

数据处理与信号调理组合系统设计

李秋芳, 徐宫健, 王 鹏, 魏 巍, 李凤颖, 郭照峰

(北京航天测控技术有限公司, 北京 100041)

摘要: 数据处理组合与信号调理组合是自动化测试系统的重要测试设备, 数据处理组合包括电源、控制器、DA 输出、AD 采集、数字 IO 信号处理、串行总线通信及 1553B 总线通信等几个部分, 目的是能够实现模拟量及数字量信号控制输出、模拟量及数字量信号采集监测、RS422 串行总线通信及 1553B 总线数据通信等基本功能, 模块化设计采用 PXI 总线架构形式, 优点是成熟稳定可靠并且能够支持扩展, 数据处理组合控制器接收指令与各功能板卡配合完成所需功能; 信号调理组合作为被测与数据处理组合的中间信号转接设备, 实现了数据参数的接口匹配及信号隔离等功能, 重点对信号调理电路及芯片进行了计算研究, 经实验测试实现了不同幅值的数字量信号和模拟量信号输入输出转换及不同转换比例的电压电流转换, 经实际应用满足了信号转换及隔离等功能。

关键词: 数据处理; 信号调理电路; 输入检测; 信号采集; 数据总线通讯

Design of Data Processing and Signal Modulation Combination System

LI Qiufang, XU Gongjian, WANG Peng, WEI Wei, LI Fengyan, GUO Zhaofeng

(Beijing Aerospace Measurement & Control Technology Co., Ltd., Beijing 100041, China)

Abstract: The combination of data processing and signal modulation is an important testing equipment of automated test systems, the data processing combination includes a power supply, a controller, a DA output, an AD acquisition, a digital IO signal processing, a serial bus communication, and a 1553B bus communication, which can realize the analog and digital signal control output, analog and digital signal acquisition and monitoring, RS422 serial bus communication, and 1553B bus data communication. The modular design adopts PXI bus architecture, it has the advantages of mature, stable and reliable and can support the expansion, receiving instructions of the data processing combination controller, and configuration board card to complete the required functions; The signal modulation combination, as an intermediate signal switching device for the test and data processing combination, achieves the data parameter interface matching and signal conditioning isolation, which focuses on calculating the signal conditioning circuit and chip. Through experiments, it achieves different amplitudes of digital signal and analog signal input and output conversion, realizes different ratios of the voltage and current conversion, and meets the signal conversion and isolation in practical applications.

Keywords: data processing; signal modulation circuit; input detection; signal acquisition; data bus communication

0 引言

数据处理组合与信号调理组合是自动化测试系统的重要测试设备, 配合完成被测系统的测控任务。PXI 总线系统的自动化检测技术已日趋成熟, 为了对如何实现稳定可靠的测试细节描述得更加详实具体, 从系统总体选型出发, 最后落实到调理电路设计芯片选型, 满足理论到实际应用的需求。整体系统采用机柜的结构形式, 将数据处理组合、信号调理组合放置在机柜内部, 统一上架, 设备之间的外部连接电缆固定在机柜内部。数据处理组合按照模块化、通用化、标准化便携式自动测试需求进行了设计选型, 信号调理组合内部进行了芯片的重新选型、调理电路设计实验, 保证了测试设备的高效可靠^[1-4]。

1 系统结构及原理

数据处理组合采用高成熟度、高可靠性、高稳定性的

PXI 总线结构, 实现了便携化、通用化的测试过程, 根据测试要求将满足功能要求的模块集成到数据处理组合中, 在测试中 PXI 总线控制机器人交互界面实现各功能测试及结果显示^[5-9], 系统总体如图 1 所示。

数据处理组合包括电源、控制器、DA 输出、AD 采集、数字 IO 信号处理、串行总线通信及 1553B 总线通信等几个部分, 能够实现模拟量及数字量信号控制输出、模拟量及数字量信号采集监测、RS422 串行总线通信及 1553B 总线数据通信等基本功能, 组合内采用 PXI 总线架构模块化设计^[10-13]。

信号调理组合与数据处理组合配合稳定可靠的完成测试任务, 信号调理组合完成数据处理组合与被测之间的接口转换匹配。主要功能如下:

1) 将数据处理组合发送的模拟电压信号转为电流信号发送给被测;

收稿日期: 2024-06-25; 修回日期: 2024-07-04。

作者简介: 李秋芳(1986-), 女, 硕士, 工程师。

引用格式: 李秋芳, 徐宫健, 王 鹏, 等. 数据处理与信号调理组合系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2023, 32(10): 269-276.

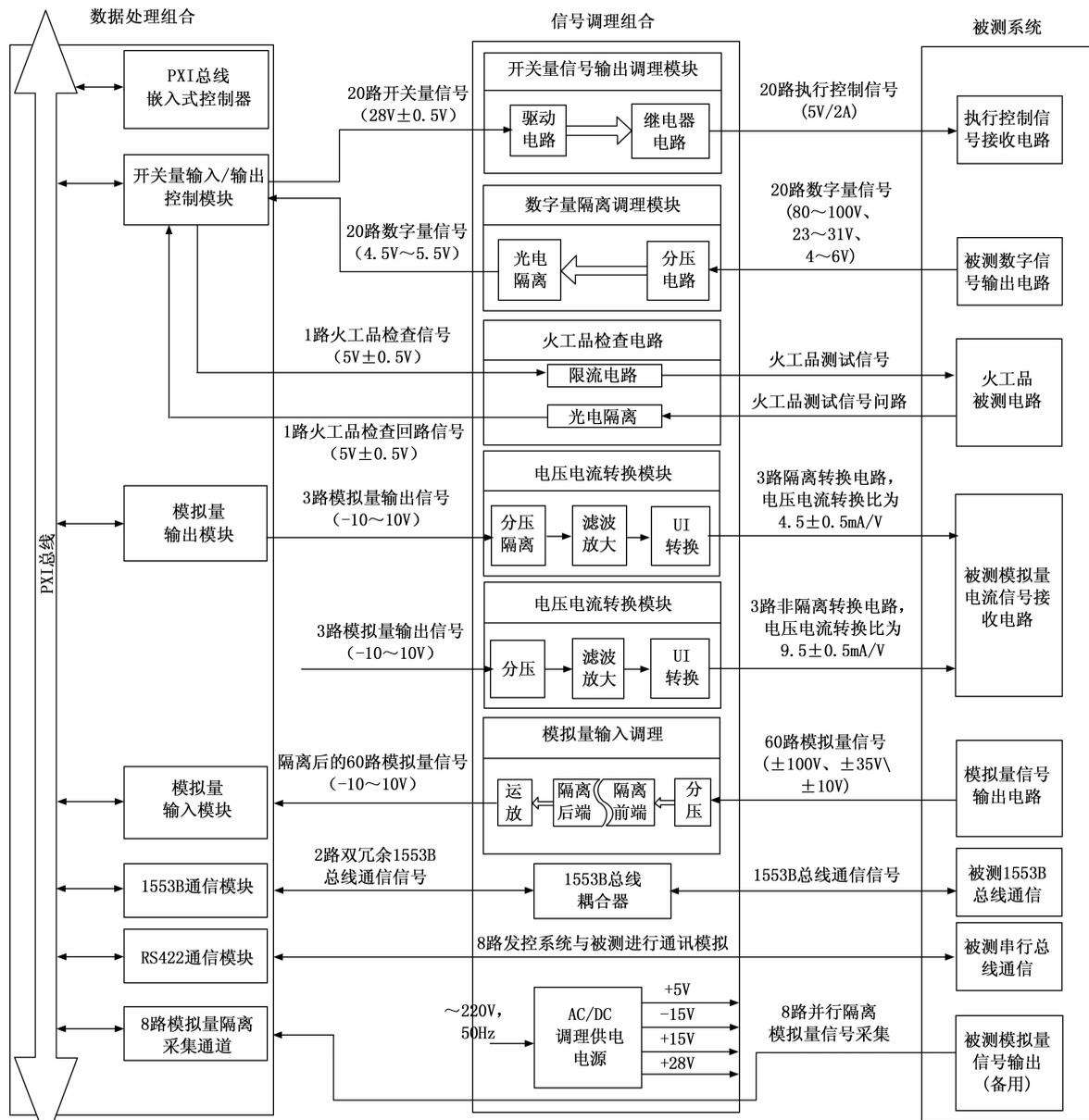


图 1 系统总体框图

2) 将被测下传的模拟量电压进行隔离和调理, 以便数据处理组合进行 AD 采集;

3) 将被测下传的状态量信号进行电压适配, 一边数据处理组合进行状态判断;

4) 根据数据处理组合状态控制指令分别进行导弹火工品检查或激活;

5) 数据处理组合的状态控制指令经过信号调理组合处理控制继电器动作;

6) 根据自身用电需求对输入的 220 V 交流电进行二次电源变化。

2 系统硬件设计

2.1 测试需求分析

数据处理组合需要实现开关量信号的输出、开关量信

号的输入、直流模拟量信号采集、模拟量信号输出与弹上系统进行 RS422 通信、1553B 通信。

1) 信号调理组合需要将被测对象传递的信号进行相应的调理, 转换为数据处理组合可以测量的信号类型。

2) 信号调理组合具有隔离功能: 需要根据被测要求完成信号的隔离测量, 达到将被测系统与数据处理组合进行电气隔离的要求。

3) 数据处理组合测量处理功能: 需要采用信号调理组合对隔离调理后的信号进行测量和数据处理。

4) 通信功能: 需要选用 RS422 模块、1553B 模块实现系统通信需求。需要具备标准 RS422 接口, 接收导弹发送的单工 RS422 数据; 同时需要具备 1553B 总线接口, 能够同时模拟 BM 和 RT。

5) 直流供电功能: 信号调理组合内部电源为调理模块供电。

2.2 功能分析

2.2.1 开关量信号输出

根据测试需求分析, 开关量信号经开关量输出模块输出到开关量信号输出调理, 经调理后输出到被测系统。

数据处理组合设计 32 路开关量信号输出通道, 信号调理组合设计 20 路开关量信号输出调理通道, 开关量输出调理模块负载电路电流大于 2 A, AC/DC 电源提供的 28 V 信号为调理板继电器、驱动电路供电。采用开关量输出模块输出 32 路 TTL 信号。

需要设计开关量输出调理板卡, 实现数据处理组合与被测系统隔离, 输出信号 TTL 形式, 并保证调理输出信号驱动电流不小于 20 mA。

2.2.2 开关量信号输入

数据处理组合设计 32 路开关量信号输入通道, 信号调理组合设计 20 路信号输入调理, 高电平时驱动能力为 $3 \text{ mA} \leq I_H \leq 10 \text{ mA}$;

表 1 电压转换

序号	输入电压范围/V	输出电压范围/V	通道数量/个
1	80~100	4.5~5.5	4
2	23~31	4.5~5.5	8
3	4~6	4.5~5.5	8

被测系统输出信号, 经开关量信号输入调理板调理(分压并采用光耦隔离电路实现与被测系统隔离)后, 转换后信号电压范围为 4.5~5.5 V, 输入到开关量输入模块判断, 开关量输入模块可采集 32 路 5 V 开关量信号。

需要设计开关量输入调理板卡, 选择适当的限流电阻, 实现不同幅值(4~6、23~31、80~100 V)数字量信号输入, 并保证调理板卡输出电流不小于 10 mA, 进入数据处理组合时的信号转换为共地 TTL 电平。

2.2.3 模拟量信号输入

信号调理组合模拟量信号共 60 路, 数据处理组合设计 60 路模拟量信号输入通道。模拟量信号需要先经过调理后被采集, 根据选用调理芯片输入要求需要将输入电压信号分压为 $-5 \sim +5 \text{ V}$, 然后经放大电路放大为 $-10 \sim +10 \text{ V}$ 后被模拟量输入模块采集。

表 2 输入信号转换表

序号	输入电压范围/V	输出电压范围/V	适配比例	通道数量/个
1	-100~+100	-5~+5	20:1	12
2	-35~+35	-5~+5	7:1	30
3	-10~+10	-5~+5	2:1	18

信号进入信号调理组合后, 由分压电路分压, 转换后信号电压范围为 $-5 \sim +5 \text{ V}$, 最后经过调理为 $-10 \sim +10 \text{ V}$ 后的信号进入模拟量输入模块由模拟量输入模块进

行采集。

模拟量信号为直流电压信号经过信号调理后由数据处理组合中模拟量输入模块测量, 采样频率默认为 40 Hz, 测量系统要与控制系统电气隔离, 输入阻抗大于 $2 \text{ M}\Omega$ 。

直流信号最多测量 60 路, 直流电压信号幅值从 $-100 \sim +100 \text{ V}$ 范围分 3 等级, 测量精度最高要求为 $\pm 2\%$, 采用单端输入形式, 需要经过 3 种分压等级的模拟量输入调理板卡, 调理电路需要具备分压、隔离功能(前级通道间隔离, 前后级隔离), 并保证输入阻抗大于 $2 \text{ M}\Omega$ 。转换后信号电压范围为 $0 \sim \pm 10 \text{ V}$, 进入数据处理组合模拟量输入通道, 通过软件处理得到直流信号实时当前值。

2.2.4 模拟量信号输出

数据处理组合中模拟量信号输出板卡输出 6 路模拟量信号, 电压范围为 $\text{DC} \pm 10 \text{ V}$ 。并按照下面转换比例进行转换, 经过模拟量信号输出调理模块后将 6 路电流传给被测系统。

3 路电压电流转换比为 $4.5 \pm 0.5 \text{ mA/V}$ 隔离电路, 输入电压: $\text{DC} \pm 10 \text{ V}$ 。

3 路电压电流转换比为 $9.5 \pm 0.5 \text{ mA/V}$ 非隔离电路, 输入电压 $\text{DC} \pm 10 \text{ V}$ 。

2.2.5 RS422 串口通信

RS422 串口通信需要 4 路, 模拟系统与导弹进行弹地半双工通讯。

2.2.6 1553B 通信

1553B 通信需要 2 路, 组合与弹载计算机、飞控装置进行通信。支持 BC、BM 和 RT 工作方式。

2.2.7 电源二次处理

直流供电信号分为调理板卡供电、弹上设备供电, 能在输入电压 $100 \sim 240 \text{ V}$ 、频率 $47 \sim 63 \text{ Hz}$ 情况下稳定工作;

调理模块供电需要: 5、 ± 15 、 $+28 \text{ V}$ 共 3 路, 功率大于 450 W。

2.3 系统组成结构

数据处理组合为: PXI 机箱、PXI 控制器、RS422、1553B 总线、模拟量信号采集模块、模拟量信号输出模块、开关量输入输出模块等。信号调理组合为: AC/DC 供电电源模块、电压转电流调理模块、模拟量输入调理模块、模拟量输出调理模块、开关量输入输出调理模块等。

数据处理组合模拟量输入非隔离通道 32 路, 单独隔离通道 8 路, 模拟量输出通道为 6 路, 数字量输入输出均为 32 路。信号调理组合 60 路模拟电压隔离, 20 路数字量输入输出隔离通道。

2.3.1 数据处理组合设计

数据处理组合选用 18 插槽 PXI 总线机箱、PXI 嵌入式控制器、PXI 总线开关量输入/输出控制模块、PXI 模拟量非隔离输入模块、PXI 模拟量隔离输入模块、PXI 模拟量输出模块、RS422 总线通信模块、1553B 总线控制器模块。

2.3.1.1 PXI 机箱

根据配置的 PXI 板卡的数量,同时考虑方便以后扩展,机箱选择北京航天测控技术有限公司的 18 插槽 PXI 总线机箱 AMC58105B。600 W 输出功率、220 V 交流输入、高性能电源,符合 PXI Rev.2.2 规范,支持 3U PXI 和 CPCI 模块,具备 10 MHz 同步时钟输入/输出功能,支持不同 PXI 总线段之间的触发路由,具备机箱状态检测功能、风扇可调速,具备远程监控功能以及远程开机功能,环境适应性符合 GJB3947-2009 规范中 3 级设备标准,安全性符合 GB4943.1-2011 规范,外形尺寸:深(464 mm)×高(177 mm)×宽(446 mm),重量:≤15 kg,工作温度:−10~+55 °C,储存温度:−40~+70 °C。

2.3.1.2 PXI 控制器

PXI 控制器通过运行控制软件解析指令并将判断结果传给 PXI 总线控制板卡底层函数,实现稳定可靠的信号传输和模块管理功能^[17]。

选用 PXI 控制器 AMC-4198,具体性能指标如下:2.1 GHz 四核 Intel® Core™ i7-3612QE 处理器,标配 120 GB SLC 颗粒高可靠宽温抗震固态硬盘,可扩展至 500 GB,标配 4 GB 1 600 MHz DDR3 宽温内存,最大可扩展为 16 GB,4 个 USB3.0 端口,兼容 USB2.0 标准;双千兆以太网口、双串口及其他外设支持高级 PXI™ 触发功能的触发 I/O,可编程的看门狗定时器功能,操作系统支持 Win7/Win10 选配。

2.3.1.3 开关量输入/输出控制模块

开关量输入/输出控制模块将被测系统的测试点引入测试仪器,或将激励信号加到被测系统的输入端,给被测提供激励信号、电源等,在自动测试设备中具有十分重要的作用^[18]。

选用公司自研 AMC4503D,是一款基于 PXI 总线的 32 通道数字量输入,32 通输入量输出模块。模块实现了输入通道与输出通道的隔离。其中输入通道采用光耦输入,以 8 通道一组,实现组间隔离。输出通道采用 OE 输出模式,以 8 通道一组,实现组间隔离,最大输出电流可达 40 mA。该模块输入通道支持数字滤波器功能,并可以实现输入状态的检测。输出通道支持可编程上电功能和看门狗功能,保证了模块输出的可控性。可广泛应用于工业控制系统,自动化生产测试系统和用于继电器的通断控制驱动。

2.3.1.4 模拟量输入模块

模拟量非隔离输入模块选用 32 通道 PXI 模拟量输入模块 AMC4321D。AMC4321D 是一款 48 通道全差分输入,高 ADC 分辨率的扫描 AD 模块。每通道量程可独立设置,并支持 DMA、中断、可编程 IO 等传输方式,板载 32 MSa 存储器,可保证数据不间断存储和传输;同时还提供 48 Sa 板上 RAM 存储器,用以监测各通道的当前值。

模拟量隔离输入模块是 8 通道并行 AD 采集模块 AMC4324C。AMC4324C 是一款基于 PXI 总线的 8 通道全差分输入隔离并行 A/D 模块。模块采用数字隔离技术实现

通道间隔离,模拟通道与背板总线隔离,可实现 8 通道模拟信号的高速、高精度数据采集。每通道配备独立的 16 bit 分辨率 ADC,最高采样率达 1 MSa/s。内部配备 8 通道共享的板载存储器,最大可实现 32 M 采样点的大数据量本地缓存,降低对总线带宽的依赖。

2.3.1.5 模拟量输出模块

选用公司自研 AMC4401D 是一款基于 PXI 总线的 16 位 16 通道隔离模拟输出模块。模块采用数字隔离技术实现前 8 通道与后 8 通道间隔离和模拟通道与背板总线隔离;每通道配备独立的 16 bit 分辨率 ADC,可以实现电压输出或电流输出;模块由于完善的过压保护和电流开路报警功能。

2.3.1.6 RS422 总线通信模块

RS422 串口模块负责组合与弹载计算机通信需求。RS422 串口通讯模块选用 AMC5214C,8 通道独立光电隔离,最大隔离电压 1 000 Vrms,波特率≤921.6 kbps 向下编程,数据缓冲区接收 128 000 kB(8 通道共用,程控任意分配),发送 16 kB,总线标准 RS232/RS422/RS485 可选,程控可选校验方式奇/偶/全 1/全 0/无,程控可选数据字长 6/7/8 bit 程控可选停止位 1 bit/2 bit,可选终端匹配电阻 120 Ω 跳线可选,最大传输距离:15 m(RS232)/1 200 m(RS422/RS485)。

2.3.1.7 1553B 总线控制器模块

选用自研模块 AMC5207A 是基于 PXI 总线的双通道多功能 1553B 总线通讯接口模块,经多方应用验证具有可靠性高、容错能力强等优点。AMC5207A 可同时模拟仿真总线 BC(总线控制器)、31 个 RT(远程终端)和 BM(总线监视器)工作方式,支持包 AMC5207A 双通道多功能 1553B 总线通讯模块括 BC→RT,RT→BC,RT→RT,广播以及模式码等消息格式。采用双通道独立硬件通路的设计思路,在 3U PXI 模块空间上实现同时测试仿真两个真实的多功能 1553B 设备^[19]。

2.3.2 信号调理组合设计

信号调理组合对数据处理组合与被测系统之间的信号进行调理隔离,保护数据处理组合的同时满足其测试范围。完成被测系统大部分信号到 PXI 模块的信号转接,根据测试需要,定制化设计信号调理电路。信号调理组合的一端连接被测设备通用测试接口,另一端连接数据处理组合电缆插头^[20]。

2.3.2.1 开关量信号输出调理设计

开关量输出信号调理板卡用于执行控制模块输出信号,实现输出 2A 开关量输出控制信号。板卡电路设计主要分为供电电路设计、放大驱动电路及开关输出电路 3 部分。电路原理如图 2 所示,驱动电路选用达林顿管,继电器选用贵航 JZC-064M 电磁继电器,AC/DC 电源输出 5 V、28 V 电压信号。

2.3.2.2 数字量隔离调理模块设计

数字量隔离调理模块用于采集电压范围 16 路数字量状

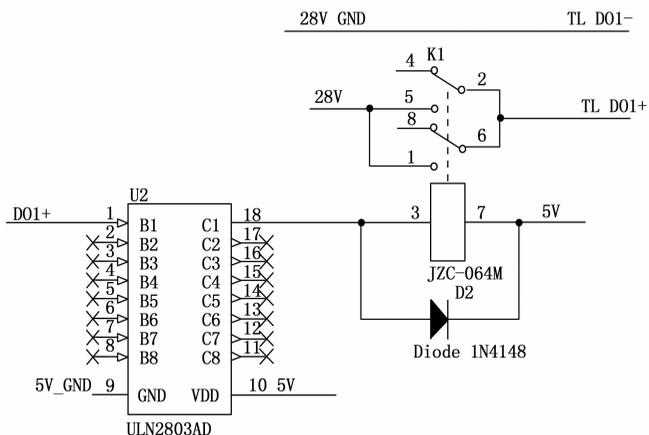


图 2 开关量输出调理设计电路图

态信号, 实现信号隔离采集、状态适配功能。数字量隔离调理模块电路包括分压电路、隔离电路及隔离电源等部分组成。电路原理图 (不含分压电路部分) 如图 3 所示, 调理电路使用光耦 HCPL-5231 实现数字信号转换到 5 V 信号。

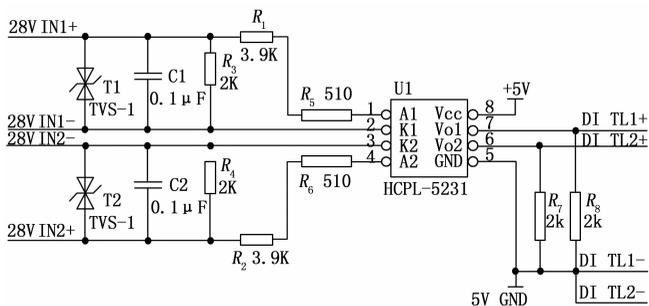


图 3 数字量隔离调理模块电路示意图

2.3.2.3 模拟量信号输入调理设计

直流模拟信号输入包括 $0 \sim \pm 10 \text{ V}$ 、 $0 \sim \pm 35 \text{ V}$ 、 $0 \sim \pm 100 \text{ V}$ 共 3 种电压类型模拟量, 信号进入信号调理箱后, 由分压隔离放大调理电路调理, 调理后的信号进入 PXI 数据处理组合的模拟量输入模块进行采集。电路原理如图 4 所示。

所示。

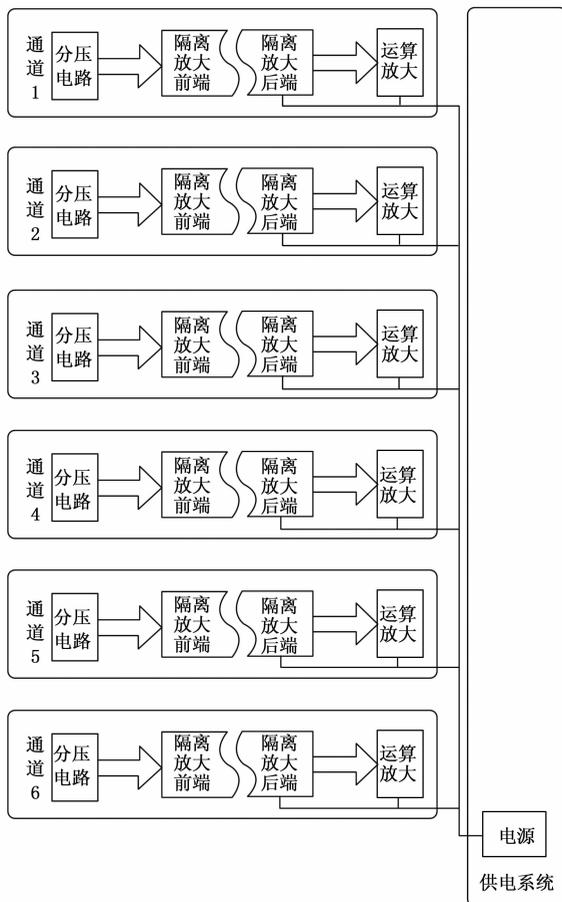


图 4 模拟量输入调理模块原理框图

6 个通道采用同一个背板电源为隔离放大器和后级电路供电, 隔离放大器选用内部自带隔离电源的器件 AD202 实现, 能够为隔离前端供电, 既保证了通道前后端隔离, 又避免了为每个通道单独设计隔离电源。

模拟量输入调理模块由分压电路、隔离放大电路、运算放大器电路以及供电系统, 单通道原理如图 5 所示。

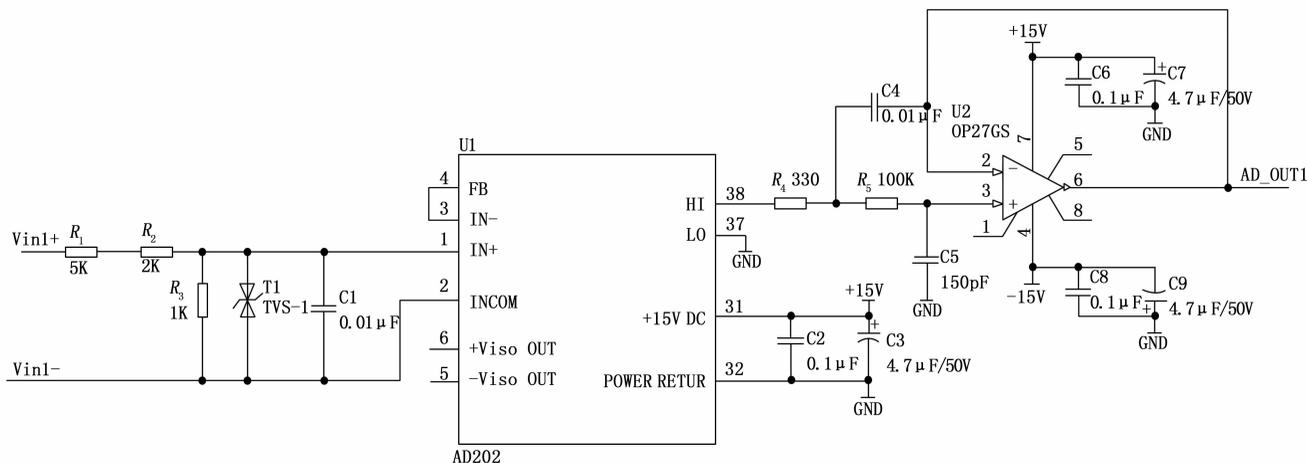


图 5 模拟量输入调理电路

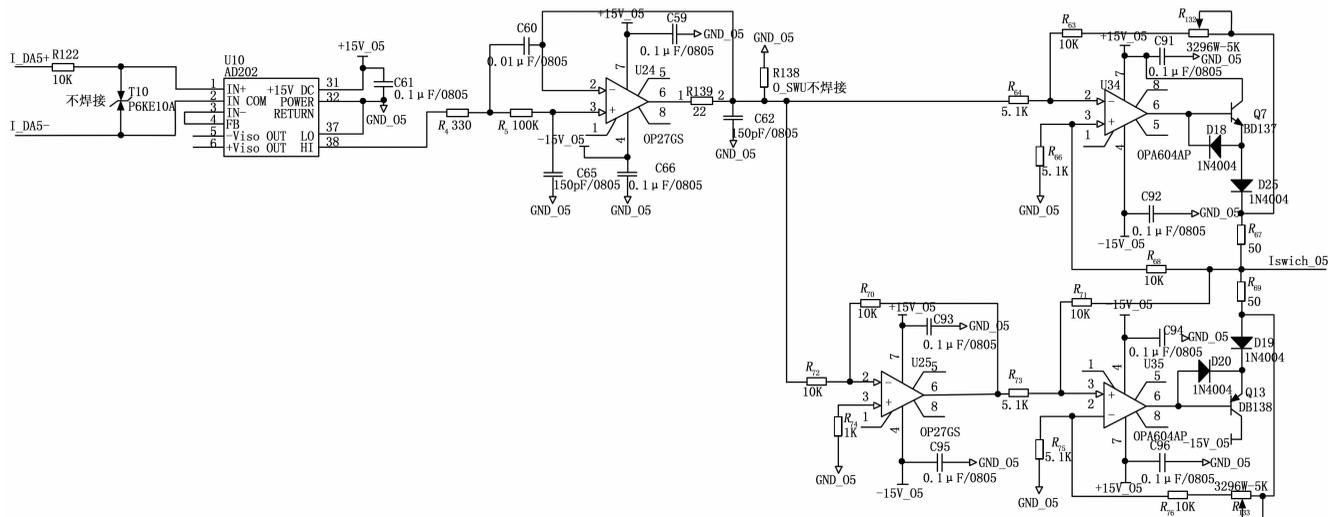


图 6 UI 转换电路 1

2.3.2.4 电压电流转换模块设计

电压电流转换模块实现模拟量信号 $-10 \sim +10 \text{ V}$ 隔离调理, 按照电压电流转换比例转为电流的过程。因为选用 AD202 实现模拟量信号隔离, 后经滤波、UI 转换电路实现电压电流信号转换。电流信号输出控制开关控制由 PXI 总线 DA 模块实现。

10 W。电压电流转换模块 2 块, 共需 20 W。

信号调理组合模拟量调理与开关量调理共需不少于 155 W。组合电源在设计上考虑到后续扩展需要, 在满足小体积及轻重量的设计前提下, 尽量预留足够的输出功率。

2.3.2.6 手动控制面板

前面板配有电源控制按钮, 实现手动开关电源。

2.4 结构设计

选用的 PXI 机箱高度为 4U, 宽度为 445.5 mm, 深度为 435 mm, 信号调理箱高度为 5 U, 深度为 450 mm, 均为标准上架机箱。

根据 PXI 机箱和调理箱的高度, 机柜选用 19 U 标准网络机柜, 其规格为: 宽 (600 mm) \times 深 (600 mm) \times 高 (800 mm), 安装架为标准 19 英寸机架, 机柜稳定牢固, 有通风孔和散热风扇, 机柜后部内壁两侧设有电缆走线槽。机柜前面板无机箱的位置用盲板装饰。机柜前后外观如图 8 所示。

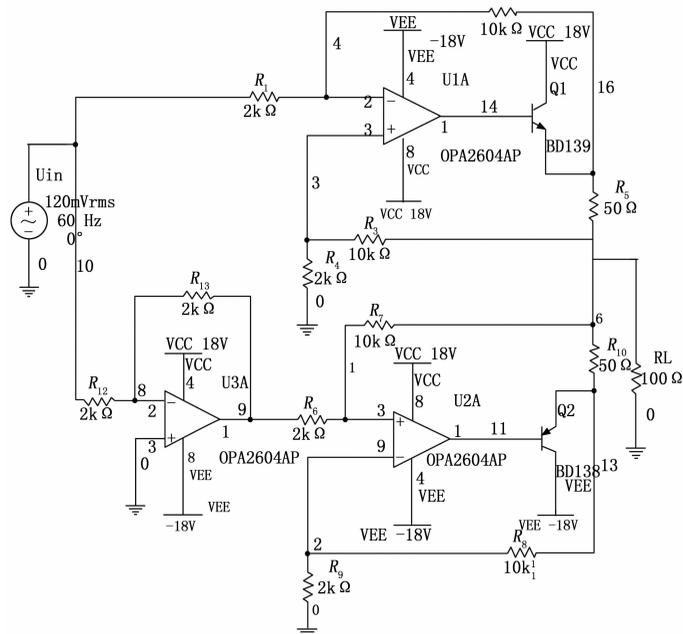


图 7 UI 转换电路 2

2.3.2.5 信号调理组合供电电源

信号调理组合内部包含电源模块, 电源模块为箱内的调理板卡提供 5、 ± 15 和 28 V 供电。

电源需要为 11 块模拟量调理板卡供电 15 V 电源, 单板最大 5 W, 共需 55 W。需要为 6 块开关量调理输出调理模块提供 5 V 供电, 共需 70 W。2 块数字量隔离调理模块,

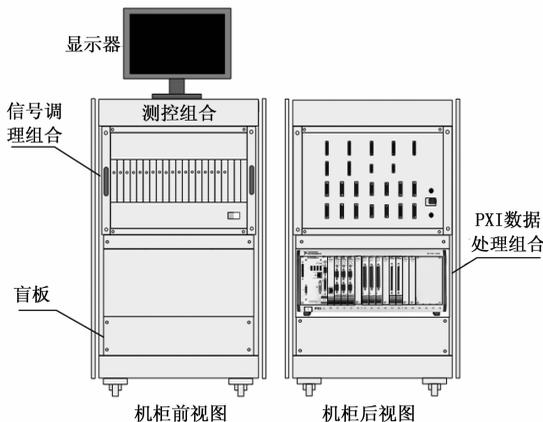


图 8 设备结构示意图

3 系统软件设计

软件主要完成两大功能, 一是 32 路开关量信号输入输

出, 60 路模拟量采集功能, 信号电压范围为 $0 \sim \pm 10 \text{ V}$, 进入数据处理组合模拟量输入通道, 通过软件处理得到直流信号实时当前值; 二是 RS422/1553B 通讯功能, 将电压电流等信息传输给被测。

测控组合软件分为板卡驱动软件和应用层软件, 板卡驱动软件对 PXI 底层板卡进行封装、读写操作, 应用层软件存放测试过程中的数据, 并与主控进行数据通信, 以便主控解析、处理、显示数据^[21]。

3.1 系统自检

如图 9 所示, 对系统内装配的控制器及所有 PXI 模块进行自检, 并将自检的整个流程反馈结果传送给主控计算机, 结果包括所有板卡的运行状态、地址、PXI 总线运行状态以及自检结束时间。

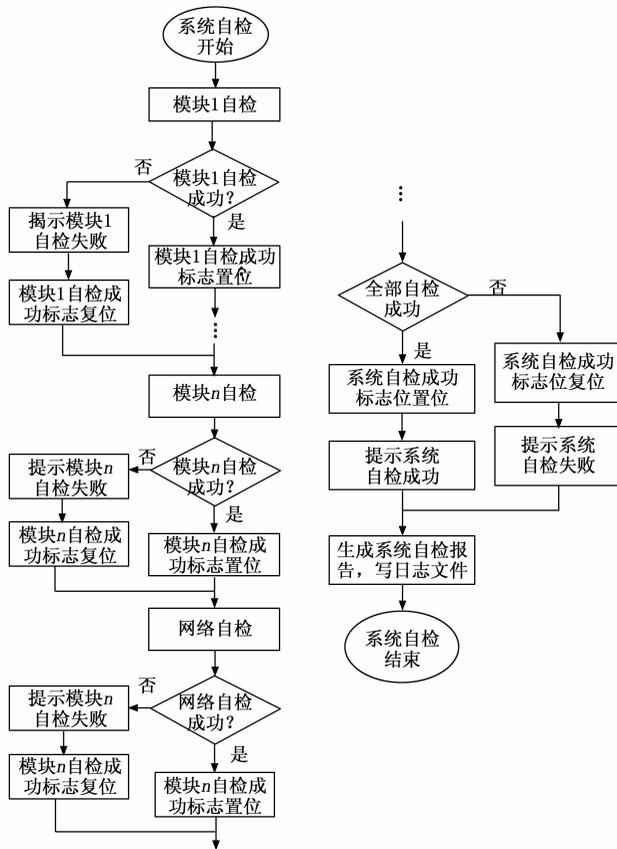


图 9 自检流程图

各模块驱动识别安装后默认进行初始化, 系统调用自检函数进入自检流程, 对自检不成功的模块进行提示并将该模块自检成功标志复位, 可以选择模块检查修复后重新进行自检操作。

3.2 系统启动及关闭

软件自检启动及关闭根据 PXI 总线通信协议、设备驱动以及软件架构设计, 系统启动时软件通过总线与硬件通信, 检测各设备状态并加载驱动。系统关闭时软件按照预设的顺序依次关闭设备保证系统安全退出。

3.3 指令执行

指令执行功能主要包括后端指令的接收、解析和执行等功能。其中指令接收是指能够对后端软件发送的指令进行监听, 并将指令以队列的形式进行存储。指令解析是将指令从指令队列中逐条取出并进行解析。指令执行根据解析的结果, 完成对相应仪器的控制, 能将指令执行结果回传给后端软件, 并判读显示对应的指令是否成功。

3.4 参数配置

系统中控制软件运行时需要对模块进行参数配置。提供直观的界面进行 A/D 模块、D/A 模块等测控模块的通道数和运行时参数的配置管理。RS422 通信模块自检正常后, 软件根据配置的参数接收解析数据。

3.5 日志管理

日志管理存储 TXT 格式文件, 日志存储功能能够记录指令执行的过程以及执行的结果, 方便用户日后查看。

4 实验结果与分析

数据处理组合要实现开关量信号的输出、开关量信号的输入、直流模拟量信号采集、模拟量信号输出与被测系统进行 RS422 通信、1553B 通信。采用开关量输出模块输出 32 路 5VTTL 信号用示波器测试可见上电至输出延时 200 ms 左右; 开关量输入模块可采集信号调理组合将弹上系统输出信号转换为电压范围为 $4.5 \sim 5.5 \text{ V}$ 的信号, 开关量输入模块进行判断, 用万用表测试输出电流驱动能力可达 12 mA 左右; 模拟量输入信号最多测量 60 路, 直流电压信号幅值范围分 $-100 \sim +100$ 、 $-35 \sim +35$ 、 $-10 \sim +10 \text{ V}$ 共 3 个等级, 测量精度最高要求为 $\pm 2\%$, 采用单端输入形式, 需要经过 3 种分压等级的模拟量输入调理板卡, 调理电路需要具备分压、隔离功能 (前级通道间隔离, 前后级隔离), 并保证输入阻抗大于 $2 \text{ M}\Omega$, 转换后信号电压范围为 $0 \sim \pm 10 \text{ V}$, 进入数据处理组合模拟量输入通道, 通过软件处理得到直流信号实时当前值, 经过实际采集计算显示结果精度在 $\pm 2\%$ 以内; 由数据处理组合中高精度模拟量信号输出板卡输出 6 路模拟量信号, 电压范围为 $\text{DC} \pm 10 \text{ V}$, 经测试 3 路输出电流 50 mA 以内满足电压电流转换比为 $4.5 \pm 0.5 \text{ mA/V}$ 隔离电路, 3 路输出电流 100 mA 以内满足电压电流转换比为 $9.5 \pm 0.5 \text{ mA/V}$ 非隔离电路。

本系统采用 PXI 总线式数据处理组合加信号调理组合模式, 其中 PXI 板卡及各类信号调理模块在测试系统中使用, 经历了恶劣环境的考验, 质量可靠。

5 结束语

本文介绍了数据处理组合与信号调理组合配合实现信号输入输出功能的详细设计方案, 分别对数据处理组合与信号调理组合脉络清晰地进行了功能及组成说明, 根据实际功能不同, 从功能分析着手模块选型细化到针对性的信号调理电路设计, 严格按照要求选定了 PXI 成熟模块并实现了信号调理电路模块化设计, 所有模块均独立安装在组

合机箱内,并在整体布局上进行了合理的摆放,避免遮挡,如果其中一个组件出现故障,只需更换相应的组件即可,因此对内部组件的更换可以快速完成。

参考文献:

- [1] 郑 铖, 杨 星, 李 鑫, 等. FPGA 的 PXI 总线多路数据采集板卡设计 [J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2023, 8: 71-74.
- [2] 高志强, 苗克坚, 张雯璐. 弹载计算机 1553B 总线测试模块设计 [J]. 计算机测量与控制, 2008, 16 (9): 1280-1283.
- [3] 白宏义. 基于 FPGA 的 PXI 通信板卡设计与实现 [D]. 太原: 中北大学, 2020.
- [4] 黄灿杰, 毛 凯. 基于 FPGA 的 PXI 数据采集系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2006, 14 (1): 123-124.
- [5] 高 亢, 齐 鑫, 纪 皓, 等. 基于 PXI 总线的导弹自动测试系统设计 [J]. 工业控制计算机, 2018, 31 (11): 1-2.
- [6] 秦 亮, 张文广, 刘生华, 等. 基于总线技术的实时通信方法研究与应用 [J]. 计算机测量与控制, 2018, 26 (11): 185-188.
- [7] 邢 正, 刘亚斌, 徐志跃. 基于 PXI 总线飞控组件综合测试系统设计 [J]. 电子设计工程, 2019, 27 (10): 54-59.
- [8] 张 尊. 某型空空导弹飞行控制组件综合测试系统设计 [J]. 河南科技, 2019, 7: 28-29.
- [9] 蔡东生. 某航空电子产品测试设备的设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (7): 1589-1591.
- [10] 徐海运, 朱 红, 张 翔, 等. 飞行器模飞综合测试系统设

计 [J]. 计算机测量与控制, 2015, 23 (4): 1158-1160.

- [11] 魏志刚, 王汉兵, 张建虎, 等. 基于 PXI 总线的多型号战术导弹动态测控系统的研究与开发 [J]. 计算机测量与控制, 2008, 16 (1): 80-83.
- [12] 李 玺, 李宏伟, 曹军明. 基于 PXI 总线的某型空空导弹总体性能测试系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2008, 16 (12): 1897-1899.
- [13] 刘恩凡, 于洪涛. 基于 VxWorks 的某装备自动测试系统设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2016, 24 (3): 106-108.
- [14] 娄 宇, 欧阳晓峰. 基于 PXI 总线的导弹测试系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2015, 23 (3): 828-830.
- [15] 唐 彦, 吴 雷, 王 尧. 基于 PXI 总线的 DC/DC 电源板功能测试系统的设计与开发 [J]. 计算机测量与控制, 2009, 17 (5): 859-860.
- [16] 王玉铭, 周 强. 基于 PXI 总线的 RS422 通信卡的设计与应用 [J]. 计算机测量与控制, 2008, 16 (12): 1924-1925.
- [17] 王贻阳, 张乾龙. 基于 PXI 总线的多任务、多型号测试设备设计 [J]. 工业控制计算机, 2022, 35 (5): 31-32.
- [18] 张逸龙. 基于 PXI 总线的某飞行器多通道信号模拟器研制 [D]. 桂林: 桂林电子科技大学, 2021.
- [19] 范金锁, 张合新, 杨俊河. 基于 PXI 总线的导弹测试与实验系统 [J]. 计算机测量与控制, 2008, 16 (3): 354-356.
- [20] 姜 锋, 王 健. 基于 PXI 总线的某型飞行器自动测试系统设计 [J]. 网络信息工程, 2022, 20: 76-78.
- [21] 惠国娟, 葛眺琳, 鄢 思, 等. 基于 PXI 总线的数据采集技术研究 [J]. 航天制造技术, 2021, 2: 48-51.

(上接第 268 页)

- [6] HU W, LEE C L. Arbitrary waveform generator based on direct digital frequency synthesizer [C] //4th IEEE International Symposium on Electronic Design, Test and Applications (delta 2008), 2008: 567-570.
- [7] 杨 起. 12 GSPS 采样率任意波形合成模块逻辑设计 [D]. 成都: 电子科技大学, 2023.
- [8] 陈 富. 基于 DDWS 的任意波形发生器研发分析 [J]. 长江信息通信, 2022, 35 (11): 123-125.
- [9] 黄莞迪. 800 MSPS 任意波形发生器数据处理模块设计与实现 [D]. 成都: 电子科技大学, 2022.
- [10] 孙 成. 基于 FPGA 的多速率滤波器的设计与实现 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2018.
- [11] 沈锐龙, 吕大鑫, 张建峰. 高吞吐率任意倍内插滤波器设计 [J]. 现代雷达, 2018, 40 (10): 23-26.
- [12] 唐 衡, 张 晶, 赵 欢. 基于 FPGA 的采样率转换滤波器联合仿真验证方法 [J]. 通信技术, 2021, 54 (1): 51-57.
- [13] HARRIS F. Performance and design of farrow filter used for arbitrary resampling [C] //Proceedings of 13th International Conference on Digital Signal Processing, 1997: 595-599.
- [14] LI H L. Maximally flat and least-square co-design of variable fractional delay filters for wideband software-defined radio [J]. Journal of Circuits, Systems and Computers, 2019, 28

(1): 1950006.

- [15] 庄 陵, 刘 莹, 宋诗苇. 具有系数相关性的可变分数时延滤波器设计方法 [J]. 通信学报, 2024, 45 (4): 137-145.
- [16] LI H, TORFS G, KAZAZ T, et al. Farrow structured variable fractional delay Lagrange filters with improved midpoint response [C] //2017 40th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP), IEEE, 2017: 506-509.
- [17] VESMA J. A frequency-domain approach to polynomial-based interpolation and the Farrow structure [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing, 2000, 47 (3): 206-209.
- [18] 潘李云, 孙前刚, 刘 刚. 一种基于拉格朗日内插的低复杂度改进算法 [J]. 舰船电子工程, 2022, 42 (9): 45-48.
- [19] VESA V, HAGHPARAST A. Fractional delay filter design based on truncated Lagrange interpolation [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2007, 14 (11): 816-819.
- [20] BABIC D. Optimized lag range and spline-based interpolators [C] //Proceedings of Papers 5th European Conference on Circuits and Systems for Communications (ECCSC'10). IEEE, 2010: 290-293.
- [21] 王良松, 范存光, 山显响. 一种并行分数倍升采样脉冲成形设计 [J]. 电子技术与软件工程, 2021 (14): 98-102.