

方能使用。

### 4 校准的环境条件控制

火花机使用场所往往在生产车间,为保证校准结果的准确可靠,建议在符合火花机校准环境条件的天气进行。在恶劣天气使用的火花机应采取措施保证其工作场所的环境温度,使用单位应加强对火花机的了解,学习调整火花试验机的灵敏度的方法,以保证产品质量。

1)校准火花机示值误差时应遵守的环境条件,温度: $20 \pm 15^{\circ}\text{C}$ ;湿度: $\leq 85\% \text{RH}$ ;

2)校准火花机示值误差时应遵守的工作电源条件,给火花机供电的电源应满足电压  $\text{AC}220\text{V}(1 \pm 10\%)$ ,频率  $50\text{Hz}(1 \pm 5\%)$ 。电网供电的,电源质量应不低于我国电网供电的有关要求;

3)校准火花机示值误差时应遵守的其他条件,外界电磁场影响而引起的扩展不确定度(包含因子  $k=2$ )不应超过火花机电压示值允许误差的  $1/10$ 。

### 5 结论

对火花机的校准是保证电线电缆产品质量稳定

可靠的一项重要工作。提出对火花机的校准项目、校准方法、所用标准设备及应注意的问题不仅对今后校准火花机有着积极的指导作用,而且对电线电缆生产厂家及审核员提供一个意识的推进,使我们的电线电缆产品的质量得到进一步的提升,使我们的检测技术人员的业务水平得到提高,对电线电缆行业产生积极的影响。

### 参考文献

- [1] GB 4793.1-1998,测量、控制和实验室用电气设备的安全要求. 北京:中国标准出版社,1998
- [2] GB/T 16927-1997,高电压试验技术. 北京:中国标准出版社,1997
- [3] GB/T 3048.9-1994,电线电缆电性能试验方法 绝缘线芯工频火花试验. 北京:中国标准出版社,1994
- [4] GB/T 3048.15-1992,电线电缆 绝缘线芯直流火花试验方法. 北京:中国标准出版社,1992
- [5] JB/T 4278.10-1993,橡皮塑料电线电缆仪器设备检定方法 火花试验机
- [6] 国家质量监督检验检疫总局. 耐电测试仪检定规程(JJG 795-2004). 北京:中国计量出版社,2004

## 网络分析仪自动校准系统与实现方法

赵品彰

(江苏省计量科学研究院,南京 210007)

**摘 要** 本文提出了用于网络分析仪校准的自动测试系统的实现方案,介绍了系统结构及软件开发思路,并给出了测试结果。

**关键词** 网络分析仪;校准;系统结构

### 0 引言

在射频和微波测试工作中,网络分析仪是必不可少的仪器,它能够提供大量有关被测试器件的信息,包括被测件的单端口阻抗、二端口网络参数(如散射参数)、幅度、相位和群延时响应等。现代的自动网络分析仪主要由以下几部分构成:激励源单元、信号分离单元、幅相接收机单元和显示/处理电路单元。凡是测量装置必存在系统误差,网络分析仪测量误差主要与信号泄露、信号发射和频率响应有关,

通过建立误差模型,我们可以用一套精确且已知特性的标准件来对网络分析仪测量系统进行误差修正,即“校准”,从而大大提高网络分析仪的测量精度。

鉴于网络分析仪的重要性和结构特点,如何对网络分析仪进行可靠、精确的校准,是一个非常值得研究的问题。工作中发现,网络分析仪的校准项目多,每个项目的测试点不少,而且测试参数的设置非常繁琐,从目前来看,传统的人工校准效率低、容易出错,很难满足现代计量的要求。为了解决这个问

题,我们开发了网络分析仪自动校准系统,本文将在下面着重介绍该系统的结构组成和自动测试程序的开发思路。

## 1 校准系统

根据 GJB/J 3608-99《自动网络分析仪检定规程》和 JJF(电子)30501-2007《网络分析仪校准规范》的要求,校准网络分析仪分为分项校准和整体校准两个部分。

分项校准包括:内部信号源频率准确度;内部信号源功率准确度;内部信号源频谱纯度;接收机扫速噪声;接收机本底噪声;测试端口的初始特性(包括源匹配、负载匹配和定向性)。

整体校准是校准网络分析仪系统经过误差修正之后的测量准确度,包括:传输幅值测量准确度;传输相位测量准确度;反射幅值测量准确度;反射相位测量准确度。

根据以上校准项目,选取合适的计量标准器,包括频率计、功率计、频谱分析仪、步进衰减器、检验件及必要的测试附件。

### 1.1 系统结构组成

校准系统的结构框图如图 1 所示。

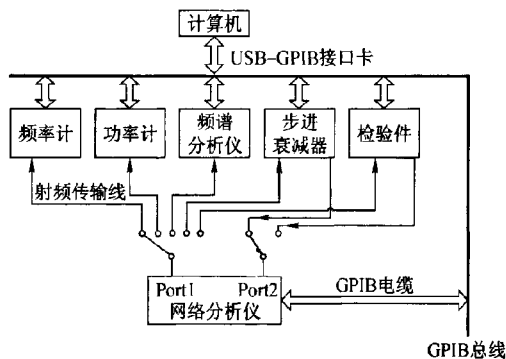


图 1 计量系统结构框图

该校准系统使用 32 位计算机作为控制设备,测量仪器通过各自的 GPIB 接口连接至 GPIB 总线。系统之所以采取 GPIB 总线,是由于 GPIB 的普及程度高,数据速率达到 1MByte/s,每条总线支持 15 个互连设备。NI 的 GPIB-USB 驱动卡使计算机能随时将工作设备连成网络,非常方便。仪表的读写访问采用最基本的 SCPI 指令,对于较新的仪表,可

以使用 VISA 语言,或是更高级的 VXIPlug&Play 语言。

系统连线完成后,运行安装在 PC 机中的测试软件,选择计量项目后点击“开始测试”,系统将自动完成每个项目的计量校准。

### 1.2 测试软件的设计

测试软件是整个校准系统的核心部分,考虑到开发的后续性和将来的功能扩展,软件使用 Microsoft Visual C++ 来进行开发。众所周知,C++ 语言是一种面向对象的开发语言,具有派生、继承、重载和多态性等特点,灵活,编程效率高;VC++ 功能强大,MFC 类库简化了开发过程,通过调用 API 函数,程序可以方便地访问 OFFICE 文档和各类数据库。

软件的界面简洁实用,涵盖了计量项目栏,测试数据栏,测试控制栏(开始/停止),测试结果和进度实时显示,每个计量项目的当前状态(合格/超差/暂停/也能实时反映。

程序的类结构包括对话框类、视图类、文档类和主控程序类,整个工程还需要链接厂商提供的库文件。对话框类、视图类、文档类用于设计用户接口(UI),主控程序类 CMeasureApp 封装了网络分析仪的计量特性,包括大量的自定义数据实体、测试函数和计算函数。基于该类可以派生出不同的子类,以适应不同规格的网络分析仪。

软件的工作流程如图 2 所示。

程序采用多线程模式,即用户接口线程和测试主控线程,运行时通过线程之间的相互通信来实现对测试流程的控制和数据反馈。

测试函数的编写是整个程序开发工作量最大的部分,由于系统包含了多台程控设备,开发人员需要熟悉大量的控制指令。另外由于每种仪器执行不同指令的响应时间各异,在书写指令时需要加上一定的延时,使计算机等待仪器完成某个操作后再执行下一条指令。图 3 中以使用频谱分析仪测量 E5071C 的频率为例,介绍了相应测试函数的程控指令。

测试结果以数据文件的形式保存至硬盘,校准完成后,可以自动生成 OFFICE 文档,非常的方便,节约了大量的人力,也减少了差错。

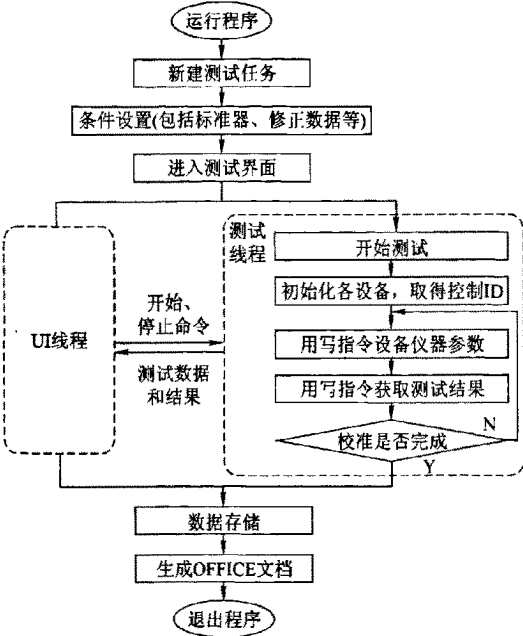


图2 软件工作流程

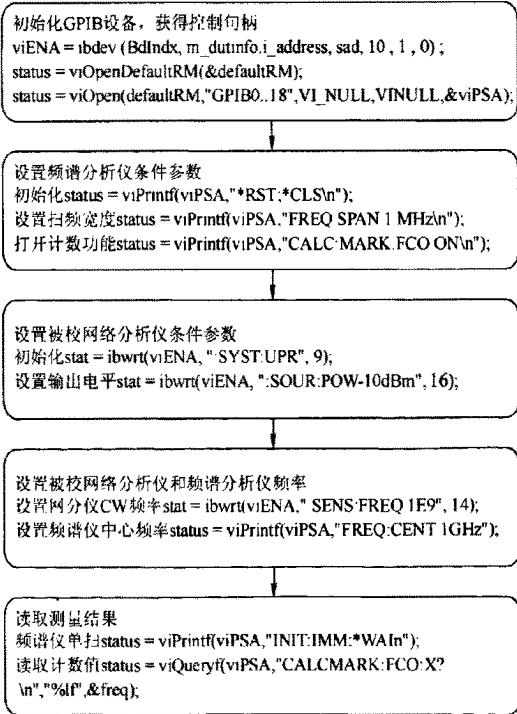


图3 源频率准确度测量的程控指令

2 自动测试可靠性验证

虽然系统实现了自动校准测试,但测试结果的可靠与否,是我们关心的一个重要问题。我们以E5071C的“20dB 传输幅度准确度”这一项目为例,将自动测试与手动测试的结果作了比较,数据见表1。

表1 手动测试与自动测试数据对比

项目	频率 (GHz)	标准参考 值(dB)	实测值(dB)	
			手动测试	自动测试
S12	0.5	19.97	19.97	19.97
	1	20.00	20.00	20.00
	2	20.02	20.01	20.01
	3	20.05	20.04	20.04
	4	20.08	20.05	20.06
	5	20.10	20.08	20.08
	6	20.12	20.08	20.08
	7	20.13	20.09	20.09
S21	0.5	19.97	19.97	19.97
	1	20.00	20.01	20.01
	2	20.02	20.01	20.01
	3	20.05	20.03	20.03
	4	20.08	20.05	20.05
	5	20.10	20.07	20.08
	6	20.11	20.08	20.08
	7	20.13	20.09	20.09
	8	20.10	20.10	20.10

数据显示,本校准系统自动测试的结果与手动测试结果的偏差很小,几乎可以忽略不计,从而证明本系统自动测试的结果足够可靠。

3 结语

实践证明,该系统使网络分析仪的校准过程更规范,更可靠,提高了工作效率,并且免去了证书录入和校对这一环节,减少了差错,提高了工作效率。

参考文献

[1] 赵科佳,刘明亮,高小珣,卢峰,朱江森,缪京元.基于NTN技术的宽带取样示波器自动校准系统.计量学报,2006,27(4)  
[2] 张海波,刘纛,周彤,黄海宇.基于LabVIEW的信号发生器自动校准系统.计量技术,2007(11)

## 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>