

无线局域网中的功率放大器测试方案

最初的无线局域网络标准，主要是用于对有线宽频连接提供低数据传输率无线连接，以进行网页浏览和电子邮件收发。随着时间的演进，新的 802.11 无线协议可为新的应用提供更高的数据传输率。目前的 802.11ac WLAN 标准，可在单一射频通道提供高达 867Mbps 的数据传输率，并在使用 MIMO 通道时高达 6.93Gbps。由于采用了更即时的频宽(提升至 160MHz)、更多的 MIMO 通道(最多 8 个)，以及高密度调变的星座图(高达 256QAM)，将 802.11n 标准扩展成了如此高的 802.11ac 数据传输率。

功率放大器测试

功率放大器(PA)是 WLAN 发射器电路中的关键组件，因为 PA 性能会影响无线覆盖范围、数据传输率容量和电池寿命。任何发射器 PA 的目标都是尽可能使用很少的 DC 功率以产生足够的线性 RF 输出功率。当输出功率增加到放大器的增益压缩区时，PA 性能由于 PA 非线性失真而可主导 WLAN 系统级的发射器性能。移动设备与无线热点通常传输基于 100mW(+20dBm)与 1W(+30dBm)之间的 RF 输出功率，且 PA 必须能产生带有最少非线性失真的足够功率。对 PA 测试而言，一套完整的 IEEE 802.11ac 特定的发射器验证测试包括：

- 频谱遮罩(Spectrum Mask)
- 频谱平坦性
- 峰值功率
- 中心频率误差
- 符号时钟频率误差(Symbol Clock Frequency Error)
- 中心频率泄露(Center Frequency Leakage)
- 误差向量幅度(Error Vector Magnitude, EVM)

本文将进一步扩展 EVM 测试，该测试是全面且广泛使用于 PA 测试的技术。EVM 是一项用来量化数字通信信道的性能的测试，并提供捕获到的编码数据字符与 I/Q 星座图内理想位置的误差测量。均方根 EVM 是一项全面性的测量值，在 RF 信号或设备中的任何缺陷都会使其降低。因此，对 WLAN 发射器设计而言，PA 在其输出功率与信道频率的完整操作范围内，需要可接受的 EVM 作用。由于 802.11ac 包括具有 2.5%(-32dB)EVM 规格限制的 256QAM 群集，PA 线性度和对应的 EVM 作用必要条件比早期的 802.11 标准更严格，而 802.11n 中的 PA EVM 作用限制在大约 3%，而 802.11ac 中的 PA EVM 作用则大约限制在 1.5%。此外，新的 256QAM 信号调变具有更高的峰值均值比率(PAR)，也增加在 802.11ac 发射器设计内的 PA 其所必要的线性输出功率。

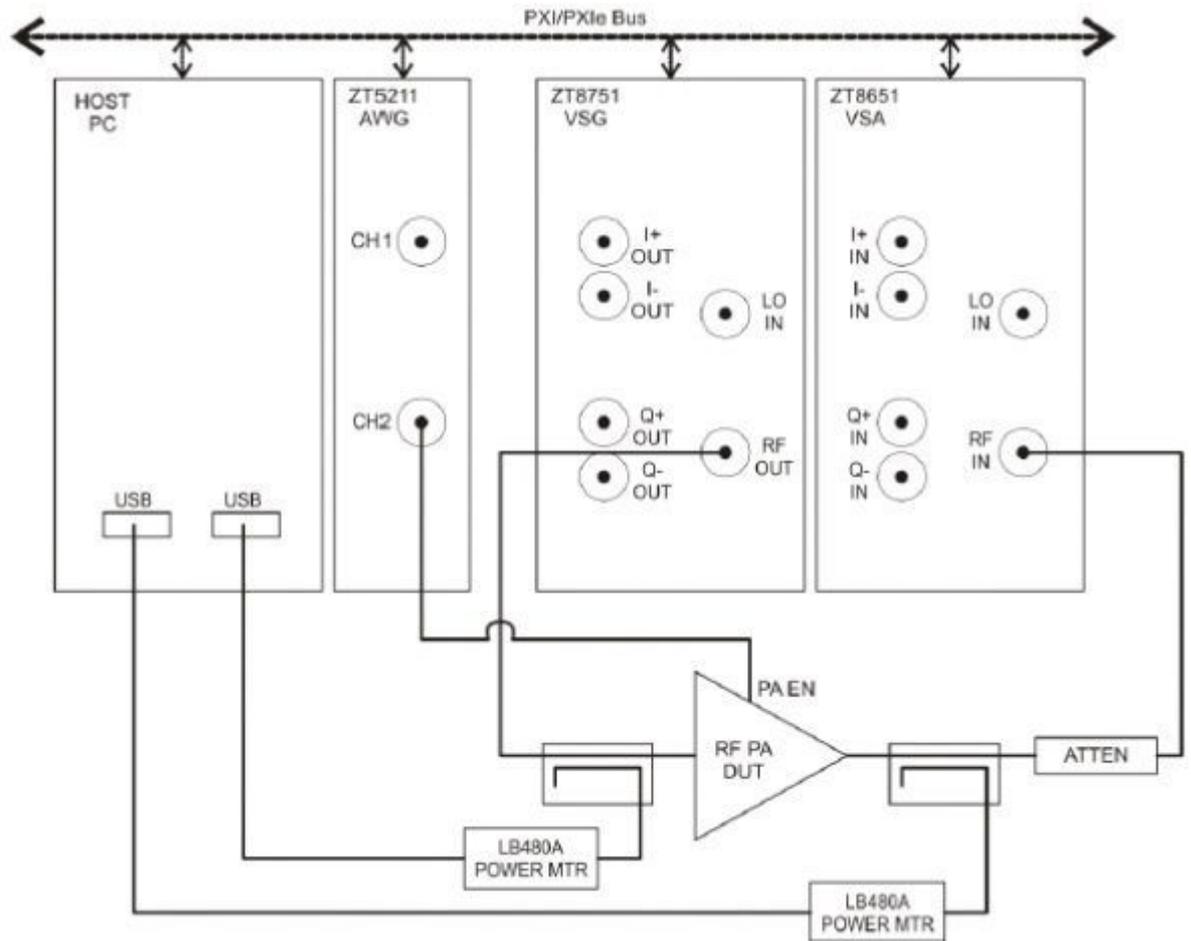


图 1：用于 PA 测试的测试设备架构图。

图 1 显示使用 ZEC 仪器 Z8201RF 测试套件进行 PA 测试的典型测试设备架构图。典型的设备清单包括：

- z8651 6GHz 向量信号分析仪(Vector Signal Analyzer, VSA), 可选择 80 或 160MHz 分析频宽
- z8751 6GHz 向量信号发生器(Vector Signal Generator, VSG), 可选择 250 或 500MHz 调变频宽
- z5211 200MS/s 任意波形发生器
- 可视需要选用 Ladybug 科技的 LB480A USB 功率计
- PXI/PXIe 机箱与主机电脑
- 电缆、定向耦合器和衰减器

由于 PA 输入与输出功率由 VSG 与 VSA 设定和测量，因此可视需要选用 USB 功率计与相关定向耦合器。功率计提供以定向耦合器在待测件(DUT)所测得的 PA 输入与输出功率更精确的校正测量值。VSA 与 VSG 通常可准确至<0.5dB，而功率计能准确至<0.1dB。用于衰减器和使用功率计配置时用于定向耦合器的校正因数必须预先校正。

PA EVM

典型的 PA EVM 测试，会通过许多测试频率测量 EVM 相对于 PA 的输出功率。图 2 显示了使用 z8201RF 测试套件进行典型 PA EVM 测试所测得的实际测量数据曲线。这些曲线显示在输入功率 30dB 范围内，进行测试的全部五个 80MHz 802.11ac 信道频率都适用于 PA。实际的 PA 输出功率使用功率计测得，并将这个数据作为图 2 中曲线的水平轴坐标。在这项测试中，有 5 个信道频率和 30 个功率的总计 150 个测试点。PXI/PIXe 高度整合测试设备架构的一项优势是快速数据传输量和处理速度。在 150 种测试情况下，总测量时间与带有像 LAN 或 PGIB 接口的其他测试设备相比可大幅减少。z8201RF 测试套件与 zProtocol WLAN 软件为 802.11ac 测试提供的设置和操作优化的示例编码，可以保证每个 EVM 测试都在 20ms 内完成。

探讨图 2 所显示的实际 PA 测试数据时，可发现 EVM 在高速输出功率时降低。随着 PA 输出功率增加到其增益压缩区，非线性失真将会出现，并造成 EVM 增加。此项 EVM 功率扫描测试识别出 PA 的线性功率区，是 WLAN 发射器设计考量的关键因素。需要注意的是，为了实现对 802.11ac 低于 1.5% EVM 的临界值，此特定 PA 可达到最大+10dBm 线性输出功率；虽然此 PA 是专为 802.11n 发射器所设计且工作良好，但对没有诸如数字预失真的附加线性化技术的 802.11ac 发射器设计而言，其线性输出功率会显得不够。

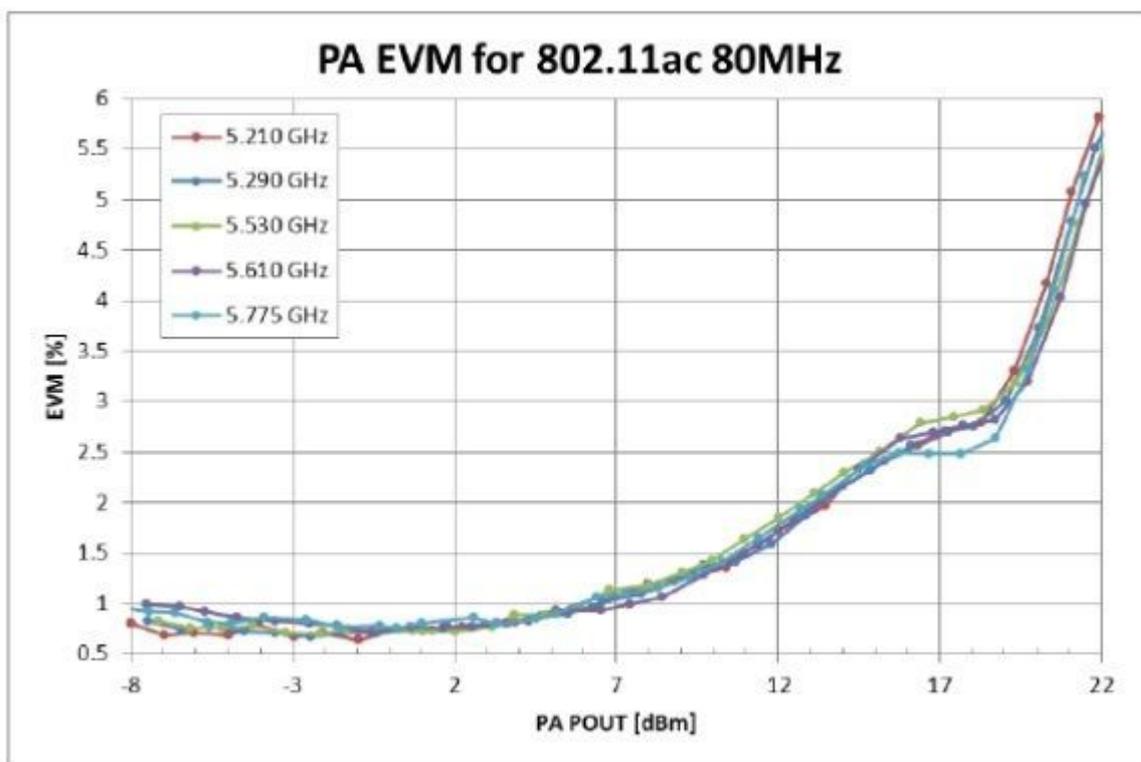


图 2: PA EVM 与输出功率对比。

动态 EVM

对系统级 WLAN 发射器设计而言，电池寿命和功率消耗都是重要的考虑因素。因为总系统 DC 功率的很大一部分是 PA 发射所消耗的，因此采用多种技术以减少 PA 功率使用显

得很有必要。相对于 DC 功率消耗来说，许多 PA 提供可调整的 DC 供电电压，以优化最大的 RF 输出功率，且大多数 PA 可在不使用时，断电或停用，以节省功率，比如当接收时，或者在传输期间介于封包之间时。为了最大化功率效益，PA 必须具有快速的开启与关闭切换时间。图 3 显示了示波器捕获的在 50%占空比的脉冲条件下，PA 的 PA 使能(PA EN)相关时序与 RF 信号。注意在此测试设备内将 PA EN 脉冲与 RF 信号之间的可调整延迟设定为 2.0 μ s。在 PA EN 与 RF 信号之间的时间间隔最小时，DC 功率效益最高，但短延迟会加重 RF 信号的瞬时效应。

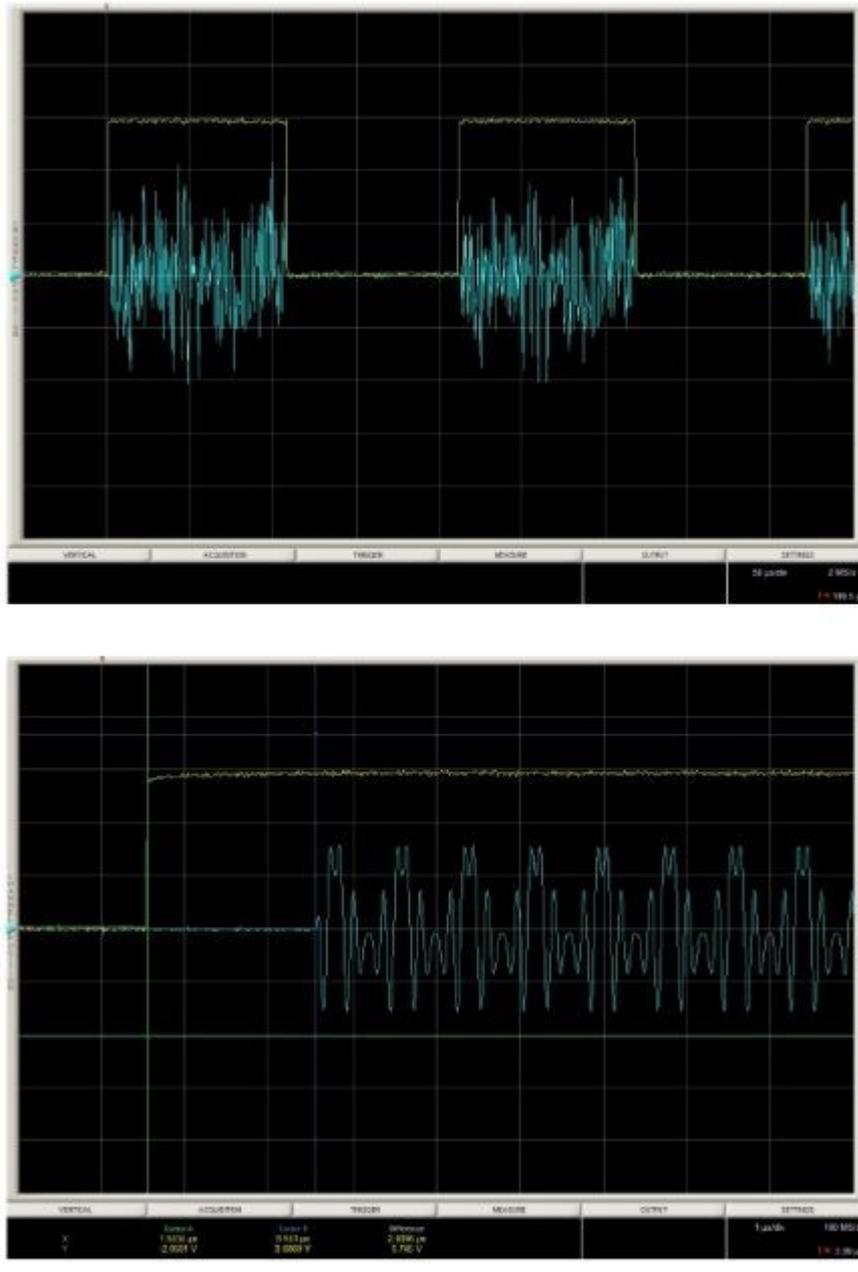


图 3: PA 使能(黄色)与 RF 脉冲(蓝色)的时域曲线。

由于 PA 的供电/断电操作可造成暂态及热效应而降低发射器性能，因此常常需要测量被称为动态 EVM 的另一项指标。动态 EVM 通过方波脉冲施加于 PA EN 以模仿发射器的实际动态工作环境来进行测量。动态 EVM 的降低是由于 PA 的瞬态响应影响了封包的起始报头，并造成了缺陷信道估算。经研究表明具有 50% 占空比方波的动态 EVM 比静态 EVM (具有 100% 占空比) 更不适用于 PA EN。

使用图 1 所示的测试设备，通过使用 PXI/PXIe 系统，动态 EVM 测试是完全自动化的。使用 PXI/PXIe 底板触发器和时钟信号可实现动态 EVM 测量的全部时钟同步化。图 1 的块图显示 z5211 任意波形发生器(AWG)，其产生具有可调整电压大小、脉冲宽度、脉冲延迟和重复率的 PA EN 脉冲。实际的 PA 测试数据如图 4 所示，在 +18dBm 输出功率以下，动态 EVM 都比静态 EVM 差。对于此特定 PA，在 +18dBm 输出功率以上，动态 EVM 比静态 EVM 更佳。如之前所述，因为动态 EVM 可测量 PA 在实际脉冲工作模式下的 PA 性能，所以这种典型的 PA 动态 EVM 测量对发射器设计考量至关重要。

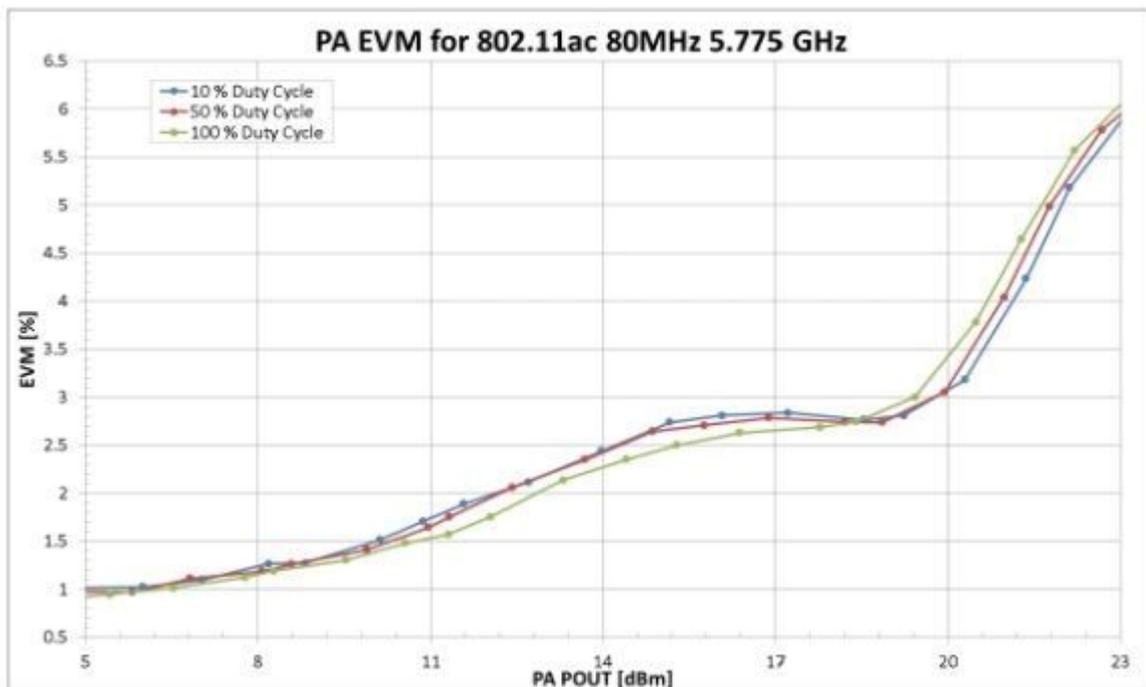


图 4: PA 动态 EVM 与占空比。

数字预失真

在高输出功率时，改善 PA 内的线性度是一项挑战。数字预失真(DPD)是通过数字信号处理技术从本质上消除失真的一种技术。对组合式 VSA/VSG 测试系统而言，软件工具可简化和自动化 DPD，比如 z8201 RF 测试套件。从本质上来说，软件模型通过 VSA 来测量 PA 的非线性，并形成相反的运行状态施加在 VSG 上。当完成 DPD 补偿时，预失真的 VSG RF 信号施加于有效线性化 PA 输出的 PA。

一些 802.11ac WLAN 收发器芯片组采用 DPD 技术以提高 PA 线性度。为量化在具有 DPD 的电路中将会实现的提高，测试设备必须能在 PA 特性分析期间执行 DPD。与 z8201RF

测试套件和 zProtocol WLAN 软件一起，ZEC 仪器的 DPD 软件工具和对应的示例代码提供快速而简易的方法，以评估 PA 或发射器设计的 DPD。因为 DPD 算法要求 VSG/VSA 仪器捕获多个相邻信道，因此 DPD 应用要求像 z8201RF 测试套件这样的宽测量带宽。

图 5 显示了 PA 在其非线性区内工作时，DPD 由于非线性失真造成的相邻信道之上的泄漏的改善。同样重要的是使用 DPD 能够实现 EVM 提升(如图 6.所示)。这两张图都描绘出使用 zProtocol WLAN 与 DPD 软件以 z8201RF 测试套件所得到的实际数据。

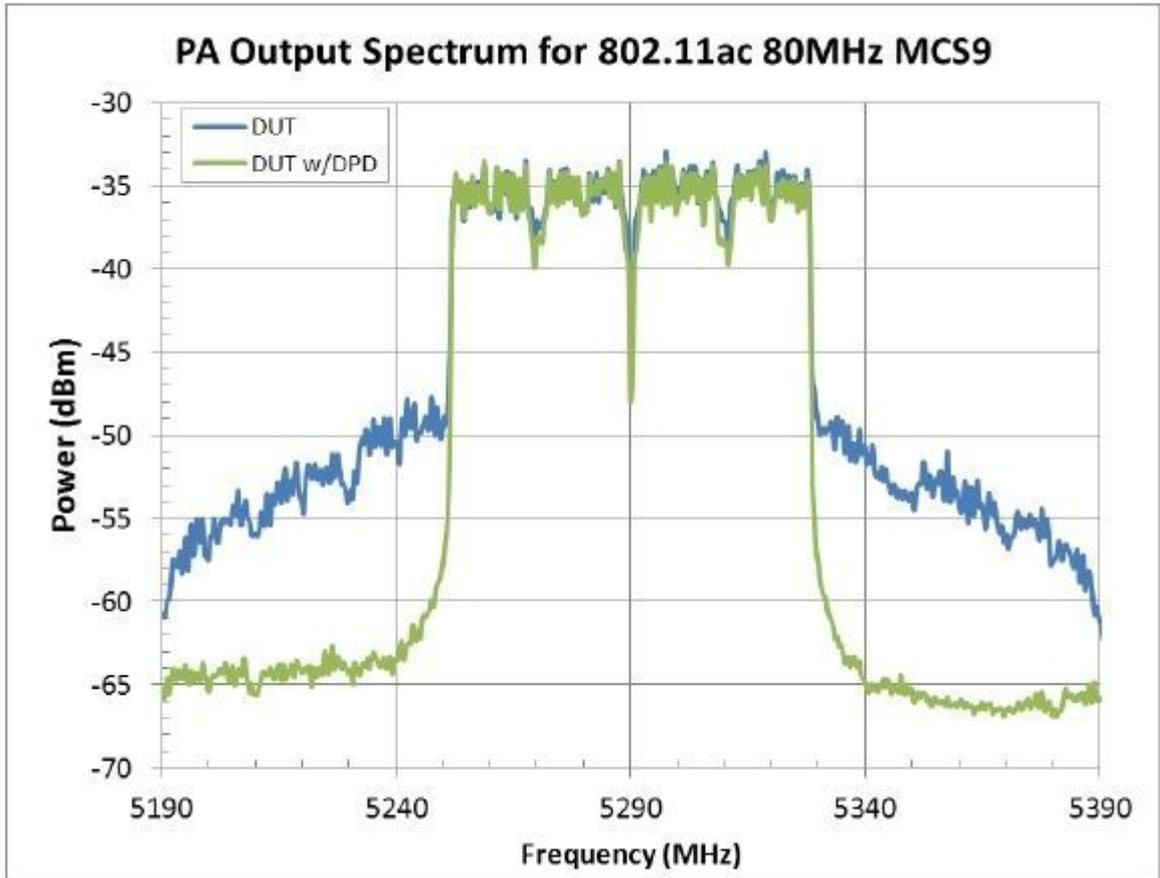


图 5：使用 DPD 降低 PA 相邻信道泄漏。

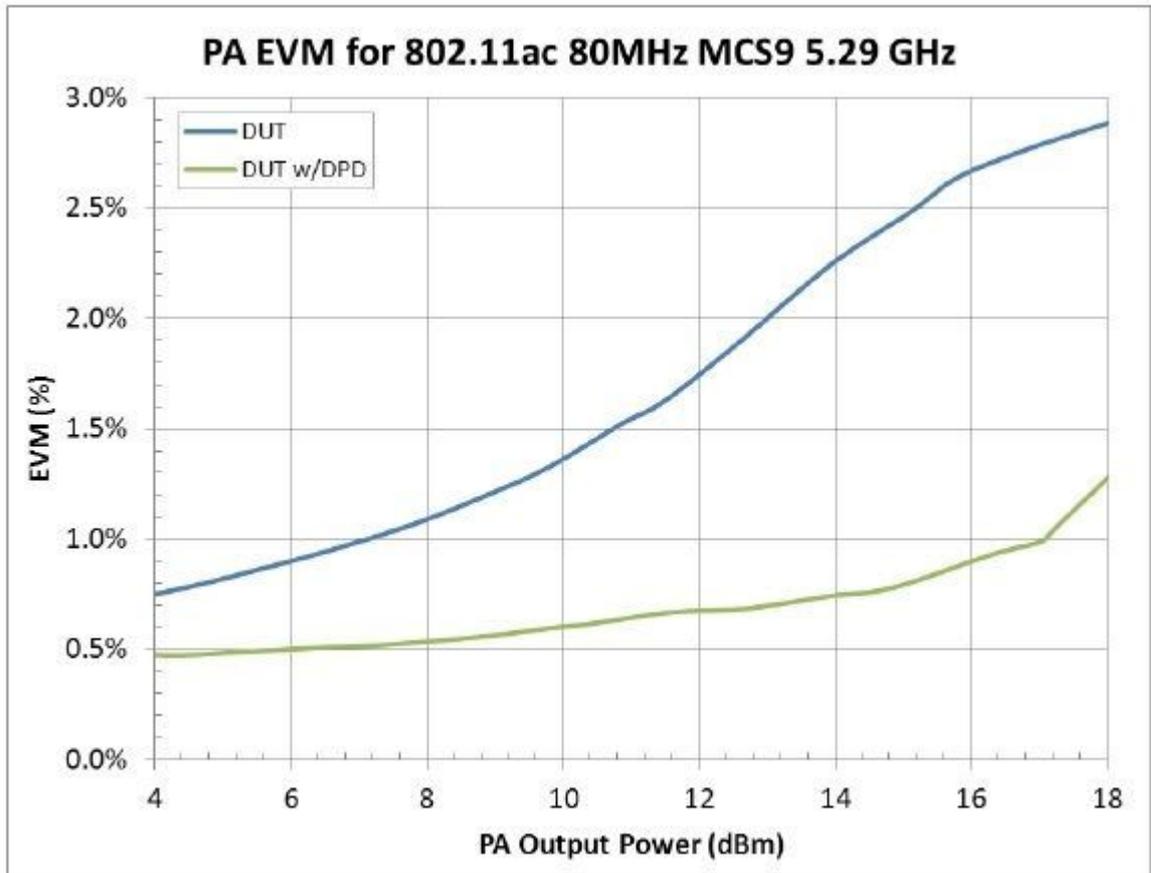


图 6：使用 DPD 改善 PA EVM。

测试设备

对 802.11ac 测试而言，测试设备的本底噪声、相位噪声、交越失真和带内杂散信号都必须最小化，以避免降低所测得的 PA EVM 性能。图 7 显示了在所测得 PA DUT EVM 上的测试设备残余 EVM 的影响。

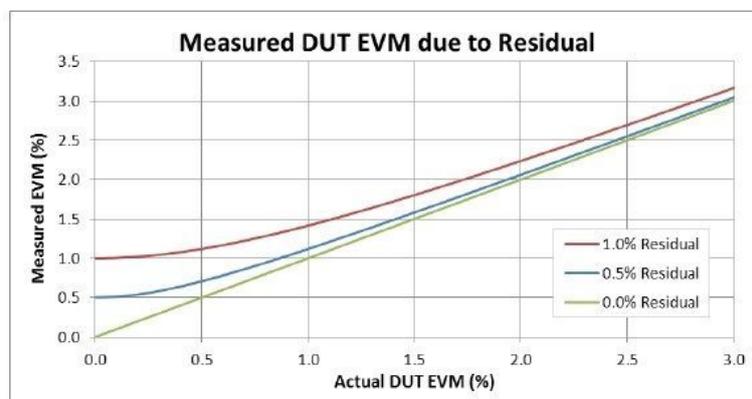


图 7：在所测得 DUT EVM 上的测试设备残余 EVM 的影响。

如前文所讨论的，图 8 的 z8201RF 测试套件是由具有高达 160MHz 测量频宽的 6GHz VSG/VSA 组合所组成。除了宽测量频宽外，z8201RF 测试套件还提供 802.11ac 设备特性分析和测试所必要的低噪声和失真。



图 8: z8201 PXI 或 PXIe RF 测试套件。

zProtocol WLAN 软件工具包括图 9 所显示的直观的图形使用界面(GUI)，以及便于自动化的综合性 C/C++/LabVIEW 软件驱动程序。Z8201RF 测试套件结合 zProtocol WLAN 软件，对 802.11 测试提供完整的解决方案，涵盖 WLAN 协议的所有方面，包括：

- 所有调变频宽：160 MHz、80 MHz、40 MHz 和 20 MHz
- 所有调变编码方案(Modulation Coding Schemes, MCS)和比特率：BPSK 到 256QAM
- 所有信道频率：2.4GHz 和 5GHz 频带
- MIMO 数据流：x2 到x8



图 9: zProtocol WLAN 测试软件 GUI。

结论

本文探讨了新的 802.11ac WLAN 标准对于 PA 的设计验证、特性分析和测试需求。由于 802.11ac 的 PA EVM 作用限制大约在 1.5% 左右，因此 PA 和 RF 测试设备需要更好的线性度和动态范围。本文详述了一些有助于优化 802.11ac 中 PA 测试的技术，这些技术与 z8201RF 测试套件跟 zProtocol WLAN 软件一起共同为 802.11ac WLAN 发射器设计内的量化 PA 性能提供了一个完整的解决方案。