

# 多类型振动信号采集卡设计

史强强<sup>1</sup> 张亚维<sup>2</sup>

(1. 西安远方航空技术发展总公司 西安 710089; 2. 西安航空职业技术学院 西安 710089)

**摘要:** 在飞机测试系统中,机上某些关键部位原始振动信号带宽高,且测试振动信号的加速度传感器种类多,后端采集设备往往只能采集单一类型传感器振动信号,导致采集设备种类多,不具备兼容性。针对上述问题,设计了一个适合多类型振动传感器信号、高带宽、高精度的机载振动信号采集卡。与传统的单一类型传感器信号采集卡相比,基于FPGA控制系统设计的振动参数采集卡具有输入信号多类型、采样率可配置、采集精度高等优点,适合在复杂的机载测试系统中使用。通过测试可知,设计的有效性和可行性。

**关键词:** 振动信号采集;FPGA;加速度传感器

**中图分类号:** TN06 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1010

## Design of the multi-type vibration signal acquisition board

Shi Qiangqiang<sup>1</sup> Zhang Yawei<sup>2</sup>

(1. Xi'an Yuanfang General Aviation Technology Development Corporation, Xi'an 710089, China;

2. Xi'an Aeronautical Polytechnic Institute, Xi'an 710089, China)

**Abstract:** In the flight test system, some key parts of the original machine vibration signal bandwidth is high, and the types of testing vibration signal of the acceleration sensor, the back-end vibration signal sampling device is often only a single type of sensor, acquisition equipment variety, does not have compatibility. For the above problems, this paper designed a suitable for kinds of vibration of sensor signal, high bandwidth, high precision airborne vibration signal acquisition card. Compared with the traditional single type of sensor signal acquisition card, this article is based on the FPGA to control the vibration of the system design parameter acquisition card with multi-type input signal, sampling rate can be configured, collecting advantages of higher precision, suitable for use in complex airborne testing system. Through the test, the feasibility and the effectiveness of the design.

**Keywords:** vibration signal acquisition;FPGA;acceleration sensor

## 1 引言

伴随测试试飞领域迅速发展,高效、实时的传感器数据获取过程中,原始数据量级越来越大,要求的采集精度也越高。国内外相关同行采用各种算法来减小采集性能,如非线性宽频压电振动能量采集器<sup>[1]</sup>,采用力学与电学平衡法具有更高的输出性能。传感器技术不断在更新,新旧类型的传感器接口各异,目前在机载测试应用场合,振动信号采集的传感器主要有压阻式加速度传感器、压电式加速度传感器以及 ICP(integrated circuits piezoelectric)加速度传感器<sup>[2-3]</sup>。

振动信号采集通过传感器获取,振动传感器种类较多。而在实际应用中,传感器接口设计均为单一类型<sup>[4-5]</sup>,难以满足在机载测试中振动采集传感器类型较多,接口复杂的

实际需求,因此后端 FPGA 振动采集系统需要充分考虑可兼容多类型振动传感器<sup>[6-8]</sup>。

本文设计的振动信号采集卡用以实现对多类型的振动传感器信号进行实时采集,输入形式包含 ICP 恒流源信号、单端电压以及差分电压信号。用户可以通过简单地设置选择需要的接口。采集卡将采集到的振动参数传输至设备的控制核心板进行数字信号处理解算。经试验对比,本文设计的采集卡精度更高、频带更宽。

## 2 振动信号采集测试系统组成

振动信号采集测试系统主要由前端振动加速度传感器、振动信号采集设备、后端机载遥测发送设备以及地面监控设备等组成<sup>[9-10]</sup>。采集系统由各功能板卡组成,主要有电源卡、核心控制卡以及多个振动信号采集卡。振动信号采集

测试系统组成如图 1 所示。系统机械结构采用栈接式的结构,振动信号采集卡可以根据实际传感器类型和采集通道数

进行组合扩充,最大可支持 8 块采集卡,共 64 路,每块板卡都支持标准底板总线,板件可以通过底板总线实现通信。

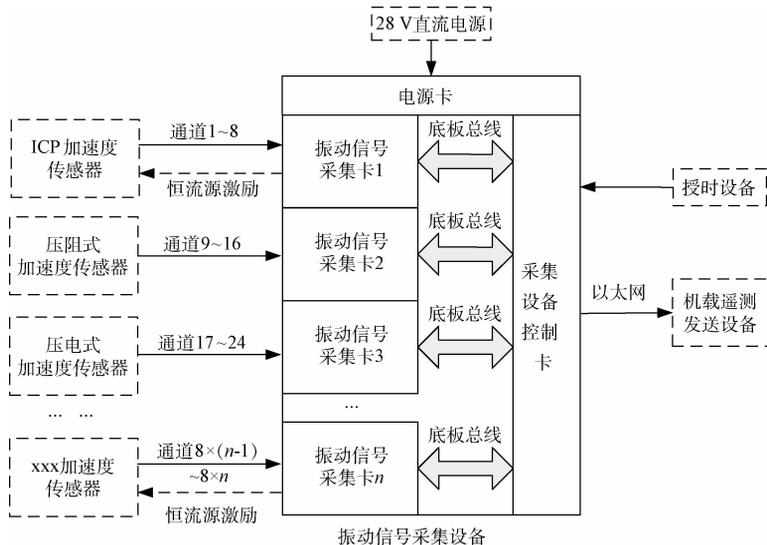


图 1 振动信号采集系统

电源卡实现采集设备与机上电源系统的隔离,并为整个设备提供所需电源。

振动信号采集卡实现对多类型振动加速度传感器输出的信号进行调理,并进行 A/D 转换,按照设计的格式将数据缓存至 FIFO,发出中断信号等待控制卡从底板总线提取数据。

控制卡主要实现的功能如下:

- 1) 通过底板总线提取各采集子卡采集到的各类型振动数据;
- 2) 实现对振动数据实时算法解算;
- 3) 控制存储器,实现数据的以太网输出;
- 4) 对机上授时设备时间码解析,为整个设备提供时间。

本文主要介绍采集卡的相关设计。

### 3 振动信号采集卡设计

振动信号采集接口电路兼容 ICP 恒流源、单端电压和差分电压 3 类,并且采用硬件设置跳线完成输入类型切换,各板卡均可实现 3 类信号输入,方便用户在使用过程中同时采集多类型传感器信号。图 2 所示为单个振动信号采集卡各功能模块框图。振动采集卡具有通用性,并最多 64 路信号同时采集。

振动采集卡主要功能是将外部 8 路振动传感器输出的电压范围在  $-5 \sim +5 \text{ V}$  的振动数据进行信号调理、滤波和 A/D 转换,并按照设置的采样率采集并存入缓冲区,等待控制卡通过背板总线提取振动数据。振动采集板卡从功能上分为 ICP 传感器电路设计、差分/单端信号处理模块、信号调理滤波模块、A/D 转换采集模块和嵌入式 FPGA 控制模块。

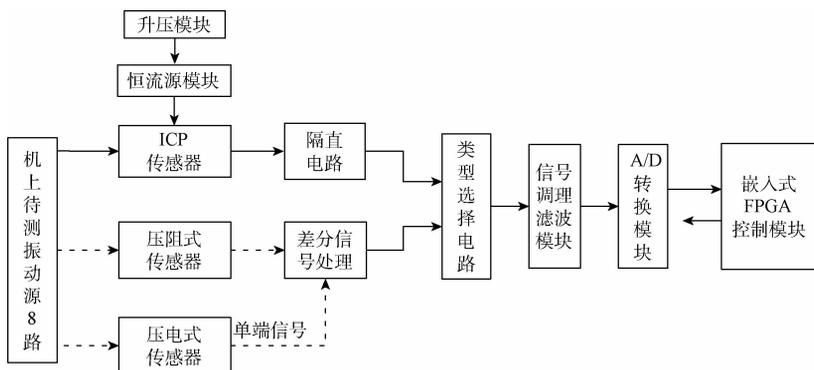


图 2 单个振动信号采集卡功能模块

#### 3.1 ICP 传感器电路设计

ICP 传感器将输入的加速度振动信号转化为电压信号

输出,而且 ICP 传感器需要恒流源供电和较高幅值的动态电压供电,因此需要电压转换模块和恒流源供电模块。除

此之外针对 ICP 类型的传感器测量,还需设计隔直电路去除信号中直流偏置电压保留交流信号,以及阻抗变换电路提高输入阻抗降低误差。

根据 ICP 传感器特点,需要 4 mA 恒流源以及动态电压范围最高需要 28 V 供电。ICP 传感器接口电路功能模块如图 3 所示。

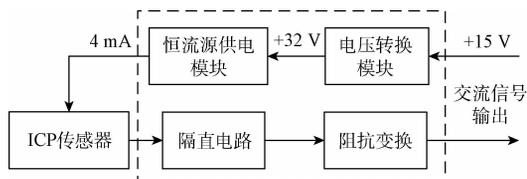


图3 ICP传感器接口电路功能

+15 V 由电源卡中电源模块提供,选用具有高精度、快速瞬态响应等优点的 MC33063A 升压芯片实现 DC/DC 电压转换,将 +15 升压到 +32 V 为恒流源电路提供较高的动态电压范围。

恒流源电路通过选择稳压芯片结合运算放大器为 ICP 加速度传感器提供一个单端最大 28 V、4 mA 的恒流源。升压产生的 +32 V 电压连接 2.048 V 稳压管,再接入运放输入正端;将运放输入负端通过限流电阻 511  $\Omega$  连接至 +32 V 电源,因此将限流电阻两端电压限制在 2.048 V,通过电阻的电流被恒定为 2.048 V/511  $\Omega$  = 4 mA。

输入电流被限定为恒流,运放输入负端通过 PNP 三极管接入运放输出端,形成负反馈。根据三极管输出负载大小,输出动态电压最高可达 30 V,能够满足 ICP 传感器需求。恒流源电路原理如图 4 所示。

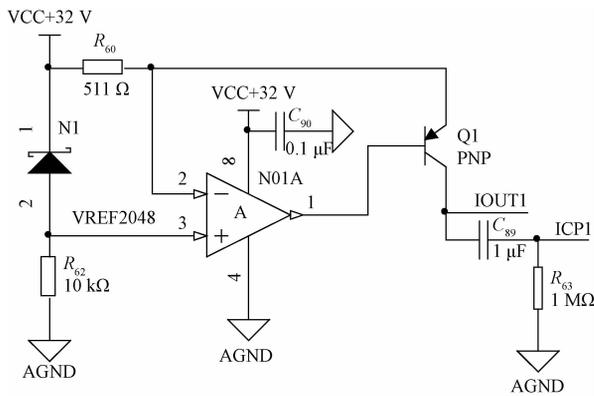


图4 恒流源电路原理

振动信号为交流量,因此在传感器信号输入端通过一个无源阻容高通滤波电路,把直流电压闭锁掉,只输出交流信号。

设计无源 CR 高通滤波器时,需要考虑滤波器对频带内信号的衰减幅度。根据 CR 高通滤波器电路特性,其幅值计算公式为:

$$A(\omega) = \frac{f/f_c}{\sqrt{1+(f/f_c)^2}} \quad (1)$$

式中: $A$  为信号幅值, $f_c$  为滤波器截止频率, $f$  为信号频率。

经过 CR 高通滤波输出的交流信号,为改善后端信号传输能力,采用 AD 公司的 AD8244 缓冲器将高阻抗输入转换为低阻抗输出,提高后级带载能力,减小负载效应。

### 3.2 差分及滤波信号电路设计

对于使用的压阻式传感器输出为差分信号时,采用 AD 公司的 AD8250 芯片,将传感器输出的差分信号直接转为单端电压信号,并调整信号幅值就可直接进行抗混叠滤波处理。

若使用压电式传感器其输出为单端信号,需将差分输入负端与模拟地短接,即可将差分输入转换成单端信号类型。三类传感器振动信号均转换为单端信号,可统一进行抗混叠滤波处理。

抗混叠滤波模块由一个 6 阶巴特沃斯低通滤波电路组成。传感器输出信号范围 5 Hz~10 kHz,根据  $n$  阶巴特沃斯低通滤波器幅频特性公式可以衡量信号输出幅值和频率关系,公式如下:

$$A(\omega) = \frac{K_p}{\sqrt{1+(f/f_c)^{2n}}} \quad (2)$$

式中: $A$  为信号幅值, $n$  为滤波器阶数, $f_c$  为截止频率, $K_p$  为滤波器增益, $f$  为信号频率。

### 3.3 嵌入式控制模块设计

AD 转换设计中转换芯片使用 AD 公司的 AD7606,其是 16 位、8 通道同步采样模数数据采集系统(DAS)。AD 转换所有通道均能以高达 200 KSPS 的吞吐速率采样。设计中单通道最高采样率达到 50 K 带宽,采集卡的嵌入式处理器平台采用 Altera 公司的 CycloneIII FPGA 芯片。

## 4 试验与测试结果

被采集振动信号频带最高为 10 kHz,抗混叠滤波器采用 6 阶巴特沃斯低通滤波器,设置截止频率  $\omega_c$  为 20 kHz,代入式(2)中可知 10 kHz 处,幅值  $A(\omega) = 0.99988$ ,理论上幅值衰减了 0.01%。

通过软件对滤波电路参数进行设计,得到的仿真设计结果如图 5 所示。主要的滤波特性:通频带 0~10 kHz;截止频率  $f_c = 20$  kHz;带内纹波  $\leq 0.1$  dB;频带外衰减  $\geq 30$  dB。

结合 E96 标称电阻、E24 电容,确定滤波器相关参数,仿真结果见表 1,在 10 kHz 处信号幅值  $A(\omega) = 1$ ,幅值衰减误差为几乎为 0;在 40 kHz 处信号幅值  $A(\omega) = 0.016$ ,幅值衰减到 -36 dB。

设计的采集卡实物图如图 6 所示。

采集卡进行试验测试时,信号发生器产生 5 V 正弦变频信号,测试 50 K 采样率下采集精度。

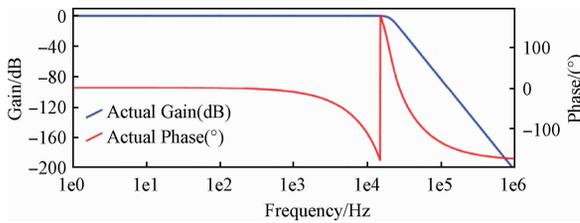


图 5 六阶 Butterworth LPF 幅相特性曲线

表 1 六阶 Butterworth 低通滤波器仿真数据

频率/Hz	增益/dB
10	0
1 000	0
5 000	0.001
10 000	0.003
20 000(截频点)	-3
40 000	-36



图 6 振动信号采集卡实物

表 2 所示为采集卡数据采集精度测试结果。

表 2 采集卡数据采集精度测试

频率/Hz	输出/V	误差/mV	精度
5	5.002	2	0.02%
50	5.004	4	0.04%
100	5.002	2	0.02%
1 000	5.003	3	0.03%
5 000	5.006	6	0.06%
8 000	5.010	10	0.1%
10 000	4.981	19	0.19%
40 000	0.080		

从表 2 中可知,输入为 40 K 信号时,输入幅值 5 V 衰减到 80 mV,减小了 0.016 倍,与仿真结果衰减 -36 dB,即衰减系数 0.0158 相一致。

经过测量精度可达 0.2% 以内,与常用的振动信号采集设备精度 0.5% 相比,提高了一倍以上。通过上述仿真与试验,说明振动信号采集卡设计的正确性,符合机载环境飞行测试需求。

## 5 结 论

针对机载测试中多类型振动传感器接口各异,设计了一个适合多类型振动传感器采集的高带宽、高精度振动信号采集卡。特别适合多类型振动传感器同时采集的场合。给出了振动信号采集卡系统方案。板卡灵活性高、通用性强、参数易配置,结合嵌入式系统保证采集精度高。经测试试验结果可知,文中振动信号采集卡设计方法正确可行,达到了设计要求。

## 参考文献

- [1] 王光庆,杨斌强,徐文潭,等.非线性宽频压电振动能量采集器的研究[J].仪器仪表学报,2016,37(1):221-230.
- [2] 朱丽,黎玮.机载振动传感器校准技术研究[J].电子测量技术,2016,39(10):154-157.
- [3] 吴晓娜,侯小兵.扩展压电传感器频率响应范围的方法研究[J].电子测量技术,2015,38(6):100-103.
- [4] 闫利军,赵亚娟,高志远.压电加速度传感器在机载测试领域中的安装研究[J].电子测量技术,2014,37(7):130-134.
- [5] 高利鑫,周琳琳,陈困,等.高精度倾斜仪探头信号采集处理电路的设计[J].电子测量技术,2016,39(9):153-157.
- [6] 何雯,董威,苟辉.基于 FPGA 的高速视频采集系统的设计[J].国外电子测量技术,2016,35(5):83-87.
- [7] 朱咏筠,易艺,郝建卫,等.基于 FPGA 的手持式数字示波器的设计[J].电子测量技术,2015,38(9):69-72.
- [8] 张淑梅.基于 ARM+FPGA 的高精度数据采集系统设计[J].国外电子测量技术,2014,33(11):62-65.
- [9] 张素萍,高照阳,张建芬.基于 FPGA 和 ARM 的高速多通道数据采集系统设计[J].自动化与仪器仪表,2015(8):110-113.
- [10] 申江江,高峰,曲建岭,等.基于改进粒子群算法的直升机振动信号盲分离[J].电子测量与仪器学报,2016,30(9):1372-1378.

## 作者简介

史强强,1988 年出生,硕士研究生,工程师,主要研究方向为机载航空电子产品、嵌入式开发等。

E-mail:125556113@qq.com