

文章编号: 1673-4599(2016)05-0052-03

机载计算机系统的 BIT 设计

闻有禄, 侯宇航, 孙翔宇

(沈阳飞机设计研究所, 辽宁 沈阳 110035)

摘要: 现代航空电子设备越来越复杂, 出现故障的可能性也越来越大。BIT 在故障诊断、提高可靠性领域发挥着重要作用。文章介绍了 BIT 的种类, 从 CPU、RAM、ROM、A/D 和 D/A 通道、通信接口、电源等方面, 对故障成因、故障种类进行研究, 并给出了 BIT 的测试方法和 BIT 软件的设计准则。

关键词: BIT; 机载计算机系统; 故障诊断; 设计准则

中图分类号: TP302.8 文献标识码: A

DOI:10.19555/j.cnki.1673-4599.2016.05.011

BIT Design of Airborne Computer Systems

WEN You-lu, HOU Yu-hang, SUN Xiang-yu

(Shenyang Aircraft Design & Research Institute, Shenyang 110035, China)

Abstract: Modern aviation electronic equipment is more and more complex and the possibility of failure is also growing. BIT in the fault diagnosis plays an import role in the reliability of field. This paper introduces BIT species from CPU, RAM, ROM, A/D, D/A, communication interface, power supply and other aspects, studies the causes of malfunctions and the fault types, and gives the BIT testing method and BIT software testing guideline.

Key words: BIT; airborne computer system; fault diagnosis; design guideline

随着航空工业技术的不断发展, 大量航空电子设备被广泛应用在现代飞机系统中, 航空电子设备的功能变得越来越复杂, 对设备的可靠性、可维护性要求越来越高^[1-2]。为了提高飞机的可靠性和安全性, 现代航空电子系统主要通过采用 BIT 技术、容错技术、系统重构技术来处理系统出现的故障。三者之中, BIT 技术是最关键的, 采用 BIT 技术灵活性较好, 且对原系统影响小, 完善的 BIT 设计是实现系统级故障检测、故障处理及提高系统可靠性的关键, 同时还为容错技术和系统重构技术的应用提供了很好基础。

1 BIT 的概念

机内测试, 简称 BIT (Built-in Test), 是一种不依赖外部设备, 仅依靠自身内部电路和软件程序实现系统的故障诊断、隔离的测试技术^[3]。BIT 只应该在规定的条件下运行, 当机载计算机运行应用程序时, BIT 不应影响其的正常运行, 须彻底隔离。

2 BIT 的分类

2.1 上电 BIT

上电 BIT 是系统上电时, 自动启动。上电 BIT

收稿日期: 2015-03-29; 修订日期: 2016-07-05

作者简介: 闻有禄 (1984—), 男, 研究生, 工程师, 研究方向: 航电系统试验与仿真, E-mail: wenyonlu@163.com

引用格式: 闻有禄, 侯宇航, 孙翔宇. 机载计算机系统的 BIT 设计[J]. 飞机设计, 2016, 36(5): 52-54. WEN You-lu, HOU Yu-hang, SUN Xiang-yu. BIT Design of Airborne Computer Systems[J]. Aircraft Design, 2016, 36(5): 52-54.

利用系统资源进行系统测试,是一种系统正常工作时不允许的功能测试。上电 BIT 可完成较大范围的故障测试,不需要人为干预。如果检测到故障,则显示详细故障及故障等级;无故障,则进行无故障显示,表明上电 BIT 检测正确,并自动进入正常工作状态。

2.2 维护 BIT

维护 BIT 是地勤人员通过多功能显示器发送测试信号,进行 BIT 测试。维护 BIT 具有可重复性,系统应退出正常工作状态,进入测试状态。此种测试模式被限定为飞机在地面静止不动。在空中,维护 BIT 被禁止,否则会引起严重后果。如果故障存在,会显示详细故障信息。

2.3 周期 BIT

周期 BIT 是在执行正常任务间隙时间内,周期地进行检测。周期 BIT 用于在系统运行期间,检测系统的故障、异常、故障发生时间、持续时间,能够分辨永久故障和瞬时故障,故障信息由系统自身进行存储,以便地勤人员跟踪分析故障原因。周期 BIT 不影响系统正常工作,可有效地发现系统故障。

3 系统故障分析

(1) CPU 的故障分析

CPU 的故障主要包括寄存器译码故障、数据存储故障、数据传输故障、数据处理故障、指令译码故障。寄存器译码为空集或译码错误造成无法访问寄存器,是寄存器译码故障的主要原因。数据存储故障是针对片内的 RAM、ROM,故障原因与外部 RAM、ROM 相同。数据传输故障主要是由于某条信号线出现固定值为 0、1,或者某两条信号线发生耦合效应不能传输不同的逻辑值而发生的。数据处理故障主要包括整型或浮点型算数运算出错、与或非逻辑运算出错、布尔运算“位”出错、进位标志或辅助进位标志无法复位置位等。指令译码故障由未完成指令功能或错误完成指令功能造成。

(2) RAM 的故障分析

RAM 的故障主要包括固定故障、跳变故障、组合故障、地址译码故障、数据保持故障。固定故障是由于存储单元为固定值(0 或 1)或存储单元不能进行读写造成的。跳变故障是指存储单元没有受到另外单元故障影响或存储单元本身的写操作影响,而发生了跳变。组合故障是由于对某个存

储单元写操作导致其他存储单元变化,包括某个存储单元跳变引起其它存储单元值翻转、某个存储单元跳变迫使其它存储单元变为固定值、组合存储单元读写操作导致组合存储单元逻辑值跳变、某个存储单元写操作引起其它存储单元进入不定状态、多个存储单元一个发生故障引起某些存储单元发生变化。地址译码故障包括地址不能访问存储单元、存储单元不能被地址访问。数据保持故障是指存储单元在一定的时间段内不能保持逻辑值。

(3) ROM 的故障分析

ROM 的故障主要指可编程或阵列故障、不可编程与阵列故障。可编程或阵列故障是由或阵列中的丢失和或阵列中的交叉点故障造成的。不可编程与阵列故障是由与阵列中的丢失和与阵列中的交叉点故障造成的。

(4) A/D 和 D/A 通道的故障分析

A/D 和 D/A 通道的故障主要是输入端信号固定(低或高或开路),输出端信号固定(低或高或开路),输出线耦合故障,A/D(D/A)功能性故障。以上故障主要是由老化、温度、其它原因导致 A/D(D/A)内部元件值漂移或故障造成的。

(5) 通信接口的故障分析

通信接口的故障主要由发送/接受信号固定(0 或 1),发送/接受信号线固定开路造成的。

(6) 电源的故障分析

电源的故障主要有电压固定(低或高),电源电压存在波动、不稳定,电源瞬态过压、欠压、掉电、脉冲干扰。

4 BIT 的测试方法设计

良好的 BIT 设计可以准确地进行故障诊断与故障隔离。虚警率是衡量 BIT 设计的重要指标,虚警率直接决定了机载计算机系统可靠性的优劣。目前主要采用对机载计算机选取合适的测试点,并进行多次测试。当测试次数大于设定阈值时,按少数服从多数的原则输出 BIT 结果。

4.1 CPU 的测试方法

随着 VLSI 技术的迅速发展,CPU 的功能越来越复杂,高度的复杂性和有限的内部逻辑电路的可测试性使得 CPU 测试非常困难。CPU 的测试方法主要包括传统数字电路测试法、伪随机测试法、功能测试法,以及看门狗电路等辅助测试方法。由于 CPU 制造厂家对内部电路不公开,CPU 的可

观察性低,故传统的数字电路测试法不适合功能高度复杂 CPU 的检测。伪随机测试法需要可靠性高的核心电路和比较器的辅助,对 CPU 指令执行过程故障分析不确切,无法对功能结构复杂的 CPU 进行测试。采用基于指令执行的功能测试方法,并通过看门狗电路加以补偿,可检测 CPU 能否正确执行指令,从而判断其能否正常工作。某机载计算机主要执行数据传送、算术、逻辑运算、转移等指令序列。对 CPU 指令检查的具体过程是先执行传送指令送出数据,再执行比较指令,比较送出的数据和本来应该送出数据的标准值是否相同,最后执行条件转移指令。如果输出的数据和标准值相同,则说明以上的这三条指令是正确的,然后接着执行下面的指令;如果不相同,则故障,程序流程如图 1。

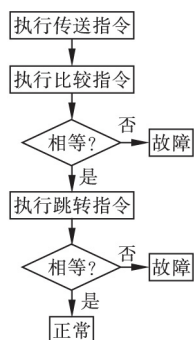


图1 CPU检测流程

4.2 RAM 的测试方法

随着 RAM 检测技术的发展,逐渐发展了一批标准化的测试方法。日本 ADVANTEST 公司提出了 N2 跳步测试方法、N3/2 跳步测试方法和 N 齐步走测试方法。但上述方法没有准确的划分功能电路故障模式,不能精确描述测试方法对电路故障的检测率、隔离率。Sutan M. AL - Harbi 提出的 MARCH 方法,通过对 RAM 故障模式的建立,针对具体的故障模式进行设计。该方法在测试时间、故障覆盖率、检测率、隔离率等性能指标上都有很大改进,但对于某型特定的故障失效。本文以 MARCH 方法为基础,对其进行改进。在 RAM 测试过程中,测试数据以字为单位进行操作,检测程序使 RAM 内存储单元的每一位依次按 0 变 0、0 变 1、1 变 1、1 变 0 规律变化。每次变化后,检查实际值与预定值是否一致,一致说明该存储单元是完好的;不一致则为故障,程序流程如图 2。

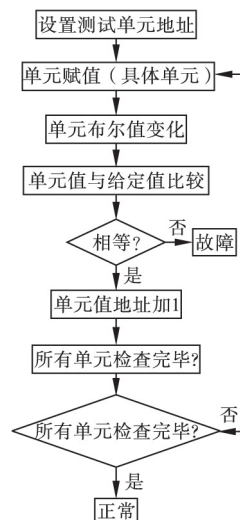


图2 RAM检测流程

4.3 ROM 的测试方法

对于 ROM 的测试方法主要有:奇偶校验法、扩展奇偶校验法、横向/纵向冗余码校验法、循环冗余码校验法、字节和(代数)校验法、字节和(逻辑“或”)校验法等。机载计算机系统对测试时间有严格要求,为了减少 BIT 检测时间,本文采用了简单易行的字节和(代数)校验法。首先计算 ROM 中存储数据的累加和,并将和求反,并将结果固化到 ROM 的最后一个字节。检测程序对 ROM 数据求和,通过检测运行结果是否为零,判断 ROM 存储数据的正确性,程序流程见图 3。

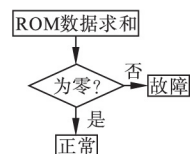


图3 ROM检测流程

4.4 A/D 和 D/A 通道的测试方法

A/D 和 D/A 通道接口信号包括 2 种:一种是将外部各种信号转换为 TTL 等数字信号;一种是将 TTL 等数字信号转换为外部各种信号。

对于将外部各种信号转为 TTL 等数字信号,本文采用将测试信号通过 A/D 转换电路,并将结果送至 CPU 与标准信号进行比较,输出结果,从而判断 A/D 转换电路是否有故障,测试示意如图 4。

对于将 TTL 等数字信号转为外部各种信号,本文采用将测试信号通过 D/A 转换电路,并将结果与标准信号进行比较,输出结果,从而判断 D/A 转换电路是否有故障,测试示意如图 5。

(下转第 65 页)

(1) 适合飞机数字化设计,为材料管理工作由传统的串行模式,向基于数字化的并行工程模式转变,提供实用的技术平台,提高了选材工作效率,且选材结果准确。

(2) 完成推理机、材料数据库、知识库、计算模型库、案例库等模块开发和集成,提供一个具备理论依据和可操作性的标准化选材方法。

(3) 将材料数据库与设计、生产软件接口模

块相交联,使得系统可与零件实际生产相结合。

参考文献(References)

- [1] 周洪范. 航空材料数据库现状及其发展[J]. 航空科学技术, 1996 (5): 7-10.
- [2] 蓝元沛,等. 基于多属性效用理论的飞机设计选材方法[J]. 航空材料学报, 2010, 30(3): 88-94.
- [3] 《飞机设计手册》总编委会. 飞机设计手册第10册: 结构设计[M]. 北京: 航空工业出版社, 2000.

(上接第54页)

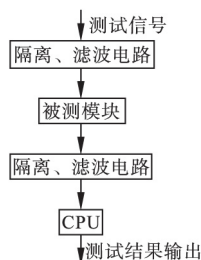


图4 A/D 测试

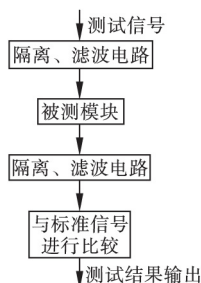


图5 D/A 测试

4.5 通信接口的测试方法

通信接口的测试主要分为2种:一种是硬件自环法,通过自发自收实现;另一种为软件校验法,通过添加奇偶校验、CRC校验、海明码校验等。

4.6 电源的测试方法

对于电源的测试主要通过电源监控,进行采

样比较,从而判断电源监控值是否在允许的差值范围内。

5 BIT 的软件设计

BIT测试是硬件和软件的结合。BIT软件应按照结构化设计方法,尽量减少工作模块和BIT模块之间的耦合,使BIT软件运行对正常软件影响最小。在BIT软件中引入信息融合、模糊理论、专家系统、神经网络等智能理论,从而提高BIT综合效能。

6 结束语

本文分析了机载计算机系统各部件的故障成因,提出了各部件的BIT设计方法,并给出了BIT软件设计原则。试验表明,针对各部件的BIT方法能快速准确检测出典型故障,BIT软件满足机载计算机系统自检设计要求。

参考文献(References)

- [1] 张小林. 小型飞行器机载计算机的冗余设计技术[J]. 西北工业大学学报, 2001, 19(2): 274-278.
- [2] 刘少伟,郑文荣. BIT技术发展与应用研究[J]. 理论与方法, 2011, 30(5): 23-25.
- [3] 张宝珍,曾天翔. 智能BIT技术[J]. 测控技术, 2000(11): 1-4.