

doi: 10.7690/bgzdh.2023.04.006

## 一种基于 PXI 的雷达频综组合测试系统

王小芳<sup>1,2</sup>, 胡际万<sup>1,2</sup>, 朱磊<sup>1,2</sup>, 谢武德<sup>1,2</sup>, 杨小龙<sup>1,2</sup>, 李丹阳<sup>1,2</sup>

(1. 中国人民解放军 32382 部队, 武汉 430311; 2. 中国人民解放军 66325 部队, 北京 102200)

**摘要:** 为提高检测效率, 设计一种雷达频综组件的测试系统。基于 PXI 总线进行设计, 共有 3 类组件和 1 个电源模块, 组件的驱动程序在 LabVIEW 环境下开发, 实现了参数测量、数据采集、故障诊断等功能, 具有良好的人机交互性。实际应用验证结果表明: 该测试系统直观、便捷, 测量误差小于 2%、准确率大于 99.2%、耗时缩短 68.75%, 能极大地提升能测试效率和测试质量, 满足雷达频综组合的测试需求。

**关键词:** 雷达; 频综组件; PXI 总线; 故障诊断

**中图分类号:** TJ06 **文献标志码:** A

## A Combined Test System of Radar Frequency Synthesizer Component Based on PXI

Wang Xiaofang<sup>1,2</sup>, Hu Jiwan<sup>1,2</sup>, Zhu Lei<sup>1,2</sup>, Xie Wude<sup>1,2</sup>, Yang Xiaolong<sup>1,2</sup>, Li Danyang<sup>1,2</sup>

(1. No. 32382 Unit of PLA, Wuhan 430311, China; 2. No. 66325 Unit of PLA, Beijing 102200, China)

**Abstract:** In order to improve the detection efficiency, a radar frequency synthesizer component test system is designed. The design is based on PXI bus, and there are 3 types of components and 1 power supply module. The driver of the components is developed in LabVIEW. The functions of parameter measurement, data acquisition, fault diagnosis and so on are realized, and the system has good human-computer interaction. The practical application results show that the test system is intuitive and convenient, the measurement error is less than 2%, and the accuracy is greater than 99. The time consumption is shortened by 68.75%, which can greatly improve the test efficiency and test quality and meets the test requirements of radar frequency synthesis combination.

**Keywords:** radar; frequency synthesizer component; PXI bus; fault diagnosis

### 0 引言

频综组合是雷达的核心部件, 为雷达提供了工作所需的高稳基准信号, 其性能直接影响雷达的工作质量<sup>[1]</sup>。频综组合为发射机提供高稳定度的激励信号, 为接收机提供本振信号, 为信号处理器提供基准同步信号, 共计 8 路输出, 频点数量较多。若采用人工方式对雷达频综组合进行检测, 需控制多位开关频点, 且需多人配合<sup>[2-3]</sup>, 检测工作重复率高、易受人为因素影响, 极易出现测试数据不同步、操作失误等问题, 影响故障检测判断、降低检测效率, 不利于部队信息化、智能化发展。

为改变现状、提高检测效率, 结合部队地面装备雷达的测试需求, 设计一种基于 PXI 总线的雷达频综组合测试系统。该测试系统具有自检、性能参数检测、故障诊断、数据分析处理等功能, 不仅可缓解维修资源紧张的压力, 减少人员配置, 而且可适应多型装备雷达测试维修的需求, 极大地提高了雷达频综测试的工作效率和自动化水平。

### 1 测试系统工作原理

系统上电后, 测试系统各 PXI 组件将状态信息传送至控制组件完成自检<sup>[4-6]</sup>。自检合格后, 运行测试软件, 对机箱内各组件进行 PXI 总线的操作, 包括读写各寄存器, 识别各组件控制状态, 由标频组件向频综组合提供输入时钟信号, 由频综转接板向频综组合提供所需的控制信号并接收故障回送字, 由控制组件启动示波器、频谱仪对输入输出波形进行测量, 采集数据传送至控制组件进行数据监测、记录, 与对应指标要求进行对比并处理, 若测试结果正常, 则按测试项目对频综组合各部件进行逐一检测; 反之则进入故障诊断模式, 定位故障并隔离、报警, 任务结束后存储、显示测试结果。

### 2 测试系统硬件构成

测试系统硬件主要包括 PXI 机箱、控制组件、标频组件、频综转接板、电源模块和显示器, 各硬件与控制组件通过 GPIB 总线进行通信。系统结构

收稿日期: 2022-12-13; 修回日期: 2023-01-28

作者简介: 王小芳(1990—), 女, 江西人, 从事装备电气维修研究。E-mail: wxf\_fwx567@126.com。

如图 1 所示。

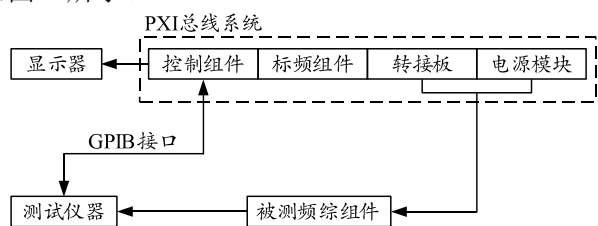


图 1 系统硬件构成

### 2.1 PXI 机箱和零槽控制器

PXI 机箱和零槽控制器是构建平台的基本部组件<sup>[7]</sup>。PXI 机箱向各组件提供供电、固定和冷却等功能，本系统选用 13 槽高性能 PXI 总线主机箱，具有背板状态显示、温度检测和高效静音散热等功能，满足检测系统对主机箱的要求。零槽控制器是测试系统的资源管理者，提供组件识别、地址配置、主/从关系分层、自检管理、分配指令等功能。

### 2.2 控制组件

控制组件是测试系统的核心，由 PCI9054、ETX 板、控制载板等组成。其中 ETX 板内置 CPU 模块、Windows 7 操作系统<sup>[8]</sup>和各类显示接口。PCI9054 实现 PCI 总线的接口控制，ETX 板实现主程序控制和接口显示，通过控制多个低电压 16 位总线收发器，将其与 PXI 机箱背板总线连接，实现状态预调、过程控制、面板显示、人机交互、信号收发、数据处理等功能。原理如图 2 所示。

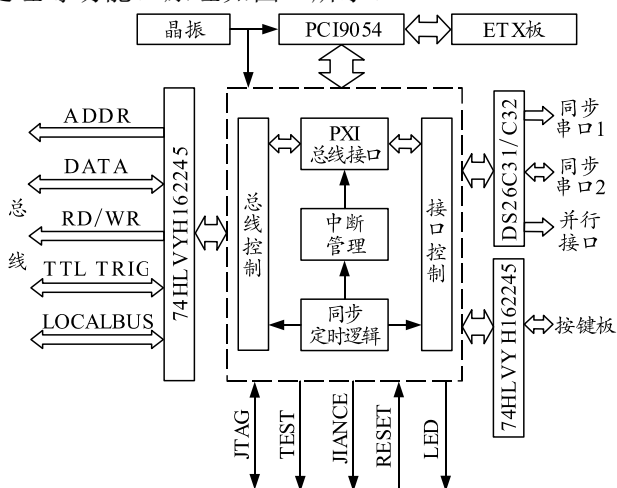


图 2 控制组件原理

### 2.3 标频组件

标频组件以低相噪恒温的 120 MHz 晶振为频率基准，经过倍频、分频、混频、滤波、隔离放大等功能器件后<sup>[9-10]</sup>，为控制组件和转接板组件提供工作所需的 4 类基准信号。其原理如图 3 所示。

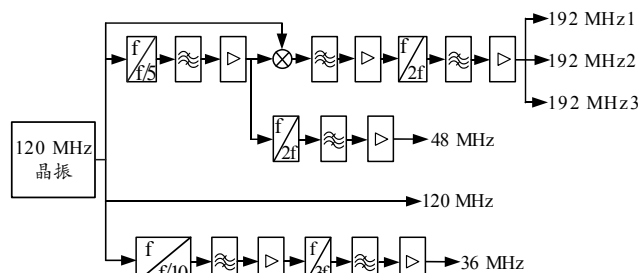


图 3 标频组件原理

### 2.4 频综转接板组件

频综转接板是测试系统与被测设备的信号转换桥梁。控制组件产生的单端控制信号和差分控制信号，经频综转接板通过外接电缆输入至被测设备；在被测设备收集的单端检测信号和差分监测信号，经频综转接板输入至控制组件。考虑各类信号源类别多样、数量较多，本系统采用可编程的 FPGA 器件<sup>[11]</sup>，将各类传递的信号进行集中、变换并转接至相应的接口。

### 2.5 电源模块

为减少电压波动对被测频综组合和测试结果的影响，电源模块采用二次降压方式为各组件及被测频综组合提供 7 种不同的电源电压，分别为  $\pm 18$ 、 $+12.2$ 、 $-12$ 、 $\pm 5.2$  和  $-2$  V，电压允许波动范围为  $\pm 10\%$ 。

## 3 测试系统软件

测试软件在 Windows 7 操作环境下，选择 LabVIEW 进行开发，便于人机交互<sup>[12-13]</sup>。结合频综组件的测试需求、操作对象，测试软件包含自动测试程序、数据管理程序和故障分析程序，分别完成对各项目的自动测试，采集数据的读取、存储和分析，对软件、硬件进行实时监控和处理，在异常情况下即刻报警并中断测试程序<sup>[14]</sup>。测试软件主要分为 4 大功能模块，即被测装备管理、测试仪器管理、程序执行管理和数据管理，测试软件组成如图 4 所示。

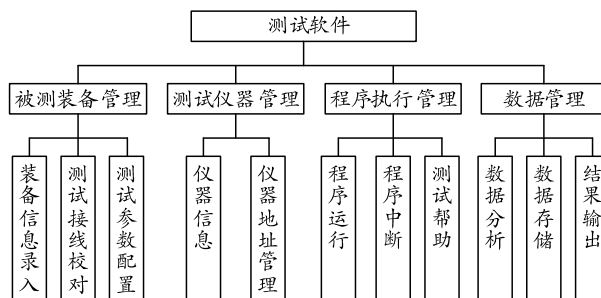


图 4 测试软件组成

测试软件主程序根据被测频综组合的相关信息，结合数据库并按设计的控制节点，实现平台 4 个模块的功能。其中主程序完成数据库读写、各组件驱动程序的调用及数据的存储等功能；数据库用于存放检测参数、程控指令、检测结果。主程序读取数据库的相应记录进行分析处理，执行相应操作来完成检测任务。测试流程和数据均由 Microsoft Access 管理<sup>[15]</sup>，软件测试流程如图 5 所示。

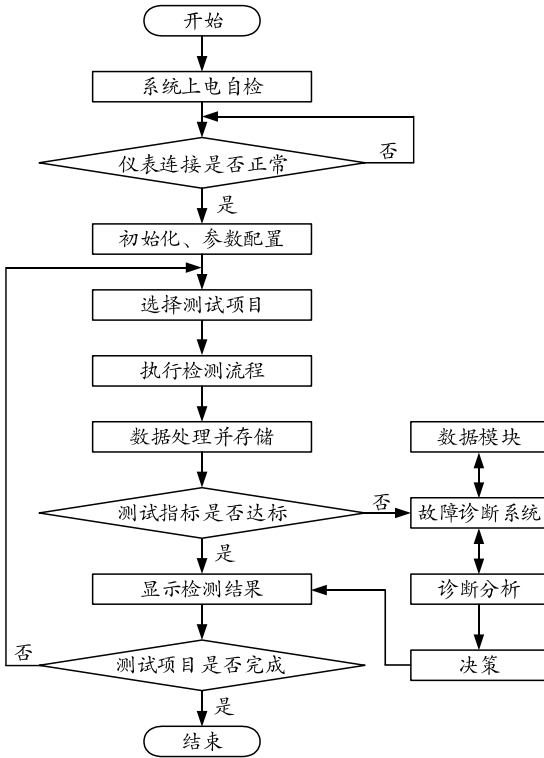


图 5 软件测试流程

为增强处理能力，测试系统通过数据库驱动方式实现检测项目选择和检测流程控制。为便捷修改和调试，测试系统采用分离测试任务与程序方式，将测试任务分解为不同的独立单元，按顺序加至相应数据库中。为满足不同层次维修人员的学习与操作，系统设置测试帮助功能，根据测试项目将设备接线、操作步骤、参数选取和注意事项同步显示，避免人工操作带来的误诊断。

故障诊断系统用来实现故障诊断和定位功能，由数据模块、诊断分析模块及决策模块组成。数据模块是系统进行故障诊断和定位的数据来源，诊断分析模块结合数据模块提供的信息进行诊断，分析比对不同参数的阈值范围确定故障类型，并将结果传送至用户界面；决策模块根据诊断分析结果，定位故障定位信息并作出相应维修策略，指导维修人员进行相应的维修操作。

### 4 测试验证与分析

用测试系统对某型装备雷达频综组合进行多次现场测试，实测证实该系统的频率码能够自动切换并精准控制，对频率、功率、故障信息字参数可自动测试，参数测量误差小于 2%，测试准确率大于 99.2%，保证了测试系统的准确性和自动故障检测功能。如表 1 所示，较人工测试相比，系统测试效率提升 68.75%，耗时大大减少，数据获得同时性高，测试效率和质量明显提升。

表 1 测试耗时对比

测试方式	人工测试	系统测试
人数	2	1
单件测试耗时/h	0.8	0.5
平均工作时间/h	1.6	0.5
效率提升率/%	68.75	

验证结果表明该系统操作简单，能够正确执行测试命令且运行稳定可靠、测试效率高、故障定位准确，达到了对频综组合全面测试与评估的效果，满足批量检测、维护的需求。

### 5 结论

该测试系统基于 PXI 总线技术，针对测试的实际需求，结合软、硬件技术，设计具有良好的人机交互和形象直观的控制界面，使得操作学习、数据采集、诊断显示直观便捷，实用性强，且极大地提高了雷达频综组合测试的效率和准确度，避免了人工误操作、疲劳工作引起的出错率，缓解了维修压力。同时，该系统使用对人员要求不高，极大地提高雷达频综测试的工作效率和自动化水平，有效提高了装备维修支援保障能力。

### 参考文献：

- [1] 马腾. 频谱杂散的自动测试方法浅析[J]. 计算机与网络, 2016(1): 64-67.
- [2] 刘秉策, 柴文乾, 代传堂, 等. X 波段便携式情报雷达集成化接收机设计[J]. 雷达科学与技术, 2016, 14(2): 206-209, 214.
- [3] 胡国光, 赵晖. 机载雷达接收机射频模块的健康管理技术研究[J]. 现代雷达, 2017, 39(10): 75-78.
- [4] 席文群, 李静, 柳尚光. 基于 PXI 的雷达频综组件自动测试系统设计[J]. 现代雷达, 2018, 40(9): 77-80.
- [5] 席佩涛, 刘泽, 段晗晗, 等. 基于数字锁相放大算法的电磁传感器探伤研究[J]. 传感器与微系统, 2015, 34(1): 54-56, 59.