

机载机电公共设备自动化测试技术研究

刘庆杰, 江相乐, 任 杰, 艾素霄, 徐 维

(成都飞机工业(集团)有限责任公司技术中心, 成都 610092)

摘要:为研究机载机电公共设备装机后的电缆导通特性、配电功率装置供电功能、传感器性能、综合管理计算机与其它相关系统通信状态的自动化测试技术,设计了一套地面测试用途的测试系统;首先明确了测试对象和测试项目,而后设计了硬件测试环境及其与机载设备交联的电缆,基于 LabWindows/CVI 开发了软件测试程序,将硬件与软件集成并测试,最后进行了应用;结果表明,设计的测试系统能够对机电公共设备进行全面自动化测试,准确给出测试结果并生成报告,具有应用推广价值。

关键词:电缆导通;配电功率装置;综合管理计算机;自动化测试;公共设备管理系统

Research of Automatic Test Technology for Utility Management System

Liu Qingjie, Jiang Xiangle, Ren Jie, Ai Suxiao, Xu Wei

(AVIC Chengdu Aircraft Industrial (Group) Co., Ltd, Chengdu 610092, China)

Abstract: To research on automatic testing technology, which includes cable breakover character, PDD (power distribution device) function of power supply, sensor performance, the communication state between IMC (integrated manage computer) and onboard relevant system, when the UMS (Utility Management System) equipment after installed, a set of ground testing system was designed. Test object and project were identified, then both hardware testing environment and the cable cross-linked with relevant equipment were designed. Testing software was developed based on LabWindows/CVI. Hardware and software were integrated and tested, and applied finally. The result shows, the testing system can carry overall automated testing on the equipment of UMS. After that, correct testing result and report were given. It has application and promotion value.

Keywords: cable breakover; PDD; IMC; automated testing; UMS

0 引言

飞机机载公共设备主要包括液压系统、燃油系统、环控系统、起落架系统、电源系统等(以下统称为机电系统),是飞机正常、安全飞行所必须的航空机载公共设备^[1-2]。机载机电系统电缆及产品装机后,需要对电缆的导通特性、配电功率装置供电功能、传感器性能以及综合管理计算机与其它机载系统通信状态进行测试。传统测试电缆导通特性时,采用导通灯或万用表测试电缆两端间的电阻值,但由于机载电缆很多,手动方式测量耗费时间及人力非常大,而且准确度不高。其余测试项目也分别通过单独设备分项进行测试,没有统一设备对机电公共设备进行完整的自动化测试。

针对手动测试的不足,研究了自动化测试方法。根据不同应用场景,设计测试构型和具体实施方案。最终,设计了一套测试系统,用于实现自动化测试替代传统手动测试,即自动完成所需测试项目。

1 测试场景分析

1.1 机载电缆导通测试

机载电缆导通特性的主要参数为其电阻值 R 。将被测机载电缆两端分别与延长电缆连接,2根延长电缆电阻为 R_1 和 R_2 ,在阻值为 R_1 的延长电缆一端加载恒定电流 I ,在阻值为 R_2 的延长电缆一端检测电压值 U ,则机载电缆电阻为:

$$R = \frac{U}{I} - (R_1 + R_2) \quad (1)$$

设定门限值为 R_0 ,若 $R < R_0$ 即表示机载电缆导通特性符合设计要求,反之则不符合设计要求。

1.2 全机配电功能测试

全机配电由配电功率装置完成,其通过 RS422 与综合管理计算机通信。因此,需模拟综合管理计算机向配电功率装置发送上/断控制指令并接收其反馈的供电状态,同时在被供电设备端检测电压,若被供电的设备上/断电状态与指令一致且电压值在期望范围内,即表示其配电功能符合设计要求。

1.3 传感器数据测试

配电功率装置为传感器上电后,检测传感器输出的信号与期望状态是否一致。主要电气信号有模拟量、离散量、脉冲量等。模拟量为 $-10 \sim 10$ V 电压信号,离散量为高/开和地/开信号,脉冲量为占空比为 50% 频率为 0~20 kHz 的脉冲信号。

1.4 RS422 数据接口测试

部分机载设备通过 RS422 与综合管理计算机进行通信,为验证数据接口正确性,需要对 RS422 的波特率、奇偶校验位、校验和以及其它 ICD 定义的内容进行全面测试。因此,需要模拟综合管理计算机与被测设备间通过 RS422 收发数据、进行通信。

1.5 综合管理计算机 1553 通信测试

机电公共设备控制核心为综合管理计算机。其通过 1553 总线与其它系统进行通信。其中综合管理计算机作为 BC(总线控制器),因此,需要模拟飞控、地面站、飞参等(作为 RT,远程终端)以及综检(作为 BM,总线监视器)与综合管理计算机通过 1553 进行通信。

收稿日期:2015-11-26; 修回日期:2016-01-03。

作者简介:刘庆杰(1986-),男,河北唐山人,工学硕士,工程师,主要从事机载机电系统控制仿真方向的研究。

2 系统组成及工作原理

2.1 系统组成

测试系统分为硬件和软件两部分。综合考虑使用需求、成本控制及维护升级等因素, 一种可行的硬件设计方法是工业控制计算机+板卡的构型, 用于实现相应测试功能及数据通信, 在此基础上扩展所需附属设备, 具体设计思路如下:

- 1) 根据测试场景需求选择相应板卡;
- 2) 选择相匹配的工业控制计算机;
- 3) 由于部分机载信号特性与板卡信号特性不一致, 需考虑信号调理;
- 4) 为预防测试现场停电给测试带来影响, 需配备 UPS 电源;
- 5) 将上述设备布置于机柜中, 机柜体积应尽量小, 方便运输及使用;
- 6) 设计延长电缆, 将机柜与机载设备相连, 导线型号与机载保持一致。

综上, 硬件主要包括主控计算机、板卡、信号调理箱、UPS 电源、机柜及电缆。详细板卡信息见表 1。

表 1 板卡列表

序号	型号	数量	用途
1	GDR-3160	1	输出恒定电流
2	MIC-3716	2	低电压采集
3	MIC-3756	4	通道切换
4	BST-31201	1	高电压采集
5	GDR-3151	1	离散量采集
6	AECCT-8	1	脉冲采集
7	BST23208	2	串口通信
8	EC155AEC1553B	1	1553 通信

各型号板卡均为工业中常用板卡, 功能、性能稳定可靠。主控计算机为研华 SYS-4U4000-7A01, 主板型号为 MIC-3328。UPS 电源为山特 3C15KS, 保障外部电源断电后测试系统仍能正常工作 30 分钟。系统工作原理如图 1 所示。

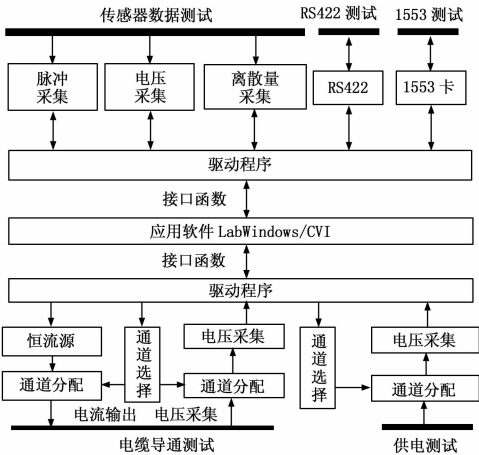


图 1 系统工作原理图

延长电缆与机载电缆对接, 由于电缆导通测试和全机配电功能测试中的机载电缆数量多, 为节约硬件资源, 将待测电缆连接至信号调理箱中的继电器卡, 每 16 通道为一组, 通过继

电器卡进行分组切换。
确定所有硬件选型后, 对各个通道进行资源分配, 主要包括继电器卡的一级分配和信号板卡的二级分配, 基于分时复用原理, 实现资源的合理分配及使用。

基于 LabWindows/CVI 开发应用层软件, 安装所有板卡的驱动软件, 通过对各板卡的控制与管理完成各个测试项目。

2.2 工作原理

机载电缆特性测试: 测试前, 需要对系统进行标定, 测量 R_1 和 R_2 。测试时应用层软件调用 GDR-3160 卡输出 50 mA 电流, 电流输出端继电器卡和电压采集端继电器卡同时接入第 1 组 16 通道电缆, 持续 0.1 s 后, 应用层软件通过 MIC-3716 卡采集电路 16 通道电压值, 通过计算得出被测机电载电缆电阻值。与设定的门限值比较, 最终判断被测电缆是否通过测试, 在界面显示并生成报告。第 1 组 16 通道测试完成后, 继电器卡切换至第 2 组的 16 通道, 以此类推, 直至完成所有机载电缆测试。

全机供电功能测试: 应用层软件按照机载 ICD 规定, 通过 BST23208 卡向配电功率装置发送设备上电控制指令同时采集反馈的供电状态, 继电器卡同时接入第 1 组 16 通道电缆, 0.1 s 后通过 BST-31201 采集电压, 判断电压是否在期望范围内。而后, 再向配电功率装置发送设备断电控制指令, 0.1 s 后通过 BST-31201 采集电压, 判断电压是否在期望范围内, 在界面显示并生成报告。第 1 组 16 通道测试完成后, 继电器卡切换至第 2 组的 16 通道, 以此类推, 直至完成所有设备的上/断电测试。

传感器数据测试: 通过 BST23208 卡向配电功率装置发送传感器上电控制指令, 通过 MIC-3716、GDR-3151、AECCT-8 采集传感器输出的模拟量、离散量和脉冲量信号, 根据传感器所处环境, 确定合格判据, 将测试结果与合格判据比较得出结果, 在界面显示并生成报告。

RS422 数据接口测试^[3-4]: 通过 BST23208 卡向带有 RS422 数据接口的机载产品按照机载 ICD 格式要求发送数据并接收反馈状态, 通过调整周期、波特率、校验位、校验和等内容, 验证 RS422 数据接口是否正确。

综合管理计算机 1553 通信测试^[5-6]: 综合管理计算机作为 1553 总线的 BC, 测试系统作为 RT/BM 模拟飞控、地面站、综检等机载设备。测试系统按照机载 ICD 格式发送数据/解析数据, 1553 网络拓扑结构见图 2。

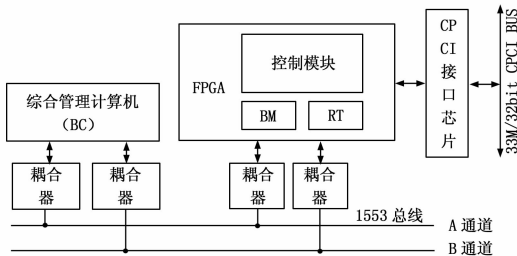


图 2 1553 网络拓扑结构

3 软件设计

3.1 测试软件界面

根据测试场景需求, 测试系统软件功能划分为启动自检、用户权限管理、新建保存与查询测试项目、报表式自动测试、

面板式实时监控。

基于 LabWindows/CVI 开发了测试软件程序^[7-8], 利用其用户界面库函数可以很方便地创建和控制 GUI。新建与查询测试项目界面见图 3。另外, 为实时监控系统工作状态、过程中数据, 还开发了实时监控软件, 界面见图 4。

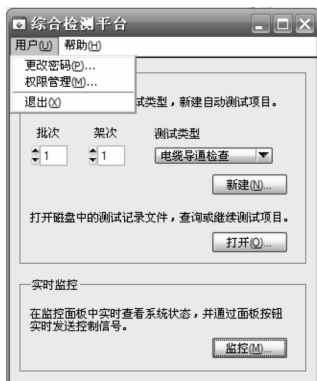


图 3 新建与查询测试项目界面

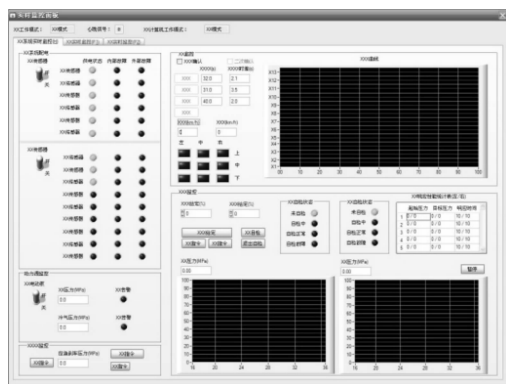


图 4 实时监控界面

实时监控界面主要通过灯、曲线、数值等方式直观显示数据。

3.2 测试软件工作流程

通过分析测试需求, 得出了测试软件工作流程, 见图 5。

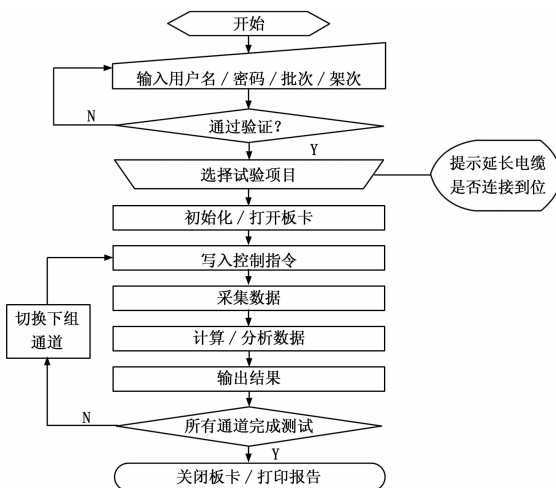


图 5 软件工作流程图

测试过程主要包括系统登陆、选择测试项目、通道分配、

板卡操作、输出结果/打印报告。

3.3 自动测试框架设计

为方便软件后期升级/维护, 对应用软件进行了模块化设计。有设计变更时, 仅需对相应模块进行适应性更改即可, 自动测试框架中模块包括: 表格界面、配置界面、测试主引擎、测试项参数表、数据采集模块、板卡功能封装、初始化模块、复位模块、系统自检检测模块等。

4 测试过程及结果

4.1 测试过程

为验证设计的测试系统对机载机电公共设备的测试效果, 进行验证性试验。对全机供电功能测试项目的验证性试验进行阐述。将延长电缆两端分别连接航插和测试系统机柜后面板, 其中部分传感器/设备不参加试验。启动测试系统, 登陆用户界面, 选择测试项目, 初始化板卡, 在测试界面点击“开始检查”, 应用软件自动调用相关板卡并自动执行测试过程, 通过报告显示界面查看测试结果。另外, 还可以通过点击“独立测试”对单项进行测试。

4.2 测试结果

全机供电功能测试显示界面共有 7 个标签页, 如图 6 所示, 每个标签页对应 1 个机电系统, 如液压系统、燃油系统、环控系统、起落架系统、电源系统等。结果显示, 第 4 个标签页显示, 此页共测试了 48 项, 其中 14 项 (第 3、4、7、8、11、12、19、23、24、27、28、31、32、33 行) 未通过, 由于条件限制, 15 项未测试。经与机上设备对比, 未通过项目为相应机上设备未安装, 通过的项目与被测设备上/断电期望工作状态一致。

序号	检测项目	期望值	测试值	测试结果	备注
1	XXX上电	3000V供电状态	上电	上电	通过
2	XXX断电	3000V供电状态	上电	上电	通过
3	XXX上电	3000V供电状态	上电	上电	未通过
4	XXX上电	3000V供电状态	上电	上电	未通过
5	XXX上电	3000V供电状态	上电	上电	未通过
6	XXX上电	3000V供电状态	上电	上电	未通过
7	XXX断电	3000V供电状态	上电	上电	未通过
8	XXX断电	3000V供电状态	上电	上电	未通过
9	XXX上电	3000V供电状态	上电	上电	未通过
10	XXX断电	3000V供电状态	上电	上电	未通过
11	XXX断电	3000V供电状态	上电	上电	未通过
12	XXX断电	3000V供电状态	上电	上电	未通过
13	XXX上电	3000V供电状态	上电	上电	未通过
14	XXX断电	3000V供电状态	上电	上电	未通过
15	XXX断电	3000V供电状态	上电	上电	未通过
16	XXX上电	3000V供电状态	上电	上电	未通过
17	XXX上电	3000V供电状态	上电	上电	未通过
18	XXX上电	3000V供电状态	上电	上电	未通过
19	XXX断电	3000V供电状态	上电	上电	未通过
20	XXX断电	3000V供电状态	上电	上电	未通过
21	XXX上电	3000V供电状态	上电	上电	未通过
22	XXX断电	3000V供电状态	上电	上电	未通过
23	XXX断电	3000V供电状态	上电	上电	未通过
24	XXX上电	3000V供电状态	上电	上电	未通过
25	XXX上电	3000V供电状态	上电	上电	未通过
26	XXX上电	3000V供电状态	上电	上电	未通过
27	XXX断电	3000V供电状态	上电	上电	未通过
28	XXX断电	3000V供电状态	上电	上电	未通过
29	XXX上电	3000V供电状态	上电	上电	未通过
30	XXX断电	3000V供电状态	上电	上电	未通过
31	XXX断电	3000V供电状态	上电	上电	未通过
32	XXX上电	3000V供电状态	上电	上电	未通过
33	XXX上电	3000V供电状态	上电	上电	未通过

图 6 全机供电功能测试结果

5 结束语

试验结果表明, 设计的测试系统能够对机电公共设备进行全面自动化测试, 准确给出测试结果并生成报告, 节约了人力、时间等资源, 提高了测试效率。资源分配时预留了备用通道 (占总通道数 20%), 并且基于框架式结构编程, 使得设计的测试系统具有良好的扩展性。

参考文献:

- [1] 肖佳, 杨波, 王云路. 飞机机电综合管理框架下的水系统建模与仿真[J]. 计算机工程与设计, 2012, 33(5): 1943-1947.

(下转第 17 页)

输出信号的采样进行控制。

3) 采集算法：针对不同传感器输出信号的采集值，处理所有采样数据以计算分析出信号对应的参数。

4) 外部中断控制：检测外部中断源以采集突发的信号，比如自检结果数据、故障告警信息等。

2.3 信息采集方式

根据信息的产生方式，装备车辆一共有两种类型的参数：实时参数、自检参数。

实时参数是由战车实时产生的，战车发动工作以后就开始采集这些参数。实时参数包括底盘电流、底盘电压、缸温、发动机油压、底盘油温、传动箱油压、油量、里程、车速、转速、摩托小时、上装各种电压信号等。对传感器输出的不同类型信号分别采用不同的检测算法进行采集和运算。

自检参数是在装备进行上装自检时产生的，采集器检测到战车进行自检后采集自检结果。自检参数包括武器系统各组成分系统的自检结果和故障告警信息。

3 采集算法设计

对于某型装备车辆底盘传感器输出的不同类型的模拟电信号与实际物理量之间的计算关系总结如下：

1) 直流电压信号参数的计算方法：采用多次采样取平均值的办法来确定电压的精确值，因为战车底盘传感器输出的电压信号会在一个范围内波动，需要做多次平均以得到比较准确的电压值。由于装备工作状态的转变、传感器测量噪声、采集系统故障等因素，会产生一些明显异常的数据点，需要将这些数据点预先进行分析提取和剔除，根据设备状态标志信号和异常点前后的数据比对可以基本确定异常的来源并排除，以保证数据的可用性和有效性。对采集值进行预处理后，采用 1 秒中平均一次的办法，每秒取 20 个数据平均后得到此秒时刻对应的电压值。

2) 方波信号参数的计算方法：战车中有些参数的信号是一个类似于方波的波形，用波形的频率来代表参数的值。通过测量确定信号的频率最大为 500 Hz，对应 10 K/s 的采样率每个周期至少可以采样 20 个点，每隔 1 秒对参数处理一次，把所有的 10 000 个采样数据进行归一化，高于中间电平的统一算为 1，低于的则为 0。因为车辆里干扰源较多经常会使得波形含有毛刺需要进行去毛刺处理，当发现有长度小于 3 的连续 0 或者 1 时即认为是毛刺从而进行过滤。去完毛刺后统计 1 秒内所有高低电平变化的次数即可得出波形的频率，进而得出传感信号对应的实际物理参数值。

3) 正弦波信号参数的计算方法：战车的某些信号表现类

似于一个正弦波信号，同样是需要得出波形的频率来取得其实际对应的参数值。首先要把正负电压的波形变换到 0~3 V 的 ADC 可采样范围内，然后确定高低电平的阈值，分压后最高点电压为 2.8 V，最低为 0.2 V，所以取中间电平 1.5 V 作为判断 0 或者 1 的分界点，高于 1.5 V 判为 1、反之为 0。使用与 2) 同样的去毛刺方法去掉波形中的毛刺，最后统计 1 秒内所有高低电平变化的次数即可得出波形的频率。

4 测量结果分析

自动监测装置设计实现后，选取某型战车底盘典型的 4 个状态参数，在战车稳定工作的情况下对其底盘的传感器数据进行采集，经过对采集信号参数和实际物理量的换算，与同一时刻仪表盘显示的数据信息进行比对，其测试对比结果如表 1 所示。

表 1 本装置测量值与仪表盘显示值对比

参数名	本装置测量值	仪表盘显示数值	偏差/%
油温	91℃	90℃	1.1
油压	0.247Mpa	0.25Mpa	1.2
转速	992 转/秒	1000 转/秒	0.8
左油量	89L	90L	1.1

由表 1 可以看出，本文实现的自动监测装置可准确测量还原出车辆底盘的实时状态参数信息，实际上相比仪表盘的刻度显示，本装置更能精确地完成传感器数据的采集和记录，为实现对车辆底盘的有效性能评估和故障趋势分析提供了数据积累。

5 结论

本文实现了一种装备车辆底盘状态通用自动监测装置的设计与开发。该系统可实现对无 CAN 总线的车辆底盘信息进行自动监测、分析和存储，解决了车辆底盘参数无法记录的问题，为装备车辆的日常管理、事故分析和健康状态评估提供了可靠依据。

参考文献：

[1] 邱文昊，黄考利，连光耀，等. 某型复杂装备车载状态监测系统设计 [J]. 计算机测量与控制，2015，23（5）：1589-1591.

[2] 左宪章，康健，李浩，等. 故障预测技术综述 [J]. 火力与指挥控制，2010，35（1）：1-5.

[3] 周立功，等. 深入浅出 Cortex-M3——LPC1700 [Z]. 广州：广州致远电子有限公司，2010.

[4] 袁清峰，等. 某型装备车辆底盘状态通用自动监测装置的设计与实现 [J]. 测控技术，2012，31（10）：85-87.

[5] 杨建新，张军. 机载双余度 1553B 总线检测研究 [J]. 计算机测量与控制，2010，18（9）：1962-1963.

[6] 李新，田健，聂鑫，等. 基于 LabWindows/CVI 技术开发虚拟动态应变测试系统 [J]. 机械设计与制造，2009，10：136-138.

[7] 王建新，隋美丽. LabWindows/CVI 虚拟仪器设计技术 [M]. 北京：化学工业出版社，2013.

（上接第 14 页）

[2] 刘巧珍，裴丽华，王占林. 机载机电系统综合管理分布式仿真平台设计 [J]. 系统仿真学报，2005，17（3）：620-622.

[3] 顾韬，杨宏伟. 电传系统非标 RS-422 总线信号测试方法研究 [J]. 测控技术，2013，32（1）：52-55.

[4] 王玉铭，周强. 基于 PXI 总线的 RS422 通信卡的设计与应用 [J]. 计算机测量与控制，2008，16（12）：1924-1925.

[5] 吴传贵，陈海牛，黄明俊，等. 基于多线程技术的 1553B 总线测