

某型雷达通用自动测试系统的设计*

肖圣兵

(中国电子科技集团公司第三十八研究所 合肥 230088)

摘要: 传统的人工测试方法,存在耗时、精度差、不易扩展等缺点,是制约雷达测试技术发展的瓶颈,急需研制一套雷达通用自动测试系统。通用自动测试系统是在标准的系统总线基础上搭建,辅以专门设计的适配器,可以完成多个分系统的多个模块、插件的测试。自动测试系统识别适配器编码,自动调用不同的测试方案。基于故障树系统的测试项目管理可以分析、诊断被测件故障,并根据故障现象分析故障发生的原因,然后提出诊断的方法,最终实现故障的定位。经过实际应用证明,该系统具有良好的通用性,自动化程度高,真正实现了仪表参数的自动设置、数据自动采集、测试结果自动存储等多项功能。而且,该雷达自动测试系统功能完善、性能稳定,在某出口雷达研制过程和后期维护阶段都发挥了重要作用。

关键词: 雷达;自动测试系统;故障树

中图分类号: TP273 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 51099

Design of a radar general-purpose automatic test system

Xiao Shengbing

(No. 38 Research Institute of CETC, Hefei 230088, China)

Abstract: Since some shortcomings as time-consuming, poor accuracy and difficult expansion, traditional manual testing method has bottlenecked the rapid development of radar testing technology, so we have to build new ones urgently. Based on standard system bus and specially designed adapter, the general-purpose automatic test system can test diversified modules or plugins of many subsystems. After recognise the adapter ID, automatic test system execute corresponding testing schema automatically. Testing management system can analyse and diagnose the fault of equipment under test (EUT), trace back to fault causes from fault phenomena. Then, it put forward fault diagnoses method, finally implement fault localization. Through practical application, it has been proved that the system has good versatility, high degree of automation, really implement the instruments parameters automatically set, automatic data acquisition, automatic storage of the test results and many other functions. Furthermore, the radar general-purpose automatic test system show the construction of perfect function, stable performance. The system played an important role on R&D process and Maintenance of an exported radar.

Keywords: radar; automatic test system; fault tree

1 引言

一型已在服役的雷达,涉及维护、维修问题,而雷达使用方一般不会具备雷达生产厂家的各型测试设备和技术能力,对雷达进行全方位诊断或排除故障。这就需要研制一套自动测试系统(automatic test system, ATS),既能完成各种系统、模块、插件的测试,又操作简便,能让雷达使用方在不需雷达生产厂家参与的情况下,独立完成测试任务^[1-2]。

雷达参数众多,而传统的人工测试方法既费时又费力,

已经不能适应实际测试的需求,而且测量的结果还会受到人为因素的影响。随着测试仪器接口总线的发展,解决了自动测试系统中仪器、设备间的接口问题^[3-4]。本文针对某出口型雷达,设计一套通用自动测试系统,可以满足雷达接收系统所有模块级设备的测试。

2 硬件平台

2.1 硬件平台总体构成

硬件平台有3个主要功能:统一的测试接口、提供测试激励、为被测件提供能正常工作的物理环境,如电源、时钟

收稿日期:2015-07

* 基金项目:国家科技支撑计划(No. 2011BAH24B06)

等。其由测控计算机、程控仪器、不间断电源、系统总线和连接装置等组成,连接框图如图1所示。整个硬件平台以工业控制微机为核心,通过标准的仪器总线 GPIB 将所有测试资源连接起来,构成一个测试仪器网络,由测试软件进行统一控制^[5]。所有仪器安装在工业标准机柜上。机柜布局如图2所示。

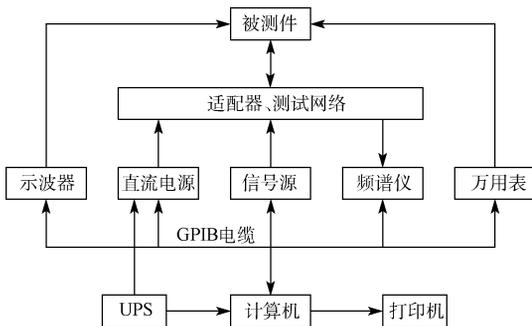


图1 系统连接框图

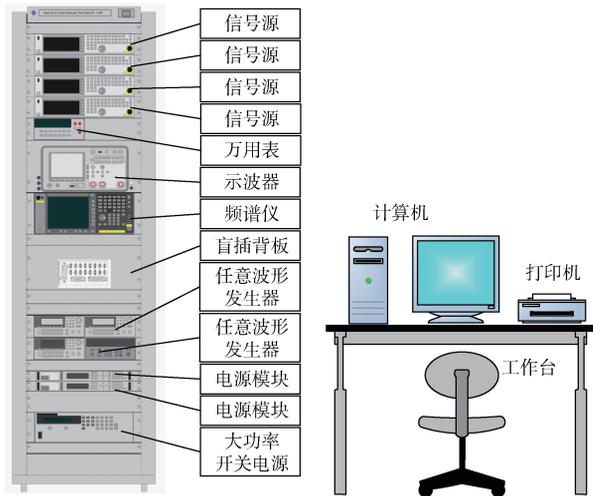


图2 机柜布局

2.2 适配器

自动测试系统要能测试一型雷达上尽可能多的设备或模块,甚至多型雷达的设备,具备通用性,硬件平台是共享的,不同的只是适配器^[6-7]。被测整件被安置在适配器上,适配器通过内部电路和标准接口与操作台连接,适配器将被测整件和测试系统有机的联合起来,适配器提供以下功能:

- 1) 适配器提供了与被测整件的接口,并且适配器可以监控被测整件的电源电压电流,提供被测整件工作需要的必要时序;
- 2) 适配器内部还配备了可编程的开关阵列,通过开关阵列可以根据测试项目不同自动改变测试网络;
- 3) 适配器配置了专门的识别电路,可以让测试系统自动识别被测整件。

针对不同的被测整件,只需要设计不同的适配器,以适应不同的物理尺寸及电讯要求。它们和测试机柜的接口都是一样的。图3所示是某被测整件的适配器示意图。

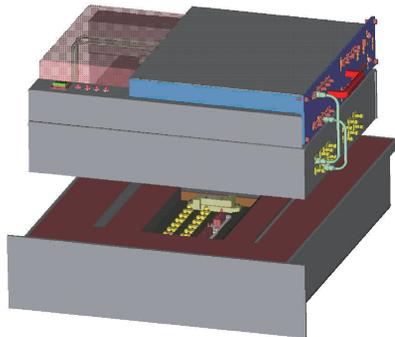


图3 适配器

3 软件平台

软件平台是将测控计算机、仪表、网络、数据库、串口服务器、接口协议、专家知识库有机结合起来形成一套测试管理软件系统。主要由仪表交互、测试管理和数据库三部分组成。仪表交互和测试管理采用 VC 编写,数据库用的是 access。

仪表交互完成各类测试仪表的驱动程序,实现对仪表的远程设置及数据读取,界面如图4所示。



图4 仪表控制程序

对所有被测整件编写测试方案、测试步骤、测试场景、故障库及故障解决方案,这些数据都按照统一的命名规则有序地存放在数据库里,供测试流程中调用。

测试管理是直接为用户交互的界面,用户按照提示完成整个测试流程。对某一被测整件进行测试时,测试管理软件自动调用测试方案,对被测件相关指标进行测试;得到的测试结果作为故障树系统的输入,检索故障分析库和故障解决方案库,帮助定位故障,辅助维修^[8-9]。

测试流程如图 5 所示。

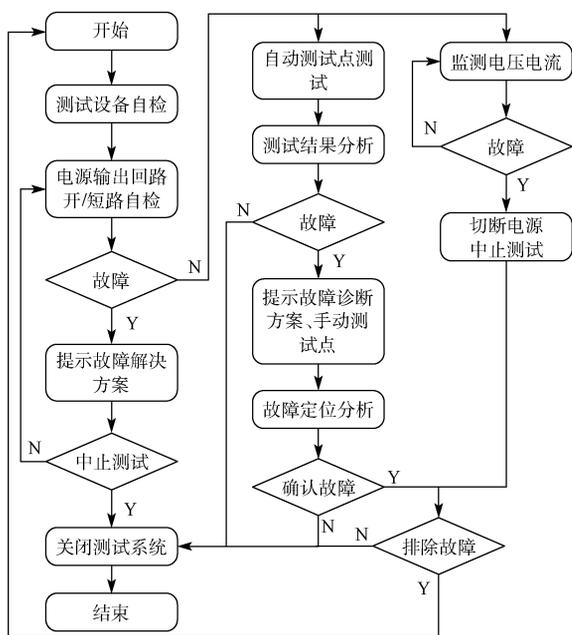


图 5 测试流程

故障排除。故障树系统被用来分析判断被测件故障,并根据故障分析故障发生的原因,然后提出诊断的方法,最终实现故障的定位^[10]。本测试系统的故障树系统采用了故障优先级的方式,优先级 0 级表示无故障,优先级数值越大优先度越小,即表示必须排除上一级故障,才能进行该级故障的测量和判定。采用了这种分级的方式可以方便软件引导操作者分析定位故障。

故障树系统由 4 个基本元素构成最小可定位单元、单元间连接关系图、单元故障描述以及故障优先级树。最小可定位单元指的是在系统中能够完成一项或者多项功能的独立结构单元,该单元可以在物理上进行区分。本系统的最小可定位单元主要针对的可更换模块,某些整件会有所区别。单元件连接关系图是整件中各个单元之间存在物理或者逻辑上的连接关系,这种关系直接影响了故障优先级树的形成。单元故障描述是故障树系统的重要内容,故障描述包含了故障现象、故障原因分析、故障诊断方法和解决方法。这种描述包含了一个严格的逻辑关系——通过故障现象找到故障可能的原因,然后用诊断方法进行验证,得出结论后进行处理。故障优先级树是故障树系统的核心,优先级树的设计必须紧密结合被测整件的原理,否则将无法得到一个有效的故障定位方法。故障优先级树是按照故障必要条件和充分条件的关系建立的,具有严格的逻辑关系,也是设计的难点。

4.2 测试项目管理

接收模块测试系统采用了故障树系统,故障树是典型的树形结构。

图 6 中示意了一个简单的三级故障树,故障优先级是按照被测件各个功能模块间的关系确定的。

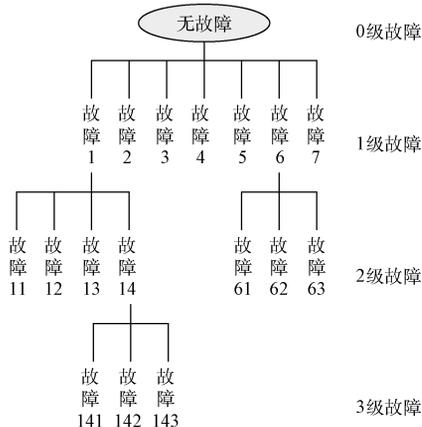


图 6 三级故障树示意图

收模块测试系统的测试项目管理是基于故障树系统的。测试项目同样分为若干等级,如果测试系统发现被测件没有故障,那么系统会禁止进行低等级测试项目的测试。如图 7 所示,测试项目会引发相应等级的故障,而为了诊断故障会发起相应等级的测试项目。必须被测件发生故障才

1) 测试系统开机后,仪表、通用时序板会进行自检,确认无故障。

2) 当适配器接入测试系统后,系统首先会识别适配器类型。同时适配器会向测试系统发送自检结果。

3) 适配器自检成功后,提示用户插入被测件。

4) 插入被测件后,系统首先检测被测件电源输入端的电阻,如果出现短路或则开路现象,会提示用户故障信息以及故障诊断方法,如果故障不能被排除,那么系统会提供用户中止测试。

5) 完成上面的步骤之后,此时适配器会监视电源电压电流,如果出现异常会立即关闭电源,并提示故障和故障诊断方法。

6) 上述步骤执行过成功如果没有出现故障,系统会对被测件进行自动测试。自动测试的结果提交给测试软件进行显示分析。如果测试结果显示出被测件存在故障,那么操作系统会提示故障诊断方法以及相关测试点。如果测试过程中没有发现故障,那么测试系统会结束测试流程,生产测试结果报表。

7) 当 6) 步骤中,出现了故障,那么测试系统会根据故障类型提示用户进一步的测试,这些测试中主要是对被测件中的手动测试点进行测试。测试点的选择与故障诊断方法有关。

4 基于故障树系统的测试项目管理

4.1 故障树系统原理

自动测试系统除了可以帮助用户快速准确地测试被测件的项目指标,还可以定位故障点,帮助测试维修人员完成

会引起相应等级故障诊断测试。

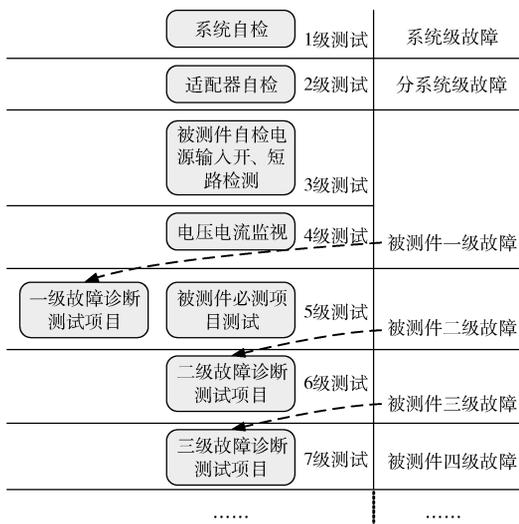


图7 测试项目管理树

4.3 故障树系统如何引导维修

前面两节的内容,阐述了测试系统中,测试项目和故障之间的关系;在整个测试系统中测试项目和故障之间的关系如图8所示。

从图中可以看出,每个测试项目都可能发现一种或者多个故障现象,然而故障现象并不能说明故障的原因,因此当某个故障现象出现后,需要相应的测试项目验证故障现象的原因,因此一个故障现象可以引发多个测试项目的测量。故障树系统正是这个系统。当测试过程中发现某个故障现象的时候测试系统会提示必要的测试项目测量以诊断故障的真正原因。

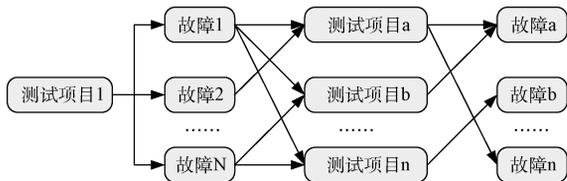


图8 故障现象和测试项目关系图

5 应用实例

该自动测试系统已通过某国外军方的验收,可用于该国多型雷达中多个模块的测试,如接收机、校正接收机、激励放大、一本振、二本振、激励源、频率源等。雷达整机在联试时,发现一本振模块有问题,在该测试系统上测试。图4为一本振模块工作电流、电压测试结果,为正常状态,若有故障时,系统可以给出过压、欠压、过流及欠流故障。接着测试其他指标,一本振 XS01 输出异常,最终定位故障:模块 04 与模块 01 之间连接故障,并给出维修建议:更换模块 04;J0 与模块 01;XS04 之间的射频电缆。

测试指标列表:

指标名称	当前值	上限	下限	单位
主电源电压测试	11.990000	14.000000	5.000000	V
主电源电流测试	0.700000	1.000000	0.500000	A
P3电压	5.210000	5.400000	5.000000	V
P3电流	0.150000	0.300000	0.090000	A
P4电压	5.200000	5.400000	5.000000	V
P4电流	0.240000	0.500000	0.000000	A
P5电压	14.990000	17.000000	14.000000	V
P5电流	0.020000	0.500000	0.010000	A
P6电压	5.210000	5.400000	5.000000	V
P6电流	0.060000	0.200000	0.010000	A
XS01测试2730	-50.790001	20.000000	-3.000000	dBm

图4 电流电压测试结果

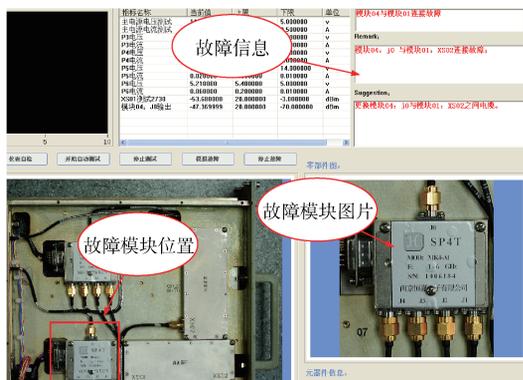


图5 故障定位

6 结论

基于故障树故障诊断技术的自动测试系统,从硬件设计和软件设计两方面进行开发,设计并实现一套具有通用性强、可扩展性好、自动化程度高、操作简单等优点的雷达自动测试系统,实现对各种类型模块、插件等进行功能测试和故障诊断、定位的功能。尤其对于出口型雷达,自动测试系统可以帮助外方人员故障诊断、检修,大大减少雷达后期维护成本,省时高效。

参考文献

- [1] 宋吟龄. 雷达微波模块通用测试平台设计与实现[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(1): 49-51.
- [2] 郭甲阵, 谢华, 兰京川. 基于虚拟仪器的雷达电路板自动测试系统[J]. 仪表技术与传感器, 2011(2): 26-31.
- [3] 陈杰, 宋东, 翟兴彦, 等. 某型机载雷达综合测试系统设计与应用[J]. 测控技术, 2009(6): 106-109.
- [4] 宋吟龄. 雷达频率源自动测试系统软件设计[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(2): 47-49.
- [5] 蔡晓波. 基于 GPIB 的雷达接收机自动测试系统[J]. 现代雷达, 2011(9): 69-71.
- [6] 姜付彬. 雷达自动测试系统接口适配器的设计与应用[J]. 电子世界, 2014(14): 473-474.

- [7] 伍云辉,刘娟,沈光正. 雷达数字插件测试台下位机设计[J]. 数字技术与应用,2015(4):169-170.
- [8] 何超,徐洪. 船用导航雷达收发机测试系统的研究与设计[J]. 电子测量与仪器学报,2009(S1):112-115.
- [9] 王建虹. 雷达数字电路板故障测试技术研究[J]. 国外电子测量技术,2010,29(1):53-55.

- [10] 王燕,一种远程相控阵雷达的自动化测试与故障诊断方法[J]. 电子测量技术,2010(1):129-132.

作者简介

肖圣兵,1980 年出生,工学硕士,工程师,主要研究方向为雷达自动测试与诊断技术、雷达数字收发技术等。

(上接第 92 页)

参考文献

- [1] 任丽莉,范亚芹,康冰,等. Zigbee 信号在智能小区中传输的改进[J]. 吉林大学学报信息科学版,2011(6):518-521.
- [2] 刘丹,钱志鸿,刘影. Zigbee 网络路由改进算法[J]. 吉林大学学报工学版,2010,40(5):1392-1396.
- [3] WANG X, MA L Q, YANG H ZH. Online water monitoring system based on ZigBee and GPRS[J]. Procedia Engineering, 2011(15): 2680-2684.
- [4] 袁源,王紫婷,刘洋帆. 基于 FPGA 和 zigBee 技术的智能家居系统[J]. 兰州交通大学电子与信息工程学院学报,2011(6):42-43.
- [5] 况莉莉,李振,衡友跃. 基于 Android 智能家居的探讨[J]. 淮北职业技术学院学报,2012,11(3):85-87.
- [6] CHEN W X, WANG L K, WANG H, et al. Zigbee-based prediction system for coal rock dynamicDisasters [J]. Procedia Engineering, 26 (2011):2253-2260.

- [7] 李秀丽. 智能家居系统中手持终端的软件设计与实现[D]. 南京邮电大学通信与信息工程学院学报,2012,13(9):33-36.
- [8] 彭风凌,虞先国,王洪辉. 安卓手机与数据库交互系统的设计与实现[J]. 计算机工程与设计,2013,34(11):3907-3911.
- [9] CHOUDHURY S, KUCHHAL P, SINGH R. ZigBee and Bluetooth Network based Sensory Data Acquisition System[J]. Procedia Computer Science, 2015(48): 367-372.
- [10] 江华丽,蔡暑. 基于 ATmega128L 的 Zigbee 传感器节点的硬件设计与实现[J]. 电子测量技术,2011,34(4):33-35.

作者简介

江华丽,研究生,讲师,主要研究方向为电子和通信等。

E-mail:lilisteven@126.com

(上接第 95 页)

- [4] 廖永波,李平,阮爱武. 一种 FPGA 的可编程逻辑单元的全覆盖测试方法[J]. 仪器仪表学报,2010,31(4):857-861.
- [5] 段承超,徐金甫. 基于 VMM 构建可重用验证平台[J]. 现代电子技术,2011,34(8):127-129.
- [6] 王学伟,蔡士闯. FPGA 的功能建模方法研究[J]. 电子测量技术,2011,34(11):74-77.
- [7] 谭先俊,金燕. I/O port 软件模拟三线 SPI 通信时序[J]. 浙江工业大学学报,2011,39(5):571-573.
- [8] 彭宇,姜宏兰,杨智明. 基于 DSP 和 FPGA 的通用数字信号处理系统设计[J]. 国外电子测量技术,2013,32(1):17-21.
- [9] 张松,李筠. FPGA 的模块化设计方法[J]. 电子测量

与仪器学报,2014,28(5):560-565.

- [10] 吕欣欣,刘淑芬. FPGA 通用验证平台建立方法研究[J]. 微电子学与计算机,2010,27(5):46-49.

作者简介

王蕴龙,1984 年出生,工程师,硕士研究生,主要研究方向为视频电路软件设计与测试。

E-mail:94669597@qq.com

包斌,1983 年出生,高级工程师,硕士研究生,主要研究方向为视频电路软件设计与测试。

万旻,1978 年出生,高级工程师,硕士研究生,主要研究方向为视频电路软硬件设计,信号处理电路软硬件设计。