

# 基于 LXI 总线技术的靶载干扰机综合保障系统研究与实现

杜江, 刘宗杰

(中国人民解放军 91851 部队, 辽宁 葫芦岛 125001)

**摘要:** 靶载干扰机是靶弹电子对抗的重要装备, 传统的干扰机测试系统通用性差, 拓展能力有限, 人工操作较多, 制约着干扰机保障能力和战备水平的提高; 采用 LXI 总线测试技术和通用化仪器, 构建了一套性能先进、结构灵活的靶载干扰机综合保障系统; 阐述了系统总体架构和软硬件设计实现过程; 实践表明, 该系统能有效降低维护成本, 较少对操作人员的技能要求, 满足灵活多变的测试需要, 提升靶载干扰机保障设备技术水平和层次。

**关键词:** 靶载干扰机; 综合保障; LXI 总线; 设计方案

## Study and Realization of Supporting System for Jammer Fixed in Target Based on LXI Bus Technology

Du Jiang, Liu Zongjie

(PLA Unit 91851, Huludao 125000, China)

**Abstract:** The Jammer fixed in target plays an important role in missile target electronic countermeasure. Because of poor versatility and limited development capability, the traditional jammer test system restricts the capability of equipment support and combat readiness level. An automatic test system of jammer based on LXI bus technology and general instruments is constructed with advanced performance and flexible structure. This dissertation elaborates the system architecture, the design and the realization of hardware and software. It is shown that the system can reduce the maintain cost, reduce the operator's skill request, satisfy the flexible test requirement, and improves the technical lever of support equipment for jammer fixed in target effectively.

**Keywords:** jammer fixed in target; automatic test; PXI bus; design scheme

## 0 引言

靶载干扰机作为靶弹电子对抗的重要装备, 能够伴随靶弹飞行对预定雷达实施近距离干扰, 在提高靶弹突防概率和实战化试训效果等方面发挥着重要作用<sup>[1-2]</sup>。随着技术的进步, 靶载干扰机工作模式日益丰富, 技术水平不断提升。传统的干扰机测试系统一般采用雷达模拟器等专用设备搭建, 通用性差, 拓展能力有限, 人工操作较多, 制约着干扰机保障能力和战备水平的提高。

本文采用 LXI 总线测试技术和通用化仪器构建了一套性能先进、结构灵活的靶载干扰机综合保障系统, 实现了干扰机的自动测试与维护, 满足灵活多变的使用要求, 缩短维修保障时间, 有效提升了电子对抗保障装备的技术水平和层次。

## 1 系统总体架构设计

### 1.1 系统功能需求分析

靶载有源干扰机是发射或转发射频干扰信号的设备, 根据其工作原理及使用维护要求<sup>[3]</sup>, 系统应具有以下

具体功能:

- 1) 对干扰机输入通道进行检测, 主要包括接收灵敏度、接收动态范围、信号适应能力等的测试;
- 2) 对干扰机输出通道进行检测, 主要包括发射机功率、输出动态范围及信号品质、干扰样式及指标等的测试;
- 3) 对干扰机整机性能进行综合检测, 主要包括系统反应时间等的测试;
- 4) 具备通过天线及馈线进行干扰机开路(外场)测试的功能;
- 5) 具备自检、标校、历史测试数据综合分析等功能。

### 1.2 系统总体架构设计

系统利用 LXI 系统开放性的特点, 以太网(Ethernet)和程控仪器为基础, 构建了一套实时性好、结构灵活的模块化测控平台。系统建立了可扩展的测试仪器阵列, 每个测试仪器阵列中的测试仪器是系统的一个网络节点<sup>[4-5]</sup>, 通过扩展测试仪器阵列完成激励信号产生和响应信号检测。被测干扰机射频信号可用高频电缆与可扩展仪器阵列有线连接, 即采用注入式测试模式<sup>[6]</sup>进行检测。也可通过收发无线连接, 采用辐射式测试模式进行检测。用户可以柔性扩充或更换测试仪器阵列中的测试仪器, 不受仪器数量和放置地点的限制, 有效提高仪器模块利用率, 摆脱传输距

收稿日期: 2018-10-23; 修回日期: 2019-02-27。

作者简介: 杜江(1976-), 男, 天津人, 硕士研究生, 主要从事控制理论与控制工程向的研究。

离的限制, 实现外场远距离测试和发射阵地技术保障。系统总体架构如图 1 所示。

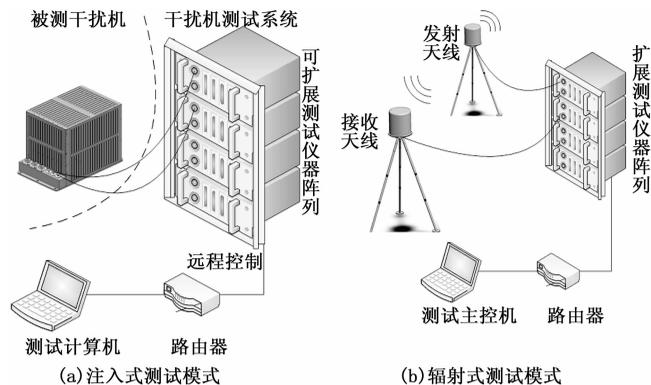


图 1 系统总体架构示意图

## 2 系统硬件设计

### 2.1 系统硬件组成与结构

测试仪器阵列以程控仪器为核心, 集成机柜、检波器、衰减器、收发天线等组件, 程控仪器主要包括射频信号源、频谱分析仪、功率计、程控电源等。系统硬件组成与结构见图 2。

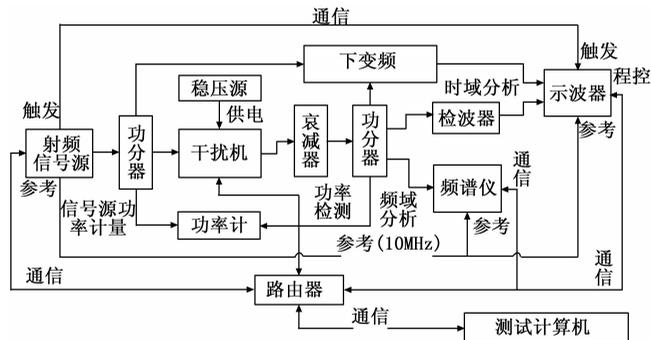


图 2 系统硬件组成与结构示意图

射频信号源输出的射频信号由功分器分为三路信号, 一路输出给被测干扰机作为测试激励信号, 一路经下变频后输出给示波器用于时域分析; 一路输出给功率计用于功率计量。干扰机输出的射频响应信号经衰减和功分后也分为三路信号, 分别输出给示波器、频谱仪和功率计用于信号时域、频域和功率域分析。示波器使用射频信号源提供的调制脉冲同步信号作为触发源, 以稳定捕获幅度小、信噪比差的检波信号。频谱分析仪使用射频信号源提供的 10 MHz 参考信号作为内部本振源的参考, 可消除由于两个独立参考源的漂移造成的频率测量误差。路由器用于将程控仪器与测试计算机连接, 构成一个统一的测控整体。

### 2.2 主要硬件选型与设计

1) 射频信号源: 系统选用 AV1464 扫频信号源, 可产生连续波信号、常规脉冲信号、脉内调制信号, 输出信号的频率、功率、调制方式、信号产生等参数由测试计算机

灵活控制。

2) 示波器: 系统选用 DSO-X 4052 数字示波器, 具有两个模拟通道, 可同时显示、测量检波后激励信号与干扰机反馈信号的时域特性, 并对两者波形的细节特征进行比较。

3) 频谱分析仪: 系统选用 AV4051 信号/频谱分析仪, 配合 115 dB 程控步进衰减器选件, 可以完成射频信号的频域特性分析功能。

4) 功率计: 系统选用 AV2436 单通道微波功率计, 搭配 AV81702 探头, 可完成射频信号脉冲功率和平均功率的测量。

5) 功分器: 系统设计了两个互相独立的功分器组, 输入通道和输出通道各一个, 每个功分器组均采用分段覆盖方式, 满足全频段的工作频率要求, 主要用途如下:

①将信号源输出的测试信号进行分路, 分别馈入被测设备和相关检测仪器, 实现信号的同步监测;

②将被测设备的输出信号进行分路, 分别馈入被测设备和相关检测仪器, 实现对被测干扰机输出信号的包络监测和输出信号功率测量。

6) 检波器: 系统采用全频段检波器, 用于获得被测射频信号的包络。

7) 衰减器: 系统选用 11713C 程控衰减器, 由粗调和精调两组相互独立的衰减组件组成。调组件最大衰减 90dB, 衰减增量 10dB; 精调组件最大衰减 30 dB, 衰减增量为 1 dB, 满足不同的功率适配需求, 确保测试仪器安全。

主要程控仪器如表 1 所示。

表 1 系统主要程控仪器列表

序号	仪器名称	仪器型号		说明
1	射频信号源	主机	AV1464	合成扫频信号
		选件	AV1464-001	115dB 程控步进衰减器
2	频谱分析仪	主机	AV4051	频谱分析
		选件	AV4051-H34	低噪声前置放大器
3	微波功率计	主机	AV2436	双通道功率检测
		选件	AV81702	脉冲/平均功率探头
4	示波器	DSO-X 4052A		双通道通道波形显示
5	衰减器	11713C		双通道程控衰减器

## 3 系统软件设计

### 3.1 软件结构设计

在靶载干扰机综合保障系统中, 硬件用来提供信号的输入输出, 是系统设计的基础; 软件的架构和实现方法决定着系统的功能与规模<sup>[7]</sup>, 是整个系统设计的关键。靶载干扰机综合保障系统软件的设计思想是模块化、层次化和通用化, 符合 VISA 标准, 便于日常维护和功能扩展<sup>[8]</sup>。

系统选用 Windows7 操作系统和 Labwindows/CVI 软件构建了一个开放式的软件平台。软件框架由 3 个层次组成。第一个层次是用户界面, 其功能是进行人机交互, 选择测

试项目、显示测试结果及进行人机对话。第二个层次是测试主控模块,包括接收通道测试主控模块、发射通道测试主控模块、整机测试主控模块、开路测试主控模块和设备维护主控模块五部分,其功能是负责各测试项目的管理与调度。第三个层次是测试功能模块,包括自检模块、仪器控制模块、信号产生模块、信号处理模块、数据库模块等,其功能是接受主控模块的调度,完成系统自检、仪器管理、信号分析处理、数据存储等具体功能。软件通过采用这种结构,使其通用性、扩充性和维护性都较强。软件系统结构如图 3 所示。

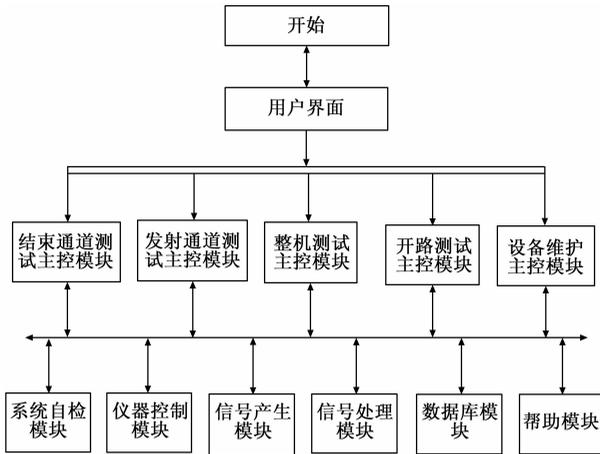


图 3 测试应用软件结构示意图

### 3.2 仪器控制模块设计

仪器控制模块采用 SCPI (可编程设备的标准命令) 实现与程控仪器的底层通信与控制功能。应用面向测试功能(信号),而不是描述仪器操作的方法,作对程控命令的数据格式、响应消息、语法结构、关键词定义的方式给出了标准化的定义。其控制语句只与测试仪器的功能及其性能、精度有关,而与仪器硬件组成、制造厂家、通信物理连接硬件环境和测试程序编写环境等均无关,使相同功能的仪器具有相同的程控命令,实现了测试软件的通用性<sup>[9-10]</sup>。

SCPI 控制语句命令分为通用命令和仪器特定命令两种类型。通用命令用来管理宏、状态寄存器、同步和数据存储,进行复位、同步等整体控制,仪器特定命令负责仪器的具体操作。仪器控制模块对 SCPI 控制功能进行封装后提供给其它功能模块使用。

### 3.3 信号产生模块设计

信号产生模块负责激励信号的产生与控制,包括信号源初始化、信号参数设置和信号开关控制 3 个子模块。信号参数子模块中的设置参数包括信号样式、信号频率、信号功率、调制方式 4 种类型。

射频信号产生模块编程语句符合 SCPI 规范,主要语句有以下几条,其中“vi\_xhy”为射频信号源的 ID 号:

```
viPrintf(vi_xhy,"output off\n"); // 射频关
viPrintf(vi_xhy,":OUTP:MOD ON\n"); // 面板调制开
```

```
viPrintf(vi_xhy,"PULM:INT:PWIDTh %f us\n", F0); //
设置信号源脉宽为 F0
viPrintf(vi_xhy,"PULM:INT:PERIOD %f us\n", F1); // 设置
信号源重周为 F1
viPrintf(vi_xhy,"FREQ %f MHz\n", FSet); // 设置信号源频
率为 FSet
viQueryf(vi_xhy,"FREQ? \n", "%le", &FRead); 查询信号源
频率
while(fabs(FSet-FRead) < R0)
viPrintf(vi_xhy,"output on\n");
//如果信号源频率设置值与查询值之差小于某一设定值 R0,则
认为信号源频率参数设置正确,打开射频开关。
```

### 3.4 信号处理模块设计

信号处理模块负责干扰机测试激励信号和反馈信号的分析处理。由于靶载干扰机测试涉及信号数量众多、形态各异,信号处理模块根据测试指标的不同进行分类处理。对于信号的脉冲宽度、重频周期等时域信号检测项目,信号处理模块调用示波器函数进行测量并将测试结果回报测试主控模块。对于接收灵敏度、干扰功率、杂散等频域和功率域信号检测项目,信号处理模块调用频率分析仪、功率计函数进行测量并将测试结果回报测试主控模块。对于干扰时序等逻辑关系的检测,信号处理模块将测量的逻辑信号接入硬件触发总线,对复杂逻辑信号进行自动判断。

在自动测试过程中,被测信号往往叠加各种噪声和干扰信号,增加了信号处理模块检测处理的难度。尤其快速变化信号的时间测量和脉宽测量,由于毛刺、突跳等干扰波形与正常波形在一定程度上可比拟,严重影响检测的准确性和置信度。信号处理模块采取以下方法实现了程控仪器的精细调节,解决了信号处理难题。

1) 精确定义时间测量点阈值:为提高时间测量精度,系统对时间测量点设置低、中和高 3 种阈值,如图 4 所示。低阈值和高阈值之间的时差表征信号的上升或下降时间;信号前后沿两个中阈值点之间的时差表征信号的脉宽。系统默认这 3 个阈值分别为信号最高值与最低值之间的 10%、50% 和 90%。当被测波形由于受到干扰产生畸变时,默认的测量时间点阈值难以满足测量精度要求,系统可根据波形形态进行更精确的设定。按百分比定义时间测量点的程控命令语句基本格式为": MEASure: DEFine THResh-olds, PERCent, N1, N2, N3",其中 N1、N2、N3 分别为重新定义的低、中、高时间测量点阈值。

2) 实时调整屏幕显示范围:为提高脉宽测量精度,系统采用了多次测量和屏幕显示范围实时调整相结合的方法。在测量前,系统先对被测波形宽度进行预估和试测,不断比较试测脉冲宽度和屏幕显示范围,实时调整屏幕时基以适应信号宽度的变化。当信号形态在屏幕上显示完整清晰后,再进行正式测量,可取得较为精确的测量结果,测试界面如图 5 所示。调整时基的程控命令语句基本格式为":

TIMEbase; RANGE N4", 其中 N4 为时基设置值。

精确脉宽测量的主要语句如下, 其中 "vi\_s bq" 为示波器的 ID 号:

```
viPrintf(vi_s bq, "*" RST\n"); //重启示波器
viPrintf(vi_s bq, ":AUTOSCALE\n"); //设置示波器为自动模式
viPrintf(vi_s bq, ":MEASure:SOURce CHAN1\n"); //选择通道 1 为测量源
viPrintf(vi_s bq, ":MEASure:DEFine THResholds,PERCent,8,55,92\n");
//按百分比重新设置时间测量点阈值
viQueryf(vi_s bq, ":TIMEbase:NWidth? \n", "%lf",&N5); //试测通道 1 的脉冲宽度
viQueryf(vi_s bq, ":TIMEbase;RANGE? \n", "%lf",&N6);
//读取当前全屏的测量基准
while(fabs(N5 * 2) < fabs(N6))
viPrintf(vi_s bq, ":TIMEbase;RANGE %lf\n",N6); //调整屏幕测量基准以适应信号脉宽变化
viQueryf(vi_s bq, ":TIMEbase:NWidth? \n", "%lf",&N5); //进行脉冲宽度的正式测量
```

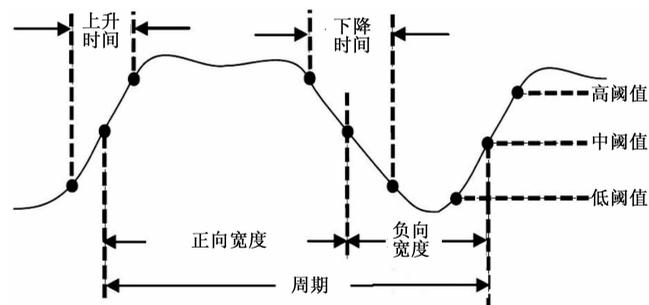


图 4 时间测量点示意图

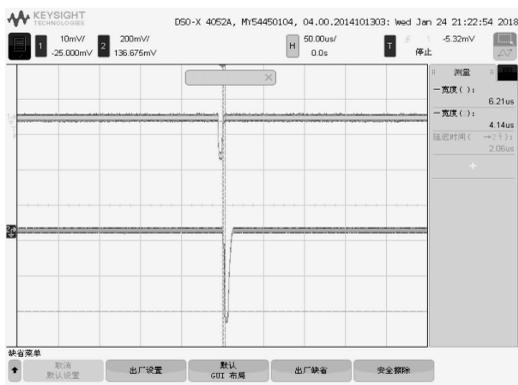


图 5 脉冲宽度测试界面

### 3.5 数据库模块设计

数据库模块将每次设备开机及测试的各种分散数据数据库的格式保存管理起来, 形成一个有机的整体。数据库

的存储数据类型不但包括数值、文本等常规类型, 还包括各种波形数据。各测试项测试条件 (如起始频率、终止频率、脉宽、重频周期、样本个数等)、判别依据也存储在数据库中, 主控模块通过调用该模块, 与上下限值比较, 判断参数是否合格, 然后将结果返回用户界面。为增加测试精确性, 数据库模块保存了天线增益表和电缆损耗表, 按每 100 MHz 校准了测试高所需各高频电缆的损耗值, 按 500 Mz 校准了宽频段天线的增益值, 供测试与标校时调用。

### 3.6 试验结果分析

在联调测试和试运行过程中, 该系统在操作人员减少一半的情况下, 使靶载干扰机测试维护时间缩短 45%, 人工参与环节减少 80%, 测试精度高, 可靠性好。

## 4 结束语

本文采用 LXI 总线测试技术和通用化仪器, 构建了一套性能先进、结构灵活的靶载干扰机综合保障系统, 实现了靶载干扰机的自动测试与维护。试验结果表明, 采用 LXI 总线技术构建综合保障系统, 符合靶载干扰机测试维护的客观要求, 有利于提升干扰机的综合保障水平, 实际应用意义较大。

### 参考文献:

- [1] 罗 波, 毕义明, 李马戎. 弹载电子干扰机作战效能仿真评估 [J]. 兵工自动化, 2010, 29 (12): 28-30.
- [2] 常 磊, 王焕强, 王宪鹏, 等. 弹载干扰机突防效能评估 [J]. 电子信息对抗技术, 2011 (5).
- [3] 赵慧昌, 张淑宁. 电子对抗理论与方法 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2010.
- [4] 杜 里, 张其善. 电子装备自动测试系统发展综述 [J]. 计算机测量与控制, 2009, 17 (3): 63-65.
- [5] 李映晟, 石远东. 基于 LXI 的干扰控制及信号产生设备自动测试系统设计 [J]. 舰船电子对抗, 2014, 37 (4): 112-115.
- [6] 顾振杰, 刘 宇. 注入式雷达测试系统构建方法研究 [J]. 现代防御技术, 2016, 44 (5): 155-160.
- [7] 蒋新广, 柳维旗, 姜志保. 某型弹药制导系统的 LXI 总线自动测试系统 [J]. 兵工自动化, 2013, 32 (5), 46-49
- [8] 杨乐平, 李海涛, 肖 凯, 等. 虚拟仪器技术概论 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [9] 张亮红, 刘文怡, 王红亮, 等. 基于单片机的 SCPI 命令解析模块的设计与实现 [J] 计算机测量与控制, 2015, 23 (8): 2858-2860.
- [10] 梁妙元, 印 敏, 赵继勇, 等. 基于 PXI 总线和 SCPI 程控的某型雷达通频带测试系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (7): 2125-2127.