

基于 PCI 总线的六通道高速并行 超声信号采集卡的研制

李 庆, 陈以方, 陈雪松

(清华大学, 北京 100084)

摘 要:设计并实现了一种基于 PCI 总线的六通道 60 MHz 高速并行数据采集系统。通过并行采集、分时传送的方法,实现了六通道信号的同时采集和数据存储。介绍了采集卡的总体设计、各部分的工作原理、电路设计、CPLD 及其程序设计,并对抗干扰等多通道高速信号采集系统中的相关问题进行了深入探讨。

关键词:超声检测;数据采集;总线;硬件;软件

中图分类号: TG115.28

文献标识码: A

文章编号: 1000-6656(2006)09-0449-04

6-Channel High-speed Parallel Data Acquisition Card for Ultrasonic Signal Based on PCI Bus

LI Qing, CHEN Yi-fang, CHEN Xue-song

(Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: A system architecture of 6-channel 60 MHz high-speed data acquisition based on PCI bus was studied and implemented. The system could be used to implement data acquisition through 6 channels with acquisition parallel but transferring separately, and store large amount of data. General design strategy, theory of main parts of the card, circuit design, programming and circuit design of CPLD were presented. Some questions during the design of high speed data acquisition system, such as anti-jamming, were presented deeply.

Keywords: Ultrasonic inspection; Data acquisition; Bus; Hardware; Software

现代超声无损探伤系统中,关键的一个部分就是将超声波信号采集进计算机中进行处理,但在很多情况下,数据采集要求多通道和高速度,市售的数据采集卡不能满足系统要求。笔者受工业部门委托研制的变截面薄壁筒全自动超声探伤系统中,专门研制了基于 PCI 总线的六通道高速并行超声信号采集卡,通过实时采集、分时传送的方法,成功地实现了六通道信号的并行采集,每通道最高采样频率为 60 MHz,采样分辨率为八位,采样宽度可调,最多 128 kByte。

1 电路设计

数据采集系统的硬件电路^[1]主要包括模拟信号

采集电路、程控放大电路、数字信号处理电路和 PCI 接口电路等。

1.1 总体设计

系统电路框图如图 1 所示。实际工作时,系统受外触发控制开始数据采集,六路模拟信号首先通过增益可控的高速运算放大器实现信号放大,其放

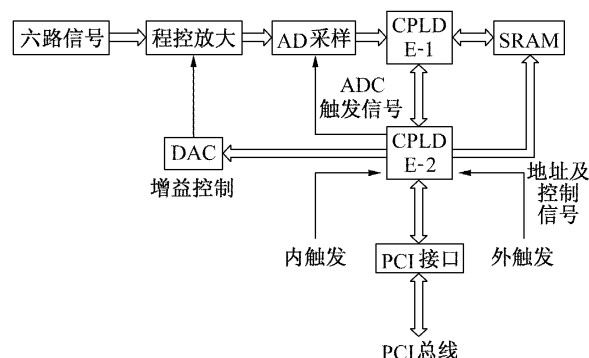


图 1 系统电路原理框图

收稿日期: 2005-05-23

作者简介: 李 庆(1979~),男,云南人,硕士研究生,主要从事超声无损检测的研究和探伤系统设备开发。

大倍数由 CPLD(复杂可编程逻辑器件)控制的 D/A(数/模)转换器决定,放大后输入到高速 A/D(模/数)转换器进行 A/D 变换。之后数字信号进入 CPLD 进行检波和数据处理后存到 SRAM(静态随机存储器)中,一次采集结束后,数据通过 CPLD 经 PCI 接口芯片传到计算机上作后续处理和分析。

1.2 模拟信号采集电路

模拟信号数据采集电路^[2]由前端数据采集、程控放大器件及 A/D 转换器实现,完成数据采集和模数转换。程控放大器和 A/D 转换器分别采用 AD 公司的高速运放 AD604 和 AD9057。

AD604 是一个低噪声的双通道可变增益放大器,带宽 40 MHz。电路中,为达到更大的增益调解范围,将 AD604 的两个放大通道串联,实际增益可调解范围为 82 dB(第二个放大通道的 14 dB 前置增益没有接入),对应的增益控制电压为 0~2.65 V,考虑到所采用的 D/A 转换器(MAXIM 公司的 MAX5250)的输出能力(0~2.5 V),实际应用的增益调解范围为-24~+76 dB,这在一般的超声信号采集领域已经足够了。

AD9057 是 AD 公司生产的一款低功耗八位模数转换器,功耗 200 mW,模拟带宽 120 MHz,这里采用的是 60MSPS 的 AD9057-60,模拟信号输入范围为峰峰值 1 V。模拟信号输入后进入采样保持电路,经过偏压电路后进入 ADC 进行 A/D 变换,输出八位数字量,数据采集由 ENCODE 信号控制,上升沿触发操作。

1.3 数字信号处理电路

系统完成一次数据采集时间为 16~50 ns(对应采样频率为 20~60 MHz),而计算机完成一次读写操作的时间为微秒级,因此如果由计算机实时控制每一次采集过程并传输到总线上,其读写速度远远满足不了要求,会影响整个系统的采集速率;此外,PCI 总线宽度为 32 位,对于每路八位的数字信号,每次最多只能传送四路,因此,不能直接实时地将 A/D 转换信号传送到 PCI 总线上。实际设计中,六路 A/D 由同一采样控制信号驱动,各路信号经 A/D 转换后,先存入高速 CMOS 静态存储器作为数据缓存,等一次采集结束后再通过 PCI 接口芯片分两次传到计算机总线上。所有数据及控制信号直接或间接从 CPLD 发送或接收。

1.4 PCI 接口电路

由于 PCI^[3]总线规范比较复杂,通常采用 PCI

总线接口芯片以简化硬件设计,目前比较常用的有 AMCC 公司和 PLX 公司的 PCI 接口芯片。这里采用的是 PLX 公司的 PCI9054。

PCI 设备的控制信息存储在外部串行 EEPROM(电可擦除只读存储器)中,包括设备需要的内存空间或 I/O 地址空间大小等资源请求信息。在 PCI 设备初始化过程中,EEPROM 中的内容将会下载到 PCI 局部总线配置寄存器,PCI BIOS(基本输入/输出系统)启动后读取各个 PCI 设备配置空间中的基地址寄存器,获取每个 PCI 设备分配所需的资源(I/O 空间或内存空间)类型和大小等信息,并且为这些 PCI 设备分配好所设定的资源,然后再将分配的内存空间或地址空间的基地址回写到 PCI 设备的各个基地址寄存器。

2 CPLD 设计

在 MAX+plusII 平台下用硬件描述语言 Altera Hardware Design Language(AHDL)对 CPLD 进行数字电路设计,通过 JTAG 接口将程序下载到 CPLD 中实现数字电路编程。

CPLD 是系统的重要组成部分,负责控制 AD604 的增益、AD9057 的采集控制信号、SRAM 的数据读写和地址以及控制信号等。这里使用了两块 EPM7512-208,因为六通道采集卡数字信号和控制信号过多,一片 EPM7512(最多 212 个用户 I/O)不能满足使用要求。

在高速超声检测信号采集系统中,如将原始信号原封不动的传给计算机,而在软件中进行所有信号处理的话,会严重影响处理速度,最好的解决方法是利用 CPLD 灵活的编程,将一部分信号处理工作在 CPLD 里面进行,用硬件的高速处理实现软件的功能。

实际中,针对 2.5 MHz 超声检测信号进行处理,将负信号轴对称地转变成正信号,通过抽样取极值的方法求出信号的包络线,从而实现对信号的压缩。轴对称变化处理前后的信号分别如图 2 和 3 所示。

经处理的信号即能反映信号的特征,又减少了



图 2 CPLD 处理前的原始信号



图 3 CPLD 处理后的信号

数据量,大大缓解高速数据采集和传输的压力。

3 软件设计

系统软件设计包括两部分,即使用 Driver Studio,DDK 和 VC++ 语言开发数据采集卡的硬件驱动程序和 VC++ 语言开发用户的界面程序。

驱动程序要实现识别 PCI 器件、寻址 PCI 器件的资源和对 PCI 器件中断的服务等功能。完成地址发生器、计数器和寄存器的清零,采样长度的预置,数据处理方式的选择,程控增益的调节,采样方式的选择以及采集数据的读出等。

PCI 设备驱动程序的初始化过程中,利用指定器件识别号(Device_ID)、产商识别号(Vendor_ID)、检索号(Index)搜索 PCI 器件,通过调用 PCI BIOS 确认其存在,并确定其物理位置(总线号、器件号和功能号),可寻址该器件/功能的 PCI 配置空间。之后设备驱动就可以从配置空间获得硬件的参数,包括中断号、端口地址的范围和存储器的地址(存储器映射方式)等。

界面程序主要实现采样参数的选择(如采样频率、采样量程和触发方式等)、启动采集、读取并保存采集数据以及对其进行后续处理。

4 抗干扰措施

4.1 电源分配

在高速电路板设计中最重要的问题就是电源的分配网络,电源分配网络必须为电路板上各部分电路提供一个低噪声的电源。

常用的总线式电源分配方案,其细而长的带状电源线的内阻会导致很大压降;而在多层板设计中,由于采用层式的电源分配方案,电源通过整个层的金属来分配,其电源阻抗会小很多,所以电源噪声也会小很多。

笔者在电源中采用了二次稳压设计方案。两级稳压装置均采用输出电压可调的稳压芯片,这样既避免了一次稳压的压差过大导致芯片过热的问题,又有效过滤了电源噪声,还能适当调整电源外围电路使得 A/D 芯片的正负电源电压对称,从而避免了 A/D 输出信号出现电压偏置。另外,针对多通道采

集卡中电源相互干扰严重的问题,采用了六通道电源分别单独供电的方法,把各通道电源之间的相互干扰降到最低。

数字电路中,所有的 3.3 V 或未用的 5 V 电源引脚都需要耦合到地并遵循以下原则:

(1) 每个 V_{CC} 上必须有去耦电容,电容平均值至少为 $0.01 \mu F$ 。

(2) 从引脚到电容焊盘走线长度 $> 6.53 \text{ mm}$ (250 mil),线宽至少 0.5 mm (20 mil)。

(3) 多个引脚可以共用一个电容,但必须同时满足以上两个要求。

4.2 元器件布局和布线

在基于 PCI 高速数据采集卡的元器件布局时应综合考虑到信号走线、散热和线长要求等各方面的因素。

避免传输线的阻抗不连续性。阻抗不连续点就是传输线突变的点,如直拐角和过孔等,它将产生信号的反射,布线时应注意以下几点:

(1) 避免走线的直拐角,改善阻抗的不连续性,尽可能用 45° 走线或者弧线。

(2) 尽可能少用过孔。

(3) 外层的信号避免通过内层,内层的信号也避免跑到外层,因为内层信号线属于带状线,而外层信号线属于微波线,两种不同类型的传输线的阻抗是不同的,如果信号从内层到外层,或者从外层到内层,就会产生反射。

4.3 消除串扰

串扰是信号间不希望有的耦合,有容性串扰和感性串扰两种,容性串扰是信号线间的容性耦合,当信号线在一定长度上靠得较近时就会发生;感性串扰类似于寄生变压器初次级之间的耦合,信号环路可能是由于布线时的疏忽而产生的人为环路,也可能是信号的自然回路形成的。抑制串扰首先要避免信号共用回路,对于容性串扰,在可能的范围内应尽量增大信号线间的距离;对于感性串扰,应尽量减小环路面积。

5 总结

笔者研制的变截面薄壁筒全自动超声探伤系统已通过有关部门鉴定并正式投入使用,作为其中数据采集的核心,所设计的六通道高速数据采集卡经过实际检验,很好地实现了多通道高速同步数据采集、存储及分时传送,图 4 为实际探伤时的超声信号

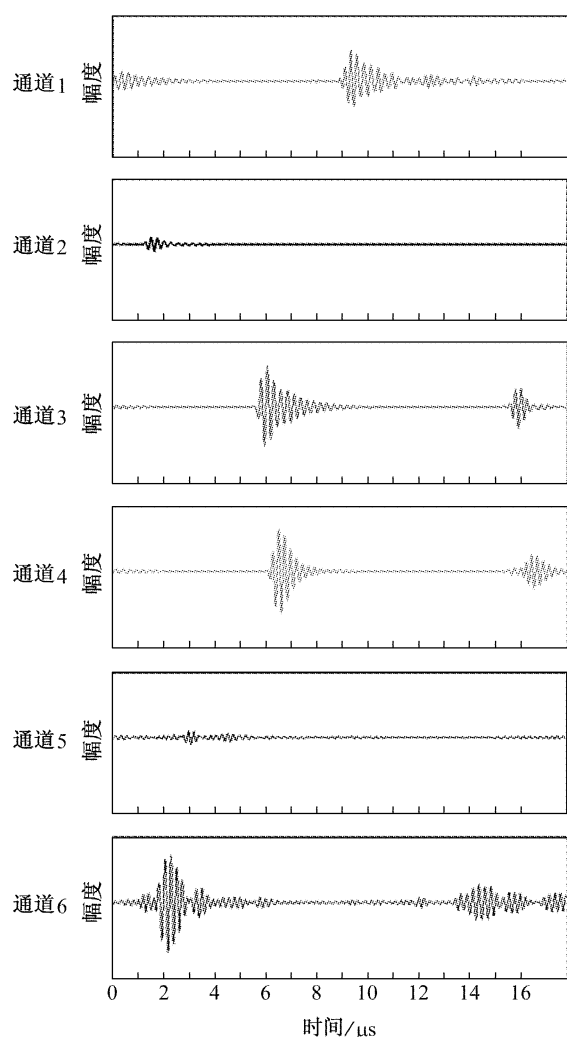


图4 六通道高频正弦波采集图

采样结果,六通道信号频率均为 6 MHz,其中 3 和 4 通道为直探头,其余为斜探头,位于变截面薄壁筒的不同位置。

该采集卡具有以下功能和特点:

(1) 可直接插入 PC 机的 PCI 总线插槽中,且可根据需要多卡并行工作,多通道同步采集数据。

(2) 每块卡均能独立完成六路模拟信号的同步数据采集,并将数据顺序存储在卡上的 SRAM 中,每路的存储深度为 128 kByte,宽度为八位。

(3) 每个通道的最高采样速率为 60 MHz,可在界面程序中进行调节,步长 10 MHz,A/D 转换器的分辨率为八位。

(4) 卡上配有宽频带模拟信号放大器,放大倍数可编程自动选择(-24~+76 dB)。

(5) 多种可编程控制的工作方式选择,使用方便灵活。

(6) 有内外两种触发方式,数据传输采用 I/O 查询方式。

参考文献:

- [1] 林 君,任 人,刘福春.多通道并行数据采集技术[J].长春地质学院学报,1996,26(1):93-98.
- [2] 汪宝璋,李 洁.实用电子电路手册[M].北京:科学技术文献出版社,1992.
- [3] 李贵山. PCI 局部总线开发者指南[M].西安:西安电子科技大学出版社,1997.

“无损检测仪器”不再属于“依法管理的计量器具”

国家质量监督检验检疫总局于 2005 年 10 月 8 日发布第 145 号公告,正文部分全文引述如下:

“为进一步贯彻实施《中华人民共和国计量法》和《中华人民共和国行政许可法》,我局组织制定了‘中华人民共和国依法管理的计量器具目录(型式批准部分)’,现予以公布,自 2006 年 5 月 1 日起施行。列入‘中华人民共和国依法管理的计量器具目录(型式批准部分)’的项目要办理计量器具许可证、型式批准和进口计量器具检定。

实施强制检定的工作计量器具目录按现有规定执行。专用计量器具目录由国务院有关部门计量机构拟定,报我局审核后另行公布。医用超声源、医用激光源、医用辐射源的管理按‘关于明确医用超声、激光和辐射源监督管理范围的通知’(技监局量发

[1998]49 号)执行。

自即日起,未列入本目录的计量器具,不再办理计量器具许可证、型式批准和进口计量器具检定。

附件:中华人民共和国依法管理的计量器具目录(型式批准部分)。”

在“附件”所列的目录中,没有了 1987 年目录中备受争议的无损检测仪器。在新的目录中,与无损检测仪器有关的仅有第 7 类,即“7. 测厚仪:超声波测厚仪、X 射线测厚仪、电涡流式测厚仪、磁阻法测厚仪、γ 射线厚度计”。

上述公告可在国家质量监督检验检疫总局的网站(<http://www.cqi.gov.cn/cms/template/item.html?did=1986&cid=1986\16441>)查到。

(郭成彬)