基于LabVIEW的40GHz~325GHz毫米波自动测试系统

40GHz to 325GHz Millimeter-wave Automatic Testing System based on LabVIEW Technology

作者：费联忠 SIMITH 集团子公司 Farran Technology 公司亚太地区业务拓展经理

就一体化测试与测量仪器设备供应而言，当前美国 Agilent 公司、德国 Rohde & Schwarz 公司以及日本 Anritsu 公司均可以提供毫米波 / 微波 / 射频、模拟 / 数字、电源等领域的各种功能的一体化测试与测量仪器设备。

就功率扩展与频率扩展设备而言，当前爱尔兰 Farran 公司、美国 Agilent 公司、VDI 公司、OML 公司、德国 Rohde & Schwarz 公司以及日本 Anritsu 公司均是基于波导扩频体制，根据美国电子工业联合会 (Electronic Industries Association, EIA) 划分的毫米波段波导频谱划分标准 (如表所示)，采用分频段的方式覆盖从 40GHz~325GHz(最高可以支持 1.1THz) 频段范围内的功率扩展与频率扩展设备。此外，由于 IEEE 相关组织暂时没有公开发布其余更高频段范围的相关标准，在大多数场合 RF 工程师们可以参考美国 VDI 公司内部波导规范。

表 美国电子工业联合会制定的毫米波段波导频谱划分标准

波段命名		频率范围/GHz	TE_{10} 模截止频率/GHz	内尺寸/mm	法兰命名
V	WR-15	50.5~75.0	39.9	3.759×1.880	UG-385/U
E	WR-12	60.0~90.0	48.4	3.099×1.549	UG-387/U
W	WR-10	75.0~110	59.0	2.540×1.270	UG-387/UM
F	WR-08	90.0~140	73.8	2.032×1.016	UG-387/UM
D	WR-06	110~170	90.8	1.651×0.826	UG-387/UM
G	WR-05	140~220	116	1.295×0.648	UG-387/UM
Y	WR-04	170-260	137	1.092×0.546	UG-387/UM
H/J	WR-03	220-330	174	0.864×0.432	UG-387/UM

就一体化测试与测量仪器设备测试功能方面而言，当前矢量网络分析仪可以实现功率参数 (例如 PAE、Load-Pull、OP1dB、Psat、Gain、OIP3、IMD 等)、散射参数 (例如大 / 小信号 S 参数、连续波 / 脉冲 S 参数、单端 / 平衡 / 混合模式 S 参数等)、时域 / 频域参数、噪声参数 (冷源法)、异频参数 (变频损耗 / 增益、矢量 / 标量混频参数等)；当前频谱分析仪已经逐渐被信号分析仪所取代实现频谱特性、噪声系数 (Y 因子法)、相位噪声、矢量信号分析、功率测试。

就工作频段范围而言，①当前矢量网络分析仪频率扩展设备最高可以支持 1.1THz 频段范围内的四端口网络散射参数测试；②当前受噪声源所限，噪声系数分析仪频率扩展设备最高仅支持 170GHz 频段范围内的噪声系数测试；③当前受功率传感器所限，功率传感器频率扩展设备最高仅支持 2THz 频段范围内 (可被美国国家标准技术研究所 <National Institute of Standards and Technology, NIST> 溯源的功率传感器仅支持到 110GHz) 的功率参数测试；④当前信号源分析仪频率扩展设备最高可以支持 110GHz 频段范围内的相位噪声分析仪测试；⑤当前连续波信号源功率扩展设备最高可以支持 1.9THz 频段范围内的连续波功率信号激励源 (通过机械可变衰减器实现的手动功率控制仅支持到 170GHz)；⑥当前频谱分析仪频率扩展设备最高可以支持 1.5THz 频段范围内的频谱特性的分析与测试。

就自动测试系统而言，当前应用最为广泛射频自动测试系统主要集中在大规模产

图 1. 外置电控调节可变衰减器。

图 2. 基于手动可变衰减器功率信号源扩展模块。

业化相对成熟的以手机 PA、RFIC、WIFI、MIMO 为代表的民用 / 商用移动通信领域，以及 RFID 为代表的物联网领域，而当前毫米波自动测试系统行业内还处于起步阶段。

现阶段技术挑战与解决方案

虽然当前常规的一体化测试与测量仪器设备在测试能力方面有显著提升，越来越多犹如一台(套)"万用表"，可以通过单次连接同时测量多个物理量，但是这样一台 (套) 选件 (Option) 全部配齐的一体化测试与测量仪器设备价格不菲，一般而言多数公司、企业以及高校、研究院所难以承受，因此测试工程师们常常将多台 (套) 常规一体化测试与测量设备 (甚至结合扩频体制的某些设备) 进行有效的组合构建测试平台，一个不可回避的挑战摆在每一个测试人员的面前：数据采集以及仪器设备控制，即测试策略选择。

数据采集以及仪器设备控制是每一个测试工程师在现场测试过程中经常遇到的问题，一般而言，常规的一体化测试与测量仪器设备是一台相对独立的装置，具备信号采集与控制、信号分析与处理、结果表达与输出等功能在一定程度上能够提供很高的内置程序上的自动化测量，但是上述这些功能都是通过硬件 (或固化的软件) 实现的，除此以外，在大多数场合单台 (套) 仪器设备在测量能力 (例如线性与非线性综合参数提取、分析与测试等) 与测量范围 (例如工作频率范围与输出功率范围等) 方面常常是固定不变的，而且不具备基于硬件的功能可扩展性，这就大大限制了常规一体化测试与测量仪器设备的使用范围，因此在较为复杂的应用场合或是所需测试物理量较多的情况下，使用起来非常不便而且不能很好的满足实际的测试需求。

在测试策略 (1) 中测试工程师们不辞辛劳，通过目测、手动操作多台 (套) 仪器设备、手动记录当前测试数据，随后对所记录测试数据进行数据处理，最终将上述处理结果表达为用户需要的各种参数的最终测试曲线。

在测试策略 (2) 中测试工程师们利用数据采集卡和仪器设备本身提供的模拟量输出端口，对输出的模拟量进行采集并进行相应的后续处理。

在测试策略 (3) 中测试工程师们利用仪器设备本身的编程接口对仪器设备进行编程控制，通过多台 (套) 仪器设备扩展单台 (套) 仪器设备测量能力与测量范围，引入校准方法实现通过单次连接实现多个物理量的同时测量。

测试策略 (1) 代表最为传统的测试策略，在所述测试过程除了测试与测量设备自身的随机误差以外，还充斥着一个对测试结果的不确定性造成深远影响因素—人为不确定性因素。相对而言，测试策略 (2) 与 (3) 避免了传统的测试策略 (1) 中所涉及到的由于人为不确定性因素给最终测试结果造成的不确定性。同时测试策略 (3) 相对于测试策略 (2) 不需添加额外的硬件从而使得测试系统变得简单、方便，而且成本更为低廉。

NI LabVIEW 自 1986 年推出后便成为行业领袖，现今，数以百万的工程师和科学家可以使用 NI LabVIEW 来构建他们的测试、测量与控制系统。NI LabVIEW 作为领先的图形化系统设计软件，拥有直观的图形表达方式和硬件无缝集成的能力，借助丰富函数及相关模块工具包，便于控制并采集 (不需要额外的数据采集卡) 来自任意总线的各类仪器设备的数据，提升效率的同时拓展应用范围，更好地实现对多台 (套) 仪器设备进行自动化测量、在采集数据时予以分析、创建自定义报告，极大地扩展了原有单台 (套) 仪器设备的测量能力与测量范围。避免因学习如何对特定设备进行测量而耗费时间。借助 NI LabVIEW，测试工程师能将更多的注意力集中于分析数据，而不是如何去获取数据这个过程。

在过去的几年里，在我们的视野中出现 / 消失过许多仪器设备控制总线技术——它们有不同的总线速度、延迟、物理接口、电缆和价位。但是，GPIB(General Purpose Interface Bus) 却一直是仪器设备与各种控制器 (最常见的是计算机) 之间的一种标准接口，是当前几乎所有的商用微波 / 毫米波仪器设备标配接口，而且在未来的几年中，它还将被继续用于测试和测量系统中。

GPIB 控制接口是一种 8 位数字并行通讯接口，其数据传输速度为 1Mbyte/s。GPIB 设备分为听者 (Listeners)、说者 (Talkers) 和控制器 (Controllers)。说者负责发出消息 (数据或命令)，听者负责接收消息 (数据或命令)，控制器 (通常是一台计

算机）负责管理总线上的消息，并指定通讯连接和发送 GPIB 命令到指定的仪器设备。有些 GPIB 仪器设备在不同的时候可以扮演不同角色，有时充当说者，有时充当听者，有时又作为控制器。开发基于 GPIB 总线的虚拟仪器一般需如下硬件：计算机、带有 GPIB 接口的测试仪器设备、GPIB 接口卡和 GPIB 连接电缆。测试仪器的类型及数量取决于实际的测试要求，仪器设备本身还要有与之配套的传感器。GPIB 接口卡主要用于将仪器设备与计算机相连，各 GPIB 接口之间用 GPIB 连接电缆连接。

GPIB 作为一种易于使用的、久经考验的仪器设备控制接口，它的优势在于：

- 超过 5000 种可选的 GPIB 仪器设备；
- 与其它仪器设备接口的软件兼容性（由 NI-VISA 和 SCPI 提供）；
- 久经考验的易用性，并且为人所熟悉；
- 低延迟性能（低于 100μs，优于 LXI 和 USB）；
- 高带宽性能（使用 IEEE 488 可高达 1.8 MB/s，使用 HS488 可高达 8 MB/s）；
- 十分坚固的电缆和接口；
- 使用光纤和以太网扩展器进行长距离远程控制；
- 通过一个接口可以将多个 GPIB 仪器设备连接在一起，同时完成多种不同物理量的测量。GPIB 的基地址共有 31 个，为了获得较高的数据传输速度，连接仪器设备一般超过 15 个，对于普通的测量这已经足够了。

典型应用案例

毫米波端口自动功率控制

当前一体化毫米波连续波信号源，例如 Agilent 公司的 PSG E8257D 可以支持从 250kHz 到 67GHz 输出端口功率自动控制，但是在 67GHz 以上当前无法实现毫米波端口自动功率控制，常规的解决方案分为以下几种：

- 基于手动可变衰减器实现更高频段范围内输出端口功率控制，由于基于手动调谐，衰减精度（功率粗调应用）与衰减范围（通常为 25dB）均非常有限。
- 基于电控可变衰减器实现更高频段范围内输出端口功率控制，由于基于电控调谐，工作频段 (110GHz 以内)、衰减精度（功率粗调应用）与衰减范围（通常为 15dB）均非常有限。
- 当前有一种基于外置电控可变衰减器实现更高频段范围内高动态范围输出端口功率控制，由于基于电控调谐，工作频段 (170GHz 以内)、衰减精度 (1dB/2.5%@W 波段) 与衰减范围（通常为 50dB）均非常有限。
- 基于 NI LabVIEW 的 40GHz-325GHz 功率信号源扩展模块输出端口功率自动控制技术，①基于手动可变衰减器调谐，工作频段 (325GHz 以内)、衰减精度（功率粗调应用）与衰减范围（通常为 25dB）；②基于 NI LabVIEW 自动测试程序集，工作频段 (325GHz 以内)、衰减精度 (±0.5dB@75GHz-110GHz) 与衰减范围（通常为 20dB)。

通过 GPIB 仪器设备控制接口与 GPIB 电缆 (Agilent 10833A/B GPIB Cable)，采用星型组网方式实现 Agilent E8267D 矢量信号源、Agilent N1912A 功率计、Agilent W8486A 功率传感器通过 GPIB-USB 控制接口 (NI GPIB-USB-HS or Agilent 82357B USB/GPIB Interface High-Speed USB 2.0) 卡实现上述仪器设备与装载 NI LabVIEW 自动测试程序集的计算机相连。

毫米波谐波混频器变频损耗

毫米波 40GHz 以上谐波混频器变频损耗测试常常需要多次连接实现毫米波谐波混频器变频损耗测试，通过 NI LabVIEW 自动测试程序集与 GPIB 总线技术可以构建由多台（套）仪器设备组成的测试平台，通过单次连接实现变频损耗、频谱特性物理量的同时测量。

通过 GPIB 仪器设备控制接口与 GPIB 电缆 (Agilent 10833A/B GPIB Cable)，采用星型组网方式实现 Agilent E8267D 矢量信号源、Agilent N1912A 功率计、Agilent W8486A 功率传感器、Agilent N9030A 信号分析仪通过 GPIB-USB 控制接口 (NI GPIB-USB-HS or Agilent 82357B USB/GPIB Interface High-Speed USB 2.0) 卡实现上述仪器设备与装载 NI LabVIEW 自动测试程序集的计算机相连。■

上接第46页

用 GaN 发射功率链，全数字化内容将被传递到世界任何地方的任何多媒体显示功能设备上，而不会出现失真。GaN 电路将执行生物相容性无线电频率识别 (RFID)、监测及安全功能和先进传感器任务，同时以 1V 的一小部分运行，以年来衡量的电池寿命，而不是几小时或几天。■