

文章编号:1002-2082(2013)02-0225-05

飞控系统控制信息自动采集处理模块与自测试设计

王 锐

(中国航空计算技术研究所,陕西 西安 710119)

摘 要:介绍一种机载飞控系统飞控计算机对各种控制信息(包括离散量、模拟量和串行数据)进行数字化控制、实时采集、监控和处理的接口模块设计方法,从工程应用角度出发,阐述了模块的设计思路以及工程实现,给出原理框图和测试流程。在某型飞机的实际应用中,实现了 32 路离散量输入输出、16 路模拟量输入输出、6 路 ARINC429 串行数据收发、4 路 ARINC422 串行数据收发以及 4 路 ARINC232 串行数据收发的功能,自测试覆盖率达 100%。因该模块的接口形式和接口数量可根据实际需要进行增减,故具有很强的典型性和通用性,可适用于各类型的机载飞控系统。

关键词:飞控计算机;接口模块;数据采集;自测试

中图分类号:TN202

文献标志码:A

doi:10.5768/JAO201334.0201007

Information automatic acquisition and processing module controlled by flight control system and self-testing

WANG Rui

(China Aeronautics Computing Technique Research Institute, Xi'an 710119, China)

Abstract: A design method based on the interface module of airborne flight control computers, which could realize digital control, real-time acquisition, monitoring and processing of various control signals (including discrete magnitude, analog quantity and serial data), was introduced. Focusing on the engineering application, the design idea and implementation methodology of the module were elaborated, as well as the self-testing, with the illustration of principle block diagrams and testing process. In the application of a certain air freighter, the module performed the functions of the input and output of 32 interfaces discrete magnitude, the input and output of 16 interfaces analog quantity, the transceiving of 6 interfaces ARINC 429 serial data, and the transceiving of 4 interfaces ARINC 232 serial data, with the coverage of self-testing reaching 100%. The flexibility of the form and the number of the module interface enables the adjustment in accordance with the actual application; therefore the module is featured with evident typicality and generality, which can be used in various types of airborne flight control systems.

Key words: flight control computer; interface module; data collection; self-testing

引言

如果说发动机是飞机的“心脏”,飞控系统就是飞机的“大脑”,随着飞机上飞控系统的综合化和集成化程度日益增高,既能快速高效地处理大

量数据,又具备良好的可测试性已成为现代飞控系统必备的性能^[1]。可测试性成为现代机载电子设备的一种重要设计特性,对各种复杂系统的维修性、可靠性和可用性有很大影响。传统的测试

收稿日期:2012-12-14; 修回日期:2012-12-20

基金项目:航空科学基金项目(20101931004)

作者简介:王锐(1986—),男,吉林松原人,助理工程师,主要从事机载控制计算机设计研究工作。E-mail:wcjrjy@163.com

主要是利用外部的测试仪器对被测设备进行测试,自动测试设备(ATE)是测试仪器的自动化产物^[2]。由于 ATE 操作复杂、人员培训困难,而且只能离线检测,所以,系统自测试在测试研究当中占据了越来越重要的地位,成为维修性、测试性领域的重要研究内容^[3]。现代飞控系统为了提高数据吞吐能力,放弃了传统的单纯使用模拟技术的设计方法,使用数字化的容错技术实现对计算机内各类功能模块的设计开发^[4]。本文介绍了一种飞控系统中飞控计算机内专门用于数据采集、监控和处理的接口模块的设计方法,并结合此模块对自测试设计进行了论述。

1 接口模块功能设计

根据飞控计算机数据信号的类型和特性,接口模块具备以下几种功能电路:离散量接口电路、模拟量接口电路和串行数据接口电路。在各电路中根据信号的处理方式可进行进一步地划分,离散量处理电路划分为离散量输入处理电路和离散量输出处理电路。模拟量处理电路划分模拟量输入处理电路、A/D 转换电路、D/A 转换电路和模拟量输出处理电路。串行数据处理电路划分为串行数据总线的接收电路和发送处理电路等^[5]。离散量、模拟量处理电路可通过计算机内总线同主处理模块进行通信,而串行数据处理电路采用智能模块同主处理模块通过共享存储器进行通信。图 1 为机载数字计算机接口模块与处理器的交联结构图。

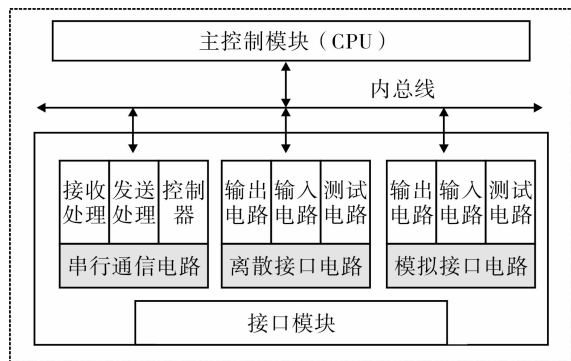


图 1 接口模块与处理器的交联结构图

Fig. 1 Crosslink structure of interface module and processor

2 离散量处理电路的设计与实现

离散量处理电路中离散量输入使用激励测试

的方式完成自测试,离散量输出使用回绕测试完成自测试。

2.1 离散量输入/输出处理电路

图 2 为离散量输入输出电路原理图。离散量输入分为外部离散量输入和内部离散量输入。外部离散量输入信号来自外部信号源和其他通道的信号。外部输入的信号经过一阶滤波,消除信号瞬变时的抖动。离散量输入处理电路分为 EMC 保护电路、状态检测电路和总线接口电路几部分。EMC 电路完成对输入电路的瞬态及过应力保护,状态检测电路完成离散量输入真假状态的鉴别并将其转换成 TTL 逻辑电平,总线接口电路完成处理器对信号状态的读取。

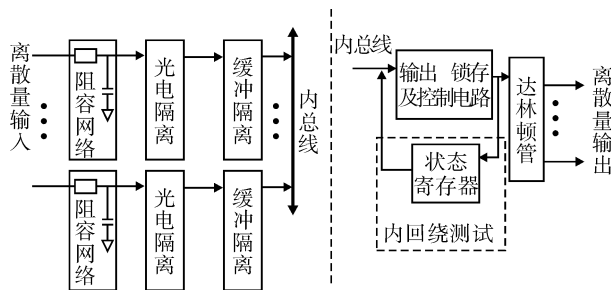


图 2 离散量输入输出原理框图

Fig. 2 Principle block diagram of discrete magnitude input and output

离散量输出处理由输出状态寄存器以及功率驱动/隔离电路等组成,输出状态寄存器寄存处理器的输出结果,功率驱动/隔离电路将输出状态寄存器输出的 TTL 电平进行变换,负载能力满足接口要求,并将其驱动的感性大负载与系统进行电气隔离,提高模块的电磁兼容能力。

图 2 中控制电路的作用是由处理器输出信号,最后经达林顿管改变电平并增加输出驱动能力,输出给外部设备或系统。另外为了增加模块的可测试性,对该部分的锁存及控制电路增加了内回绕测试功能,将锁存及控制的信号使用状态寄存器进行实时回读。

2.2 离散量处理电路自测试设计

离散量处理模块包括输入处理和输出处理两种功能电路。离散量输入功能的测试可通过施加激励信号验证离散量输入部分电路的正确性。离散量信号一般都为高电压、大电流的信号,在激励

测试特别是反向激励时注意电路接口的保护,离散量激励测试原理框图如图 3 所示。对外部输入信号处理电路进行激励测试时,激励信号的真假不依赖外部信号的状态,通过内总线发出的指令,经过数据锁存和光电隔离产生激励信号,最后通过多路开关选通送往某一路检测电路完成激励测试。

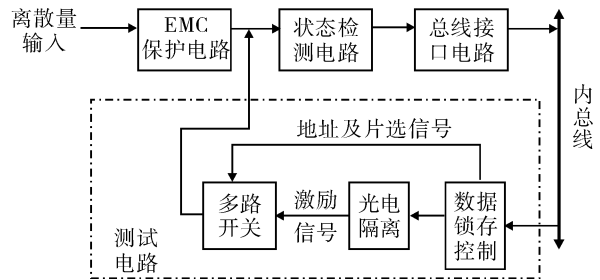


图 3 离散量输入激励原理框图

Fig. 3 Principle block diagram of discrete magnitude input excitation

离散量输出功能的测试可通过回绕测试实现,此方法可实现在线监控,但在设计时应考虑测试电路对正常输出电路负载能力的影响,输出回绕电路原理框图如图 4 所示。自检测结果判断与定位可通过软件和硬件两种方式实现,采用增加硬件电路进行判别会增加硬件复杂度并且又虚警率较高,因此自检测结果的判断与定位可通过系统自测试软件实现。

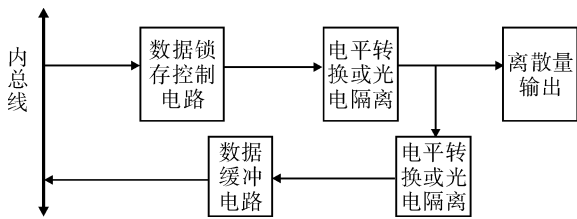


图 4 离散量输出回绕测试电路原理框图

Fig. 4 Principle block diagram of circuit for discrete magnitude output wrapping test

3 模拟量处理电路的设计与实现

模拟量处理电路划分为:模拟量输入处理电路、A/D 转换电路、D/A 转换电路、模拟量输出处理电路,输入输出功能电路的可测试性设计与离散量电路可测试性设计理念相同,通过输入激励测试和输出回绕测试对模块中的输入、A/D、D/A 和输出电路进行检测,并通过软件比较的方式判断电路的正确性。

3.1 模拟量处理电路

模拟量处理电路中,前端解调电路通过比例求差、半波整流和二阶滤波将交流模拟信号转换成直流模拟信号,多路选择电路将解调出的直流模拟信号经过电压跟随器送至比例求和电路,通过过压保护后,由 A/D 转换电路完成模拟向数字信号的转换。功能实现框图见图 5。

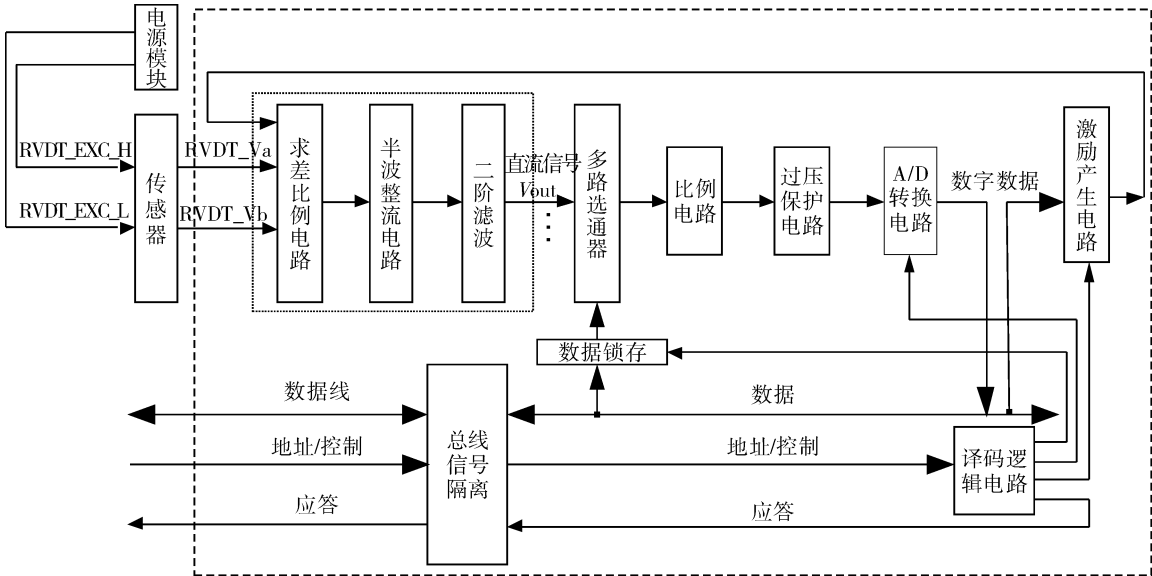


图 5 模拟量输入处理电路框图

Fig. 5 Principle block diagram of analog quantity input processing circuit

模拟量输出由专用的 D/A 转换芯片完成,根据实际需求,如需要输出模拟量数量和输出精度等,选择适合的芯片,本文选择的芯片是 AD664。

3.2 模拟量处理电路自测试设计

模拟量接口模块内设计激励测试电路用于对每一路输入信号路径进行检测。检测方法:模块自身的激励电路产生定量的与输入类型对应的模拟量信号加至正常的输入电路前端,再通过采集信号同激励原值进行比较判别出结果;模拟量输出回绕电路通过将输出端信号加至对应的正常输入电路前端,再通过采集信号同输出原值进行比较判别出结果。模拟量激励测试电路见图 6。

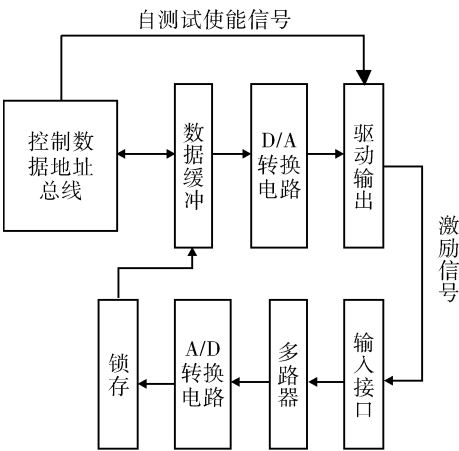


图 6 模拟输入激励测试电路

Fig. 6 Test circuit for analog input excitation

4 串行数据处理电路的自测试设计

飞控系统中较常用的串行数据处理电路有 ARINC429 串行数据处理电路、ARINC422 串行数据处理电路、ARINC232 串行数据处理电路等^[6-7],这些电路均采用专用的协议芯片实现数据的收发功能。

串行通信模块接口电路的测试由主处理器模块向串行通信模块发送测试指令,串行通信模块处理器完成对接口电路的测试(包括内回绕测试、外回绕测试),主处理模块通过读取测试结果判断串行通信模块接口电路的自测试是否正确。内回绕由串口协议芯片接收处理器指令后进行自测试,接口电路外回绕测试电路如图 7 所示。

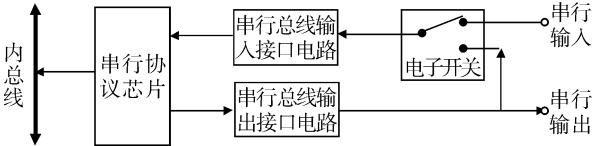


图 7 串行通信接口模块测试电路

Fig. 7 Test circuit for serial communication interface module

5 接口模块的自测试流程

接口模块的性能测试、故障诊断通过硬件测试电路和自测试软件共同完成,任务正常运行时应该确保激励电路不使激励信号加到输入端口干扰正常输入信号,安全的做法是使用计算机内部全局的“自测使能”信号禁止激励信号的输出。在自测使能有效情况下根据离散量信号特性,为保证测试的全面性需要对离散量输入、输出测试施加正反两种信号。当测试值与结果值一致时认为功能正确。根据模拟量信号的连续性和极性范围的不同,模拟量的输入输出测试需要施加零位值、正负极限值、正负中值共 5 种信号测试模拟量功能电路,当测试值与结果值在一定的门限范围内则认为功能正确,门限的定义根据模拟量精度而定。串行通信功能电路测试需要进行连续的发送与接收测试数据传输的稳定性和完整性,当测试数据与结果完全一致则认为功能正确。接口模块自测试流程如图 8 所示。

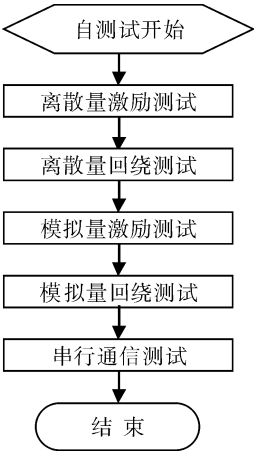


图 8 接口模块自测试流程

Fig. 8 Flow chart of interface module self-testing

该模块按照系统要求完成全部性能检测,满

足现代飞控系统综合化、集成化,既能快速高效地处理大量数据,又具备良好的可测试性需求。在计算机上电后,无需外接任何测试设备,只要发出指令启动上述自测试流程,使模块运行自测试程序,在 ms 级的时间内,即可完成模块各部分功能电路的全面检测,并可通过数据接口输出全部测试数据;在随机设置故障模式的自检测性能测试中,所有故障的检出率为 100%。相对于传统的分散式接口组件,系统的可测试性、可维修性、可靠性和可用性均得到了极大提高。

6 结束语

本文介绍了一种飞控计算机的接口模块,具备离散接口电路、模拟接口电路以及串行数据接口电路,各部分功能电路均具有自测试功能。本设计在实验室环境下通过软硬件综合进行了原理验证,并在某型军用运输机的飞控计算机中得到了实际应用,实现了 32 路离散量输入输出、16 路模拟量输入输出、6 路 ARINC429 串行数据收发、4 路 ARINC422 串行数据收发以及 4 路 ARINC232 串行数据收发的功能,满足飞控系统快速高效处理大量数据的需求,可很好地提升飞控计算机的数据吞吐能力。该接口模块的自测试覆盖率达到 100%,可以在没有外部测试设备的情况下实现对各部分功能电路的检测、故障定位以及故障告警,在实际装机应用中,无论地面维护性检测还是飞行前常规上电检测,测试面都可覆盖到所有功能电路。该模块具有很好的维护性和可测试性,有助于提升飞控计算机的整体维护性和可测试性。

参考文献:

- [1] 张明廉. 飞行控制系统[M]. 北京:国防工业出版社,1985.
ZHANG Ming-lian. Airborne flightcontrol system [M]. Beijing: National Defense Industry Press,1985. (in Chinese)
- [2] HAVERKORT B jn R. Fault tolerant computer systems [C]. Germany: Department of Computer Science, 2002.
- [3] 张汝麟. 飞机飞行控制系统的现状与发展[C]. 西安: 631 所,1993 .
ZHANG Ru-lin. Present situation and the development of airborneflight control system[C]. Xi'an: No. 631 Institute,1993. (in Chinese)
- [4] STAROSWIECKI M, WU N E. Concepts and methods in fault-tolerant control[C]. US:[s. n.],2001.
- [5] 宋翔贵,张新国. 电传飞行控制系统[M]. 北京:国防工业出版社,2003.
SONG Xiang-gui, ZHANG Xin-guo. Electronic transmission by airborne flight control system[C]. Beijing: National Defense Industry Press,2003. (in Chinese)
- [6] BOLDUC L P. Redundancy management system for the X233 vehicle and mission computer [C]. US: IEEE, 2000.
- [7] 邵高平. 系统级可测试性设计的研究[J]. 信息工程学院学报,1998,17(1): 12- 17.
SHAO Gao-ping. The Research of system level testability design[J]. Information engineering university Journal, 1998, 17 (1):12-17. (in Chinese with an English abstract)
- [8] 罗国庆. Vxworks 与嵌入式软件开发[M]. 北京:机械工业出版社,2003.
LUO Guo-qing. The Exploitation of Vxworks and embedded software[M]. Beijing: Machinery Industry Press,2003. (in Chinese)
- [9] 黎琼炜, 刘冠军, 陶俊勇. 组合导航系统的系统级 BIT 设计[J]. 测控技术,2003,22(7):12-17.
LI Qiong-wei, LIU Guan-jun, TAO Jun-yong. The system BIT design of integrated navigation system [J]. Measurement and Control Technology, 2003, 22(7):12-17. (in Chinese with an English abstract)
- [10] 温熙森,胡政,易晓山,等. 可测试性技术的现状与未来[J]. 测控技术,2000,19(1):9-12.
WEN Xi-sen, HU Zheng, YI Xiao-shan. Present situation and the development of testability design [J]. Measurement and Control Technology, 2000, 19(1): 9-12. (in Chinese with an English abstract)