基于机内测试的故障注入系统设计

张晓杰 王晓峰 金 曼

(北京航空航天大学 工程系统工程系, 北京 100083) (北京航空航天大学 机械工程及自动化学院, 北京 100083)

摘 要: 随着机内测试(Built-in Test, BIT)的深入研究和广泛应用,对其验证和评价提出了迫切要求,也使这一领域成为新的研究热点. 通过故障注入的方式检测 BIT 性能是一种有效的验证其测试性水平的方法. 在综合国内外相关研究的基础上,详细分析了 BIT 验证和评价的重要性、迫切性及其实用价值,着重阐述了关于 BIT 验证和评价的故障注入系统设计方案,并给出了系统实现的总体结构框图、工作流程图、系统中各子模块的关系图以及实验数据等. 在硬/软件设计实现的基础上,进行了初步的 BIT 验证实验,模拟一定数量的故障注入到被测电路中,用以验证 BIT 测试的有效性. 结果表明该故障注入系统能够满足验证 BIT 设计指标的要求,达到了预期的初步设计目的.

关 键 词: 故障注入; 故障诊断; 测试性; 机内测试

中图分类号: V 240.2

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2006)04-0430-05

Fault injection system design based on BIT

Zhang Xiaojie Wang Xiaofeng

(Dept. of System Engineering of Engineering Technology, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Jin Man

(School of Mechanical Engineering and Automation, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: With the deep research and comprehensive application of BIT(built-in test), exigent demands for the validation and estimate have been brought forward, and this field becomes a new focus on research. Testing the performance of BIT through fault-injection is an effective method to validate its testing level. Based on integrating the relevant domestic and foreign materials, the importance, imminence and practicality of the validation and evaluation of BIT have been analyzed in detail. The design and implementation of fault injection system have been particularly expatiated. Then the block diagram of gross structure, relation diagram of each mold in the system and working process chart of the system implementation have been presented. On the basis of the design and performance of hardware/software, primary experiment of BIT validation had been processed; a certain quantity of fault was injected into tested circuit in order to verify the validity. The result of experiment indicates that the system of fault-injection can suffice the request of BIT design.

Key words: fault injection; fault diagnosis; testability; built-in test

随着现代航空电子系统综合化程度日趋提高,其故障诊断技术研究也越来越受到人们的重视,机内测试(Built-in Test, BIT)技术就应运而生了. 机内测试是指系统或设备内部提供检测和隔离故障的自动测试能力.

由于 BIT 存在故障检测率、隔离率等诸多问题,而且当 BIT 研制出来后,若发现其测试性达不到指标要求,是很难进行弥补的. 所以为了考核 BIT 的设计水平和可信程度,对 BIT 设计指标的验证就显得十分必要和迫切. 为了确认 BIT 设计

收稿日期: 2005-04-18

作者简介: 张晓杰(1977-),男,山西阳泉人,硕士生, zxj-1@sohu.com.

的正确性、识别设计缺陷、检查研制的 BIT 是否完全达到了规定的测试性设计要求,有必要进行故障注入系统的研究.

本文对基于机内测试的故障注入系统做了深入研究,设计出一种验证和评价 BIT 的故障注入系统,该系统是一种针对 BIT 测试能力有效性进行验证的工具.

1　验证和评价 BIT 的必要性

近年来,机内测试技术从理论到应用都取得了显著进展,已成为提高复杂系统测试性、维修性的有效途径,并大量应用于大型军用装备、航空航天系统中. 但目前 BIT 在理论和应用中尚存在许多亟待解决的问题.

BIT 存在的问题大体上可以归纳为以下几个方面[1]:

1) BIT 功能相对简单、诊断技术单一、诊断能力差,难以满足超大规模集成电路的测试要求;

2) BIT 结果显示界面不友好,系统过于复杂,使用不方便;

3) 航空电子设备的 BIT 虚警率(FA)高;

4) BIT 处理意外故障非常困难.

在上述问题中,最为突出的问题是 BIT 在使用过程中故障诊断能力差,达不到原有的设计指标,严重降低了它诊断检测结果的可信度,影响了使用和维修人员对 BIT 的信任,阻碍了其效能的充分发挥和广泛应用.

因此,为了改进和提高 BIT 的诊断能力,使其达到设计指标要求,就需要对其进行验证和评价. 故障注入作为一种验证机内测试的有效技术,已经越来越引起工程设计人员和研究者的重视.

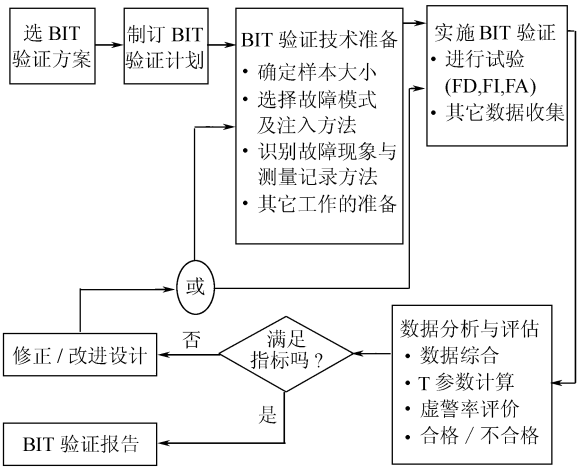
2　故障注入系统的基本原理及结构

2.1　故障注入系统的基本原理

验证机内测试的故障注入系统的基本原理[2,3]就是根据产品在实际使用过程中可能发生的故障情况,构造出一套完整的故障模式库,进而设计出一个故障注入系统.

验证时,故障注入系统将一个或多个故障模式,单一或成批地注入被测电子产品中;同时,利用 BIT 对该产品进行故障检测与故障隔离;主控系统则将回收的 BIT 处理结果与注入的故障进行比较,以便评估该 BIT 的测试性水平,并判断其测试性是否达到了规定的设计要求,从而给出接收或拒收此电子产品的结论.

验证 BIT 的主要工作程序如图 1 所示.



BIT—机内测试;FD—故障检测;
FI—故障隔离;FA—虚警;T—测试性.

图 1　验证 BIT 的主要工作程序

2.2　故障注入系统的结构

BIT 验证系统的总体结构框图如图 2 所示,包括主控系统(控制显示系统)、故障注入系统、BIT 模拟系统和被测系统 4 个子系统[2],其中前 3 个子系统都在 PC 机上运行,最后一个子系统是用硬件描述语言编程实现的一个复杂电子电路.

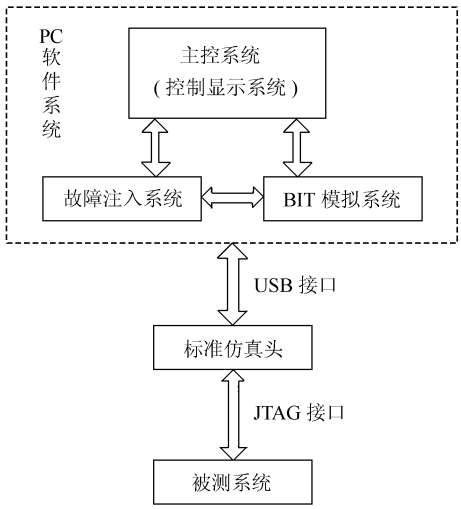


图 2　BIT 验证系统总体结构框图

2.2.1　主控系统

主控系统作为人机交互的接口,主要负责对整个系统的控制和诊断结果信息的显示. 此外,对诊断数据的分析处理也在主控系统中实现. 具体而言,主控系统用于控制和设置故障注入需要的各种故障类型,并对故障注入的结果进行分析和处理;负责控制 BIT 模拟测试系统对被测电路的故障检测,接收 BIT 模拟测试系统传来的故障诊断结果,并进行系统评估给出验证结论.

2.2.2 故障注入系统

故障注入系统是整个验证系统设计的核心.它是采用人为引入故障的方法加速被测系统失效,通过比较被测系统在出现故障之后的行为与设计声明的一致性来对BIT诊断能力进行验证.

系统工作时,故障注入系统在主控系统的控制下,模拟出相应的故障模式,然后向被测系统注入故障;同时负责接收BIT模拟系统实时采集的故障注入成功/失败信息、故障诊断结果等数据,并将这些信息传送到PC机的主控系统中进行分析和显示.

故障注入系统的主要功能包括:

1) 故障模拟.模拟出典型的各种故障模式;

2) 故障注入.选定一种故障模式施加到被测系统的指定节点;

3) 结果回收.接收BIT模拟系统的检测数据.

2.2.3 BIT模拟系统

实际的机内测试产品一般具有[1,2]:上电BIT、启动BIT和周期BIT 3种工作模式.

1) 上电BIT用于检测其在加电时自身是否正常;

2) 启动BIT用于检测系统能否正常运行;

3) 周期BIT用于检测系统在被注入故障后的状态信息.

BIT算法可分为确定性算法、伪随机法[4~6]等.本文的BIT模拟系统是根据被测电路的特征来选取适当算法的.它的测试与故障诊断过程是这样的:系统进入测试状态后,首先进行初始化,根据选定的算法加载测试向量;然后把被测电路的响应读入寄存器中,并根据寄存器内容判断被测对象的故障类型,同时向故障注入系统发出中断信号,当故障注入系统收到中断信号后,向主控系统发出复制寄存器请求信号,主控系统接收信号后,复制寄存器内容,并与事先控制注入的故障类型相比较,给出评估结果.

2.2.4 被测系统

被测系统作为故障注入的对象,用于检验故障注入系统注入故障的能力,以及BIT模拟系统检测故障的能力.

本文选择TMS320评估板作为故障注入系统的被测系统[7~11],被测系统的布线示意图如图3所示.

3 故障注入系统的软件设计

3.1 系统软件设计

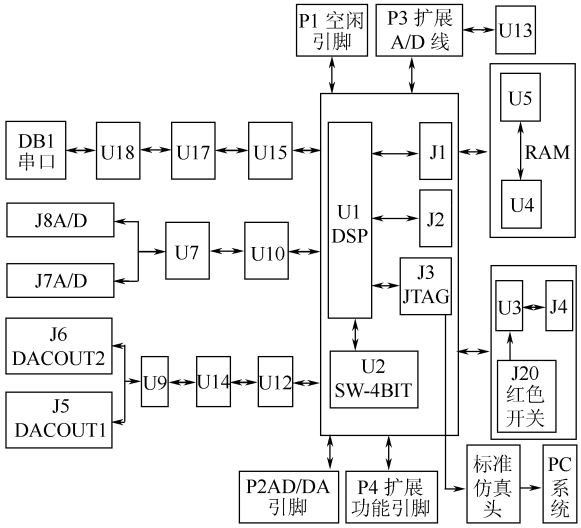


图3 被测系统的布线示意图

如前文所述,软件系统由主控系统、故障注入系统、BIT模拟系统3个子系统组成,它们都是采用C语言编程实现的.验证系统(包括主控系统和故障注入系统)细分为若干个功能模块,主要有参数建立模块、故障加载模块、结果回收模块、数据处理模块和系统评价模块.5个子模块分别自成一体,又互相协调运作,它们之间的关系如图4所示.

下面对5个子模块分别加以说明.

1) 参数建立模块

用于接收用户输入的故障注入参数,并以记录的形式存放在数据文件file1中.这些参数有故障注入点、故障模式、故障持续时间和故障重复次

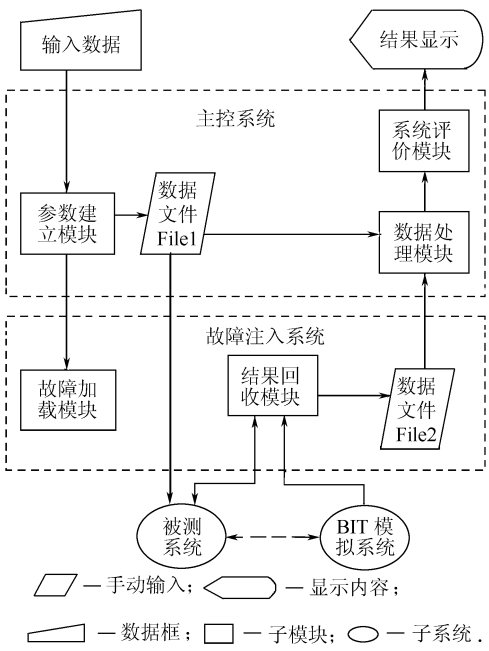


图4 验证系统5个子模块间的关系

数等.

2）故障加载模块

根据用户输入的故障注入信息,按照参数要求向被测系统注入单个或成批的故障.

3）结果回收模块

负责回收 BIT 模拟系统诊断出的测试结果,并连同原有参数一并收集到另一个数据文件 File2 中,以供后续分析使用.

4）数据处理模块

从 File2 文件中主控系统调入 BIT 模拟系统对被测系统的检测结果(该结果将用于对 BIT 模拟系统测试水平的评价)和原来注入的参数. 经处理分析后,给出以下参数:故障状态标志(故障注入有效、BIT 检测到被测系统的故障、能够定位故障等)、故障开始注入到故障注入有效的时间、故障有效到 BIT 模拟系统检测到故障的时间等.

5）系统评价模块

根据数据处理模块给出的结果参数及 BIT 模拟系统的测试结果,对 BIT 模拟系统测试的有效性做出分析与评价,并给出结论.

主控系统软件、故障注入系统软件和 BIT 模拟测试系统软件均在 windows 环境下使用 C 语言编写,并采用 GUI 界面.

3.2　系统工作流程

验证 BIT 的故障注入系统的工作流程如下:

1）上电,硬件初始化.

2）系统软件启动,判断被测电路是否在正常运行.

3）建立故障参数表. 每个故障的注入都要确定一系列的故障特征参数,故障注入前应建立故障参数表来定义这些参数.

4）故障注入. 故障注入分两步进行:主控系统向故障注入系统发出一组故障参数,并保存在存储文件中;主控系统向故障注入系统发送故障注入的命令,故障注入系统按照一定的时序开始向被测系统注入指定故障,同时发送同步信号到 BIT 模拟测试系统,以便确定 BIT 模拟系统检测故障所需的时间.

5）BIT 进行诊断. BIT 模拟系统对被测系统的正常输出值和注入故障后的输出值进行比较,判断被测系统是否故障.

6）信息反馈. 主控系统接收 BIT 模拟系统的故障诊断信息,其中包括故障是否被检测到、故障检测到的时间等信息,并将这些信息进行分析评估,最后把验证评价的结论显示给用户.

系统工作流程图如图 5 所示.

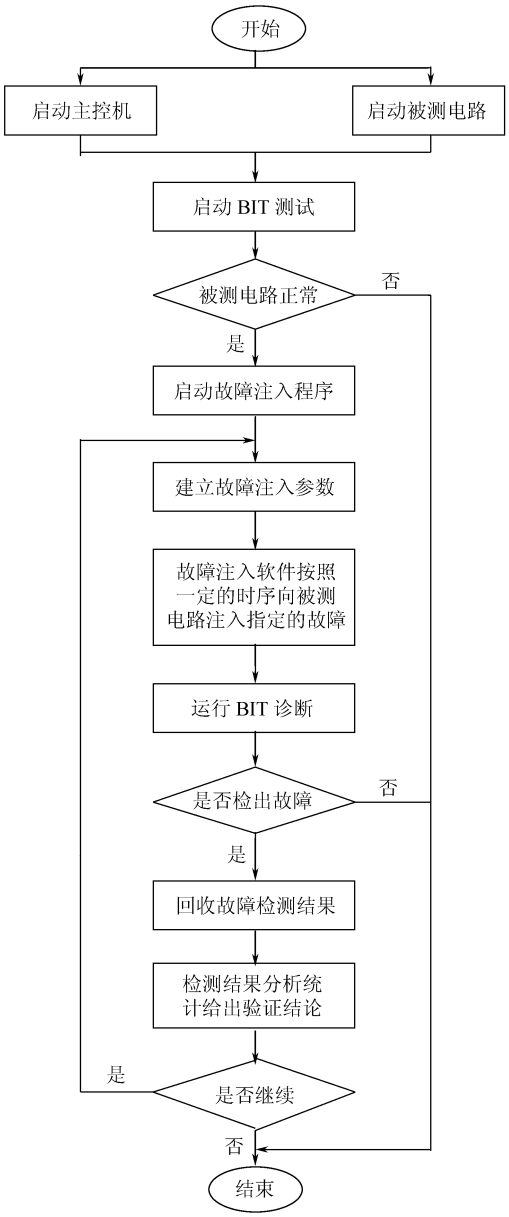


图 5　系统工作流程图

3.3　被测系统软件设计

被测系统软件用于使 TMS320 评估板具备一定的功能,即为正常工作情况下的负载程序,使之能够被故障注入系统加载故障,以及被 BIT 模拟系统检测. 被测系统软件采用 HDL 语言在 MAX+PLUS Ⅱ环境下编程,并写入芯片中实现,是一个较为复杂的数字系统——电子抢答器[7,10,11].

在本系统中,其主要目的是用于检验故障注入工作的有效性. 它由 8 个 D 触发器、8 个两输入端与门、2 个非门、一个 12 输入端或非门和 1 个锁存译码器构成.

4 故障注入系统的实验数据

故障注入系统的实验数据列于表1中,为了验证BIT的测试能力,实验中可以自由选取故障模式和故障数量,对被测系统进行实时的故障注入,结果表明基于机内测试的故障注入系统是成功的.

表1 系统实验结果

项目		参数				
		1	2	3	4	5
故障注入参数	故障注入节点	VCC	VCC	OUTPUT	NOR12	K
	故障模式	无电源	电源低	短路	开路	间歇短路
	故障持续时间	∞	∞	∞	∞	3 s
	故障注入次数	1次	1次	1次	1次	5次
测试参数	故障是否被检出	OK	OK	OK	OK	OK
	故障模式	电源	参漂	短路	开路	短路
	故障注入有效否	YES	YES	YES	YES	YES

5 结束语

该故障注入系统的开发初步实现了衡量BIT对电子产品故障诊断能力的考察.实验结果表明,该机内测试验证系统提供了注入开路、短路、参漂等故障的验证平台,但注入故障的数量不多、类型少等需要继续改进.

通过有效验证的BIT必将在改善复杂航空电子设备的测试性、维修性、可靠性方面发挥重要作用,因此基于机内测试的故障注入系统具有广阔的发展前景.

参考文献(**References**)

[1] 史贤俊,曲东才,聂子玲. 一种数字控制器的嵌入式BIT系统设计[J]. 计算机测量与控制,2002, 10(4): 252~254
Shi Xianjun, Qu Dongcai, Nie Ziling. Design of a kind of digital-controller-embedded BIT system[J]. Computer Measurement & Control,2002, 10(4): 252~254(in Chinese)

[2] 朱万年. 智能化机内测试验证系统的设计与实现[J]. 航空电子技术, 1988, 93(4): 35~42
Zhu Wannian. Design and implementation of intelligentized built-in test verification system[J]. Avionics Technology,1988, 93(4):35~42(in Chinese)

[3] 李华旺,刘海涛,杨根庆. 航天单粒子事件故障注入系统研究[J]. 量子电子学报,2002, 19(1): 57~59
Li Huawang, Liu Haitao, Yang Genqing. Fault injection system research of astronautic individual-practical event[J]. Chinese Journal of Quantum Electronics,2002, 19(1): 57~59(in Chinese)

[4] 刘宇东,赵宏革. 用故障字典法完成模拟电路软故障诊断的研究[J]. 世界海运,2002, 26(2): 40~41
Liu Yudong, Zhao Hongge. The study on the mild failure diagnostics for simulating circuit by the failure dictionary[J]. World Shipping,2002,26(2):40~41(in Chinese)

[5] 吴芝路,陈圣俭,王月芳. 模拟电路实用故障诊断新方法[J]. 电子测量与仪器学报,2000, 14(2): 41~45
Wu Zhilu, Chen Shengjian, Wang Yuefang. A new practical fault diagnosis method for analog circuits[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument,2000,14(2): 41~45(in Chinese)

[6] 林争辉,武 强. 模拟电路故障诊断的一种方程及其可解性[J]. 上海交通大学学报,1995, 29(1): 150~157
Lin Zhenghui, Wu Qiang. A fault diagnosis equation of analog circuit and its solvability[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University,1995, 29(1): 150~157(in Chinese)

[7] 江国强,蒋艳红. 现代数字逻辑电路实验指导[M]. 北京:电子工业出版社,2003
Jiang Guoqiang, Jiang Yanhong. Experiment instruction of modern mathematical logic circuit[M]. Beijing: Publishing House Electronic Industry,2003(in Chinese)

[8] Samir Palnitkar. A guide to design and synthesis second edition[M]. Pearson Education Asia Limited,2004

[9] Bhasker J. Verilog HDL synthesis a practical primer[M]. Star Galaxy Press,2003

[10] 路而红. 电子设计自动化应用技术[M]. 北京:高等教育出版社,2004
Lu Erhong. Electronic design atomated technology[M]. Beijing:Higher Education Press,2004(in Chinese)

[11] 清源科技. TMS320C54x DSP应用程序设计教程[M]. 北京:机械工业出版社, 2004
Qingyuan Tech. TMS320C54x DSP application program design tutorial[M]. Beijing: Mechanical Industry Publishing Company,2004(in Chinese)