



白皮书

生成 5G 新空口信号的 4 个技巧

加速 5G NR 的设计验证

5G 技术有望实现更快、更可靠的通信。为了实现移动宽带通信，5G 结合使用现有技术和新技术来达到极高的数据吞吐量。然而，这些技术需要接受新的测试，包括在更宽的信道带宽和复杂的多天线配置下进行毫米波频率测试。

测试基站和移动终端发射机和接收机首先仿真符合 5G 新空口（NR）标准的信号。为了准确仿真信号，测试设备必须支持信道编码和多天线配置，并且必须允许您处理各种信号参数的多种组合，以支持复杂的测试设置。此外，您还需要计量级参考信号，以便看到真正的被测器件特性。稳健的测试系统支持为各种测试场景（从元器件表征、设计验证和预兼容性测试到批量生产测试）生成测试信号。

5G NR 带来了新的技术，因此您需要从全新角度考虑如何设计和测试器件。以下的 4 个技巧将会帮助您成功生成 5G NR 测试信号，并使您的设计更快上市。



技巧 #1：简化 5G 测试波形创建

第三代合作伙伴计划（3GPP）规定了用户设备（UE）和基站（gNB）的 5G NR 测试要求。表 1 列出了 UE 和 gNB 的最低测试要求和一致性测试的技术规范（TS）。一致性测试文件规定了测量步骤。测试方法包括传导测试、辐射测试或各种频率范围的混合测试。

器件	最低要求	一致性测试		说明
用户设备	TS 38.101	传导测试	TS 38.521-1	频率范围 1
		辐射测试	TS 38.521-2	频率范围 2
		传导/辐射	TS 38.521-3	互通操作
gNB	TS 38.104	传导测试	TS 38.141-1	频率范围 1
		辐射测试	TS 38.141-2	频率范围 1 和频率范围 2

表 1：3GPP 5G NR 测试技术规范

每个文件都规定了发射机特性、接收机特性和性能测试要求。另外，第 1 部分规定的是传导测试，第 2 部分规定的辐射测试。第 3 部分则规定了 NR UE 在频率范围 1（FR1，6 GHz 以下频率）和频率范围 2（FR2，毫米波频率）之间，或 NR 和 LTE 之间的互通。

配置符合标准的测试信号

为了执行一致性测试，3GPP 确定了针对特定测试用例使用的测试信号。例如，3GPP 在 TS 38.141 中定义了 5G NR gNB 发射机测试的测试模型（TM），以及 5G NR gNB 接收机测试的固定参考信道（FRC）。测试需要根据规范来设置物理信道，包括逻辑信道、资源分配、净荷数据、带宽部分、控制资源集、特定信元设置和射频参数。每个测试信号都有超过 50 多个可调参数，以及相关的带宽和参数集（子载波间隔）。如果测试设备支持基于标准预定义一致性测试设置，就可以节省很多设置时间，并让您确信自己所做的测量符合标准。

使用预配置的设置加速测试设置

图 1 显示了 FR1 的 5G NR TM1.1。整个无线帧的图形在左下角显示。x 轴表示基于当前参数集的时隙，y 轴表示资源块（RB）值。帧中使用的各种信道类型用不同颜色表示：绿色表示下行链路共享信道（DL-SCH），浅绿色表示下行链路控制信息（DCI）。在右下角显示的是详细的 RB 映射，包括红色的解调参考信号（DMRS）和绿色的物理下行链路共享信道（PDSCH）。预配置的设置可帮助您生成符合 3GPP 5G NR 标准的信号，以便快速轻松地测试 gNB、UE 发射机和接收机，如右上方所示。

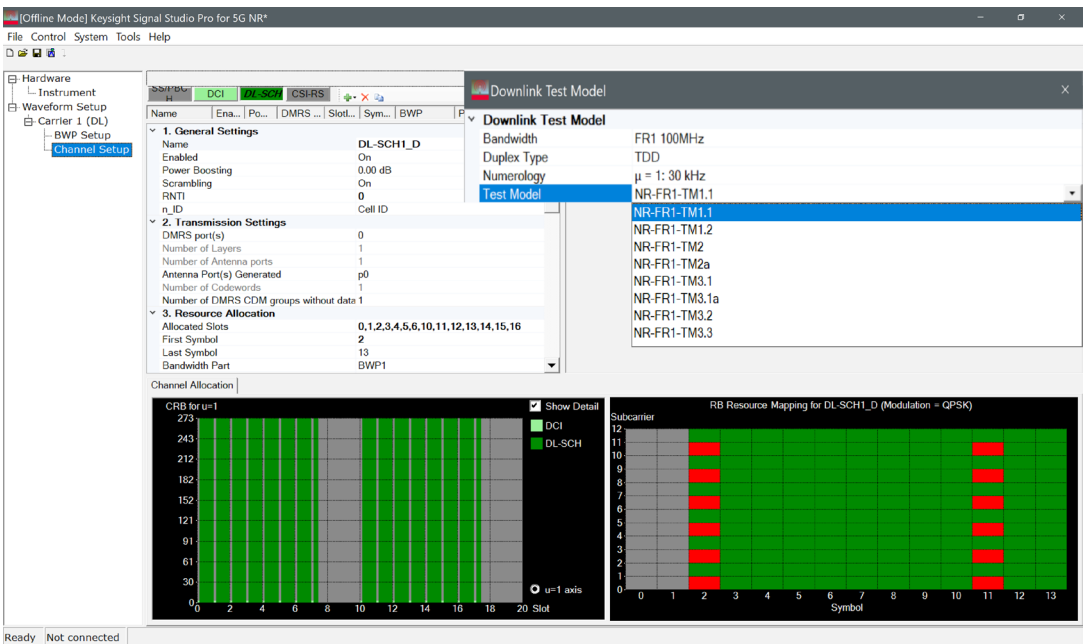


图 1：用于 5G NR 的 N7631C Signal Studio 软件中的 5G NR TM 配置

图 2 显示了用于 gNB 接收机测试的上行链路 FRC。使用预配置工具之后，测试工程师接下来就只需要选择测试类型，如接收机灵敏度和信道内灵敏度，或者是特定测试用例的动态范围，然后选择具有特定子载波间隔的 FRC、资源块数量、调制编码方案和编码率。

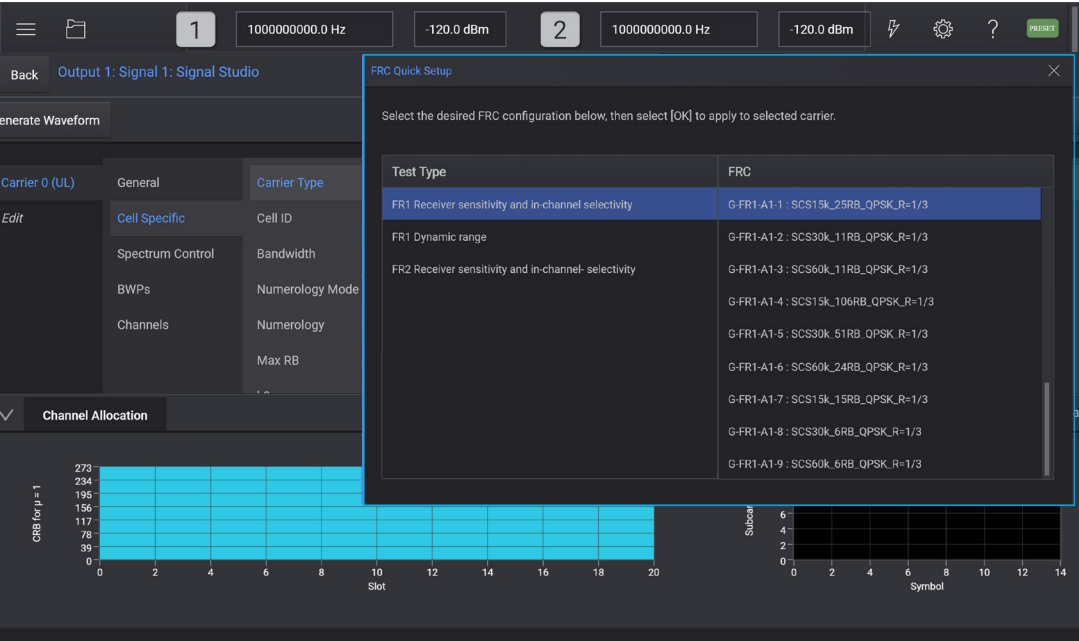


图 2: PathWave 5G NR 信号生成软件的嵌入式用户界面中的 5G NR FRC 配置

技巧 #2: 评估 5G NR 波形

在现代无线通信中，调制方案变得越来越复杂。复杂的调制信号会产生更高的峰均功率比（PAPR），这可能导致被测器件（如放大器和混频器）的非线性失真更高。因此，要从复信号中提取有用的功率相关信息，您需要对功率电平进行统计分析。

生成调制信号的必要步骤

如果您是音响发烧友，可以通过播放高清乐曲来测试音响系统的性能。在此之前，您需要了解这首乐曲的特征。否则，高昂的声音有可能损坏系统，或导致声音失真。

功率互补累积分布函数（CCDF）曲线能够表征信号峰值超过平均功率电平的概率，并提供峰均功率比（PAPR）等关键信息。CCDF 帮助工程师了解给定信号在元件中产生非线性概率，以及可能需要应用多少补偿才能避免削弱信号峰值。使用信号发生器仿真数字调制信号时，要保证信号发生器不会使输出信号饱和。

信号发生器的增益压缩

如果信号发生器的输出信号达到饱和，不仅会影响输出功率电平精度，还会由于幅度压缩而影响到调制质量。对于高 PAPR 信号，信号发生器的幅度电平设置不能大于其最大输出功率（即峰包功率 PEP）与 PAPR 的差值。

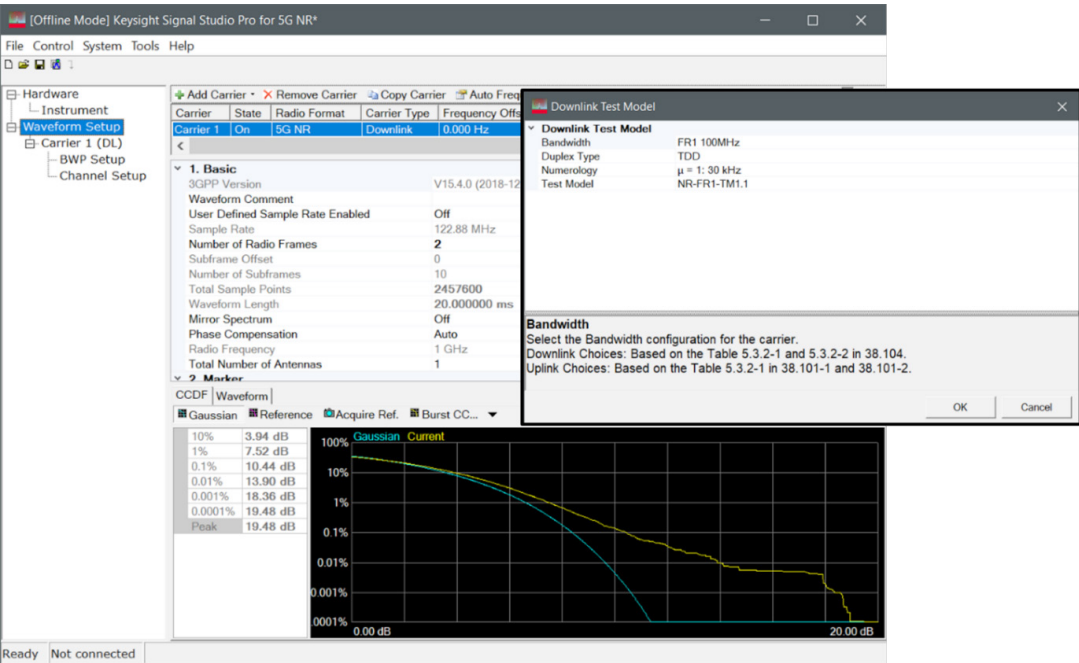


图 3: CCDF 绘制 5G NR FR1 下行链路 TM1.1 的曲线图，信号带宽为 100 MHz

图 3 显示了使用测试模型 (TM) 1.1 仿真具有 100 MHz 带宽的 5G NR FR1 下行链路信号波形。波形的 PAPR 高达 19.5 dB。如果信号发生器的最大输出功率为 +20 dBm。则您使用信号发生器可以达到的最大幅度设置 (平均功率) 为 +0.5 dBm ($20 - 19.5 = 0.5$)。这可以防止信号发生器的功率放大器饱和。信号发生器需要一个高线性度、失真较小的输出部分, 以便生成 5G 信号。



为什么信号发生器的大输出功率对毫米波测量特别重要?

5G FR2 毫米波工作频带具有更宽的信道带宽, 可实现 5G 所承诺的极高数据速率, 但它也暴露了路径损耗过高等信号传播问题。为了应对路径损耗, 5G NR 使用相控阵天线增加天线方向性和增益。因此需要进行 OTA 测试。为了解决电缆、开关和自由空间辐射 (OTA) 中路径损耗过高的问题, 信号发生器需要更高的输出功率电平来补偿损耗。适用于 5G 测试的信号发生器必须具有线性输出部分, 失真较小, 在高输出电平时的相位噪声也较低。如果想要在毫米波频率下进行精确测量, 保证误差不是来自信号发生器本身, 这些都是重要的考虑因素。

技巧 #3: 最大限度地减少宽带宽信号的信道响应

增强型移动宽带 (eMBB) 是为 5G 定义的用例之一。它通过结合使用现有技术和新技术来实现预期的极高数据吞吐量, 包括更宽的信道带宽、载波聚合、高调制密度和多天线配置。5G NR 在 FR2 中的最大信道带宽为 400 MHz, 最大聚合信道带宽 (连续) 高达 1.2 GHz。通常情况下, 随着信道带宽增加, 信道平坦度降低。表 2 列出了新无线标准的最大信道带宽和聚合带宽。

标准	版本	最大信道带宽	最大聚合信道带宽 (连续)
3GPP 4G	LTE (R8)	20 MHz	无
	LTE-A (R10)	20 MHz	100 MHz
	LTE-A Pro (R13-14)	20 MHz	640 MHz
3GPP 5G*	NR FR1 (R15)	100 MHz	400 MHz
	NR FR2 (R15)	400 MHz	1200 MHz

* 3GPP TS 38.521-1 / 2 V15.0.0 UE 一致性测试规范, 无线传输和接收

表 2: 3GPP 标准的最大带宽

内部信道校正

大多数新型矢量信号发生器都支持内部校准程序（也叫工厂校准），这个程序会在整个射频频率和功率电平范围内收集基带和射频幅度以及相位误差的校正数据。校正数据包括应用于基带波形的校正滤波器参数。校正处理由数字信号处理器（DSP）实时实施。

图 4 显示了使用 400 MHz 带宽并开启内部信道校正功能后，测量 5G NR 信号所得到的结果。幅度的频率响应小于 ± 0.1 dB，相位为 0.5 度，这表明其性能十分优异。

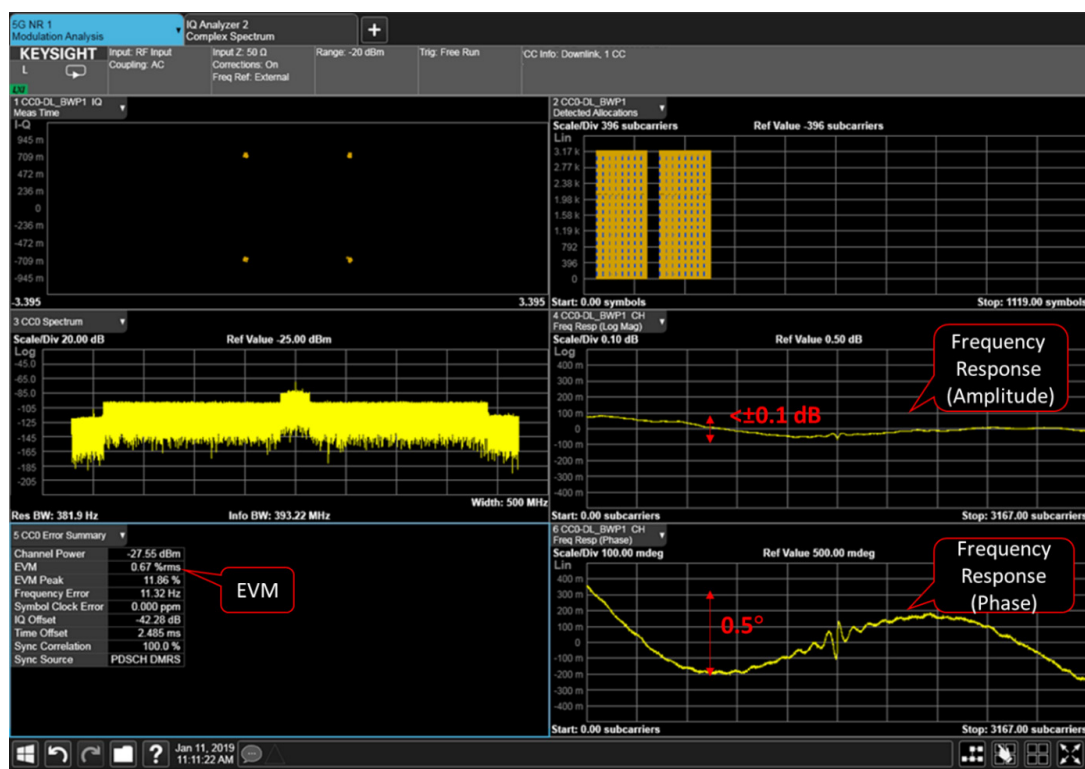


图 4：400 MHz 带宽下 5G NR 信号的频率响应

将参考面延伸到被测器件面

校准对于保证测量系统产生准确结果至关重要。仪器与被测器件（DUT）之间的路径中存在着电缆、元器件和开关，它们会产生平坦度误差，从而降低测量精度。您必须将测量精度从信号发生器的输出端口（参考面）扩展到被测器件的测试端口，如图 5 所示。信号发生器和设备之间的任何网络元件（电缆、连接器或夹具）都会影响信号的保真度。

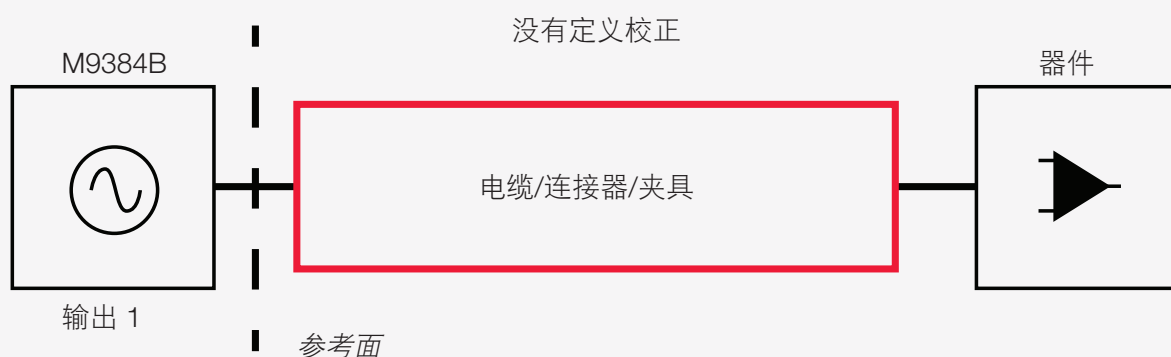


图 5：信道校正必须考虑到网络元件的影响

您可以通过测量网络单元的响应，得到经过校正的过滤器。是德科技提供了一种测量校正模块向导程序，可以引导您完成对外部网络（包括电缆、连接器以及介于信号发生器与被测器件之间的其他无源元件）的测量和计算校正。一旦表征了所需的拓扑结构，就可以将有效参考面移动到仪表/分析仪的连接点，从而从输出信号中消除外部网络的影响。

技巧 #4：提高带外性能

数字调制使用幅度和相移，因此会产生一定的失真，这也称为频谱再生。图 6 显示了数字调制信号的频谱再生（红色）。频谱再生在主信道外扩散。相邻信道功率比（ACPR）测量可以检查这种类型的失真；它测量主信道功率与进入相邻信道的功率之比。在大多数蜂窝一致性测试规范中，ACPR 测量都是一项关键的发射机特征。要执行 ACPR 测量，您需要使用失真极小的信号发生器，以生成符合特定标准的测试波形。

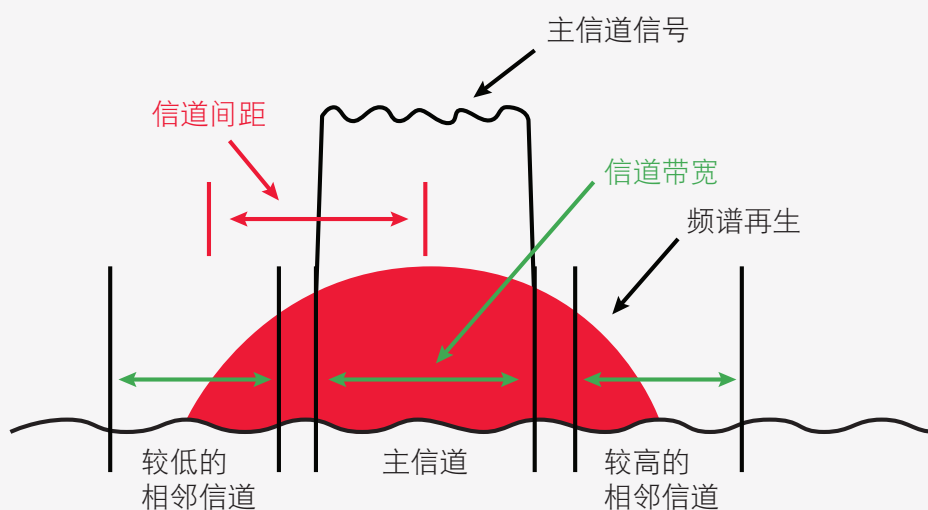


图 6：数字调制信号的频谱再生（红色）

3GPP 5G NR 标准没有定义用于正交频分复用（OFDM）信号的特殊基带滤波器。在实践中，设计人员通过实施 OFDM 窗口化和基带滤波，有效地降低了带内和带外发射。对于功率放大器等 5G 射频元件测试，Keysight Signal Studio 软件提供基带窗口化和滤波选项，允许您修改信号的误差矢量幅度（EVM）和 ACPR 特征，如图 7 所示。

如前所述，信号发生器需要更高的输出功率电平，以补偿毫米波频率下过大的路径损耗。但是，大功率信号可能导致信号失真，降低调制质量（EVM）并产生频谱再生（ACPR）。这就要求您优化信号发生器的输出线性度，最大限度降低高输出电平时的相位噪声，从而为 5G NR 测试提供最佳的 EVM 和 ACPR 性能。

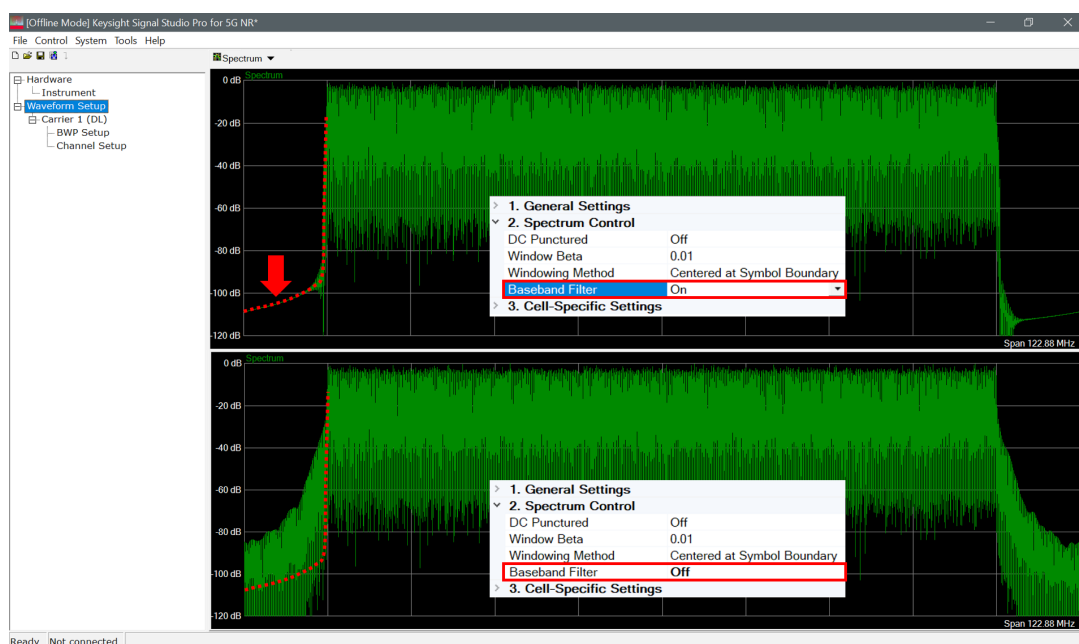


图 7：使用和未使用基带滤波器时的 5G NR 信号频谱仿真



Keysight M9383B/M9384B VXG 微波信号发生器采用紧凑型设计，可在单个仪器中提供 1 MHz 至 44 GHz 的频率范围、高达 2 GHz 的射频调制带宽和双相干信道。VXG 微波信号发生器可满足最苛刻的宽带毫米波应用要求，包括 5G 和卫星通信应用。

是德科技与 5G 行业的其他领导者密切合作，共同开发 VXG 微波信号发生器，助力下一代蜂窝技术发展。我们提供了以下优势：

- 率先在单个测试仪器中配备 2 GHz 射频调制带宽的双通道 44 GHz 矢量信号发生器，降低 5G NR 测试系统设置的复杂性。
- 凭借更高的输出功率与误差矢量幅度（EVM）和相邻信道功率比（ACPR）性能，减少了 OTA 测试系统的路径损耗。
- 通过与 PathWave Signal Generation 集成，加速产品开发周期。PathWave Signal Generation 是一个软件套件，可以生成各种演进中的、符合标准的 3GPP 5G NR 信号，用于测试基站、移动终端发射机和接收机。另外，它还支持信道编码和多天线配置，包括支持最新的 3GPP 15.4.0 版（2018-12），例如下行链路控制资源集（CORESET）更新、以及下行链路/上行链路信道更新和配置。



结论

生成各种符合标准的 5G NR 测试信号需要灵活的波形创建软件平台和高性能硬件。波形创建软件使您可以利用预先配置好的基于标准的测试信号，快速轻松地创建自定义 5G 波形。您应该选择这样的信号发生器：不仅符合性能和带宽要求，还要有足够的灵活性，可以随着 5G 标准的发展而扩展。

是德科技的 5G 波形生成解决方案已经为 5G NR 做好准备，能够对从射频到毫米波频率的 5G NR 器件和设备进行精确表征，且调制带宽可达 2 GHz。

访问我们的 [5G 网站](#)，加速您的 5G 创新。

如欲了解更多信息，请访问：www.keysight.com

如需了解关于是德科技产品、应用和服务的更多信息，请与是德科技联系。

如需完整的联系方式，请访问：www.keysight.com/find/contactus

