UNI-T®

驱动频谱精准测量的关键“窄·锐·密”

分辨率带宽、选择性、扫描点数的核心要义

——优利德频谱分析仪性能实践

应用文档

驱动频谱精准测量的关键“窄·锐·密”

分辨率带宽、选择性、扫描点数的核心要义

频谱分析仪是工程师“洞察信号”的核心工具，其测量能力直接决定对信号特性的理解深度。实际应用中，工程师常面临三大难题：

- 如何从噪声中“揪出”微弱信号？
- 如何分清挤在一起的密集频谱？
- 如何实现高分辨扫描避免遗漏小信号？

本文聚焦**分辨率带宽（RBW）、选择性、扫描点数**三大核心参数，结合具体场景拆解信号洞察的关键逻辑。

01 窄：如何从噪声中“揪出”微弱信号？用“细筛子”从噪声中抓微弱信号

在无线射频电路中，常常需要测量一些微弱信号（如电路杂散、远距离通信信号），频谱分析仪测量低电平信号的能力受频谱仪内部产生的噪声限制，微弱信号常被噪声淹没，核心是通过缩小 RBW（分辨率带宽）降低本底噪声，就像用细筛子过滤沙子里的小石子。

分辨率带宽通常定义为频谱分析仪中频滤波器的-3dB 带宽，它的设置决定了频谱分析仪能够分辨的最小频率间隔，分辨带宽越窄，对邻近频率信号的分辨能力越强。

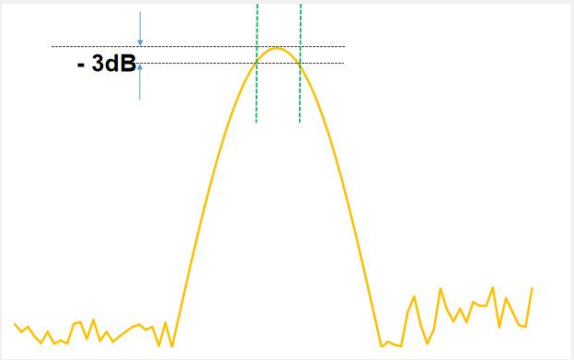


图 1：分辨率带宽定义

显示平均噪声电平也是影响检测微弱信号能力的关键指标之一，由显示平均噪声电平读取公式$DANL = DANL_r - 10\,log\,RBW/1Hz$，可看出 RBW 每缩小 10 倍，本底噪声电平降低 10dB，灵敏度对应提高 10dB。减小 RBW 可以对信号进行更精细的滤波，从而降低底噪，但注意这也会导致扫描时间增加，实际操作中需在“灵敏度”和“效率”间平衡。

下图为优利德 UTS3084A 信号分析仪在相同设置下，测量同一信号的 RBW 分别在 1kHz 和 100Hz 时的结果：

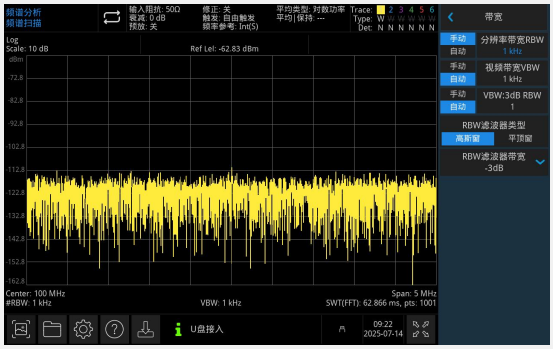


图 2：RBW=1kHz

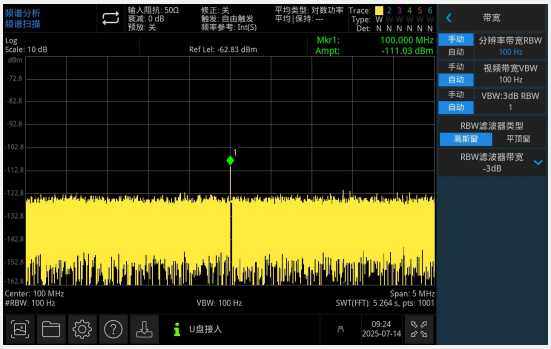


图 3：RBW=100Hz

当 RBW 为 1kHz 时，信号完全被本底噪声所淹没，将 RBW 调整为 100Hz 后，噪声电平降低了 10dB 至-122dBm 左右，微弱信号清晰显现，但同时扫描时间也增加了。

在实际测量中也可能需要分辨频率邻近的两个等幅信号，分辨率带宽必须小于或等于这两个信号的频率间隔，即 $\mathrm{RBW} \leq |f_{sig1} - f_{sig2}|$，此时两个等幅信号就可以被分辨出来。下图为$f_{sig1}$=100MHz，$f_{sig2}$=100.001MHz，幅度为-10dBm 的两个等幅信号在 RBW 为 3kHz 和 100Hz 下的测量结果：

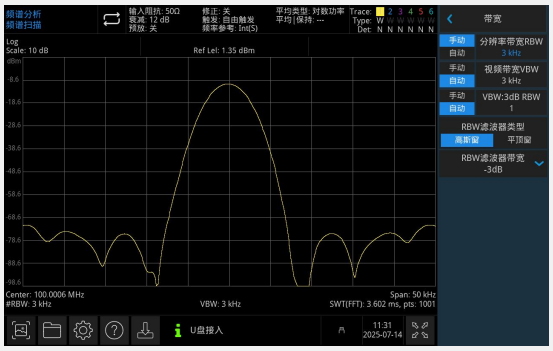


图 4：RBW=3kHz

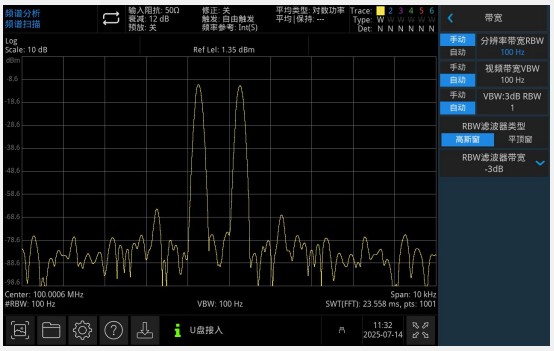


图 5：RBW=100Hz

以上两个等幅信号频率差$\left|f_{sig1} - f_{sig2}\right| = |100\mathrm{MHz} - 100.001\mathrm{MHz}| = 0.001MHz = 1kHz$，结合等幅信号分辨原则 $\mathrm{RBW} \leq \left|f_{sig1} - f_{sig2}\right|$，当 RBW 为 3kHz > 1kHz 时，如上图所示，此时只显示单一信号轨迹，无法分辨出这两个等幅信号，当 RBW 为 100Hz < 1kHz，可清晰直观分辨出这两个等幅信号。

02 锐：如何分清挤在一起的密集频谱？用“锋利刀”切开密集频谱

遇到多载波通信或雷达信号等密集频谱的场景，信号常挤成一团，此时就需要高选择性（也称形状因子 SF） 配合窄 RBW，像用锋利的刀切开贴在一起的纸张。**选择性**定义为频谱分析仪中频滤波器的-60dB 带宽与-3dB 带宽之比，即$SF = B_{-60dB}/B_{-3dB}$。-3dB 带宽（RBW）决定主瓣宽度（分辨率），-60dB 带宽决定边带陡峭度（抗邻频干扰能力）。选择性越小（越接近 1），滤波器边缘越陡峭，越能分辨频率邻近的强弱信号。而大选择性（例如 15:1），边缘较钝，容易把两个信号“切”成一团。

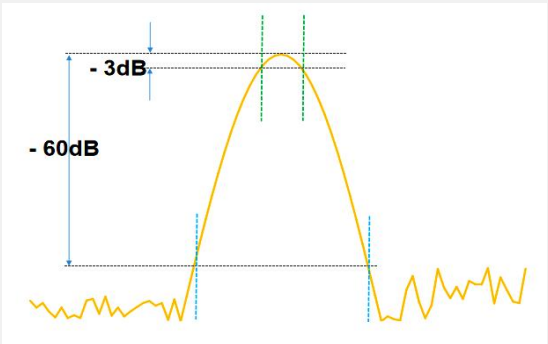


图 6：选择性定义

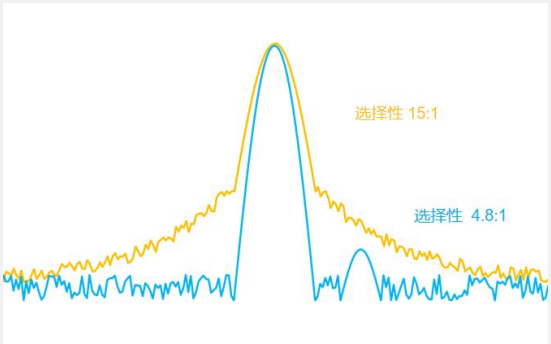


图 7：不同选择性对比

如果测量的小信号太靠近大信号，就可能被大信号的边缘掩盖，为了更加清楚地测量小信号，此时 RBW 必须满足 $\mathrm{RBW} \leq 2\times|f_{sig1}-f_{sig2}|/SF$。

优利德 UTS3084A 信号分析仪（选择性为 4.8:1）测量两个幅度不等、频率邻近的信号，Sig_1为 100MHz，-30dBm；Sig_2为 100.001MHz，-10dBm，下图为测量结果：

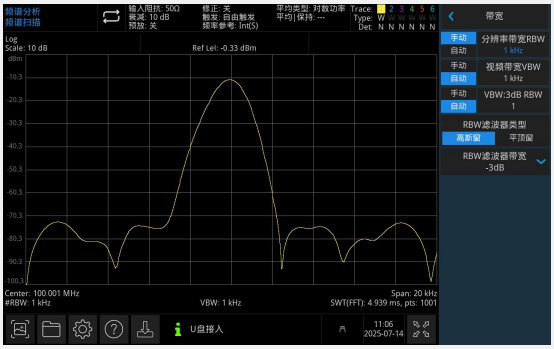


图 8：RBW=1kHz

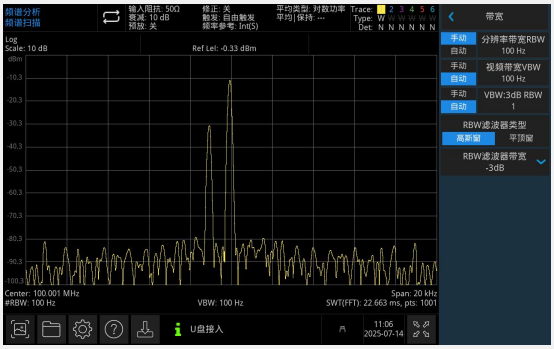


图 9：RBW=100Hz

已知选择性为 4.8，通过公式 $\mathrm{RBW} \leq 2\times|f_{sig1}-f_{sig2}|/SF$ 计算可得出临界分辨率带宽 $\mathrm{RBW} \leq 2\times|f_{sig1}-f_{sig2}|/SF = 2\times|100MHz-100.001MHz|/4.8 \approx 417Hz$，由测量结果可看出，RBW=1kHz > 417Hz，小信号完全被大信号所掩盖；而当 RBW 为 100Hz < 417Hz 时，此时便可清晰地看到两个信号的分布。

那不同的选择性对测量又会有什么样的影响？

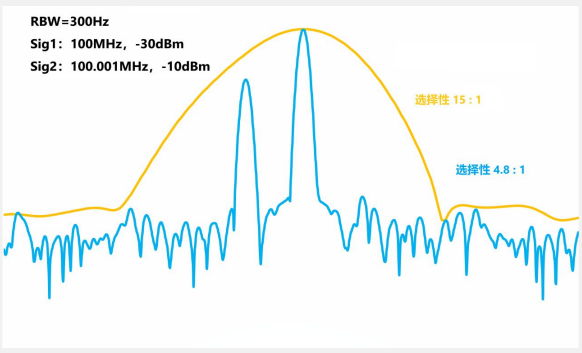


图 10：同一信号在不同选择性下对比

如上图所示，设定 RBW 为 300Hz，对比选择性分别为 4.8:1 和 15:1 时，这两个频率邻近幅度不等的信号测量情况。当选择为 4.8:1 时，由上方运算得知 RBW 小于 417Hz 即可完全分辨；而当选择性为 15:1 时，$\mathrm{RBW} \le 2\times\left|f_{sig1}-f_{sig2}\right|/SF = 2\times|100-100.001|/15 \approx 134Hz$才可完全分辨。由此可见，优异的选择性可以减少对 RBW 精细度的要求，从而提高测量效率。

总的来说，分辨密集频谱如同在人群中寻人：RBW 即“拉近镜头”以提升细节分辨力；选择性为“聚焦能力”可抑制邻频干扰。二者协同，纵使信号密集亦可精准分离，优化设备维护与信号检测。

03 密：如何实现高分辨扫描避免遗漏小信号？用“密网格”捕捉小信号

如果在频谱测量过程当中遇到间歇性、窄带小信号，但排查干扰时，频谱仪上却看不到明显信号，这其实是扫描分辨率不够，小信号被遗漏导致，此时就需要增加扫描点数，让采样像“密网格”一样覆盖全频段。所以无论是电子维修还是工厂设备检测等其他场景，能否精准捕捉小信号、看清信号细节，直接影响问题解决的效率。

在进行频谱扫描时，检波器映射采样点到**扫描点**，从而绘制出显示测试数值的测试迹线，频率采样间隔Δf = Span/(点数-1)，扫描点数越多，△f 越小，越不容易放过那些窄带、间歇性的小信号。但同时会造成数据量过大、处理速度较慢等问题；如果扫描点数过小，采样点稀疏，可能会直接跳过窄带小信号。在实际测量中，还是要根据不同的应用场景需求进行合理地选择。

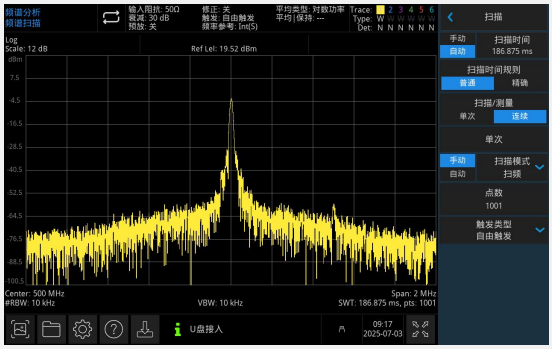


图 11：扫描点数=1001

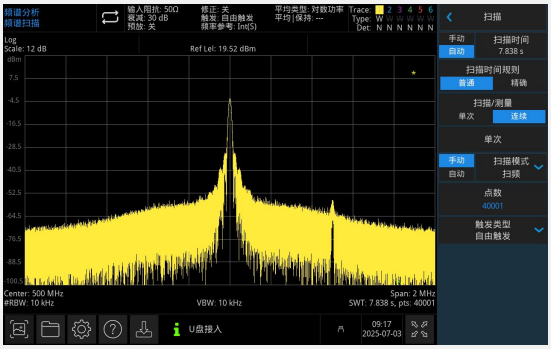


图 12：扫描点数=40001

上图为扫描点数分别在 1001 和 40001 下的对比图，很直观看到扫描点数为 1001 时，分辨率不够高，窄带小信号被遗漏，无法准确反映信号的特性。当扫描点数改为 40001 时，频谱采样间隔压缩 40 倍，采样点密集，对于小信号的测量越敏感更清晰。

扫描点数如同图像像素。点数不足时，频谱“糊成一片”，弱信号或邻近峰易丢失，导致测量失真；点数充足则信号“纤毫毕现”，精准刻画细节。保障频率轴采样密度，是提升频谱保真度、确保关键信号分析可靠的基础。实际测量中我们要根据需求适当调整扫描点数的大小，这样才能更准确地识别和研究信号中的各个频率分量及其特性。

频谱分析仪测量能力的“黄金三角”

分辨率带宽	选择性	扫描点数
邻近信号分离、弱信号检测	强干扰下的弱信号测量	信号峰值捕捉、频谱平滑度
分辨率 ⇄ 测量时间	**抗干扰能力 ⇄ 滤波器复杂**	**细节丰富度 ⇄ 测量时间**

04 选对仪器事半功倍——UTS3000A 系列信号分析仪

直面三大测试挑战，优利德 UTS3000A 系列信号分析仪集高灵敏度、优异分辨率和灵活测量能力于一体，具备出色的测量功能，助力工程师深入洞察信号细节。

微弱信号捕获

- ☑ RBW 低至 1Hz
- ☑ 结合 40001 高扫描点数
- ☑ 实现极精细扫描
- ☑ DANL 低至-165dBm
- ☑ 稳定测量微小信号

（射频泄露、远距离通信）

密集频谱分辨

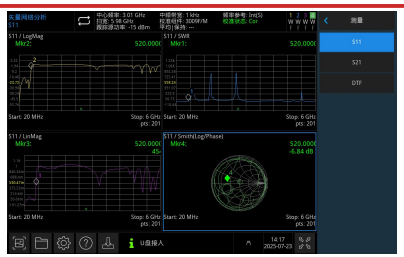
- ☑ RBW 1Hz~10MHz 连续可调
- ☑ 配合优异选择性 4.8:1
- ☑ 大幅提升频率分辨率
- ☑ 精准测量邻近信号

精细扫频/瞬态捕获

- ☑ 40001 扫描点精细扫描
- ☑ 配合 40MHz **实时频谱分析**
- ☑ 100% POI 仅 6.68μs
- ☑ 可捕捉瞬态、跳频信号
- ☑ 多种触发模式与触发模板

呈现实时测量结果

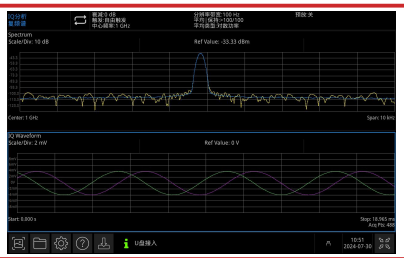
其他丰富功能：



标配**矢量网络分析**（S11、S21、DTF）

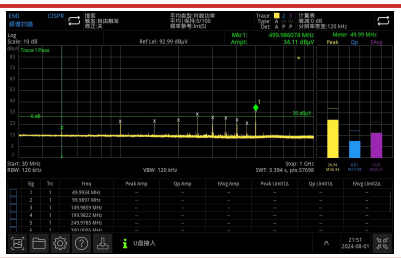
无需切换设备即可进行器件插损、回波损耗测试

通过史密斯图、极坐标等多种显示方式更精确地表征被测件的网络特性



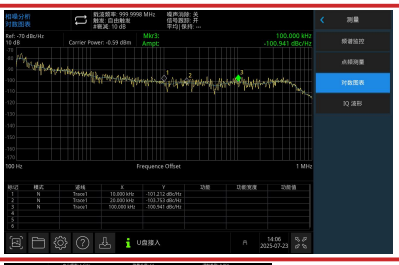
I/Q 分析

深入解析数字调制信号（如 4G/5G 通信信号）的调制质量、相位误差等细节，在通信设备研发和调试中，快速定位信号失真问题



EMI 预兼容测试

严格检测产品设计研发周期中 EMI 微弱辐射避免延误产品上市



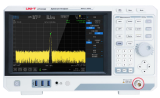
一键相噪分析

可快速测量信号在不同偏移频率下的相位噪声，对于振荡器、频率合成器等设备的性能进行高效评估，无需复杂操作就能得到精准结果



丰富的**模拟**（AM/FM/PM）和**数字**（ASK/FSK/PSK/QAM/MSK/DPSK）**信号分析**及 EVM 计算

频谱/信号分析仪选型指南

系列	UTS7000A	UTS5000A	UTS3000A	UTS3000B	UTS1000B
图片					
频率范围	2Hz~40/32/26.5/13.6GHz	9kHz~26.5/13.6GHz	9kHz~8.4/6/3.6GHz	9kHz~8.4/3.6/2.1GHz	9kHz~3.2/2.1GHz
相位噪声 1GHz@10kHz	<-110dBc/Hz	<-107dBc/Hz	<-102 dBc/Hz	<-98dBc/Hz	<-98dBc/Hz
显示平均噪声电平	-167dBm	-163dBm	-165dBm	-161dBm	-161dBm
分辨率带宽	1Hz~5MHz	1Hz~8MHz	1Hz~10MHz	1Hz~3MHz	1Hz~1MHz
选择性	4.1:1	4.1:1	4.8:1	4.8:1	4.8:1
扫描点数	100001	100001	40001	40001	10001
矢量网络分析	×	×	√	×	×
实时频谱分析	opt.	×	√	×	×

华东区办事处

苏州： 苏州市苏州大道东 409 号国际金融中心 1 幢 2802 室

南京： 南京市江宁区 富塘街 7 号深蓝中心 4 栋 2201-2202 室

联系电话： 18916111209

销售区域： 上海、江苏、浙江、安徽

华中区办事处

武汉： 湖北省武汉市东湖新技术开发区高新大道 668 号光谷金融中心 A 座 712-713 室

联系电话： 18922986656

销售区域： 湖北、湖南、河南、江西

华西区办事处

成都： 成都市高新区合顺路 2 号 IC 设计产业园 2 栋 1 单元 21 楼

西安： 西安市雁塔区城南南二环西段 88 号老三届世纪星大厦 19 楼 19 号

联系电话： 18922981286

销售区域： 四川、重庆、陕西、贵州、云南、甘肃、青海、宁夏、新疆、西藏

华北区办事处

北京： 北京市海淀区海淀北二街 8 号 中关村 SOHO 1215 室

联系电话： 18922986036

销售区域： 北京、天津、河北、山东、山西、黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古

华南区办事处

东莞： 广东省东莞市松山湖园区工业北一路 6 号

联系电话： 13510557637

销售区域： 广东、广西、福建、海南

优利德科技（中国）股份有限公司

UNI-TREND TECHNOLOGY (CHINA) CO.,LTD.

技术热线 400-8767822

www.instruments.uni-trend.com.cn

优利德测试仪器 微信公众号

优利德测试仪器 微信视频号

优利德官方 微信公众号

优利德官方 微信视频号