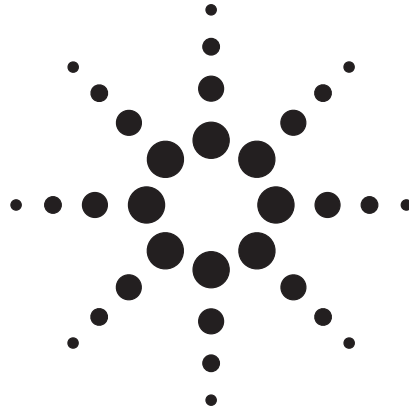


更好地 进行频谱分析的 8 项提示

应用指南 1286-1



Agilent Technologies

频谱分析仪

频谱分析仪和示波器一样，都是用于信号观察的基本工具。如图1所示，示波器是在时域提供一个观察窗，而频谱分析仪则是在频域提供一个观察窗。

图2是扫频调谐超外差频谱分析仪的简化框图。超外差就是要对高于音频的频率进行混频或转换。在该分析仪中，输入信号要通过衰减器，以限制到达混频器时的信号幅度，然后通过低通输入滤波器滤除不需要的频率。在通过输入滤波器后，该信号就与本地振荡器(LO)产生的信号混频，后者的频率由扫频发生器控制。随着LO频率的改变，混频器的输出信号(它包括两个原始信号，它们的和、差及谐波)由分辨率带宽滤波器(IF滤波器)过滤，并以对数标度放大或压缩。然后用检波器对通过IF滤波器的信号进行整流，从而得到驱动显示垂直部分的直流电压。随着扫频发生器扫过某一频率范围，屏幕上就会画出一条迹线。该迹线即示出输入信号在所选频率范围内的频谱成分。

数字技术问世以来，一直被用来将视频信号数字化，如图2所示。近年来，随着数字技术的进步，频谱分析仪也得以发展，并在其内部采用了数字信号处理(DSP)，它位于虚线方框中最后一级IF滤波器的后面，可用来测量越来越复杂的信号制式。用DSP可实现更高的动态范围，更快的扫频速度和更好的精度。

为更好地利用频谱分析仪进行测量，输入信号不能有失真，因此要按特定应用的要求设置频谱分析仪和优化测量步骤，以达到最好的技术指标。下面的测量提示对这些步骤有详细的说明。

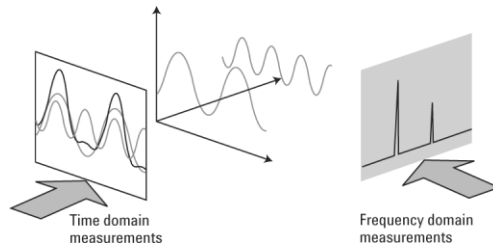


图 1. 测量域

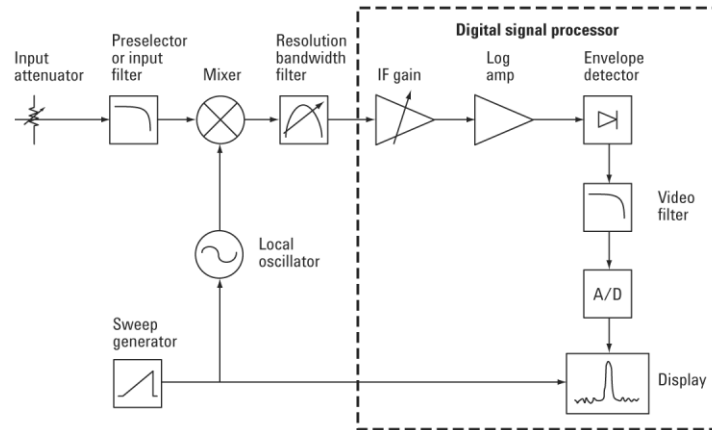


图 2. 超外差频谱分析仪框图

提示 1. 选择最好的分辨率带宽 (RBW)

必须认真考虑分辨率带宽(RBW)的设置，因为他关系到频谱成分的分离，适宜的噪声基底的设置和信号的解调。

在进行有苛刻要求的频谱测量时，频谱分析仪必须精确、快速并具有高动态范围。在多数情况下，强调其中某一参数会对其它参数有所影响。因此在进行RBW设置时需要综合权衡这些因素。

通过低电平信号的测量，可以看到使用窄RBW的优点。在使用窄RBW时，频谱分析仪显示出较低的平均噪声级 (DANL)，且动态范围增加，灵敏度有所改进。在图3中，把RBW从100 kHz改变到10 kHz将能更好地分辨 -95 dBm 的信号。

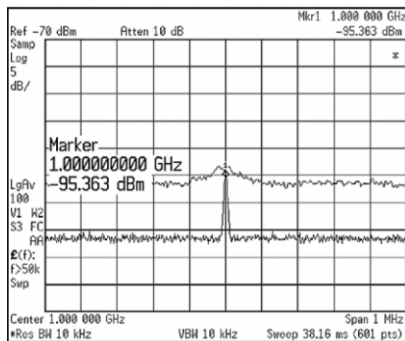


图 3. 100 kHz RBW 和 10 kHz RBW 的测量结果

但并非任何情况都是最窄的 RBW 最好。对于调制信号，RBW 一定要设置得足够宽，使它能将信号边带包括在内。如果忽略这一点，测量将是极不精确的。

窄RBW设置的一项重要缺点是扫频速度。更宽的RBW设置在给定频率范围内允许更快的扫频。图4和图5比较了在200 MHz 频率范围内，10 kHz 和 3 kHz RBW 的扫频时间。

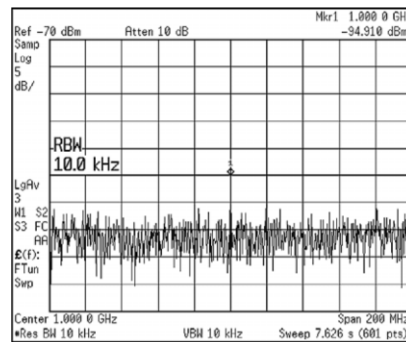


图 4. 10 kHz RBW 的扫频时间为 7.626 s

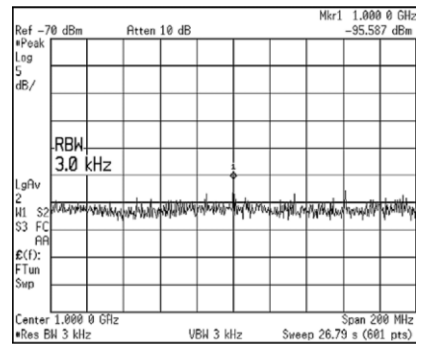


图 5. 3 kHz RBW 的扫频时间为 26.79 s

一定要知道 RBW 选择时所必须的基本权衡因素，使得用户在明白哪些参数最为重要的时候，给以适当的优化。但在权衡不可避免时，现代频谱分析仪可为您提供弱化，甚至消除这些因素的方法。通过使用数字信号处理，频谱分析仪在实现更精确的测量的同时还提供更高的速度，即使是使用窄 RBW。

提示 2. 改进测量精度

在进行任何测量前，必须了解有哪些可以改进幅度和频率测量精度的技术。

自校准功能可用来产生误差校正系数（例如幅度改变——分辨率带宽），分析仪随后用它校正测量数据，得到更好的幅度测量结果，并使您能在测量过程中更灵活地改变控制。

当被测装置接到经校准的分析仪时，信号传输网络可能会使感兴趣信号减弱或变形，必须在测量中排除这一影响，见图6。一种方法是使用分析仪的内置幅度校正功能，一个信号源以及一个功率表。图7给出了一个对DUT信号产生衰减的信号传输网络的频率响应。为消除这一有害效应，可在测量范围内若干存在问题的频率点上测量信号传输网络的衰减或增益。幅度校正给出频率—幅度表，用直线连接这些点得到“校正”波形，然后按这些校正值对输入信号进行偏置。在图8中，

信号传输网络不需要的衰减和增益已从测量中消除，从而得到更精确的幅度测量结果。

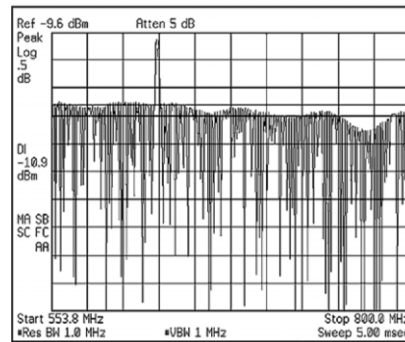


图 7. 原信号

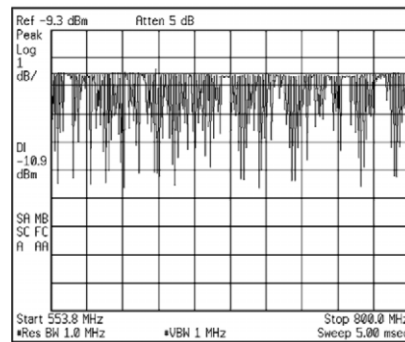


图 8. 经校准的信号

在现代频谱分析仪中，您可直接保存天线、电缆和其它设备的不同校正系数，因此在每次设置改变时不必再行校准。

进行更精确频率测量的一种方法是用频谱分析仪中的频率计数器，它可以去除许多频率不确定度，如跨度。频率计数器记录 IF 信号中的过零次数，再通过已知的频率偏置（来自转换链中本地震荡部分）计数作修正。

总测量不确定度是频谱分析仪中各种不确定度之和。如果某些控制量，如 RF 衰减器设置，分辨率带宽或基准电平等等，其变化可以保存，那么就可排除改变这些控制量时的不确定度，从而把总测量不确定度减到最小。因此在数字化 IF 的高性能频谱分析仪中，不会因改变 RBW 而增加误差。

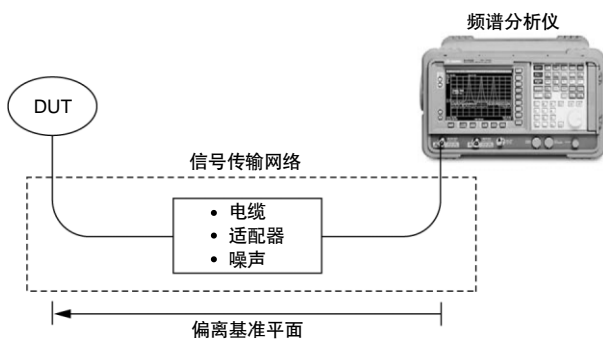


图 6. 测试装置

提示 3. 优化低电平测量的灵敏度

频谱分析仪对低电平信号的测量能力受限于频谱分析仪内部产生的噪声。分析仪设置将影响低电平信号的灵敏度。

例如图 9, 显示了一个被分析仪噪声基底淹没的 50 MHz 信号。为测量这一低电平信号, 必须通过最小化输入衰减、压窄滤波器的分辨率带宽 (RBW) 和使用前置放大器这些方法改进频谱分析仪的灵敏度。这些技术能有效减小显示平均噪声级 (DANL), 从而突出该低电平信号。

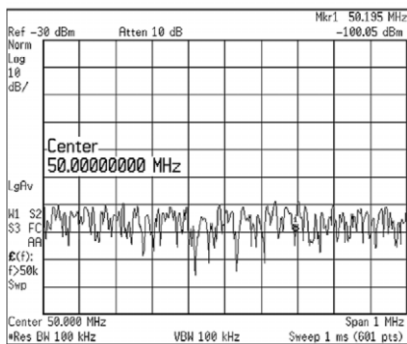


图 9. 噪声掩盖了信号

增加输入衰减器衰减程度将减小到达输入混频器的信号。由于频谱分析仪的噪声产生在输入衰减器之后, 因此衰减器设置会影响信噪比 (SNR)。如果引入增益, 对输入衰减器的衰减变化进行补偿, 显示上的实际信号就保持不变。但显示的噪声级会随 IF 增益而异, 它反映了输入衰减器设置的变化引起的 SNR 的变化。因此为了降低 DANL, 就必须把输入衰减减到最小。

混频器输出处的放大器接着放大被衰减的信号, 以保持屏幕相应位置信号的峰值。除了放大输入信号外, 分析仪中的噪声也同样被放大, 从而造成频谱分析仪 DANL 的上升。

然后这一再次放大的信号通过 RBW 滤波器。压窄 RBW 滤波器带宽, 使较低的噪声能量到达分析仪的包络检波器, 从而降低分析仪的 DANL。

图 10 示出 DANL 的逐次降低。上面的迹线是经最小化分辨率带宽和使用功率平均后出现在噪声基底之上的信号。下面一条迹线为使用最小衰减时的情况。第 3 条迹线使用了对数功率平均, 它把噪声本底再降低 2.5 dB, 这对于极灵敏的测量是非常有用的。

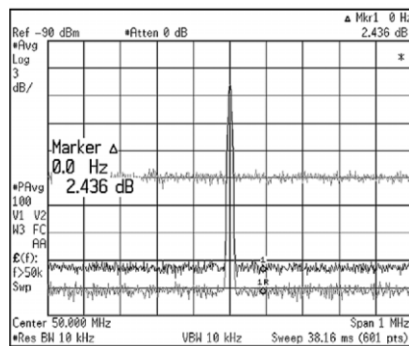


图 10. 经最小化分辨率带宽、输入衰减器和使用对数功率平均后的信号

为实现最高灵敏度, 必须使用具有低噪声和高增益的前置放大器。如果该放大器有足够高的增益 (在连接前置放大器时分析仪上显示的噪声至少增加 10 dB), 那么前置放大器和分析仪组合的噪声基底将由放大器的噪声特性确定。

许多情况下都需要测量被测装置上的寄生信号, 以保证信号载波落在特定幅度和频率“模板”内。现代频谱分析仪提供电子的限制线能力, 它把迹线数据与一组幅度和频率 (或时间) 参数相比较。如果被考察的信号落在限制线边界内, 显示屏 (Agilent 分析仪) 上就出现 PASS MARGIN 或 PASS LIMIT。如果信号落在限制线边界外, 显示屏上就出现 FAIL MARGIN 或 FAIL LIMIT, 如图 11 所示的寄生信号。

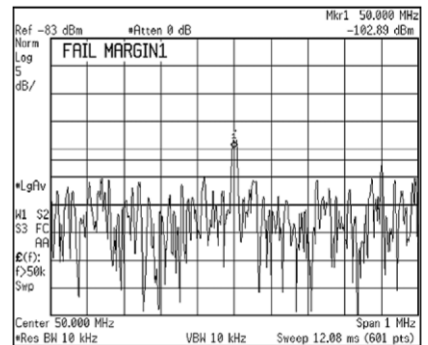


图 11. 用限制线探测寄生信号

提示 4. 为失真测量优化动态范围

与信号测量相关的一个问题是区别较大的基调信号与较小的失真产物的能力。频谱分析仪的动态范围规定了频谱分析仪辨别信号和失真、信号和噪声或信号与相位噪声的最大能力范围。

在测量信号和失真时，混频器电平决定了频谱分析仪的动态范围。对动态范围进行优化的混频器电平，由频谱分析仪的2次谐波失真、三阶

交调失真和显示平均噪声级 (DANL) 确定。可根据这些指标绘制内部产生的失真和噪声与混频器电平的关系图。

图12标出了-40 dBm混频器电平处-75 dBc 2次谐波失真点，-30 dBm混频器电平处-85 dBc 三阶失真点，以及 10 kHz RBW 时的-110 dBm 噪声基底。2次谐波失真线的斜率为1，因为混频器基波电平每增加 1 dB，

SHD 要增加 2 dB。但由于失真是由基波与失真分量之差确定，因此其变化仅 1 dB。同样，绘出的三阶失真的斜率为 2。对于混频器电平每 1 dB 的变化，三阶分量改变 3 dB，即相对为 2 dB。通过把混频器电平设置在二阶或三阶失真等于噪声基底处，即可得到最大的二阶和三阶动态范围，图中标出了了相应的混频器电平。

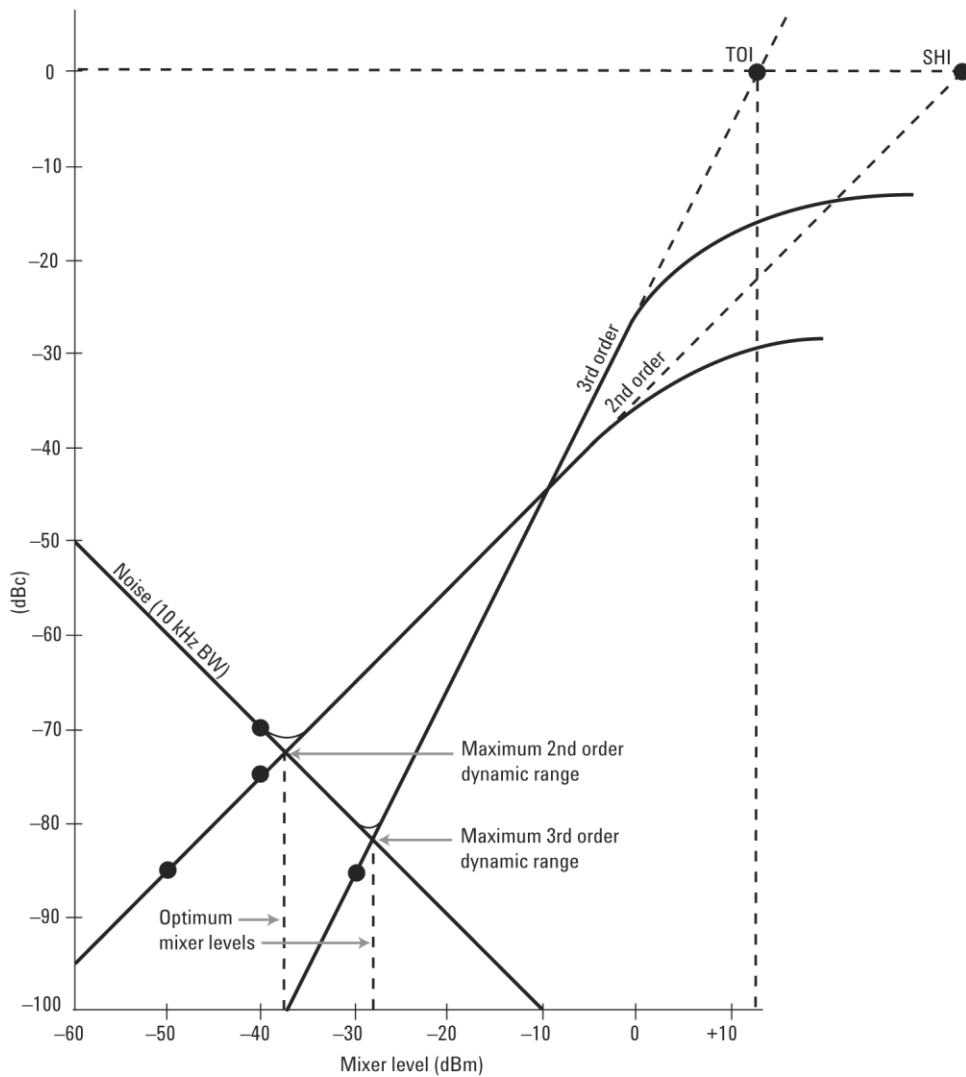


图 12. 动态范围 — 失真和噪声

必须通过压窄分辨率带宽增加动态范围。如图 13 所示，当 RBW 设置从 10 kHz 降到 1 kHz 时，动态范围增加。注意对于二阶失真是增加 5 dB，三阶失真是 6 dB。

最后一点是互调失真的动态范围受频谱分析仪相位噪声影响，因为不同频谱成分（被测试频谱和失真产物）的频率间距就等于被测谱线的间距。图 14 给出了对于相隔 10 kHz 的被测谱线，用 1 kHz 分辨率带宽得到噪声曲线。如果 10 kHz 处的相噪只有 -80 dBc，那么对于这一测量，80 dB 就成为动态范围的最终极限，而不再是如图 14 所示的最大 88 dB 动态范围。

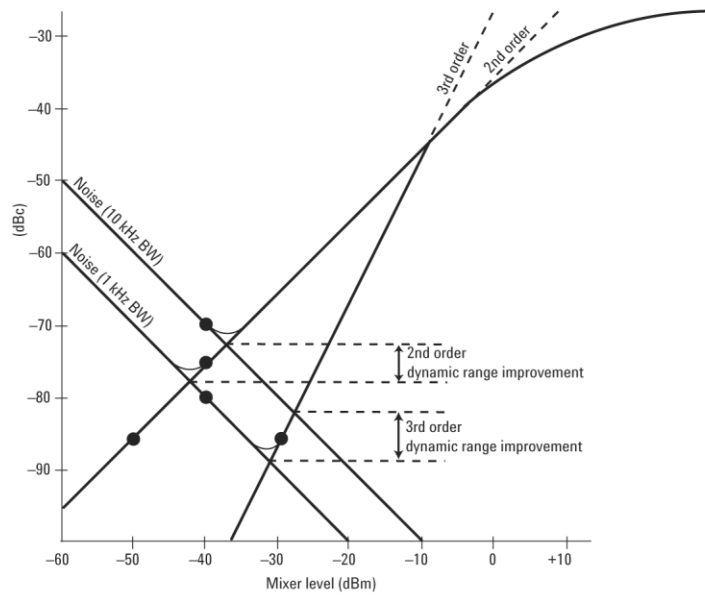


图 13. 用降低分辨率带宽改进动态范围

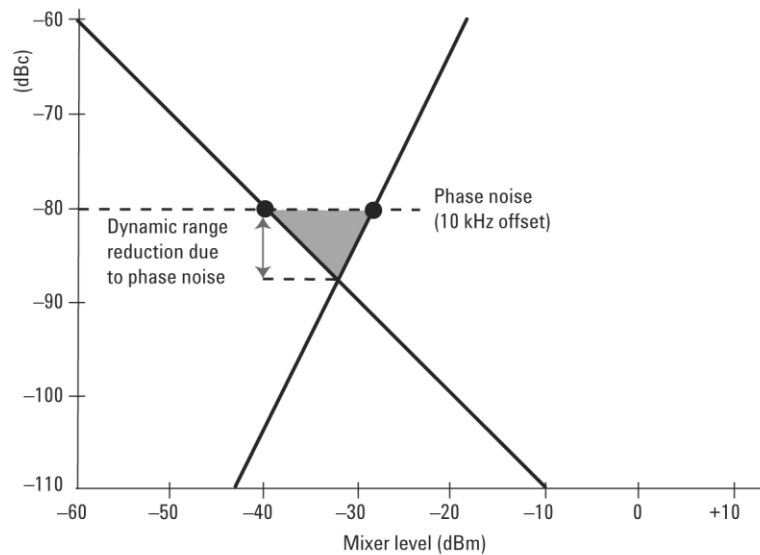


图 14. 相位噪声限制三阶交调分量测试

提示 5. 识别内部失真成分

高电平输入信号有可能造成频谱分析仪的内部失真，从而掩盖输入信号上的实际失真。使用双迹线和分析仪的RF衰减器，您就能确定分析仪内产生的失真是否对测量产生影响。

首先设置输入衰减器，使输入信号电平衰减量约等于-30 dBm。为识别内部失真产物，调谐到输入信号的2次谐波，把输入衰减器设置到0 dB。然后保存迹线B的屏幕数据，把迹线A作为有效迹线，并激活标记 Δ 。频谱分析仪现在用迹线B显示保存数据，用迹线A显示测量数据，标记 Δ 示出两条迹线的幅度和频率差。最后是把RF衰减增加10 dB，比较迹线A与B的响应。

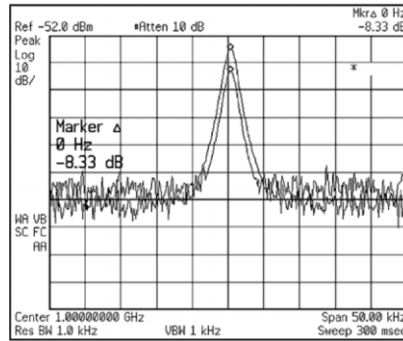


图 15. 内部产生的失真分量

如果迹线A和迹线B的响应不同，如图15所示，那么分析仪的混频器就会因高水平的输入信号而产生内部失真。这种情况需要更大的衰减。

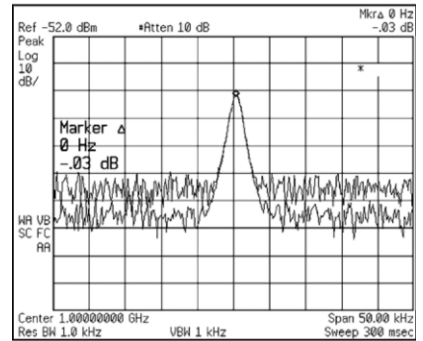


图 16. 外部产生的失真

在图16中，由于信号电平没有任何变化，内部产生的失真对测量没有影响。所显示的是输入信号上存在的失真。

提示 6. 优化瞬态测量的测量速度

快速扫频对于捕获瞬态信号和最小化测试时间十分重要。为优化频谱分析仪的性能，获得更快的扫频速度，必须相应改变确定扫频时间的参数。

扫频调谐超外差频谱分析仪的扫频时间近似等于频率跨度除以分辨率带宽 (RBW) 的平方。因此 RBW 设置在很大程度上确定了扫频时间。滤波器的 RBW 越窄，扫频时间越长，因此要在扫频速度与灵敏度之间作出权衡。如图 17 所示，RBW 的 10 倍改变约可得到灵敏度的 10 dB 的改进。

可根据使用情况减小现代高性能频谱分析仪的 RBW (精细调整)，以满足要求的扫频速度、灵敏度和/或选择性。图 4 中 10 kHz RBW 的扫频时间为 7.626 s，图 5 中 3 kHz RBW 的扫频时间为 26.79 s。

兼顾时间和灵敏度的好方法是使用现代高性能频谱分析仪提供的快速傅立叶变换 (FFT)。分析仪可用 FFT 在一个测量周期中覆盖整个频率范围。在使用 FFT 分析时，扫频时间将由频率跨度，而不是 RBW 决定。因此，在频率跨度较窄的情况下，

FFT 模式的扫频时间要比扫频模式短。在利用很窄的 RBW 滤波器测量低电平信号时，两者在速度上的差异是很显著的。在 FFT 模式，20 MHz 跨度，1 kHz RBW 的扫频时间为 747.3 ms，而扫频模式则达到 24.11 s，如图 18 所示。对于更宽的跨度和宽 RBW，扫频模式更快。

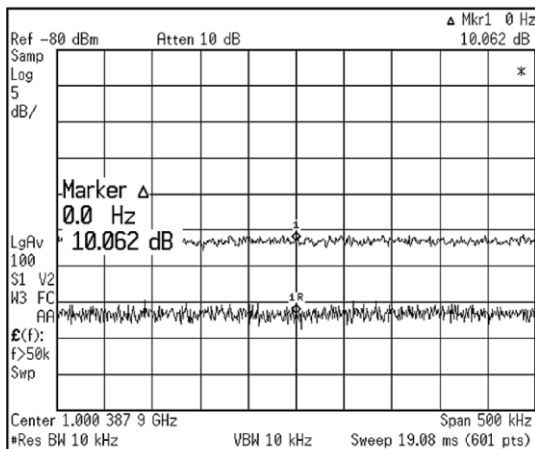


图 17. RBW 变化 10 倍导致灵敏度降低大约 10 dB

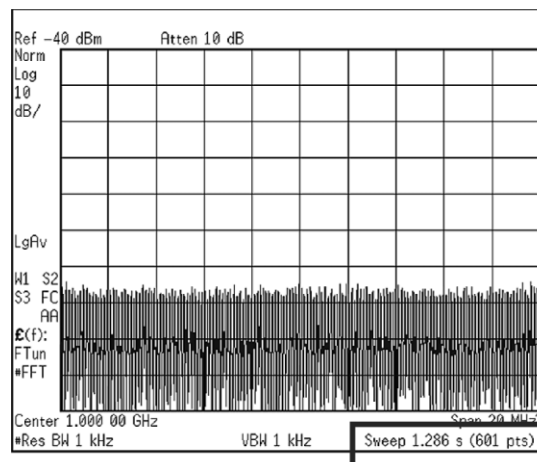
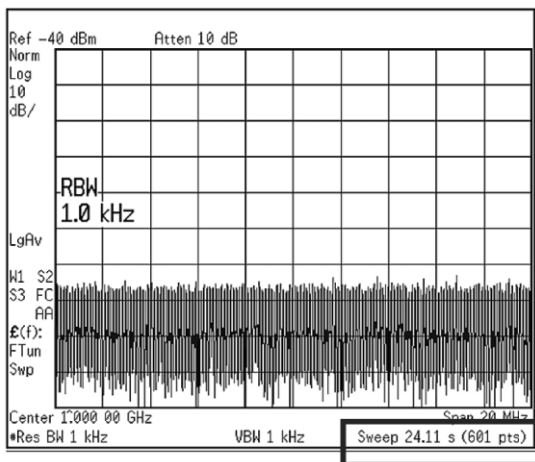


图 18. 比较 FFT 和扫频模式的扫频时间

提示 7. 选择最好的显示探测模式

现代频谱分析仪在 IF 或视频滤波器后对信号作数字化处理。选择显示哪些数字化数据决定于模数转换器后面的显示探测器。此时数据相当于分处于各个数据段中，在各数据段中选择显示哪些数据受显示探测模式的影响。

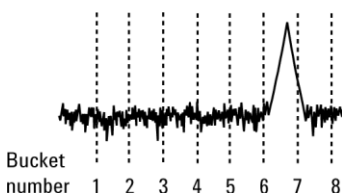


图 19. 采样数据段

图 20 示出正峰值探测、负峰值探测和采样探测。峰值探测模式探测各数据段中的最高电平，它适用于分析正弦波，但对噪声存在过响应。这是一种最快的探测模式。

采样探测模式显示各数据段的中心点，而无论其功率如何。采样模式适用于噪声测量，它能精确示出噪声的真正随机性。但采样探测对于具有窄分辨率带宽的连续波 (CW) 测量是不精确的，并有可能丢失未落在各数据段同一点上的信号。

负峰值探测模式显示各数据段中的最低功率。该模式适用于 AM 或 FM 解调，以及辨别随机噪声和冲击噪声。负峰值噪声虽然可能表现出更小的噪声基底，但并不能给予分析仪更好的灵敏度。图 20 是对于正弦波信号，各种探测模式在数据段内如何显示的比较。

更高性能的频谱分析仪还有一种称为正态探测的探测模式，如图 21 所示。这种采样模式把数据点动态分类为噪声或信号，它提供比峰值探测更好的随机噪声显示，并避免了采样探测的信号丢失问题。

平均探测提供对各数据段功率、电压或对数功率 (视频功率) 的平均。功率平均计算真平均功率，它最适合复杂信号的功率测量。电压平均对数据段间隔期所测包络信号的线性电压数据进行平均。在 EMI 测试中通常要使用这种方法，它也用于观察 AM 或脉冲调制信号的上升和下降行为，如在雷达和 TDMA 发送器中的应用。对数功率 (视频) 平均对数据段间隔期所测包络信号的对数幅度值 (dB) 进行平均。对数功率平均最适合观察正弦波信号，特别是接近噪声的信号，因为显示噪声要比其真实电平低 2.5 dB，从而改进了频谱 (正弦波) 成分的 SNR。

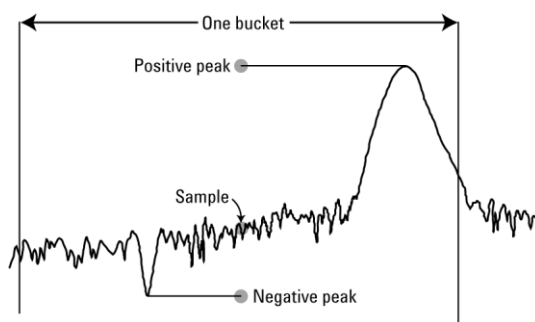


图 20. 存储器中保存的迹线点取决于探测算法

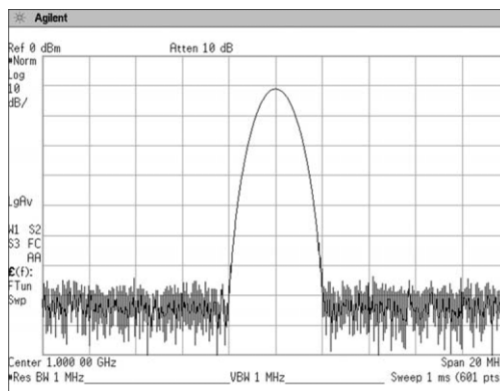


图 21. 正态探测显示数据段内的最大值，段内的信号只上升或只下降

提示 8. 测量突发信号: 时间选通频谱分析仪

对于含有突发(脉冲) RF 载波, 且该载波在脉冲出现期间载运调制信号的信号, 应该如何分析? 这里存在这样一个问题, 如何把脉冲频谱与调制分开呢? 用频谱分析仪分析突发信号(脉冲)是一项艰巨的挑战, 因为除了显示脉冲载运的信息外, 分析仪还同时显示脉冲形状(脉冲包络)的频率成分。脉冲包络的急剧上升和下降时间会造成不需要的频率成分, 并叠加到原始信号的频率成分上。这些不需要的频率成分甚至会完全掩盖掉感兴趣的信号。

作为例子, 图 22 示出一个载有简单 AM 信号的脉冲的频率成分。此时的 AM 边带几乎完全隐藏在脉冲频谱中。

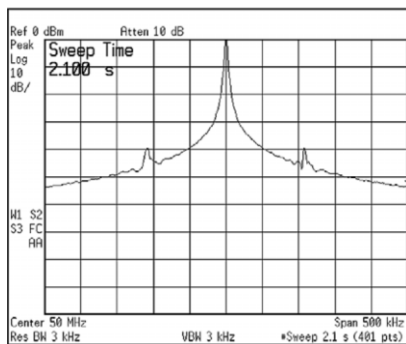


图 22. 无时间选通的信号

时间选通频谱分析允许分析脉冲的频谱成分, 而不受脉冲本身包络的影响。一种实现时间选通的方法是在频谱分析仪的视频路径中放一个闸门(开关), 如图 23 所示。这种时间选通方法称为视频选通。

在时间选通测量中, 分析仪检测到突发的开始, 然后触发一个延时, 使分辨率滤波器有时间对脉冲的急剧上升时间作出反应, 并在突发结束前停止分析。这样就可只分析脉冲载运的信息, 如图 24 所示。现在能清楚看到脉冲中包含用 100 kHz 正弦信号调制的 40 MHz 载波。

现代高性能频谱分析仪还有另外两种类型的时间选通, 即选通 LO 和选通 FFT。选通 LO 在脉冲信号的部分时间内扫描本地振荡器, 在信号每次出现时记录几个迹线点。选通 FFT 对数字化突发信号作快速傅立叶变换(FFT), 以去除脉冲频谱的影响。这两种方法都具有更高速度的优点。

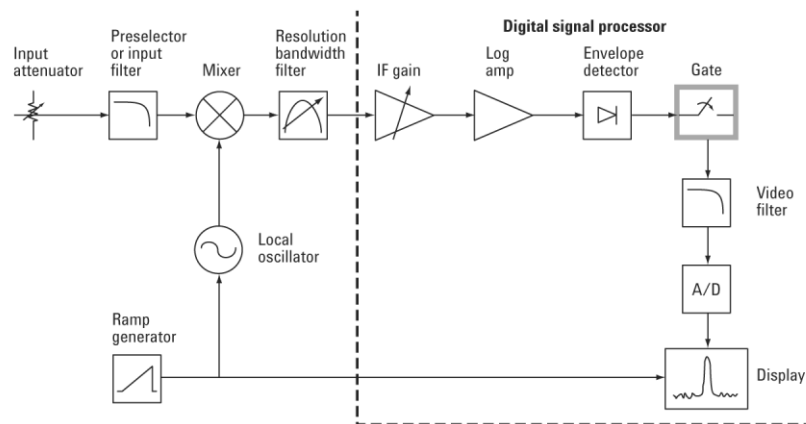


图 23. 使用时间选通视频的频谱分析仪框图

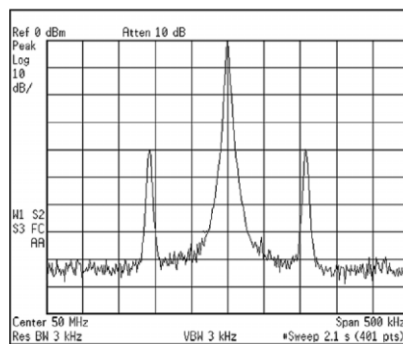


图 24. 具有时间选通的信号

Agilent 频谱分析仪

Agilent PSA 系列

这些频谱分析仪提供高达 50GHz 的高性能频谱分析，具有强大的单键测量能力和丰富的功能特性，并组合了领先的灵活性、速度、精度、分析带宽和动态范围。

从毫米波、相位噪声和噪声系数测量到寄生搜索和数字调制分析，PSA 系列为蜂窝和新兴无线通信、宇航和国防行业的研发和制造工程师提供独特和全面的解决方案。



图 25. Agilent PSA 系列频谱分析仪

Agilent ESA 系列

ESA 系列为一般性的和从蜂窝通信到无线网和数字电视的特殊测量应用提供可扩展的基础型和中性能的频谱分析仪。ESA 也是一种可在 2 周内供货的快递分析仪，性价比很高。



图 26. Agilent ESA 系列频谱分析仪

Agilent 8560 EC- 系列

为有苛刻要求的测量提供高功能特性、测量能力和质量，具有适应您研发需要的功能和性能。

这些仪器有适应生产需要的可靠性和速度；易于使用和携带；具有达到 MIL 标准，能在战场使用的耐用性；因此完全符合您的各种高性能要求。



图 27. Agilent 8560 EC - 系列

相关技术资料

频谱分析仪基础，
应用指南 150，出版物 5952-0292
优化频谱分析仪测量速度，
应用指南 1318，出版物 5968- 3411E
优化失真测量的动态范围，
产品指南，出版物 5980-3079EN
优化频谱分析仪幅度精度，
应用指南 1316，出版物 5968-3659E
根据您的需要选择正确的信号分析仪，
选型指南，出版物 5968-3413E
PSA 系列扫频和 FFT 分析，
产品指南，出版物 5980-3081EN

网络资源

www.agilent.com/find/spectrumanalyzers

www.agilent.com

安捷伦测试和测量技术支持、服务和协助

Agilent 公司的宗旨是使您获得最大效益，而同时将您的风险和问题减少到最低限度。我们将努力确保您获得的测试和测量能力物有所值，并得到所需要的支持。我们广泛的支持和服务能帮助您选择正确的 Agilent 产品，并在应用中获得成功。我们所销售的每一类仪器和系统都提供全球保修服务。对于停产的产品，在 5 年内均可享受技术服务。“我们的承诺”和“用户至上”这两个理念高度概括了 Agilent 公司的整个技术支持策略。

我们的承诺

我们的承诺意味着 Agilent 测试和测量设备将符合其广告宣传的性能和功能。在您选择新设备时，我们将向您提供产品信息，包括切合实际的性能指标和丰富的测试工程师的实用建议。在您使用 Agilent 设备时，我们可以验证设备的正常工作，帮助产品投入生产，以及按要求对一些特别的功能免费提供基本的测量协助。此外，还提供一些自助软件。

用户至上

用户至上意味着 Agilent 公司将提供大量附加的专门测试和测量服务。您可以根据自己的独特技术和商务需要来获得这些服务。通过与我们联系取得有关校准、有偿升级、超过保修期的维修、现场讲解和培训、设计和系统组建、工程计划管理和其它专业服务，使用户能有效地解决问题并取得竞争优势。经验丰富的 Agilent 工程技术人员能帮助您最大限度地提高生产率，使您在 Agilent 仪器和系统上的投资有最佳回报，并在产品寿命期内得到可靠的测量精度。

请通过 Internet、电话、传真得到测试和测量帮助。

在线帮助：www.agilent.com/find/assist

热线电话：800-810-0189

热线传真：800-820-2816

安捷伦科技有限公司总部

地址：北京市朝阳区建国路乙 118 号
招商局中心 4 号楼京汇大厦 16 层
电话：800-810-0189
(010) 65647888
传真：(010) 65647666
邮编：100022

上海分公司

地址：上海市西藏中路 268 号
来福士广场办公楼 7 层
电话：(021) 23017688
传真：(021) 63403229
邮编：200001

成都分公司

地址：成都市下南大街 2 号
天府绿洲大厦 0908-0912 室
电话：(028) 86165500
传真：(028) 86165501
邮编：610012

西安办事处

地址：西安市高新区科技路 33 号
高新国际商务中心
数码大厦 23 层 01-02 号
电话：(029)88337030
传真：(029)88337039
邮编：710075

广州分公司

地址：广州市天河北路 233 号
中信广场 66 层 07-08 室
电话：(020) 86685500
传真：(020) 86695074
邮编：510613

深圳分公司

地址：深圳市高新区南区
黎明网络大厦 3 楼东区
电话：(0755) 82465500
传真：(0755) 82460880
邮编：518057

安捷伦科技香港有限公司

地址：香港太古城英皇道 1111 号
太古城中心 1 座 24 楼
电话：(852) 31977777
传真：(852) 25069256

香港热线：800-938-693

香港传真：(852) 25069233

Email: tm_asia@agilent.com

本文中的产品指标和说明可不经通知而更改

©Agilent Technologies, Inc. 2006

出版号：5965-7009CHCN

2006 年 8 月 印于北京



Agilent Technologies