

数模/模数转换器和大容量存储器件 γ 射线辐射试验研究

邢克飞¹ 王跃科¹ 潘华锋²

¹ (国防科技大学机电工程与自动化学院 323 室 长沙 410073)

² (上海航天电子有限公司 上海 201800)

摘要 构建了一个测试平台,在计算机和辅助测试模块的配合下,对信号处理模块经常用到的数模/模数转换器 AD10465 和 AD9857 以及大容量 FLASH 存储器、反熔丝 PROM 存储器进行了 γ 射线辐射试验,并以功能的正常性为测试标准对这些器件的抗辐射效应性能进行了评估。结果发现,AD10465 和 AD9857 在总剂量为 1.59kGy 时仍然功能正常,FLASH 存储器和反熔丝存储器分别在总剂量为 0.13kGy 和 0.99kGy 时出现错误。

关键词 AD/DA 转换器,存储器,⁶⁰Co γ 射线,总剂量,辐照效应

中图分类号 V476.5, V520.6

数模/模数转换器和大容量存储器是信息处理平台的重要组成部分,广泛应用于航天信息处理领域。AD10465 是 ADI 公司的双通道 14 位、65MSPS 军品级 (H) 模/数转换器,每个通道中含有一个宽动态范围的 AD6644,可用于多通道接收机的设计;AD9857 是一个功能强大的正交上变频器,内部集成一个可配置的 200MHz 主频的直接数字综合器,可用作星载设备信号输出的双通道模数转换器;MEF64M16-G3050M3ND 是一个具有两个独立存储区共 128M 字节的 NAND 型 FLASH,可以用作星载设备重要数据的存储和备份;XQ17V16-C44M 是 Xilinx 公司的可编程逻辑门阵列 (FPGA) 军品级专用配置存储器,容量为 16Mbit,反熔丝结构,它完成 SRAM (Static random-access memory) 型 FPGA 的程序配置。国外对类似规模和性能的器件进行了

不少辐射试验^[1-4]。我国卫星信息处理设备的规模限制了类似器件的使用,大规模高性能的器件抗辐射试验相对较少^[5]。本文研究了高性能的模数/数模转换器和大容量 FLASH、PROM 存储器的抗辐射性能,其抗辐照性能测试结果可为其星载设备应用提供参考。

1 试验平台结构

试验采用一片 FPGA 作为辅助测试模块,通过 FPGA 在上电工作状态下对模数转换器的采样噪声方差、数模转换器输出信号频谱与功率、大容量 FLASH 和 PROM 的存储数据信息进行分析,获得在一定剂量率和总剂量情况下器件功能特性的变化。试验平台结构如图 1 所示。

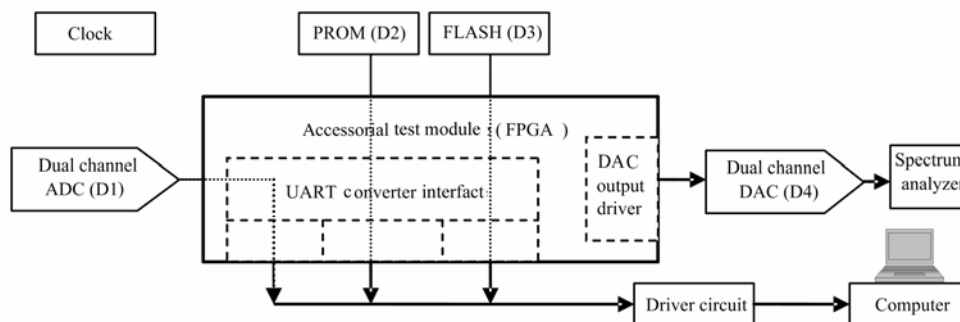


Fig.1 Structure of the test platform

国防科工委民用航天技术预先研究项目(C5220063103, C1320063102)资助

第一作者:邢克飞,男,1979年10月出生,现为国防科学技术大学博士研究生,研究方向:低轨卫星扩频通信技术、扩频信号参数估计技术、航天信号处理平台可靠性设计与评估技术

收稿日期:初稿 2006-02-20,修回 2006-03-27

试验平台由待测器件 (Device under test, DUT)、辅助测试模块 FPGA 和测试分析工具 (频谱分析仪和计算机) 组成。待测器件列表如表 1 所示。

Table 1 Properties of the devices under tests

Device type	Device name	Quality grade	Amount	Device batch	Producer
ADC (D1)	AD10465	H	1	34031	ADI
DAC (D2)	AD9857AST	Industrial	1	0349	ADI
PROM (D3)	17V16CC4M	Military	1	329306	XILINX
FLASH (D4)	MEF64M16G350M3ND	Military	1	0436	Elisra

辅助测试模块由一片 Xilinx VirtexII FPGA 实现, 它完成待测器件特征数据的获取、转换与传输。FPGA 读取 ADC (AD10465) 采样数据, 经过格式转换后由 FPGA 内部的异步串口 (UART) 模块通过驱动电路传输给监控计算机进行分析; FPGA 主动读取待测器件 FLASH、PROM 中的数据经过同样的 UART 模块传输给监控计算机, 对存储其中的数据进行监测; FPGA 对待测器件 AD9857 进行配置, 然后驱动 AD9857 输出一个调制在 5MHz 的正交输出伪随机信号, 并输出到频谱分析仪进行监测。

监控计算机从串口获得 FPGA 的 UART 模块输出的待测器件特征数据, 对其进行分析与显示。

2 试验方法

2.1 AD10465 的测试方法

试验中 AD10465 对一个直流标准信号进行采样 (内部匹配电阻为 200 欧), 采样速率为 20MSPS。采样后的 14 位数字信号进入到经过屏蔽处理的可编程逻辑门阵列中, 在这里, 采样数据的高 8 位被转换成异步串口协议送到实验室外部的监控计算机。

正常情况下, 直流信号采样数据的方差是一个稳定的数值, 如图 2 所示, 因此, 可由输出数据的方差估计值的变化分析总剂量效应对 AD10465 的影响。

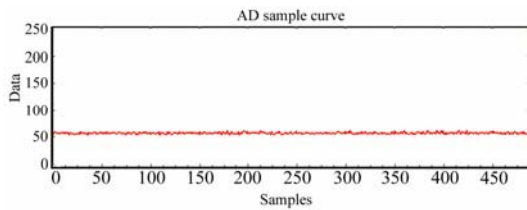


Fig.2 Computer monitor curve of sample data

2.2 AD9857 的测试方法

试验前, FPGA 对 AD9857 进行配置, 然后驱动 AD9857 输出一个调制在 5MHz 的正交输出伪随机信号。试验时, 该输出信号通过电缆输入到频谱分析仪, 用以监测调制输出信号的频谱形状、中心频率和通带功率, 并由此分析 AD9857 输出的正确性。

2.3 MEF64M16 的测试方法

FLASH 存储器 MEF64M16 中按照地址顺序存储了 0—0xFF 循环的顺序数, FPGA 按地址顺序对其存储区进行读操作, 并把读出的数据通过异步串口驱动电路输出到监控计算机, 如图 3 所示, 图 3 (a) 为正确的 FLASH 存储器回读数据, 图 3 (b) 为出现错误的 PROM 存储器回读数据。通过判断输出数据的变化来获得总剂量效应对 FLASH 的影响。

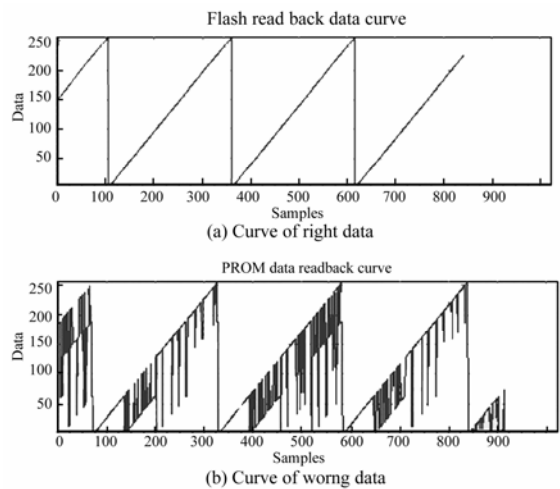


Fig.3 Curves of received data by monitor computer

2.4 XQ17V16 的测试方法

辐照前,使用专门烧录工具,在 PROM 存储器 XQ17V16 中按照地址顺序写入 0—0xFF 循环的顺序数。试验中, FPGA 按同样顺序对其存储区进行读操作,并把读出的数据通过异步串口驱动电路输出到监控计算机。由判断输出数据的正确性分析总剂量效应对配置存储器的影响,方法同 MEF64M16 的测试方法,见图 3 (b)。

2.5 试验过程

辐照源为中国科学院上海应用物理研究所的柱状 ^{60}Co 源,强度为 $3.7\times 10^{15}\text{Bq}$,室温辐照。待测器件垂直于源柱,照射剂量率分别为 0.07、0.14、0.11、0.36 kGy/h,照射时间分别为 4.7、2.0、2.2、2.0h,最大累积剂量为 1.59kGy。

Table 2 Test results of the high density memory devices irradiated by ^{60}Co γ -rays

Dose rate / kGy h ⁻¹	Irradiation time / h	Total dose* / kGy	State of D1	State of D2	State of D3	State of D4
0.07	4.7	0.34	OK	OK	OK	Error found at 0.13kGy
0.14	2.0	0.63	OK	OK	OK	Wrong
0.11	2.2	0.87	OK	OK	OK	Wrong
0.36	2.0	1.59	OK	OK	Error found at 0.99kGy	Wrong

* Accumulated dose from successive irradiations

在整个试验过程中, AD10465、AD9857 特征参数均显示正常,即 AD10465 采样数据的方差估计值和 AD9857 的输出频谱形状、中心频率、功率并无实质性变化。这表明辐照 1.59kGy 时,该模数/数模转换器仍能正常工作。但是 1Gbit FLASH 存储器 MEF64M16 在辐照 0.13kGy 时开始出现错误,累积剂量越高,错误越多;而 16Mbit 反熔丝 PROM 存储器 XQ17V16 辐照 0.99kGy 时也开始出现错误,即这两种存储器在相应累积剂量水平出现功能失效。

器件失效可分为电参数失效和功能失效,一般情况下电参数失效并不等同于器件功能的失效,严格的讲,逻辑功能的失效不能作为器件失效的度量标准。但是功能也是电子器件的一个重要特征,本试验试图从功能方面对上述器件的抗辐射可靠性给出一定程度的评估。作者将对上述器件的阈值电压、静态功耗电流和信号传输延迟时间等参数进行更加详细的试验。

3 结果与讨论

数模/模数转换器和大容量存储器的辐照试验结果如表 2 所示。

在整个试验过程中, AD10465、AD9857 特征参数均显示正常,即 AD10465 采样数据的方差估计值和 AD9857 的输出频谱形状、中心频率、功率并无实质性变化。这表明辐照 1.59kGy 时,该模数/数模转换器仍能正常工作。但是 1Gbit FLASH 存储器 MEF64M16 在辐照 0.13kGy 时开始出现错误,累积剂量越高,错误越多;而 16Mbit 反熔丝 PROM 存储器 XQ17V16 辐照 0.99kGy 时也开始出现错误,即这两种存储器在相应累积剂量水平出现功能失效。

4 结论

在 FPGA 辅助测试的情况下对高性能模数/数模转换器 AD10465、AD9857 和 FLASH 存储器 MEF64M16 以及反熔丝 PROM XQ17V16 的抗辐射性能进行了功能测试,获得了相应的试验参数。本试验可以为航天领域专家对上述器件的选择提供参考。

参考文献

- 1 Wang J J, Chan R, Kuganesan G. Total Ionizing Dose Effect on Programmable Input Configurations. MAPLD'2005
- 2 Nguyen D N, Guertin S M, Swif G M, *et al.* Radiation effects on advanced flash memories. IEEE Transactions on Nuclear Science, 1999, 46 (6): 1744-1750
- 3 Martin Dentan. Radiation Effects on Electronic Components. CERN Training course, 2000, part1
- 4 James Edwin Vinson. Circuit reliability of memory cells

- with SEU protection. IEEE Transactions on Nuclear Science, 1992, **39**(6): 1671-1678
- 5 贺朝会, 耿斌, 何宝平, 等. 物理学报, 2004, **53**(1): 266-269
- HE Chaohui, GENG Bin, HE Baoping, *et al.* Acta Phys Sin, 2004, **53**(1): 266-269

Radiation effect test on ADC/DAC and high density memory devices with ^{60}Co γ -rays

XING Kefei¹ WANG Yueke¹ PAN Huafeng²

¹(323 Lab, Institute of Electromechanical Engineering and Automation, National University of Defense Technology, Changsha, 410073)

²(Shanghai Aerospace Electronic Co. Ltd, Shanghai 201800)

ABSTRACT A test platform was constructed for ^{60}Co γ -ray irradiation experiment of microelectronics, with the aid of computer and a FPGA module. The tested sample devices included analog-to-digital converter AD10465, digital-to-analog converter AD9857, high density flash memory MEF64M16 and anti-fused PROM XQR17V16, which are used in signal processing module in spaceborne systems. Evaluations were made on their ability of resisting the total dose based on the proper function criterion of the devices. The results showed that AD10465 and AD9857 ran properly after 1.59kGy(Si) irradiation, but errors were found when MEF64M16 and XQR17V16's total ionizing dose is 0.13kGy(Si) and 0.99kGy(Si), respectively.

KEYWORDS AD/DA converter, Memory device, ^{60}Co γ -ray, Total ionizing dose, Radiation effect

CLC V476.5, V520.6