

是德科技紧凑型模拟信号发生器的典型应用及相位相干性

具有出色输出功率范围、信号纯度和开关速度的模拟信号发生器

介绍

信号发生器，也称为信号源，为测试和评估电子电路和设备提供稳定可靠的信号。便携式通用模拟信号发生器具有宽输出功率范围、低相位噪声和快速频率和幅度切换速度，在研发、制造测试和现场测试中有许多应用。

本应用说明讨论了是德科技紧凑型射频和微波模拟信号发生器 AP5001A 和 AP5002A 的几种常见应用。尽管这些信号发生器功耗低、重量轻（2.5 公斤）且便携，但它们不会影响性能（见图 1）。例如，图 1 所示的 AP5002A 提供了宽输出功率范围（-120 dBm 至+23 dBm）、出色的相位噪声（在 1 GHz 和 20 kHz 偏移时为-130 dBc/Hz）和快速的开关速度（300μs）。这些信号源是我们接下来将介绍的各种应用的理想低成本替代品。



	AP5001A RF analog	AP5002A μ W analog
Frequency range	9 kHz up to 6.1 GHz	9 kHz up to 26 GHz
Output power range	-30 to +17 dBm -120 to +17 dBm (Opt. 1E1)	-20 to +15 dBm -120 to +23 dBm (Opt. 1E1/1EA)
Phase noise at 1 GHz, 20 kHz offset	-124 dBc/Hz, -130 dBc/Hz typ.	-124 dBc/Hz, -130 dBc/Hz typ.
Harmonics at 1 GHz	-30 dBc, -40 dBc typ.	-30 dBc, -40 dBc typ.
Non-harmonics at 1 GHz	-55 dBc, -65 dBc typ.	-65 dBc, -75 dBc typ.
Frequency switching speed	200 μ s	300 μ s, 30 μ s (Opt. UNQ)
Modulation capabilities	AM, FM, PM, pulse, frequency chirps	AM, FM, PM, pulse, frequency chirps

图 1. 紧凑型模拟信号发生器，前（左）和后（右）面板

接收器测试

测试接收器以确保它们在现实世界中高效运行非常重要，无论是用于消费者、军事还是工业用途。通常，不需要昂贵的实验室级设备来表征和测试接收器。您只需选择符合您要求的信号源。

射频阻断器/干扰器

验证接收器在各种测试条件下的操作通常包括在附近阻断器或干扰源的影响下测量性能。阻断器通常具有比期望信号大得多的幅度；例如，在军事行动中故意干扰通信。阻断器可能是无意的，就像在相邻频率信道中运行的另一个无线系统的情况一样。在这些情况下，研发团队会在各种条件下验证和测试阻断剂的排斥反应。

模拟现实世界环境包括高功率阻断器，通常需要能够提供高输出功率的信号发生器。配备选项 1E1/1EA 的 AP5002A 可以提供高达+23dBm 的信号，频率高达 26 GHz。高输出功率也有助于克服制造测试系统中测试电缆和开关矩阵的损耗。您可以选择多种调制技术，如调幅（AM）、调频（FM）、调相（PM）和脉冲。多种调制可以使用最多三个可用的内部调制源组合。外部调制信号通过后面板 I/O 提供，如图 1 所示。

图 2 显示了在大振幅连续波（CW）阻断器影响下测试脉冲调制信号接收器性能的简单配置。我们需要两个信号发生器来完成这项任务——Keysight MXG 和 AP5002A 分别产生所需信号和阻断信号。然后，这些信号使用 RF 信号组合器或耦合器进行组合，并发送到被测接收器。可以调整阻断器的频率和幅度以及所需信号，以验证接收器性能。图右下角的测量屏幕显示了组合信号的频谱——所需的脉冲调制波形和较大振幅的连续波阻断器。它是使用是德科技 EXA 信号分析仪记录的。对于更动态的测试环境，AP5002A 还可以使用“步进扫描”或“列表扫描”操作模式扫描输出信号的频率和幅度。

AP500xA（AP5001A 和 AP5002A）具有方便的“步进扫描”模式，使用户能够定义开始和停止频率、所需扫描范围内的点数以及重复次数。发生器可以快速扫描整个范围，或者可以在每个频率点设置停留时间，这对于涉及滤波器和长同轴电缆等长电器设备的测量特别有用。扫描可以通过前面板上的 RF 键、外部或通过总线 LAN、USB 或 GPIB（Opt. GPB）触发。

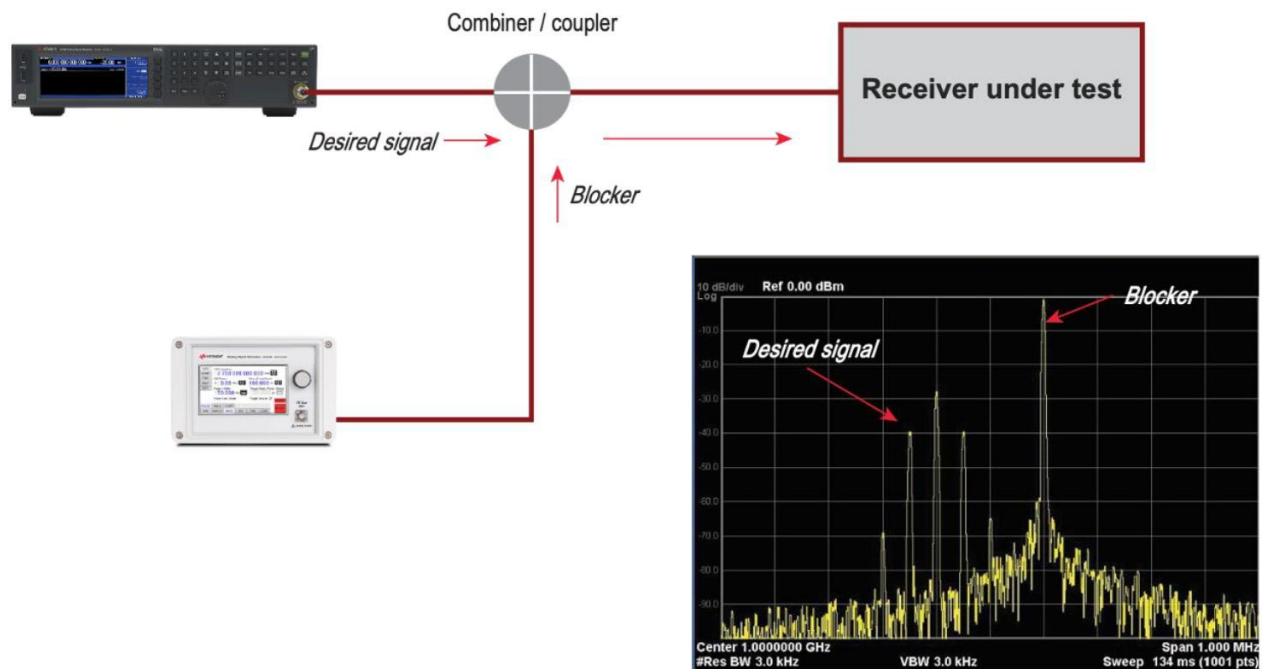


图 2. AP500xA 向来自另一个信号源的所需信号发送阻断器，以测试接收器

功率校准/RSSI

许多接收器测量接收信号的电平，并将该值作为接收信号强度指示（RSSI）报告给系统。RSSI 值可用于设置接收器增益或向用户提供视觉指示器，例如手机上的“天线条”数量或计算机 Wi-Fi® 连接上显示的功率值。设备制造商通常在研发系统验证的后期阶段进行此类接收器测试，并将其作为最终制造测试的一部分。

当精确的 RSSI 测量是通信接收机中所需的功能时，目标精度可能低至 ± 0.1 dB。由于测量路径的损耗和无线电路板内的制造公差，RSSI 测量通常会根据精确的信号源进行校准。校准通常在多个频率信道上执行，并且可能在多个频带上执行，因为同一无线电设备可能在不同的无线电协议下运行，并且每个接收器子系统都是单独校准的。作为频率函数的测量校准系数将本地存储在无线设备内部。

图 3 显示了用作无线设备校准源的 AP500xA 信号发生器。在制造测试期间，接收器可以通过开关矩阵连接到各种其他测试设备，以快速自动测试发射器和接收器子系统。在高精度和快速测试的要求下，信号发生器必须提供几个关键特征，包括幅度和频率的准确性和可重复性，以及频率和幅度变化之间的快速切换。AP500xA 具有这些功能，并且能够在“列表扫描”操作模式下独立设置频率、功率电平、调制和停留时间，如图 3 右下角屏幕所示。如前一节所述，信号发生器可以连续扫描列表或使用触发信号开始。

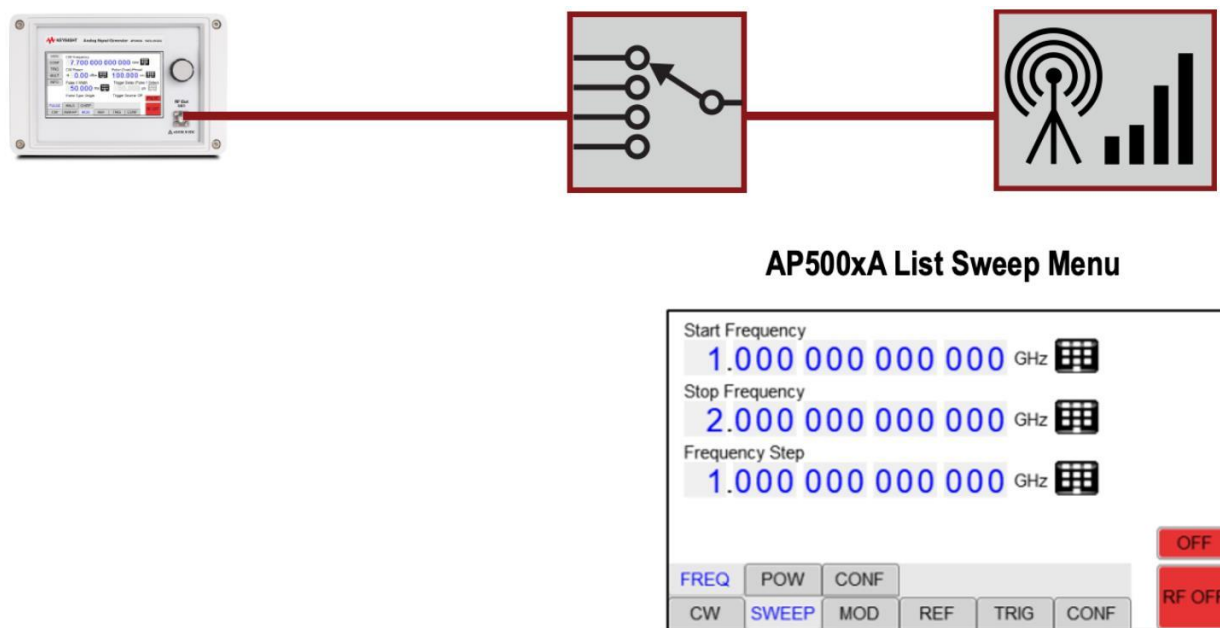


图 3. 用户可以将 AP500xA 连接到开关矩阵，以校准被测接收器的功率。右下角显示 AP500xA 的列表扫描菜单。

本振/时钟替换

在产品开发阶段，研发工程师和技术人员可能会使用信号发生器来代替系统的本地振荡器（LO）和时钟子系统。图 4 显示了一个简单的接收器，其中 AP500xA 信号发生器是 LO 和时钟的替代品，以替代 LO 和时钟组件的电路原型尚未设计的情况。第一信号发生器连接到混频器作为 LO 替代。然后，混频器的输出通过带通滤波器来捕获感兴趣的信号。然后，感兴趣的信号在被模数转换器（ADC）采样之前被放大，以便在现场可编程门阵列（FPGA）内进行额外的信号处理。在这种情况下，ADC 和 FPGA 时钟（AP500xA 作为替代）被配置为以不同的频率运行。这两个源通过连接它们的内部参考振荡器被频率锁定在一起。如果需要，也可以将 LO 发生器频率锁定到这两个源。

使用信号发生器作为振荡器和时钟器件的替代品的好处之一是，使用具有出色信号纯度的信号源（低相位噪声和低杂散信号）来确认系统的运行。相位噪声是射频源频率稳定性的度量。它通常具有由以百万分之几（PPM）表示的长期稳定性，以及由源内随机波动引起的短期稳定性。杂散信号是不希望的、非谐波相关的音调。由于杂散和相位噪声会损害接收器性能，选择高纯度信号发生器，如 AP500xA，将允许在系统组件开发过程中进行性能比较。图 1 中的表格显示，AP500xA 在 1 GHz 和 20 kHz 偏移下提供了 -130 dBc/Hz 的出色相位噪声。

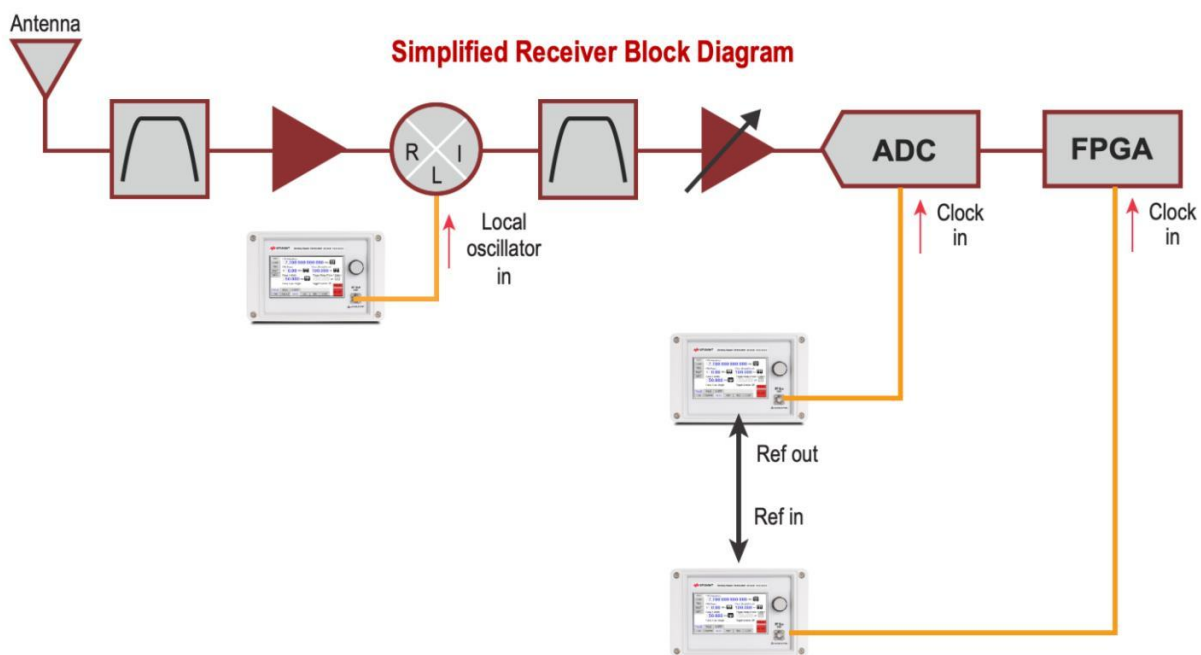


图 4. AP500xA 用作本振和时钟的替代

放大器测试

放大器的目标是信号放大。它应该增加信号的输出功率，而不会扭曲信号所携带的信息。否则，如果它不能确保信号完整性，它就违背了放大器的目的。在下一节中，我们将展示使用 AP500xA 表征和验证一些关键放大器参数是多么容易和高效。

增益测试

增益是放大器的一个关键特性。增益因子通常以分贝（dB）或 RF 和微波频率的 $10 \cdot \log_{10}$ （ P_{out}/P_{in} ）表示。 P_{out} 和 P_{in} 表示输出功率和进入放大器的输入功率。任何制造或使用放大器的人都必须对放大器增益进行表征和验证。射频/微波工程师将在设计过程中调谐和优化放大器，同时观察增益性能。技术人员还可以在制造过程中微调放大器以获得最大增益和输出功率。这些测量通常在测试频率范围内进行。

有几种方法可以测量放大器增益。最简单、最准确的技术之一涉及信号发生器和功率传感器或信号分析仪。由于增益是输出功率和输入功率之间的相对测量值或比率，因此根据放大器输入端的已知功率电平 P_{in} 调整信号发生器功率电平，然后使用功率传感器或信号分析仪测量放大器的输出功率 P_{out} 。在功率传感器临时连接到放大器的输入参考平面的初步校准过程中，可以实现引脚的调整。放大器增益通常在一定频率范围内进行测量。在吞吐量至关重要的制造测试中，AP500xA 为频率和幅度提供了小于 300 微秒的快速切换速度。

增益压缩是放大器的另一个重要特性。随着 P_{in} 的增加，增益在小信号区域保持相对平坦，直到放大器进入压缩或“饱和”状态，增益降低。增益下降 1 dB 的输出功率被指定为 1dB 压缩点或

“ P_{1dB} ”。在测量高功率放大器中的增益压缩时，例如输出功率大于 +30 dBm（1 瓦）的放大器，信号发生器必须能够以尽可能小的失真为被测放大器提供所需的高输出功率。如前所述，AP5002A 在选项 1EA 下可以提供高达 +23dBm 的输出功率。在制造测试中，高输出功率有助于补偿测试架布线和开关矩阵系统中的信号损失。高功率和快速的开关速度使其成为制造测试的理想选择。

图 5 显示了测量放大器关键性能指标（如增益）的测试设置。在放大器的输入端之前和输出端之后放置衰减器有助于减少阻抗失配，保护仪器免受损坏。您还可以考虑在输入衰减器之前放置一个隔离器，以终止由于失配而返回信号发生器的反射功率。图左下角的增益图还描绘了放大器、小信号和压缩的工作区域，以及增益降低 1 dB 时的 P_{1dB} 点。

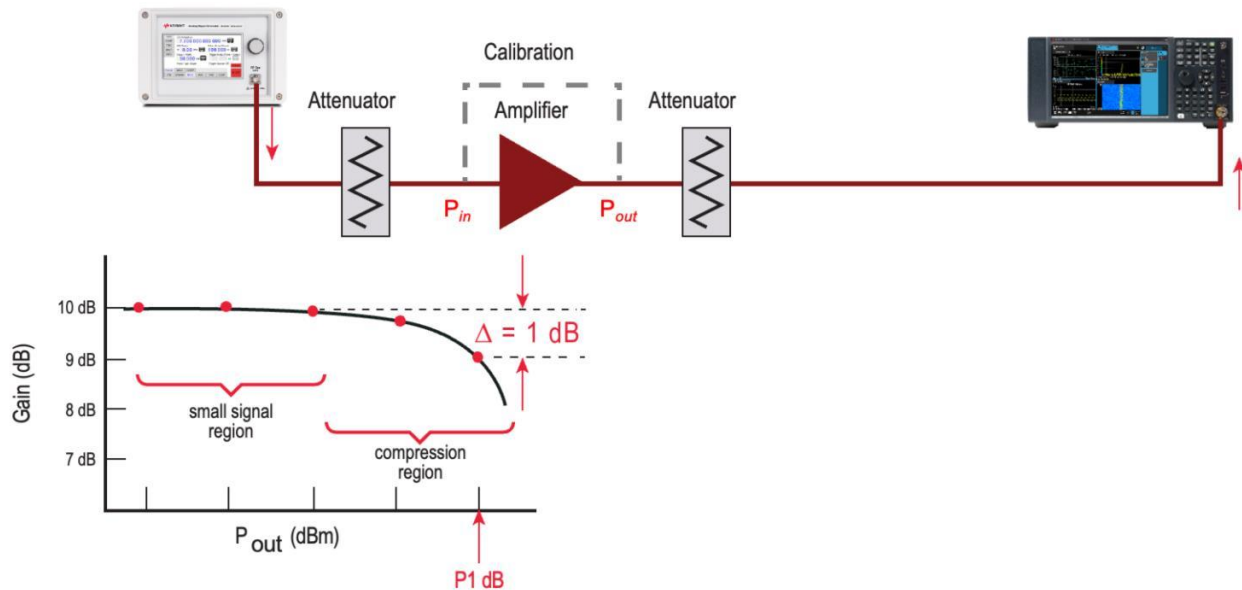


图 5. 在增益测量设置中，AP500xA 向放大器供电，信号分析仪测量放大器的输出功率

互调（IM）测试

放大器数据表通常包括一个称为三阶截距（**IP3**）的非线性失真规范。您可以使用两个或多个 **CW** 信号进行失真测量，并测量放大器非线性效应产生的不需要的信号的频率行为。失真测量对无线电和无线通信行业尤为重要，因为这些不需要的信号可能落在工作频带内或进入相邻的频率信道，从而降低整体系统性能。设备制造商通常在设计和制造阶段进行这些测试。

用于测量双音 **IM** 失真的典型配置需要两个信号发生器。图 6 显示了两个 **AP500xA** 信号发生器，每个发生器以不同的频率 **f1** 和 **f2** 工作。频率间隔通常与无线电系统的信道间隔有关。组合器将 **AP500xA** 产生的两个信号相加，并将组合信号施加到被测放大器。当您使用更高的输出功率时，您需要一个具有良好隔离性的组合器。

在测量之前，信号分析仪（如 **EXA**）会校准两个音调的功率电平，以确保它们在放大器的输入参考平面上以 **dBm** 为单位提供相同的功率电平。左下角的测量屏幕显示了提供给放大器输入端的两个音调，而右下角的屏幕显示了放大器输出端的两种音调，包括 **IM** 产物。**IM** 产物是由于放大器的非线性效应造成的。这种失真乘积通常显示为 **dBc** 的相对测量值，或与载波幅度相比的 **dB** 差。失真乘积是一个重要的测量值，因为它显示了相邻无线信道中可能存在的失真水平。

这些失真产物被称为“三阶”，因为输出功率每增加 1 dB，失真水平就会相应增加 3 dB。换句话说，在 f_1 和 f_2 处，这些不期望的信号的增加速度是期望信号的三倍。我们将在下一节中更详细地介绍指定三阶产物。

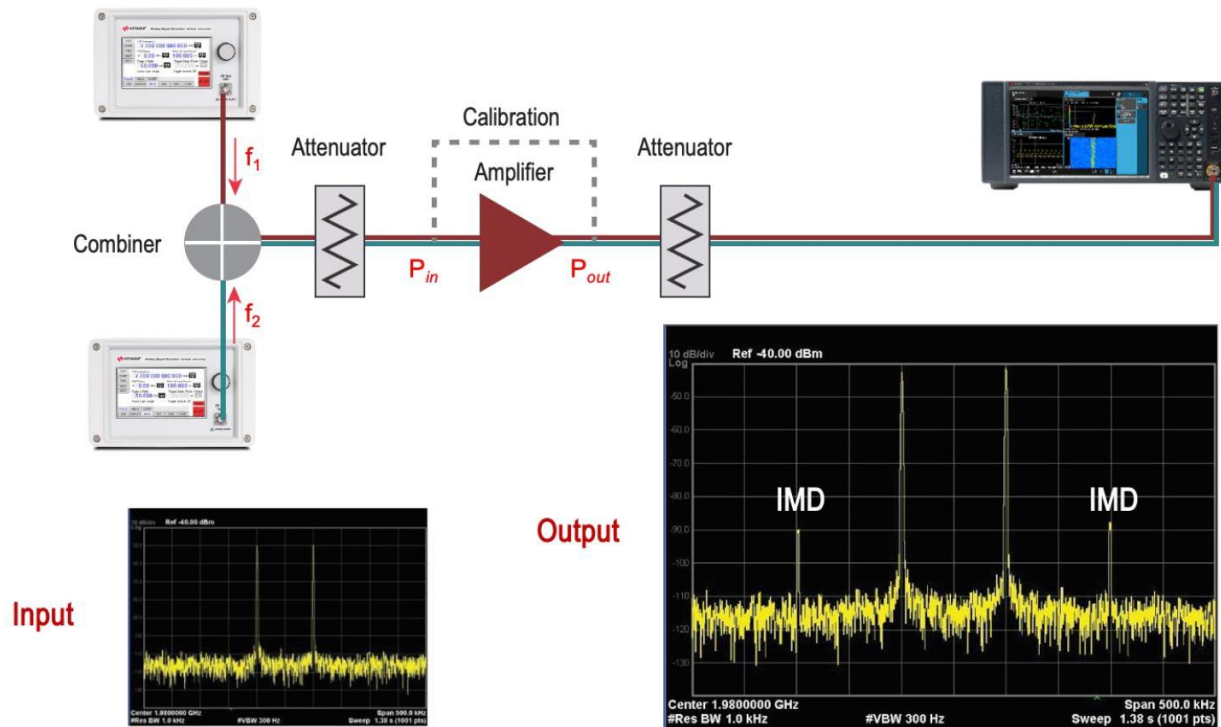


图 6. 使用两个 AP500xA 产生双音信号和一个信号分析仪对放大器进行 IMD 测量的测试装置

三阶交调（TOI）测试

指定失真产物的一个挑战是，对于不同的放大器和测试配置，输入功率电平可能会有很大差异。指定 IM 失真的更好方法是计算被测放大器的“截距点”。截获点是基本载波和 IM 乘积相等的功率电平。在比较放大器之间的非线性性能时，该参数可用作品质因数，是放大器制造商数据表上常见的关键参数。

互调产物的斜率等于它们的阶数。例如，使用前一节中的双音测试，两个基波载波的输入功率在功率范围内均匀变化，并测量基波和互调产物的输出功率。功率水平一起绘制在同一个 P_{in} 与 P_{out} 图上，如图 7 所示。基本曲线的斜率表示放大器的增益，而失真曲线的斜率则表示 IM 乘积的阶数。对于该测量，基波的 1 dB 变化对应于 IM 乘积的 3 dB 变化，从而产生三阶 IM 乘积。随着输入功率的增加，放大器最终将进入压缩或饱和状态。当这两条线从其线性范围外推时，它们在三阶交调（TOI）点达到理论交点，在放大器数据表上通常标记为“IP3”。IP3 是放大器的关键参数，表示失真产物的相对抑制。更高的 IP3 值在指定的输入功率下导致更低的失真，并提供了比较不同放大器性能的方法。

请注意，频谱或信号分析仪是少数可以测量放大器或混频器等其他非线性设备输出端出现的失真产物的仪器之一。信号分析仪将信号功率测量值显示为频率的函数。功率传感器不提供任何关于频率内容的信息，而是对整个传感器频率范围内的所有功率进行单一组合测量。

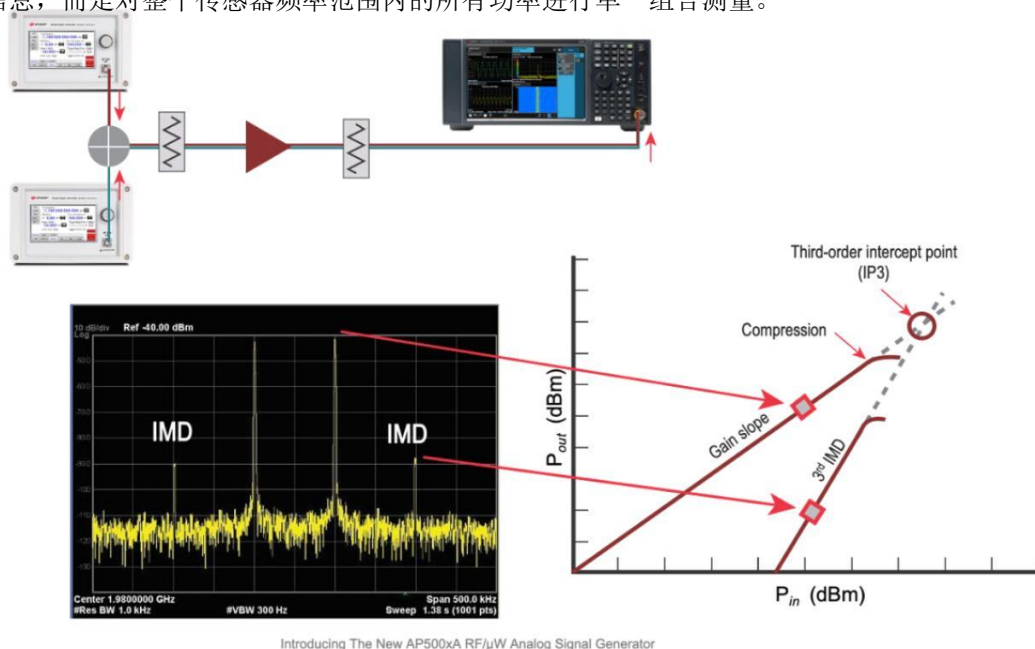


图 7. 一个关键的放大器参数，即三阶截点（IP3），被定义为增益和三阶 IMD 曲线交点处的输入功率

相位相干性测试

本应用说明描述了两个 G2 信号发生器（AP5002A）或两个 FS2 频率合成器与外部 10 MHz 参考相位锁定以实现信道间相位相干性。

介绍

是德科技合成信号发生器现在可提供高达 26 GHz 的频率，同时实现了高度的稳定性、相位一致性和极快的调谐速度。是德科技射频合成器是独立的单元，集成了精度为 100 MHz 的 OCXO，但外部可编程的 1 至 250 MHz 参考可用于锁相。一些应用需要与外部参考的相位一致性，特别是在多个射频信道之间。

要求

早期的频率合成器不一定由单晶标准控制。使用几个内部晶体振荡器获得足够的频率稳定性，这些振荡器有助于输出的整体频率稳定性。这些设备被认为是不连贯的。当应用于频率合成器时，相位相干性描述了频率标准与输出频率的关系。如果输出频率准确地再现了标准的相对频率稳定性，则该设备被认为是相干的。

尽管有这样的定义，但认为所有使用单一标准（外部或内部）的当代系统都是连贯的这一假设是不正确的。许多使用分数 N 或二进制 DDS 精细分辨率合成器的系统并不是真正的相位相干；相反，他们指定了对输出错误的小但有限的引用。

特别感兴趣的是在两个独立信号源之间长时间观察到的相位稳定性，这两个信号源被锁相到相同的外部（10 MHz）参考。

测试设置

图 1 显示了用于确定编程为 16 GHz 输出的两个 FS2 频率合成器之间的相位稳定性（相干性）水平的测试设置。PNA 信号源分析仪用于在长时间间隔内（在这种情况下约为 9 小时）监测两个 RF 通道之间的相位稳定性。



图 1. 测试设置

在第一次测量中，右源被锁相到 10 MHz 外部参考（REF IN 端口）。它输出 10 MHz（REF OUT），该输出被馈送到左源的 REF IN，并且也被锁相到 10 MHz。

图 2 显示了随时间变化的两个射频输出之间的相位误差。从图中可以看出（相位误差随时间绘制），在 9 小时的测量期内，相位误差保持在大约 10 度以内。

在第二次测量中，右源再次与外部 10MHz 锁相。REF OUT 被编程为输出 100 MHz，并馈入左源。左源被配置为使用 100 MHz 输入作为参考时钟。

图 3 显示，在 9 小时的整个测量时间内，相位误差大大改善到不到 2 度。

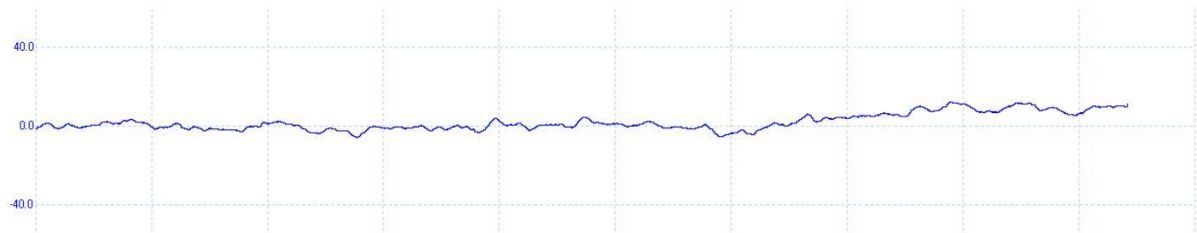


图 2. 锁定到 10 MHz 外部参考的两个 16 GHz RF 信号之间的相位稳定性

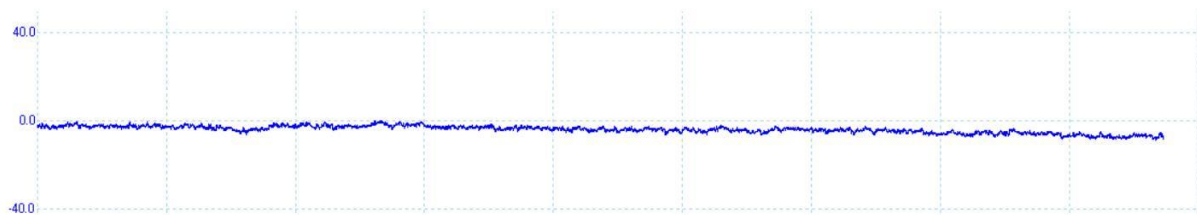


图 3. 两个 16 GHz 射频信号之间的相位稳定性，一个源锁定到 10 MHz，输出 100 MHz 内部参考，用作第二个源的时钟

使用两个锁相到外部 10 MHz 参考的是德科技 FS2 频率合成器可以实现良好的相位稳定性。通过使用是德科技信号源的级联参考模式，可以进一步提高相位稳定性。

结论.

为了确保成功并加快产品开发，具有更快开关速度、出色信号纯度和卓越输出功率的信号源将使您能够快速表征和选择组件和子模块。

是德科技紧凑型模拟信号发生器 AP500xA 具有快速的开关速度、出色的信号纯度和高输出功率。其他功能包括 AM、FM、PM 和脉冲调制，高性能恒温晶体振荡器（OCXO），以及出色的谐波/非谐波性能。

此外，您还可以享受是德科技的三年保修和 KeysightsCare 技术支持，以降低项目风险。