电干扰、磁干扰的抗干扰能力测试。

参考文献(References):

- [1] 何 斌. 电子战无人机电磁兼容性设计[J]. 电子信息对抗技术, 2007, 22(1): 45-48.
- [2] 何 宏, 王云亮, 张志宏. 电磁兼容与印制电路板[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.
- [3] 郭 彪, 肖 军, 郑志伟. 影响靶机的电磁干扰及抑制方法研究[J]. 电子测量技术, 2010, 33(2): 32-34.
- [4] 张晓云, 陈 岳, 张 翼. 强电设备数字化改造中的抗干扰设计[J]. 机电工程技术, 2011, 40(8): 174-177.
- [5] 黄大庆, 李 勃. 无人机电磁兼容传导与辐射测试项目剪裁法[J]. 光学精密工程, 2009, 2(1): 380-387.
- [6] 杨柳庆, 肖前贵, 刘久富. 无人机飞控软件抗干扰设计[J]. 微计算机信息, 2008, 24(2): 52-54.
- [7] Texas Instrument Corporation. TMS320F28335 Digital Signal Controllers Data Manual [M]. Texas Instruments Corporation, 2007.
- [8] 高 振. 基于双 DSC 的无人机飞控计算机核心系统的设计与实现[D]. 南京: 南京航空航天大学自动化学院, 2011.
- [9] 罗秋风, 蒋孟浩, 王海涛. 飞行控制计算机采集处理系统的设计与实现[J]. 测控技术, 2010, 29(8): 30-34.
- [10] Cypress Semiconductor Corporation. Ultra37000 CPLD Data Manual [M]. Cypress Semiconductor Corporation, 2004.

[编辑: 李 辉]

(上接第 1205 页)

4 结束语

差压式液位变送器被广泛应用于秦山三厂核岛系统中,经过多年的运行表明差压式液位测量变送器测量方式具有结构简单、安装方便、便于操作维护、工作可靠、对被测容器破坏少等特点,有效地保证了测量信号的稳定性、准确性,在秦山三厂从没有因变送器信号失效而发生安全事故,为核电站安全稳定运行提供了有力的保障。

参考文献(References):

- [1] 向婉成. 控制仪表与装置[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.
- [2] 叶江祺. 热工测量和控制仪表的安装[M]. 北京: 水利电力出版社, 1992.

- [3] 沈英林. 热工仪表与自动控制技术问答[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [4] 张永德. 过程控制仪表及装置[M]. 北京: 机械工业出版社, 1987.
- [5] 李自平. CANDU6 型反应堆情况简介[K]. 国家核安全局, 1997.
- [6] 上海核工程研究设计院. 秦山三期重水堆核电站工程初步设计(第三卷核岛各系统)[R]. 上海核工程研究设计院, 1997.
- [7] 秦山第三核电有限公司. 秦山三期重水堆核电站 CANDU6 工程手册[K]. 秦山第三核电有限公司, 1994.
- [8] 钱 明. 智能电动执行器[J]. 自动化仪表, 1993(3): 23-25.
- [9] 周春晖. 过程控制工程手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 1994.
- [10] 陆德民. 石油化工自动控制设计手册[M]. 2 版. 北京: 化学工业出版社, 1984.
- [11] 朱继洲. CANDU 堆核电厂核岛系统及其运行[M]. 西安: 西安交通大学核电培训中心, 1998.

[编辑: 洪炜娜]