

基于 SCANWORKS 的模数混合电路板 测试程序集设计

柳颖, 蔡永招

(中国人民解放军 91114 部队, 上海 200434)

摘要: 针对某型指控系统中的模数转换电路板上含有复杂可编程逻辑器件 CPLD 以及多路模数转换单元的测试与诊断问题; 运用边界扫描测试技术及 PXI 仪器总线技术研制了该指控系统的板件测试设备, 介绍了边界扫描测试软件 SCANWORKS, 详细说明了利用 SCANWORKS 软件开发该指控系统模数转换电路板的测试程序集 (TPS) 的测试方案设计、测试过程和测试结果分析等内容; 使用设计的测试程序集对该种模数转换板进行测试和诊断, 故障覆盖率达到 97.1%; 该测试与诊断方法的研究同样适用于其他复杂板件的维修测试与诊断, 具有非常重要的实用价值。

关键词: 边界扫描; SCANWORKS; BSDL; 故障覆盖率

Development of Test Program System (TPS) for Mixed-signal Circuits Based on SCANWORKS

Liu Ying, Cai Yongzhao

(91114 CPLA Troops, Shanghai 200434, China)

Abstract: For the testing and diagnose of mixed-signal circuits equipped in command and control system equipment, which has CPLD and multiple A/D conversion circuits; develop the testing equipment by applying boundary-scan and PXI bus technology. SCANWORKS is introduced as an advanced boundary-scan test software. The test solution design and the flow of development of TPS for mixed-signal circuits based on SCANWORKS are explained in detail. The fault coverage achieves 97.1% by using this TPS. The test and diagnose methods provide an example for the test and diagnose of other complex circuit board, and have practical application value.

Keywords: boundary-scan test; SCANWORKS; BSDL; fault coverage

0 引言

某指挥控制系统板件的集成度高, 大部分的板件由大规模集成电路 CPLD、FPGA 及 DSP 芯片组成。这些体积小、集成度高的器件为电路设计带来了很大的便利: 如功耗的降低、面积的减小等; 同时, 它也带来了一些困扰: 由于功能模块或芯片内部节点无法探测, 测试过程中无法使用测试探针, 导致大量故障变得很难测试^[10]。因此修理时通常采取更换部件或整件的方法来排除故障, 备件消耗较大。此外, 由于缺乏有效的检测设备, 修理时更换下来的故障件修理难度较高, 导致大量故障件不能被及时修复进行循环利用, 进一步加剧了备件库存消耗过快现象^[1]。保障时效性受到制约, 保障难度逐年加大。由于传统测试技术面临的测试困难的增多, 需要一种新的测试理念和测试技术来解决传统测试方法所无法解决的问题。边界扫描技术作为一种国际标准, 提供了一套完整的、标准化的超大规模集成电路测试性设计方法。其主要思想是通过在芯片管脚和芯片内部逻辑电路之间增加由移位寄存器构成的

边界扫描单元 (BSC), 每个 BSC 都可输入数据, 也可输出数据, 连接成一个移位寄存器, 以实现测试向量的加载以及测试响应向量的捕获。在测试期间, 利用这些边界扫描单元来实现对芯片管脚状态的串行设定和状态读取, 使芯片管脚具有可控性和可观测性。从而克服了测试复杂数字电路的技术障碍, 利用它可以对含有大规模集成电路的被测电路板进行静态测试、功能测试、故障隔离和定位^[8]。

1 硬件结构和原理

为解决该指控系统中高集成度电路板检测手段缺失的问题, 将成熟高新测试技术运用到装备修理工作中, 研制了指控系统板件测试设备。该测试设备采用 PXI 虚拟仪器、边界扫描测试等技术, 由 PXI 硬件平台、SCANWORKS 软件平台、二次开发的测试程序集 (TPS) 等三部分组成。

硬件平台以标准 8 槽 PXI 机箱为载体, 具备模拟量输出模块、边界扫描控制模块、数字 IO 模块、数字万用表模块、可编程电源模块等硬件测试资源。数字信号通过信号探针模块将资源引出, 构成标准的通用接口, 通用接口通

收稿日期: 2020-07-05; 修回日期: 2020-08-21。

作者简介: 柳颖 (1977-), 女, 江苏如皋人, 工程师, 硕士, 主要从事电路板自动测试和故障诊断技术方向的研究。

引用格式: 柳颖, 蔡永招. 基于 SCANWORKS 的模数混合电路板测试程序集设计[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(3): 10-13.

过转接适配板与被测电路板实现连接, 指控系统板件测试设备的硬件结构示意图如图1。

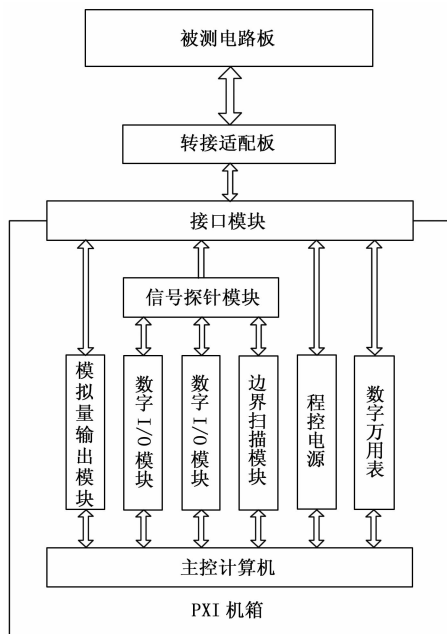


图1 硬件结构示意图

2 基于SCANWORKS软件的模数转换电路板测试程序集(TPS)的设计

2.1 SCANWORKS软件平台

SCANWORKS是由ASSET INTERTECH公司开发的边界扫描测试软件。该软件支持IEEE1149.1及1149.6协议, 在业内应用较广^[5]。SCANWORKS测试软件主要功能有: 根据网表文件和边界扫描芯片的BSDL文件, 产生所需要的测试数据脉冲串的测试程序; 生成存储器和可编程器件在线烧录数据; 程序单步或连续运行调试; 生成测试覆盖率报告等^[2]。

应用SCANWORKS测试软件设计开发被测板件的测试程序集(TPS)需要进行以下几个方面的准备工作:

1) 判断电路板是否支持边界扫描测试。被测电路板需含有JTAG接口, 被测电路板中含有的CPLD、FPGA、DSP、CPU等可编程逻辑器件符合IEEE1149.1标准, 则该电路板支持边界扫描测试。

2) 准备好边界扫描测试芯片的BSDL文件。可在对应芯片厂商官方网站下载被测电路板中所有支持边界扫描测试芯片的BSDL文件。

3) 记录电路板中所有集成电路的具体型号。

4) 如果被测电路板中含CPLD器件, 应将CPLD器件中的程序读取保存, 比较老的CPLD有可能需要在测试时擦除程序。

2.2 模数转换电路板功能及结构

对边界扫描测试软件SCANWORKS的应用研究来说, 选择合适的被测对象是非常关键的。一方面对象要具备实施边界扫描测试技术的各项条件, 如主要芯片具有边界

(boundary scan, BS)扫描接口(最基本的条件)和相应的边界扫描描述语言(BSDL)文件; 另一方面, 对象的当前应用也要不乏典型性, 从而体现该板件测试程序集开发的实际意义。为此, 选择指控系统中具有典型电路特征的模数转换板为被测对象, 介绍该电路板测试程序集(TPS)的设计及应用。模数转换电路板整体结构如图2所示。

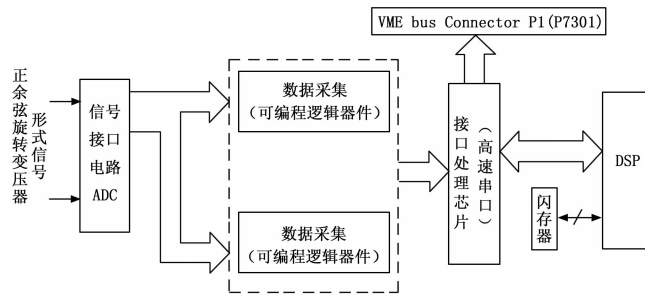


图2 模数转换电路板整体结构图

模数转换电路板实现如下功能: 将外部正余弦旋转变压器输出的模拟信号, 经过信号处理后输出VME总线形式的数字信号。由于具有丰富的外部接口, 控制逻辑复杂, 转换通道数多, 该板件在指控系统中故障频发。整个模块的信号流程为: 正余弦旋转变压器输出的信号通过接插件CN2~CN4输入到信号接口电路(16个通道), 输出的数字信号输入到可编程逻辑器件EPM7256SQC208进行数据采集, 再经过接口处理芯片XC95216处理后输入到DSP(ADSP-2185)控制器进行反三角函数计算得到相应的转角, 最后由接口处理芯片XC95216输出给其它外部设备。模数转换电路板属于模数混合电路板, 因此针对该板的测试需分两部分: 模数转换模块测试及可编程器件边扫测试。

2.3 测试流程

边界扫描测试电路板测试流程如图3所示。首先, 通过SCANWORKS软件, 建立被测板件的测试工程。测试工程主要分为扫描链测试、互连测试、存储器测试、簇测试等类型, 不同的被测板件, 其建立的工程也不同^[2]。其次, 在扫描链测试中添加具备边扫功能的器件, 并将其BSDL文件导入测试工程中; 导入转接适配板网表文件与被测板网表文件, 并在SCANWORKS软件中合并成一张网表文件, 软件根据对BSDL文件和网表文件的分析, 自动生成测试向量。扫描链路测试是电路板测试的基础, 扫描链测试通过后才能继续进行电路板其它的测试项。最后, 完成电路板上各个测试项后, 软件生成故障覆盖率报表并显示结果。

2.4 测试方案设计

模数转换电路板主要由XC95216、EPM7256S、AD-SP2185和16路AD转换模块组成。测试应能检测到被测板上集成电路功能好坏和引脚的短路、断路等故障, 并可以定位到具体的引脚。模数转换电路板的测试主要采用边界扫描的原理, 主要分两大部分实现: 数字电路的测试和模拟电路的测试。该板的测试原理框图如图4所示。

数字电路测试主要包括VME接口、XC95216和EPM7256S之间的互连测试, VME接口与测试平台的IO

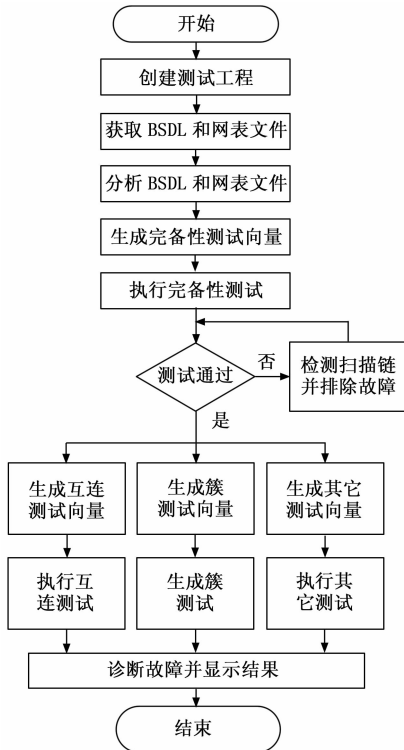


图 3 边界扫描测试电路板流程图

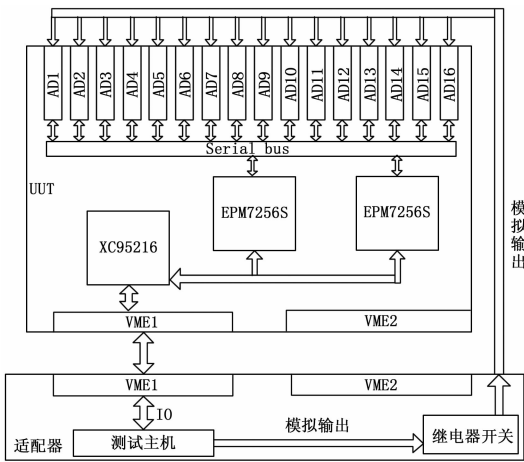


图 4 模数转换板测试原理框图

形成测试回路。数字电路部分的测试向量，是 SCANWORKS 软件根据被测板与转接适配板的原理图网表文件自动生成。测试时，由边界扫描控制器控制测试平台向可编程 CPLD 器件 XC95216、EPM7256S 的 IO 引脚发送和接收测试向量，软件通过对比接收的测试向量与期望的测试向量来判断被测电路的好坏，并且定位到具体的故障点。模数转换电路板的测试如果只采用边界扫描测试，故障覆盖率较低。因此采用边界扫描测试与功能测试相结合的方式进行。测试程序集在系统软件平台统一的调度下执行，通过 SCANWORKS 提供的程序接口调用其他仪器资源配合完成被测电路板的测试诊断^[2]。功能测试的方法用于模拟电路部分的测试。

模拟电路测试主要是完成对 16 路 AD 模块的测试，AD

模块的模拟量是由测试平台里的 PXI-6704 提供，并通过继电器开关控制模拟量的输出。边界扫描控制器通过控制 EPM7256S 上相应的引脚，驱动 AD 模块工作，并读取 AD 模块输出的串行转换结果，进行计算后与 PXI-6704 输出的结果做比较，误差在允许的范围内则认为是正常，否则被测 AD 模块有问题。

2.5 测试项目

模数转换电路板的测试主要由链路扫描测试、内部互连测试、16 路 AD 电路测试组成。测试工程项目如图 5 所示。

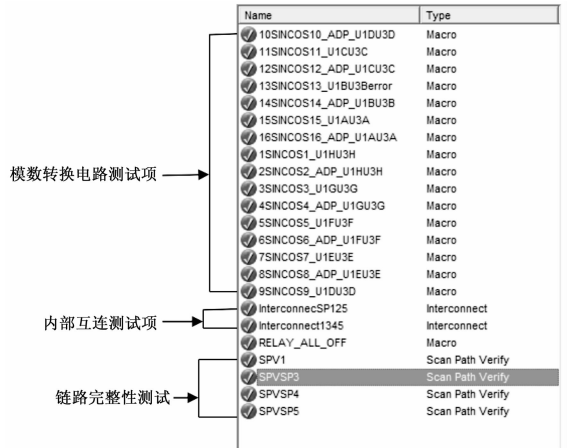


图 5 测试工程项目

2.5.1 链路完整性测试

链路完整性测试主要是检验电路板边界扫描链路的良好性、器件布置的正确性以及边界扫描测试总线信号是否正常。图 5 中链路完整性测试有四项，其中 SPVSP3 链路用于单独检测边扫器件 U1 (XC95216)，SPVSP4 链路用于单独检测边扫器件 U2 (EPM7256S)，SPVSP5 链路用于单独检测边扫器件 U14 (EPM7256S)；而 SPV1 链路用于综合检测上述 3 个边扫器件。

2.5.2 内部互连测试

器件间的互连测试是边界扫描技术的基本测试类型之一。进行内部互连测试前需根据模数转换电路板及转接适配板的原理图，生成相应的测试网表。由于 SCANWORKS 软件不兼容 Protel 格式的网表，需利用 OMNINET For Windows 软件将 Protel 格式的网表转化为 Allegro 格式的网表，后缀名为 .nod 的形式，并将其导入 SCANWORKS 软件中。依据此网表文件，通过边界扫描测试软件实现对被测电路板上的边扫器件间两两互连线是否出现开路、短路、虚焊等问题的测试^[10]。图 5 中的互连测试项有两项：interconnectSP125 测试项用于检测适配板 CPLD 器件 U1 与被测板 U14 之间的互连检测，interconnectSP1345 测试项用于检测适配板 CPLD 器件 U1 与被测板 U1、U2、U14 之间的互连检测。

为便于 SCANWORKS 软件计算测试向量，被测电路中的电阻、电容、集成电路等需要指定器件模型。器件类型中共分以下七种：簇元件 (Cluster)、保护元件 (Protect)、虚拟元件 (Dummy)、电阻 (Resistor)、电容 (Capacitor)、排阻 (Serial Resistor)、JTAG 连接器 (JTAG Connector)，

应根据被测电路板中元器件类型选择对应的设置。

2.5.3 模数转换电路测试

模数转换板上的 16 个独立 AD 转换模块, 主转换芯片为 AD7894AR-3, 模拟输入的范围为 ± 2.5 V。测试设备内的模拟量输出模块 PXI-6704 的模拟输出范围为 ± 10 V, 满足输入信号幅度要求。根据 JTAG 测试技术, 对以 EPM7256S (U2, U14) 为核心组成的扫描链路进行控制, 利用编写的 SCANWORKS 的脚本程序对模数转换电路进行测试。如图 5 模数转换测试项, 选中 SCANWORKS 下的 “1SINCOS1 _ U1HU3H” 测试选项, 运行程序完成测试。1SINCOS1 _ U1HU3H~16SINCOS16 _ ADP _ U1AU3A 测试程序用于 16 路 AD 转换模块的测试, 与电路板上硬件是一一对应的, 不同的测试通道选择对应的测试工程即可完成测试。

3 适配板设计

适配板是用于连接被测电路板和检测设备, 将电路板边缘连接器、内部测试节点、JTAG 接口等连接到检测设备的接口板件。测试设备提供多路直流电源: +3.3 V、+5 V、+12 V、+24 V 及 3 路 0~15 V 可调电源, 若被测电路板中含有其它供电电压, 可通过以上电压及相应的电源转换模块在适配板上完成转换。适配板采用防插错设计, 避免安装过程出错。设计过程中只需将接插件的信号端接入对应的 J1 和 J4 口, J2 和 J3 口用于测试平台的功能扩展, 同时根据被测电路板的 JTAG 链路设计对应的 JTAG 接口, 该接口设计符合 IEEE1149.1 标准。根据被测电路板中电流大小焊接不同规格的保险。测试平台不支持差分信号的处理, 因此在适配板设计过程中需将差分信号做相应处理。

4 测试结果分析

模数转换电路板包含 3 片 CPLD 器件: 1 个 XC95216 和 2 个 EPM7256S; 1 个 DSP 器件 ADSP-2185; 1 个程序存储器 TMS29F010; 16 个 AD 模块组成: 每个 AD 模块包括 2 个运放 OP2117, 1 个光耦 HCPL-2231, 3 个光耦 HCPL-2631, 1 个模拟开关 ADG433, 1 个电源模块 AD680, 2 个模数转换器件 AD7894, 1 个 74HC14。整板的故障覆盖率由 2 个内部互连测试项及 16 个脚本测试项决定, 在 SCANWORKS 软件下, 首先编译互连测试项, 得出测试覆盖电路及覆盖率; 其次编译 16 个脚本测试项目, 得出该部分电路的测试覆盖电路及故障覆盖率。将两者综合便形成整板故障覆盖率报表, 该板的覆盖率报表见表 1。

5 结束语

基于 SCANWORKS 的模数转换电路板的测试程序集故障覆盖率达到 97.1%, 已经成功运用在指控系统模数转换板的测试和维修工作中, 测试程序集中的互连测试项特别适合排除大规模集成电路管脚丰富、间距微小引起的管脚粘连、虚焊等肉眼难以发现的故障^[3]; 功能测试项能在 16 个模数转换通道中快速发现故障通道, 通过测试结果分析判断故障器件是输入光耦、输出光耦、运放、AD 转换芯片还是电源转换芯片。模数转换电路板测试程序集 (TPS) 开

表 1 测试覆盖率报表

测试项	测试覆盖电路	覆盖率 (IC)	说明
互连测试	U1,U2,U14	1.1%	内部互连测试用于测试电路的功能及连接性问题
脚本测试 (底板)	U1A-H,U2A-H,U3A-H,U4A-H,U5A-H,U6A-H,U7A-H,U8A-H,U9A-H,U10A-H,K1A-H,VT1A-H,VT2A-H	48%	脚本测试,需根据测试结果判断具体故障点
脚本测试 (上盖板)	U1A-H,U2A-H,U3A-H,U4A-H,U5A-H,U6A-H,U7A-H,U8A-H,U9A-H,U10A-H,K1A-H,VT1A-H,VT2A-H	48%	脚本测试,需根据测试结果判断具体故障点
总和		97.1%	

发经验为其他具有 JTAG 接口的大规模集成电路复杂电路板的 TPS 开发提供了借鉴。只需更改适配板的设计, 便能在测试设备上运行该板件的 TPS, 实现板件的测试及故障诊断。实践证明: 运用 SCANWORKS 软件实现大规模集成电路电路板的 TPS 开发, 对于提高故障件维修保障能力、备件研制及生产能力将发挥很大的作用^[6]。

参考文献:

- [1] 柳 颖, 徐小杰. 基于边界扫描技术的某引俄指控系统复杂电路板的 TPS 开发 [J]. 船电子工程, 2019, 39 (7): 119-122.
- [2] 王宏伟. 基于 LASAR 和 SCANWORKS 软件的雷达电子设备检测系统的设计 [J]. 信息科技, 2018, 18 (9): 96-97.
- [3] 赵 婧, 张绍庆. 非原理性测试在雷达测试系统中的应用 [J]. 数字技术与应用, 2017, 2: 77-78.
- [4] 陈宝华, 宋晓东, 王新洲. 基于边界扫描的一种电路板测试技术 [J]. 中国修船, 2015, 6: 15-18.
- [5] 尤 路. 基于 SCANWORKS 的边界扫描测试系统设计 [J]. 信息通信, 2015, 145 (4): 68-69.
- [6] 柳 颖, 马深梅, 张 静. 边界扫描技术在某导航雷达控制电路板测试与诊断的研究运用 [J]. 舰船电子工程, 2013, 33 (12): 140-143.
- [7] 陈岩申, 张 波, 李艳青. 用边界扫描技术检测非边扫器件 [J]. 舰船电子工程, 2012, 32 (11): 118-120.
- [8] 刘 军. 基于边界扫描技术的 PCB 测试 [J]. 中国科技信息, 2010, 16 (8): 130-132.
- [9] 陈岩申, 王新洲, 张 波. 基于 FPGA 的电路板自动测试技术研究 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (7): 1500-1502.
- [10] 张学锋, 王彤威, 王国龙. 边界扫描技术在微处理器电路板测试与诊断的研究 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (6): 1250-1252.
- [11] 崔 伟, 冯长江, 丁国宝. 基于单片机的边界扫描实验系统的改进设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2009, 17 (8): 1477-1478.
- [12] 陈 亮, 胡善伟, 张重雄. 边界扫描技术及应用 [J]. 航空计算技术, 2009, 1: 128-130.
- [13] 王 宁, 姬宪法, 路 通. 边界扫描的 BIT 在某新型机载雷达中的应用 [J]. 火力与指挥控制, 2008, 33 (4): 111-113.