

# 安捷伦科技公司 利用低成本任意波形发生器生成 复杂的调制信号

Agilent Trueform 体系结构适用于无线通信应用

白皮书

Joan Mercade, Arbitrary Resources, S.L

## 摘要

本白皮书旨在为您介绍如何利用 Agilent 33500B 系列 True form 波形发生器生成复杂的调制信号。Agilent 33500B 系列 True form 波形发生器专为产生复杂基带 IQ 数字通信信号提供更加经济高效的解决方案。本白皮书讲解了 Agilent 33500B 系列 True form 波形发生器如何生成当今复杂的数字无线协议，例如 W-CDMA、DVB 和 OFDM。

## 简介

数字调制信号几乎遍布在每一个有线网络和光纤网络。如今，大多数无线服务都在使用复杂的载波调制方案。调制技术和元器件的持续改进以及纠错码的进步，促使信道容量更加接近香农定理设定的基础极限。

随着新型传输方法的兴起，例如 MIMO (多路输入多路输出)，以及高度灵活的多址接入方案在时域、频域和码域中的实施，信道的容量和效率得到了显著改善。此外，越来越多的低价位产品和服务采用多项无线技术，以确保正常工作。

在产品或服务的所有阶段，包括基础技术研究、设备制造、网络部署，都需要进行大量测试，以实现这种程度的复杂性和互操作性。因此，测试设备的灵活程度是应对上述需求的关键。测试设备的总体成本也很重要，以确保全体工程师在整个产品周期内都能使用测试设备。



通常，无线应用测试设备都是按照特定应用开发的，如果采用新的调制技术或调制信号的带宽等，用户都需要购买新设备或进行昂贵的设备升级。无线设计人员使用的主要分析工具是矢量信号分析仪 (VSA)。该设备能够测量信号的频谱及其随时间的变化，同时保留完整的幅度和相位信息。而最合适的激励设备是矢量信号发生器 (VSG)。该设备能够生成一个或多个载波，并实时控制载波幅度和相位随时间的变化。除了部分测试仅在射频载波频率上执行，其余大部分测试都是在中低频或基带范围内执行。

绝大多数的矢量信号发生器都是采用任意波形发生器 (AWG) 结合模拟正交 (I/Q) 调制器实现的。当然，有些射频矢量信号发生器是将任意波形发生器集成在仪器内部，也有些是采用外部任意波形发生器。为了满足多数测试和运营商要求，射频信号发生器必须拥有足够的频率范围、调制质量和频谱等性能。因此，一般的矢量信号发生器都是按照特定应用需求定制的调制带宽以降低设备价格。目前，高端的信号发生器仍能保持这种架构，然而，有些最新的高性能任意波形发生器，也能以较低的成本提供优质基带信号和中频 (甚至射频) 信号，可以适用于全体设计人员，此外，这些任意波形发生器还可提供传统射频发生器无法生成的其它模拟和数字信号。传统的低成本任意波形发生器通常采用传统、简单的直接数字合成 (DDS) 体系结构。但糟糕的是，由于受到 DDS 技术的限制，这种任意波形发生器几乎无法生成高质量、可用的中频/射频信号或高带宽基带信号。但安捷伦最新的 33500B 系列波形发生器，采用了最新 *True form* 技术，可确保极高的无线信号质量，但保持和采用 DDS 技术的任意波发生器相同的价格。本白皮书旨在为您介绍如何利用 Agilent 33500B 系列 *True form* 波形发生器生成复杂的调制信号。

## 数字调制基础

图1是数字无线传输系统的结构图。同时对载波的幅度和相位进行调制。正交调制器在两个正交载波中输入两个基带信号(90°相对相位),以完成调制。每个基带信号均被看作复杂信号的实部和虚部。实部称为“I”(同相)信号,复杂部分称为“Q”(或正交)信号。

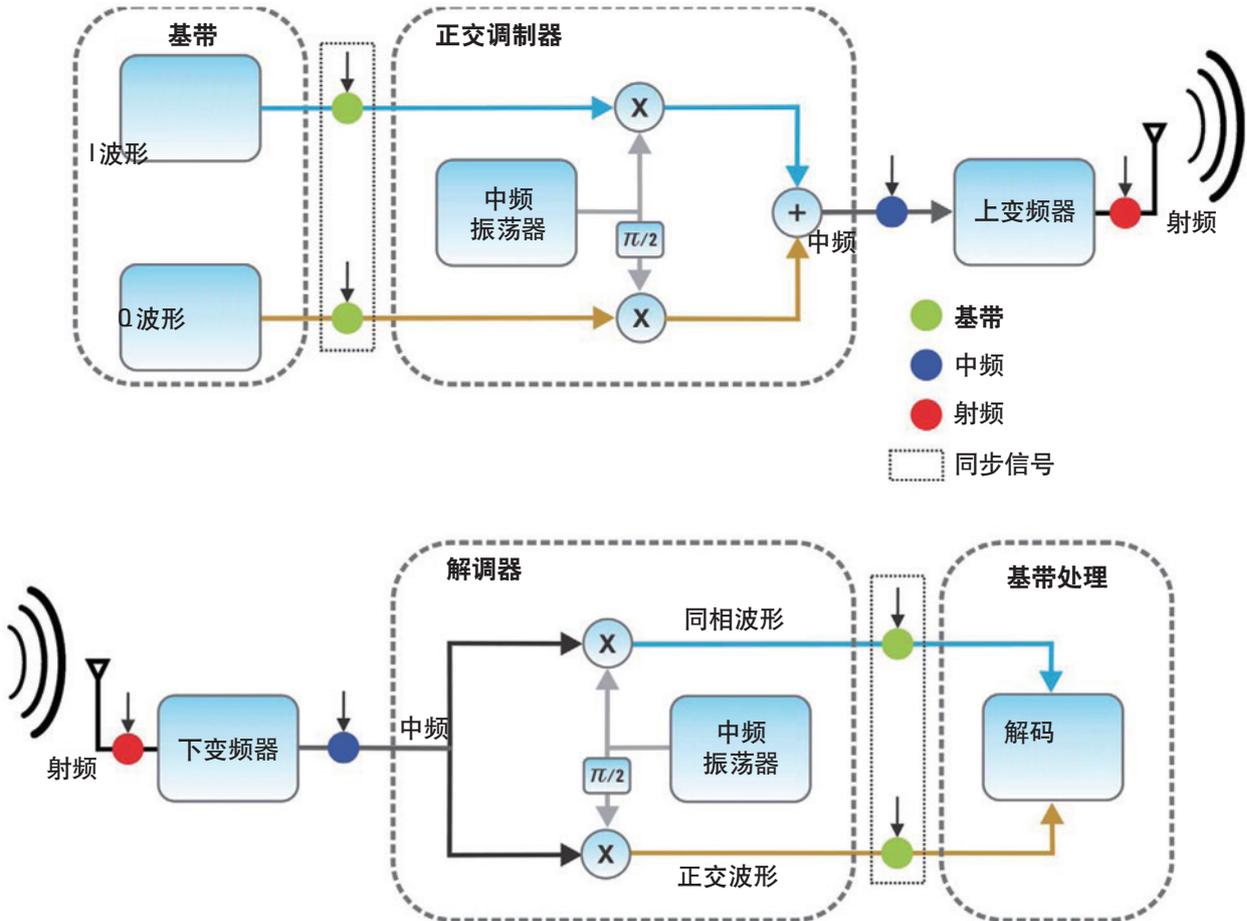


图1. 数字无线传输系统的简化结构图。大多数现代调制方案都以正交调制为基础,使用两个正交载波来传输数字信息。图中还显示了在执行发射机和接收机测试时,信号发生器所处的位置。

多数调制方案在符码映射中为有限符码集(通常为编码比特)分配了不同的调制状态。由此, N 比特需要  $2^N$  种不同调制状态。I/Q 笛卡尔坐标系能够方便地以图形方式显示调制状态位置, 直接显示每个符码的幅度和相位(参见图 2)。这种显示方法被称为星座图。星座图还可用于分析, 它在调制和传输过程中针对信号的任意异常或失真提供直观的视觉线索。

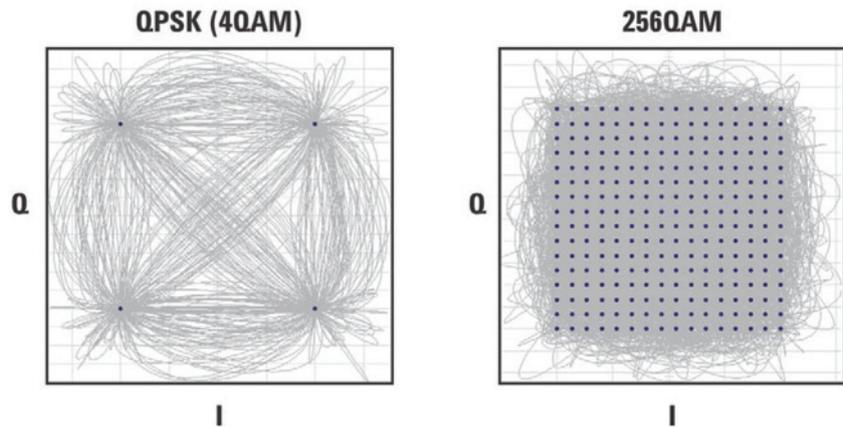


图 2. 相位/星座图能够方便地显示调制方案。从根本上讲, 它们属于 I/Q 笛卡尔表示, 可直接转换为针对调制载波状态的极坐标(幅度与相位)表示。图中显示了 QPSK 和 256QAM 调制的星座图(蓝点)。QPSK 调制将 2 个比特映射为 1 个符码, 256QAM 调制则将 8 个比特映射为 1 个符码; 对比两种调制, QPSK 的不同符码位置的间距较大, 因此 QPSK 调制更加适应噪声大或精度要求低的系统。

星座图越复杂, 每个符码传输的比特就会越多。然而, 高阶调制需要使用更为复杂而精确的发射和接收系统, 由于符码位置的间距缩小, 高阶调制对噪声及其它失真的敏感度变得更高。QPSK 调制方案(每个符码有 2 个比特)比 256QAM (每个符码有 8 个比特)更能适应噪声。换言之, 在同等符码率下(以波特或符码/秒为单位), 256QAM 信号可比 QPSK 信号传输多达 4 倍的信息。其它标准会影响给定调制方案的选择。假定恒定功率调制允许在用户设备(用户设备或手机)中应用高效的非线性低成本功率放大器, 出于功率效率和成本的考虑, 这会影响选择 GMSK 作为 GSM 的调制方案。

频谱作为一种稀缺资源，由多个用户和业务共享。这一点适用于有线应用(例如CATV)、光应用(例如DWDM)乃至无线通信应用。考虑到任何给定信号都必须占用有限带宽(信道)，因而符号率必须维持在一个限制范围内，信号必须通过带通滤波器，以确保它不会干扰相邻信道或非临近信道。直接在射频上过滤，或是在正交调制之前对调制(基带)信号进行过滤。这一过程叫做脉冲整形，由包含I和Q分量的低通滤波器提供。

升余弦滤波器(也称为Nyquist滤波器)可生成带宽有限的信号，并且不会产生码间干扰，因而作为QPSK/QAM调制最常用的滤波器类型。在大多数通信系统中，通过在发射机和接收机之间平均分配滤波可得到升余弦总体响应，从而产生平方根升余弦滤波器。对于FSK调制方案，其中幅度为常数，使用正在传输的数据来控制载频，高斯滤波器通常用于调制信号(而非射频信号)。升余弦滤波器完全由两个参数定义：符号率和滚降系数(以 $\alpha$ 表示)。高斯滤波器是由符号率和BT(带宽B；符号周期T)产品参数定义。 $\alpha$ 和BT参数会影响衰减形状，进而影响信号特征中的占用带宽参数。

调制信号可能会受到线性和非线性失真的影响。发射机的精度不足会产生正交误差(正交载波间的相位)、失衡(I和Q分量的幅度不等)和载波泄露(直流偏置导致残余载波)。非线性误差(例如AM-AM和AM-PM失真)是由发射机射频功率放大器的饱和(甚至限幅)造成的。非线性失真会导致频谱的扩散，因此需要特别的注意，已经有些发射机采用预失真技术来进行对应的补偿和校正。

传输路径中也能产生误差和失真。具有不同幅度和时延的信号源在接收机上提供信号，误差会以干扰、衰落和多路径失真的形式出现。更糟糕的是，传输路径会使失真随时间而改变，因此必须利用自适应均衡技术在接收机中对失真进行补偿。多路径失真效应会随着符号率显著增加，而信号的延迟副本将会干扰后来的符号。为此，一些专门设计的调制技术能够很好地补偿(甚至是受益于)多路径失真。

正交频分多路复用 (OFDM) 把数据分割到所有载波上, 并通过 10s、100s、1,000s 近载波来传输信息。由此, 符号时间将会缩减同等比例。载波间隔是符号率的倒数, 因而各个载波之间不会彼此干扰 (例如, 载波呈现正交)。OFDM 信号中的其它分量可用于缓和信号信道估测和接收机同步, 同时添加循环冗余以消除先前符号引起的干扰。凭借上述优势, OFDM 成为大多数现代无线和有线通信系统的理想调制技术, 例如地面广播、WiFi、UWB、LTE、WiMAX™ 等。然而, OFDM 信号存在一些缺点。信号处理需要更高的复杂性和精度 (相对于相位噪声) 以及高峰均功率比 (PAPR), 这些因素会使信号对发射机的非线性度非常敏感。

OFDM 技术、MIMO 和波束赋形构成了 4G 移动通信技术的基础。通过开发由多个发射和接收天线获得的空间分集, 可以提升 MIMO 容量, 进而在一个频带内传输多个信号。通过相位阵列天线把信号直接输入到接收机, 可以提升波束赋形容量, 从而使位于不同方位角的其他用户能够重复使用同一个频率。

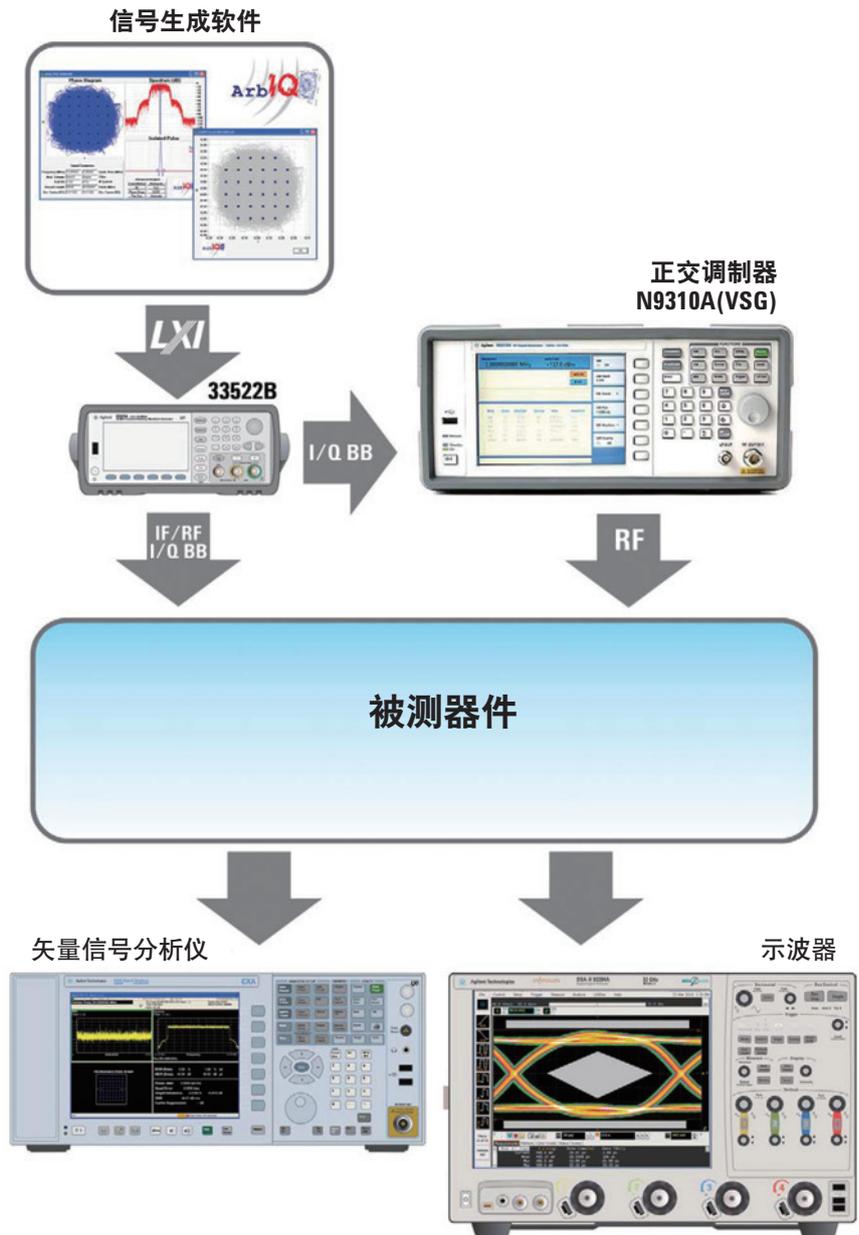
## 使用任意波形发生器生成射频信号

图3. 任意波形发生器通过两种基本方法可以生成射频调制信号。双通道仪器生成I和Q基带信号，信号可应用于外部积分发生器。具有足够采样率的单通道仪器直接在中频甚至射频上生成调制载波。

注：除了图4和图5显示的DDS波形之外，白皮书中提到的其余信号均是由Agilent 33522B波形发生器生成。这些波形均由市场上流行的任意波形生成套件产生。

使用Agilent CXA矢量信号发生器和Agilent MS07014B DSO对已生成信号进行验证与分析。

调制方案和编码系统的快速演进和日渐复杂使得无线测试成为重大挑战。在仿真线性和非线性失真时，发生器必须能够生成多个标准信号(甚至是同时提供)，以便正确地验证接收机设计和元器件。任意波形发生器已经成为大多数射频和微波矢量信号发生器(VSG)的基本构成之一。外部或内置双通道任意波形发生器通常生成高精度基带IQ信号，以馈送到正交调制器(参见图3)。



这个工作方案可对载波的幅度和相位进行完全的控制，因而任意模拟或数字调制方案，无论是否存在失真现象，均可在系统的带宽限制范围内实行。既定调制方案或调制标准无需使用专用硬件，且新方案的添加仅需考虑外部软件的可用性，因而，任意波形发生器成为用户的理想选择。任意波形发生器的采样率和无杂散动态范围(SFDR)性能随着时间的推移而明显改善，能够直接生成多个不同的调制中频/射频载波(参见图3)。

单独使用任意波形发生器，或者与正交调制器或上变频器搭配使用，都可作为信号源，为射频发射机或接收机中的不同测试点提供信号(参见图1的彩色点)。一般来说，基带信号生成可以使用两个同步通道，而中频/射频信号生成仅需要单个信道。MIMO或波束赋形情景的仿真需要使用更多的通道。由于大部分数字调制标准提出的带宽要求比较适中(约为几MHz)，因而可以通过低成本任意波形发生器轻松地生成基带信号。然而，两个基带信号(I和Q)所在通道之间的任何差别(幅度、频率响应或时延)都会产生正交误差和失衡，进而导致调制质量明显下降。

平坦频率响应和良好通道匹配非常重要。任意波形发生器可能存在其它问题，典型频率响应通常针对时域脉冲响应和镜频抑制进行优化。事实上，镜频可生成杂散带外信号，并与附近信道发生干扰。大多数低成本任意波形发生器均以灵活、经济的DDS体系结构为基础。这种波形生成技术会产生固有的较大抖动。尽管有些时域信号可以接受一定的抖动，但抖动的非线性特性还会造成频谱增益和带内噪声(包含相位噪声)，从而极大地影响调制质量。

对于低成本任意波形发生器，在射频载频上精准地生成调制信号几乎是不可能的。大多数接收机和部分发射机都不会直接在最终频率上处理调制信号，而会使用很低的中频(IF)信号。典型中频处于几十MHz范围之内，有多种任意波形发生器都可以产生这种信号。信号I和Q基带分量的失衡只在数学域中存在，不会给用户造成困扰。但是频率响应平坦度仍然是一个问题，尤其对于宽带调制。DDS体系结构产生的抖动还会影响到载波，从而带来难以接受的信号失真和频谱增益。

记录长度(可用波形存储器的深度)也是一项重要的考察指标。许多调制信号可以使用由被测接收机正确识别的最小时间窗口(例如一个完整帧)例如，DVB-T信号需要最少68个OFDM符码(传递信号调制信息的TPS帧的长度)或接近70ms。对于100MSa/s波形发生器，时间窗口需求可以理解为最小记录长度7MSa。大多数基于DDS的低成本任意波形发生器的最小记录长度是在1MSa以下，它们不可能生成很多复杂的调制信号。

采用 True form 体系结构的 Agilent 33500B 系列波形发生器扩展了性能范围，可提供之前只有高端发生器才具备的性能。True form 技术可使任意波形发生器以更低的成本生成高质量基带和中频信号。

## Agilent True form 体系结构

新型 Agilent 33500B 系列波形发生器以 True form 体系结构为基础，具备 DDS 波形发生器的灵活性和价格优势，并且摒弃了传统仪器的缺点(参见图 4 和 5)。

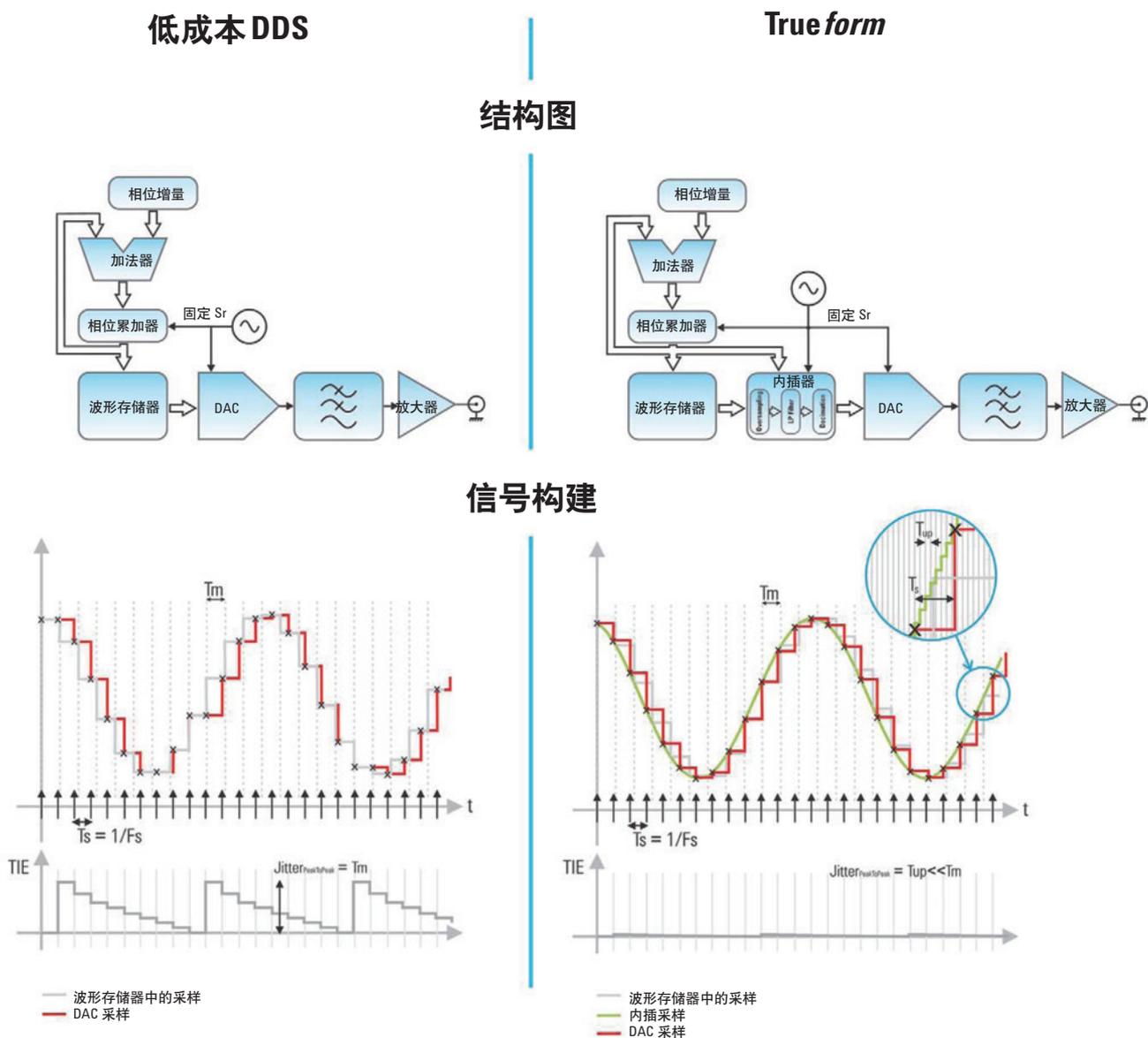
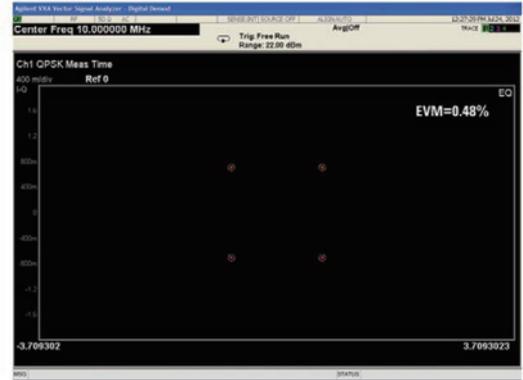
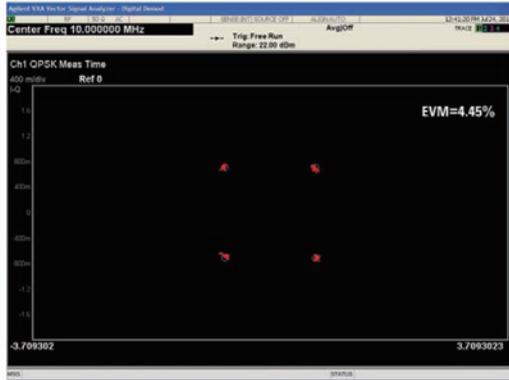


图 4. DDS 与 Agilent Trueform 技术。传统 DDS 体系结构(左图)访问波形存储器结果的方式会产生难以接受的抖动，不利于调制信号生成。在新型 Agilent Trueform 体系结构(右图)中，它对存储器内的信号进行实时的滤波、内插和重复采样，从而消除了抖动。

## 低成本 DDS

## True form

### 星座图



### 频谱

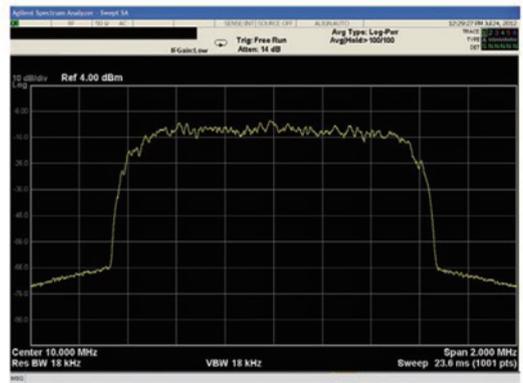


图5. DDS与Agilent Trueform技术的星座图和频谱图。图中，使用DDS和Trueform发生器生成同一个QPSK信号。两者的调制质量(EVM, 矢量幅度误差)和频谱质量相差很大(注意动态范围内的20 dB差别)。在DDS星座图中的椭圆分布点(红色)显示了抖动在调制域中作为相位噪声存在；纯噪声(高斯噪声)可使Trueform发生器的星座图点呈圆形。由DDS体系结构产生的采样抖动会导致频谱增益。

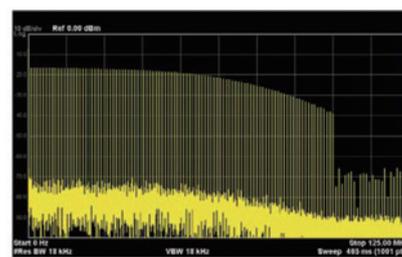
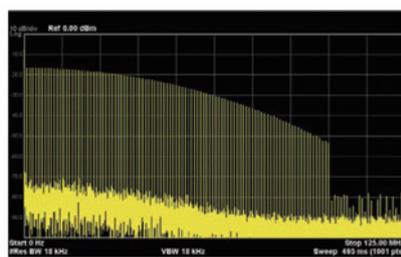
在 Trueform 体系结构中，通过 DSP 模块(包含 FIR 低通滤波器)，实时内插保存在波形存储器中的采样点，以实现更高的性能。这样无需提高原始分辨率，即可消除与采样时间映射相关的抖动，从而既能节省波形存储器容量，又能扩展潜在的时间窗口。滤波的截止频率和形状得到了调整，因而仪器的 DAC 可以精确地复现生成信号的频率特性。最后，被过滤的过采样信号显著降低，以便与 DAC 的固定采样率相匹配。这种做法称之为实时重复采样系统，由于所有采样点都馈送到了处理模块，系统将会充分利用所有可用的采样点。当信号频率上升时，传统 DDS 发生器会随机跳过或随意放置信号采样点，这将会导致系统产生的信号有持续的抖动。而在 Trueform 技术下，抖动是非常低的。同时，由于利用实时内插法，使这种体系结构能提供更长的等效记录长度。

低通数字实时滤波器可以改善输出信号的时间或频率响应。Agilent 33500B 系列结合了与仪器带宽有关的高采样率(过采样)和输出端上的模拟插值滤波器，可生成无镜频的纯净信号。数字滤波器专用于补偿 DAC 的频率响应，并提供两种滤波模式——用于平坦频率响应的“矩形”滤波模式(例如 IQ 多音频或中频信号生成)或“Bessel”滤波模式——可以获得具有快速上升时间的步进响应，但没有振铃(例如脉冲或码型生成)。平坦度对于获得良好调制精度而言极其重要，因而高品质的平坦响应更适合调制信号生成(参见图 6)。

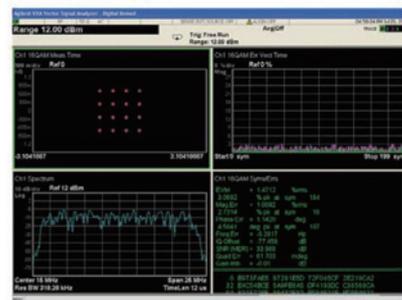
### 步进响应

### 平坦响应

### 频率响应



### 调制精度



**图 6. Trueform 体系结构能够优化波形发生器针对平坦度或步进响应的频率响应。**常规任意波形发生器通常针对步进响应进行优化。图中，在 1 MHz 至 100 MHz 频率范围内的 100 阶频信号可用于评测两种滤波器模式中的频率响应(顶部)。在两种滤波器模式下，生成一个 20 MBaud 16QAM 信号并进行质量分析，显示了平坦响应特性对于高质量宽带调制生成的重要性(底部)。借助 250 MHz 采样率和 Trueform 信号生成技术，可用数字带宽明显高于其它生成技术的带宽，通过使用软件对数字带宽进行归一化，在 100 MHz 时，同样可以获得良好的平坦度。

由于调制信号(基带或中频/射频)的带宽受限,自身会产生一些振铃现象,因而振铃不是一个大问题。在大多数情况下,高平坦响应既能免去信号校正的麻烦,又能提高动态范围和改善信道间匹配,是生成基带信号的一个重要特征。鉴于所有信道的调制质量和/或幅度电平更为稳定,多载波信号的生成也得到了改善。

总之,频域和调制域质量对于信号生成尤为重要,因而应当使用 True form 体系结构(参见表 1):

- 无论采样率如何,实时重复采样可以消除信号抖动。
- 低通 FIR 截止频率可以避免输出信号出现任何混叠。
- 经过 DSP 校正的平坦频率响应,可支持生成良好的调制信号(基带和中频/射频),无需进行信号预校正和繁琐的频率响应校正。
- 高过采样率(250 MSa/s 采样率适合 30 MHz 带宽)和实时重复采样过程可使 DAC 的采样率保持不变,结合了优质的低通模拟重建滤波器,可生成无杂散、无镜频的信号。
- 两个通道具有出色的匹配与同步,可生成高质量的基带信号。
- 一流的固定采样率时钟性能可使信号的相位噪声降至最低。

表 1. DDS 与 Agilent Trueform 在生成调制信号方面的比较

	低成本 DDS	Trueform	注解
抖动相位噪声	差	非常好	相位抖动极大地影响了调制精度性能和频谱特性。DDS 生成的调制波形无法达到最低的质量水平要求。
可选的频率响应	无 只有步进	有 步进/平坦	非平坦频率响应会降低调制质量性能,尤其是宽带信号。高质量信号的生成需要在发生器校准之后进行数学校正,以获得平坦响应。
记录长度	<1 MSa	16 MSa	净荷仿真、信道编码以及信道化方案的实施需要使用较长的符码序列,由此可获得极长的记录长度。OFDM 和噪声信号生成还要求使用更长的记录长度。
序列	无	128 个序列	序列对实施协议或低重复率猝发来说是必要的。序列也有助于显著改善自动测试吞吐量。

与传统的低成本 DDS 发生器不同，Agilent 33500B 序列发生器可作为“true-arb 真正的任意波形”发生器使用。借助实时过采样体系结构的优势（及其对应的无镜频输出信号）和无需停止信号回放，即可更改信号重复率的便利性，仪器可使用户设置任意的指定 DAC 采样率。这些优势是 DDS 体系结构所不具备的。与 DDS 波形发生器相同的是，True form 发生器中的 DAC 始终以固定速率运行（最大值）。通过这种方式，可以简化采样时钟系统，并将抖动和成本降至最低。采样时钟抖动可作为相位噪声，直接发送至调制信号。

## 应用示例

Agilent 33500B 系列波形发生器具有的上特征，使得 33500B 可以用于以下各种需要调制和射频信号输出的应用：

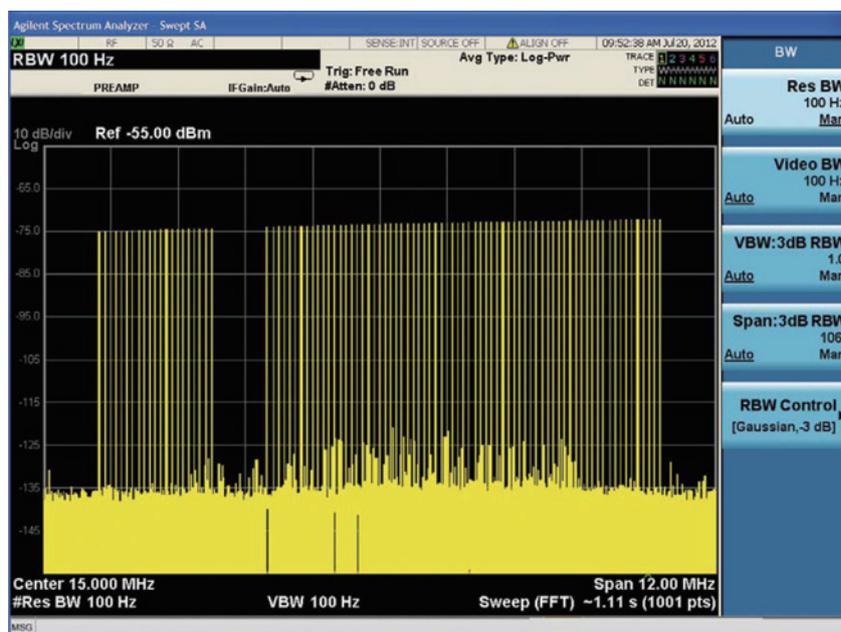
### 多音频信号生成

多音频信号是由一组等频率间隔的未调制载波构成。多音信号可用于测试各种器件的线性（例如频率响应）和非线性（例如互调）性能。平坦度和动态范围是多音频信号的最主要参数。基于 DDS 架构的函数发生器较大的抖动及相位噪声有可能使得输出的多音信号完全无法使用——而基于 True form 技术的 33500B 则可以输出高性能的多音信号。在实际测试中，还可能用到比较特殊的多音信号，如噪声抑制比（NPR）测试，需要去除其中的部分载波，测试在这种信号下的带内互调（参见图 7）。

调制器或功放等引起的带内互调参数通过测量无载波频段内的信号强度进行评估。

图 7. 多音频信号可用于评测系统的线性和非线性性能。多音信号是由一组幅度相同、间距相等的未调制载波构成。相位必须随机，以便优化峰均功率比（PAPR）和改善平均值功率。

非线性性能还可以通过使用一个部分载波无输出的特殊多音信号进行测量，即测量无载波输出频段的信号强度。如图所示。但需要测试信号自身没有失真或 SFDR > 55 dB。



## 高质量通用调制信号发生器

卫星通信、无线对讲机(参见图8)、无绳电话、CATV、WiFi、Zigbee、RFID等很多无线设备都采用较为简单的单载波调制技术。Agilent 33500B系列凭借在频率平坦度、线性和动态范围方面的优异性能，可用于输出具有出色的调制质量和频域特性的调制信号，且33522B的调制信号输出带宽达到60 MHz。

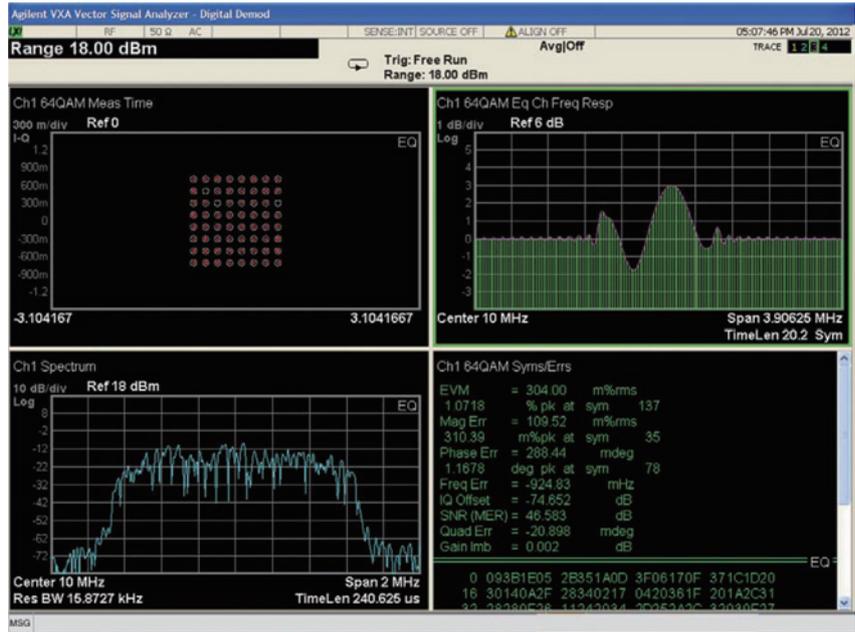
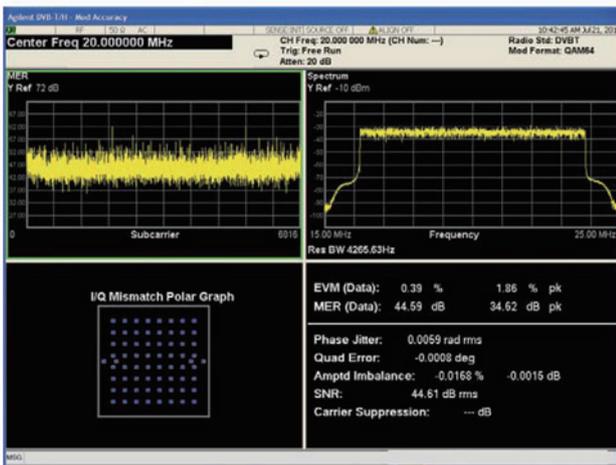


图8. 调制信号的性能体现为调制质量和频谱失真。除了模拟理想的调制信号，模拟和仿真调制信号经过传输设备或不同的传播路径等过程引起的失真在测试中也是非常重要的。在图中，就是使用 Agilent 33522B 波形发生器生成具有多径失真的 64QAM 信号。Agilent CXA 分析仪内部的自适应均衡器可以校正失真影响且显示对应的信道响应(右上方)。校正后的信号可获得非常理想的调制质量 (EVM < 0.3%)。

## OFDM

高质量 OFDM 信号具有高峰均功率比，并且对相位噪声和非线性极为敏感，因而对生成仪器的要求比较高。此外，OFDM 调制信号的测量通常还要求一个完整的具有多个不同的符号序列。而每个 OFDM 符号的周期也较长，因此，OFDM 调制信号的测量要求使用比单载波调制更长的数据长度。Agilent 33500B 序列拥有高幅度电平、16 位 DAC 分辨率和 16 MSa 记录长度，是生成 OFDM 信号的理想工具。Agilent 33500B 系列发生器能够解决地面广播 (DVB-T/T2、ISDB-T、DTMB、DAB、DRM)、WiFi(802.11a/g/n)、WiMAX 和 LTE 等应用 (参见图 9)。

### 未减损



### 正交减损

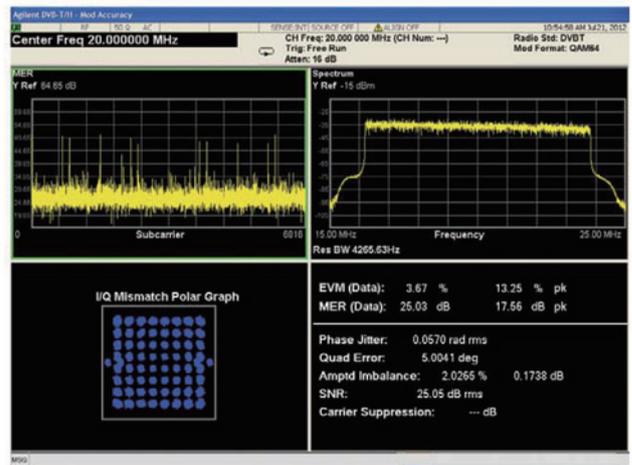


图 9. OFDM 信号生成不仅需要良好的波形发生器性能，还要使用长记录长度。DVB-T 信号(8K 模式)需要几 MSa 空间来存储至少 68 个 OFDM 符号，以便携带接收机所需的 TPS 信息，从而恰当地进行信号解调。

图中，Agilent 33522B 波形发生器生成的理想信号(左图)具备出色的调制质量性能 (MER > 45 db)。如右图所示，该信号是在函数发生器中，设置正交误差 (5 度) 和幅度失衡 (2%) 后输出的信号。分析仪测试结果显示了 33522B 任意波形发生器失真控制的精度。

## 支持信道编码和有效净荷

大多数无线通信标准均使用信道编码(如CRC),也有些测试要求生成带有特殊编码的信号,或传输特定的数据流。大多数情况下,符号都按照特定长度的帧进行组织,有时还需要对数据进行交织(改变发送数据的顺序)。例如,典型CATV数字信号(DVB-C)包含一个QAM(16至256)调制的载波,但一个完整的帧就要求发送连续的8个MPEG2数据包(188个比特净荷+16个Reed-Solomon纠错比特)。移动通信或无线局域网WiFi同样需要考虑上述内容(例如图10中的UMTS)。

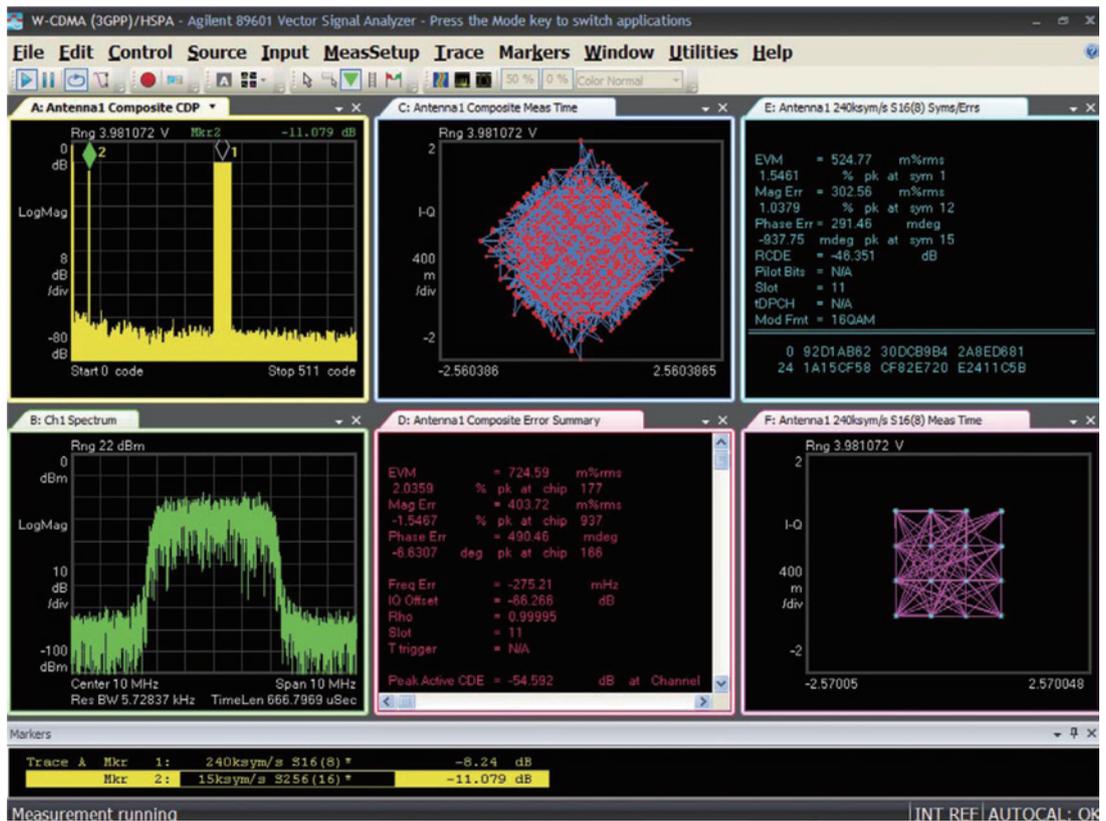


图10. 由Agilent 33522B波形发生器生成的3GPP(UMTS)WCDMA下行链路中频信号。这是一个复杂的信号,它能够携带不同的数据和同步信道。

Agilent 89601B解调分析软件进行WCDMA测试,可同时进行多个域的分析:码域功率(左上方)上可以看到4个信道,(其中有0信道是导频信道,标记2的信道是传输语音业务的信道,采用QPSK调制。标记1的是传输数据业务的信道,采用16QAM调制。调制域(中上方)、频域(左下方)和单信道(右下方)。

正在进行分析的信道是HSDPA数据信道,16QAM调制。复合信号星座图显示了整个信号(中上方);注意,~0.5% EVM显示了Agilent 33500B系列能够生成多个调制信号,同时维持一流的抖动和噪声性能。

这类信号的生成要求波形存储器能够保存数千个符码，通常还需高于1 MSa的记录长度，这是大多数低成本发生器难以企及的。Agilent 33500B系列为每个信道提供16 MSa波形存储器，可支持任何现实中的信道编码要求。33500B系列的记录长度粒度仅为一个采样，允许用户自行调整记录长度，确保所有计时参数(包括载频和符号率)获得高精度。

### 多制式及多通道信号生成

在实际条件下测试接收机需要额外的失真(例如多径)和加性高斯白噪声(AWGN)。鉴于可用频谱通常由多个业务共用，并且这些业务也被多个运营商和用户共用，所以实际仿真需要仪器同时生成多个调制信号，尤其是相邻信道内的信号，实际仿真与CATV头端仿真同时进行(参见图11)。

**图 11. Agilent 33522B 同时生成 3 个 DVB-C 64QAM 载波。在中心信道中执行测试，所有信道根据 DVB-C 标准进行编码——但数据不能避免在合成信号中人为地出现大功率峰值。DVB-C 分析显示了所得的调制质量 (EVM = 0.35%)。由于信号已经过了恰当的信道编码，可用于执行 BER 测试。通过检测解码之前和之后的校正误差和未校正误差，可以计算出 BER。**



请注意图11中的几个要点:

- 出色的信号和平坦频率响应。
- 陷波符合标准，距离信号有50 dB。
- 信号由3个正在传输实际MPEG流的DVB 64QAM调制载波构成。
- BER符合标准，但生成信号必须具备适用于误差校正类型的长度。

一些无线通信制式可在同一个频带内同时使用。以 WiFi 和蓝牙®等无线业务为例，它们共用 2.450 GHz 的 ISM 频带，并且必须在干扰条件下运行。现如今，设备同时发送和接收多个无线标准的现象已经变得很普遍(例如，任意一款智能手机都支持同时处理 GSM、UMTS、WiFi、蓝牙和 GPS 信号)，因而互操作性成为一个极其重要的设计要求。越来越多的功率放大器(例如 UMTS Node-B 或 DVB-T)能够同时处理多个信道，以节省资金和缩减尺寸。任意波形发生器可通过数学方法添加并同时生成多个相似信号或不同信号，因而非常适合生成复杂的情景。在生成多信号情景时，信号幅度、频域平坦度、记录长度和动态范围都是重要因素。Agilent 33500B 系列在这些方面均表现出众。

## 猝发脉冲信号生成

大多数先进无线业务可以使用复杂协议来添加设备，以进行通信或处理切换。一些无线业务是以不连续传输为基础，信息猝发脉冲之间存在相对长的非工作周期。该周期短则几微秒(甚至更少)，最长可达数秒钟。要用波形发生器实现这种复杂的脉冲信号，唯一的方法就是使用 true-arb 任意波形发生器才具备的波形序列功能。传统的 DDS 低成本波形发生器不支持波形序列功能，存储器访问也不支持不同分段的无缝衔接。Agilent 33500B 系列凭借其 *True form* 体系结构，不会受此约束；可读取在波形存储器中的每一个波形，不同波形的无缝排序也成为可能。33522B 能够存储多达 512 个波形。33500B 最多可存储 32 个波形序列。

## 结论

Agilent 33500B 系列是业界首款可生成高质量基带和中频/射频调制信号的低成本波形发生器。安捷伦独有的 *True form* 体系结构能够汲取 DDS 的全部优点，同时剔除所有缺点，尤其是在低抖动信号生成方面(这是无线应用的重要环节)。True form 体系结构通过基于 DSP 的过采样和过滤，可让用户获得无镜频的纯净信号，并根据给定应用选择最佳的频率和瞬态响应。因此，它的性能要优于高端任意波形发生器所采用的 true-arb 体系结构。

## 参考文献

安捷伦应用指南 5952-8898E, *信号分析的基础知识*。

安捷伦科技公司, 2000 年。

安捷伦应用指南 5965-7160E, *通信系统中的数字调制——入门*。

安捷伦科技公司, 2001 年。

安捷伦应用指南 5989-4138EN, *任意波形生成的基础知识*。

安捷伦科技公司, 2005 年。

安捷伦应用指南 5990-5897EN, *使用双通道任意波形发生器生成差分信号*。

安捷伦科技公司, 2010 年。

安捷伦应用指南 5990-5965EN, *了解序列运行和序列先进模式*。

安捷伦科技公司, 2010 年。

安捷伦应用指南 5990-7451EN, *安捷伦矢量信号分析基础*。

安捷伦科技公司, 2011 年。

安捷伦应用指南 5990-7460EN, *函数发生器性能比较: 直接数字合成与逐点技术*。

安捷伦科技公司, 2011 年。

安捷伦应用指南 5990-9871EN, *使用真正宽带通道光栅测试宽带 CATV 放大器*。

安捷伦科技公司, 2012 年。

安捷伦应用指南 5991-0370EN, *完整的数字射频设计和测试流程基础原理*。

安捷伦科技公司, 2012 年。

Joan Mercade, “*Ruling the Waves*”, 《Evaluation Engineering》,

2004 年 7 月。

Joan Mercade, “*Unwrapping Wireless Signals*”,

《测试与测量世界》, 2006 年 12 月。

Joan Mercade, “*Maximize a Waveform Generator's Memory*”,

《测试与测量世界》, 2011 年 5 月。

**请立即联系安捷伦授权一级经销商:**

北京东方中科集成科技股份有限公司

服务电话: 400-650-5566

网 址: [www.ag.jicheng.net.cn](http://www.ag.jicheng.net.cn)