

基于 ARM 的智能高速虚拟数字存储示波器的研制

Research of Intelligent Virtual High-Sampling-Rate Digital

徐淑芳^{1,2} 沈洁¹ 徐大专²

(1 河海大学计算机及信息工程学院,江苏 南京 210098;

2 南京航空航天大学信息科学与技术学院,江苏 南京 210016)

摘要

提出了一种基于 ARM S3C2410 的智能虚拟数字存储示波器的实现方法,整个系统由带有 USB 接口的数字存储示波器卡、VC 编写的应用软件构成,该系统可实现的最高采样率为 200MHz,并且通过板卡上的 ARM 系统可以灵活地实现采样率、增益、触发等的控制以及后续新功能的扩展。

关键词:虚拟仪器,数字存储示波器,ARM,VC,FPGA

Abstract

This paper introduces the realization of a kind of intelligent virtual high-sampling-rate digital storage oscillograph based on ARM.The whole system includes the DSO card with USB,and VC supported application software.This system can realize the highest sampling rate of 200Mhz.The ARM system makes it easy to control the sampling rate,gain,trigger etc.,and with ARM it is also easy to add new function to the system.

Keywords:virtual instrument,digital storage oscillograph,ARM,VC,FPGA

本文介绍的智能高采样率数字存储示波器就是以 PC 为平台,配备基于 ARM 的专用信号处理板卡而搭建的虚拟仪器系统,该系统可以灵活的实现采样率的变换、增益控制以及触发等功能,并且通过简单的软件更新就可以实现逻辑分析仪的功能。从性能来讲,该示波器最高采样率达 200MHz,能够实现 40MHz 范围内任意波形的实时显示,完全可以取代相同性能的传统示波器。

示波器板卡部分以 ARM 和 FPGA 为核心,用高速 AD 保证对高频信号的完整采样,采用大容量的静态存储器完成数据的保存,通过 USB 接口将数据传入主机。PC 机中软件采用 VC 编写,具有良好的工作界面和强大的控制功能。

1 工作原理

基于 ARM 的智能高采样率数字存储示波器的组成框图如图 1 所示。该板卡设计了两路模拟输入通道,模拟处理部分包括信号的增益控制以及保护电路,其中增益控制通过由 FPGA 控制的继电器阵列实现。FPGA 是整个板卡的控制核心,它控制 AD 以合适的采样速率采集模拟信号,并将数据实时保存到存储器中,然后根据 ARM 处理器的指令将存储器中的数据读出,传递给 ARM。ARM 根据主机软件的指令对信号进行同步等处理后,通过内置的 USB 控制器传递给主机软件。主机软件提供人机界面,一方面通过控制面板完成指令的翻译并传递给 ARM;另一方面完成波形的显示。

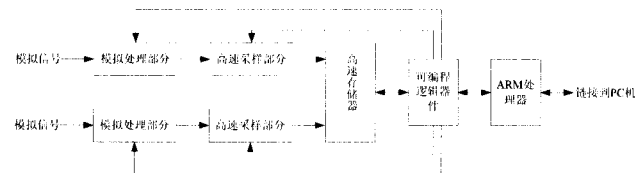


图 1 基于 ARM 的高采样率数字存储示波器板卡框图

2 示波器硬件部分设计

2.1 模拟处理部分设计

模拟处理部分主要完成模拟信号的增益控制、保护电路等。

该示波器的模拟输入信号允许的最大值为 50V,但 AD 部分的差分最大输入为 1.2V,因此需要对大信号进行衰减而对小信号进行放大。保护电路的作用是当输入信号超过 50V 时将输入信号进行隔离,以免造成器件损伤。模拟处理部分硬件框图如图 2 所示。

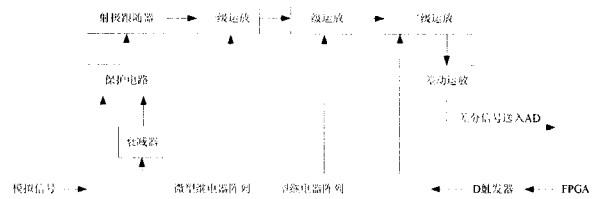


图 2 模拟处理部分硬件框图

微型继电器阵列中继电器的导通和关闭由 FPGA 通过 D 触发器控制,小于 5V 的模拟信号不经过衰减器,直接输入到保护电路,而大于 5V 的信号需经过固定的衰减后输入到保护电路。由保护电路输出的信号再经过后续的运放网络,最终提供给 AD 一路差分模拟信号。当主机端软件改变 Voltage/div 时,ARM 接收主机端信号,将指令译码后传递给 FPGA,由 FPGA 送出控制继电器阵列中继电器的开关控制编码,继电器的开关改变了运放网络的放大/衰减倍数,从而达到调理输入信号的目的。继电器中的一部分开关控制示波器的直流耦合、交流耦合、对地耦合;剩余部分控制着接到运放上的阻容网络。为了提高系统的抗干扰能力,AD 采用差分输入,因此信号经过两级运放后输入一个差动运放,由单端输入变为差动模式,差动运放输出的信号直接进入 AD。

2.2 数字处理部分设计

2.2.1 芯片选型

该示波器要实现高采样率以及后续功能的灵活扩展,芯片的选型需要基于这两点进行。要实现高速采样以及实时数据存储,就必须选择高速 AD、SRAM 和可编程逻辑控制器,AD 完成信号的高速采集,SRAM 完成信号的高速存储,而可编程逻辑控制器需要输出高速时钟以及控制信号。该系统中,AD 采用模

拟公司的 8Bit 的 AD9288, 这款芯片在单片上集成了两个 AD, 这两个 AD 同时工作可以实现最大 200MHz 的采样率, 而数据的控制时钟只需要 100MHz。系统的 SRAM 采用台晶公司的 T35L6464A-5Q, 它的最高工作时钟为 200MHz, 完全满足系统性能要求。FPGA 的选型需要考虑两点, 一是要满足性能要求, 二为了今后的功能扩展需要预留一定的逻辑资源, 基于这两点, FPGA 选择了 Altera 公司的 Cyclone 系列 PQFP 封装的 FPGA EP1C6 芯片, 该系列芯片最高工作频率可达 600MHz 以上, 最大通用 IO 为 185, 逻辑资源为 5980, 完全满足本系统当前以及后续扩展的需求。ARM 芯片选择三星公司的 32Bit RISC 指令集的 S3C2410, 该芯片最高工作频率达 266MHz, 含有内置 USB1.1 设备以及其它丰富的外设, 可方便的实现接口方式的扩展, 本系统使用 USB 接口实现与 PC 的通信。

2.2.2 采样部分设计

该系统采样部分包含高速 AD、高速 SRAM 以及 FPGA, 核心部件为 FPGA。FPGA 的逻辑通过主机软件动态加载, 这样做带来的一个好处是可以很方便的通过动态加载不同的逻辑实现不同的板卡功能。FPGA 的任务包括控制微型继电器的开关, 控制 AD 的采样时序和 SRAM 的读写时序, 完成与 ARM 的信息交换。系统上电后板卡默认加载自带的示波器逻辑, 该逻辑设计方块图如图 3 所示。主机端软件运行后, 根据用户的选择, PC 机通过 USB 口下发一系列指令, 这些指令包括: 通道选择, 增益控制, 采样频率, 存储器深度等。为方便处理, 每一条指令都是用 16Bit 的字来表示, 前 8Bit 表示命令代码, 后 8Bit 表示该命令码对应的数值, 譬如 0x0102 表示增益控制, 且增益为放大 2 倍。ARM 将这些指令传递给 FPGA, FPGA 通过一个 D 触发器将这些命令送入一个译码模块, 译码模块将这些指令分别解释成送入继电器阵列的继电器开关控制信号, 送入分频模块的采样率控制信号, 送入 SRAM 的存储深度控制信号, 送入数据模块的通道选择信号。

FPGA 逻辑中, 继电器控制模块根据译码模块送来的控制信号输出 8Bit 位宽的控制信号给图 2 中的 D 触发器, 这个触发器每个引脚的状态控制着继电器的导通和关闭。外部 D 触发器的时钟没有特殊的要求, 因此, 直接由 FPGA 产生 1kHz 的分频信号提供。

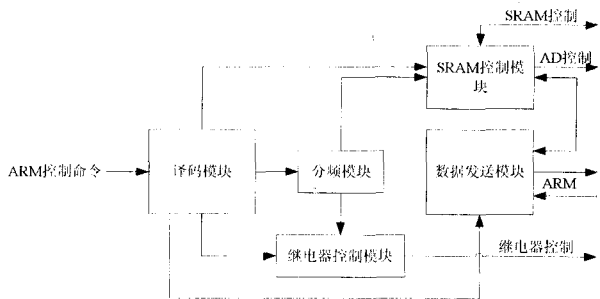


图3 示波器 FPGA 逻辑设计框图

因为 AD 的最高采样时钟为 100MHz, 所以分频模块需要以此为基准产生时钟以供整个逻辑同步工作。基于计数器的分频设计有两种方案: ①根据译码模块送来的采样率控制信号产生一个计数器模值, 改变模值即可产生不同的输出时钟。②设计一个固定的 10 分频模块, 然后将多个 10 分频模块级联起来, 每个连接点处可输出不同的时钟。方案一可以产生任意 100MHz 的偶数倍分频, 但它消耗的逻辑资源较多; 方案二虽然消耗的资源较少, 但是它只能产生 100MHz 的 10 的幂次方分频。考虑到采样后的数据可以在 ARM 中进行二次采样处理, 选择方案二。这个采样时钟通过数据选择器后送入 FPGA 内部的异或门, 产

生两个相位完全相反的时钟信号送入 AD。此时, 只要控制 AD 片内两个通道的工作情况, 就可以实现 200MHz、100MHz、20MHz 等的采样率。

SRAM 控制模块是一个模值可变的计数器, 模值由主机软件设置, 由于存储深度为 1K 的倍数, 因此只要判断计数器的特定位变“1”后将计数器清零便可以达到改变模值的目的。系统开始运行后, SRAM 模块控制 AD 将采样数据顺次写入 SRAM 中, 等到达设定的存储器深度后, 通知 ARM, 并且暂停采样, ARM 读取 SRAM 中的数据, 读完之后 AD 继续采样, 此过程循环运行直到系统终止。

数据发送模块的任务比较简单, 主要是配合 ARM 数据总线的读写时钟将 SRAM 中存储的数据读出来。当 SRAM 控制块通知数据发送模块采样结束后, 数据发送模块将外部数据线以及读信号线连接到 SRAM 的对应信号线上, 等读取数据结束后再将这两组信号线断开。

2.2.3 ARM 系统设计

示波器板卡使用 ARM 处理系统的好处是可以将数据处理部分在板卡上就完成, 因此对 PC 机的处理性能没有要求, 完全可以使用一些已经淘汰的 PC 机。ARM 芯片选择三星公司的 ARM920T 系列 S3C2410 芯片, 操作系统选用 Linux, USB 驱动使用三星公司网站上提供的标准模块。当前设计的应用软件主要包括两个部分: 接收处理部分和数据发送处理部分。接收处理部分较为简单, 由中断触发, 当主机软件发送指令时, 接收模块直接将接受到的命令码透传到 FPGA, 同时需要使用一根通用 IO 线作为触发信号通知到 FPGA 内的逻辑; 接收模块的另一个任务是需要将主机下发的命令码等参数记录下来, 譬如触发电平、是否双踪示波、采样频率、是否需要二次采样等。数据发送模块采用查询方式, 循环判断采样是否达到存储器深度, 如果达到深度, 则持续读取数据, 经处理后发送到主机端软件, 其流程框图如图 4 所示。

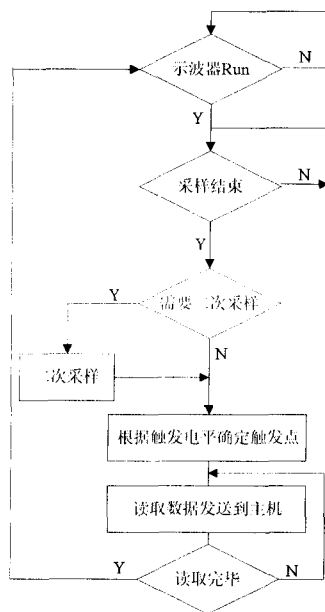


图4 ARM 数据发送模块流程图

3 主机端软件设计

使用 LabWindows/CVI 编写的应用软件运行后的界面如图 5 所示。

界面包括如下各个模块: 显示屏、Time/Div、Voltage/Div、Coupling、Trigger、Level、幅度、频率、存储深度以及运行控制按钮, 与传统示波器的控制面板基本相同。界面上的各个控制按钮通过 USB 的驱动程序与 ARM 系统通信。主机端软件运行时, 用户点击“run”按钮, 程序便向板卡发送一系列指令, 包括通道选择, 采样率, 衰减等, 然后启动数据上传线程。示波器板卡便将采集到的数据通过 USB 传送到主机。由于 ARM 已经将采集到的数据做了触发、同步处理, 所以主机的任务变得简单, 只需要不断刷新屏幕显示波形即可。

4 仪器性能及改进方向

该示波器性能如下: ①双通道; ②输入信号电压范围 0~

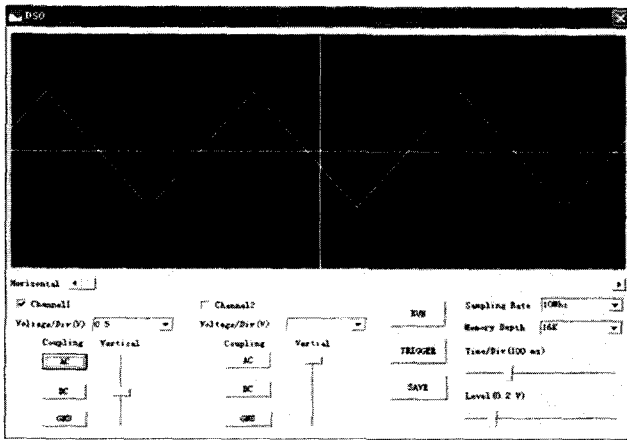


图 5 示波器主机端软件运行后的界面

50V;③最高采样率 200MHz;④最大存储率 64K×32Bit;⑤输入信号频率范围 0~40MHz。

基于当前的示波器版本,有如下几个改进方向:①可以利用 ARM 处理器实现对输入信号的自动显示适配功能,就是 TEK 示波器上的“auto set”功能;②使用 Cyclone 系列 FPGA 可以

参考文献

[1]卢希飞,徐大专.高采样率虚拟数字存储示波器的研制[C]//.第十八届南京地区高校研究生论论文集,2003
 [2]Samsung Corp. User's Manual S3C2410A[EB/OL]. www.samsung.com

[收稿日期:2008.8.7]

(上接第 60 页)

量化后得到的 X_i, Y_j 可算出 K_p 相应得 Z_{ij} , 对 X, Y 中元素所有组合全部计算出相应的 K_p 的输出值, 可以方便地得到模糊输出 K_p 的模糊控制查询表。

2 应用 S7-300 PLC 实现蒸汽养护过程中温度量的模糊控制

2.1 系统组成

该温度控制系统控制核心为西门子 S7-300 PLC 和人机界面 TP270-10, 外围设备为温度传感器、电动蒸汽阀。人机界面完成智能化的后台管理、各养护参数的设定及温度控制过程的监视和报警。CPU 单元为 CPU315, 模拟量输入模块选用 8 路 * 12Bit 的 SM331, 模拟量输出模块选用 4 路 * 12Bit 的 SM332。传感器为铂热电阻 Pt100 温度变送器, 三线制接线, 精度较高。模拟量输出改变其控制电流 4~20mA, 实现电动蒸汽阀的开度控制。

2.2 S7-300 PLC 的组态与编程

西门子 S7-300 PLC 的编程系统 STEP7 提供了丰富的功能模块, 为模糊控制算法的实现提供了方便。首先进行硬件组态, 然后采用 PLC 编制软件程序主循环程序模块 OB1 实现对功能和功能块的调用以及信号和数据的传递。考虑到养护池内部温度分布得不均匀以及蒸汽扩散对温度传感器传输的数据的滞后影响, 养护池温度在较短的时间内基本上无显著变化, 循环中断组织块选择时间间隔为 2s 的 OB31。功能块 FB1 为模糊控制器, 完成整个模糊控制功能。与之相对应的背景数据块为 DB1, 主要存储量化因子及目

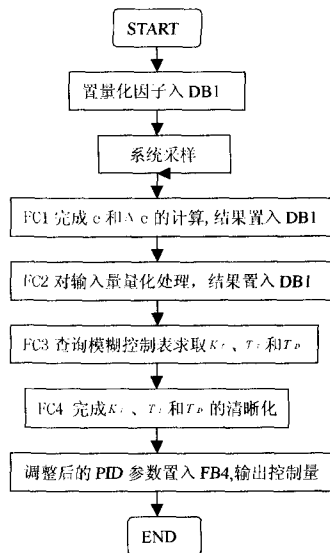


图 2 程序流程图

实现对输入信号的频域处理, 从而可以在 PC 上显示频谱;③实现逻辑分析仪功能。

5 结束语

我国目前高档示波器主要依赖进口, 这些仪器加工工艺复杂, 对制造水平要求很高, 生产突破面临较大困难。而本文提出的基于 ARM 的智能高采样率虚拟数字存储示波器仅适用必要的数据采集硬件即可完成对高频信号的直观显示, 而且性能优异, 因而具有很高的性价比。而且, 通过板卡上的高性能可编程逻辑器件以及 ARM 处理器可以实现一些先进的数字信号处理算法, 实现传统示波器所不具备的功能。另外, 虚拟仪器主机端以及板卡端的软件可以很方便的升级, 以增加示波器的额外功能。可以看出, 虚拟数字存储示波器在我国示波器市场具有广阔的发展前景。

标温度等参数。FB1 由功能 FC1~FC4 四个子程序组成。其中 FC1 完成 e 和 Δe 的计算; FC2 进行模糊化处理; FC3 实现模糊控制表的查询功能; FC4 完成 K_p, T_i 和 T_D 的清晰化处理。计算结果送到 FB4 中对应的参数中。通过 FB4, 送到模拟量输出模块实现控制作用。最后由 FC4 实现控制量、和的清晰化转换, 将最终计算结果送到 FB4 中对应的参数中。通过 FB4, 输出控制量送到模拟量输出模块实现控制作用。

此系统在某外资企业徐州铸管有限公司的水冷离心铸造球墨铸管生产线中投入使用, 进行球墨铸管水泥内衬 72 小时的养护。使用中以一台 PLC 控制 8 个养护池, 根据专家提供的球墨铸管水泥内衬养护经验曲线, 设定养护过程的时间和温度参数。历经多个批次球墨铸管的生产, 经产品检验证明, 这种养护方式制成的球墨铸管的品质得到可靠提升: 球墨铸管水泥内衬的水化反应良好, 水泥内衬的密实度和弹性模量较高, 球墨铸管的抗压强度、抗冻性能、抗渗透性能较好, 相对含水率较低。同时, 此控制系统将铸管水泥内衬的养护时间由传统的 7 天减少为 3 天, 缩短了产品的生产周期。

3 结束语

本设计通过西门子 S7-300 PLC 对实际测量温度和与设定温度的温度偏差进行模糊化处理, 利用专家知识经验建立的两维温度量模糊控制规则进行处理, 然后对输出量值反模糊化, 进一步实现高温蒸汽阀开闭量的控制。应用实践证明: 对于温度控制的大时滞、大惯性、难以建立精确数学模型的特点, 进行模糊控制, 具有良好的控制精度和可靠性能, 对混凝土蒸汽养护过程的温度量实施模糊控制, 提高和优化了混凝土制品的产品品质, 保证了产品的稳定性, 提高了生产效率, 企业因此也取得了良好的经济效益。

参考文献

[1]廉小亲.模糊控制技术[M].北京:中国电力出版社,2003
 [2]王立新.模糊系统与模糊控制[M].北京:清华大学出版社,2003
 [3]岳剑锋.FUZZY-PI 控制器在水温控制系统中的应用[J].天津工业大学学报,2006,25(2):65-67

[收稿日期:2008.9.16]