

# 基于 VPX 总线的高速数字电路 测试系统研究及应用

王 燕, 曹子剑, 水道雁

(南京电子技术研究所, 南京 210039)

**摘要:** 为解决战略预警雷达、舰载一体化等重点型号雷达中高速数字电路模块的维护能力, 设计了基于 VPX 总线的高速数字电路自动测试系统, 通过自研基于 VPX 总线的多功能测试模块、光纤测试模块, 以及通用 VPX 背板, 再结合通用的仪器设备构建测试系统, 可兼顾多个型号雷达高速数字电路模块的测试; 该系统可提供 10 路光纤通道, 波特率最高为 3.2 Gbps; 16 路 GPIO 信号, 中断响应时间  $< 50 \mu\text{s}$ ; 14 路 Rocket IO 信号, 传输速率 2.5 Gbps; 4 路 \* 4Rapid IO 信号, 传输速率 3.125 Gbps; 研究及实测结果表明该系统可解决基于 VPX 总线的高速数字电路模块的测试。

**关键词:** VPX 总线; 高速数字电路自动测试系统; 多功能测试模块

## Research and Application of High Speed Digital Circuit Testing System Based on VPX Bus

Wang Yan, Cao Zijian, Shui Daoyan

(Nanjing Research Institute of Electronics Technology, Nanjing 210039, China)

**Abstract:** An automatic test system of high speed digital circuit based on VPX bus is designed in this paper to resolve maintenance ability of high speed digital circuit modules in the important strategic early warning radar and shipboard integrated radar. The system can test high speed digital circuit modules of multiple model radars. We establish the test system by researching multiple function test module, fibre-optical test module and universal backboard based on VPX bus, universal instruments are also used in the system. The system can provide ten fibre-optical channels which the highest transport frequency is 3.2 Gbps; sixteen GPIO signals which interrupt response time is less than  $50 \mu\text{s}$ ; fourteen Rocket IO signals which transport frequency is 2.5 Gbps; 4 \* 4Rapid IO signals which transport frequency is 3.125 Gbps. The research and test results show the system can resolve the test problem of high speed digital circuit modules based on VPX bus.

**Keywords:** VPX bus; automatic test system of high speed digital circuit; multiple function test module

### 0 引言

现代雷达向着数字化、软件化的方向发展, 传统的雷达综合处理系统通常采用基于并行传输的 CPCI 总线或 VME 总线等构成, 模块间通信一般采用并行总线加自定义串行的方式, 整体数据传输率偏低。VPX 总线作为新一代的工业总线标准, 由 VME 总线发展而来, 在保留了 VME 总线机械结构及导热抗震方面的优势的同时, 最主要的变化在于引入了高速串行总线来替代并行总线。VPX 模块之间的互联可以采用 Serial RapidIO、PCI Express、光纤通道、10 GB 以太网等高速串行总线。这一改进使得 VPX 总线的带宽大大增加<sup>[1-3]</sup>。为了满足战略预警雷达、舰载一体化等新一代雷达装备的功能和性能需要, 雷达系统大量采用了 VPX 总线的高速数字电路模块。

针对战略预警雷达、舰载一体化等重点型号雷达, 本文提出了基于 VPX 总线的高速数字电路模块的测试方法, 通过自研基于 VPX 总线的多功能测试模块、光纤测试模块及通用 VPX 背板, 再结合通用的仪器设备搭建了测试系统, 可兼顾

多个型号雷达高速数字电路模块的功能测试与验证需求。

### 1 测试需求分析

本文以某雷达信号处理机中数据交换模块为例, 从需求分析到测试方案进行论述。数据交换模块为 VPX 6U 负载板 ( $233.35 * 160 \text{ mm}$ ), 由 2 片 XC5VTX240T 和 1 片 XC5VFX100T、BCM5396、2 片 DDR2、Flash、电源模块等器件组成。该模块的功能框图如图 1 所示。

数据交换模块的测试需求分析如下:

- 1) 内存读写功能测试: 操作正常, 读出的数据和写入的数据一致;
- 2) FLASH 空间功能测试: 操作正常, 读出的数据和写入的数据一致;
- 3) 网络功能测试: 操作正常, 收发数据一致;
- 4) Rapid IO 通讯测试: 数据传输正确, 传输速度  $\geq 1.0 \text{ GByte/s}$ ;
- 5) 边界扫描测试: 边界扫描测试通过, 无硬件连接故障;
- 6) 串口功能测试: 操作正常, 串口收发数据正常;
- 7) I<sup>2</sup>C 功能测试: 操作正常, I<sup>2</sup>C 读写数据正确;
- 8) GPIO 及中断功能测试: 操作正常, GPIO 收发数据正常, 外部发起中断信号, 被测模块  $50 \mu\text{s}$  内响应中断。

收稿日期: 2015-06-25; 修回日期: 2015-08-25。

作者简介: 王 燕 (1978-), 女, 硕士, 主要从事雷达测试系统的研制开发工作方向的研究。

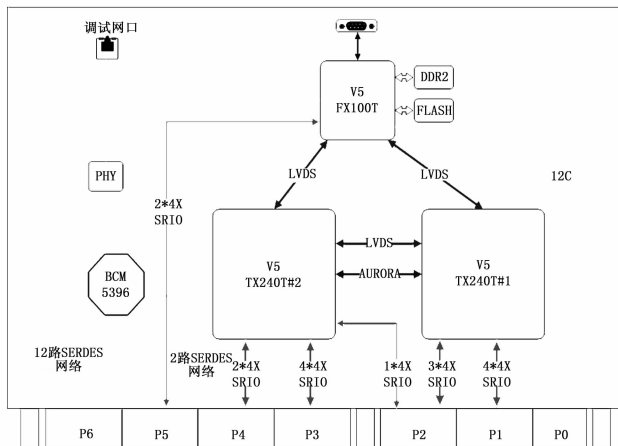


图 1 数据交换模块功能框图

## 2 系统设计方案

### 2.1 硬件组成

基于 VPX 总线的高速数字电路模块测试系统主要由机柜、计算机、VPX 总线测试插箱、多功能测试模块、光纤测试模块、高性能示波器、千兆以太网交换机、串口服务器、边界扫描测试设备等组成。系统组成框图如图 2 所示。

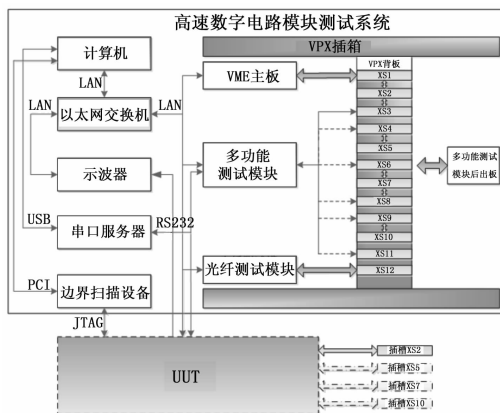


图 2 雷达高速数字电路模块测试系统原理框图

测试系统的控制中心是主控计算机，计算机通过网口控制仪表和测试模块，发送指令

给测试模块，测试模块接收指令解析后，产生测试命令和测试矢量，发送给被测件，然后等待并接收测试响应矢量，分析处理后将测试结果上报给主控计算机软件，软件平台根据测试结果分析判断，给出最终测试结论。

VPX 总线测试插箱用于安装 VME 控制器、多功能测试模块、被测件和光纤测试模块。基于 VPX 总线的多功能测试模块是测试系统的核心测试设备，该模块基于 VPX 总线开发设计，提供多种测试接口和多种类型的高速串行信号，如 ROCKET IO、RAPID IO 等。该模块通过网口接收上位机测试指令，生成和发送测试矢量，接收测试响应向量，能够对测试结果进行分析处理，最后可通过网口将测试结果传回主控计算机。

光纤测试模块主要用于测试光纤接口信号，能够满足多个

通道同时测试，通道波特率可独立设置，能够通过网口接收上位机测试指令，能够加载和发送测试矢量，接收测试响应向量，对接收数据可做初级处理后传回主控计算机，由主控计算机进行进一步的数据分析。

高性能示波器用于高速信号的测试和分析，能够进行眼图观察、抖动分析、串行数据分析、一致性分析等。

千兆以太网交换机具备多个千兆以太网接口，能够同时满足多个网口同时测试的需求。串口服务器可提供 8 个 RS232 标准串口，可满足一个被测件具备多个串口的测试需求。边界扫描测试设备提供边界扫描测试所需要的多路 JTAG 接口，最多提供 8 路 JTAG 接口，接口电平可变，有 1.8 V、2.5 V、3.3 V 和 5 V。

VPX 插箱提供了硬件运行环境，通用 VPX 背板定义了高速数字模块连接的拓扑结构，可以兼顾多个高速数字电路模块的测试。

### 2.2 关键模块设计

#### 2.2.1 基于 VPX 总线的多功能测试模块设计

基于 VPX 总线的多功能测试模块用于多个品种的高速数字电路模块测试，基于 VPX 总线开发设计，提供多种测试接口，如网口、光口、232 串口等；提供多种类型的高速总线测试信号，多种如 ROCKET IO、RAPID IO 等，系统设计框图如下图所示。

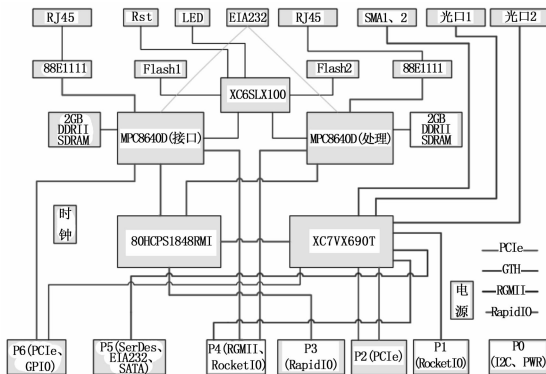


图 3 雷达高速数字电路模块测试系统设计框图

#### 2.2.2 基于 VPX 总线的多通道光纤测试模块设计

多通道光纤测试模块为标准 6U VPX 板卡，系统框图如图 4 所示，通过以太网网口与上位机相连。其中光纤通道 1 和光纤通道 2 共参考时钟，可设置为的波特率为 1.6 Gbps 和 2 Gbps，通道速率可以不一致。光纤通道 3~10 共参考时钟，可设置的波特率为 1.25 Gbps、1.6 Gbps、2 Gbps、2.5 Gbps、3.125 Gbps、3.2 Gbps。光纤通道 3~10 一共分为四组，即 F3—F4、F5—F6、F7—F8、F9—F10，每组光纤波特率可以独立设置，组内光纤波特率必须相同，光纤通道 3~10 可同时支持 4 种速率，但是 4 种波特率对应的参考时钟必须相同（共生频点：1.25 Gbps、2 Gbps、2.5 Gbps、3.125 Gbps 或者 1.6 Gbps、2 Gbps、2.5 Gbps、3.2 Gbps）。另外，同一光纤接口的发送通道与接收通道的波特率必须一致。测试模块给每个光纤通道分配了 20 MB 的发送缓冲和 20 MB 的接收缓冲（以 2 Gbps 速率收发可以支持 80 ms 的连续数据发送和连续数据接收）。

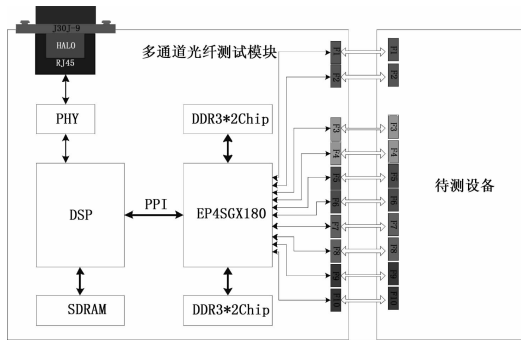


图 4 光纤测试模块设计框图

### 2.3 测试方案

以被测对象中的数据交换模块为例，本文重点论述该模块的测试方案，根据第 2 节测试需求分析，该模块的测试框图如图 5 所示。

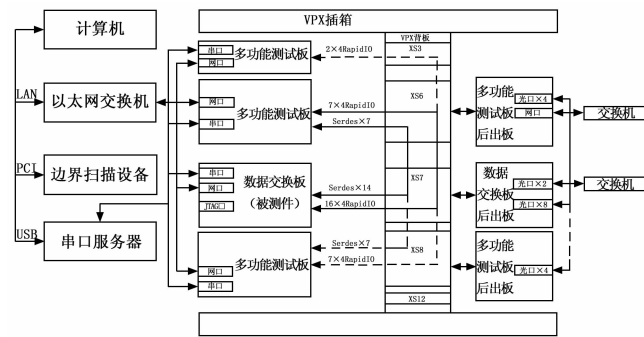


图 5 数据交换模块测试框图

数据交换模块安装在 VPX 插箱的插槽 XS7，多功能测试模块将分时安装在 VPX 插箱的插槽 XS3、XS6、XS8。数据交换模块的被测信号有一路 RJ45、1 路串口、12 路 Serdes、14 路 4×RapidIO，由于交换板被测信号数量较多，多功能测试模块单次测试无法完成，因此需要分时将多功能测试模块安装在不同插槽中来完成测试资源共用。所有的网络和串口信号都连接到网络交换机和串口服务器上，将由多功能测试模块的一路网络和串口统一进行数据收发测试。Serdes 信号通过背板被连接至多功能测试模块的 FPGA 高速接口上，通过 FPGA 的可重配置特性实现 12 通道的分别测试。通过分时测试方法，数据交换模块上的每一路 RapidIO 通道在多功能测试模块上都有一路 RapidIO 与之对应，多功能测试模块将根据实际通信速率对每一对 RapidIO 测试通道进行数据收发测试，数据量应在 1 MByte 以上。

### 2.4 软件设计

本系统软件的设计采用模块化、层次化、插件式、可扩展的构建思路，各功能模块相互独立，软件配置管理员根据系统需求动态选择相应子模块，快速构建新的软件系统。

软件对测试流程的开发采用了免编程的设计理念，对简单的测试对象，TP（测试程序）设计师不需要编写程序代码，即可完成测试流程的开发。平台软件提供了单步执行、断点设置等调试手段，便于 TP 设计师对测试流程的调试验证。

软件平台对仪表的控制采用 IVI 的设计思想，按照 IVI 规范将测试系统中的所有仪表进行相应的仪器驱动封装，能够轻松实现仪表的可互换性，解决了仪表损坏或停产造成的升级障碍，提高了系统升级维护的效率，降低了维护成本。<sup>[5]</sup>

软件的功能框图如图 6 所示。

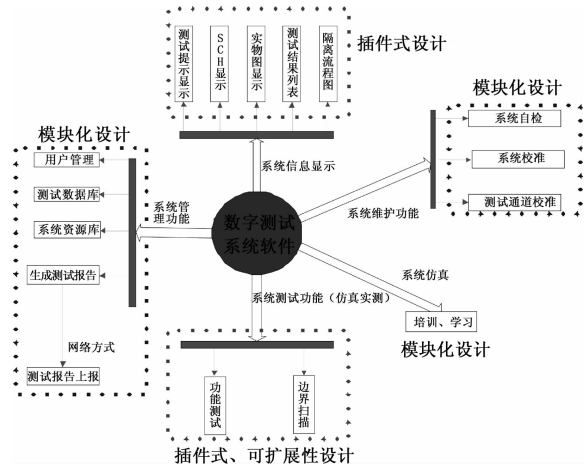


图 6 软件功能框图

## 3 结束语

本文提出了一种基于 VPX 总线的高速数字电路模块的测试方法，通过研究设计了通用的基于 VPX 总线的多功能测试模块、光纤测试模块，以及通用 VPX 背板，设计的自动测试系统可兼顾多个型号雷达高速数字电路模块的测试，改变了以往高速数字电路测试系统中多利用雷达装机件搭建测试平台的现状。该系统可提供 10 路光纤通道，波特率最高为 3.2 Gbps；16 路 GPIO 信号，中断响应时间 < 50 μs；14 路 Rocket IO 信号，传输速率 2.5 Gbps；4 路 × 4Rapid IO 信号，传输速率 3.125 Gbps。试验证明该方法对于解决 VPX 总线的高速数字电路模块的测试是切实可行的，目前该测试系统已应用到国内战略预警、舰载一体化等重点型号雷达多个分系统中高速数字模块的维护和功能测试，辅助进行故障定位，降低了对实际操作人员的技能要求，可有效提高部队维护保障能力。

### 参考文献：

- [1] 包利民, 潘奇. VPX 总线技术及其实现 [J]. 电子机械工程, 2012, 28 (2): 57-60.
- [2] 王丽, 付月生, 陈思思. 基于 VPX 总线的系统主控模块的设计与实现 [J]. 电子设计工程, 2004, 22 (14): 117-119.
- [3] 吉玉洁, 张小林. VPX 总线标准研究及其在无人机中的应用展望 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20 (4): 1112-1115.
- [4] 池凌鸿, 史鸿声. Open VPX 总线及其在雷达信息处理的应用 [J]. 雷达科学与技术, 2013, 11 (4): 409-412.
- [5] 黄晓晴, 王纬国, 梁岳, 等. 自动测试系统软件技术通用性研究综述 [J]. 测控技术, 2013, 32 (10): 1-4.
- [6] VMEbus International Trade Association. American National Standard for VPX Baseline Standard [S]. ANSI/VITA 46. 0-2007.