

基于虚拟仪器的高速 PCB 信号检测方法

黄扬帆, 甘平, 刘晓

(重庆大学通信工程学院, 重庆 400030)

摘要: 针对高速 PCB 信号测试所面临的问题, 介绍基于虚拟仪器的高速 PCB 信号检测方法, 利用虚拟仪器的数字化技术结合计算机软件处理分析, 为高速 PCB 信号测试和设计阶段的逻辑功能验证相互结合提供完善的测试方法和技术手段, 为改进高速 PCB 设计提供参考和依据, 提升信号质量。

关键词: 高速 PCB; 虚拟仪器; LabVIEW 开发平台; 信号质量

High-speed PCB Signal Test Method Based on Virtual Instrument

HUANG Yang-fan, GAN Ping, LIU Xiao

(College of Communication Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030)

【Abstract】 Aiming at the problems which high-speed signal test of PCB is facing, this paper introduces the test ways of high-speed signal of PCB based on virtual instrument, and makes use of the combination of the digital technique of virtual instruments and computer soft analysis technique. It can provide perfect test ways and technique means for high-speed signal test of PCB and the validation of logic function in the process of design. It can provide reasonable and beneficial reference to improve the design of high-speed PCB that can upgrade signal quality.

【Key words】 high-speed PCB; virtual instrument; LabVIEW; signal quality

1 概述

随着电路系统设计的复杂性和集成度的大规模提高以及半导体技术的飞速发展, 电路系统设计和测试变得日益复杂, 特别是数字系统的工作频率已远高于 50 MHz, 其信号完整性问题日益突出, 高速印制电路板^[1](高速PCB)的设计及其信号检测, 给电子工程师带来巨大挑战。现代数字系统大量使用 FPGA、DSP 和嵌入式 CPU 等可编程芯片, 该类芯片工作频率高、I/O 管脚数量大, 从系统设计到软件逻辑功能设计验证阶段的大量工作依靠先进的 EDA 开发设计软件和各类相关调试工具在计算机上完成; 但从高速 PCB 设计到实物测试阶段需要大量的测试仪器和计算机系统配合完成。因此, 如何将高速 PCB 信号测试和设计阶段的逻辑功能验证有效结合是电子系统测试验证的难点。

本文在大量的设计调试中, 采用虚拟仪器结合数字逻辑功能验证, 通过计算机技术成功地处理这一问题, 并能通过这种方法解决设计中 PCB 布线的问题。

2 虚拟仪器的组成原理

2.1 虚拟仪器的硬件组成

硬件是虚拟仪器工作的基础, 测试采用 NI 公司的 PCI-5124 数字化仪^[2], 在 2 个 150 MHz 带宽的输入信道中进行同步采样, 可达到高达 75 dBc 的 SFDR (Spurious-Free Dynamic Range)。该款设备基于 NI 同步和存储核心 (Synchronization and Memory Core, SMC) 构架, 具备每通道 512 MB 板载内存、快速数据传输和紧密的同步功能。设计和测试领域的工程师可在几十皮秒内同步基于 SMC 的模块化仪器, 用于高通和混合信号应用。在高采样率情况下具有极高的分辨率, 可在采集高速 PCB 信号时保证足够的采样精度和带宽, 并可通过软件选择的 50 Ω 和 1 M Ω 输入阻抗、用于重复信号的 4 GS/s 随机隔行扫描采样 (Random Interleaved

Sampling, RIS) 以及包含视频触发的 5 个触发模式。

2.2 虚拟仪器软件组成

软件是虚拟仪器^[3]工作的核心, 基于测试信号采集的电路, 通过不同功能的分析软件完成各项功能的测量测试。可根据软件功能来定义各类仪器, 如频谱分析、波形采集、信号发生、逻辑分析等。根据虚拟仪器软件的设计功能分为几个层次, 其中包括仪器驱动程序、应用程序和虚拟面板程序。可以由设计者根据需求自行开发设计仪器应用软件, 也可使用专业虚拟仪器配套软件, 由于测试采用的 NI 的数字化仪快速开发测量系统, 因此使用 NI 的 LabVIEW 软件, 它不仅具有 32 MB、256 MB 或 512 MB 内存选择, 而且包含能提供优良的频域测量功能的 NI 频谱测量工具包 (NI spectral measurements toolkit), 例如在 NI LabVIEW 软件中, 可进行功率频谱、峰值功率和频率、内置功率、相邻通道功率以及 3D 光谱图等的测量。

3 试验系统与高速 PCB 信号测量原理

3.1 试验系统

试验系统是高速数字调制器基带处理电路, 要完成 50 Mbs 的 QPSK 调制器的基带数字成型功能, 采用 4 倍采样进行数字成型滤波, 时钟处理速度为 100 MHz, 其基带处理过程如图 1 所示, 电路系统主要由 1 片大规模的 FPGA 和 2 片高速 D/A 转换芯片构成, FPGA 采用 ALTERA 公司的 EP1C12 芯片, 高速 D/A 芯片采用 AD 公司的 AD9764^[4]。

作者简介: 黄扬帆 (1964 -), 男, 高级工程师、在职博士研究生, 主研方向: 信号与信息处理; 甘平, 工程师; 刘晓, 讲师、硕士

收稿日期: 2008-03-10 **E-mail:** hyf@ccee.cqu.edu.cn

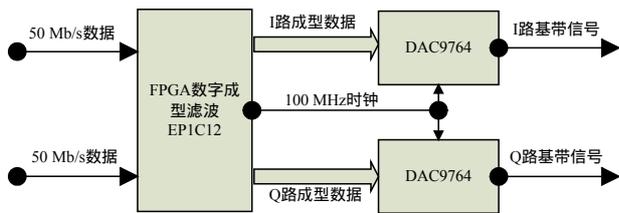


图1 50 Mb/s QPSK 调制器基带处理过程

其中, 50 Mb/s 数据、50 MHz 同步时钟、I、Q 两路成型数据及 100 MHz 同步时钟为关键信号, 即 AD9764 工作时钟为 100 MHz, 测试要求自 EP1C12 的 I/O 端口送出的数据应与控制 AD9764 的工作时钟同时到达 AD9764 的数据端口, 以保证信号完整性。

3.2 高速 PCB 信号测量原理

高速 PCB 电路系统主要是工作时钟高于 50 MHz 的数字系统, 当系统通电工作时信号在 PCB 板铜线中会产生传输线效应, 即信号完整性问题。信号完整性是指通过 1 段信号传输线后的质量, 由于电路的相互连接使信号的完整性容易受到破坏, 尤其在信号速率高时或信号的跳变沿很小时更加严重, 主要包括以下几个方面: 信号反射(reflected signals), 延时和时序错误(delay & timing errors), 多次跨越逻辑电平门限错误(false switching), 过冲与下冲(overshoot & undershoot), 串绕(induced noise or crosstalk)和电磁辐射(EMI radiation)。信号完整性测试指通过测试仪器找到 PCB 设计中未能考虑到的信号反射、过冲、振铃、延迟、串绕、电磁干扰等问题, 从而找到影响逻辑功能正常运行的物理因素。结合试验系统采用虚拟仪器测试高速 PCB 板上的关键信号是自 EP1C12 的 I/O 端口输出用于控制 AD9764 芯片的时钟信号和各位 D/A 数据信号之间的信号完整性, 其中重点测试延时和时序错误、信号反射以及数据信号线之间的相互串绕等内容。

4 测试设计与分析

4.1 测试方案

采用 PC 机配合进口的多功能 PCI-5124 数字化仪及自行设计件平台, 将检测设备电路板按照供电电源、插脚定义和信号类的高速数字调制器基带处理电路和虚拟仪器软型等进行分类处理, 重点测试 50 Mb/s 数据及 50 MHz 同步时钟和 I、Q 两路成型数据及 100 MHz 同步时钟等信号, 将输入的逻辑数据和仪器采集的测试信号进行分析, 由检测仪自动测试和自动分析的数据, 经虚拟仪器设计平台处理后在屏幕显示。测试系统结构如图 2 所示。

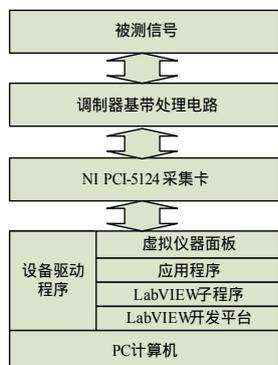


图2 测试系统结构

在测试系统^[5]设计应考虑:

(1)测试系统应尽可能做到自动化、智能化, 减少对外来

指导的需求, 同时必须获得较高的采样速率;

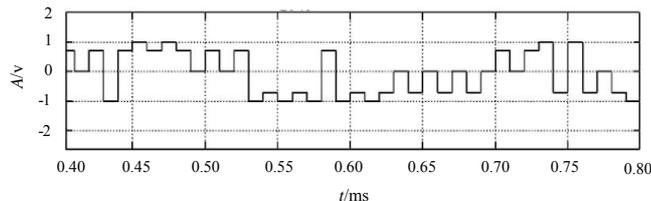
(2)测试系统的结构与布局进行优化, 强调逻辑验证和逻辑检测功能, 获取高速 PCB 信号检测的准确性和完整性;

(3)测试系统应有很好的通用性和可扩展性, 便于平时的维护和今后的升级, 以及与其他系统的匹配。

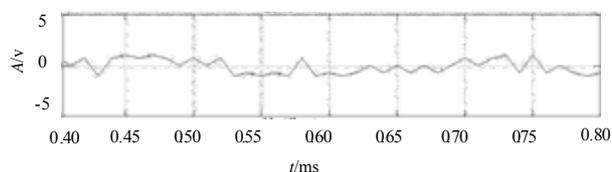
4.2 测试步骤及分析

在明确测试目的和测试系统结构的基础上, 确定如下检测步骤:

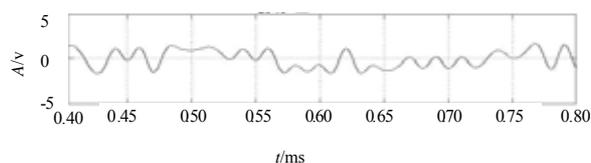
(1)确定实现的逻辑功能, 确定输入数据流的具体数值, 并进行理论或基于计算机软件系统的仿真测试。图 3 的波形是软件设计仿真的波形效果, 作为虚拟仪器测试的真实信号的理论和技术参考标准。



(a)二进制数据经 QPSK 相位映射后的数据波形



(b)进行插值后生成的波形



(c)经过数字成型滤波器后得到的波形

图3 各阶段逻辑仿真波形

(2)基于虚拟仪器测试高速数字调制器基带处理电路板上的高速信号, 首先用 PCI-5124 数字化仪初步测试 I、Q 两路基带输出信号的波形形状, 将其与基于软件仿真的成型滤波器后得到的 I、Q 波形形状大体一致; 在此基础上, 再逐一对比测试, 详细跟踪每一次相位变化所对应的基带波形形状, 判断是否正确。

(3)在步骤(2)的测试基础上, 如果波形形状对比差异较大, 则须逐级测试每一段信号的波形, 找出差异因素。首先根据图 1 所示, 在本测试系统中的关键信号是 50 Mb/s 数据及 50 MHz 同步时钟, 用虚拟仪器测试其 50 Mb/s 的多位数据中各位是否完全与 50 MHz 同步时钟同时输入到 FPGA 的 I/O 端口上, 这一点的测试是进行信号完整性测试中的延时和时序错误项测试, 当某一位或多位信号延后到达 I/O 端口, 即与 50 MHz 同步时钟上升沿到达没有同步, 数据延后或提前到达, 这样导致最后测试波形较仿真波形差异较大, 测试方法是将每一位数据位和同步时钟同时测试对比, 确保同步时钟上升沿采样数据的可靠性, 同理对 I、Q 两路成型数据及 100 MHz 同步时钟进行信号完整性测试中的延时和时序错误项测试, 如发现其超前或滞后时序关系超出容错范围, 说明 PCB 设计时某些走线过长或过短, 须调整 PCB 设计中信

号走线的长度。

(4)测试信号质量,主要测试信号反射项目,用虚拟仪器测试图 1 系统中的关键信号,信号沿传输线传播时,其路径上的每一步都有相应的瞬态阻抗,无论何种原因使瞬态阻抗发生变化,部分信号沿着与原传播方向相反的方向反射,而另一部分将继续传播,但信号幅度有所改变,故反射的信号量由瞬态阻抗的变化量决定,反射的发生是由于瞬态阻抗与输入阻抗不匹配而产生。当测试信号出现如图 4 所示波形时,则信号质量发生失真,主要是发生信号发射。当虚拟仪器测试到信号反射波形后,则须及时调整输入阻抗等参数,以改善信号质量。

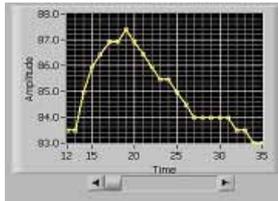


图 4 数据脉冲信号反射后输入端测试波形

(5)基于虚拟仪器对数据信号线之间的相互串绕项目检测,高速数字调制器基带处理电路板上从 FPGA 到高速 D/A 芯片是 12 位数据线,这些数据线通常在 PCB 布线时是成组或成对出现,因此,会产生串绕影响信号质量。串绕表现为在一根信号线上有信号通过时,在 PCB 板上与之相邻的信号线上就会感应出相关的信号。信号线距离地线越近,线间距越大,产生的串绕信号越小。异步信号和时钟信号更容易产生串绕。解串绕的方法是移开发生串绕的信号或屏蔽被严重干扰的信号。

基于上述测试,结合虚拟仪器与 LabVIEW^[6]软件系统对高速数字调制器基带处理电路板的逻辑功能和 PCB 信号质量进行测试分析,为改进高速 PCB 设计提出合理有益的参考和

(上接第 273 页)

每隔 1 min 检测的二氧化碳的浓度信号,共 7 200 个数据。系统在 OMNet++ 上的运行情况如图 5 所示。可见,轮询和数据交换信息可以通过多跳形式从源节点传输到目的节点。输出结果是 SSN 节点 tic[1] 上的部分挖掘结果,截取的是上午 9 点~10 点之间采样的数据:

[1] 0:0:8.98906250: Time	Center	ClusterID	Total_Num
[1] 0:0:8.98906250: 0900-1000	127.0	0	278
[1] 0:0:8.98906250: 0900-1000	112.0	1	116
[1] 0:0:8.98906250: 0900-1000	44.0	2	326

定义 $k=3$,因此,聚类结果分属于 3 个不同的类 0, 1 和 2。结果还显示了不同类的中心值和每个类所包含数据的个数。

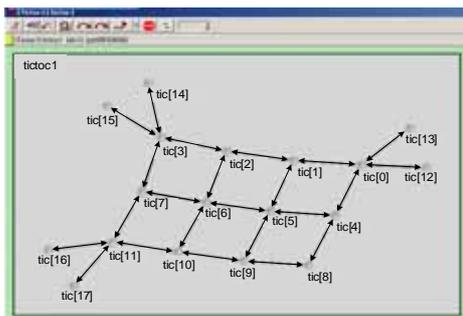


图 4 仿真实验拓扑

依据,提升信号质量,完善系统功能。改进 PCB 设计后,虚拟仪器测试 1 路基带信号的波形如图 5 所示,与仿真逻辑功能波形一致,因此,基于虚拟仪器改善高速 PCB 设计更能发挥系统验证功能。

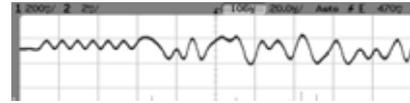


图 5 改进 PCB 设计 1 路基带信号测试波形

5 结束语

基于虚拟仪器的高速 PCB 信号检测主要利用虚拟仪器的数字化技术结合计算机软件处理分析技术,为高速 PCB 信号测试和设计阶段的逻辑功能验证相结合提供完善的测试方法和技术手段,为使用虚拟仪器技术进行高速 PCB 信号检测提供一种新的方法,并突出虚拟仪器的强大优势。与传统测试技术相比,虚拟仪器能更好地将功能设计、仿真验证和实际信号测试分析有机地结合在一起,随着微电子技术和计算机技术的发展,虚拟仪器技术在检测、测试系统等领域必将发挥越来越重要的作用。

参考文献

- [1] Johnson H, Graham M. 高速数字设计[M]. 沈立,朱来文,陈宏伟,等,译.北京:电子工业出版社,2004.
- [2] National Instruments Inc.. NI 5124 技术手册[Z]. 2004.
- [3] 张易知. 虚拟仪器的设计与实现[M]. 西安:电子科技大学出版社,2002.
- [4] Analog Devices Inc.. AD9764 技术手册[Z]. 1999.
- [5] 刘思久. 基于虚拟仪器的 PCB 数字功能模块的测试[J]. 哈尔滨理工大学学报,2005, 10(6): 112-116.
- [6] 李宇华. 虚拟仪器开发平台 LabVIEW 介绍[J]. 计算机自动测量与控制, 1996, (3): 45.



图 5 仿真运行显示

根据运行情况和结果显示可知,该系统能有效地实现数据的多跳传输和分布式数据挖掘,对挖掘结果的有效性和精度的分析将作为后续研究。

参考文献

- [1] 李建中,李金宝,石胜飞. 传感器网络及其数据管理的概念、问题与进展[J]. 软件学报,2003, 14(10): 1717-1727.
- [2] TinyOS Homepage[EB/OL]. (2007-12-03). <http://www.tinyos.net>.
- [3] Perkins C, Royer E B, Das S. Adhoc On-demand Distance Vector (AODV) Routing[S]. RFC3561, 2003.
- [4] OMNet++ Homepage[EB/OL]. (2007-10-19). <http://www.omnetpp.org>.