

可靠性强化试验在暴露产品故障中的应用

谢章用, 李晓阳, 姜同敏, 黄笑天

(北京航空航天大学, 北京 100191)

摘要: 以某型号产品的可靠性强化试验为例, 介绍了可靠性强化试验在显露产品潜在故障及薄弱环节中的应用。以试验中出现的软硬件故障分析来介绍强化试验中如何通过暴露缺陷来提高产品可靠性, 以及强化试验在暴露软件故障中的应用。

关键词: 可靠性强化试验; 硬件故障; 软件故障

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2013.03.023

中图分类号: V241.01 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2013)03-0096-04

Application of Reliability Enhancement Testing in Revealing Product Faults

XIE Zhang-yong, LI Xiao-yang, JIANG Tong-min, HUANG Xiao-tian

(Beihang University, Beijing 100191, China)

Abstract: The application of RET in revealing potential faults and weaknesses of product was introduced with an RET case of a product. The method to reveal defects with RET was introduced through hardware and software failure analysis.

Key words: reliability enhancement testing; hardware faults; software faults

现今工业领域中,随着嵌入式技术不断发展,产品大多以功能化的模块形式存在,并且自身内嵌功能性的软件,以完成各自预定的功能。模块之间通过硬件软件接口,相互通讯配合,以完成整个系统所预定的功能。由于产品技术的革新,产品无论从硬件结构上还是软件代码上都体现出了空前的复杂性,因此对产品的可靠性提出了挑战。在产品的方案研制阶段,可靠性强化试验是一种非常有效的快速暴露产品薄弱环节、发现产品缺陷的可靠性试验方法,它可有效地提高产品的固有可靠性,缩短产品

研制周期,节约成本。以某型号航空电子产品的可靠性强化试验为例,介绍可靠性强化试验(Reliability Enhancement Testing, RET)在激发故障和暴露产品设计薄弱环节中的应用。

1 RET与故障分类

1.1 可靠性强化试验

RET是从20世纪80年代后期开始发展的一项

收稿日期: 2013-01-07

作者简介: 谢章用(1988—),男,湖南常德人,硕士研究生,主要研究方向为环境试验技术。

新试验方法。可靠性强化试验属于激发试验的范畴^[1],它采用强化试验应力(通常包括高低温、快速温度循环、振动)来快速激发产品的潜在缺陷,并使其以故障形式表现出来。通过故障分析、纠正来提高产品可靠性。可靠性强化试验并不强调试验环境的真实性,而是在保证失效机理不变的情况下,强调试验的激发效率,实现研制过程中可靠性水平的快速增长^[2]。

1.2 故障分类

故障的分类方法很多,按故障规律可分为偶然故障与渐变故障;按故障后果可分为致使性故障与非致使性故障;按统计特性可分为独立故障与非独立故障;按故障责任可分为责任与非责任故障。实际上在产品的强化试验中,常用软件故障、硬件故障、软硬件综合故障来进行简单划分,以方便进行故障分析、定位。

2 某型号航空产品的可靠性强化试验

2.1 受试产品背景

受试产品为某厂生产的一台航空用自动飞行控制计算机,属于初样型件技术状态。对产品施加规定的环境应力,将产品缺陷激发为可被检测到的故障。通过对故障模式、故障机理的分析,从设计上改进以及从生产上控制缺陷,提高产品的健壮性及可靠性,降低产品使用过程中发生故障的概率。在试验过程中,受试产品会被放置于强化试验箱中,按照编制的试验程序,通过对试验箱的操作来实现对产品环境条件的精确控制,并通过电缆将受试产品与外部的测试设备、回传作动器连接,如图1所示。

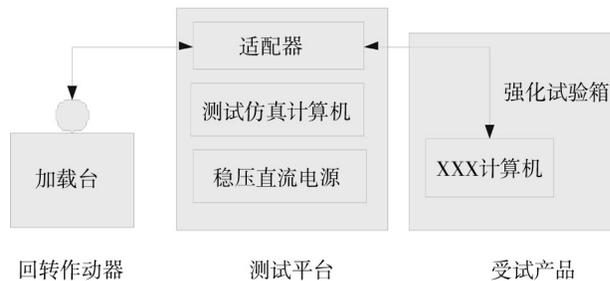


图1 试验系统连接状态

Fig. 1 Connection state of the test system

2.2 试验安排及实施过程

2.2.1 试验安排

整个强化试验依次由低温步进、高温步进、快速温变、振动步进、综合环境试验5个阶段组成,一般情况下从低温步进试验开始。结合相关技术规范及厂家先前厂内试验情况,在试验过程中,由高低温步进、振动步进试验来分别确定产品的高低温及振动工作极限,并以此来作为综合环境试验的试验条件,得到产品的温度工作极限是低温-80℃,高温110℃;振动工作极限为22g_{rms},产品的通电电压的上限、标称、下限分别为32,28,20.5V。

2.2.2 确定试验剖面

由2.2.1节可知试验由5个阶段组成,每个不同阶段分别对应着不同的试验剖面。其中,以最后阶段的综合环境试验剖面最为典型,如图2所示,它综合反应了在可靠性强化试验过程中为达到试验目的,对产品施加环境应力的各种方式。在综合环境试验中,整个试验过程分为5个循环,依次对应着各项应力的变化。

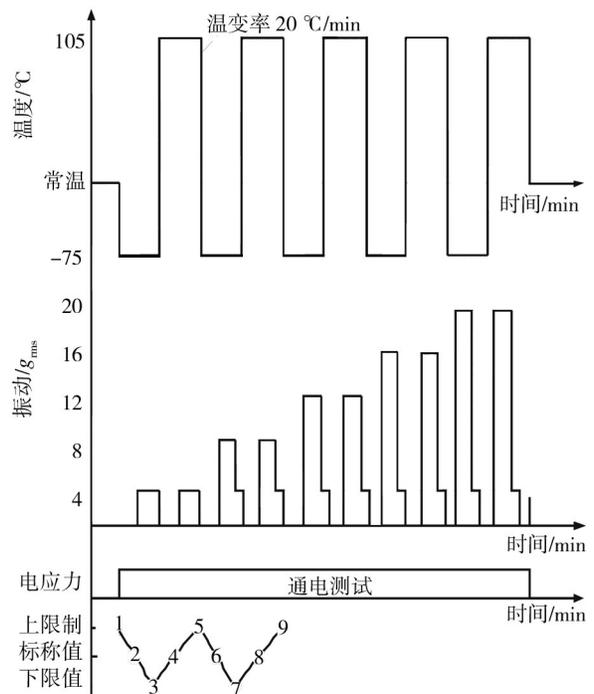


图2 综合环境试验剖面

Fig. 2 Integrated environmental test profile

1) 温度应力为低温-75℃,高温105℃,以

20 °C/min 温变率来不断循环。

2) 振动应力 $4g_{ms}$ 为起始台阶, 以 $20g_{ms}$ 为试验终止条件, 每个循环依次递增 $4g_{ms}$ 。

3) 工作应力, 即产品通电电压分别按“上限→标准→下限→标准→上限”施加。

2.3 故障原因分析与纠正措施

在试验过程中, 每个检测时间点对产品的性能、功能检测主要是通过强化试验箱外部的试验仪器来进行检测。试验器与受试产品之间通过电缆连接, 另外产品还通过电缆与回传作动器相连。试验器内有专门的内置验收软件, 用来检测受试产品在施加强化应力后的各项性能和功能指标。

按照试验程序, 试验操作正的情况下, 分别在不同试验阶段出现一系列故障, 下面以4个具有代表性的故障来说明强化试验的作用。

2.3.1 角度测量漂移过大

在低温步进、高温步进、温度循环阶段中会发现, 随着环境温度逐渐偏离常温, 测量的角度漂移值会呈现增大的趋势, 并在极限角度及0角度时出现测量值混乱或反极性数据。

从产品技术规范上可知, 产品上的角度信号采集芯片输入电压额定范围最大不超过 $3.5 V_{ms}$, 而实际的反馈实测信号电压最大可达 $10 V_{ms}$, 超出了芯片的使用范围, 使其不能按预期功能正常输出, 因此需要对进入芯片前的反馈电压信号增加分压电路, 属硬件故障。

角度测量是由反馈电压的值而标定的角度值来确定的, 其对应关系, 由产品内置的软件控制。在角度测量时, 由于实际反馈值超出了软件设置的输入范围, 导致软件对应极限角度的反馈电压不能被读取、计算, 因而出现反极性角度值, 在0角度出现随机数, 属软件故障。

2.3.2 某监控串口无响应和xx模块通讯故障

在低温 $-50 \sim -75$ °C 时, 会出现监控串口无响应 (CPU“死机”) 和 xx 模块通讯故障。随着温度从 -50 °C 降低至 -75 °C, 情况越来越严酷, 故障发生的概率越来越高, 在综合循环 (高温) 过程中出现某支路 CPU 监控串口模块无响应。

经隔离测试发现低温下 CPU 可以正常访问总线板资源, 说明低温下 CPU 本身可以正常工作, 所以出

现的“死机”应该是假死现象, 造成以上现象的原因应该是模块逻辑工作异常。检测 FPGA 逻辑的设计工程, 在查看工程中对 FPGA 器件的约束定义环节时发现, 其中对应的默认温度范围与产品要求的温度范围不相符合。由于器件的温度范围不满足要求, 在超出温度范围之后, 工具不能保证逻辑仍然正常工作, 最终低温时发生故障, 属软硬件故障。

在综合应力试验第4循环阶段, 出现 CPU 模块监控串口无响应。在对模块功能所对应的电路板分别进行隔离测试后发现, 处理器板 CPU 无法正常工作, 进一步检测此板的供电信号、时钟信号、及外围电路, 结果显示正常, 由此判断 CPU (BGA 封装) 虚焊, 属硬件故障。

2.3.3 高温阶段出现某通讯模块故障

测试此模块输出电路时发现, 在负载电路中, 对应的出现故障的那一路电流值偏高。由于负载电路的电流过大, 回灌入输出电路的电流使电路进入电流保护状态, 属典型硬件故障。

2.3.4 偶然出现xx总线通讯故障

经分析发现此故障是由于测试系统的系统定时器周期不精确引起的。如果 CPU 发送数据的同时, 试验器软件正好接完一次数据, 则 CPU 接收数据时, 试验器软件发送的数据仍然为之前数据, 没有得到更新, 因此产生故障。此故障是由于软件设置的周期没有充分考虑到时钟的可能情况, 因此也属于软件型故障。

在对产品进行故障原因分析后, 厂家对产品进行了相应的纠正, 并得到验证。

3 总结分析

3.1 RET在暴露硬件故障中的应用

RET 属于工程类的试验, 主要目的在于通过激发产品故障来暴露产品设计缺陷及薄弱环节, 主要是针对硬件而言。经过多年的发展, RET 的效果在许多工程项目上得到了验证, 其实施步骤、过程也在国内外相关领域人员的不断探索中形成了一套规范的流程。当然对于具体的试验对象需要给出相应的具体试验方案、试验剖面, 然后进行故障定位分析, 并纠正改进, 以提高产品可靠性。这里的故障, 多是

指传统意义上的硬件故障,在强化试验条件下,通过标准的试验程序能很大程度上将薄弱环节暴露出来。硬件故障的定位、分析对于不同的产品来说也有相应比较成熟的方法,发现此类故障也是强化试验的重要目的。

3.2 RET在暴露软件故障中的应用

在众多机电产品中有各自内嵌的软件系统,通常来讲,RET所施加的强化环境应力及工作应力主要是针对产品的组成结构而言,即为了暴露产品本身结构的潜在缺陷或设计不足,就目的而言不包括提高软件的可靠性。实际情况下,RET有助于提高软件可靠性。通常软件的可靠性测试有标准的测试程序,测试方法也比较成熟。即使在做完全部的标准测试,测试用例覆盖了所有的路径,代码编写无误,在强化试验条件下,产品也会暴露出与软件相关的故障。在2.3.2节中可知,软件的编写、逻辑都正确,在常温及高温下运行,显示结果正常;低温时,发生故障。分析可知,产品的硬件与软件本身不存在设计上的缺陷,而问题出在软件与硬件系统的配合使用上。软件的运行离不开硬件的支持,软件的输入条件却直接影响到运行结果。由于软件设置的错误出在对硬件温度范围的设置上,在RET强化条件下,硬件受试条件的响应输出达到了软件输入的范围之外,因而引起软件的非正常工作。在单一环境条件(如常温)下,无论对软件系统进行多么严谨、标准的测试都不可能发现软件所有的潜在缺陷,最终仍有可能导致故障发生。

4 结论

产品缺陷、薄弱环节不仅仅独立存在于软件或硬件的设计中,在产品的运行过程中,环境及工作条

件是一个非常大的变量。由于软件的开发设计及测试通常没有考虑到硬件性能会随着环境及工作条件的变化而改变这一事实,因此常规的软件测试无法全面发现潜在缺陷。然而,可靠性强化试验可以通过改变环境条件来影响硬件性能,从而改变产品软件的运行环境条件,以此来考核软件在不同于开发设计环境条件下的可靠性,有助于全面提高产品的可靠性。

5 展望

现在比较成熟的RET在暴露产品硬件故障中已得到较好应用,也收到了不错的效果,今后应不断地改进试验方案以期获得更佳的试验效果。

对于软件的潜在缺陷问题,一方面独立的软件测试必不可少,另一方面随着产品功能、结构的日益复杂化,独立的软件测试对于许多产品已不能满足可靠性要求。今后软件硬件结合的RET应成为一个比较新的发展方向。在充分考虑产品硬件是软件运行的基础、硬件的工作需要软件指导这一前提下,来制定新RET试验方案帮助暴露产品在软硬件结合时随着环境应力变化而引起的故障,全面提高产品的可靠性。

参考文献:

- [1] 祝耀昌,王宇宏.高加速应力试验及其与传统试验的比较[J].装备环境工程,2006,3(4):6—9.
- [2] 温熙森,陈循,张春华.可靠性强化试验理论与技术[M].北京:科学出版社,2007:4—6.
- [3] 马杰.可靠性强化试验技术及方法研究[D].北京:北京航空航天大学,2003.
- [4] 邝志礼.应用可靠性强化试验技术提高产品的可靠性[J].电子产品可靠性与环境试验,2002(6):1—5.

(上接第71页)

好的技术手段。

6) 排除户外暴露观察到的失效模式,则加速腐蚀试验与户外暴露的性能结果是一致的。在两种试验中,Brent Chemcote处理后的样品性能是3种合金无铬酸盐预处理中表现最好的。

参考文献:

- [1] KELLY J V, PLACZANKIS B E. Outdoor Exposure Results for Pretreated and Topcoated Aluminum Armor Alloys 2519, 5083, 7039[R]. Army Research Lab Aberdeen Proving Ground MD Weapons and Materials Research Directorate, 2004.