

最新通用射频微波元器件测试平台

1 射频微波元器件发展及测试要求

射频微波元器件是一切无线电子装备、无线电子信息系统和武器装备无线控制系统的基础,直接影响系统的性能和功能。射频微波元器件是装备发展的基础,也是军民两用技术发展的重要支柱。随着无线系统技术的发展,射频微波元器件早已从分离元器件进入了高端集成化的新型元器件时代。新型电子元器件体现了当代和今后电子元器件向高频化、片式化、微型化、薄型化、低功耗、响应速率快、高分辨率、高精度、高功率、多功能、组件化、复合化、模块化和智能化等的发展趋势。

无论射频微波元器件功能与性能如何发展,都需要通过完整的测试来评估其各方面性能与功能,判断其是否满足设计指标的性能要求。通过测试一方面可验证设计正确性,另一方面也可利用测试的性能参数可以对设计的电路进行修正和优化。微波射频电路典型的性能指标包含线性传输反射特性参数,非线性指标,噪声性能,功耗等方面。通用仪表具备很高的测试精度和完整的测试能力。能完成对低噪声放大器,功率放大器,混频器,频率综合源,滤波器等典型射频微波元器件的参数进行测试分析。

射频微波元器件的测试指标繁多,下面图表简明扼要的列举了常见元器件类型以及测试指标:

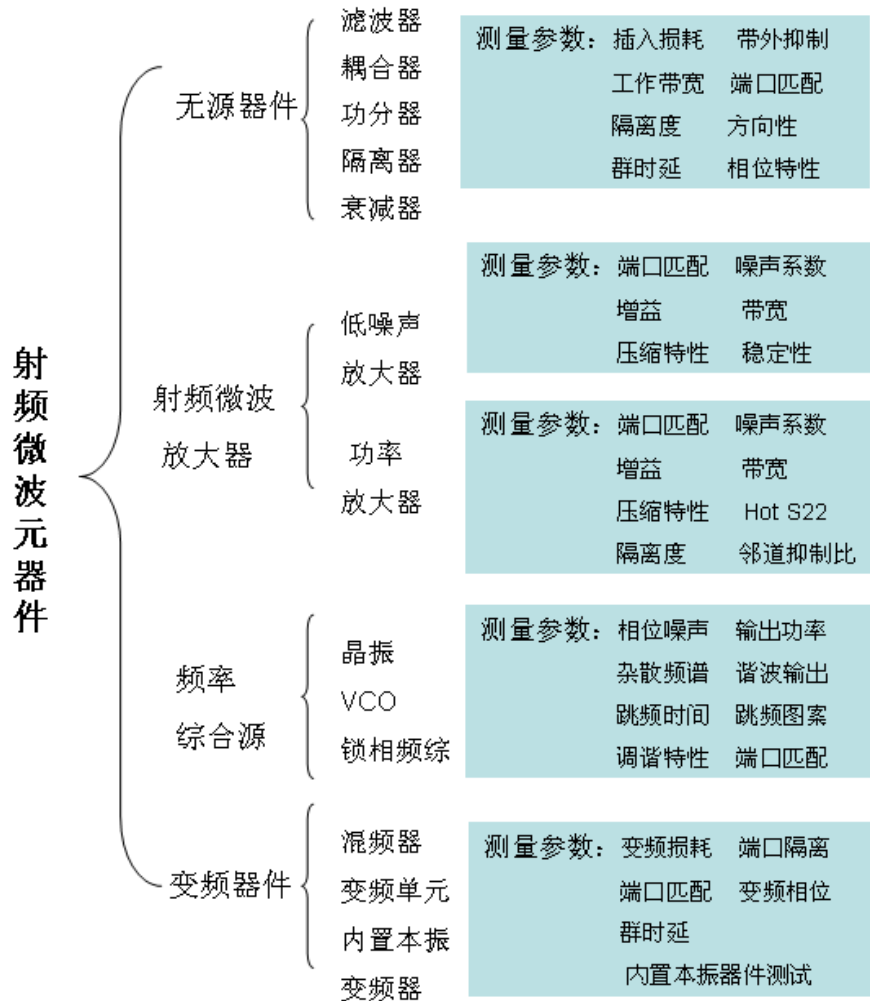


图 1: 元器件测试类型与指标

2 射频微波元器件测试技术方案

针对上述射频微波元器件测试的需求，下图列举了通用设备种类以及其对应常见测量项目：

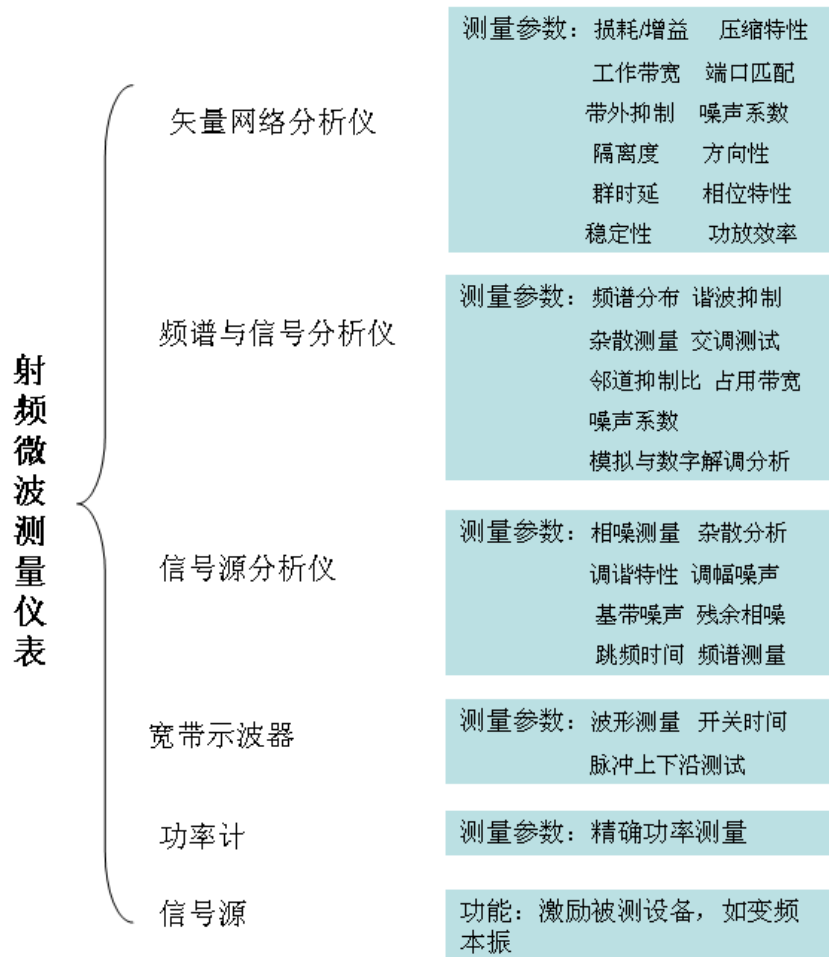


图 2：通用设备种类以及其对应常见测量项目

R&S 公司能提供上图中所有的通用测量设备，这些设备不仅能满足上图中所有的测试需求，也能提供一些独特的测试功能。下面按不同设备种类分别予以详解。

2.1 矢量网络分析仪 —— R&S ZNA

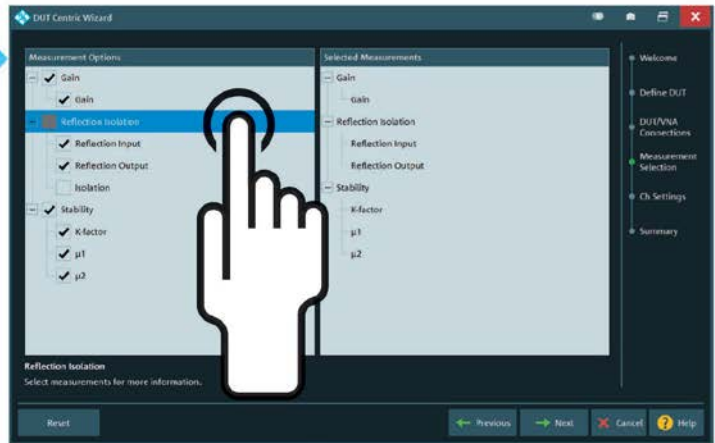
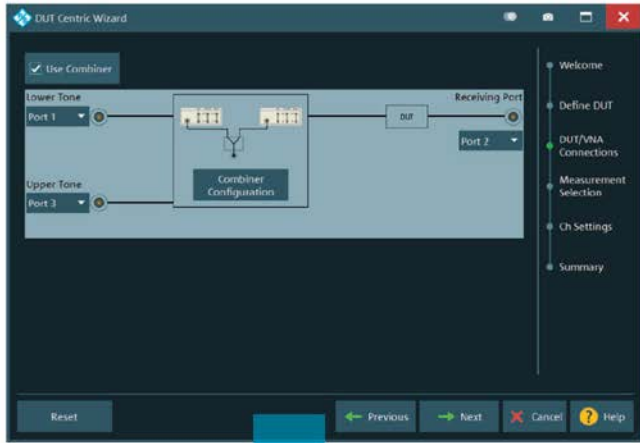


R&S ZNA 系列矢量网络分析仪是要求高性能、多用途的有源、无源器件和模块测量的理想选择，单台仪表可覆盖 10MHz-43GHz 频率范围，也可通过与 R&S ZCxxx 系列的毫米波频率扩展模块将测试频率扩展到 750GHz，此外支持多种功能如：支持混频器和变频器（线性和非线性）的标量和矢量测量、放大器和混频器交调测量，时域分析，脉冲 S 参数测量等功能。

ZVA 矢量网络分析仪主要参数

测量频率范围	10 MHz 到 26.5 或 43.5 GHz
与测量相关的端口	2 个或 4 个测量端口，激励源和接收机直接接入端口，中频测试信号接入端口
内置激励源	最多可配置 4 个相位相参的激励源，第二个本振信号源，内置脉冲信号源和脉冲调制器
动态范围	> 129 dB（规格值），最高 170 dB（典型值）
最大输出功率 功率扫描范围	+ 20 dBm（典型值） 100 dB（典型值）
底噪声 @ 1Hz IFBW	-110 dBm（标准配置，测量端口） -151 dBm（选件，测量信号直接接入测量接收机）
迹线噪声 @ 1kHz IFBW	幅度 < 0.001 dB RMS；相位 < 0.001° RMS
环境温度对测量结果的影响	< 0.01 dB/K（幅度）； < 0.1 °/K（相位）
与早期产品的兼容性	ZVA, ZVB, ZVT, ZNB

R&S ZNA 作为高端矢量网络分析除了可以进行高质量的 S 参数外，也提供了丰富的应用测量功能。



R&S®ZNA 以 DUT 为中心的操作方法

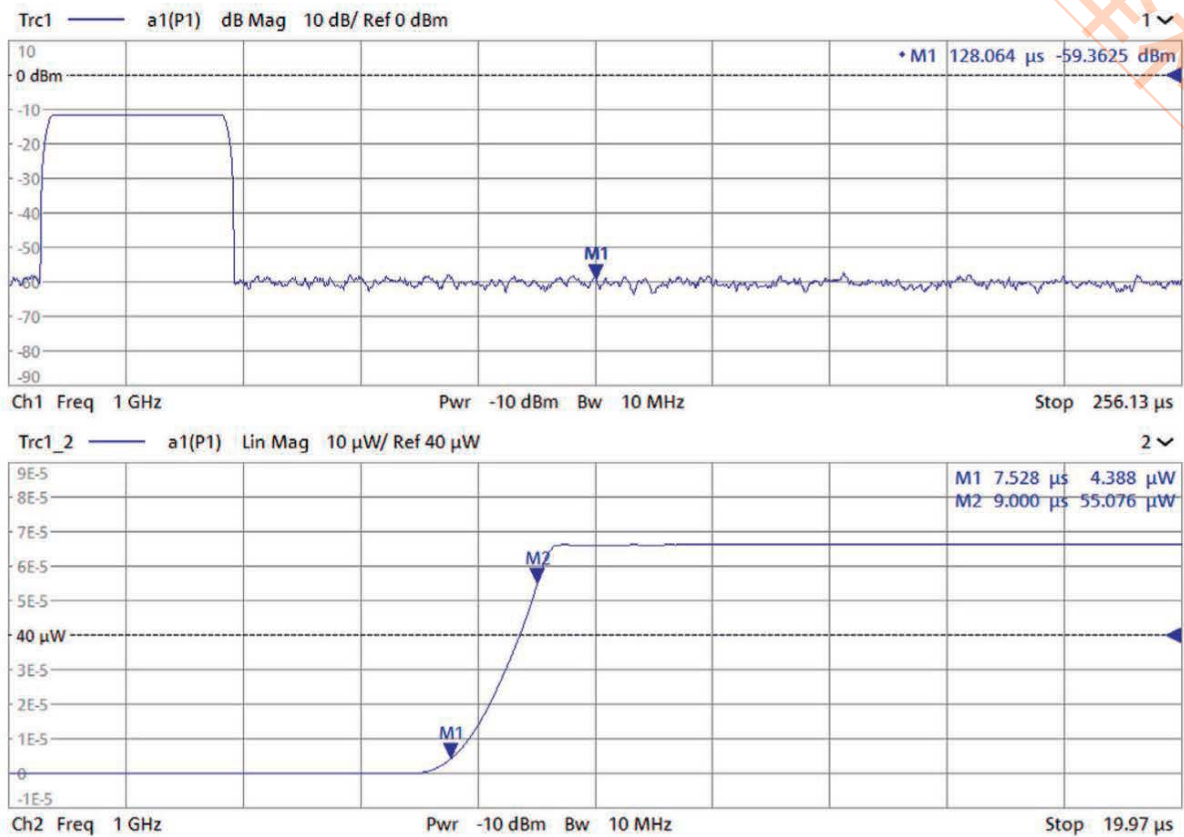
用户首先选择 DUT 的类型（例如混频器或放大器），然后逐步定义测试的设置状态、DUT 与网络分析仪的连接方式和要测量的参数。在按照操作人员的愿望快速生成的测试配置中，R&S®ZNA 会把所有需要测试的参数都考虑进去。操作人员可以为各种经常要测试的 DUT 建立一个库，每一次测试都可以立即从库中调出相同或类似的 DUT，节省配置测试状态所花的时间。

一、脉冲参数测量

R&S®ZNA 在内部配置了脉冲调制器、脉冲源和同步信号的 I/O 接口，用于测量有源器件工作在脉冲信号条件下的特性，这些器件包括雷达上的 T/R 组件和模块。不需要借助任何外部测试附件来产生射频脉冲信号、控制和同步测试顺序，R&S®ZNA 就可以完成对 DUT 在脉冲工作状态下的 S 参数、输入和输出功率、交调信号进行测量的任务。

1、内部脉冲调制器和脉冲源

R&S®ZNA 的每个端口都可配备一个脉冲调制器（选件 R&S®ZNAxx-B4n，n 代表端口编号）。脉冲调制器可通过外部脉冲源或四个内置脉冲源进行控制。内置脉冲源的信号可以从触发信号接口板的端口上输出，来控制外部脉冲调制器，这让 R&S®ZNA 可以与能产生非常窄的射频脉冲的特殊调制器集成在一起组成测试系统。



脉冲包络测量的结果（需要 R&S®ZNA-K7 选件）

R&S®ZNA 结构设计精良，在进行了系统误差校准之后，即使射频脉冲信号的占空比等参数发生了变化，DUT 脉冲参数在频域、时域的测量结果以及功率的测量结果仍然一样精确。

2、频率参数和功率参数的测量

R&S®ZNA 对 DUT 脉冲参数的测量结果符合用户常用的表述习惯，对 DUT 进行脉冲内选点的测量和测量 DUT 的脉冲包络特性。

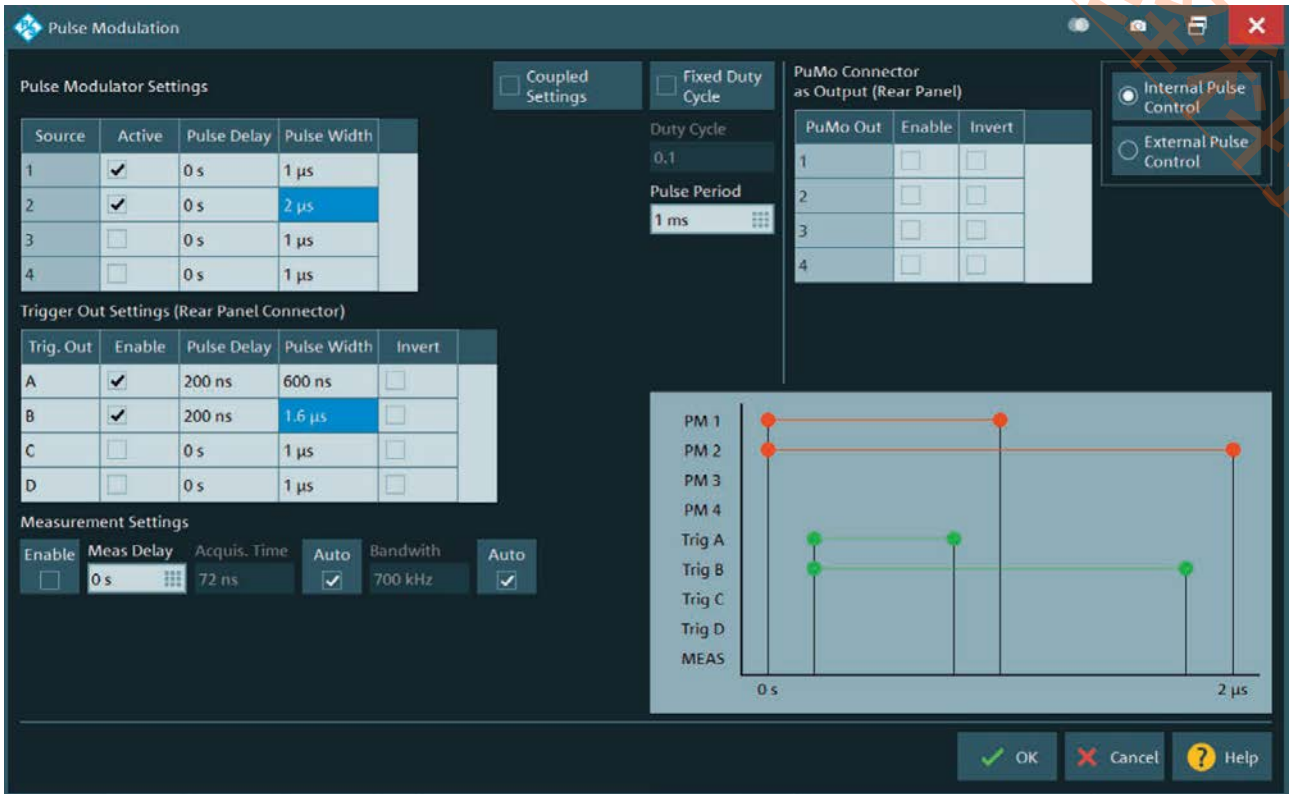
当进行平均脉冲测量而需要很窄的中频带宽时，R&S®ZNA 极窄的数字中频滤波器可以只选择载波信号的中心谱线进行测量。

3、脉冲内选点测量

当把 R&S®ZNA 的中频带宽设置到最高的 30 MHz 时，进行脉冲内选点测量的最窄脉冲宽度可以达到 32 ns。除了 S 参数之外，还可以在幅度和交调测量中测量绝对峰值功率。灵活的触发功能支持更复杂的脉冲参数测量场景，还便于在各种测量系统中保持不同测量硬件和软件的同步工作。

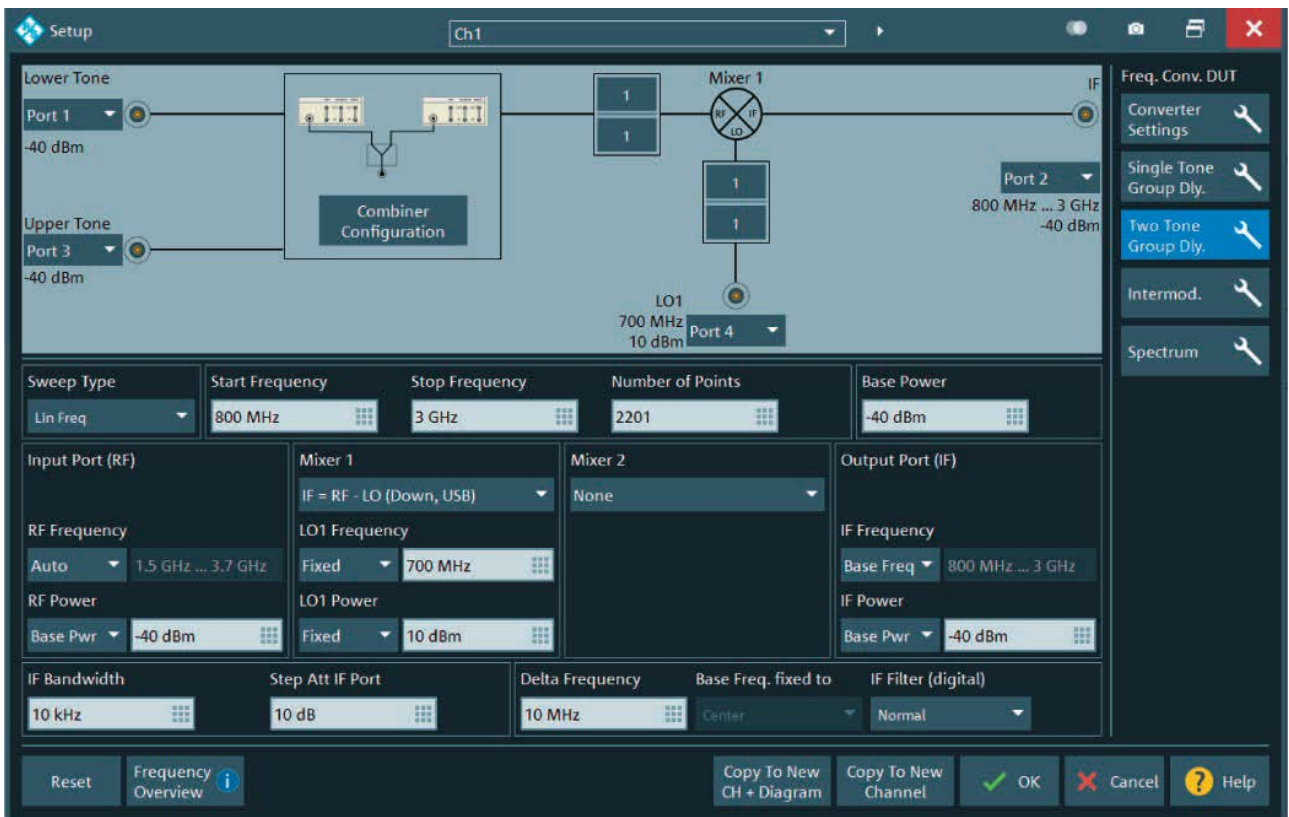
4、脉冲包络时域分析，脉冲宽度分辨率为 8 ns

在安装了 R&S®ZNA-K7 选件之后，R&S®ZNA 在进行脉冲包络测量时的脉冲宽度分辨率可以达到 8 ns，这项技术适用于周期性、非周期性和单个脉冲的测试场景。



用于射频脉冲信号测量的参数配置界面

二、混频器测量



以 DUT 为中心的混频器测量设置界面

1、四个内置激励源和两个内置本振信号源，加快了测试方法的设置过程，缩短了测试所用时间

R&S®ZNA 四端口型号最多配有四个内置激励源。与在测试中要使用外部信号源的方法相比，测量混频器在扫描本振信号条件下的参数特性、测量混频器交调失真的频率响应特性的速度要快十倍以上。

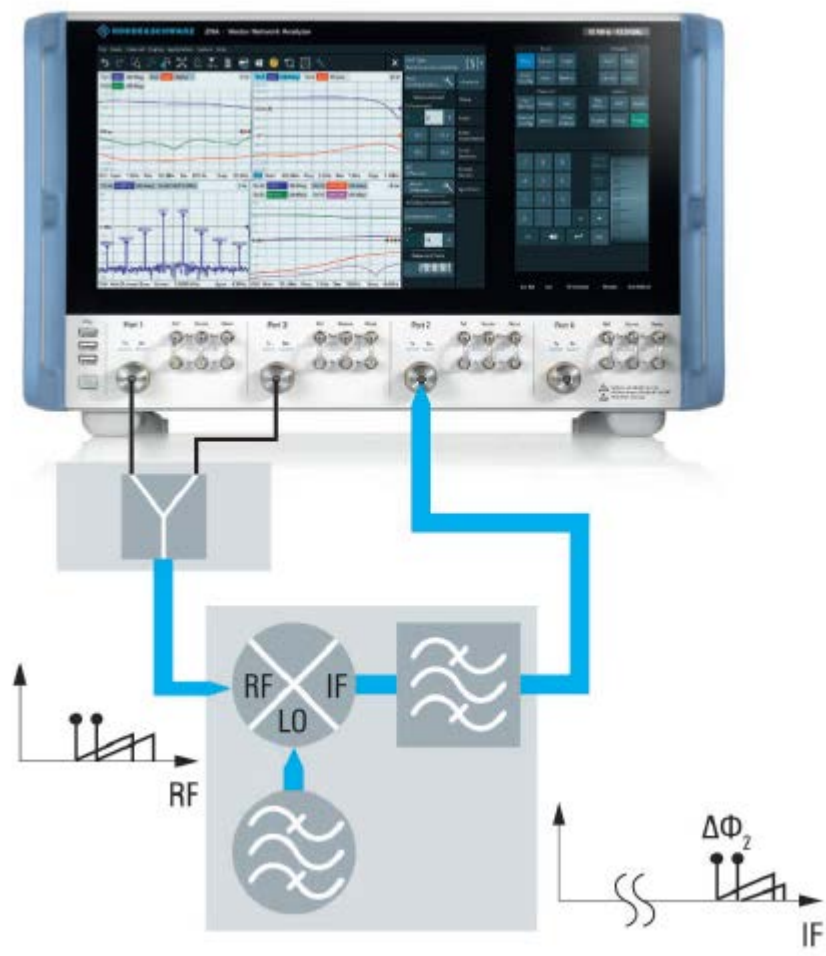
以往使用网络分析仪测量混频器变频损耗的常用方法需要两个测量步骤：首先测量 DUT 输入端口射频信号的功率，然后再测量 DUT 输出端口中频信号的功率。当 R&S®ZNA 内部有了两个相参的本振信号源之后，测量射频信号功率的接收机和测量中频信号功率的接收机可以使用不同的本振信号，实现同时对射频和中频信号的功率进行测量。这种方法的测量速度比市场上任何其它网络分析仪的测量速度快两倍，同时变频损耗和群时延测量结果的迹线噪声也降低了。

2、R&S®SMARTerCal 校准方法精度更高，操作更容易

R&S®ZNA 的 SMARTerCal 是一种把两端口矢量校准和功率校准结合在一起的特殊校准技术，它可以直接精确地校准被测混频器和网络分析仪测量端口之间的失配状态，而不需要为改善匹配状态在被测混频器和网络分析仪的测量端口之间增加衰减器。使用 R&S®SMARTerCal 校准技术测量混频器和变频器的回波损耗、标量变频损耗的结果会非常精确。



测量混频器相位参数特性



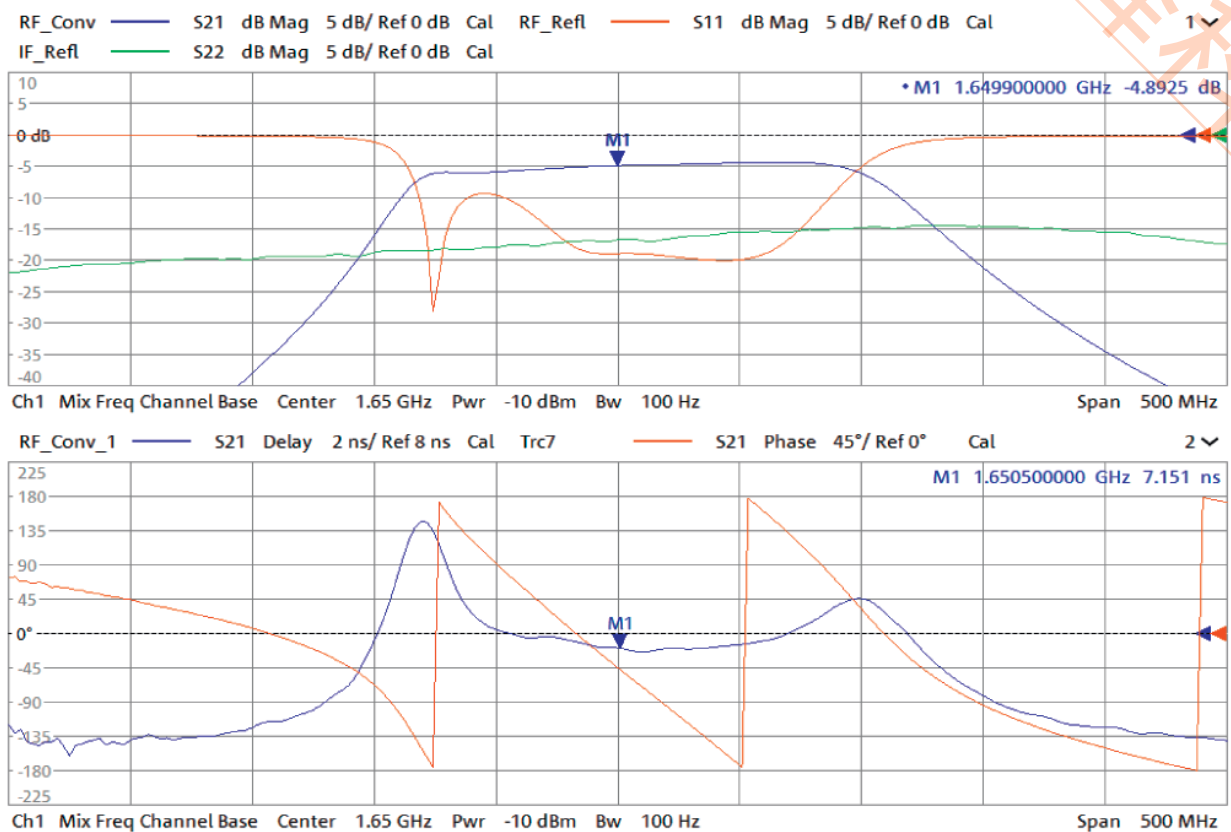
使用双音法测量混频器和变频器的群时延

3、测量嵌入式本振变频器件的相位参数和群时延的独特方法

R&S®ZNA 使用特殊的技术方法测量嵌入式本振（或没有基准信号接口的）变频器件的群时延和相对相位。这种方法用双音信号激励 DUT，根据两个输入载波信号的相位差和两个输出载波信号的相位差计算出 DUT 的群时延和相对相位。这种方法还有另外的好处，只要载波信号的频率偏差值小于测量接收机的中频带宽，DUT 内本振信号频率的漂移和频率调制效应就不会影响测量结果的精度。

4、使用矢量误差校准技术测量变频器件的相对相位

在无线通信中，为了保证顺利、无失真、无中断地传送信息，所有接收机系统都要有平坦的幅度和相位的频率响应特性。R&S®ZNA-K5 选件使 R&S®ZNA 能精确地测量带本振信号端口的混频器和变频器传输参数的幅度和相位。这种测量方法结合了 R&S®ZNA 内部相位相参而且每次扫描开始时相位都一致的频综与双端口 UOSM（未知开路、短路、匹配）校准的好处，测量本身并不需要用参考混频器进行频率逆变来得到中频参考信号，只需要一个校准混频器（如 R&S®ZN-ZM292）在校准过程中当作未知直通校准件使用。R&S®ZNA-K5 选件让测量变频器件的工作变得非常容易，测量速度很快，精确测量变频器的四个经过系统误差修正的 S 参数的幅度和相位，以及群时延、调幅/调幅（AM/AM）转换、调幅/调相（AM/PM）转换。



变频器的测量结果，包括回波损耗、变频损耗、相位和群延迟

三、毫米波测量

1、频率扩展到太赫兹范围

毫米波和太赫兹的频率范围现在已经用在移动通信、汽车、安防、半导体和基础研究等诸多领域中。在 77 GHz/79 GHz 的汽车雷达、5G 频段的移动通信以及高达和超过 100 GHz 的雷达和传感器等的应用中，均需要在毫米波频段表征滤波器、放大器、混频器和天线等有源和无源组件的特性。

R&S®ZCxxx 毫米波扩频器将 R&S®ZNA 频率范围扩展至 750 GHz。许多应用，特别是表征半导体芯片上元件的特性和天线测量的应用，均需要扩频器输出较高功率的信号，以克服 DUT、波导、探针、传输路径因工作在毫米波频率而引起对信号的过大损耗。

罗德与施瓦茨的毫米波扩频器产品的普遍特点是输出功率高和动态范围大，是在毫米波频段测量有源和无源 DUT 的理想选择。

R&S®ZCxxx 毫米波扩频器的特性

- I 高输出功率和宽动态范围
- I 通过简单直观的界面轻松进行系统配置
- I 多端口测量，最多配置四个扩频器，无需使用外部信号源
- I 可变输出功率（手动调节和/或通过改变输入功率控制输出功率）
- I 测量放大器的特性、功率扫描、压缩点测量

- | 脉冲参数测量
- | 用于扩频器所有频段的波导校准套件（带或不带滑动匹配负载）
- | 长时间稳定性和温度稳定性高



用 R&S®ZNA43 和两个 R&S®ZC330 毫米波扩频器 WM-864 进行毫米波测量的设置状态

2.2 频谱与信号分析仪 —— R&S FSW



R&S FSW 高端信号与频谱分析仪，除可以进行信号的频谱分析外也可对宽带数字信号进行解调分析，R&S FSW 主要功能有：

可测量发射机输出信号的频谱分布，如信道功率、信道带宽，带外发射门限、谐波发射，交调进行测量。

可与噪声源配合进行接收机以及增益模块的噪声系数与增益测量。

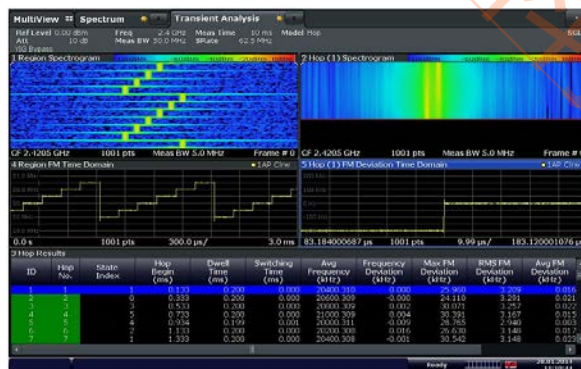
自身具备良好的相位噪声特性，可自动测量高质量信号的相位噪声曲线。

脉冲解调分析的功能可完成对各类脉冲调制如：线性调频、Barker 及其他相位编码雷达信

号的测试，也可具备脉冲统计分析工具，可对最大 10 万个脉冲波形进行统计分析，分析的参数包括脉冲上升时间、下降时间、重复周期以及脉冲幅度、频率、相位变化等。



图：R&S FSW 脉冲分析功能



图：R&S FSW 跳频信号分析功能

瞬态分析功能，能够实现对跳频信号、线性调频信号等瞬态调频信号的自动测量，如跳频时间、持续时间、平均频率、频率误差、功率等。瞬态分析可用于跳频信号的跳频图案测量、线性调频信号的线性度测量。瞬态分析选项可以让使用者灵活的选取分析区间，从而可以有效避免干扰信号。

解调各种数字调制信号，并对调制质量进行分析，如星座图，眼图等。

MultiView 功能可同时显示频域、时域与调制域以及各种测试应用测量，各种测试结果一目了然，无需在各种模式间切换，极大提高测试效率

多标准无线测试技术，可同时分析多个载波上的多种调制信号，了解各个载波间的串扰情况。最大可配备 2GHz 解调带宽，对宽带跳频与 OFDM 信号进行信号分析。

可配备 5GHz 带宽模拟中频输出与示波器先结合可实现超宽带信号分析。

2.3 相位噪声分析仪和 VCO 测试仪—— R&S FSWP

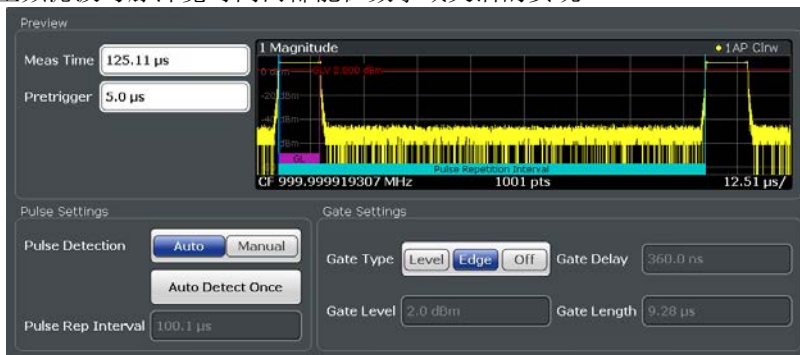


R&S FSWP 相位噪声分析仪和 VCO 测试仪结合极低噪声内部源和互相关技术，实现了相位噪声测量的超高灵敏度。因此，即便测量高度稳定的源（例如在雷达应用中的源）也只需几秒钟。脉冲信号测量、附加相位噪声（包括脉冲）特性描述以及集成化高端信号和频谱分析等附加选项使此分析仪成为一台无与伦比的测试仪器。

R&S FSWP 采用全新的数字相位与幅度解调的方法进行相位噪声与调幅噪声的并行测量，无需传统锁相鉴相法所需的复杂的环路控制与环路参数校准，可提供更多测试功能，更快的测量速度与更低的测试灵敏度。其内置低噪声参考本振源，可测量大部分市售的频率合成器和振荡器，无需任何附加选项。针对高端应用，R&S FSWP 可配置第二接收通道使用互相关测量法增加灵敏度（最高增加 25 dB，取决于互相关次数）。得益于极佳的内部源和基本数字化的架构，此分析仪的测试速度快于对鉴相器输出信号进行数字化的测试系统：



在国防航空领域，脉冲信号的相位噪声测试一直以来都是一个测试挑战。传统的测试方法，测试所需外围附件众多，如脉冲同步，重频滤波器等，且根据不同的测试脉冲波形，需要重新配置外围附件与重新校准。而 R&S FSWP 所具备的全数字化的结构，无需任何的外围附件，使用连续波测试相同的硬件框架就可进行脉冲信号的相位噪声测量。测试所需的同步、重频滤波与脉冲宽时间门都能在数字域灵活的实现。



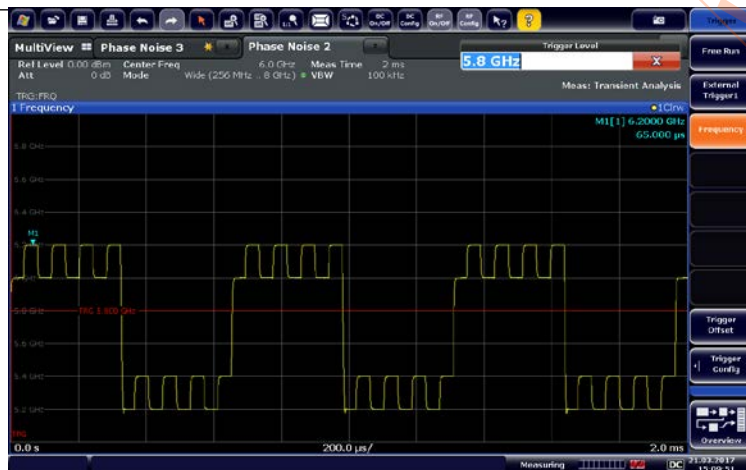
图：脉冲信号数字自动识别

随着系统性能与功能不断提高与丰富，系统对部件的要求也越来越高。传统意义上，系统对相位噪声的测试要求主要针对各类频率源，但是随着技术要求的提高，对于两端器件如放大器等器件的附加相位噪声的测试需求也逐渐增多，如脉冲功放链路的附加相位噪声测试。针对附件相位噪声测试，传统的测试仪表需要配合外置的激励源、功分与移相器才能进行，而全新的 R&S FSWP 内置激励源与功分等附件无需任何外部器件就可进行附加相位噪声甚至是脉冲附加噪声的测试。

R&S FSWP 内置直流调谐电压输出、供电电压与辅助电压输出各一路，供电端口输出最大电流 2A，调谐端口电压调谐范围：-10V 至 28V，能方便的实现 VCO 的各种调谐特性的测量：



针对客户关于频综源频率稳定时间，跳频速度等测试需求，R&S FSWP 可以实现对 256MHz – 8GHz（7.74GHz 频率跨度）频率范围内任意跳频信号分析能显示频率、相位随时间变化曲线，方便客户进行上述测量：



R&S FSWP 全系列标配了标准频谱仪功能，可以实现频谱仪所有频谱测量功能如进行杂散、谐波测量。

2.4 宽带示波器—— R&S RTP

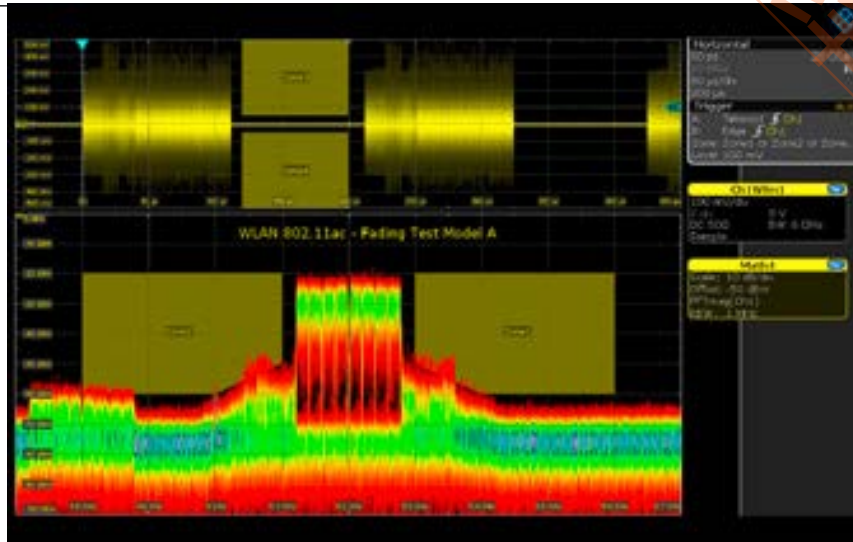


R&S®RTP 高性能示波器将一流的信号完整性与出色的波形捕获率相结合。罗德与施瓦茨精心设计的前端组件使示波器平台可从 4 GHz 扩展至 16GHz。专用波形捕获与处理的 ASIC 芯片以及高精度的数字触发系统使其具备业内领先的 75 万波形/秒的波形捕获率。



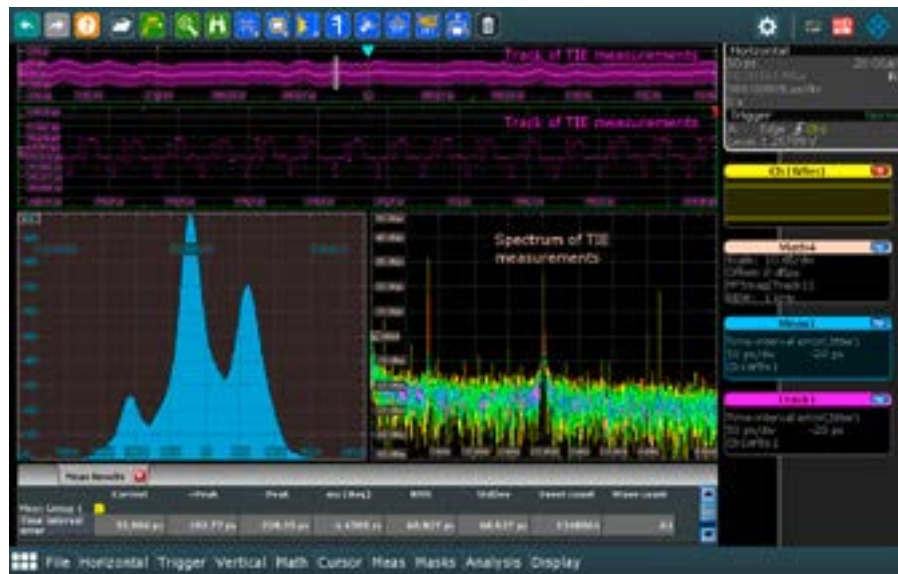
高波形捕获率可以快速检测偶发性信号故障

R&S®RTP 是全球首款能够在维持高捕获率的同时补偿信号插损的示波器。用户可以根据 S 参数来配置基于硬件的补偿滤波器。R&S®RTP 甚至可以针对去嵌信号进行触发。



使用区域触发在衰落条件下触发 WLAN IEEE 802.11ac 信号

R&S®RTP 示波器具备多种抖动分析功能。用户可以执行自动化抖动测量，例如周期间抖动和时间间隔误差 (TIE)。用户还可以借助轨迹、长期趋势和轨迹 FFT 等其他工具，进一步查看信号细节。例如，用户可以对周期间抖动测量轨迹进行 FFT 分析，从而确定频率干扰。



检测时钟信号的频率干扰：TIE 抖动跟踪；直方图和轨迹曲线 FFT 分析

2.5 功率计—— R&S NRX + NRP-Zxx



精确测量射频功率是电子测试与测量领域中最具挑战性的任务之一，NRX 功率计是研发、生产、维修及校准实验室等众多应用领域的理想工具。除了 NRX 基本单元外，还有许多可供各种测量的探头。复杂的数字调制信号（例如 WCDMA 和 WiMAX™ 等无线标准）的处理与连续波信号、模拟调制载波（例如 AM、FM）、脉冲信号一样容易。每个 NRP-Zxx 探头都是一件独立的测试仪器，可直接通过 USB 操作。无论何种型号，测量前都无需校准，因为校准数据在出厂前已经直接存储在探头内。

R&S NRP-Z 系列中的功率探头 R&S NRP-Z85 基于最新的功率测量技术，它具备了传统峰值功率计的所有测量功能，尺寸非常紧凑，与其他 R&S NRP-Z 系列中的功率探头探头一样，其可连接功率计主机 NRX 或通过 USB 接口直接与 PC 机连接后可以进行高精度的功率测量。除平均功率测量外，R&S NRP-Z85 也可进行时域功率测量，它的分析带宽高达 30MHz（探头上升时间 < 13ns），非常适合脉冲信号时域分析。另外，R&S NRP-Z85 也可以进行精确的平均值功率测量，功率电平范围为：-60dBm - +20dBm，频率范围：50MHz - 40GHz。

R&S Power Viewer 是一个使用便利的软件，提供了很多通用的测量功能，如连续平均功率、测量轨迹、统计数据等。可以同时将 4 个探头连接在同一台 PC 电脑的 USB 端口上，4 个不同的测量结果同时显示在软件界面上。

同时还支持各种触发功能（如内部出触发、外部触发、门限触发），确保了正确的测量结果。

2.6 微波信号源—— R&S SMA100B



R&S SMA100B 微波信号信号发生器是一款一流的、最新技术微波信号发生器，它开创了微波信号发生器的新标准。它覆盖研发、生产、服务、维护和维修众多领域的应用。SMA100B 的频段范围宽大，通过特定配置可达到 8 kHz 至 67 GHz（可超频至 72 GHz）。除了连续波信号外，还可生成所有常见类型的模拟调制(AM, FM, ϕ M, 脉冲调制) 或组合。SMA100B 信号发生器还提供现代图形用户界面，以帮助快速、直观的完成操作。

最大频段范围 8 kHz 至 3/6/12.75/20/31.8/40/50/67 GHz

出色的单边带相位噪声，典型值 -132 dBc (10 GHz 时载波偏置 10 kHz)

输出功率非常高，+30 dBm

可选配参数更佳的脉冲调制器：> 80 dB 开关闭，< 10 ns

上升/下降时间，< 20 ns 脉冲宽度

可选配脉冲发生器

精确功率测量时，NRP-Zxx 功率探头的连接器

连接 NRP-Zxx 功率探头时，可用于标量网络分析

通过 GPIB、以太网或 USB 进行远程控制

2.7 LCR 表—— R&S HM8118



内置精密电桥进行精确的阻抗分析，无论是低阻抗范围还是高阻抗范围，R&S HM8118 均能提供极快的测量速度和出色的测量性能，是元件和材料的常规研发测试及制造过程测试的理想工具。R&S HM8118 支持各种测试附件，适用于多种应用，这些附件可使元件测量变得简单而可靠。

基本准确度：0.05%

测量功能：L, C, R, |Z|, X, |Y|, G, B, D, Q, θ , Δ , M, N

测量频率：20Hz~200kHz

测量速度：最高可达 12 次/秒

3 配置信息

仪表型号	主要功能与性能	备注
ZNA 矢量网络分析仪 选件： B16+B21+B32+K4+K5+K7+K9+K17	1) 测试端口动态范围>135dB，使用直接接入动态范围>145dB 2) 可对放大器和变频器件进行谐波、压缩点、互调和Hot S22测量 3) 无需噪声源即可对放大器噪声系数进行测量 4) 变频器件幅度与绝对相位测量 5) 内置本振变频器件群时延测量 6) 脉冲时域包络测量拥有100dB开关比和高达30MHz的测量带宽，最小脉宽50nS	
FSW 信号与频谱分析仪 选件： B4+B24+B5000+B17+K6+K60 +K7+K70+K40	1) 相位噪声低至 - 136 dBc /Hz (10kHz offset f = 1GHz) 2) 总幅度测量不确定度仅有 0.4 dB 3) 最大5GHz解调带宽，对宽带脉冲与跳频信号进行完整分析 4) 脉冲分析功能软件K6，统计分析脉冲序列各项指标 5) 瞬态信号分析功能K60，自动分析跳频与线性调频信号 6) I/Q数据记录，I/Q内存可扩展到8 GB 7) 灵活的模拟和数字基带信号分析 8) 能够解调几乎所有的调制类型	
FSWP 相位噪声分析仪和VCO测试仪 选件： B1 + B4 + B24 + B60 + B61+ B64 + K4	1) 高灵敏度相位噪声与调幅噪声并行测量 2) VCO调谐特性全面测量 3) 内置DC源，方便VCO调谐特性，最大电流2000mA 4) 支持瞬态测量，测试频率稳定或跳变时间，最大频跨7.74GHz 5) 支持脉冲信号相位噪声测试 6) 内置频率输出至18GHz信号源，支持附加相位噪声测试 7) 含频谱仪全部频谱测量功能，方便全面衡量待测件	
RTP164 宽带示波器	1) 高达 16GHz 带宽 2) 最高波形捕获率：75 万个波形/ 秒	

选件： B110 + 2* RT-ZS60	3) 存储深度：1G samples /CH，双通道复用可达2G Sample 4) 通道隔离度： 60dB 5) 硬件实现FFT分析功能，可实现频谱模板触发 6) 实时去嵌入 7) TDR功能
-------------------------------------	---

仪表型号	主要功能与性能	备注
SMA100B 微波模拟信号源 选件： B167, B1H+B93+B711+B39+ K40+K22+K23+K27+K720	1) 最高输出频率67GHz 2) 典型输出功率20dBm (f = 10GHz) 3) 相位噪声小于 -128 dBc/Hz (f = 10GHz, offset 10kHz) 4) 可实现极窄脉冲输出，脉冲宽度50nS 脉冲关断比大于80dB 单脉冲，双脉冲，自定义脉冲序列输出能力 5) 支持各种模拟调制	
NPR-Z85 宽带峰值功率探头 选件： NRP-ZKU NRX	1) 80MHz的采样频率，实现12.5nS的时间分辨率 2) 支持交错采样实现100pS的周期脉冲上下沿测试 3) -60dBm 到 20 dBm 测量幅度范围 4) 可通过USB与电脑或R&S仪表互联，直接显示功率值 5) 免费软件NRP-Power viewer可实现脉冲参数自动测量	
R&S HM8118 LCR表 HO880 + HZ181	1) 测试频率范围： 20Hz~200kHz 2) 测试功能： L, C, R, Z , X, Y , G, B, D, Q, θ , Δ , M, N 3) 测试速度： 最高可达12次/秒	