

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2106731

多通道隔离采集电路设计*

王丽蓉¹ 任勇峰^{1,2} 刘东海¹ 王淑琴¹

(1. 中北大学 电子测试技术国家重点实验室 太原 030051; 2. 中北大学 仪器科学与动态测试教育部重点实验室 太原 030051)

摘要: 为便于采集不共地的多路信号,防止信号间的串扰,在采集电路基础上增加隔离设计:隔离电源、隔离光耦以及数字隔离通道,大大降低了噪声的干扰,提高了系统的采集精度。基于系统电路设计,分析了隔离电源 LTM8068 及线性隔离光耦 HCNR201 的工作原理,建立 ROM 表实现了采集模块的片选及模拟开关通道的切换,方便控制的同时提高了采集板卡的通用性。实验通过输入 0~5 V 模拟量验证电路采样精度,经实践验证,该隔离采集电路的采样精度优于 2%,且抗干扰能力强,电路通用性好,具有较强的实用价值。

关键词: AD 采集;隔离设计;隔离电源;HCNR201;ROM 表;抗干扰

中图分类号: TP274 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.99

Design of multi-channel isolated acquisition circuit

Wang Lirong¹ Ren Yongfeng^{1,2} Liu Donghai¹ Wang Shuqin¹

(1. State Key Laboratory of Electronic Testing Technology, North University of China, Taiyuan 030051, China; 2. Key Laboratory of Instrument Science and Dynamic Testing, Ministry of Education, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: In order to facilitate the collection of multi-channel signals that do not share the same ground and prevent crosstalk between signals, an isolation design is added on the basis of the collection circuit: isolated power supply, isolated optocoupler and digital isolation channel, which greatly reduces noise interference and improves the collection accuracy of the system. Based on the system circuit design, the working principles of the isolated power supply LTM8068 and the linear isolation optocoupler HCNR201 are analyzed, and the ROM table is established to realize the chip selection of the acquisition module and the switching of the analog switch channel, which facilitates control and improves the versatility of the acquisition board. The experiment verifies the sampling accuracy of the circuit by inputting a 0~5 V analog quantity. After practical verification, the sampling accuracy of the isolated acquisition circuit is better than 2%, and it has strong anti-interference ability, good circuit versatility, and strong practical value.

Keywords: AD acquisition; isolated design; isolated power supply; HCNR201; ROM meter; anti-interference

0 引言

随着近现代航空、航天设备的发展,采编技术已经得到广泛的应用,同时采样精度、抗干扰能力以及通用性成为衡量采编设备质量的重要指标^[1]。传统的数据采集方法多用于共地信号的采集,当输入不共地信号时,很容易造成信号间的干扰,降低采样精度,为提高数据采集精度,减少信号干扰因子,特别是电压采集电路,需采取隔离措施,避免改变原有的工作状态^[2-5]。

目前,国内外的隔离采集技术已越来越成熟,隔离措施也越来越多,但核心技术都在于将不共地信号完全隔离。当前国内外隔离采集的技术主要有如下几种方式:

1) FPGA+数字隔离; 2) FPGA+隔离电源+线性光耦; 3) 电容隔离式。数字隔离技术能够减少噪声干扰,线性光耦电路则具有较强的灵活性,可根据具体应用调整硬件电路,电容隔离式具有击穿电压高,电磁泄漏小等优势。

本文结合 3 种技术优点,设计了 FPGA+数字隔离+隔离电源+线性光耦+电容隔离的电路。文章给出了基于 FPGA 的多通道隔离采集系统的硬件架构和设计实现,电路完成 64 路 0~5 V 模拟量、33 路隔离模拟量(温度、分蚀、电压等不共地信号)的采集,且采样精度优于 3%,逻辑控制上建立 ROM 表,以切换不共地信号的采集。最后,对设计电路进行了的功能性能测试,验证了电路设计的可靠性和稳定性。

收稿日期:2021-05-18

* 基金项目:国家重点研发计划(2018YFF01010500)项目资助

1 整体设计

采编系统由 64 路采集板卡、隔离采集板卡、接口控制板卡和电源板卡组成,其中采集板卡和隔离采集板卡共同组成系统的采集模块,但二者相互独立,完成信号采集功能^[6]。隔离采集板卡实现 24 路分层温度信号,4 路烧蚀传感器信号以及 5 路电压信号的采集及转换,各路信号的输入量程被控制在 0~5 V 之间。信号经过低通滤波器、运放跟随、线性隔离光耦和增益电路进入模数转换芯片转换为数字信号,并通过内部总线发送给主控板卡,而总线指令经数字隔离器发送给模数转换芯片,另外,不同信号的供电电路相互隔离;采集板卡则不采取隔离措施^[7-8]。设备组成如图 1 所示。

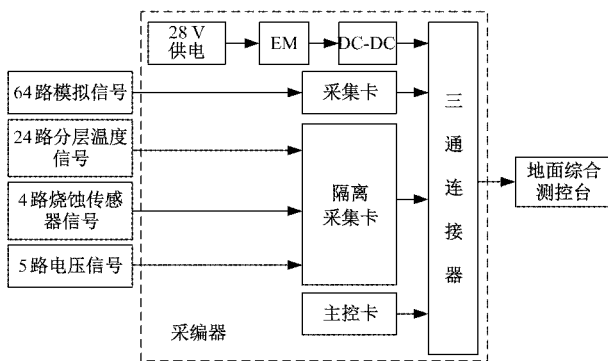


图 1 设备组成框图

模数转换芯片 AD7667 的最大采样率为 1 Mbit/s,模拟开关 ADG706 的通道切换时间为 40 ns^[9];电路设计采取跟随、分压、跟随的方式,故电压跟随器须低失真且能够快速建立时间特性,故选用高速运放 AD8031AR,具有 80 MHz 的带宽,建立时间为 125 ns,适于作为 A/D 器件的输入端缓冲器。

2 硬件电路设计

2.1 采集电路的隔离化设计

为避免采集信号间的互相串扰,隔离采集板卡利用 DC/DC 芯片 LTM8068 设计了多种信号的地互相互隔离,且都与采编器的二次地隔离;线性隔离光耦 HCNR201 将采集的电压信号以电流环的形式进行传送^[10],具有低阻抗性,降低噪声干扰,提高了整体电路的抗干扰能力。电路中的总线控制信号经数字隔离器 ADuM1400 分别进入 A/D 转换芯片及模拟开关,完成采集指令的传送及模拟开关通道的切换^[11]。模拟开关的输出量由线性隔离光耦 HCNR201 进入 A/D 转换器,实现模拟信号与数字信号之间的隔离^[12]。

2.2 隔离电源电路设计

微型模块 LTM8068 是隔离电源电路的关键,其适用于带有传感器或噪声敏感负载的系统中,利于消除地回路。

LTM8068 的 BGA 封装大小为 9 mm×11.25 mm×4.92 mm,内部包含了电源开关、隔离变压器、控制电路和其他支持性组件,是一款双路输出的 DC/DC 芯片^[13]。与同系列的 LTM8067 相比,LTM8068 的输出端有低噪声线性稳压器,有效降低输出电压纹波,改善了噪声性能。

隔离电源电路如图 2 所示。VCC 为输入电压,电路设计中 VCC 为 5 V;输出电压有两路,分别为 VOUT1=5.6 V,VOUT2=5 V。LTM8068 的隔离势垒隔离了输入、输出端,故电路中输入端为数字电 VCC,输出端为模拟电 5 V。电容 C₅ 是隔离电源电路的关键,选用 1812 封装,置于 AGND 与 GND 之间,抑制电压输出端的共模骚扰,能够确保输出电压更加稳定。隔离电源电路中共设有 6 组电路,每组输出端电压相互隔离,以实现隔离电源电路的总体设计。

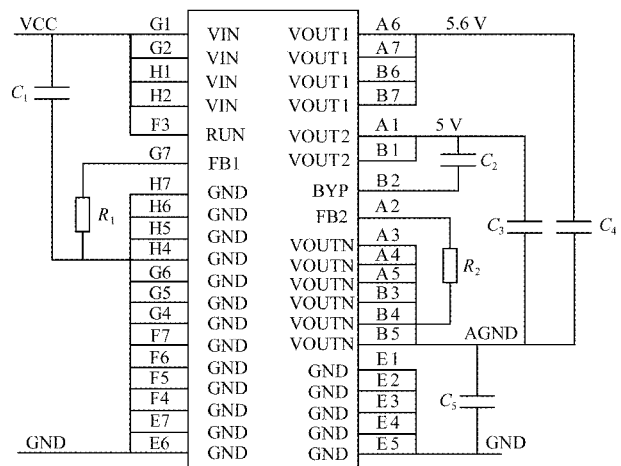


图 2 隔离电源电路

(输入端: C₁=225/50 V, R₁=7.32 kΩ;

输出端: C₂=103/50 V, C₃=106/25 V, C₄=226/25 V,

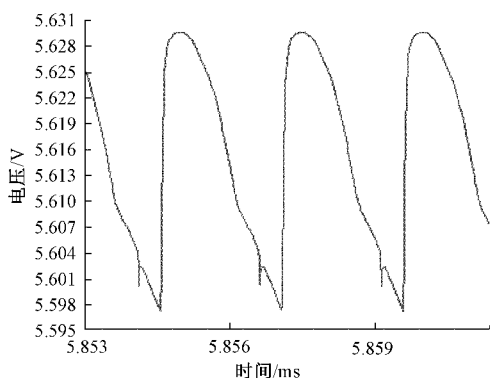
C₅=103/2 000 V, R₁=162 kΩ。)

为比较 LTM8068 两路输出端的电压情况,运用 LTspice 软件对隔离电源电路的输出进行仿真,VOUT1、VOUT2 的电压局部波形分别如图 3(a)、(b)所示。由仿真图的结果可知,VOUT1 的文波为 0.036 V,而 VOUT2 的文波则为 0.000 54 V,VOUT2 输出波形更加稳定。对于 A/D 采集电路而言,不稳定的供电电压将会影响采集的电压信号质量,降低隔离采集电路的精度。综上所述,隔离电源电路中选择 VOUT2 作为各采集信号电路的供电电压输出端。

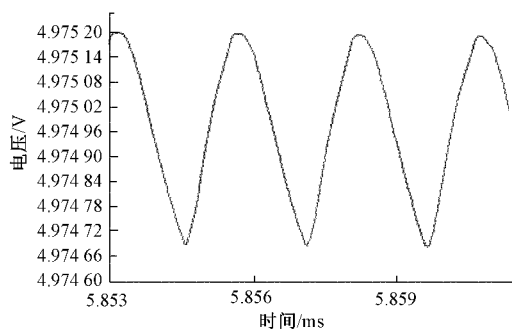
2.3 隔离光耦电路设计

为防止输入干扰信号,传输电路设计有光电耦合器。高线性度模拟光耦 HCNR201 具有 DC 到 1 MHz 的高带宽,其传输增益误差为 ±5%,线性误差为 ±0.05%。HCNR201 的内部结构如图 4 所示。

发光二极管 LED 具有非线性和偏差特性,光敏二极管 PD1、PD2 位置相邻且特性匹配。当 HCNR201 处于工作



(a) VOUT1电压局部波形



(b) VOUT2电压局部波形

图3 隔离电源电路仿真图

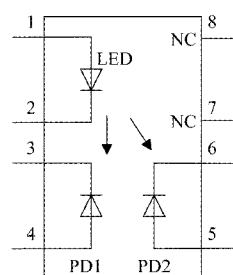


图4 HCNR201的内部结构原理

状态时,输入信号经LED转变为光信号,并耦合到PD1与PD2,在输出端产生与光强成正比的输出电流。3、4引脚端是信号的输入端,5、6引脚端是线性隔离光耦的输出端,实现了输入与输出信号间的电流隔离。

光电耦合电路如图5所示。输入信号VIN经限流电阻R₁后,促使HCNR201内部LED发光,PD1输出信号反馈到运算放大器N1的输入端,提高了HCNR201的线性并减少温漂。电容C₁、C₂为反馈电容,用于消除自激震荡,分别滤除输入、输出信号中的毛刺信号,提高电路的稳定性^[14]。电阻R₂的阻值大小影响LED的发光强度,对控制通道增益起一定作用。

通过调节R₁与R₃的比值改变信号线性度,一般取两者的阻值相等。运算放大器N1、N2转换了信号传输方式,

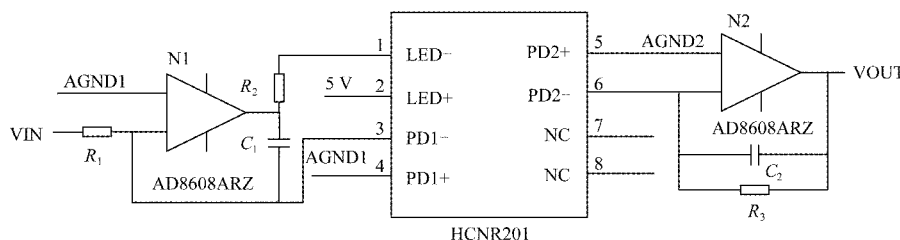


图5 HCNR201的电路设计

使HCNR201的输入端信号为电流信号,电路输出为电压信号,且运算放大器N2增强了负载驱动能力。光电耦合器前后电路的供电隔离,即前、后级运放采用不同的电源供电,能够实现信号的完全隔离^[15]。

3 时序逻辑控制

3.1 主控逻辑的整体设计

A/D采集模块的逻辑控制以FPGA为核心,控制各路模拟信号通道进行采样、编帧、缓存和存储^[16]。逻辑设计如图6所示。

主控模块接收到外部设备命令,即控制采集模块进入工作状态。由设定的采集片选有效端及采样通道地址建立ROM表,在时序逻辑控制下,A/D采集模块以ROM表中的模拟通道顺序进行采集,并发送至数据打包编帧模块,与各类数据一并发至LVDS数据发送模块。

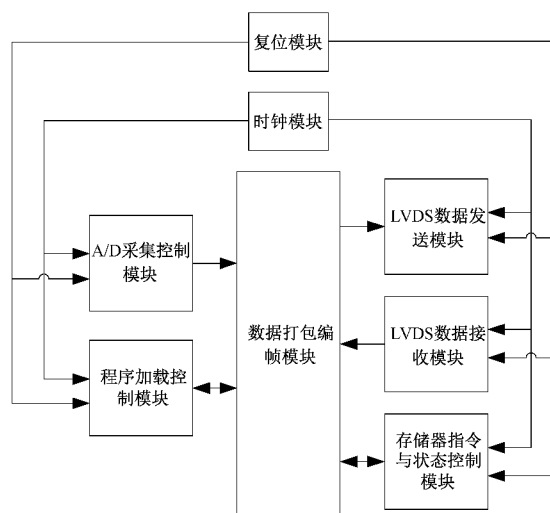


图6 A/D采集的逻辑设计

3.2 采集通道的控制

A/D 采集模块分为采集板卡模块和隔离采集板卡模块,二者的片选端口由 ROM 表控制,此外,ROM 表控制模拟开关通道的切换。由于采集的信号种类多,且采样率

不同,故将 ROM 表的整体设计分为主帧和副帧两部分,采样率小的则按照采集板卡和隔离采集板卡的顺序分别集中放置于副帧内。设主帧有 m 路数据,副帧有 n 路数据,则构成 $n \times m$ 的 ROM 表。编码格式如表 1 所示。

表 1 采集通道编码格式

| 采集 卡片选 | 隔离采集 卡片选 | 采集卡 使能 | 采集卡模拟 开关通道 | 隔离采集 卡使能 | 隔离采集卡 模拟开关通道 |
|-----------|-------------|-----------|---------------|-------------|-----------------|
| D17 | D16 | D15~D12 | D11~D8 | D7~D4 | D3~D0 |
| CS0 | CS1 | EN3~EN0 | A3~A0 | EN3~EN0 | A3~A0 |

A/D 采集模块从 ROM 表中读出一组地址后,由最高 2 位判断出信号来源的采集模块,通过第 15~12 及第 7~4 位来驱动模拟开关 ADG706 的使能,其余 8 位则控制信号通道的切换。AD7667 芯片转换后的数字信号通过内部 AD_FIFO 进入 2 KB 的 RAM 缓存,当存满 2 KB 数据后发送至数据包编帧模块,重复以上步骤直至 A/D 数据发送完成。

4 系统验证

为验证电路采集精度,对采编系统的隔离采集板卡各通道分别输入 0~5 V 正弦波、直流电压,实物图如图 7 所示,利用采集数据拟合曲线,分析得到输出量的分层值,并利用采样精度计算公式验证该隔离采集电路的采样精度。实验数据如表 2 所示。其中一通道的直流电压实验数据的绘图结果如图 8 所示。

采集信号量绘制图如图 8 所示,系统的输出信号波形完整,曲线清晰规则。输入的 0~5 V 模拟量经隔离采集板卡采样后,其数字量范围为 32 768~65 535。选取直流波的分层值计算采样精度:分层值 Δ /量程。如图 8 所示,电压量分层值为 0.009 3,经计算精度为 1.86%;数字量的计算方法为分层值 Δ /(65 535~32 768),如表 2 所示,最大直流波分层值为 59,其精度也达到了 1.81%。经测试验证,该隔离采集板卡的采样精度优于 3%,满足方案设计要求,证明了电路设计的可行性。隔离采集电路的实现,为采集不共地信号提供了思路。但由于隔离光耦 HCNR201 的转移增益存在个体的差异性,使得各通道精度存在偏差,在进行采集参数标定时需要对每路通道单独测试计算。

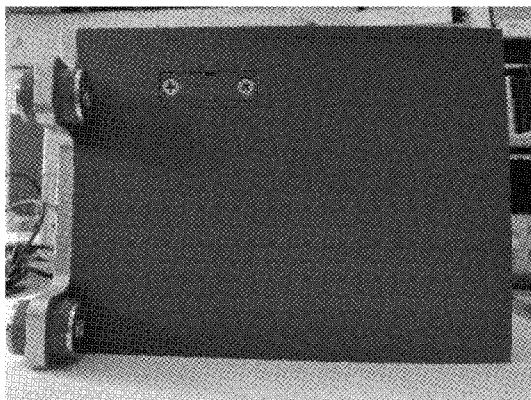


图 7 实物图

表 2 模拟量采集通道分层值

| 输入类型 | 采集通道 | 分层值 |
|------|------|-----|
| 直流波 | S1 | 50 |
| 直流波 | S2 | 48 |
| 直流波 | S3 | 55 |
| 直流波 | S4 | 57 |
| 直流波 | S5 | 59 |
| ... | ... | ... |

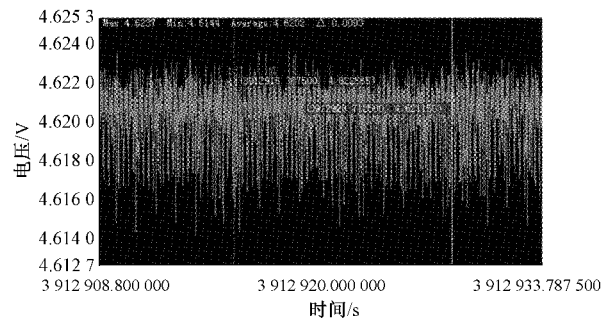


图 8 直流波电压量绘制图

5 结 论

多通道隔离采集电路针对不共地信号而设计,经验证,电路在满足采样精度 3% 要求的基础上,解决了噪声的隔离问题,达到了电磁兼容的目的。隔离采集电路的核心设计在于运用多个隔离措施,大大降低了不共地信号间的串扰,提高了采样精度。稳定的隔离供电减少了毛刺现象,而线性光电耦合器与多通道数字隔离器的应用,将内部电路与外部电路隔离,充分提高了板卡的通用性。此外,由于采集信号的特殊性,PCB 布局也尤为关键,不共地信号在割层时需完全分开,避免互相干扰,同时需注意耦合电容的摆放位置。但是,由于隔离光耦 HCNR201 的转移增益的差异性使得不同采集通道之间的精度存在偏差。

目前隔离采集系统已在课题组得到应用,具有较强的实用性。今后的研究方向是选用更合理的措施代替隔离光耦电路,以减少偏差性,使采样精度更加准确。

参考文献

- [1] 李柱. 多路数据采集系统中隔离技术的研究[D]. 太原:中北大学,2012.
- [2] 张伟,任勇峰,孙涛,等. 基于FPGA的多通道数据隔离采集电路设计[J]. 化工自动化及仪表,2011,38(10):1209-1211.
- [3] 谈良,纪凌. 基于FPGA的多通道数据采集系统设计及实现[J]. 电子测量技术,2018,41(5):57-63.
- [4] 刘佳宁,艾炜,文丰,等. 级联式多通道信号隔离采集电路设计[J]. 仪表技术与传感器,2016(12):148-151,180.
- [5] 桑尚铭,殷聪如,温呈曦,等. 多通道隔离电压采集板设计及验证[J]. 宇航计测技术,2020,40(1):73-78.
- [6] 张品,叶芑,曾浩. 基于高速串行ADC的并行采集模块设计[J]. 电子测量技术,2011,34(9):101-105.
- [7] 刘明辉,周刚,陆爱杰,等. 一种高精度多路信号采集系统的设计[J]. 国外电子测量技术,2018,37(2):100-104.
- [8] 焦新泉,翟菲,刘东海. 高精度温度采编设备的稳定性优化设计[J]. 兵器装备工程学报,2020,41(2):139-142.
- [9] 孟祥娇,张会新,崔永俊,等. 基于FPGA和AD7667的16路采编传输系统设计[J]. 自动化与仪表,2012,27(11):40-43.
- [10] 郑波祥. 宽温工作的HCNR201隔离式调理电路设计[J]. 电子测量技术,2018,41(10):132-136.
- [11] 张本云,谢雪松,张小玲,等. 一种隔离型数据采集系统的设计与实现[J]. 测控技术,2014,33(11):57-59.
- [12] 肖业伟,王正强,吴称列. 基于线性光耦HCNR201隔离电路的低温漂研究[J]. 信息技术,2016(3):69-72.
- [13] 2 kV AC 隔离式微型模块转换器的2.8VIN至40VIN输入范围可满足信息技术设备安全标准UL60950的要求[J]. 电子设计工程,2016,24(6):158.
- [14] 刘希高,凌春晖,吕馥言,等. 基于HCNR201的高精度模拟信号隔离电路设计[J]. 仪表技术与传感器,2017(1):147-150,154.
- [15] 刘欣,翟成瑞,张会新. 多路隔离信号采集存储系统设计[J]. 自动化仪表,2014,35(8):27-30.
- [16] 郑佳. 多通道数据记录装置的设计与实现[D]. 太原:中北大学,2013.

作者简介

王丽蓉,硕士研究生,主要研究方向为电路与系统。

E-mail:593521266@qq.com

任勇峰,教授,博士生导师,主要研究方向为测试计量技术及仪器、电路与系统。

E-mail:renyongfeng@nuc.edu.cn