

基于 PC104 与 DSP 的载机发控系统 综合检查仪设计

庞 潇

(中国空空导弹研究院 主机配套部, 河南 洛阳 471000)

摘要: 某型载机可挂载四型空空导弹及配套发射装置, 同型导弹单架次可挂载四枚以上; 挂飞前的载机发射控制性能测试中, 存在待测接口信号多、测试效率低、需多个弹型测试设备等问题; 采用模块化方法设计一型综合检查仪, 由 PC104 控制平台、4 个基于 DSP 的测试终端、GPS 处理模块、数据链/射频处理模块、双显示模块等构成, 实现了 4 弹型模拟及接口测试, 4 挂点并行测试, GPS 信号测试、射频/数据链通道测试等多种功能, 满足了该型载机挂弹前的测试需求; 通过接口复用设计和双显示设计, 提高设备易用性; 产品装备后, 四挂点测试时间小于 10 分钟, 弹型/挂点切换时间小于 3 分钟, 故障检测率大于 97%, 集成 4 种以上保障设备功能, 实现了成本降低和效益提升。

关键词: 检查仪; 模块化; PC104; DSP

Design of Integrated Checker for Launch Control System of Fighter Based on PC104 and DSP

Pang Xiao

(China Air-to-Air Missile Research Institute, Luoyang 471000, China)

Abstract: A certain fighter can launch four types of air-to-air missile and launchers, more than four missiles can be mounted at one time. In the test before flying, there are many problems such as multiple signals to be tested, low test efficiency, and the need for multiple missile-type test equipment. The modular method is used to design a type of tester, which is composed of PC104 control platform, four DSP-based test terminals, GPS processing module, data link/RF processing module, dual displays, etc. and realizes four bomb simulation and interface testing, four mount points parallel test, GPS signal test, RF/data link channel test and other functions, satisfies the test requirements of this fighter before hanging missile. Improve tester usability through interface reuse design and dual display design. After equipping, the test time of four hanging points is less than 10 minutes, the missile type/hanging point switching time is less than 3 minutes, the failure detection rate is greater than 97%, and more than four types of testers functions are integrated to one, which achieves cost reduction and benefit improvement.

Keywords: checker; modularity; PC104; DSP

0 引言

空空导弹发射装置用于接收载机任务机及外挂系统命令, 控制挂点下空空导弹完成供电、自检及发射等任务^[1]; 为保障载机升空后空空导弹使用可靠无误, 设计发射装置检查仪^[2-3], 用于对载机挂载空空导弹的各挂点机架接口、弹架接口的电气性能、功能的测试及检查。

某型载机可挂载四型发射装置及空空导弹, 同型导弹可同时挂载四枚以上。执行任务时, 存在待检测挂点多、接口信号类型复杂等问题。以往的同类型检查仪存在只能进行单通道测试^[4], 只能模拟单型弹测试^[5], 扩展射频测试功能还需另行采购射频检查仪等问题。若应用于该型载机, 存在使用效率低、测试时间长, 配套保障设备种类多、采购成本高等问题。本文设计一型基于 PC104 与 DSP 的载机

发控系统综合检查仪, 既可模拟多型空空导弹, 又可单次同时测试载机四个挂点, 集成射频检测功能, 可有效提高检测效率, 减少保障设备数量和种类。

1 硬件设计

1.1 总体设计思路

综合检查仪用于载机挂弹前的飞机发控系统测试, 除功能满足要求外, 应具备以下特点: 1) 使用于部队外场、停机坪, 应适应外场-40~+65℃使用环境; 2) 应能适应频繁的内外场运输, 便携并具备一定的抗震性; 3) 长期工作于部队场站, 作为军用保障设备服役时间长达数十年, 应具备良好的可靠性、维修性。

检查仪采用整机一体式, 内部模块化设计。整机选用派力肯包装箱安装各个模块, 方便运输, 提高抗震性; 选用 PC104 总线系统作为主控平台, 减小体积; 内部按模块化方法设计, 各个模块均设计为外场可更换单元, 在部队仅需进行故障定位及故障件更换工作, 提高维修性; 选用宽温元器件、宽温显示器等适应外场环境。

收稿日期: 2020-01-15; 修回日期: 2020-03-12。

作者简介: 庞 潇(1985-), 河南洛阳人, 男, 硕士, 主要从事发射控制及测试技术方向的研究。

检查仪内部模块有：4 个基于 DSP2812 的嵌入式控制系统的下位机组合；一个基于 PC104 总线系统的上位机为主控平台；以及射频/数据链组件、GPS 组件、电源组件等多个部分。检查仪的系统原理框图如图 1 所示。

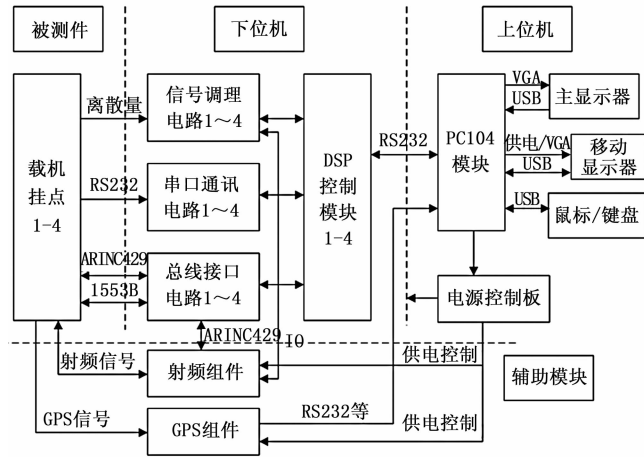


图 1 检查仪系统原理框图

上位机 PC104 总线系统搭载 WINCE 操作系统，运行显示控制程序，主要执行测试数据管理、下位机管理和人机交互功能。上位机支持 USB、VGA、RS232、GPIO 等接口，支持输入、输出设备如显示器、触摸屏、鼠标键盘及打印机等外设，构成主控平台。下位机的 4 个嵌入式控制系统完全独立，每个可模拟四型导弹测试单一挂点的总线、离散量信号，并行完成 4 个挂点的测试，做到实时响应。上下位机间使用 RS232 通讯，PC104 采用中断的方式接收下位机传来的测试信息，及时地更新显示结果，并下发任务指令。

射频/数据链组件完成射频信号处理转换，GPS 组件完成卫星定位信号处理转换，电源组件完成整机各个模块的供电控制。

1.2 主控平台设计

1.2.1 主控板选型

主控板选用盛博公司的宽温 PC104^[6-7] 主板 SCM9022。该主板基于 Intel AtomTMD525 (1.8 GHz, 双核) 处理器，板载 1 GB DDR3 SDRAM，集成 Intel GMA3150 支持 VGA+LVDS 双显示功能（最高分辨率 20 48×1 536@60 Hz），尺寸为 90 mm×96 mm，适应工作温度 -40~85℃，贮存温度 -55~85℃，功能满足数据管理需要，性能适应外场工作环境，体积小便于整机小型化。

主控板接口丰富：支持 6 个 232 接口，用于与下位机通讯；4 个 USB 接口，用于连接鼠标、键盘和显示屏；SA-TA 接口，用于连接外置移动硬盘存储试验数据；GPIO 接口，用于供电等开关量控制。

1.2.2 双显示设计

检查仪配备两个显示器，一是手持远端可移动显示器；二是检查仪面板自带显示器。

手持显示器可在载机座舱操作，方便地勤人员控制载

机下发指令时，同时观察测试信息。该显示器采用 VGA 信号接口、尺寸 8 英寸、分辨率 1 024×768，即保证显示信息充足，又保证手持方便。自带显示器采用 VGA 信号接口、尺寸 12 英寸、分辨率 1 024×768。双显示器亮度大于 800 nits，保证在较强阳光下可视；可视角度为水平 140 度、垂直 140 度广角，视野较佳。均使用电阻式触摸屏，并配有加温装置，适应检查仪应用场所 -40~+60℃ 的环境。

检查仪一般放置在载机机翼下，距离飞机座舱 12 米以上，因受制于保密及充电等问题，不考虑无线方案。设计显示电缆一根，长 15 米，为手持显示器传递供电、USB 和 VGA 等信号。因距离太长，在电缆中设计 USB 和 VGA 信号中继器对信号进行放大，防止信号衰减导致的显示效果不佳。

1.2.3 面板接口复用设计

检查仪面板上设计 4 个 99 针航空连接器 Y23P-2990TK，用于分别对接同时测试的 4 个弹架接口。将四型弹架接口的供电、点火、离散量、总线信号等根据信号特性归类复用，归并至一个连接器上进入检查仪。不同弹型的区分通过电缆的型号识别 IO 完成。实现了检查仪 4 个对外主插座对接多种被测接口的能力。

GPS 信号、数据链/射频信号通过专用射频电缆、面板 SMA 射频连接器引入检查仪，与数字信号隔离开。

1.3 测试终端

下位机由 4 个一样的测试终端组成，是基于 DSP 的单板控制系统。单个终端可由控制电路、接口电路和模拟负载等几部分组成，共同实现四型导弹的机弹通讯功能的模拟。

1.3.1 控制电路

控制电路由主控芯片、逻辑处理电路、总线处理电路等几部分组成。

1) 主控芯片：

主控芯片完成对载机下发的 AD、IO、RS232、429、1553 信号进行测试，对 GPS 处理模块转发的 RS232、IO 信号进行测试，对数据链/射频处理模块转发的 429、RS232、IO 信号进行测试，信号符合导弹要求后，根据通讯协议模拟导弹回传导弹状态信息。模拟导弹从供电至发射离轨的全状态输入输出信号管理。

主控芯片选用 TI 公司 TMS320F2812 处理器。该处理器^[8]是 32 位定点微控制单元 (MCU)，主频率最高可达到 150 MHz，有 56 个多路复用 I/O 引脚（可编程），具备 SCI、I²C、SPI、CAN、PWM、ADC、定时器等多种外设，功能满足使用需求，符合高低温、振动测试要求，满足部队使用环境。

2) 逻辑处理及总线控制电路：

四型导弹主要采用 429 总线、1553 总线两类传输数据。采用总线接口芯片+逻辑处理芯片方式实现该功能。逻辑处理芯片选用赛灵思公司的 XC95144 在系统可编程 CPLD，具有 144 个宏单元、3 200 个可用逻辑门单元，满足逻辑处理需求。

429 总线^[9]接口芯片选用 DEI 公司的 DEI1116，总线驱动器选用 DEI 公司的 DEI1072。DEI1116 传输速率为 100 kpbs，含单通道发送器一个、独立接收通道两个和可编程控制器。DEI1072 完成发送信号的 ±15 V 驱动。429 总线接口原理如图 2 所示。

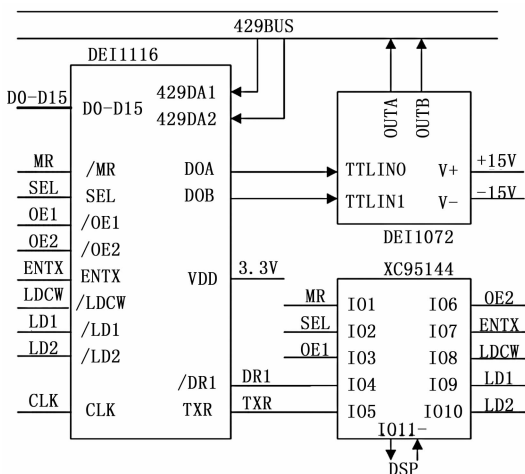


图 2 ARINC429 总线控制电路

1553 总线控制电路总线接口芯片选用 BU61864，耦合变压器选用 TST-9007 组成。BU61864 封装形式为 CQFP72，16 MHz 频率，可提供 1553B 数据总线和 16 bit 宽数据总线接口。该芯片集成了 BC/RT/MT 功能，具有灵活的存储器/主处理器接口^[10]，可扩展 64 Kx16 外部 RAM。1553 总线接口原理如图 3 所示。

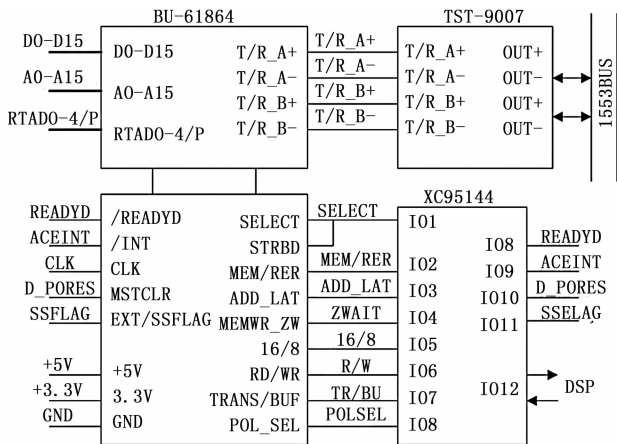


图 3 1553 总线控制电路

3) 离散量处理电路：

IO 功能使用 F2812 自带的 56 个多路复用 I/O 引脚实现。AD 采集选用 SPI 接口模数转换芯片 SAD025MC，输入范围为 ±20 V，精度 12 位，分辨率达到 5 mV，满足系统测试需求。DA 芯片选用 AD 公司的 DAC8412，精度为 12 位，控制精度满足需求。

1.3.2 接口电路

接口模块主要负责输入输出信号的调理，含有光耦采集电路、电平转换电路、继电器输出电路等，其主要原理如图 4 所示。

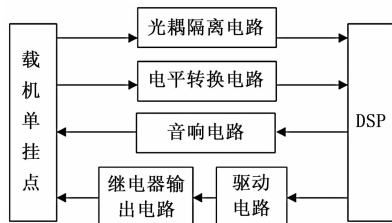


图 4 接口模块电路原理

其中，光电耦合器选用进口的 TLP621-4，配合限流/上拉等外围器件，将发射控制电路的 28 V/0 V/悬空等离散信号转换为标准的 TTL 电平，用于 DSP 采集；电平转换采用 LM124 运算放大器、AD536 交直变换器及高精度电阻等将电压转换到 ±20 V 以内，用于控制板采集；驱动芯片选取 SNJ54LS244/245，用于输出信号的电流驱动；继电器选用固态继电器 JGW-3M/JGW-3023A 及电磁继电器等，将输出信号发送给发射控制电路。

1.3.3 模拟负载

检查仪可模拟导弹供电、加载、电池激活、发动机点火等多个信号的实际负载，测试发射控制电路在带载时的驱动能力。选取 RXG12-50 W 功率电阻模拟各信号负载。采用复用技术模拟时序上非同步信号的负载，从而减少电阻数量。具体阻值由信号电压及负载电流大小确定。

1.4 辅助组件设计

1.4.1 电源处理电路

检查仪使用载机 28 V 电源，选用前端稳压模块 WPM-300S-H 对载机电源进行防过压、浪涌抑制等前端处理，选用瞬态抑制二极管、储能电容等做尖峰抑制和欠压保护；由电源模块 WDM65-2815、WDM30-2815 等模块完成电平转换工作，再由滤波器处理后供给各组件使用。组件的上电断电由 PC104 的 IO 管脚根据导弹通电时序确定，尽量减小功率损耗及各组件的电磁干扰。

1.4.2 GPS 处理模块

GPS 处理模块由北京东方联星的高精度导航模块及相应处理电路组成，可进行北斗/GPS 卫星定位信号的接收和解码，处理后经串口发送给 PC104 显示。

1.4.3 射频/数据链处理模块

射频/数据链处理模块由高频、中频、译码等多部分处理电路组成，完成载机雷达转发的高频信号、测试终端（模拟导弹）发送的 429 总线、串口、离散量等信号间的相互转换，实现机弹的高频通讯。

2 软件设计

测试应用软件的设计分为两部分，上位机搭载 WINCE 操作系统，使用 VC++ 编写主控平台测试程序；下位机使用 C 语言编写测试终端测试程序。

2.1 显控软件设计

主控平台测试程序使用 VC++^[11] 编写，主要功能是：
1) 与操作者交互，显示测试信息并接受用户指令；
2) 与 4

个测试终端通讯,实时接收测试信息并发送操作指令;3)测试数据管理。

2.1.1 人机界面

界面设计上,使用 C++ 建立基于对话框的应用程序,主要使用 CButton 类、CEdit 类和 CStatic 类对界面上的按钮、编辑框和静态文本框进行个性化设计,自定义的 CRoundButton 和 CRectButton 类实现圆形按钮、按钮变色等功能。达到显示信息丰富、显示界面美观、操作简单的目的。采用标签页的形式显示 4 个挂点的测试信息,配合触摸屏可方便使用。

2.1.2 与下位机通讯

平台软件通过 4 个 RS232 接口实时与 4 个测试终端进行通讯。采用了 Mscmm 控件进行串口编程,利用串口收发中断事件来触发运行相应的中断服务程序,实时将测试信息显示在界面消息框中,实时更新关键信号。

2.1.3 数据管理

平台软件将每次测试的数据以文本方式保存至 PC104 硬盘,点击界面测试结果按钮,用户可随时查看以往的结果,支持按日期、型号等方式搜索数据。其中,故障数据以红色突出显示。

2.2 测试终端软件设计

测试终端搭载的测试软件即嵌入式 DSP 处理器 TMS320F2812 上烧写的 C 语言程序,用于模拟导弹的工作特性,测试载机下发的总线、离散量信号。

2.2.1 测试软件组成

测试软件按照模块化的设计思想设计,软件功能模块结构如图 5 所示。

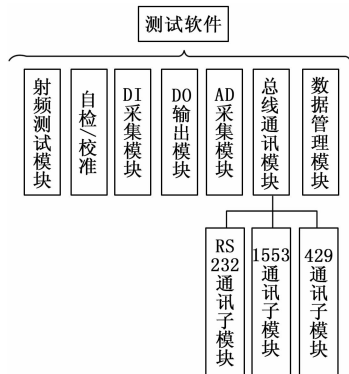


图 5 测试软件功能模块划分

模块化设计完成后,针对多种弹型的不同信号,在信号调理后转换为标准的几类信号,调用相应的功能模块进行数据处理,软件执行效率高。数据管理模块将终端本次测试正常数据、故障数据汇总发送给上位机。

2.2.2 测试流程

测试软件模拟某型导弹测试的简明流程图如图 6 所示。

3 应用效果及问题解决

3.1 装备应用情况及分析

检查仪功能汇总见表 1。

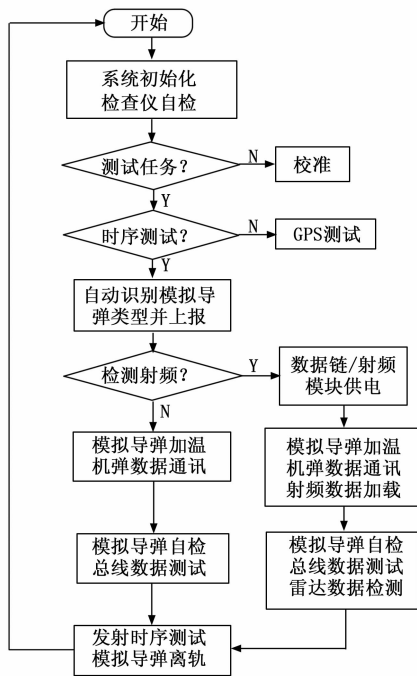


图 6 测试软件简明流程

表 1 检查仪功能实现情况

类别	项目	数量	实现
数字量	数字 DI	38 路	✓
	数字 DO	12 路	
模拟量	模拟 AD 通道	12 路	✓
	模拟 DA 通道	4 路	
总线通讯	HB6096 总线	4 通道	✓
	GJB289 总线	4 通道	
	UART 总线	4 通道	
射频	XX 射频	1 通道	✓
	XX 数据链	1 通道	
	卫星定位信号	1 通道	
故障注入	四型导弹典型机弹通讯故障	26 种	✓

该型检查仪已定型并装备部队,经过近 3 年的实际应用及数据统计,性能如表 2 所示。

表 2 检查仪性能

项目	数据
故障检测率	大于 97%
平均检测时间	四挂点单弹型测试小于 10 min 多挂点/多弹型切换准备时间小于 3 min
平均故障间隔时间	800 h 以上
环境适应性	-40~+65 ℃

3.2 典型问题及解决

3.2.1 主板断电问题

检查仪使用载机 28 V 直流电源供电。测试中,因测试故障、载机设备重启等原因,可能导致检查仪突然断电,造成 PC104 操作系统的系统文件丢失等异常,引起检查仪

出现蓝屏、黑屏等故障。

定制了专用裁剪版 WINCE 操作系统^[11], 具有以下优点: 1) 体积小, 占用硬盘空间小于 500 MB; 2) 写保护, 避免没有管理员权限操作者修改计算机内容; 3) 突发断电时保护操作系统。

3.2.2 电磁兼容性设计

检查仪可对两型导弹的机弹射频通道进行检测, 内部设有两型射频辅助模块。该模块对外与载机雷达进行高频通讯, 对内部测试终端进行总线 429、RS232、离散量通讯。因该模块内含高频收发、高中低频转换等电路, 对整体设备的电磁兼容性影响很大。

设计上通过以下 3 个措施提高检查仪的电磁兼容性^[12-13]: 1) 全金属屏蔽: 使用铝制金属外壳将射频模块完全封闭, 仅在屏蔽壳上留出连接器, 最大限度地减少该模块与外界的相互影响; 2) 针对性选用滤波器件: 在供电和供电地导线中串入宽频共模扼流线圈, 抑制电源/地线干扰; 根据电路运行频率特性, 选用三端滤波器, 抑制电路板上的传导干扰和高频电磁辐射; 3) 供电控制: 根据模块工作实际情况, 动态控制模块的通断电, 最大限度减少模块工作时间, 避免不必要的干扰。

3.2.3 双显示器设计

为方便用户使用, 检查仪配备两个显示器, 一是检查仪面板自带显示器; 二是手持远端带触屏显示器。面板上显示器用于地面机务人员观察测试进度; 远端显示器用于飞机座舱, 满足机务同时操作飞机和检查仪, 提高测试速度。

但手持显示器距离检查仪主机 12 米以上, 通过显示长电缆传输供电、USB 和 VGA 信号; 面板自带显示器通过内部线缆接收主板 VGA 和供电信号。从 PC104 的 VGA 接口引出的一分为二的显示电缆长度分别为 15 米和 0.5 米, 供电、USB 和 VGA 信号长距离传输, 会导致信号衰减和信号干扰等问题, 影响显示效果。

解决方法: 1) 显示电缆中增加带外供电的 USBHUB 作为中继器, 保证 USB 信号的稳定可靠传输; 主板输出的 VGA 信号使用二路 VGA 分配器, 外接 9 V 电源、带宽 250 MHz、最大传输距离不小于 30 米, 保证信号强度和显示效果; 2) 显示电缆采用带铜箔屏蔽网的套管作为电缆套, 内部电源线与信号线使用屏蔽套分别包裹, 避免内外部干扰; 3) 将检查仪送来的单路 28 V/GND 信号, 分别通过 DC/DC 模块隔离、滤波器滤波, 减少两显示器显示电缆长度差距过大造成的地线不平衡问题。

4 结束语

针对某型飞机发射装置的测试需求存在待测接口信号多、测试效率低等问题。设计一型上下位机分离、并行测试、统一控制显示的综合检查仪, 可较好的满足使用场景和用户需求, 与已装备其他检查仪相比, 该型产品特点如表 3 所示。

表 3 检查仪新老型号比较

序号	项目	该型检查仪	以往型号	优缺点
1	功能	可模拟四型空空导弹, 测试四型空空导弹发射装置, 具备射频测试能力	只能测试模拟单型导弹, 测试单型发射装置前者功能强	
2	性能	可同时测试 4 个挂点, 可远端显示	只能测试单一挂点	前者性能高
3	使用效率	多个挂点并行测试, 很高	逐一挂点测试, 更换检查仪, 较低	前者大大提高使用效率
4	便携性	仅单个主机	多个测试仪	前者方便
5	成本	综合成本低	成本高	前者低后者高

通过比较可知, 该型检查仪在功能、性能上比以往型号有较大提升, 满足了该型飞机多型发射装置的测试需求, 提高了测试效率。虽然单台成本上比已定型单一型号检查仪要高, 但是, 因单一型号检查仪需要采购多台, 且不同型号发射装置测试需要更换检查仪, 相比之下, 新型检查仪的装备达到了成本、时间双节约的目的, 提升了部队的战斗力。

参考文献:

- [1] 廖志忠, 徐日洲. 空空导弹发控系统设计 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
- [2] 奚国权, 等. 发射装置通用外场测试平台平台设计 [J]. 航空兵器, 2006 (3): 53-55.
- [3] 辛腾达, 范惠林, 等. 某型火箭发射装置检测系统设计与实现 [J]. 航空兵器, 2016 (1): 77-80.
- [4] 张鸿斌. 基于 DSP 的发射装置外场测试设备的设计与实现 [J]. 四川兵工学报, 2013. 34 (10): 16-19.
- [5] 王兆伟. 基于 DSP 的某型导弹模拟器设计 [J]. 四川兵工学报, 2014 (2): 30-32.
- [6] 屈汝祥, 等. PC104 总线在测试设备中的应用 [J]. 测控技术, 2014 (4): 107-109.
- [7] 文涛, 左东广等. 基于 PC104 总线的综合测试系统研究 [J]. 现代电子技术, 2014. 37 (18): 72-74.
- [8] 顾卫钢. 手把手教你学 DSP-基于 TMS320X281x [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2011.
- [9] 张战平. ARINC429 航空通讯总线设计 [J]. 计算机测量与控制, 2013, 21 (8): 30-33.
- [10] 曾晓东, 牟明, 等. 基于 61864 协议芯片的 1553B 总线控制器通信接口设计 [J]. 电子世界, 2014 (11): 112.
- [11] 潘海亮, 王小虎. 基于嵌入式 WinCE 和 LabVIEW 的电力数据采集研究 [J]. 机电工程技术, 2015 (3): 59-63.
- [12] 张强, 赵月琴. 某型发射装置 RE102 设计整改及验证 [J]. 四川兵工学报, 2014 (3): 31-34.
- [13] 肖守邦, 赵月琴. 滤波连接器在解决电磁干扰问题中的典型应用 [J]. 四川兵工学报, 2012, 33 (9): 39-41.