

通用数字电路板自动测试系统设计

郭素敏, 徐克宝, 苏春建, 刘艳芳, 徐秀秀

(山东科技大学 机械电子工程学院, 山东 青岛 266590)

摘要: 实现数字电路板的自动测试与故障诊断对于保证电子设备的安全运行具有重要的意义; 为满足自动测试系统通用性、标准化、可扩展性的发展需要, 采用标准化、模块化的设计平台, 创建了基于动态功能测试为核心的数字电路板自动测试与故障诊断系统; 构建了基于 VXI 总线的自动测试系统硬件平台, 创建了基于“背板+构件”的可扩展通用软件平台; 系统结构紧凑, 使用灵活, 易于实现对数字电路板快速、精确的故障诊断, 其诊断精度可达元器件管脚级。

关键词: 数字电路板; 功能测试; 自动测试系统; 硬件平台; 软件平台

Design of General Automatic Test System for Digital Circuit Board

Guo Sumin, Xu Kebao, Su Chunjian, Liu Yanfang, Xu Xiuxiu

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China)

Abstract: Automatic test and fault diagnosis of digital circuit boards is very significant to keep electronic equipments operating safely. In order to achieve general, standardized and scalable requirements for automatic systems, a system based on dynamic function testing is proposed. The hardware platform is built based on VXI bus and the software platform is built based on “Backplane&Component” technology with extendibility and generality. Following the design idea of standardization and generalization, the system is flexible and easy to expand with compact structure.

Keywords: digital circuit board; function testing; automatic test system; hardware platform; software platform

0 引言

早期数字电路板测试与故障诊断依靠工程技术人员的丰富经验和理论知识, 并借助一些常规的工具(如万用表、示波器等)来完成。由于设备、经验等条件的限制使得故障诊断周期长, 质量也无法保证^[1-2]。自 1959 年 R. D. Eldred 首先提出逻辑电路的计算机自动推导测试理论以来, 随着 VLSI 的大规模应用, 对于电路易维护性和易检测性的要求使得数字电路的测试自动化问题越来越重要。当前开发的自动测试系统大多只针对某一具体型号装备, 缺乏通用性。这种开发模式不但造成了重复投资, 而且随着硬件仪器的换代, 增加了系统维护和升级的困难。为了解决这一问题, 美国国防部 20 世纪 90 年代后期便开始规划下一代自动测试系统的体系, 以减少其软硬件的开发、维护和升级费用。针对某型装备数字电路板的测试需要, 采用模块化、标准化的设计平台, 创建了一种基于功能测试的数字电路板自动测试系统。

1 数字电路板功能测试原理简介^[3]

功能测试是指通过被测电路单元的 I/O 接口连通被测电路

板(简称 UUT), 并通过这些 I/O 端口施加激励信号和检测响应, 在电路板整个电气工作范围内进行测试, 可快速地测试电路板的整体功能; 故障检测率高, 不仅能查出功能性故障, 而且能查出连线故障; 既可用于电路板的维修, 又可用于调试。数字板电路功能测试的测试方式分为静态测试和动态测试两种。

与静态测试相比, 动态测试速度快、测试精确、支持复杂测试程序, 因此应用面较广, 尤其是在时序电路和复杂电路的测试中更有其独特的优势。结合课题需要, 本系统采用动态功能测试方案来实现数字电路板的自动测试与故障诊断, 其测试过程如图 1 所示。



图 1 测试过程

2 数字电路板功能测试系统设计

2.1 测试系统硬件设计

VXI 总线测试平台成为公认的 21 世纪仪器总线系统和自动测试系统的优秀平台, 广泛应用于自动化测试中^[4-5]。系统硬件平台主要由主控计算机、VXI 主机箱、模块化程控电源、接口适配器、探针接口板、引导探针等组成。VXI 主机箱中除了零槽控制器外, 核心模块为一块 VXI 中央资源模块和两块 VXI 数字通道模块。中央资源模块在所有数字通道模块的最

收稿日期: 2014-01-18; 修回日期: 2014-03-15。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51305241); 山东省高等学校科研计划项目(J12LA03)。

作者简介: 郭素敏(1979-), 女, 山东单县人, 讲师, 在读博士, 主要从事自动测试方向的研究。

徐克宝(1954-), 男, 山东青岛人, 教授, 博士生导师, 主要从事设备检测与智能控制等方向的研究。

右面, 机箱最左槽是零槽控制器。引导探针通过探针接口板和电缆与中央资源模块的前面板相连。数字通道模块所有通道都连接到接口适配器, 由其完成和 UUT 的管脚相连。零槽控制器通过 1394 电缆和安装了 1394 卡的计算机通信, 给 UUT 提供电源的程控电源通过 GPIB 电缆由计算机控制。以中央资源模块和数字通道模块为核心搭建的数字电路板功能测试系统硬件平台如图 2 所示。

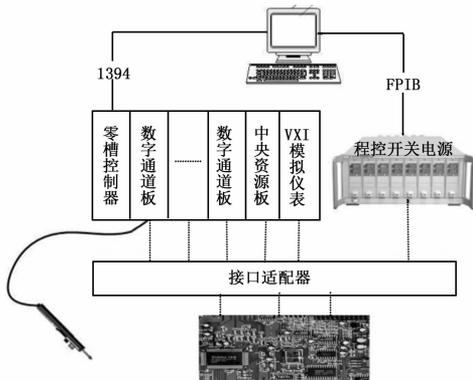


图 2 测试系统硬件平台

2.1.1 中央资源模块设计

中央资源模块是数字电路板功能测试的核心模块之一。它主要作用是控制功能测试的工作时序, 为数字通道模块提供精确的时序信息、为多个数字通道模块之间提供定时和控制信号、为探针接口板提供电源和控制信号, 分析处理数字通道模块和探针接口板返回的数据。中央资源模块主要由 VXI 接口电路、数据发生及处理电路 (FPGA)、信号处理电路 (DSP) 等组成。中央资源模块框图如图 3 所示。

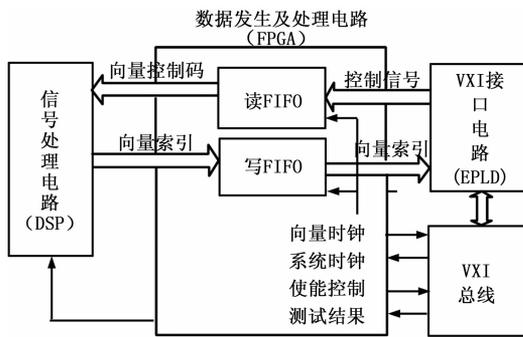


图 3 中央资源模块

VXI 接口电路使用了一片 EPLD 来实现所有的接口功能。EPLD 内实现了所有 VXI 总线器件配置寄存器, 还利用了与器件相关的寄存器对电路中的一些信号进行了控制, 如 D/A 的输入信号、继电器和开关的控制信号等。EPLD 与 FPGA 也通过 EPLD 产生的一些信号进行通信。

DSP 选用 TI 公司的 TMS320C6000 定点 DSP, 内部工作时钟可以高达 300 MHz, 并且可以并行运行 8 个指令。中央资源板就是利用了 DSP 能够高速进行取指、译码、执行等工作, 产生需要的向量索引信号。

FPGA 选用了 Altera 公司的 Stratix 系列 FPGA, 内部高达数百万门, I/O 多, 速度快, 主要作用是对 DSP 传送的向

量索引进行缓冲和处理, 并传送到通道模块上。同时还产生定时和控制信号提供给通道模块, 对通道模块返回的故障信息及探针接口板传送的信号进行分析和处理。

2.1.2 数字通道模块设计

数字通道模块也是数字电路功能测试的核心模块之一。它主要作用是驱动数字激励给 UUT, 检测 UUT 对激励的响应, 把响应和期望值相比较得到故障与否并将结果传回中央资源模块。本系统采用 2 块单槽 C 尺寸数字通道模块板卡, 每块板卡实现了 32 个数字测试通道, 二者通过连接器连在一起, 共用 VXI 总线信号。

数字通道模块主要由 VXI 接口电路、向量发生与响应检测 FPGA 电路、存储器电路、模拟通道电子设备电路、D/A 转换电路等组成。数字通道模块原理如图 4 所示。

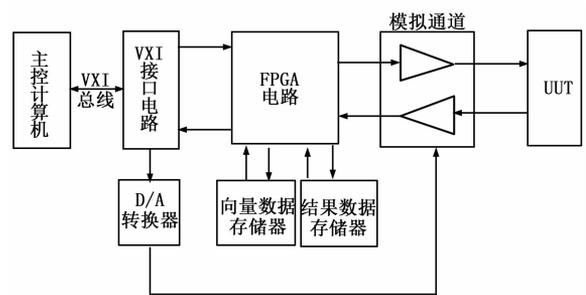


图 4 数字通道模块

VXI 接口电路仍然使用 EPLD 来实现所有的接口功能。不同的是因为要在单槽内实现 2 个 VXI 地址器件, 所以在通道模块的 2 块板卡的 EPLD 内分别用静态地址和动态地址 2 种方式实现了 2 个地址器件。

FPGA 的作用是产生符合要求的动态测试向量, 也就是动态数字测试激励, 并且检测和处理 UUT 的响应。模拟通道电子设备主要包括驱动器和检测器, 负责将 FPGA 产生的数字信号模拟化, 并将 UUT 响应转为数字信号送给 FPGA。D/A 的作用是给模拟通道电子设备提供一系列的基准电压, 作为驱动器输出的高、低电平以及检测器的高、低阈值。向量数据存储单元存储每个通道每个向量的管脚操作码, 即管脚状态, 在测试前由主机加载。结果数据存储单元存储每个通道每个向量测试通过或者失败的结果。数字通道模块在中央资源模块传送来的数据和控制信号作用下在 FPGA 内产生动态测试向量发送给 UUT, 并且检测 UUT 返回响应。

2.2 测试系统软件设计

在自动测试系统中, 软件平台提供用户与测试设备之间、测试程序与控制模型之间的操作接口, 负责解释执行与测试系统相关的控制模型, 是整个测试系统的核心^[6-7]。为满足测试系统的可扩展、可通用等要求, 该软件平台设计为一个具有开放体系结构的测试系统软件平台, 包含了测试系统软件所需要的基本功能, 包括用户管理、数据库访问、数据收集、报表生成等。

传统的自动测试系统软件将测试参数、程控命令等内置于测试程序中, 以测试流程为主, 通常采用面向仪器的方法来实现, 软件的通用性、可移植性和扩展性很差。本软件设计采用

基于“背板+构件”的体系结构，如图 5 所示。构件是可插拔的软件模块，其作用就好像是一个软件意义上的集成电路或一个 VXI 模块，用户通过积木式的组合构件的方式来生成一个测试系统，就好像硬件工程师通过组合不同的 VXI 模块来生成测试系统一样。其思想是可裁剪、按需集成。

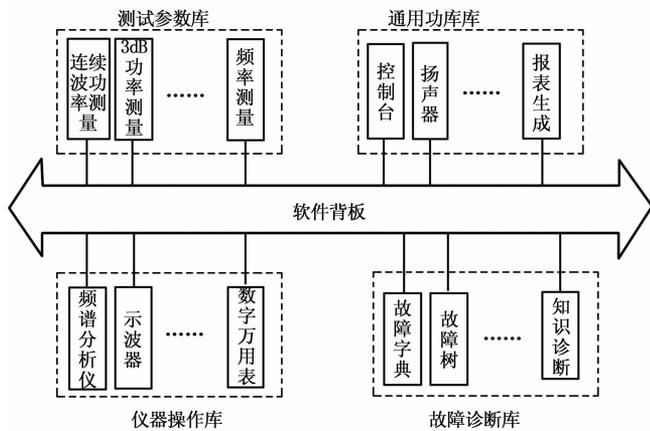


图 5 软件平台体系结构

为实现自动测试系统可扩展性的发展需要，该系统软件平台被设计为一个通用的、开放的、可扩展的测试平台，为不同的测试程序开发环境提供相对应的适配器，使得通用测试平台可以运行在这些开发环境下开发的测试程序，这些开发环境包括 LabVIEW、LabWindows/CVI、Visual C++ 等。同时，测试平台还对外提供了 COM 接口和 API 接口，测试程序可以通过这些接口与测试平台进行交互，从测试平台中获取相关测试配置和测试属性等。

2.3 系统实验与分析

美国 Teradyne 公司的 LASAR 电路板仿真软件以其易用性、强大的建模能力、精确模拟、可靠测试和标准的数据格式成为美国国防、航天测试程序开发的标准^[8]。它能够最全面、最客观的仿真各种电路特性，提供完善准确的故障诊断数据。LASAR 的 LSRTAP 数据格式也被 IEEE 协会采纳，并被制定为数字测试交换格式的国际标准 IEEE 1445。自动测试系统软件平台提供了对 IEEE 1445 标准的全面支持，通过提供 IEEE 1445 后处理程序和遵循 IEEE 1445 标准的故障字典诊断模块、引导探针诊断模块，实现了对数字电路板快速、精确的故障诊断，其诊断精度可达元器件管脚级。数字电路板自动测试与故障诊断过程如图 6 所示。

诊断实例仿真结果如图 7 所示。

3 结束语

利用功能测试模块为核心搭建的测试平台可对电子装备中的数字电路板进行功能测试和故障诊断，可将故障精确到元器件管脚级。采用软件适配器技术，允许用户在多种开发环境下开发测试程序，并且可以在这些测试程序之间共享测试数据，极大地简化了系统的开发。采用了标准化、模块化、通用化的设计方法，设计尺寸小，机动灵活性大，并具有良好的可扩展性。

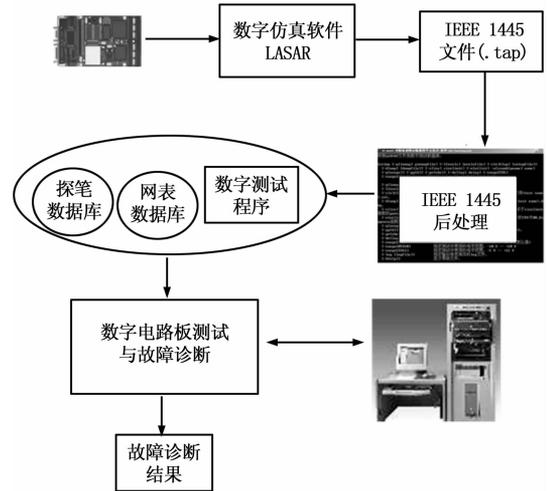


图 6 故障诊断过程示意图



图 7 故障诊断实例

参考文献:

- [1] 于劲松, 李行善. 下一代自动测试系统体系结构与关键技术 [J]. 计算机测量与控制, 2005, (1): 1-3.
- [2] 黄鑫, 常天庆, 邢士勇, 等. 数字电路板自动测试与故障诊断系统的设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2010, (7): 1512-1514.
- [3] 刘春来, 张东, 史宏亮. 基于 PXI 总线的电路板级功能测试系统 [J]. 电子测试, 2013, (5): 49-50.
- [4] 杨荣军, 彭寿全, 陈光祜. VXI 总线测试软件平台主框架的研究与设计 [J]. 电子测试, 1998, (4): 9-10.
- [5] 梁四洋, 崔少辉, 陈卫. 基于 VXI 总线的复杂电子装备自动测试系统研究 [J]. 计算机测量与控制, 2003, (2): 109-110.
- [6] 吕晓峰, 马羚, 冯小南. ATS 软件平台的通用性研究与设计 [J]. 计算机测量与控制, 2012, (2): 538-540.
- [7] 杨文, 黄文涛. 通用自动测试系统的软件设计与实现 [J]. 工业控制计算机, 2012, (1): 79-80, 83.
- [8] 孙英侠, 王东, 冯威. 基于 LASAR 软件仿真的板级自动测试研究 [J]. 计算机测量与控制, 2008, (11): 1530-1532.