

火箭配电器测试系统设计

党琳, 王晓晖, 刘琨

(中国航天科技集团公司第四研究院第四十一研究所, 西安 710025)

摘要: 火箭配电器作为箭上电气系统的重要部件, 对火箭飞行试验起着至关重要的作用; 配电器测试直接反映其各项功能达标情况, 测试方法的优劣会影响对配电器性能的评价高低; 配电器测试系统以加固计算机为开发平台, 通过 PXI 数据采集板卡对调理后的信号进行采集和控制, 并在显示器上显示测试结果与数据, 从而完成配电器的各项功能测试; 测试系统原理样机测试某箭上配电器, 比较测试值与设计值结果相符, 可以得出系统设计可行、可靠; 该测试系统大大改进了以往的测试手段, 具有体积小、可靠性高、易于携带等优点。

关键词: 火箭; 配电器; 测试

Design of Testing System for Rocket Distributor

Dang Lin, Wang Xiaohui, Liu Kun

(The 41st Institute of the Fourth Academy of China Aerospace Science and Technology Corporation, Xi'an 710025, China)

Abstract: As an important component of the electrical system on the rocket, the distributor plays an important role in the rocket flight test. The test of the distributor directly reflects the situation of the various functions, and the test method will affect the evaluation of the performance of the distributor. The testing system for distributor is designed which uses reinforced computer as hardware to develop platform. The testing system uses PXI data acquisition board to collect and control the conditioning signal, which test results and data is displayed on the monitor, to complete the functional test of the distributor. The prototype of the testing system is used to test the distribution device of an arrow, which is consistent with the design value. The testing system which has the advantages of small size and high reliability has greatly improved the previous test methods.

Keywords: rocket; distributor; test

0 引言

火箭供电系统是整个火箭的能源基础, 整个供电系统主要包括电池、电缆网和配电器三部分。配电器是供电系统中的重要部分, 负责接收地面测发控系统指令实现转电、上电等, 并将参数传输到地面完成参数和状态监测。箭上系统中的探测部件、控制部件、执行机构等大部分为电气化设备, 其稳定、可靠的正常工作都需要有高精度、高稳定性的配电器供电, 能有效地提高采集与检测系统的供电能力, 从而确保配电器更好的工作^[1]。因此, 配电器是否正常工作直接决定了火箭供电系统的可靠运行和飞行任务的顺利完成。

供电测试设备是火箭地面总体测试系统的重要组成部分, 它通过测试电缆对配电器进行供电检测、限流电阻检测、转电控制、断电控制和火工品是否正常点火的检测, 实现对配电器各项功能和性能的考核。以往的配电器测试设备功能单一且体积较大, 不利于外场试验排故时对配电器的排查检测^[2]。

为了优化配电器测试方法, 达到测试高效性和便携性, 本文设计了一种新型配电器测试系统。系统以加固计算机为开发平台, 通过数据采集卡对调理后的信号进行采集和控制, 从而完成配电器各项功能的测试。该系统具有体积小、重量轻、可靠性高及携带方便等优点, 并为后续各项型号任务的系统构

建以及测试方法优化提供了参考。

1 系统结构及原理

配电器测试系统需要对配电器内部电路各电阻阻值进行测量, 实现配电器控制母线、遥测母线和电池的上电检测, 完成配电器转电及电压检测, 实现火工品点火功能并进行信号检测及判定^[3]。

按照测试设备功能要求进行合理可行的方案设计, 配电器测试系统主要由计算机、数据采集控制卡、调理板硬件电路、面板接口以及内外部电缆组成, 系统原理框图如图 1 所示。

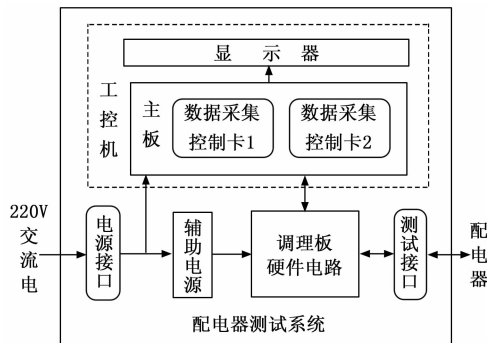


图 1 配电器测试系统原理框图

配电器测试系统以加固计算机为主控设备, 作为系统测试的核心实现信号采集与控制。被测配电器通过外部测试电缆与计算机主机相连接, 计算机内部辅助电源为配电器供电。配电

收稿日期: 2017-02-08; 修回日期: 2017-03-07。

作者简介: 党琳(1986-), 女, 陕西西安人, 工程师, 主要从事导弹火箭电气系统设计方向的研究。

器的被测信号通过测试电缆进入计算机后, 经过调理电路进行信号调理再进入工控机。计算机通过数据采集控制卡对调理后的测试信号进行采集与控制, 并在显示器上显示测试结果与数据, 从而实现配电器各项功能的测试。

2 系统硬件设计

2.1 数据采集

配电器测试系统选用 2 种 PXI 板卡, 型号分别为 NI 公司的 PXI-6723 和 PXI-6255。

PXI-6723 板卡作为信号输出控制卡, 主要提供被测产品所需的输入信号以及控制继电器的吸合释放。PXI-6723 板卡提供了 32 路模拟输出通道, 每条通道均有最高输出速度 45 MS/s、13 位分辨率以及数字触发。除模拟输出外, 该板卡还有 8 条数字 I/O 线和 2 个 24 位计数器/定时器。单通道时采样速率为每通道 800 KS/s, 32 通道时为每通道 45 KS/s。

PXI-6255 板卡作为信号输入采集卡, 主要完成被测产品输出信号的采集。PXI-6255 是一款高速 M 系列多功能 DAQ 板卡, 在高采样率下也能保持高精度。该板卡采用 16 位模数转换器, 80 路模拟输入, 2 路 16 位模拟输出 (2.8 MS/s), 24 条数字 I/O 线, 32 位计数器。采样率最大为 1.25 MS/s, 多路采样率为 750 KS/s。

2.2 信号调理

调理板为测试系统的关键部分, 主要完成控制信号的输出、输入信号的变换采集、控制电源供电输出和电阻测试等功能。

2.2.1 控制电路

配电器测试系统需要对被测配电器的转电断电、供电电压和内部电阻进行控制和测量。供电控制包括控制母线和电池给被测配电器供电的转或断电控制, 电路原理如图 2 所示。

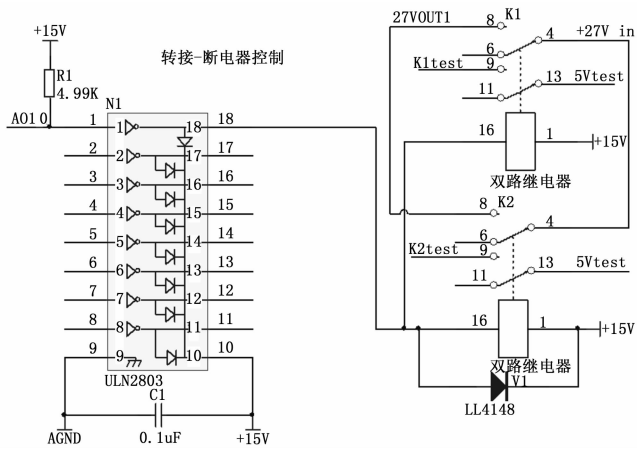


图 2 电源控制电路原理图

采集卡 PXI-6723 的输出控制信号作为达林顿阵列 ULN2803 的控制输入, 同时为增大驱动电流, 采用上拉 5 K 电阻到 +15 V 的方式。继电器的供电电压 +15 V 由辅助电源 ±15 V 供电直接给出, ±15 VGND 和采集卡 PXI-6723 共地。控制供电输出通过达林顿阵列 ULN2803 控制继电器触点的吸合释放来完成。

配电器测试系统需要以机械开关的方式产生点火控制指令和断电控制指令。该类信号都属于开关量信号, 仍采用“采集

卡 PXI-6723 的 AO 输出控制信号+达林顿阵列 ULN2803+继电器”的方式来实现, 通过继电器的吸合释放来完成信号的通断^[4]。电路与电源控制电路原理一致。

2.2.2 电压采集

配电器测试系统需要对母线电压检测信号、转电电压检测信号和电池电压检测信号进行测试。电路原理图如图 3 所示。

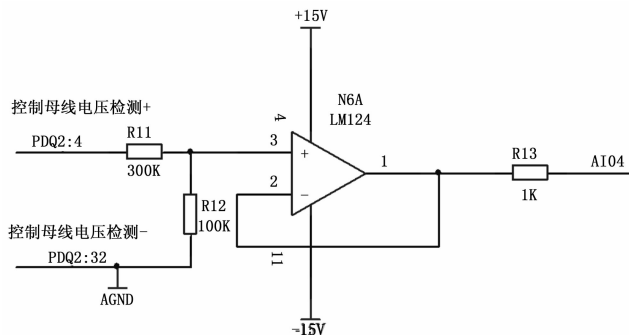


图 3 电压采集电路原理图

由于测试系统中控制电 (27 V) 与采集卡 PXI-6255 共地, 采集卡 PXI-6255 的采集范围为 -10~+10 V, 当采集信号电压范围为 0~27 V 时, 超出了采集卡 PXI-6255 的采集范围, 因此在进行控制电测量时采用“电阻分压+运算放大器跟随”的方式进行 1/4 分压后进行采集, 最后, 在软件中进行同比例放大还原, 达到真实反映被测输入电压的目的^[5]。

2.2.3 电压隔离采集

配电器测试系统需要对近二十个点火信号进行采集。由于系统中功率电 (30 V) 与采集卡 PXI-6255 不是共地的, 因此需要使用隔离运放进行电压采集, 功率电 (30 V) 通过电源模块转换为 ±15 VH 为隔离运放 ISO122P 前端供电, 辅助电源 ±15 V 为隔离运放后端供电, PXI-6255 采集卡通过“运放+隔离运放”对功率电进行电压采集, 示意电路图如下图 4 所示。

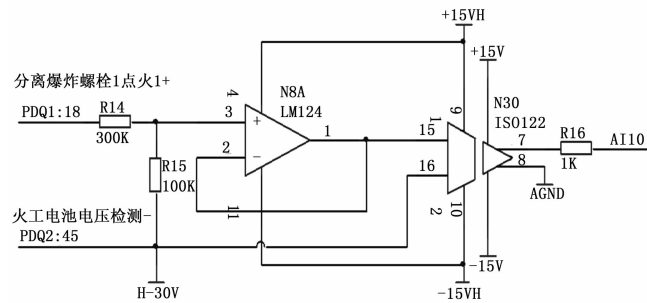


图 4 电压隔离采集电路原理图

由于该类信号的电压范围为 0~30 V, 超出了采集卡 PXI-6255 的采集范围 (-10~10 V), 因此将输入信号按 1/4 比例进行电阻分压后再进行数据采集。最后, 在软件中进行同比例放大还原, 达到真实反映被测输入电压的目的。

2.3 转接电缆

转接电缆分为内部电缆和外部电缆两部分。内部电缆包括: 1) 连接调理板和采集板卡, 完成采集卡测试采集调理板的输出信号; 2) 连接调理板和加固计算机外部接口, 完成外部信号输入到调理板。

外部电缆用于连接计算机和被测产品，完成计算机和被测产品之间信号的传输。外部电缆与测试计算机连接端使用两个 J599 圆形连接器，另一端为配电器连接器对接端。为了防止计算机端电缆的误插，外部电缆计算机端选用不同型号的连接器的，避免转接电缆连接错误。

3 系统软件设计

在测试系统的软件设计时，采用 LabVIEW 软件来实现采集数据的计算、分析、处理和显示。LabVIEW 采用图形化编程语言，能够为用户提供简明、直观、易用的图形编程方式，能够将烦琐复杂的语言编程简化成以菜单提示方式选择的图形编程，大大地节省了程序开发时间，且其运行速度快，效率高。

为了便于程序日后的升级和维护，程序的软件采用模块化结构。整个程序主要分为：主函数、自检测试模块、功能测试模块和报表输出模块。其中功能测试模块包括：供电测试模块、转电测试模块、火工品点火测试模块、断电测试模块以及电阻阻值测试模块等。其流程图如图 5 所示。

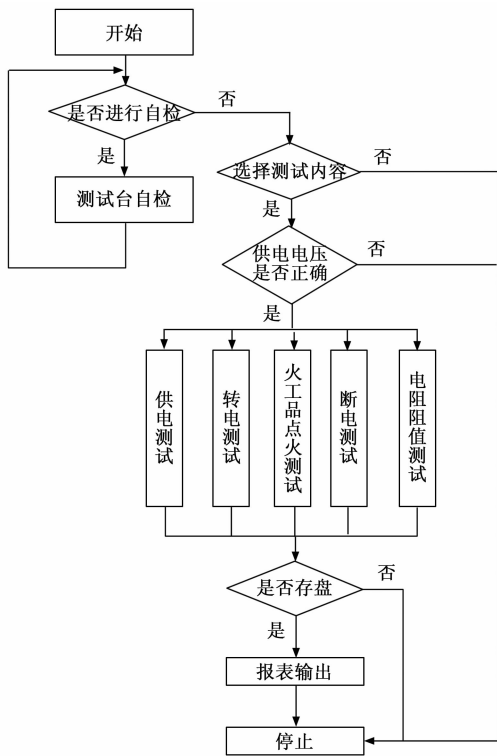


图 5 配电器测试系统软件流程示意图

3.1 供电模块设计

在整个系统中，供电测试、转电测试及断电测试的软件流程基本相同，都是通过 AO 输出控制信号，然后通过 AI 进行电压信号的采集，然后经过软件的分析处理，因此这里以供电模块为特例进行说明。供电模块的程序流程图如图 6 所示。首先软件发送供电控制指令，然后采集相应的输出电压信号，进行判定后显示在界面上。

3.2 点火模块设计

火工品点火测试程序流程图如图 7 所示。首先向配电器发送点火测试脉冲信号(200 ms)，然后通过测试系统 AI 采集点

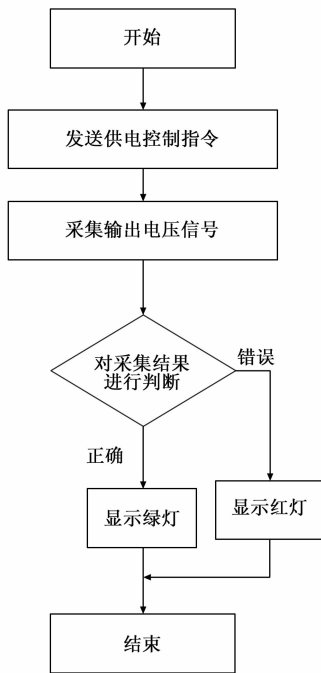


图 6 供电控制流程图

火信号输出波形，判断波形脉宽及时间是否符合要求。

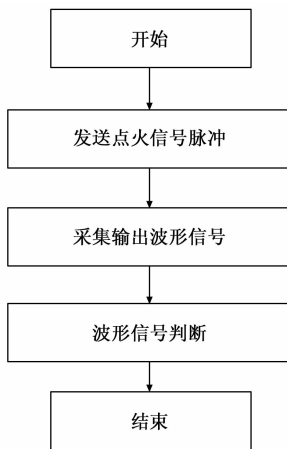


图 7 火工品点火测试流程图

4 试验结果与分析

为了验证所设计的配电器测试系统能够快速、稳定、可靠获得配电器的各项测试数据，真实反映配电器性能，我们设计了一套原理样机，并测试了某火箭箭上配电器例试机，测试示意图如图 8 所示，测试结果如表 1 所示。

表 1 某火箭箭上配电器测试结果数据

配电器测试项目	设计值	测试值
电压检测限流电阻	6.7~7.4Ω	6.85Ω
点火回路限流电阻	2.2~3Ω	2.5Ω
电池电压检测	28V	28.1V
转电电压检测	28V	28.1V
断电电压检测	$V_{\text{母线}} = 0$	$V_{\text{母线}} = 0$
火工品点火测试	200ms 方波脉冲	200ms 方波脉冲



图 8 配电器测试系统测试示意图

通过比较可以看出, 配电器测试系统测得的各项数据都与配电器设计值相符, 此系统可以为配电器检测所用, 且测量结果真实、可靠, 直观性强。

5 结束语

本配电器测试系统以加固计算机为开发平台, 通过 PXI 数据采集板卡对调理后的配电器内部相关信号进行采集、控制, 与输入信号进行对比并显示, 从而完成配电器电压电阻测

(上接第 6 页)

表 6 等权值优化算法的征兆误判率和征兆混淆率

网络总数	征兆误判率/%	征兆混淆率/%
6	0	3.2
7	0	1.5
8	0	1.9
9	0	2.8
10	0	4.5

表格 6 是采用固定的故障模型, 进行模拟得出的征兆误判率和征兆混淆率。与表 2 相比较, 新的算法继承了等权值算法的低征兆误判率, 并在一定程度上降低了征兆混淆率。

5.2 权值递加算法

权值递加算法的测试向量集如表 4 所示, 算法的紧凑性为 $p+1$, 紧凑性略大于二进制计数算法, 但明显低于走步“1”算法。算法紧凑性的比较如下表 7 所示。

表 7 三种算法的紧凑型比较

网络数 N	走步“1”算法	权值递加算法	二进制计数算法
9	9	5	4
10	10	5	4
12	12	5	4
21	21	6	5

算法征兆误判率和征兆混淆率同如表 8 所示。根据表 8 可以看出, 与二进制计数算法相比新的算法在一定程度上可避免征兆误判的出现, 而且降低了征兆混淆率。

表 8 权值递加算法的征兆误判率和征兆率

网络总数	征兆误判率(%)	征兆混淆率(%)
6	0	12.5
7	0	6.8
8	0	8.8
9	0	12.2
10	0	12.5

试、转电断电及火工品点火功能的测试。现已完成一套原理样机的研制, 测试结果表明系统稳定、可靠, 解决了传统配电器测试方法复杂、可靠性低、耗时耗力等弊端。本系统具有测试功能较强、结构简单、体积小携带方便等优点, 提高了火箭电气系统配电器测试的效率, 相较以往的测量方法有很大改进。

参考文献:

[1] 范建英, 弹载惯导配电器实时监测系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2013, 21 (11): 3023-3025.
 [2] 雷 斌. 便携式电源检测仪 [J]. 铁道通信信号, 2010, 46 (6): 49-50.
 [3] 李 立. 卫星供电电测试设备接口设计技术 [J]. 航天器工程, 2002 (1): 66-72.
 [4] 沈兰莉. 数据采集技术 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1990.
 [5] 蒋焕之, 孙 续. 电子测量 [M]. 北京: 中国计量出版社, 2001.

6 结语

本文首先通过对电路中故障模型和一些基本概念的介绍从而引入边界扫描测试算法。对一些常见的边界扫描算法进行了介绍和分析, 并选择了两种常用算法对其进行详细的分析和优化, 对比之前的算法, 优化后的两种算法更好的权衡了测试向量集的紧凑性指标和完备性指标。

工艺的提升使得集成电路与芯片朝着超微型化、超复杂化的方向发展^[11]。随着边界扫描硬件与系统的升级, 新的标准和新的算法也在层出不穷的出现, 更加优质的的算法将是下一步的研究方向。

参考文献:

[1] Zhang Zhaobo, Wang Zhanglei, Gu Xinli, et al. Board-level fault diagnosis using an error-flow dictionary [A]. Proceedings International Test Conference [C]. 2010: 1-10.
 [2] 陈圣俭, 等. 边界扫描测试生成算法优化问题 [J]. 电子测量与仪器学报, 2006, 20 (4): 73-76.
 [3] 徐 丹, 杨新环, 晏新晃. 边界扫描测试优化算法 [J]. 计算机工程, 2009, 35 (20): 255-257.
 [4] 孙媛媛. FPGA 的边界扫描测试方法研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2004.
 [5] 徐建洁, 李 岳, 胡 政. 边界扫描测试系统软件设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2006 (7): 975-977.
 [6] 谭剑波, 尤 路, 黄 新, 等. 边界扫描测试技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2013.
 [7] 刘 静. 边界扫描测试算法和 BIST 技术的研究与实现 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2010.
 [8] P. Goel, M. T. McMahon. Electronic Chip-in-place Test [A]. Proceedings International Test Conference [C]. IEEE. 1982: 126-137.
 [9] 胡 政, 温熙林. 边界扫描测试生成的数学基础 [J]. 工程数学基础, 2008, 25 (2): 204-210.
 [10] 段军棋. 基于边界扫描的测试算法和 BIST 设计技术研究 [D]. 成都: 电子科技大学, 2004.
 [11] 潘金海, 颜学龙. 基于 1149.7 标准的测试生成方法研究 [J]. 计算机测量与控制, 2016, 24 (8): 5-8.