

航天器电源母线纹波测试系统设计

任亮, 李鸿飞, 杨枫, 陈莉欣

(中国空间技术研究院 载人航天总体部, 北京 100094)

摘要: 航天器电源母线纹波可以反映系统的稳定性。文章设计了一种基于 PXI 构架的电源母线纹波测试系统, 实现对航天器电源母线安全、不间断的测试, 有效地反映航天器测试过程中母线的动态特性, 为型号改进设计及试验分析提供参考。该系统解决了以往型号对母线纹波测试只能依靠示波器或示波表, 安全系数低、数据信息量小的问题, 将在航天器电测中发挥重要作用。

关键词: 航天器; 电性能测试; 母线纹波; PXI 构架

中图分类号: V554.3

文献标志码: B

文章编号: 1673-1379(2014)02-0208-04

DOI: 10.3969/j.issn.1673-1379.2014.02.019

Design of the spacecraft power bus ripple measurement system

Ren Liang, Li Hongfei, Yang Feng, Chen Lixin

(Institute of Manned Space System Engineering, China Academy of Space Technology, Beijing 100094, China)

Abstract: The power bus ripple of spacecraft reflects the spacecraft's health condition and can be used to predict its future trend. This paper provides a design of a power bus ripple measuring system based on the PXI frame, and a certain spacecraft is tested in an uninterrupted test for the power bus safety to give the dynamic characteristics of the power bus. The methodology can be used in the model design and test analysis. This system solves the problems, such as the low security and the small data capacity in the past years based merely on oscilloscope or scope meter to test the ripple, and it might play a key role in the electrical test of spacecraft.

Key words: spacecraft; electrical test; power bus ripple; PXI frame

0 引言

航天器广泛采用大功率直流分布式电源系统, 电源母线上各系统间的设备相互作用会影响整个系统的稳定性^[1]。航天器电源母线纹波可以反映航天器母线上系统的稳定性及各设备的动态阻抗匹配情况, 在一定程度上影响型号产品的工作状态和使用寿命^[2-3]。因此, 母线纹波是电源系统的重要参数之一, 对其进行研究具有重要意义^[4-6]。以往在进行型号测试时, 对母线纹波的测试只能依靠示波器或示波表, 安全系数低、数据信息量小, 不利于对系统稳定性进行分析。本文旨在针对这些弊端设计出一种测试系统, 实现对航天器电源母线纹波安全、不间断的测试, 有效反映航天器测试过程中母线的动态特性, 为型号改进设计及试验分析提供依据。

1 设计需求分析

航天器电源母线纹波测试的安全性和可靠性要求高, 由此带来以下技术难点。第一, 测试设备必须保证电源母线的安全, 不能因为测试系统的故障影响到航天器各设备的正常工作, 因此测试系统必须与航天器电源母线隔离。第二, 航天器电源母线纹波需要测量的频带宽度达到 200 kHz, 且要求能够连续、长时间地完成纹波实时采集、实时存储、实时显示, 从而构成了不间断、长时间的大数据流与母线纹波测试实时性要求之间的矛盾。针对以上难点和矛盾, 测试系统设计分别从硬件和软件两方面采取了一系列措施。

2 硬件设计

硬件系统采用的是基于 PXI (面向仪器系统的

PCI 扩展, PCI eXtensions for Instrumentation) 构架 多路选通开关、PXI 机箱、AC-DC 线性隔离供电电源、光纤网络模块以及上位机等。

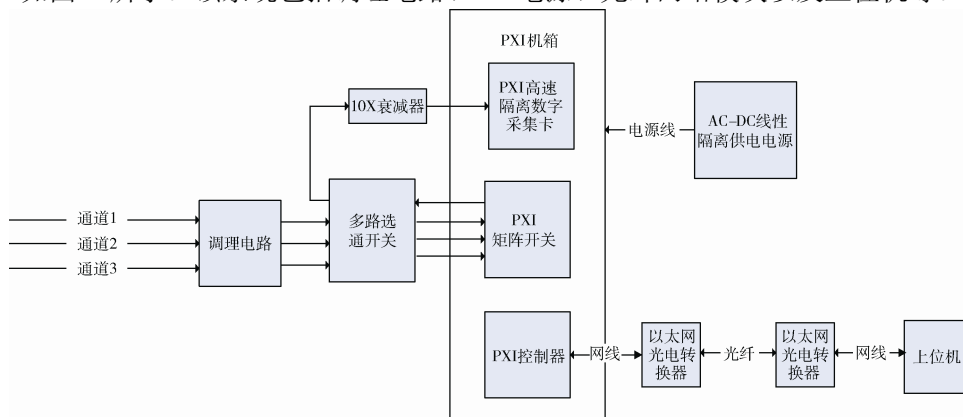


图 1 基于 PXI 构架的硬件原理

Fig. 1 Block diagram of hardware design based on PXI structure

调理电路由分压电路和快速熔断保险两部分组成。一旦电路中有大于 250 mA 的电流通过, 快速熔断保险就会快速熔断, 起到故障隔离的作用。

多路选通开关将调理完毕的信号送入 PXI 机箱, 由机箱内的高速隔离数字采集卡完成 A/D 转换后通过 PXI 控制器与上位机进行通信, 最终由上位机完成数据处理和存储。

PXI 机箱由 PXI 控制器、PXI 矩阵开关、PXI 高速隔离数字采集卡组成, 实现对纹波的实时采集和采集数据网络发送等功能。PXI 控制器控制 PXI 矩阵开关和 PXI 高速隔离数字采集卡完成数据的采集和压缩。由 PXI 矩阵开关控制多路选通开关选择 3 路中的 1 路母线纹波数据信号送入高速隔离数字采集卡, 并由采集卡进行数据的 A/D 转换和压缩, 数据采集速度为 1.4 MS/s; 同时将采集到的数据通过光电转换器转换为光信号, 经光纤网络实时传输至上位机, 由上位机实现大量数据的实时处理、实时存储、实时记录, 以及远距离的测试结果监视。

考虑到母线纹波测试系统是一个精密测试系统, 为了减小交流电源对测试精度产生的影响, 该系统由一个交流 220 V 转直流 24 V 的 AC-DC 线性隔离电源供电。

这样的硬件系统设计, 通过采用 PXI 高速隔离数字采集卡、AC-DC 线性隔离供电电源、快速熔断保险 3 种方式, 实现了测试系统与航天器电源母线的隔离。

3 软件设计

软件系统采用了模块化、层次化的设计方法。

整个软件系统可以划分为数据采集模块、数据显示模块和数据存储模块, 每个模块采用规范化的软件接口, 以统一功能模块的接口和通信方式。系统软件遵循分层管理思想, 保证软件模块之间、软件与硬件之间的相对独立性。软件主体采用 LabView 开发。由于整个软件运行时需要实时进行数据压缩, 为了提高执行效率和便于实现, 压缩算法采用 VC++ 开发, 提供压缩动态链接库由 LabView 进行调用。图 2 和图 3 分别为数据采集和存储流程。

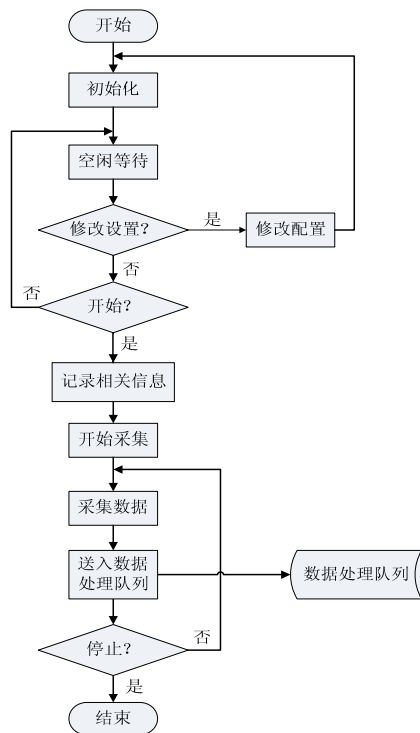


图 2 数据采集流程

Fig. 2 Data acquisition flow diagram

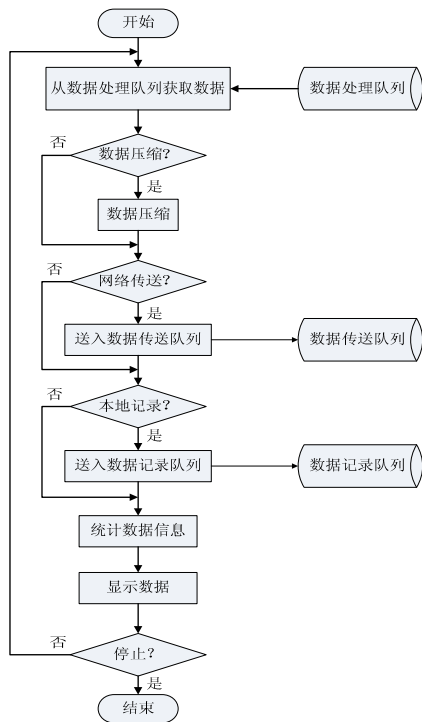


图3 数据存储流程

Fig. 3 Data storage flow diagram

采集、显示、存储需要大量的 I/O 操作，为了提高 CPU 利用率和软件资源的可重用性，将数据的采集、显示和存储功能分别放在不同的并行循环中，并由 LabView 分配在不同的线程中运行。线程之间通过队列交换数据，对 CPU 占用较少，可以将宝贵的 CPU 资源留给数据压缩线程，从而保证数据压缩的实时性，解决了大数据流与母线纹波测试实时性要求之间的矛盾。

4 应用效果

使用根据上述设计思想实现的航天器母线纹波测试系统完成对测试数据的实时显示、实时存储以及实时处理。图 4 是系统的人机交互界面，主要分为“曲线”“信息及参数”“控制及状态”3 部分区域，用户界面友好。

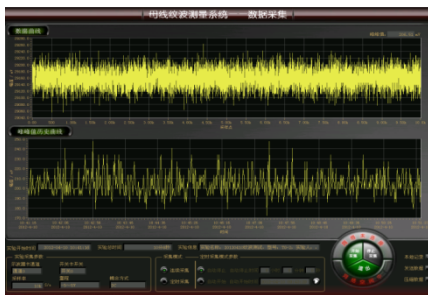


图4 系统人机交互界面

Fig. 4 Human-computer interaction web page

纹波是叠加在直流上的交流分量，包含着频率、振幅不同的多种成分^[4]。时域的母线品质通常用纹波振幅的峰-峰值来描述，研究其统计分布特性是进行系统稳定性分析的有效途径。本系统软件可以统计出一个时间范围内母线纹波峰-峰值的比例，详见图 5。

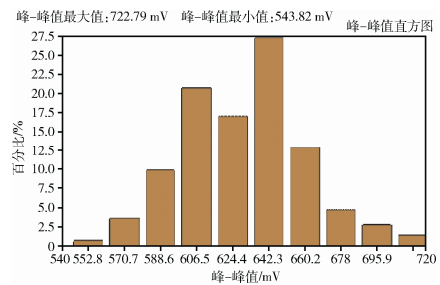


图5 母线纹波峰-峰值时域统计

Fig. 5 Time domain statistics of power ripple peak-peak value

5 结束语

本文从测试安全性和可靠性的角度出发，设计了一种航天器电源母线纹波测试系统。硬件上采用 PXI 构架有效地实现了测试系统与航天器电源母线的隔离，确保航天器的测试安全和测试精度。软件上将数据的采集、显示和存储分配在不同的并行线程中运行，将宝贵的 CPU 资源留给数据压缩线程，解决了大数据流与母线纹波测试实时性要求之间的矛盾。经过实际测试使用，系统测试所得数据真实有效，已完成多个型号的安全无故障测试，具有一定的应用价值。

需要指出的是，目前的电源母线纹波研究还只局限在宏观层面上，在后续应用中可以利用数据挖掘技术对母线纹波数据进行处理，从大量模糊的数据中提取出有用信息，建立起误差小、精度高的产品预测模型，以更好地满足航天器测试需求。

参考文献 (References)

[1] 万成安, 于磊, 刘建强. 航天器直流电源系统稳定性分析方法研究[J]. 航天器工程, 2009, 18(2): 14-19
Wan Cheng'an, Yu Lei, Liu Jianqiang. Research on the stability analysis strategy for spacecraft DC power system[J]. Spacecraft Engineering, 2009, 18(2): 14-19

[2] 石峰, 赵京伟, 舒乐, 等. 直流高压电源纹波的实验研究[J]. 核电子学与探测技术, 2006, 26(1): 54-59
Shi Feng, Zhao Jingwei, Shu Le, et al. Experimental study on output ripple of high voltage power supply[J]. Nuclear Electronics & Detection Technology, 2006, 26(1):

- 54-59
- [3] 王庆成. 航天器电测技术[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2007: 20
- [4] 王永谦, 胡其正, 韩国经. 卫星电源系统的母线性能分析[J]. 中国空间科学技术, 2000(4): 22-26
Wang Yongqian, Hu Qizheng, Han Guojing. Dynamics analysis of the satellite power system[J]. Chinese Space Science and Technology, 2000(4): 22-26
- [5] 韩大鹏, 税海涛, 曾国强, 等. 航天器电源系统的动态特性研究[J]. 航天器工程, 2012, 21(5): 76-80
Han Dapeng, Shui Haitao, Zeng Guoqiang, et al. Analysis on dynamic behavior of spacecraft power system[J]. Spacecraft Engineering, 2012, 21(5): 76-80
- [6] 孙毅, 宋世民, 刘民. 航天器电源母线品质地面测试方法浅析[J]. 宇航计测技术, 2013, 33(2): 54-59
Sun Yi, Song Shimin, Liu Min. Analysis of test methods spacecraft power bus quality[J]. Journal of Astronautic Metrology and Measurement, 2013, 33(2): 54-59

(编辑: 张艳艳)