

通用航管二次雷达功放模块自动测试系统研制

刘新飞, 李亚利, 王 东, 宁宇鹏, 张 强

(中国人民解放军 95853 部队, 北京 100076)

摘要: 航管二次雷达的性能直接关系到航空飞行安全。高功率模块的测试尤需谨慎; 研制通用的航管二次雷达功放模块自动测试系统可提高保障能力, 降低保障成本; 系统采用 PXIe、LXI/LAN、GPIB 混合总线技术, 以 PXIe 嵌入式 PC 控制器为控制中枢, 以“测试盒组”为测试中枢, 经适配器实现 PXIe 板卡、仪表与被测单元的适配, 实现多品类功放模块的测试; 文章从测试需求、仪表选择、TPS 开发平台、系统结构等方面阐述了系统总体设计, 提出了基于频谱分析仪的插入相位测试方法, 并着重分析了系统在测试盒组、适配器和自动校准补偿三方面的通用性设计; 系统可实现大功率范围的激励、测试及校准, 省去对昂贵的矢量网络分析仪的配置, 测试精度高, 经济效益显著。

关键词: 通用自动测试系统; 二次雷达; 功放模块; 校准; PXIe

Development of General Automatic Test System for Power Amplifier Modules of Secondary Radar

Liu Xinfei, Li Yali, Wang Dong, Ning Yupeng, Zhang Qiang

(Unit 95853, Beijing 100076, China)

Abstract: Performance of secondary radar has intimate relationship with safe flights. Special attentions are needed while testing high power modules. Developing general automatic test system for power amplifier modules of secondary radar can raise maintenance abilities and reduce maintenance costs. The system is able to test many kinds of power amplifier modules based on mixed PXIe, LXI/LAN and GPIB buses. It uses PXIe embedded PC as control center, uses the ‘test boxes’ as testing center, and realizes adaptations between UUT and PXIe cards and instruments through adaptor. This paper states general system designs from aspects of test requirements, choice of instruments, TPS developing environment and system structures, brings forward a testing method of insertion phase based on spectrum analyser, and analyses general designs on test boxes, adaptor and automatic calibration compensation. The system can realize wide power range of stimulation, test and calibration, reduce configuration of expensive vector network analyser, and has high test precisions and notable economic benefits.

Keywords: general automatic test system; secondary radar; power amplifier modules; calibration; PXIe

0 引言

航管二次雷达的性能直接关系到航空飞行安全。其发射机功率模块长期工作于高功率、大电流状态, 易发故障。与中小功率模块及数字电路的测试相比, 大功率模块的测试需尤其谨慎, 否则容易引起模块或仪表损毁, 甚至危及人身安全, 造成较大损失: 模块供电电压普遍较高、电流普遍较大; 在测试输出功率时, 需要连接大功率衰减器将其降至仪表测量范围内, 对于多路输出的情形, 还需连接大功率负载吸收未测试通道的输出功率; 模块所需激励多为大功率, 不能通过信号源简单得到, 且功率应在一定范围内; 需要考虑模块、衰减器、负载等的散热需求^[1]。

研制通用的航管二次雷达功放模块自动测试系统, 不仅可以尽量避免人工操作不慎导致的不必要损失, 而且可以缩短测试及故障件修复时间, 提高保障能力, 降低保障成本。

1 测试系统总体设计

1.1 测试需求

航管二次雷达发射机功率模块工作频率相同, 测试项包

括: 供电通路(电阻、电流、电压)、输出功率、频率(谱)、包络形状(脉宽、上升下降时间、顶降)、谐波、输入反射损耗、插入相位及自检/视频信号等^[2-3]。

系统应能实现大电流状态下的测试, 提供从几分贝毫瓦至近百瓦的较大范围的输出功率, 并能较精确地测量从几十瓦至几千瓦的模块输出功率, 以适应不同模块不同的测试维修需求。同时, 应尽量减少测试连线次数, 减少人工干预。

1.2 仪表选择

功放模块自动测试系统的仪表选择是否恰当, 直接影响到能否顺利完成测试维修任务。遵循以下原则:

- 1) 根据电压、电流输出能力配置适当数量及规格的大功率程控直流电源和模块式中低功率程控直流电源, 电压可编程, 可变换极性, 满足纹波指标, 并具有限压、限流功能;
- 2) 根据测试及校准的频率及功率输出需求选择程控信号源, 应具备内/外部脉冲调制功能;
- 3) 根据测试调制、同步的需求选择程控脉冲/序列发生器, 能产生形式灵活、输出电平及边沿可控的脉冲序列, 并具备足够的通道数;
- 4) 根据频段、时间灵敏度和功率测量范围要求选择双通道程控峰值功率分析仪及探头。
- 5) 选择耐大电流、高电压的矩阵开关、单刀双掷开关、可编程数字 I/O、高密度数字 I/O、数字多用表及符合带宽要

收稿日期: 2016-03-23; 修回日期: 2016-04-18。

作者简介: 刘新飞(1981-), 女, 湖南湘乡人, 硕士, 工程师, 主要从事自动测试及系统研制、测试性设计方向的研究。

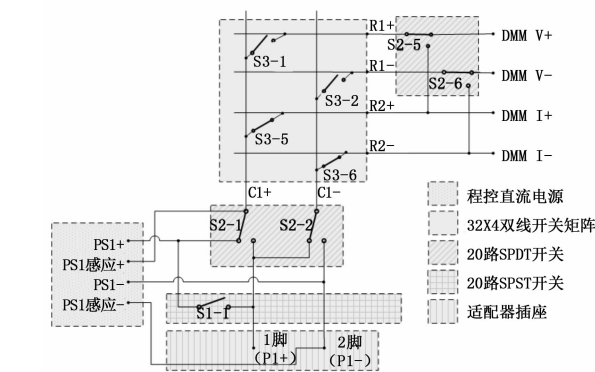


图 3 供电通路电流测试示意图

测试电阻的电路可通过改变图 3 中开关 S3-5、S3-6、S2-1、S2-2、S3-1、S3-2 的置位获得，再改变开关 S1-1 的置位即得电压测试电路。

4 自动校准补偿设计

4.1 校准的两种思路

高功率模块的校准尤为重要，差 3 dB 功率就差一半。对于激励而言，功率大容易损毁模块，小则可能致使输出无法满足指标。对于输出而言，若不校准，误差较大的测量值将误导维修测试人员操作，造成雷达性能大打折扣，或损毁后级模块等问题。

校准有两种思路。一是求“整”：以通路为单位进行校准，在仪表的能力范围内，获得满足被测模块所需输入功率的源的输出功率，以及输出通路的总衰减量。二是化“整”为“零”：将系统测试通路按线缆、测试盒内接口间通路分类，依次校准各线缆及测试盒内接口间通路的插损/增益后，根据实际需要再进行整合，计算输入、输出通路的插损/增益。

两种思路各有优缺点。前者直观，但被测模块种类增多则显繁琐，且对于通用测试系统而言，易出现功率较高或较低，处于功率探头测试相对不准确的区域；后者在被测模块种类多时优势明显，每次校准都能处于探头测量较为准确的区域，但插损值随功率稍有波动。

4.2 结构设计

系统采用方法二。建立校准表格如图 4 所示，分为线缆、测试盒 1、信号源、可调衰减器、激励器五大条目，条目下细分为若干校准通道^[5]。每个表格记录一种被测模块的校准数据，纵向格式相同。为不同的输入、输出测试通路设定配置号，通过批注对校准项进行标识，并将校准种类及校准参数记入批注供程序使用。

信号源校准分为平坦度校准和线性度校准（如图 5 所示），分别解决对于同一输出功率设置，信号源实际输出因频点而不同，以及信号源输出功率进入非线性区的问题。经测试，对于某型标定最大 30 dBm 输出功率的信号源，在频点 1 GHz 处可设置最大输出 25 dBm，但实际输出仅 24.4 dBm。通过补偿，可使到达被测模块输入端的功率符合要求。

4.3 实现

校准时，单次连接即完成工作簿中同一通道所有频点的校准，并更新工作簿中所有对应的校准数据。为防止人为误操

UUT NAME		DRIVE UNIT					
	IN J1	OUT J2	OUT J3	REFLEC	PHASE	PHASE	
FREQ (Hz)	1.0E+9	1.0E+9	1.0E+9	1.0E+9	1.0E+9	1.0E+9	
CONFIG	1	2	3	4	5	6	
W1	-0.290						
W2							
W3							
W4							
W5							
W6		-0.190	-0.190				
W7	-0.340			-0.340			
W8							
W9		-0.330					
W10			-0.360				
W11							
W12		-0.360	-0.360				
W13							
W14							
J4-J18				-20.970			
J5-J18							
J16-J10							
J16-J17		-31.370	-31.370				
J5-J15							
J6-J8		-0.680					
J7-J8			-0.830				
J1-J4	-7.800						
J17-PD2_1					-0.470		
J17-PD2_2						5.540	
FLATNESS	-0.048				-0.048	-0.048	
LINEARITY							
J13-J14		-19.340	-19.340				
J11-J12B							

图 4 校准表格示意图

SIG SRC	FLATNESS	-0.048			
SIG SRC	LINEARITY	0.102			
ATT	J13-J14				
RIVER	J11-J12B		38.953	38.953	

图 5 源的校准数据示意图

作，校准完毕后，数据会另存为二进制格式，供程序使用。测试时，程序自动根据配置号对输入、输出通路的插损、增益求和，分别补偿至信号源的输出功率和功率分析仪所测功率值中。

5 小结

某型航管二次雷达功放模块自动测试系统目前已成功实现两型共计六种功放模块的自动程序开发及测试，可提供调试环境，并成功修复多种功放模块。该系统的通用性设计及可扩展性，使得其具备多型号的保障能力；所使用的基于频谱分析仪测量插入相位的技术，可以省去系统对矢量网络分析仪的配置，军事、经济效益显著。

参考文献：

[1] 李立功, 等, 现代电子测试技术: 信息化武器装备的质量卫士 (第二版) [M]. 北京: 国防工业出版社, 2008

[2] 张 尉, 二次雷达原理 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2007

[3] 郑 新, 李文辉, 潘厚忠, 等. 雷达发射机技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2008

[4] 刘新飞, 王 东, 基于 ATEasy 的某雷达射频模块自动测试程序开发 [J]. 北京联合大学学报 (自然科学版), 2010, 24 (3): 10-13

[5] 刘新飞, 刘世华, 王 东, 雷达射频测试自动校准融合技术 [J]. 中国科技成果, 2013, 7: 53-55