

DC/DC 单粒子效应的多通道高速测控系统实现*

黄东巍 吕贤亮

(中国电子技术标准化研究院 北京 100176)

摘 要:设计了一种多通道高速数据采集测控系统,用于监测 DC/DC 电源在单粒子试验中发生的单粒子效应。系统基于 PXIe 总线构建,采用程控仪器组网方式,数据总线传输速率最高达 400 MB/s。对 DC/DC 器件在中科院近代物理研究所的加速器上进行了单粒子效应试验,并利用本测控系统进行单粒子效应检测,结果表明,系统可有效地检测 DC/DC 电源的单粒子效应。未来,系统可广泛应用于宇航用国产 DC/DC 电源的考核工作中,应用前景广阔。

关键词:DC/DC;单粒子功能失效;单粒子瞬态

中图分类号: TN915.04 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.604

Realization of multi-channel and high speed measurement and control system for the DC/DC single-event effects

Huang Dongwei Lv Xianliang

(China Electronics Standardization Institute, Beijing 100176, China)

Abstract: A multi-channel high speed data acquisition system is designed in this paper, to monitor the Single-Event Effects in the DC/DC converter SEE test. Based on the PXIe bus, the system adopts Programmable instrument network structure. Its highest data transmitting speed may reach 400 MB/s. The Single-Event Effects tests for the Domestic DC/DC was carried out at the accelerator of the Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, and Single-Event Effects detection is carried out by using the measurement and control system. Experimental results show that the system can effectively detect single event effects of DC/DC power supply. In the future, this system can be widely used in the assessment of domestic DC/DC power supply for aerospace applications.

Keywords: DC/DC; converter single event function failure; single event transient

0 引 言

DC/DC 电源变换器是航天器电源系统的重要组成部分,是各电子设备安全、可靠工作的基础。空间辐射环境中的高能粒子会对电源系统中的 DC/DC 产生辐射损伤效应,引起器件电气性能指标退化甚至功能失效。

DC/DC 电源的单粒子效应主要包括单粒子功能失效^[1-4]和单粒子瞬态^[5-9]。

目前,国内现有针对 DC/DC 电源单粒子效应试验的测试装置存在如下问题。1) 系统采样率过低导致无法对输出参数变化和辐射效应进行精确分析,根据耐奎斯特定理,无失真地还原正弦波信号所需的采样速率应大于被测信号最高频率的 2.2 倍,还原方波和脉冲信号所需的采样速率至少为被测信号最高频率分量的 10 倍以上,理论上

采样速率越高还原出来的信号特征越接近真实信号。当系统采样率过低时,可能会出现效应漏判的情况。而提高采样速率的代价就是导致系统数据吞吐量的大幅增加,必须采用新的硬件架构和软件算法。2) 监测系统数据吞吐量低,无法实现多参数高速并行实时监测。对于 DC/DC,在辐射试验中通常需要同时监测多路输出端,目前的监测系统数据处理能力较低,无法实现多通道的高速并行监测。

本文设计了一种用于检测 DC/DC 单粒子效应的多通道高速测控系统,距离试验现场 50 m 内可实现对 DC/DC 电源单粒子试验的远程测控。测控系统可实现 4 通道参数实时并行监测,采样速率最高达 50 MHz。

试验中,通过实时监测 DC/DC 电源模块各输出端的电压和输入电源电流的方式检测单粒子功能失效,当输出电压突然为 0 或为非正常值时,表明器件单粒子功能失

收稿日期:2017-05

* 基金项目:核高基重大专项(2011ZX01022-002-003)资助

效,发生单粒子功能失效后,断电重启,DC/DC 电源模块功能不正常。DC/DC 变换器的单粒子瞬态效应是指因单粒子效应而出现输出电压瞬时往高或往低跳变的现象,该瞬时跳变发生之后器件输出即恢复正常,采集卡实时监测器件输出电压,当输出电压瞬态波形的幅度、脉宽超过设定的阈值时,记录波形和累积发生的次数,直到达到规定的辐照累积剂量或瞬态次数达到规定要求停止辐照。

1 测控系统硬件实现

测控系统硬件总体架构如图 1 所示。

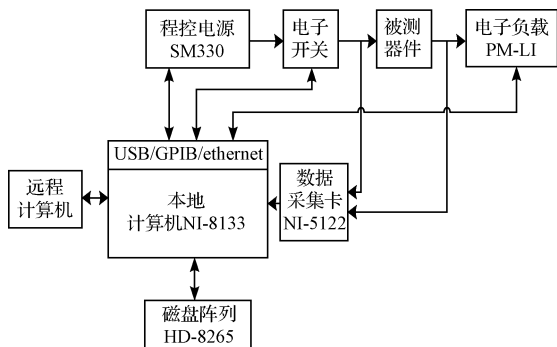


图 1 测控系统硬件总体架构

单粒子瞬态是 DC/DC 电源主要的单粒子效应,表现为在电路输出端上出现瞬时往高或往低跳变的现象,瞬态脉冲的脉宽和幅度为重要参数。国外研究表明,瞬态脉冲的脉宽可达 $1\ \mu\text{s}$ 左右,必须精确地捕捉到脉冲参数变化,从而对 DC/DC 的单粒子效应进行精确分析。根据耐奎斯特定理,无失真地还原脉冲信号所需的采样速率至少为被测信号最高频率分量的 10 倍以上,理论上采样速率越高还原出来的信号特征越接近真实信号。为了准确地捕捉到瞬态脉冲,系统应至少采用 10 倍过采样速率。作为性能扩展,要求系统应具有 50 MHz 采样率,数据总线应具有 400 MB/s 的数据传输能力。

为实现高速采集存储,采用 PXIe 总线^[10-14]构建系统硬件架构,采用 LabVIEW 进行系统软件开发。

测控系统由采集存储单元、远程控制单元和挂接程控仪器组成。采集存储单元实现四路高速数据并行采集和存储,可满足多路输出 DC/DC 的监测要求,系统采样速率可达 50 MHz,数据存储容量可达到 12 TB。在远程控制单元中,远程计算机、控制计算机及示波器通过路由器组成局域网,控制计算机通过总线接口与挂接程控仪器进行通信,距离试验现场 50 m 内可实现对 DC/DC 电源单粒子试验的远程测控。

2 系统软件实现

检测系统的软件框图如图 2 所示,包括预采集、采集存储、实时监控、单粒子事件检测、关键波形存盘、事件查看统计、设备控制等功能。

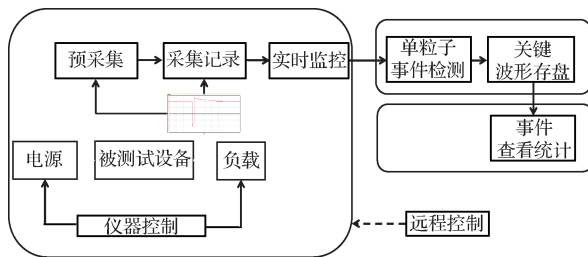


图 2 系统软件功能

2.1 采集存储

单粒子试验中,采集任务需要进行长时间的连续采集,需完整包含所有采集数据点。数据采集卡会把所有采集的波形按照时间顺序存放在板载内存中。

数据流盘指将采集得到的数据实时存入磁盘阵列的过程,系统高达 400 MB/s 的数据流量对数据流盘的功能提出很高要求。本系统使用了“生产者消费者循环”的算法,解决了大流量数据存盘的问题。在计算机的内存中划出部分空间作为数据存放缓冲区,生产者循环从采集卡的板载内存中读取数据,并将数据存入计算机内存缓冲区中。消费者循环判断数据缓冲区队列是否为空,若有数据就将数据读出后存储到磁盘阵列。生产消费循环的工作过程如图 3 所示。

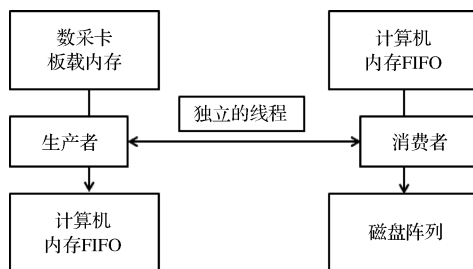


图 3 生产者消费者程序

生产消费者模式能够成功的解决采集存储问题的优势主要有如下两点：

1) 两个循环在独立的线程中执行,对于多核处理器,可以将不同的线程分配到不同的核中进行计算,从而减少了整体的计算时间。

2)利用数据缓冲区,在硬盘写入受阻的情况下可以将采集数据暂存在计算机内存中,避免了数据采集卡板载内存中的数据溢出。

2.2 设备控制及监测

设备控制及监测流程如图 4 所示。设备通信程序为独立循环,不影响其他部分程序运行。通过局部变量传输配置参数和监测数据,通讯模块检测配置参数是否发生变化,变化则按新的参数配置设备,没有变化则读取当前设备状态。

设备连接示意如图 5 所示。参数设置示意图如图 6 所示。

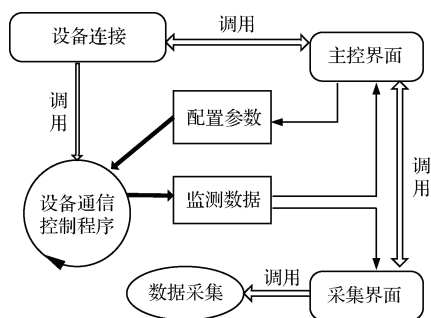


图4 设备控制监测流程



图5 设备连接示意图

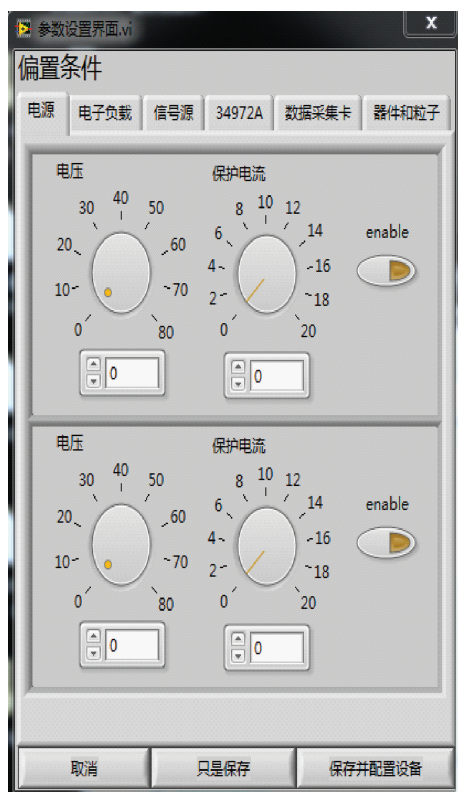


图6 参数设置示意图

2.3 单粒子事件检测

采集的结果中关心的部分为出现脉冲的异常波形,因此需要对采集的结果进行脉冲统计,得到产生的异常波形

数。计算脉冲数的最简单的方法便是设置一个门限值,记录波形过门限值的次数。实际上在测试任务中,正常的波形接近于直流,通过预采集得到这个直流的大小,然后设置一个适当的门限,超过门限的点便可认为是一个脉冲。如果一个点的大小超过门限,而且上一个数据点的大小低于门限,则可以认为出现了一个正脉冲。同理,从大于门限值的点到小于门限值的点则出现了一个负脉冲^[15]。

简单的脉冲统计方法有一个很大的问题,因为采集到的信号是带有噪声的,导致数据的大小有一些波动,数据波动的结果可能导致重复过门限。例如一个正脉冲,在从门限下到门限上以后,因为噪声的波动数据又回到了门限下,结果是一个脉冲被统计两次。实际测试过程中,由于系统采样率很高,如果是边沿不太陡峭的带噪声波形通过门限,在脉冲统计时会被重复统计很多次。

采用缓冲区门限检测方法,将一个门限值改成一个范围,需超出这个缓冲区才能进行第二次门限统计。例如缓冲区下限在 a ,缓冲上限设在 b ,则波形需要先经过 a 然后再通过 b 则记作一次门限。而在通过 b 之前多次通过 a ,或者在通过 a 之后多次通过 b 都不会被计入门限。采用这种方法只要设置缓冲区的间隔超过了噪声的大小,就可以排除噪声造成的重复统计,而且只要脉冲的高度超过了缓冲区上限,能保证脉冲不会被遗漏。

2.4 关键波形存盘及事件查看

针对试验中数据流量大的问题,采用了时间标记功能查看和存储事件波形,如图7所示。试验数据量大,无法全部载入内存显示;事件时间短,按时间搜寻难以找到关键波形;除事件波形外,大部分数据不包含有用信息。为此,采用了时间标记功能,记录事件出现的数据位置,形成时间标记序列;利用时间标记查看事件处波形,选取时间标记附近的数据进行存储以压缩数据量。

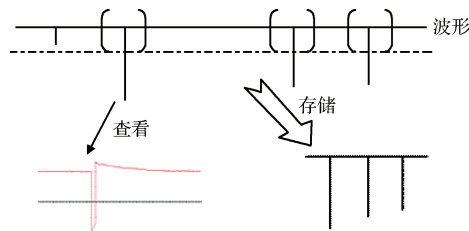


图7 利用时间标记查看和存储事件波形

事件查看可通过时间轴随机查看或通过时间截选中目标波形进行查看。

3 试验结果

对DC/DC器件在兰州近代物理研究所的加速器上进行了单粒子效应试验,并利用课题开发的测控系统进行单粒子效应检测,结果表明系统可准确地检测到单粒子效应。

在兰州近代物理研究所进行的单粒子试验中,对于各类DC/DC器件,在高压满载条件下全部样品功能失效,通

过本课题设计的监测系统可实时地捕捉到输出电压降为0的过程,如图8所示。

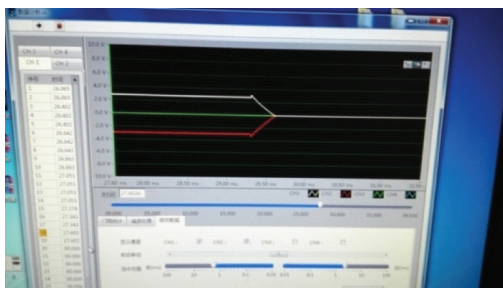


图8 单粒子功能失效监测图

对于各类DC/DC器件,在各种负载偏置条件下,检测装置均可实时监测DC/DC多路输出电压。某款国产DC/DC器件输出电压的多通道并行监测图如图9所示。从图中看到,两个通道输出均有瞬态响应且响应同时发生。通过分析软件,每次瞬态脉冲发生的具体时间、脉宽和幅值都可被详细记录下来。如图9所示,瞬态脉冲的脉冲幅度为0.18 V,宽度为87.6 μ s。

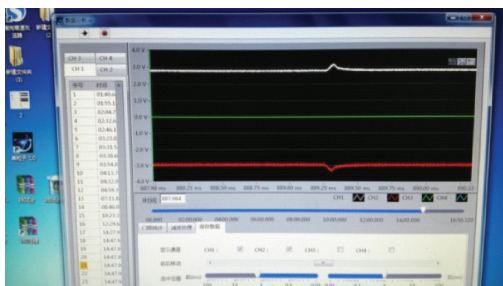


图9 单粒子瞬态效应监测图

4 结 论

设计了一种DC/DC电源的单粒子效应检测系统,论述了设计思路及设计方案,通过试验验证了该系统可准确地检测到单粒子效应,满足DC/DC电源单粒子试验中的远程测控需求。未来,系统可广泛应用于宇航用国产DC/DC电源的考核工作中,应用前景广阔。

参 考 文 献

- [1] WANG W, YU Q, MENG M, et al. Single event effects in the high-input voltage DC/DC converter for aerospace applications[C]. European Conference on Radiation and ITS Effects on Components and Systems, 2011:266-269.
- [2] PARKHURST C, TORRES H, HAMLYN M, et al. Radiation performance of a monolithic synchronous DC-DC point of load regulator for harsh environments[C]. European Conference on Radiation and ITS Effects on Components and Systems, 2011:

918-921.

- [3] HE ANLIN. Experimental research of heavy ion and proton induced single event effects for a Bi-CMOS technology DC/DC converter[J]. Journal of Semiconductors, 2015,36(11): 114-118.
- [4] 李鹏伟. MOSFET 单粒子烧毁引起的 DC/DC 电源变换器功能失效试验研究[J]. 航天器环境工程, 2013, 30(5):512-515.
- [5] SANDER A B, CHEN D, KIM H S, et al. SEE transient response of crane electronics single output point of load DC-DC converters[C]. European Conference on Radiation and Its Effects on Components and Systems, 2012: 908-912.
- [6] REN Y, FAN L, CHEN L, et al. Single-event effects analysis of a pulse width modulator IC in a DC/DC converter[J]. Journal of Electronic Testing, 2012, 28(6): 877-883.
- [7] REN Y, HE A L, SHI S T, et al. Single-event transient measurements on a DC/DC pulse width modulator using heavy Ion, proton, and pulsed laser[J]. Journal of Electronic Testing, 2014, 30(1):149-154.
- [8] 程铭,周洪生,余海生. 电流型 PWM 控制器单粒子脉冲瞬态效应的试验研究[J]. 核技术, 2014, 37(12): 35-40.
- [9] 程佳,马英起,韩建伟,等. 运算放大器单粒子瞬态脉冲效应试验评估及防护设计[J]. 空间科学学报, 2017,37(2):222-228.
- [10] 蔡云飞,曹艳. 一种基于 PXIe 总线的频谱监测设备设计[J]. 移动通信, 2016,40(18): 88-93.
- [11] 耿金良. 自动化设备的数据采集与计算机处理技术[J]. 机电工程, 2014,31(5): 616-619.
- [12] 曾镜全. 谈多路数据采集与处理系统[J]. 机电工程技术, 2012,41(8): 54 -57.
- [13] 董锋剑,何惊,张羽. 基于 PXIe 总线和 LabVIEW 数据采集[J]. 中国科技信息, 2014(2):25-28.
- [14] 徐欣,周舟,李楠,等. 基于 FPGA 的 PXIe 总线 DMA 设计与实现[J]. 微处理机, 2010(4):10-13.
- [15] 凌华科技(中国)有限公司. 基于高带宽的 PXI Express 平台,实现高速数据记录[J]. 国外电子测量技术, 2014,33(8):15-20.

作 者 简 介

黄东巍,1977 年出生,工学博士,高级工程师,主要研究方向为仪器与测试技术、通信与信息系统设计技术、空间环境效应监测技术等。

E-mail: huang_dong_wei@sina.com

吕贤亮,1985 年出生,工程师,主要研究方向为检测方法研究和器件检测。