

# 基于 VEE 的射频设备自动测试系统<sup>①</sup>

曹毅, 赵波, 陈鸣

(总参信息化部驻石家庄地区军事代表室, 石家庄 050081)

**摘要:** 针对射频类设备测试项目多、测试时间长、操作过程繁琐等难题, 基于虚拟仪器技术 VEE 平台, 研究并实现了射频自动测试技术. 从硬件平台架构、VEE 软件数据流转与执行等方面阐述了测试系统的设计思路, 并详细论述了射频自动测试系统的工作流程与具体操作方法. 自动测试系统的实现, 为提高调试、检验、维护射频类设备的工作效率提供了有力保障.

**关键词:** 射频自动测试; VEE 平台; 数据流转; 相位噪声

## RF Automatic Testing System Based on VEE

CAO Yi, ZHAO Bo, CHEN Ming

(Military Representative Office of General Staff Headquarters Informationization Department, Shijiazhuang 050081, China)

**Abstract:** The RF automatic testing technology is studied and realized based on the platform of VEE virtual instrument technology. This technology resolves the problems, such as too many testing projects, long testing time, and complicates operating. The design conception of the RF testing system is discussed by hardware platform architecture and VEE software data transmission. The working processing and concrete operating methods is also disserted in detail. The realization of automatic testing system provides enforcement safeguard for the working efficiency of the RF equipments on improving debugging, examine and maintaining.

**Key words:** RF automatic testing; VEE platform; data transmission; phase noise

随着新军事变革的进一步深入, 各种新技术、新工艺和新器件广泛应用于各类发射机、接收机、变频器、分合路器等射频设备, 设备性能提高的同时也使其性能测试更为复杂<sup>[1]</sup>. 在传统的射频性能测试中, 一般对仪器进行人工手动操作、数据记录等, 测试中所使用的仪器设备种类繁多、功能各异、关联性差、操作不便, 易于造成人为误差或错误, 而且测试速度慢、重复性操作多、效率低、测试周期长, 很难满足批量测试的需求. 自 20 世纪 70 年代以来, 虚拟仪器技术的发展使得自动测试系统真正的实现了自动化, 智能化, 使得测试变得更加灵活、方便, 将虚拟仪器技术运用到射频测试系统的设计中, 已成为了射频自动测试系统研究的主流<sup>[2-5]</sup>.

基于虚拟仪器技术的射频自动测试系统一般由计

算机、测试仪器及系统测试软件组建而成. 其中计算机完成主控以及数据处理等功能; 测试仪器用来测试被测件的性能参数; 系统测试软件采用开发虚拟仪器所特有的编程语言, 如 Agilent VEE、LabView 等<sup>[5,6]</sup>. 采用虚拟仪器技术的自动测试系统不仅具有良好的通用性、开放性, 能有效的完成各项性能指标的自动测试, 并且能够运用软件实现对测试仪器的切换控制, 运用开发虚拟仪器所特有的图形化编程语言甚至可以模拟测试仪器的操作面板以及各种测试功能.

## 1 VEE平台简介

Agilent VEE 是一种工程中的可视化编程语言, 有 2 个显著特色. 首先, VEE 对整个语言做了彻底图形化处理, 提供了模块式的编程工具, 还提供了数据

<sup>①</sup> 收稿时间:2014-06-24;收到修改稿时间:2014-08-12

流显示和程序流显示,使程序的调试非常直观和形象。其次,VEE 在仪器控制方面提供了灵活和高效的控制方式<sup>[3,6]</sup>。此外,VEE 还提供了许多数学运算工具,有优异的界面设计能力和丰富的显示方式,还能和其他应用程序很好地综合在一起,支持多种接口。

在 VEE 平台上,主要采用三种方式以完成 VEE 与仪器设备的沟通,即 Panel Driver、Direct I/O 以及 VXI plug & play Driver。考虑到 Direct I/O 方式对仪器设备控制上的通用性,选择了该方式作为本测试系统的控制方式。Direct I/O 方式的特点是:只要仪器支持 IEEE488 协议,就可以采用 VEE 控制任何仪器生产商的测试仪器,而不必关心该仪器在 VEE 中是否提供了相关的驱动程序。但采用该方式,用户须对相关仪器的仪器语言有一定的了解。

VEE 主要功能包括:管理和控制仪器设备、数据采集和处理、可视化数据显示、与其他语言的交互使用以及远程 Web 监控等<sup>[7,8]</sup>。它具有以下优势:便捷、灵活的操作界面;支持多种大众的测试平台;运用简单且功能强大的工具文件;直观明了的用户操作界面和流程图式的编程;可视性程序能有效地减少程序开发及维护的时间;内具的除错功能可有效地开发及维护大规模、复杂的程序;使用 Active X、DDE 以及 TCP/IP 可进行网络连接和数据交换;可集成其他如 C++、Visual Basic、Pascal、Fortran 和 Basic 等开发语言;可输出测试数据到标准的 Excel 数据库及 Word 档案中,显示所需分析结果并打印。

## 2 射频自动测试系统架构

### 2.1 硬件配置

自动测试系统硬件平台一般包括:适合 VEE 软件运行的计算机 1 台、打印机 1 台、GPIB 接口卡(Agilent 82357B USB/GPIB)1 块、GPIB 母线(IEEE 488 GPIB)2 根、频谱分析仪 1 台、信号发生器 1 台、标量网络分析仪 1 台、射频电缆 3 根等设备组成<sup>[9,10]</sup>。经常使用的仪器有频谱分析仪(RS 公司的 FSU 系列、Agilent 公司的 N9030A)、信号发生器(RS 公司的 SMR50、Agilent 公司的 8725D)和标量网络分析仪(安立公司的 54169A)等,其基本构成如图 1 所示。

### 2.2 VEE 平台数据流转

VEE 程序中的数据流动规则为:数据从左到右流过对象。这意味着在拥有数据端的所有对象上,左面

的数据端是输入,右面的数据端是输出,如图 2 所示。

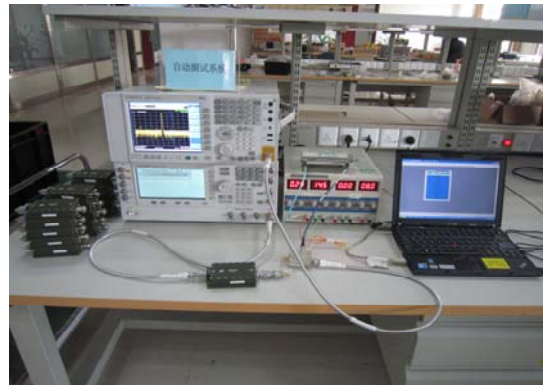


图 1 基本硬件组成

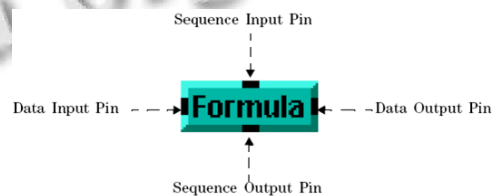


Figure 18 Data and Sequence Pins

Table 4

Pin Type	Description
Data Input Pin	The pin (or pins) on the left-hand side of an object.
Data Output Pin	The pin (or pins) on the right-hand side of an object.
Sequence Input Pin	The pin on the top of an object.
Sequence Output Pin	The pin on the bottom of an object.

图 2 数据流转

在测试中,必须连接对象中的所有数据输入端,否则在程序运行时会发生错误。只有在其所有数据输入端已经收到新数据时,一个对象才会执行;只有在所有连接的相应数据输出端已经被激活后,一个对象才执行完毕。在 VEE 中,可以使用序列输入端和输出端,改变执行顺序。但是,在正常情况下,除特例外,并不需要使用序列端。一般来说,最好避免使用序列端。如果可能,应允许数据流程控制程序执行。如图 3 所示两个控件: Import Library 和 Call myLib.FREQDOWN,前者将系统接入的信号发生器所适用的通信协议作为子函数调用;后者调用前者协议中的 FREQDOWN 命令,实现对信号发生器的控制,降低其输出的信号频率。测试时需要将前后两个控件的运行顺序注明,以保证在后者运行时可以识别通信协议。依据图 2 指示,将控件 Import Library 的顺序输出端口与控件 Call myLib.FREQDOWN 的顺序输入端口连接,这样当程序运行时就可以保证两个控件运行的先后顺序。



图3 lib库执行

### 3 射频自动测试系统实现

#### 3.1 系统工作平台

基于 VEE 的自动测试系统通过计算机控制信号源、监测信号发生器、频谱分析仪、网络分析仪等仪器，设置信号源的输出频率、输出功率等参数，录取待测设备在各工作频率下的输出功率等数据。如果提前对数据进行预处理，即可获得设备不同频率下的 1dB 压缩点输出功率、功率、幅频响应、杂散、镜像抑制、相位噪声等数据，其基本测试流程如图 4 所示。

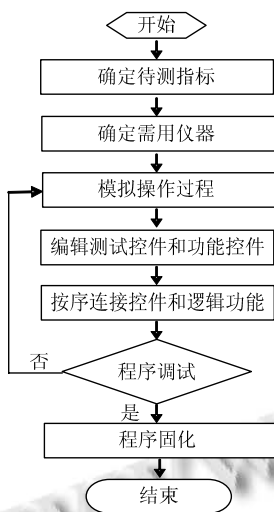


图4 软件测试流程

图 5 为某型射频设备的自动化测试界面，针对所需检测的全部指标，该测试软件集成了测试时所需的全部功能。将测试系统参数输入至 VEE 中，勾选待测指标，先点击“准备测试”，即将线损参数、被测件编号置入测试系统，同时初始化控件函数库。接入被测设备后，点击“开始测试”即可自动进行。经过计算机软件和测试仪器之间的数据交换、数据处理，待测指标将以 EXCEL 文件的格式生成，依据待测指标要求，不

合格指标自动标记为红色。

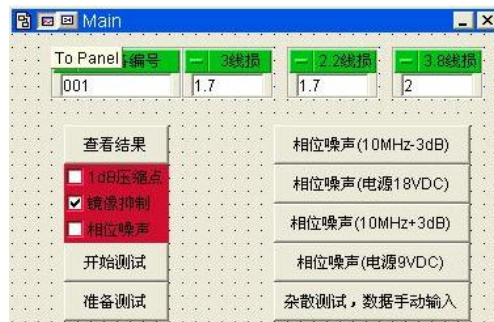


图5 用户编程界面

使用自动化测试系统后，测试数据全部由计算机处理，将测试人员与测试指标完全隔离，保证了待测指标的可信度，同时大大降低了测试人员的劳动强度。相同一套设备，应用自动测试系统时需 1 个人 6 分钟，相对于人工测试需要 2 个人 30 余分钟，测试效率提高了 10 倍以上。

#### 3.2 测试实例

这里以某型 Ka 频段接收机的性能测试为例，详细阐述测试的具体过程。

1) 选择所需测试仪器，并通过 GBIP 总线连接至已安装 VEE 软件的计算机，确认测试仪器的设备地址，保证仪器与计算机连接正常(查看 VEE 软件右侧 Instrument Manager 选项卡，点击 Find，确定设备名称前为绿色对号)。

2) 将被测设备接入测试系统，打开测试仪器，检查测试接线是否正确。

3) VEE 的主界面中，有设备编号、不同频率下线缆损耗等数据需要预先置入测试系统，完成软件初始化。

4) 测试项目主要包含 1dB 压缩点输出功率、增益、镜像抑制、杂散、电压拉偏以及参考信号电平±3dB 时的相位噪声、幅频特性。在软件界面中可以单选或多选测试项目。这里以 1dB 压缩点、镜像抑制和相噪的测试为例，点击图 5 中的“开始测试”按钮，此时 VEE 弹出对话框，预先设置最终数据输出的 Excel 表格，之后按照从上至下的顺序进行测试。

5) 测试过程无需测试人员手工操作。当测试 1dB 压缩点时，可以在信号源和频谱仪上看到仪器自动修正信号输出电平，同时将输入信号功率差值与输出信号功率差值做循环比较，测试过程见图 6，循环在两项差值的差达到 1dB 时跳出，返回频谱仪的峰值功率至



VEE 软件, 即该频点的 1dB 压缩点. 判断测试完成后, 结果输出至步骤 4)中设置好的 Excel 文件中.

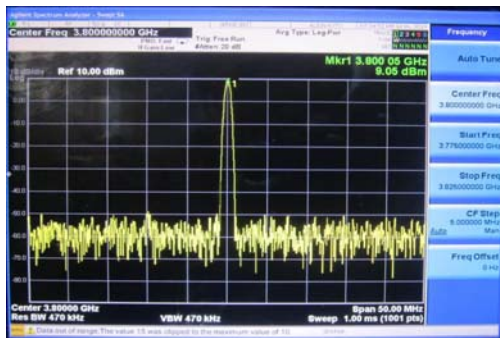


图 6 1dB 压缩点测试过程

6) 1dB 压缩点测试完成后, 软件判断需要进行镜像抑制测试. 由于测试环境依然为正常工作状态(无需拉偏电压或增减参考电平), 软件默认直接开始测试.

7) 镜像抑制测试完成, 软件判断进行相位噪声测试. 设备相噪测试分为 5 步. 依次为正常工作状态、参考电平-3dB 修正、+3dB 修正、电源 9V 修正、18V 修正, 测试过程见图 7. 自动测试软件调用频谱仪的相位噪声测试控件, 每步完成后返回一次相噪测试结果. 当前一步完成后软件判断需调整外部电源电压或参考电平, 此时 VEE 软件断点, 并跳出对话框等待人工修正外部条件. 调整完成后需测试人员点击对话框“确定”按钮, 继续下一步的相噪测试.

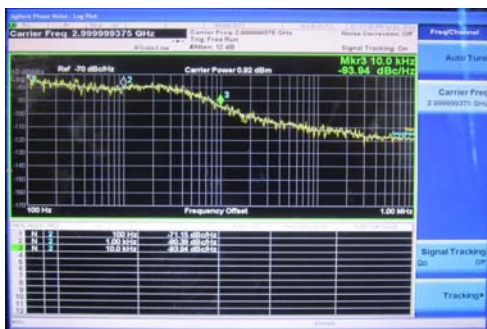


图 7 相位噪声测试过程

8) 相噪测试完成后, 软件判断没有后续测试项目, 此时测试人员可以查看结果, 弹出 Excel 文件, 如图 8 所示. 检查测试项目是否合格, 不合格项目将被自动标红.

#### 4 结语

基于 VEE 的射频自动测试系统具有结构标准化、

原始记录							
检测项目	技术要求	检测结果					
1dB压缩点输出功率	>5dBm	低端频点	中心频点	高端频点			
增益	>55dB	9.0	10.8	9.6			
幅频特性	<5dB/1600Hz	62.0					
	<3dB/1600Hz	1.6					
	<1.2dB/1600Hz	1.2					
杂散输出	<-60dBc(带内)	0.5					
	<-50dBc(带外)	-52.0					
镜像抑制	>60dB	低端频点	中心频点	高端频点			
	<-63dBc/Hz@100Hz	52.9		80.1			
相位噪声	<-73dBc/Hz@1KHz	-72.1					
	<-83dBc/Hz@10KHz	-80.2					
	<-93dBc/Hz@100KHz	-90.6					
		-106.7					
100Hz参考输入电平	0dBm ± 3dB (正弦波)	杂音源电平		-3dB	+3dB		
输入电压驻波比	<2.0: 1	100Hz	-69.2		-72.1		
		1KHz	-81.5		-80.2		
		10KHz	-94.1		-90.6		
输出电压驻波比	<2.0: 1	100Hz	-110.5		-106.7		
		1KHz					
		10KHz					
电源适应性	9VDC-18VDC	电源电压	9VDC	18VDC			
		100Hz	-72.1		-77.0		
		1KHz	-80.2		-82.2		
		10KHz	-90.6		-92.5		
功耗	<4W	100KHz	-106.7		-108.7		

图 8 测试结果存储与显示

仪器模块化、测试自动化、准确性好等特点, 系统构建灵活, 通用性强, 只需经过简单的仪器模块重新组合和相应的自动测试软件的编制, 便可快速地构成针对另一对象的测试设备, 具有较高的应用价值. 同时, 此测试系统也降低了对试验人员的具体要求, 使试验人员在不必深入理解测试方法和测试设备的情况下, 也能通过计算机调用 VEE 程序完成具体的测试任务, 特别在进行大批量的测试时, 更能体现出其优越性.

#### 参考文献

- 张兴成. 基于虚拟仪器的射频芯片自动测试技术研究. 济南: 山东大学, 2012.
- 孙文涛. 基于 VEE 的 SCADA 系统设计. 电子测量技术, 2013, 36(9): 108-111.
- 陈宝林. 基于 VEE 的电子测量自动化的应用. 计算机与网络, 2012, 22: 57-59.
- Abercrom K. Modernizing instruments and switching in joint services military ATE. 2006 IEEE Auto Testcon Proceeding, 277-286.
- 周艳, 陈永建. 基于 LabVIEW 和 Multisim 的虚拟电子实验系统. 计算机系统应用, 2013, 22(11): 70-74.
- 安捷伦. Agilent VEE 虚拟仪器工程设计与开发. 北京: 国防工业出版社, 2004.
- 刘新飞, 王东. 基于 ATEasy 的某雷达射频模块自动测试程序开发. 北京联合大学学报(自然科学版), 2010, 24(3): 10-13.
- 冯蕾洁, 韩应征, 王娟. 基于动态频率选择技术的射频自动测试系统. 制造业自动化, 2014, 36(1): 124-131.
- 夏梦芝, 何银菊, 李波, 等. 基于虚拟仪器的控制器自动测试系统. 仪表技术与传感器, 2011(12): 58-61.
- 高博, 徐雅静, 孔明明. 射频指标自动化测试系统的设计与实现. 中国新通信, 2013, 22: 117-110.