

# 便携式电力线高频载波通道测试装置的研制

王淑青, 刘辉, 何涛

(湖北工业大学, 湖北 武汉 430068)

**摘要:** 介绍了便携式电力线高频载波通道测试装置设计思想、方法。设计中针对宽频率范围的高速采样特点, 硬件采用以 FPGA 为主的信号采集处理卡, 经 USB 口与便携电脑相结合, 处理方便; 软件设计了数字信号抽取运算和滤波器。该测试系统充分利用计算机显示、处理、存储功能, 集成化程度高, 是一多功能数字化的智能测控系统。

**关键词:** 高频载波; 通道测试; FPGA; 高速采样控制

**中图分类号:** TP206 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)09-0049-04

## 0 引言

电力线高频载波技术在电力行业和其它相关领域得到了广泛应用, 具有十分重要的地位。但现有的电力线载波通道检测设备却比较落后, 主要表现为: 电路复杂、集成化程度低、性能不稳定、调试难度高缺点, 很多设备不具备实验规程融入功能和实验数据记录和分析能力。虽然有些科技工作者作了大量研究, 但现有新产品大多是由单片机或 DSP 微处理器系统与 PC 机或便携电脑相组合<sup>[1,2]</sup>, 仍存在问题, 主要表现在:

下位机电路设计复杂;

与计算机之间的接口多简单串口, 成为装置与计算机交换瓶颈;

没有充分利用计算机资源和灵活性;

用户不易二次开发。

鉴于存在以上问题, 经过多年探索, 研究出一套经济、实用的方案。采用以 FPGA 为主的信号采集处理卡, 经 USB 口与便携电脑相结合, 充分利用计算机显示、处理、存储功能, 集多功能于一体。

## 1 硬件设计

### 1.1 总体设计

智能远动通道测试装置是一多功能数字化检测系统, 实现了频谱分析, 通道误码率检测, FSK 调制解调器、示波器、录波器、频率发生器等功能, 并能对故障进行分析。

频率测量范围为 10 Hz ~ 620 kHz, 采样速率 5 Mbps, 实时动态刷新速率小于 5 s, 频谱分辨率小

于 10 Hz, 频率合成范围为 10 Hz ~ 620 kHz, 合成速率 5 Mbps, 测量电平范围为 -40 ~ 10 dB, 测量误差小于  $\pm 0.5\%$ 。采用示波器显示、分析波形。

智能测试装置由信号采集处理卡和便携电脑或 PC 机组成, 其结构如图 1。信号采集卡与计算机间通讯采用 USB 2.0 接口, 16bits \* 20MHz 速率。信号采集处理卡负责信号采集处理, 并将合成数字信号转换成模拟信号并送出, 并由可编程器件 (FPGA) 负责数据流控制。数据流从外部看以全双工工作模式, ADC 和 DAC 都以 10MHz 工作, 由 FPGA 控制 ADC 和 DAC 正常工作, 并负责数据经 USB 口传送到计算机。USB 上行、下行数据交替进行、时分复用。上位机采用双缓冲, 存取数据保证客观上连续性。采样合成数据在硬件上采用缓冲, 从而保证采样与合成均匀和连续。

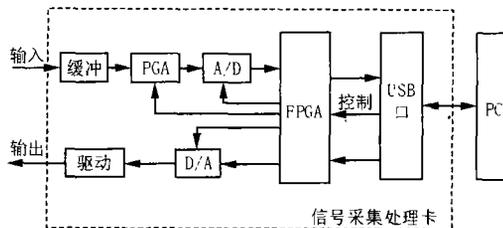


图 1 智能通道测试装置结构

Fig 1 Structure of intelligent channels testing device

### 1.2 FPGA 设计

本设计中采用 Altera 公司的 CYCLONG 芯片 EP1C6TQFP144。它是一款性价比高的 FPGA 芯片。设计成内部总共有 10 个功能模块: FIFO 控制器、运算处理、输入 FIFO、输出 FIFO、ADC 控制器、DAC 控制器、命令锁存器、PGA 控制器, 输出放大器和锁相环<sup>[3~5]</sup>。其结构如图 2 所示。

FPGA 与 USB 接口采用同步 show ahead 模式

基金项目: 湖北省自然科学基金项目 (2004ABA064)



$$x(n) = x(nD), n = 0, 1, \dots, \frac{N}{D} \quad (1)$$

即对原序列每  $D$  个采样值抽取一个,顺序地组成一个新的序列为:

$$x(n) = x(n) \cdot p(n) = \sum_{k=0}^{D-1} x(kD) \delta(n - kD) \quad (2)$$

式中

$$p(n) = \frac{1}{D} \sum_{k=0}^{D-1} e^{j2\pi kn/D} \quad (3)$$

抽样后序列的频谱为:

$$X(e^{j\omega}) = \frac{1}{D} \sum_{k=0}^{D-1} X(e^{j(\omega - \frac{2\pi k}{D})}) \quad (4)$$

从式(4)中可知抽取后的频谱  $X(e^{j\omega})$  相当于初始频谱  $X(e^{j\omega})$  每隔  $\frac{2\pi}{D}$  移位叠加。为了避免在抽取过程中发生频率响应混叠失真,能使信号无失真的复原,必须在抽取前对序列  $x(n)$  进行低通滤波,将其频带压缩为  $\frac{1}{D}$  后再抽取。因此需设计一通带为  $\frac{1}{D}$  的低通滤波器。此滤波器的频域响应为

$$H(e^{j\omega}) = \begin{cases} 1 & |\omega| \leq \frac{\pi}{D} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

设计滤波器时,考虑通道载波特性,要求滤波器具有线性相位特性,且方便实现中心频率和带宽的动态变化,采用 FR 滤波器算法滤波,这里采用窗函数法。滤波器函数  $h(n)$  为

$$h(n) = h_d(n) \cdot W(n) \quad (6)$$

其中:  $h_d(n)$  为理想线性相位滤波器的函数

$$h_d(n) = \begin{cases} \frac{1}{2} e^{j\omega_c(n - \frac{N-1}{2})}, n = 0, 1, \dots, N-1 \\ \sin[\omega_c(n - \frac{N-1}{2})], n = \frac{N-1}{2} \\ -\frac{1}{2}, n = N-1 \end{cases} \quad (7)$$

式中:  $\omega_c = (N-1)/2$ ,  $W(n)$  是为了将  $h_d(n)$  从非因果序列转化为因果序列加的窗函数。在设计窗函数时,考虑矩形窗是最直接和简便的方法,但阻带衰减较小为 21dB,第一旁瓣与主瓣相比仅衰减 13dB,且产生较大的吉布斯(Gibbs)效应,综合考虑采用海明窗。Hanning窗定义为

$$W(n) = [0.54 - 0.46 \cos(\frac{2\pi n}{N-1})] R_N(n) \quad (8)$$

$$n \in [0, N-1]$$

则滤波器输入与输出间关系为:

$$y(n) = h(n) \cdot x(n) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k) \cdot x(n-k) \quad (9)$$

在运算时卷积运算较麻烦,这里我们采用先求  $H(Z)$ 、 $X(Z)$ ,再求  $Y(Z)$ ,再进行傅里叶反变换求出  $y(n)$ 。设计中采用时间抽选法快速傅里叶变换和反变换,以提高运算速度。

## 2.2 数据处理

数据计算处理及后续工作都在便携电脑或 PC 机上完成,功能结构如图 3。测试时首先要求用户输入有关线路情况的参数和测试技术,全部参数由系统提示。数据采集处理完后做一些相应处理。图形和报表能直观显示测试结果,实时动态刷新处理结果。

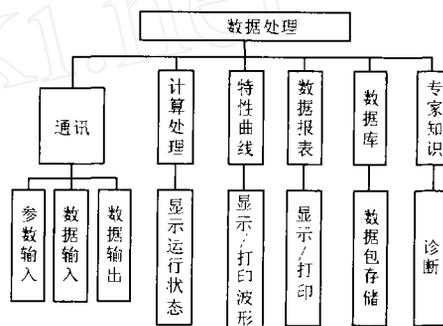


图 3 数据处理结构图

Fig 3 Structure of data management

## 3 结束语

本文所设计的测试装置,较以往的电力线载波通道测试设备有很大的改进和创新。设计上体现了智能化、集成化的特点,硬件结构简单可靠,接线方便。在功能上,装置集高频频率计、选频电平表、频率发生器、示波器、录波器、频谱分析等多功能于一体,真正方便用户测试。对装置的检测结果表明,其各项指标均达到预定要求,在现场使用得到用户好评。

## 参考文献:

- [1] 殷小龚. 电力线载波通道的智能测试系统[J]. 自动化与仪器仪表, 1997, (5): 16-20  
YN Xiao-gong The Intelligent Detecting System of Electric Power Carrier Wave Channels[J]. Automation & Instrumentation, 1997, (5): 16-20

- [2] 李中华. 基于电力载波的数据采集模块设计 [J]. 自动化仪表, 2004, 25(2): 32-36  
LI Zhong-hua Design of Data Acquisition Module Based on Electric Power Carrier [J]. Automation & Instrumentation, 2004, 25(2): 32-36
- [3] Stephe B, Zvonko V. Fundamentals of Digital Logic with VHDL Design [M]. USA: McGraw Hill Education, 1999.
- [4] 曾繁泰,等. VHDL 程序设计 [M]. 北京:清华大学出版社, 2001.  
ZENG Fan-tai, et al VHDL Program Design [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2001.
- [5] 徐惠明,等. 数字逻辑设计与 VHDL 描述 [M]. 北京:机械工业出版社, 2002  
XU Hui-ming, et al Digital Logic Design and VHDL Description [M]. Beijing: China Machine Press, 2002
- [6] CHU Zhen-yong, et al Realization of Digital Signal Processing with FPGA [A]. Proceedings of International Symposium on Satellite Communications and Remote Sensing Yantai (China): 1999.
- [7] 程佩青. 数字信号处理教程 [M]. 北京:清华大学出版社, 2002  
CHENG Pei-qing Digital Signal Processing Tutorial [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2002

收稿日期: 2005-09-21; 修回日期: 2005-10-19

作者简介:

王淑青 (1969 - ), 女, 讲师, 博士研究生, 主要研究方向为智能检测与控制、系统分析与集成; Email: wangqing9711@163.com

刘辉 (1962 - ), 男, 副教授, 博士研究生, 主要研究方向为电力系统自动化、系统分析与集成;

何涛 (1964 - ), 男, 副教授, 研究方向为虚拟仪器与故障诊断。

### Development of portable testing device for high frequency carrier wave channels of electric wire

WANG Shu-qing, LU Hui, HE Tao

(Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China)

**Abstract:** The idea and way of intelligent testing instrument for electric wire high frequency carrier wave channels are introduced. Considering the feature of frequency band in high-speed sampling, the hardware for signal sampling and controlling is designed based on FPGA, which connects with PC through USB port. Digital signals extractive arithmetic and FIR filter are designed in digital signals processing. The device integrates the functions of display, processing and storage of computer. The intelligent testing instrument is a multi-functional system.

This project is supported by National Natural Science Foundation of Hubei Province (No. 2004ABA064).

**Key words:** high frequency carrier wave; channels testing; FPGA; high-speed sampling control

(上接第 48 页 continued from page 48)

### Graphics and data dynamical publishing in web-based training simulation system for substation

SUN Xin-juan, YANG Feng, DONG Zhao-xia

(College of Hydropower & Information Engineering, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** As a new vector graphic standard for Internet, SVG (Scalable Vector Graphics) has provided a new way to actualize graphics and data dynamical publishing in Web-based TSS (Training Simulation System for Substation). This paper introduces the features and advantages of SVG, discusses the technology of graphics web publication and dynamical real-time data publication based on SVG, and enumerates several applications of SVG in Web-based TSS. It is proved that adopting SVG to actualize graphics web publication and dynamical real-time data publication in Web-based TSS could better solve the ability of interaction and the harassment of network's obstruct, publicize dynamical real-time data efficiently, and respond to the speed quickly. At the same time, the efficiency, security and dependability of the system can be guaranteed.

**Key words:** scalable vector graphics (SVG); training simulator system for substation (TSS); data dynamical publishing