

# 基于 VBA 的射频网络分析仪自动校准系统

张思翼

(同济大学 信息与通信工程系, 上海 200092)

**摘要:** 目前, 我国多数企业对网络分析仪的校准工作仍以手工操作为主, 针对这一情况, 以射频网络分析仪 E5070B 为平台, 设计了一种基于 VBA 开发环境的自动校准系统; 该系统采用二端口全校准作为校准方式, 通过可编程仪器标准命令实现了网络分析仪校准的自动控制, 特别是内置虚拟仪器技术的使用使得仪器的响应速度和校准精度都有了明显提高, 企业试用结果显示, 由于其所特有的易用性和高效性, 因而该系统的开发具有一定的理论意义和实用价值。

**关键词:** 射频网络分析仪; VBA; 二端口全校准; 可编程仪器标准命令

## Automatic Calibration System for RF Network Analyzer Based on VBA

Zhang Siyi

(Department of Information & Communication Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** Calibration of network analyzer is conducted by hands in most domestic enterprises. An automatic calibration system is developed on the base of VBA (Visual Basic for Application) in E5070B, a new type of RF network analyzer. Full 2—port calibration is used in the system. Automatic control of the calibration for the RF network analyzer is achieved through SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments) programming. Above all, the application of internal virtual instrument technology has greatly increased the response speed and calibration accuracy. The system, with its excellent applicability and effectiveness, can be regarded as a reference for practice and theoretical study.

**Key words:** RF network analyzer; visual basic for application; full 2—port calibration; standard commands for programmable instruments

### 0 引言

一般而言, 一个理想的网络分析仪测量系统应具有较大的动态范围、良好的隔离度、方向性和频响特性, 且没有阻抗失配和信号泄漏, 这样才能保证测量结果的准确性。因此, 一般在对器件正式测量之前要对网络分析仪作必要的校准<sup>[1]</sup>工作。

目前, 多数企业对网络分析仪的校准工作仍以手工操作为主, 主要通过网络分析仪前面板上的按钮来进行各种校准。显然, 这种方式效率较低, 没有发挥出仪器所应有的自动化功能。因此, 迫切需要开发出一种具有易用性和高效性的自动校准系统。本文以射频网络分析仪 E5070B 为平台, 详细探讨了基于 VBA (Visual Basic for Application)<sup>[2]</sup>的二端口自动校准系统的开发途径, 以期提高企业的工作效率和仪器的自动化控制程度。

### 1 误差分析和二端口全校准

一般来说, 测量系统可能包含三种类型的测量误差, 即漂移误差 (主要由热膨胀和热漂移所致)、随机误差 (如仪器噪声误差等) 和系统误差。其中, 系统误差能通过仪器校准得以消除。系统误差是由测试仪器的不完善所引起的, 若这些误差不随时间改变, 则它们可以通过校准来确定, 且可以在测量过程中用数学处理方式加以消除。网络分析仪的系统误差主要与信号泄漏、信号反射和仪器内接收机的频率响应有关。系统误差通常分为六种类型, 如表 1 所示。

表 1 系统误差的类型

相关因素	误差类型
信号泄漏	方向性误差隔离误差 (串扰误差)
信号反射	源匹配误差负载阻抗匹配误差
仪器内接收机频率响应	反射轨迹误差传输轨迹误差

E5070B 网络分析仪提供几种不同的校准方法, 其中包括频率响应和隔离度校准、增强型频率响应校准、单端口校准、二端口全校准、TRL 校准以及电子校准等<sup>[3]</sup>。由于在实际的操作过程中, 通常要测量器件的所有 S 参数 (即  $S_{11}$ 、 $S_{12}$ 、 $S_{21}$  和  $S_{22}$ ), 因此使用最多的校准方法是二端口全校准。该方法所使用的校准件包括开路器 (Open)、短路器 (Short)、匹配负载 (Load) 以及直通校准件 (Thru)。二端口全校准为两端口部件的传输和反射测量提供了正、反向信道中方向性、源匹配、负载匹配、隔离度和频率响应的矢量误差修正。因此, 该校准方法为两端口部件的传输和反射测量提供了最佳的幅度、相位测量精度。另外, 这种校准方法精度高, 且产生操作误差的几率较小, 因此得到广泛应用。测试系统的二端口全校准误差信号流图模型 (正向信道) 如图 1 所示。

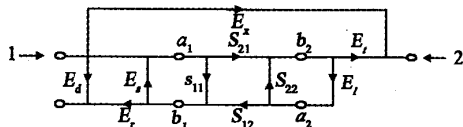


图 1 二端口全校准误差信号流图模型

其中,  $a_1$  和  $b_1$  分别为 1 端口的归一化入射功率和反射功率,  $a_2$  和  $b_2$  分别为 2 端口的归一化入射功率和反射功率。 $E_d$  为

收稿日期:2006-04-24; 修回日期:2006-05-29。

**作者简介:** 张思翼(1982-), 男, 上海人, 硕士, 主要从事仪器自动化控制以及虚拟仪器技术等研究。

方向性误差,  $E_r$  为源匹配误差,  $E_s$  为反射轨迹误差,  $E_t$  为传输轨迹误差,  $E_e$  为串扰误差,  $E_l$  为阻抗负载匹配误差。

## 2 自动校准系统的开发环境与软件设计

E5070B 与以往的网络分析仪相比最大的不同之处在于其内置的 Windows 操作系统以及基于该平台之上的 VBA 编程环境。本文以 VBA 为主要开发工具, 利用可编程仪器标准命令 SCPI 实现了基于二端口全校准的自动校准系统。整个软件系统采用 Windows 的通用图形界面, 提供多种信息提示和错误处理机制, 并具有良好的开放性和可扩充性, 为将来系统的修补和升级提供方便。

### 2.1 基于内置 VBA 的软件开发环境

传统的自动化测试主要利用虚拟仪器技术<sup>[4]</sup>实现对仪器的控制, 即外部 PC 通过 GPIB 数据线对仪器发送命令, 从而实现仪器的自动化控制。该控制方式的主要缺点是仪器响应外部 PC 的速度较慢, 且需要配置数据线, 因而导致测试系统硬件成本的上升。E5070B 内置 Windows 2000 Professional 操作系统, 而 VBA 是建立在该操作系统之上的开发环境, 利用可编程仪器标准命令 SCPI 在其中进行编程, 从而达到直接控制仪器的目的。因此, 这种内置的虚拟仪器技术使仪器的响应速度明显加快, 而且硬件的成本也有所下降。

### 2.2 自动校准系统的软件架构

本系统的开发按照经典软件开发流程<sup>[5]</sup>, 在设计阶段主要完成需求分析、概要设计和详细设计的任务。其中, 软件需求分析完成后应形成相应的系统数据流图, 这是软件系统的原始模型。本系统的 0 层数据流图如图 2 所示。

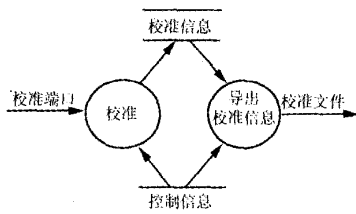


图 2 自动校准系统 0 层数据流图

图中包含了两个加工, 即“校准”和“导出校准信息”。“校准”加工通过接收“校准端口”数据流决定所要校准的两个端口 (E5070B 通常有 3 至 4 个测量端口), 对这两个端口进行二端口全校准, 并生成相应的校准信息 (在 E5070B 内部)。“导出校准信息”加工提取仪器内部的校准信息后生成校准文件, 该文件中包含各个校准系数, 包括方向性系数、源匹配系数、负载匹配系数、反射轨迹系数和传输轨迹系数。“控制信息”用来控制系统的当前操作 (校准或导出校准信息), 该数据存储可通过一个仅包含“0”或“1”的文件来处理, 以通知系统当前应执行的程序段 (校准程序段或导出校准信息程序段)。

在概要设计阶段, 应将整个系统划分成功能不同的子模块, 并确定各个模块之间的调用关系。自动校准系统中的子模块主要包括 Open 校准模块、Short 校准模块、Load 校准模块和 Thru 校准模块, 这些子模块包含了二端口全校准的所有操作。各个模块的调用情况如图 3 (a) 所示。

图中, 自动校准系统本身也作为一个子模块处理, 这样做的目的是为以后建立完整的自动测试系统做准备, 有利于整个

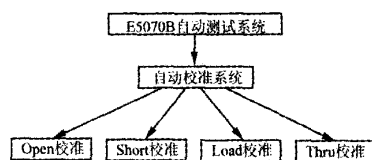


图 3 (a) E5070B 自动校准系统模块结构图

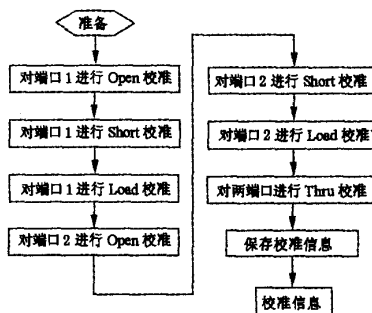


图 3 (b) 二端口全校准流程图

系统功能的扩充。

根据一般的校准过程, 通常先测两个端口的 Open、Short 和 Load 校准数据, 最后测 Thru 校准数据。整个二端口全校准的流程图如图 3 (b) 所示。

应当注意, 在各条校准命令之间应使用对话框来做提示, 一方面引导测试人员下一步的操作, 另一方面则使测试人员有足够的时间更换校准件; 另外, 在某个校准命令之后应使用“SCPI, IEEE4882, OPC” SCPI 命令来等待某个校准数据测量完成, 否则校准命令之后的语句有被丢失的危险。

### 2.3 自动校准实例

以下就一次自动校准实例来说明二端口全校准对 E5070B 性能的改善。按照用户手册, 校准后仪器应达到的技术指标<sup>[6]</sup>如表 2 所示。

表 2 E5070B 在二端口全校准后的性能指标

校准系数	300MHz~3GHz
方向性系数	49 dB
源匹配系数	41 dB
负载匹配系数	49 dB
反射轨迹系数	±0.011 dB
传输轨迹系数	±0.016 dB

使用一套精密校准件 (通常 Open、Short 和 Load 三种校准件会组装在一起, 而 Thru 校准件则单独分开) 对仪器进行二端口全校准后, 得到了如表 3 所示的一组数据。

表 3 二端口全校准测量结果

校准系数	300MHz~3GHz	
	正向	反向
方向性系数	52 dB	50 dB
源匹配系数	44 dB	43 dB
负载匹配系数	52 dB	53 dB
反射轨迹系数	0.00 dB	0.01 dB
传输轨迹系数	0.01 dB	0.01 dB

(下转 1656 页)



## 微波射频测试仪器使用操作培训

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,推出多套微波射频以及天线设计培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

易迪拓培训课程列表: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/129.html>

### 微波射频测量仪器操作培训课程合集



搞硬件、做射频,不会仪器操作怎么行!对于射频工程师和硬件工程师来说,日常电路设计调试工作中,经常需要使用各种测试仪器测量各种电信号来发现问题、解决问题。因此,熟悉各种测量仪器原理,正确地使用这些测试仪器,是微波射频工程师和硬件工程师必须具备和掌握的工作技能,该套射频仪器操作培训课程合集就可以帮助您快速熟练掌握矢量网络分析仪、频谱仪、示波器等各种仪器的原理和使用操作...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rftest/vna/67.html>

### 矢量网络分析仪使用操作培训课程套装

矢量网络分析仪是最常用的测试仪器是射频工程师和天线设计工程师最常用的测试仪器;该套培训课程套装是国内最专业、实用和全面的矢量网络分析仪培训教程套装,包括安捷伦科技和罗德施瓦茨公司矢量网络分析仪的 5 套视频培训课程和一本矢网应用指南教材,能够帮助微波、射频工程师快速地熟练掌握矢量网络分析仪使用操作...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rftest/vna/34.html>



### 示波器使用操作培训课程套装



示波器是硬件和射频工程师几乎在每天的工作中都会用到仪器,因此掌握示波器的原理并能够正确使用示波器是所有从事电子硬件电路设计和调试的工程师必须具备的最基本的技能。本站推出的示波器视频培训课程套装既有示波器的基本原理以及示波器性能参数对测量结果影响的讲解,也有安捷伦和泰克多种常用示波器的实际操作讲解,能够帮助您更加深入地理解手边常用的示波器从而更加正确地使用示波器...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rftest/osc/49.html>