

# 集成化全电参数行波管自动测量系统

陈 源, 宫大鹏, 黄 桃, 李 斌

电子科技大学(UESTC)微波电真空器件重点实验室, 四川 成都

Email: cyvscw@163.com

收稿日期: 2020年10月19日; 录用日期: 2021年1月20日; 发布日期: 2021年1月29日

## 摘 要

本文所研究的全电参数行波管自动化测试系统可以分为硬件与软件两部分。硬件部分采用了集成化的pxi板卡仪器作为测量仪器, 包括板卡型的矢量网络分析仪、信号源、频谱仪、功率计以及工作在微波频率范围内的矩阵开关, 软件部分则使用图形化编程语言labview进行编程, 通过labview内部配套的标配仪器visa编程接口向标配仪器发送scpi命令进行仪器的程控。

## 关键词

行波管, 自动测试, PXI, LabVIEW, VISA

# Integrated Automatic Measurement System for All Electric Parameters of TWT

Yuan Chen, Dapeng Gong, Tao Huang, Bin Li

National Key Laboratory of Science and Technology on Vacuum Electronics, University of Electronic Science and Technology (UESTC), Chengdu Sichuan

Email: cyvscw@163.com

Received: Oct. 19<sup>th</sup>, 2020; accepted: Jan. 20<sup>th</sup>, 2021; published: Jan. 29<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

The all-electric parameter traveling wave tube automated test system studied in this paper can be divided into two parts: hardware and software. The hardware part uses the integrated PXI board card instrument as the measuring instrument, including the board type vector network analyzer, signal source, spectrum analyzer, power meter and matrix switch working in the microwave frequency range, and the software part uses graphics The programming language LabVIEW is used for programming, and the SCPI command is sent to the standard instrument through the VISA

programming interface of the standard instrument in LabVIEW to program the instrument.

## Keywords

Traveling Wave Tube, Automated Test, PXI, LabVIEW, VISA

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

行波管是一种微波真空器件，可以放大微波毫米波信号，具有大功率、宽频带、高效率、高效益的特点，是目前军事装备上应用最广泛的微波器件，由于其无可替代的宽频带特点，是目前军事装备上应用最广泛的微波器件[1] [2]。

行波管具有多项性能指标，包括三阶互调、饱和特性、群时延特性等，对于行波管性能参数的测试是复杂且繁琐的[3]。传统的人工测量方式效率低，而且容易产生人为的失误，难以满足当下行波管研发的需求。因此，在行波管的研制过程中引入自动化测量方法和系统对于提高测试精度和测试速度具有重要意义。

自动测试系统是计算机技术和自动测试技术相结合的产物。自动测试系统有测量仪器、计算机和相应的接口系统组成。在预先编制好的测试程序管理下，计算机执行数据采集、数据分析和处理、误差校正，并完成测量结果的显示、存储、传输、分析以及处理自动测试系统自身故障等操作，具有速度快、精度高、重复性好等优点[4]。

本文研究开发的行波管全电参数自动测量系统采用 PXI 板卡仪器作为测量仪器硬件，结合图形化编程语言 LabVIEW 编写行波管自动化测试的软件，完成了行波管部分性能参数的自动化测试。

## 2. 自动化测量系统硬件组成

### 2.1. PXI 仪器介绍

如图 1 所示，PXI 板卡型仪器是一种集成化的测量仪器。传统的台式仪器拥有体积大、不灵活的缺点，无法灵活适应变化的测量场景。PXI 仪器内部可以通过拆卸更换测量所需要的仪器，并且内置了一台用于编程和控制整个仪器机箱内所有仪器的嵌入式电脑。配合标准化的编程接口，测试人员可以很方便地在仪器上进行测试和编程的工作。



Figure 1. PXI board card type instruments

图 1. PXI 板卡型仪器机箱

## 2.2. 硬件连接

PXI 机箱内集成了矢量网络分析仪、频谱仪、信号源、微波矩阵开关以及控制电脑，外部接入 USB 功率计，仪器的接口之间通过微波传输线(图 2)与微波矩阵开关进行连接，如图 3 所示，当需要测量的特性改变时不需要再重新将微波传输线在不同的仪器间进行组装，只需要根据表 1 在软件内控制开关矩阵就可以改变仪器与被测器件之间的连接方式。



Figure 2. Board card type controller and switch  
图 2. 板卡型嵌入式控制电脑与矩阵开关

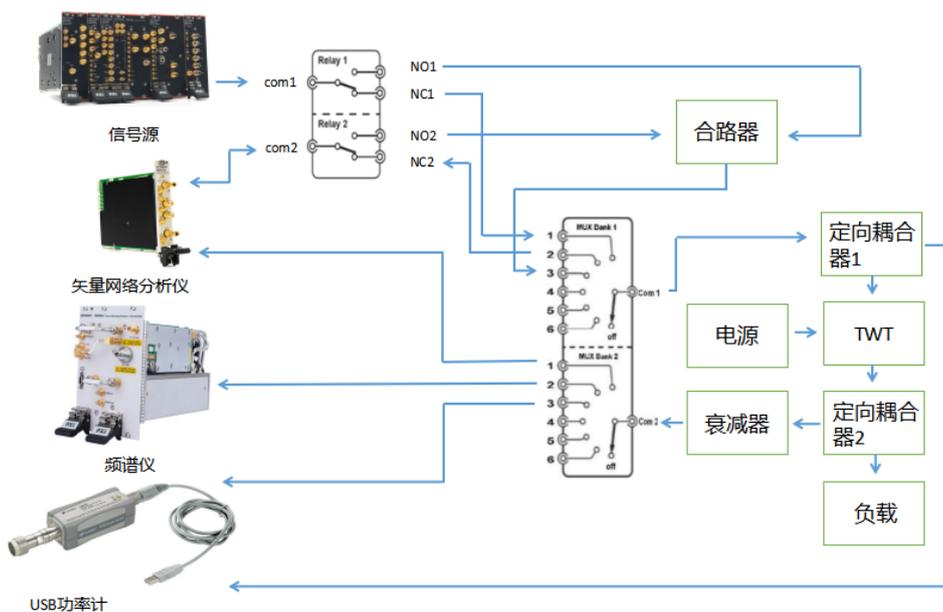


Figure 3. The connection state of the system  
图 3. 行波管自动测试系统仪器和开关矩阵连接方式图

Table 1. The connection state when testing different characteristics  
表 1. 测试不同的行波管特性时仪器与开关矩阵的连接情况

序号	测量项目	所需接通仪器	开关切换情况
1	饱和特性、输入输出特性	信号源 功率计	Relay1: Com1 接通 NC1 Relay2: Com2 不工作 MUX Bank1: Com1 接通 1 MUX Bank2: Com2 接通 3

Continued

2	谐波特性、杂波特性	信号源 频谱仪	Relay1: Com1 接通 NC1 Relay2: Com2 不工作 MUX Bank1: Com1 接通 1 MUX Bank2: Com2 接通 2
3	噪声系数	信号源(接入但无 信号发射) 频谱仪	Relay1: Com1 接通 NC1 Relay2: Com2 不工作 MUX Bank1: Com1 接通 1 MUX Bank2: Com2 接通 2
4	群时延、群时延随输入功率变化、带内增益波动、带外增益、相移特性、相移波动、AM/PM 转换系数、饱和增益与小信号增益交替扫描	矢网端口 1、2	Relay1: Com1 不工作 Relay2: Com2 接通 NC2 MUX Bank1: Com1 接通 2 MUX Bank2: Com2 接通 1
5	三阶互调比	信号源 矢网端口 1 (充当一个信号源) 频谱仪	Relay1: Com1 接通 NO1 Relay2: Com2 接通 NO2 MUX Bank1: Com1 接通 3 MUX Bank2: Com2 接通 2

### 3. 自动化测量系统软件部分介绍

#### 3.1. LabVIEW 以及标配仪器的标准化编程 VISA 接口

LabVIEW 是由 NI (National Instruments)公司推出的一个图形化的编程语言,其图形化的编程方式以及完善的配套编程接口和驱动适用于编写自动化测量的软件。VISA 全称 Virtual Instrument Software Architecture,即虚拟仪器软件结构,是一种驻留在计算机内部用于程控仪器的软件标准和规范的统称,用于提供标准函数库对仪器进行程控[4]。本文介绍的自动化测量系统的软件部分运用该接口对仪器发送 SCPI 命令。

#### 3.2. 软件界面介绍

全电参数行波管自动化测量系统的软件可以测量的行波管特性包括饱和特性、输入输出特性、谐波特性、增益波动特性、群时延特性、非线性相移特性、三阶互调比特性、噪声特性以及冷驻波特性,图 4 为软件工程管理界面。



Figure 4. TWT automatic measurement system engineering interface  
图 4. 行波管自动化测试系统工程管理界面

以三阶互调特性的软件界面为例，软件的测量界面如图 5 所示。在测量系统的界面内可以对仪器以及根据行波管具体测试要求对测量参数进行设置(如图 6 所示为三阶互调比的频谱设置界面)。

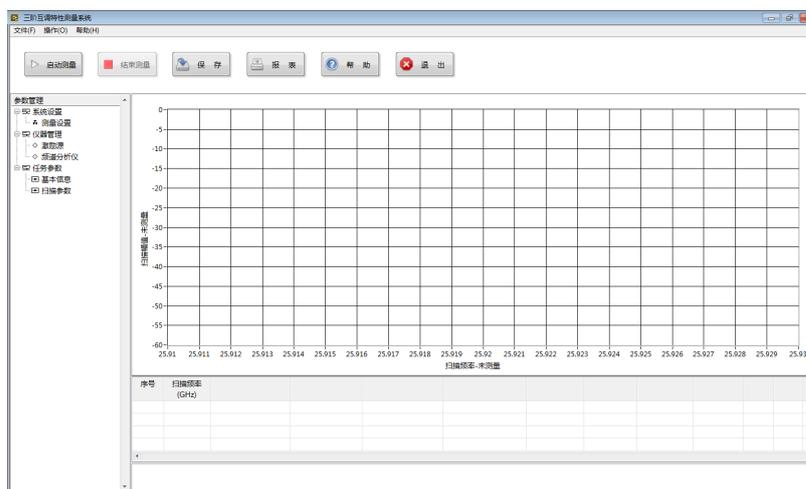


Figure 5. The operation interface of the system (third order intermodulation)  
图 5. 测量系统的操作界面(三阶互调比)



Figure 6. Setting for the third order intermodulation  
图 6. 三阶互调比测量特性测量设置界面

### 3.3. 软件代码框架介绍

软件的代码部分采用了队列的方式进行编程，部分代码如图 7 至图 8 所示。代码可以分为用户操作队列、界面队列以及测量队列，每个部分负责不同的功能，并可以向其他队列传达消息。用户操作队列负责检测用户的操作，界面队列负责软件界面上测量曲线的绘制以及坐标轴的调整，测量队列负责与仪器进行连接并程控仪器。

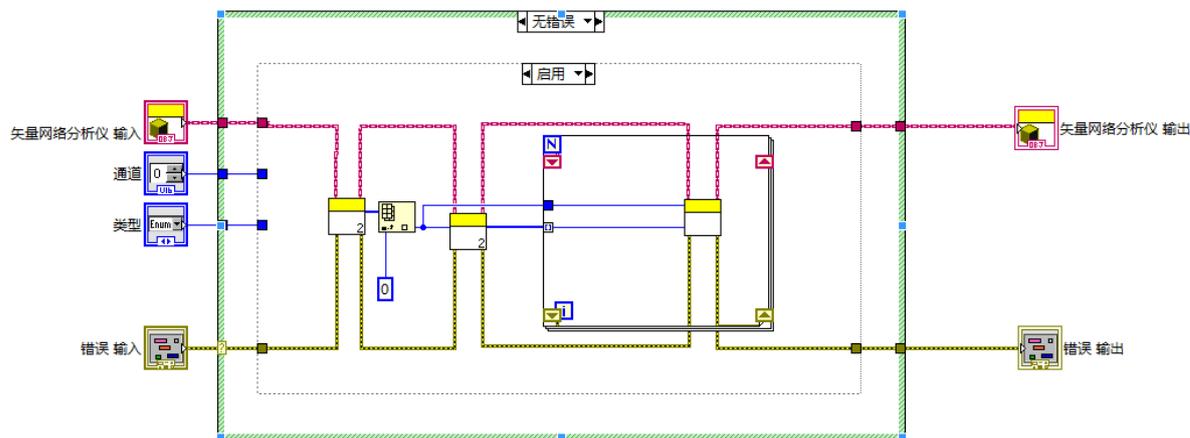


Figure 7. Programming code for the system  
图 7. 测量队列内部分代码

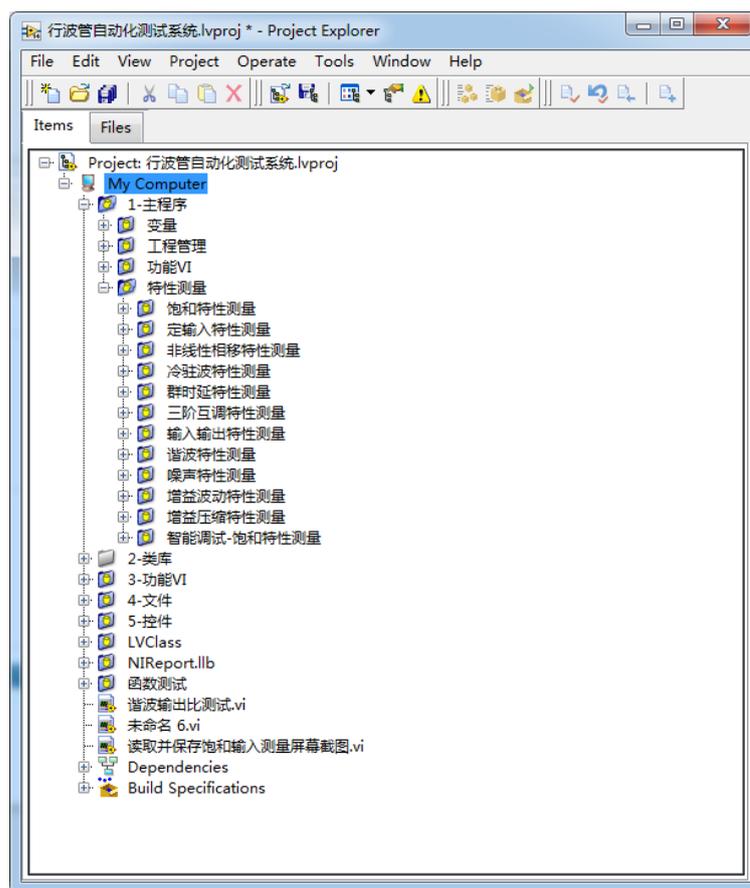


Figure 8. The project management interface of the program  
图 8. 行波管自动化测试系统代码项目管理界面

#### 4. 总结

一套完善的自动测试系统能够用来对被测设备、被测单元等进行自动化的测量和测试评估。自动测试系统在电子制造业、无线通信、航空、航天、雷达等民用及军用各个工程领域都发挥着重要作用。全

---

电参数行波管自动化测试系统弥补了传统行波管手动测量方式中不完美的部分，通过自动化测试技术提高了行波管自动化测量的效率，同时也提高了行波管的研发效率。

### 基金项目

国家自然科学基金资助，61921002。

### 参考文献

- [1] 廖复疆. 大功率微波真空电子学技术进展[J]. 电子学报, 2006(3): 513-516.
- [2] Liu, Y.W., Tian, H., Han, Y., Xu, Z.Y. and Zhang, H.L. (2008) Temperature Variation of a Thermionic Cathode during Electron Emission. *Science in China (Series E: Technological Sciences)*, **9**, 1497-1501.
- [3] Menninger, W.L., Robbins, N.R., Dibb, D.R. and Lewis, D.E. (2007) Power Flexible Ka-Band Traveling Wave Tube Amplifiers of up to 250-W RF for Space Communications. *IEEE Transactions on Electron Devices*, **54**, 181-187. <https://doi.org/10.1109/TED.2006.888721>
- [4] 李镇远, 冯进军, 梁友焕. 行波管中的微波测量技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2013.