

# 泰克 AWG 在半实物仿真中的应用

## 应用指南



目录

1. 使用任意波形产生器产生超宽带雷达信号..... 3

2. 使用任意波形产生器产生宽带通信信号 ..... 7

3. 利用任意波形产生器产生 OFDM 信号 ..... 10

4. 利用任意波形产生器产生复杂电磁环境信号 ..... 13

5. 利用任意波形产生器产生复杂跳频信号 ..... 16

6. 总结 ..... 18

任意波形发生器是利用高速 DAC 将内存中的波形文件转换为实际的波形信号。因其波形文件可以由用户灵活定制，任意波形发生器可以产生的波形信号也即可以灵活定制，其波形特征仅受限于其采样率带宽，其可以用于各类半实物仿真中。

## 一、使用任意波形发生器产生超宽带雷达信号

### 1.1 雷达背景

现代雷达中，新技术和新体制的不断应用，使得雷达技术的发展提高到了一个新的水平。这些新技术改善了雷达的性能，同时对工程师也提出了新的要求，为了提高雷达系统在作战环境下电子对抗的需求，捷变频技术和复杂调制技术被广泛使用，这不仅仅给雷达设计和实现上带来挑战，同时也给雷达系统带来更多的不确定因素，因为越复杂的系统，要考虑和解决大技术难题就越多，系统需要更多的测试和验证才能最后交付使用，中间存在任何没有发现的问题和隐患都可能带来意想不到的后果。再如在精确制导雷达中，为了满足精度要求，需要保证雷达信号的相参性等重要指标，这些指标在过去并没有办法直接测量。再如对脉冲压缩雷达来说，线性调频雷达的线性度直接关系到测量距离的精度，如何保证这些关键指标之前也无法做到。又如雷达系统和通信系统的融合，使得雷达信号同时具有了信息传输的功能，雷达应答机就是这样的信号，这就需要把通信系统的一些设计要求加入到雷达系统中，这也大大提高了系统设计的难度和复杂程度。

### 1.2 用途和必要性 (测试需求)

雷达对抗电磁环境就是雷达侦收系统所能收到的各种雷达辐射源所形成的信号总和。自雷达对抗技术问世以来就涉及到雷达电磁环境的模拟问题，这是因为研制、测试雷达信号侦收和雷达信号分选等关键技术均需要雷达对抗的电磁环境。实际上，要用真实战场环境下的雷达对抗电磁环境对雷达信号侦收、分选等技术进行研制和测试是永远不可能的，这就必然涉及到雷达电磁环境模拟。如何模拟出真实的复杂的雷达对

抗环境和各种复杂的雷达信号同时存在的场景，一直是研究雷达对抗的工程师所面临的挑战。

随着宽带雷达技术的不断发展，SAR 雷达系统逐渐成熟，超宽带雷达信号的发射和接收成为了工程师需要面对的技术。对于扫频带宽达到 500MHz 甚至高达 2GHz 的雷达系统，解决由带宽提高所带来的系统问题变得尤为重要。另外如何能够保证系统正常的运行和设计的正确性？面对复杂的雷达系统如何能够提高测试效率，方便地实现单台仪器完成所有的测试任务？

### 1.3 泰克宽带雷达信号仿真方案组成及优势

泰克的宽带雷达信号产生系统由的任意波发生器 AWG 和波形生成软件组成，能够在 DC ~ 20GHz 的频率覆盖范围内产生、校准 20GHz 瞬时带宽的矢量信号。泰克公司的 AWG70000A 信号发生器具有业内无可比拟的采样率、带宽和信号保真度，结合 RFXpress 高级 RF/IF 波形生成和编辑软件，可以方便的产生通信和雷达的各种宽带矢量信号。

通过泰克的 AWG70000A 来产生复杂电磁环境下的雷达信号是实现雷达对抗信号模拟的重要手段。AWG 不但可以模拟不同脉冲压缩体制的雷达信号如：捷变频、线性调频、非线性调频、巴克码、自定义编码等脉压方式，还可以模拟雷达信号的传输路径带来的干扰、杂散、多径等效应，并可以模拟雷达天线的主瓣转动、方向角等参数。更重要的是 AWG 可以模拟多部雷达信号同时到达等重要的雷达对抗现象，可以完全仿真真实的雷达对抗环境。而且泰克的 AWG 任意波形发生器可以和泰克的实时示波器以及实时频谱仪搭配形成测试环路，用 AWG 直接回放泰克的示波器和实时频谱仪采集下来的波形数据。AWG 产生的信号也可以用于示波器和实时频谱仪校准。

#### 1.3.1 内唯一的高级雷达信号生成软件 RFXpress

内置在 AWG70000A 的 RFXpress 创建雷达信号的软件模块为您创建脉冲式雷达波形提供了最大的灵活性。它可以创建从一个脉冲到脉冲串、再到脉冲串组的各类波形，能方便地建立自己的雷达脉冲序列。该软件支持各种调制方案，包括 LFM、Barker 和多相位编码、

用户自定义编码、步进 FM、非线性 FM、用户自定义 FM 和自定义调制。它还可以生成带有可变 PRI 的脉冲串来解析多普勒效应及用于电子对抗的 (ECCM) 跳频信号，以及脉冲到脉冲幅度变化来模拟突然转向的目标模型。



## RFXpress 产生雷达信号的特点

- 创建一个或多个脉冲组，形成相参或不相参脉冲串
- 独立定义每个脉冲组
- 定义脉冲间和脉冲内的跳频码型、频率和幅度
- 定义所有脉冲参数，包括开始时间、上升时间、结束时间、下降时间、脉宽、衰落、过冲和波纹
- 使用斜坡或用户自定义轮廓，定义参差 PRI
- 建立自定义脉冲序列，使用 AWG 的序列模式以优化内存、建立更多脉冲串
- 支持各种脉内调制类型，包括扫频、步进调频、巴克码、多相码、用户自定义步进调频和代码及自定义调制
- 定义天线波束特性，模拟目标回波

RFXpress 强大而又简便易用的软件包，为任意波形发生器 (AWG) 合成复杂的信号。它可以作为 AWG70000A 系列任意波形发生器的内置部分运行，也可以从外部 PC 上运行，下面用实际举例说明一下

该软件的信号生成，如下面的图。

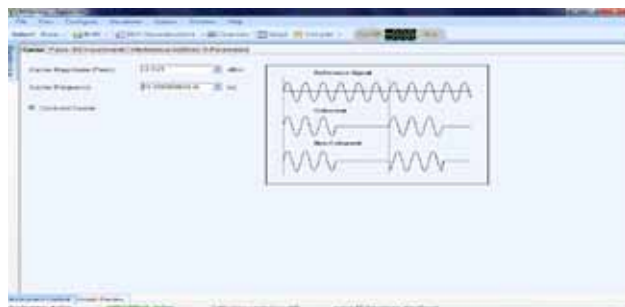


图 1. 雷达信号的载波频率设置

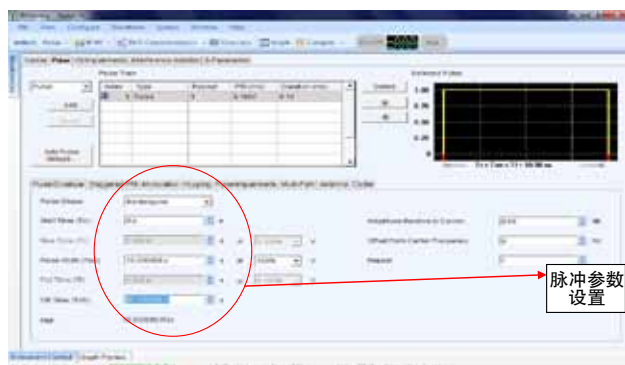


图 2. 雷达脉冲的参数设置

图 2 显示的是脉冲的基本参数设置，简便定义所有脉冲参数，包括起始时间、关断时间、上升时间、下降时间、脉冲宽度、PRF、跌落和纹波。而且可以单个脉冲分别定义。

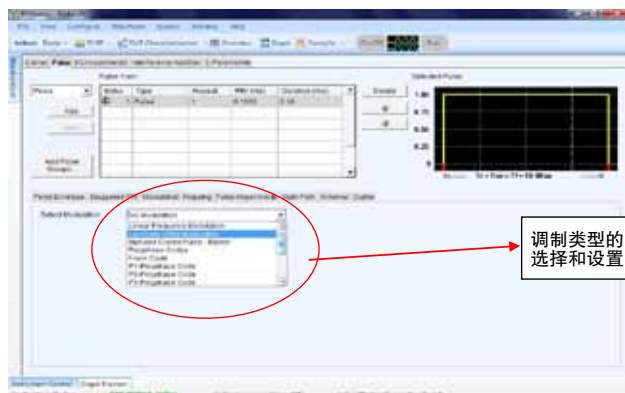


图 3. 雷达脉内调制类型设置

图 3 显示的是对其中的一个脉冲进行脉内的调制设定。在下拉式的菜单中，可以直接选择设定不同的脉冲调制类型如包括捷变频调频、步进跳频、巴克码、多相位编码。用户可自定义步进跳频，各种编码方式和自定义调制。



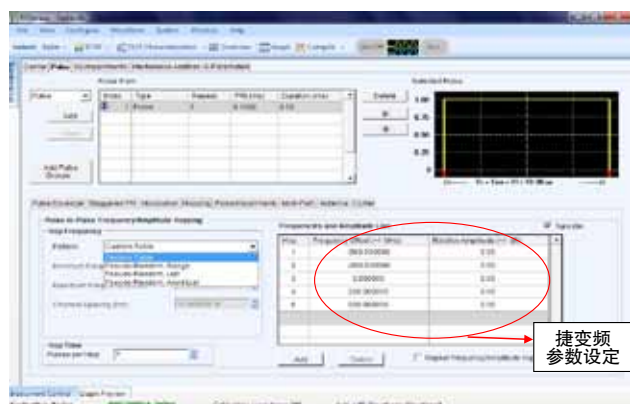


图 4. 捷变频信号的生成

图 4 显示的是脉间变频参数设置，简便定义每个脉冲内部的频率变化和功率的大小。



图 5. 雷达脉冲加损伤设置

图 5 在脉冲信号上面加损伤，如边沿抖动、脉冲宽度抖动、衰落、过冲、纹波等。



图 6. 雷达多径设置

图 6 是雷达信号多径效应设置，可以设置每条路径的延时、功率和相位。

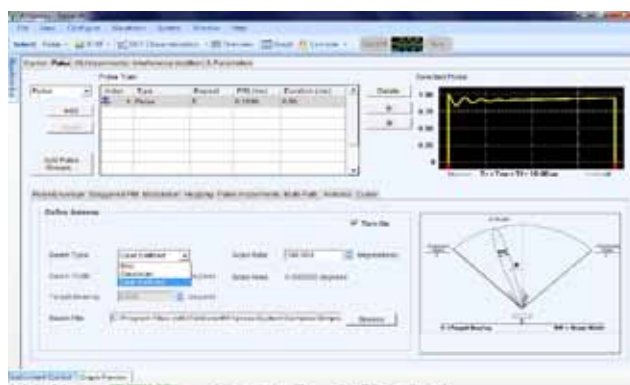


图 7. 雷达天线扫描模拟设置

图 7 是雷达天线扫描模拟设置，可以设置天线的波束类型、天线的扫速。



图 8. 雷达杂波模拟设置

图 8 是雷达杂波信号模拟设置，可以设置信杂比、杂波的持续时间、杂波的类型等。

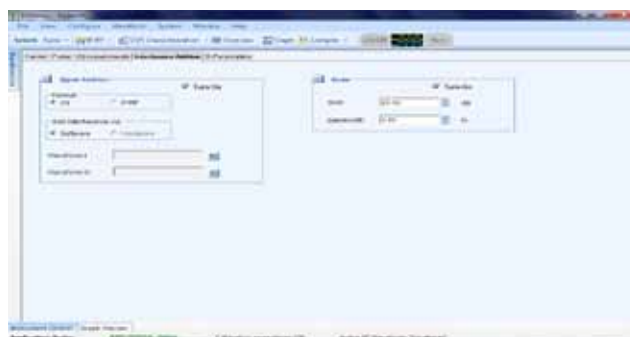


图 9 雷达信号添加噪声设置

图 9 在信号上面加损伤、噪声和叠加干扰信号，设置信噪比等参数。

使用该软件进行雷达信号的模拟，可以大大提高工程师的工作效率，而且该软件功能强大，可以直接装在 AWG70000A 系列的任意波形发生器上并生成信号，非常方便。

## 1.3.2 AWG 生成超宽带雷达信号实例

任意波形发生器有极高的实时带宽，可以为超宽带雷达信号的生成提供优秀的解决方案。本例中将以超宽带脉冲线性扫频信号为例，利用泰克 RFXpress 的雷达插件和 AWG70001A 配合生成雷达信号。目标信号的主要参数为：中心频率 18GHz；扫频范围为 2GHz；脉冲宽度为 5  $\mu$ s，脉冲重复频率为 50kHz；输出功率为 -2dBm。

图 10 为测试结果。由于实时带宽为 2GHz，由于有器件、电缆等影响，导致带内不平坦，带内纹波大约 2.3dB 左右，频谱不平坦。

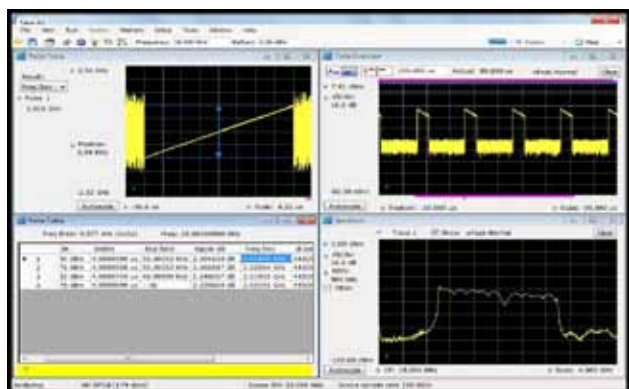


图 10. 未校准的超宽带雷达测试结果

由于信号在链路中叠加了 DAC、电缆等幅度起伏和相位失真，在精确测量场合用户可能是无法容忍较大失真的存在。

泰克的内置在 AWG70000A 的 RFXpress 校准功能使信号预失真，在 AWG 外面提供平坦的频响和线性相位响应。此外，还可以校准  $f_s/2$  和  $f_s$  之间的映像，从而为采样不足的信号提供平坦的响应。只需简单的操作就可以完成整个系统的校准。由于独有的在线闭环校准功能，便快捷地完成信号预失真，保证输出宽带

雷达信号有很好的平坦度和线性相位响应，完全能够达到宽带雷达信号分析和测量的要求。校准软件界面见图。

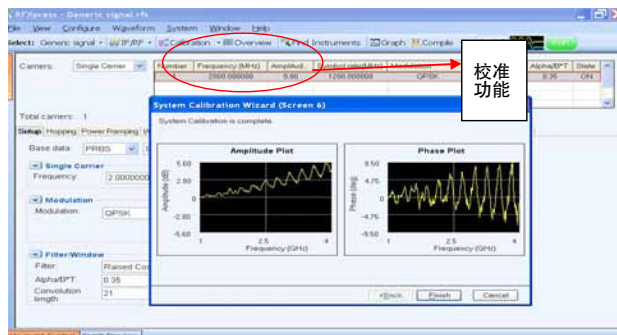


图 11. AWG 校准软件界面

图 12 为校准后测试结果。校准后可以把 DAC、电缆幅度起伏和相位失真等影响消除，带内平坦平坦度更好，带内纹波大约 1.4dB 左右。

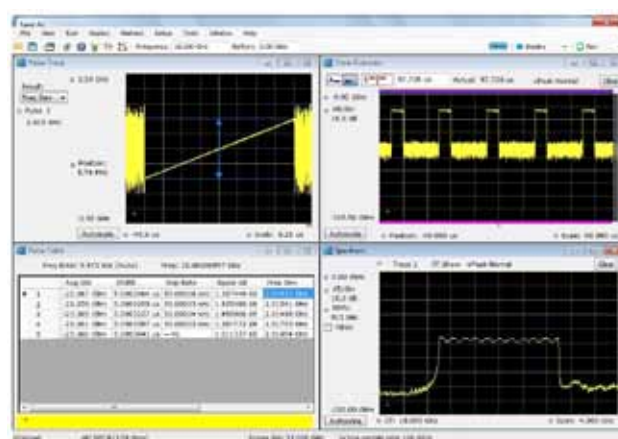


图 12. 校准后的超宽带雷达测试结果

对于载波频率大于 20GHz 宽带矢量信号产生，由 Tektronix 公司的任意波发生器 AWG70000A 和第三方的微波上下变频器组成，能够在 0.1 ~ 50GHz 的频率覆盖范围内产生、校准 2GHz 瞬时带宽的矢量信号。



图 13. AWG+ 上变频器方案

图 14 为利用泰克的 AWG70000A 加上变频器后, 载波 25GHz, 线性调频的带宽 2GHz 未校准的宽带雷达信号测试结果, 带内纹波大约 2.6dB 左右。图 15 为利用泰克的 AWG70000A 加上变频器后, 校准后的宽带雷达信号测试结果, 带内纹波大约 1.29dB 左右。



图 14. AWG+ 上变频器产生 25GHz 载波, 带宽 2GHz 的未校准的雷达信号

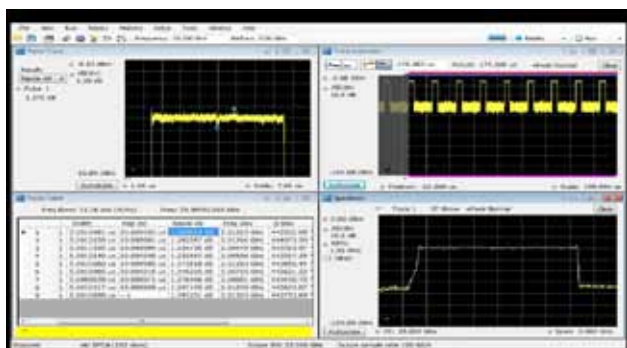


图 15. AWG+ 上变频器产生 25GHz 载波, 带宽 2GHz 的校准后的雷达信号

## 二、使用任意波形发生器产生宽带通信信号

### 2.1 下一代卫星通信测试挑战以及背景

航天卫星通信系统包括星地链路、星地链路的遥感图像、侦收信息等信号的高速数传。随着下一代星上转发器的研制需求, 随着载人航天和嫦娥工程的不断推进, 先进技术和器件将会大量使用, 而配套的测试技术水平也需要有一个相应的提高。

飞行器测控是指对火箭、导弹、卫星、航天飞船、无人驾驶飞机、飞艇等航天航空飞行器进行跟踪测量, 并控制其运动和工作状态的系统和技术。在国外, 飞行器测控系统一般称为跟踪、遥测与指令系统或者遥

测、指令与测距系统。飞行器测控系统主要由四大部分组成: a) 跟踪测量: 捕获测量目标 (即被测控的飞行器), 跟踪测量飞行器的飞行轨道、姿态、方向、距离、速度等参数; b) 遥测: 测量飞行器内部的参数; C) 遥控: 对飞行器的轨道、姿态以及内部设备的工作进行控制; d) 计算机与指控通信系统: 完成测控站之间的信息传输和处理, 形成测控通信网。卫星和飞船遥测遥控系统是包含遥测地面站, 星上传感器, 星上无线传输设备等部分的复杂系统。该系统需完成对星上各种参数提取、遥测数据传输、遥测数据记录、遥控指令发送等功能。它是飞行器完成任务的重要保证技术手段。现在国内已建立了完整的航天测控网络, 包含地面固定站, 地面移动站和航天测控船等。下一代航天测控通信系统采用符合国际电联要求的频率标准, 具备天地话音、天地视频图像和高速数据传输等满足航天测控要求的能力。随着载人航天, 探月工程等项目的实施, 对航天测控设备的传输数据速率、传输质量、设备可靠性等指标提出更高要求。为确保在复杂环境下传输信息的可靠性能和传输质量。先进技术和器件的使用大大提高了遥测遥控系统的性能指标和可靠性。同时也对系统的研制和测试提出更高的要求。

### 2.2 下一代卫星通信测试需求

传统的卫星转发器测试和卫星系统测试需要对接收机、变频器、行波管进行指标测试和功能验证。测试的项目包括功率、频谱、驻波等常规测试。面对下一代转发器和高轨遥感卫星, 以及下一代卫星通信系统, 传统的测试手段无法完全满足新的测试需求, 如阵列信号测试, 侦察卫星对抗性能测试, 扩频信号的测试, 跳频信号的测试等等。

随着遥感卫星有效载荷种类的增多和分辨率的不断提高, 信息量越来越大。为将这些信息实时传输到地面, 要求星上数传系统的传输能力越来越强, 所传输的数据率越来越高。这对数传系统中的调制技术提出了更高的要求, 工程师在不断探索将更高阶的调制方式应用于卫星数据传输系统, 当前利用比较多的调制方式有 QPSK、8PSK、UQPSK、APSK 等多种不同的调制方式, 调制带宽从几十兆赫兹到几个 G 赫兹, 比如 DVB-S、DVB-S2 的调制带宽已经到了 2G 或者更高。面对带宽如此宽的数字调制信号, 需要超宽带信号产生和分析验证系统来进行系统测试和分析。



## 2.3 泰克宽带通信仿真方案组成和优势

在卫星通信、短距离高速传输等多个领域，大量用到宽带、超宽带技术，传输带宽常常达到数百兆甚至数 G 赫兹。

传统信号源应用于这一领域时，无论是调制还是脉冲无线电，用户常常难以得到所需的带宽。用户一般需要庞大昂贵的信号源系统或定制的专用激励源才能得到部分宽带性能。这时，任意波形发生器高达数 GHz 的宽带性能为这些应用提供理想的解决方案。在其指标范围内，无论是脉冲信号还是调制信号，其基带、中频、甚至是射频直接输出，任意波形发生器都能提供 all in one 的完备激励性能。

在这类应用中，任意波形发生器的主要优势是：

- 极高的瞬时带宽
- 灵活的波形生成能力，根据用户需求，可以方便地输出各类信号
- 简便的仪器配置，无需模拟信号源、基带源和调制器，直接生成所需信号

当前能够产生超宽带数字调制信号的信号源只有 AWG，泰克 AWG70001A 系列任意波形发生器 DA 速率可以达到 50GS/s 的采样率，输出频率可以达到 20GHz，位数高达 10 位。配合 AWG 内置的 RFXpress 软件，可以方便的产生各种调制类型和码速率的宽带通信信号。

任意波形发生器 (AWG) 可灵活地产生各种标准的数字调制的基带信号、IF 信号和 RF 信号，也可以支持自定义的调制方式。例如可以产生模拟和数字调制信号，如 DPSK, QPSK,  $\pi/4$ -QPSK,  $\pi/2$ -QPSK, BPSK,  $\pi/2$ -BPSK, n-DPSK, O-QPSK, 8PSK, O-8PSK, SD-PSK, QAM16,  $\pi/2$ -QAM16, QAM32, QAM64, QAM128, QAM256, QAM512, QAM1024, GMSK, 2-FSK, 4-FSK, 8-FSK, 16-FSK, 32-FSK, CPM, SBPSK, SOQPSK, ASK, OOK, AM, FM, PM, 等。并且用户可以自行定义其它调制方式

图 16 显示 AWG 可以在发射机接收机的各个部位提供信号，基带，中频，射频个部分信号的产生只需要根据信号的参数不同进行设置就可以，配合 SourceXpress 软件可以方便的产生各种需要的信号，如通信，OFDM，跳频，复杂电磁环境等等。

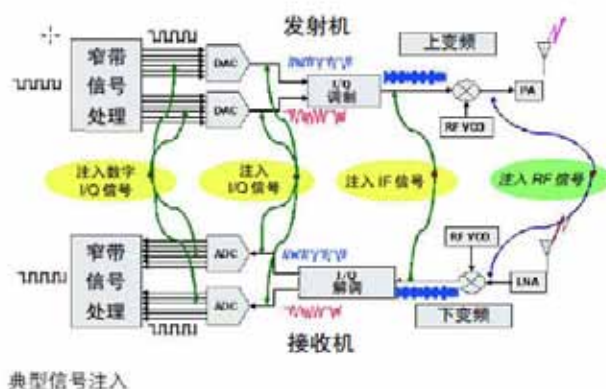


图 16. 泰克宽带通信测试方案

## 2.4 通信信号生成软件 SourceXpress/RFXpress

新一代的 AWG70000A 系列，配合 SourceXpress/RFXpress 中的 RF Generic plug-in 射频信号生成插件。可方便的生成丰富而易用的基带 I-Q 调制信号。例如 BPSK, QPSK, OQPSK, p/4QPSK, DQPSK, 16 QAM 到 1024 QAM, 8PSK, O-8PSK, GMSK, FSK, AM, FM 和 PM 调制，都可轻松生成，并支持可变频率和奈奎斯特滤波；也可应用模拟像正交误差、增益不平衡、星座图倾斜这样的 I-Q 损伤和 AM/AM、AM/PM 这样的非线性影响，使其仿真非理想条件下的信号特征。

SourceXpress/RFXpress 也可以定义多载波中频和射频信号。每个载波的频率、符率、调制类型、基带滤波和数据源都可分别定义。它可以设定最高至 512 个载波，从而可以对整个频谱环境进行数字合成并下载到 AWG 用于回放。



该系统通信信号产生特点：

- 使用各种调制方案定义基带 IQ 信号、IF 信号和 RF 信号
- 产生高速跳频信号，跳速可达到 1000 万跳以上
- 系统校准后具有优秀的幅频特性和相频特性，可产生如 QAM1024 等阶数调制信号
- 生成单载波信号和多载波信号，每个载波都可以单独定义
- 可以设置 OFDM 的所有参数：从基带数据、包一直到帧，定义用户自己的 OFDM 体制
- 支持 RS(Reed-Solomon) 编码、卷积和加扰
- 可以在信号加入诸如相位噪声、多径或量化等损伤
- 加入跳频和选通噪声
- 支持多种子载波调制，包括 BPSK、QPSK、QAM( 16、32、64、256 ) 和 8PSK 等等
- 支持 Tone nulling ( 音调清零 ) 和 clipping
- 预设 WiFi 和 WiMAX 标准波形

下面是宽带通信信号生成软件 SourceXpress 界面。



图 17. SourceXpress 宽带通信信号生成界面

## 2.5 AWG 生成宽带通信信号实例

任意波形发生器有极高的实时带宽，可以为宽带通信信号的生成提供优秀的解决方案。本例中将以数字调制 QPSK 信号为例，利用泰克 SourceXpress 和 AWG70001A 直接产生载波 18GHz 通信信号。目标信号的主要参数为：中心频率 18GHz；符号速率 1GBaud。从图 18 测试结果可以看出，EVM 的 RMS 值为 8.78%。

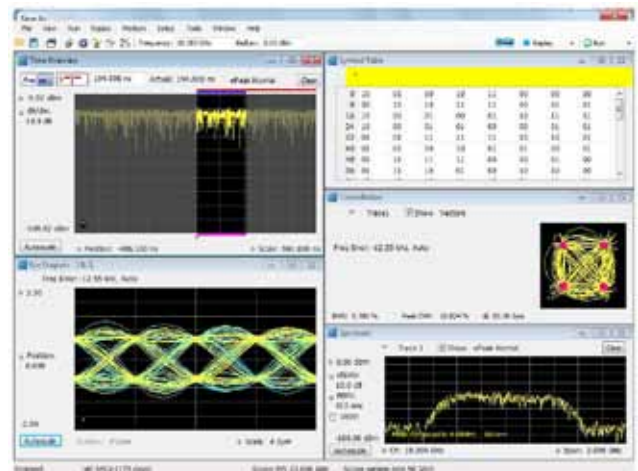


图 18. 载波 18GHz，符号速率 1G 未校准的宽带通信测试结果

由于信号在链路中叠加了 DAC、电缆和 ADC 的幅度起伏和相位失真，在精确测量场合用户可能是无法容忍较大失真的存在。

泰克的内置在 AWG70001A 的 SourceXpress 校准功能使信号预失真，在 AWG 外面提供平坦的频响和线性相位响应。此外，您还可以校准  $f_s/2$  和  $f_s$  之间的映像，从而为采样不足的信号提供平坦的响应。只需简单的操作就可以完成整个系统的校准。由于独有的在线闭环校准功能，便快捷地完成信号预失真，保证输出宽带雷达信号有很好的平坦度和线性相位响应，达到一般宽带雷达信号分析和测量的要求。校准软件界面见图。

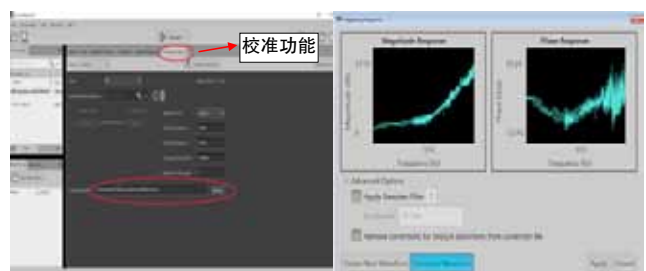


图 19. SourceXpress 预失真补偿界面

校准后可以把 DAC、电缆和 ADC 的幅度起伏和相位失真等影响消除，由于独有的在线闭环校准功能，该系统既可产生高保真宽带矢量信号，也可生成人为损伤信号，甚至其它设备采集到的“真实世界”信号，即可知、可控及可重复地生成各种宽带矢量信号。

图 20 为校准后测试结果。校准后可以把器件、电缆等影响消除，带内平坦平坦度更好，EVM 的 RMS 值只有 2.248%。



图 20. 载波 18GHz，符号速率 1G 校准后的宽带通信测试结果

对于载波频率大于 20GHz 宽带矢量信号产生，由 Tektronix 公司的任意波发生器 AWG70000A 和第三方的微波上下变频器组成，能够在 0.1 ~ 50GHz 的频率覆盖范围内产生、校准 2GHz 瞬时带宽的矢量信号。



图 21. AWG+ 上变频器方案

图 22 为利用泰克的 AWG70000A 加上变频器后，载波 25GHz，符号速率为 1.2GBaud 未校准的宽带 QPSK 测试结果，EVM 的 RMS 值 11.58%。图 23 为利用泰克的 AWG70000A 加上变频器到 25GHz 载波，校准后的宽带 QPSK 信号测试结果，EVM 的 RMS 值只有 2.63%。



图 22. AWG+ 上变频器产生 25GHz 载波，1.2G 符号速率未校准的 QPSK



图 23. AWG+ 上变频器产生 25GHz 载波，1.2G 符号速率校准后的 QPSK

## 三、使用任意波形发生器产生 OFDM 信号

### 3.1 OFDM 测试挑战和背景

正交频分复用 (OFDM) 是一种多载波的传输技术，其主要思想就是在频域内将信道分成许多正交子信道，在各个低速的子载波信道上承载高速的数据流，并且各子载波并行传输。因为子载波间具有正交性，扩频调制后的频谱可以相互重叠，这样不但可以降低各个子载波间的相互干扰，还可以大大地提高频谱利用率。OFDM 已经被成功的应用于非对称数字用户线 (ADSL)、无线本地环路 (WLL)、数字音频广播 (DAB)、高清晰度电视 (HDTV)、无线局域网等系统中。OFDM 技术以其抗频率选择性衰落等优势而成为下一代宽带无线通信系统的核心技术，已经广泛被采纳为无线通信物理层的标准，同时也成为了欧洲、亚洲、澳洲以及其他国家的数字音视频广播的物理层标准中的一部分。

### 3.2 OFDM 用途和必要性及测试需求

光正交频分复用 (Optical-OFDM) 技术是将 OFDM 技术应用到光纤通信系统中, 从而集中了 DSP 和光纤通信技术优点的一种新型的光通信技术。Optical-OFDM 技术可以有效地抵抗光纤传输链路中的色散、偏振模色散 (PMD) 等效应, 提高系统的频谱利用率, 因此得到了广泛的研究。

Optical-OFDM 可以构造出高速率、大容量、低成本的光传输网络, 而且易于信道容量的扩展, 对提高数据传输率和系统容量起到重要作用。另外, Optical-OFDM 系统中的各个子信道的不同频谱相互叠加, 更有效的利用频谱资源, 提高了带宽利用率。除此之外, 该系统实现简单, 易于优化等优点, 使 OFDM 技术在光通信领域, 尤其是 40Gbit/s 以上的高速光通信领域具有很好的应用前景, 对于未来长距离大容量光传输链路的实现, 具有十分积极的意义。

### 3.2 泰克 OFDM 信号产生方案

要产生宽带 OFDM 信号, 需要信号源, 由于 OFDM 信号是超宽带信号, 带宽一般大于 3GHz, 传统信号源的带宽只有 80MHz 以内, 难以产生宽带的 OFDM 信号。

生成 OFDM 电信号, 需要 OFDM 信号源, 这个信号源并能够简洁地灵活地生成 OFDM 信号, 并需要对信号进行数据处理, 其中处理环节包括: 星座映射、IFFT 实现正交频分复用、过采样处理、导频符号添加、训练序列添加、循环前缀添加、加窗处理、PAPR 降低处理模块等, 因此, 要产生 OFDM 信号, 非常复杂, 如何生成复杂的 OFDM 信号, 一直是研究 OFDM 的工程师所面临的挑战, 需要很长时间去研究和学习。

泰克针对 Optical-OFDM 光通信系统验证和测试提供了完整的解决方案, 图 18 是泰克 Optical-OFDM 通信系统验证系统框图, 其中 AWG70002A 作为 OFDM 信号发射机, DPO77002SX 宽带高性能示波器作为 OFDM 信号的接收机, 本文主要介绍 OFDM 信号产生方案。

Optical-OFDM 通信系统中的发射机就是 AWG 任意波形产生器, 利用 AWG 产生 OFDM 电信号, AWG 之所以可以生成如此复杂的 OFDM 信号, 这取决于 AWG 这种信号源独特的原理的原理所决定的, 高速的 DAC 可以达到业内最高 50GS/s 采样率是其产生复杂 OFDM 信号的保证。采样率越高, 产生的 OFDM 信号的速率越高, 所以 AWG 的采样率越高越好。

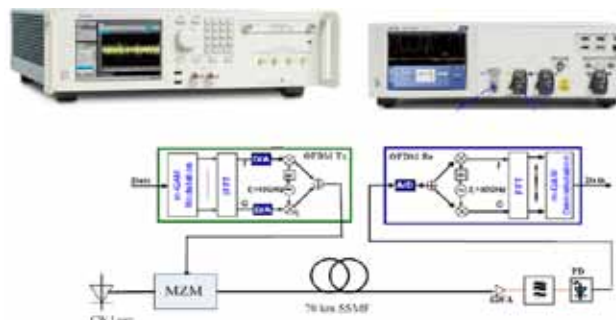


图 24. 泰克 OFDM 验证系统框图

### 3.3 OFDM 生成软件 RFXpress

要生成 OFDM 信号, 需要对信号进行数据进行复杂的处理, 因此, 如何生成复杂的 OFDM 信号, 如何提高生成的效率, 一直是研究 OFDM 的工程师所面临的挑战。在泰克的任意波形产生器 AWG70002A 中内置 RFXpress 软件, 是业内唯一专业的 OFDM 信号生成软件。

RFXpress 可以很方便产生基带、中频和射频 OFDM 信号。

- 可以设置 OFDM 的所有参数
- 设置用户自己定义的数据 - 符号 - 数据包 - 数据帧
- 支持各种编码、卷积和加扰
- 可以在信号加入诸如相位噪声、多径或量化损伤
- 支持多种子载波调制, 包括各种 BPSK, QPSK, QAM (16,32,64,256) and 8-PSK



图 25 显示的是 OFDM 信号的射频信号、中频信号、IQ 基带信号的选择; 自定义的数据以及支持各种编码、卷积和加扰等参数的设置。



图 25. RFXpress 生成 OFDM 的起始界面

图 26 显示的是 OFDM 信号的符号参数设置, 子载波的调制方式, 循环前缀, 基带数据以及支持各种编码、卷积和加扰等参数的设置。

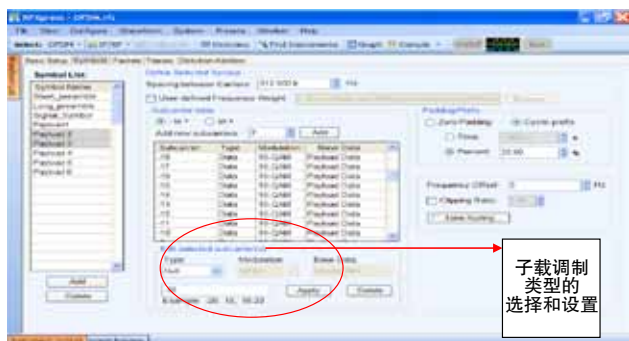


图 26. OFDM 信号的符号参数设置

图 26 显示的是 OFDM 信号的 Packed 参数设置。



图 27. OFDM 信号的 Packet 参数设置

图 28 显示的是 OFDM 信号的 Frame 参数设置, 可以在信号加入诸如相位噪声、多径。

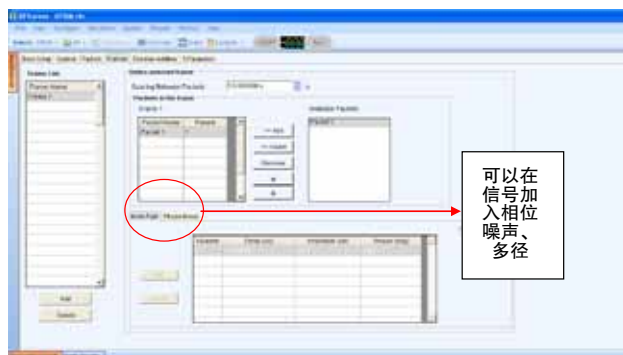


图 28. OFDM 信号的 Frame 参数设置

RFXpress 还可以直接在信号上面加噪声和信道模型。使用该软件生成 OFDM 信号, 可以大大提高工程师的工作效率, 而且该软件功能强大, 直接装在 AWG70002A 系列的任意波形发生器上面, 直接可以产生 OFDM 信号输出, 非常方便。

泰克的任意波形产生器 AWG70002A 和 Matlab 可以实现无缝连接, 方便快捷地创建各种波形, 把 Matlab 装在 AWG70002A 系列仪器上或者安装在 PC 上, 利用 Matlab 软件产生 OFDM 电信号, 然后利用 AWG70002A 把 OFDM 信号输出。



图 29. 利用 Matlab 快速生成 OFDM 信号

### 3.4 AWG 生成宽带 OFDM 信号实例

任意波形发生器有极高的实时带宽，可以为宽带通信信号的生成提供优秀的解决方案。本例中将以利用 Matlab 产生 OFDM 基带信号，自动下载到 AWG70002A 中，OFDM 信号带宽为 15GHz，在图 31 中白色的曲线是频谱曲线，从图中可以看出，带内不平坦。由于信号在链路中叠加了 DAC、电缆和 ADC 的幅度起伏和相位失真，在精确测量场合用户可能是无法容忍较大失真的存在。

泰克的内置在 AWG70001A 的 SourceXpress/RFXpress 校准功能使信号预失真，在 AWG 外面提供平坦的响应和线性相位响应。此外，您还可以校准  $f_s/2$  和  $f_s$  之间的映像，从而为采样不足的信号提供平坦的响应只需简单的操作就可以完成整个系统的校准。由于独有的在线闭环校准功能，便快捷地完成信号预失真，保证输出宽带雷达信号有很好的平坦度和线性相位响应，完全能够达到宽带雷达信号分析和测量的要求。校准软件界面见图。

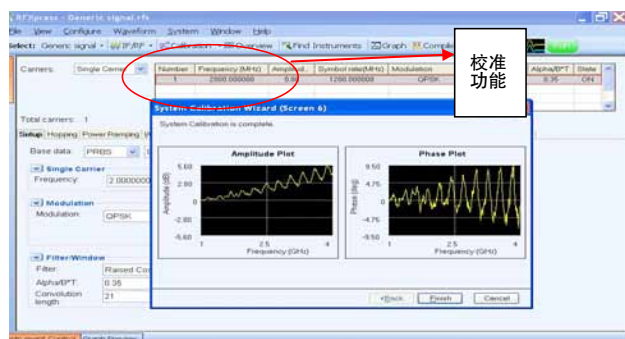


图 30. AWG 校准界面

校准后可以把 DAC、电缆等幅度起伏和相位失真等影响消除，由于独有的在线闭环校准功能，该系统既可产生高保真宽带矢量信号，也可生成人为损伤信号，甚至其它设备采集到的“真实世界”信号，即可知、可控及可重复地生成各种宽带矢量信号。图 31 中橙色的曲线是校准后 OFDM 频谱曲线。校准后把 DAC、电缆等幅度起伏和相位失真等影响消除，带内平坦平坦度更好。



图 31. OFDM 信号校准前后频谱对比图

## 四、使用任意波形发生器产生复杂电磁环境信号

### 4.1 复杂电磁环境仿真的挑战和背景

战场电磁信号环境是指一定的战场空间内对作战有影响的电磁信号活动和现象的总和。随着信息化条件下电子设备和信息化武器装备在战场上的大量使用，战场上电磁信号密集分布、相互作用，电磁信号环境空前复杂，将呈现出信号密集、样式繁杂、冲突激烈和动态交叠等特点。随着高科技在军事领域的广泛应用，各种雷达、通信、导航、敌我识别等电磁辐射装备的种类越来越多，数量越来越庞大，电磁辐射的功率越来越强，占用的频带越来越宽，尤其是高功率微波武器、电磁脉冲弹以及超宽带、强电磁辐射干扰机等武器装备在战场上大量运用，将使战场的电磁信号环境变得更加复杂。而构建电磁信号环境，就是构建由实际装备形成的真实电磁环境、或是由模拟装备产生的模拟电磁环境

### 4.2 复杂电磁环境仿真必要性及测试需求

复杂电磁环境的模拟和仿真，可以提供一个接近真实的环境来验证电子装备在复杂电磁环境下的工作状态和能力。雷达探测、光电探测和电子侦察是现代战争中人们感知战场目标的三种基本电磁手段，这几种信号都可能会受到外界有意或者无意的干扰。在恶劣的电磁环境下，需要精确的知道电子系统的工作条件和容限。比如雷达系统在受到复杂电磁环境干扰的时候，

是否会降低作用距离，增加虚警，在干扰的的频度和能力到了了一个什么样的级别，会导致雷达的作用距离不能达到指标，虚警会明显增加。载入跳频电台在复杂电磁环境下，是否能正常工作，在多大的功率干扰下会失常等等。

因此，模拟真实的复杂电磁环境就非常必要，很多研发单位都需要模拟真实的复杂电磁环境来验证自己的电子装备。模拟的复杂电磁环境不但需要模拟干扰信号，还需要模拟现实世界中的各种信号，这对模拟信号源来说是一个很大的挑战。现代战场上通信系统广泛应用于各种武器装备、作战平台和人员上；同时，民用电台也十分众多、密集，特别是个人移动通信设备的爆炸性增长，往往一个省的各种通信辐射源就达上千万部。如此数量和密度的通信系统都需要方便的模拟出来，同时还要模拟大量的雷达信号、制导信号、敌我识别信号等等。如何能够方便的模拟这些信号是复杂电磁环境模拟的一个挑战。

### 4.3 泰克复杂电磁环境仿真的组成和优势

泰克任意波形发生器 (AWG70000A) 已经在雷达，无线通信，电子对抗信号生成方面显示出了强大的功能。先进的任意波形发生器如最新的 Tektronix AWG70000 系列可以支持今天最复杂的无线测试信号和复杂电磁环境。

传统的 RF 信号发生器可能包括内部脉冲振幅调制器，甚至限带相位调制器。此类发生器从窄带连续波 (CW) 信号开始并向载波添加调制，至于宽带电磁环境模拟则需要基频宽带信号源，整个系统构建相对复杂，模拟的信号受限较多。

泰克 AWG 可以产生基带、IF 和 RF 频带激励信号，用来高效率地测试无线器件和系统性能。50GS/s，10 位垂直分辨率的 AWG70000A，最高可以产生 20GHz 有效频率的信号，调制带宽高达 15GHz，可以适用在极端的复杂电磁环境当中，如超宽带 (UWB) 无线电设计和复杂电磁环境信号仿真。

AWG 可以理解为一个高速 DA 把写好的波形源源不断的通过放大器输出。由于独特的信号生成模式，超宽带信号产生特点，使得产生复杂信号成为了 AWG 的最大特点，可以说信号越复杂，越能体现 AWG 的特性。

AWG70000A 配合性能强大的内置软件 SourceXpress/RFXpress，可以方便的模拟复杂电磁环境。SourceXpress/RFXpress 软件用有一个模块就是复杂电磁环境生成模块 (Environment)。



图 32. 复杂电磁环境生成软件界面

利用这个 RFXpress 软件可以方便的生成复杂电磁环境中的各种信号，如雷达、噪声、跳频信号、干扰信号、CDMA、UWB 等等，可以使得这些信号同频发出或者同时发出。如图 32 所示，在软件的左边显示出了能产生的信号类型：

- 通用信号 (包括数字调制，跳频等)
- UWB
- 雷达
- OFDM
- WIFI
- Wimax
- GSM
- CDMA
- W-CDMA
- DVB-T
- 自定义信号 (根据数据文件调入)
- 噪声



这些信号模型都可以用拖拽的方式或者双击鼠标添加到右边的信号库里面，图 5 已经添加了 4 个信号模型，分别是雷达、噪声、OFDM 和通用信号，只需要通过一次编译，就可以按照设定好的方式将这 4 个信号按照时间顺序发出，当然该软件支持这 4 个信号同频或者同时刻发出。该软件支持可以添加 25 个信号在右边的信号库里面，当然这并不意味着该软件只能支持 25 个信号，其实没一个添加的信号都可以包括若干个相同类型的信号在里面。比如雷达模块添加了以后，可以将雷达模块的高级设定打开如下图所示：



图 33. 复杂电磁环境软件中的雷达信号设置参数显示

从图 33 可以看到，在雷达信号库里面，实际上还可以包括若干个雷达信号，而每一个雷达信号都可以设定自己的载频、PRI、脉压方式、参差方式、是否有捷变等等，也可以设定雷达信号是否是同时到达。所以一个信号类型中就可以包括无数个相同类型的信号，模拟复杂电磁环境的真实状态。

AWG 通信信号 (Generic Signal) 模块，同时产生多个通信信号，而每个通信信号可以分别设置他的载频、单载波还是多载波、调制类型、是否跳频、跳速、信道衰落、子载波、多径效应、信道模型等等。如图 27 所示：

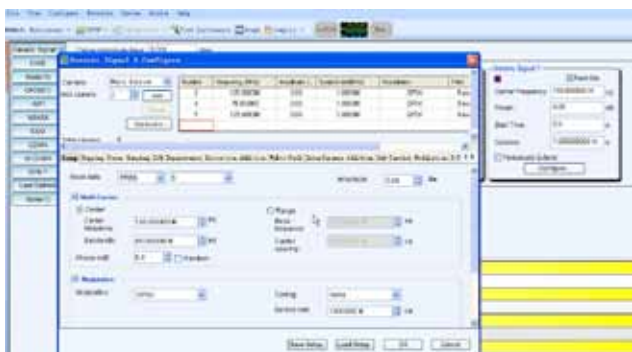


图 34. 复杂电磁环境模拟软件中的通用信号设定参数显示

该软件可以实现数以百万计的信号类型的复杂程度，完全可以满足当前对复杂电磁环境模拟的需要。

AWG70001A 还可以回放复杂电磁环境信号，如果数据量小于 16G 样点，载波频率在 20GHz 以内，可以直接采用泰克的任意波形发生器 AWG70001A 进行信号回放。泰克的任意波形发生器 AWG70001A 可以直接对实时频谱仪的数据进行硬件回放，并支持泰克实时信号分析仪内存中的 I/Q 波形文件，以最小的波形失真率实现存储信号的回放。并可以按射频、中频或基带的方式进行回放。不仅作为信号回放功能，借助丰富的波形制作软件，AWG 能够产生多种雷达和通信信号等复杂电磁环境信号，并能模拟真实环境 (或加入信道模型)、加干扰、加噪声、改变信噪比、改变 IQ 不平衡等参数，实现对待测系统的闭环完整性测试。



AWG70001A/AWG70002A 回放系统

## 4.4 AWG 生成复杂电磁环境信号实例

任意波形发生器有极高的实时带宽，利用这个 AWG70001A 中的 RFXpress 中的电磁环境仿真模块可以方便的生成复杂电磁环境中的各种信号，如雷达、噪声、跳频信号、干扰信号、CDMA、UWB 等等。



图 35. 复杂电磁环境生成

泰克实时频谱分析仪专利的 DPX 技术独特的 DPX 频谱 / 三维频谱图显示了 干扰信号或未知信号的每个发生时点的复杂电磁环境信号。

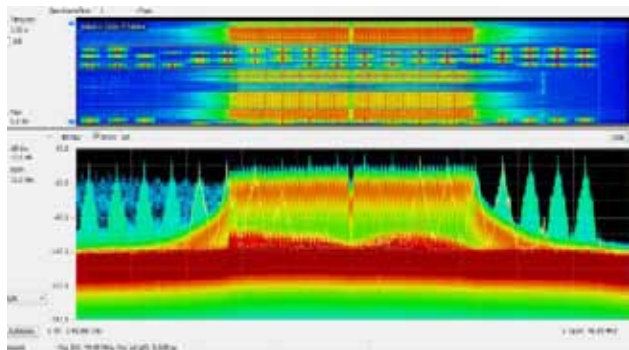


图 36. 利用泰克的实时频谱分析仪实时监测复杂电磁环境信号

## 五、使用任意波形发生器产生复杂跳频信号

### 5.1 跳频信号背景

现代战争是一场高技术较量的电子战争，通信已成为现代战争中军队的神经网络。战场态势和情报的获得，指挥控制命令的下达都离不开通信系统。利用具有快速反应、抗干扰的指挥通信对分散部署的部队进行调遣，采取快速机动的作战行动是取得战争胜利的重要保证。目前的电子侦察手段、无线电干扰和反辐射攻击，可以轻易破坏和摧毁传统的通信网。因而研究各种用于军事通信的抗干扰技术，建设行之有效的现代通信系统网络，具有极其重要的意义，对战争的胜负有着重要的影响。这就大大推动了军事通信系统和装备的技术进步。跳频通信技术是在现代信息对抗日益激烈的形势下迅速发展起来的。众所周知，无线电通信是战场上保障作战与指挥的重要手段。但无线电通信易遭受干扰，特别是短波通信领域，不仅易遭到天电、工业等自然干扰，而且还要遇到敌方人为的跟踪、阻塞、多径干扰等各种通信干扰。因此改善短波通信性能，提高其抗干扰能力，就成了无线电通信技术不断创新和发展的重要课题，跳频通信技术装备也就应运而生。与定频通信相比，跳频通信比较隐蔽也难以被截获。只要对方不清楚载频跳变的规律，就很难截

获我方的通信内容。同时，跳频通信也具有良好的抗干扰能力，即使有部分频点被干扰，仍能在其他未被干扰的频点上进行正常的通信。因此它具有很强的抗搜索、抗截获、抗干扰能力。

在民用通信系统中，跳频技术也得广泛的应用。随着国民经济的发展，工业电子噪声日趋增多，各种无线通信（数字蜂窝移动通信、个人通信、无绳电话、室内无线通信等）的发展，出现频谱拥挤的情况。GSM 蜂窝移动通信系统率先采用了跳频技术抗多径干扰。蓝牙和很多室内无线通信系统也已经采用了跳频技术来对抗工业干扰。这既可克服或减弱相同信道干扰的影响，又可抗多径衰落。

### 5.2 跳频信号必要性及测试需求用

随着微电子与数字信号处理技术的广泛应用，尤其是 FPGA、DSP 以及 DDS 器件的发展，原先存在的频率合成器和跳频同步等难题已经解决，与自适应技术的结合进一步提高了跳频系统的性能。可以相信，跳频技术将向更高跳频速率、高数据传输速率发展。各种新颖的跳频实现方法也不断地提出，软件无线电概念的提出为跳频技术的发展开辟了一个新领域。

对于跳频系统的测试，除了需要能够捕获信号的分析工具，还需要能够产生高速宽带跳频信号的标准信号源。这个源用来产生复杂的跳频信号来对接收机进行测试或对整个系统进行验证。传统的矢量信号源由于带宽限制无法满足要求。

软件无线电的思想就是采用通用的硬件平台，通过更换软件的方法能完成各种特定信号的生成。任意波形发生器（以下简称 AWG）就是按照这种思路设计的信号源，能够创建、生成或复现理想的、失真的或“现实生活”中的信号，其在设计和测试流程中至关重要。

### 5.3 泰克跳频信号仿真的组成和优势

泰克跳频信号仿真的组成由任意波形发生器 AWG70000A 和波形生成软件组成。由于任意波形发生器具有强大的任意性，可以生成各种复杂信号。其中 AWG70001A 任意波形发生器 (AWG) 具有高达

50 GS/s 和 10 位的垂直分辨率, 16G 样点的存储, 高达 -80dBc 的动态范围, AWG70001A 最高可以产生 20GHz 有效频率的信号, 跳频带宽高达 15GHz, 即 15GHz 内复杂跳变的信号。

AWG70001A 频率转换非常快, 适合于频率捷变的信号生成。常规信号源难以产生跳频信号。AWG70001A 比跳频信号源具有更大的灵活性, 可以产生更高跳速, 跳速最高可达亿跳、更多调制制式的跳频信号, 满足科研测试和生产调试的需要。

AWG70001A 配合性能强大的内置软件 SourceXpress/RFXpress, 可以方便的各种跳频信号。SourceXpress/RFXpress 软件用有一个模块就是跳频生成模块 (RF Generic Signal)。利用这个跳频信号产生软件可以方便的生成的各种射频信号, 如噪声、跳频信号、干扰信号、CDMA、UWB 等等, 可以使这些信号同频发出或者同时发出。AWG 通信信号 (RF Generic Signal) 模块, 同时产生多个通信信号, 而每个通信信号可以分别设置他的载频、单载波还是多载波、调制类型、是否跳频、跳速、信道衰落、子载波、多径效应、信道模型等等。



图 37. AWG70001A 产生复杂跳频信号界面

#### 5.4 AWG 生成复杂产生复杂跳频信号实例

任意波形发生器有极高的实时带宽和快速跳频功能, 利用这个 AWG70001A 中的 SourceXpress/RFXpress 中的 RF Generic Signal 模块可以方便的生成复杂快速跳频信号, 如跳频信号、噪声、干扰信号、CDMA、各种数字调制信号等等。

下面是利用任意波形发生器 AWG70001A 生成跳频信号, 通过 SourceXpress/RFXpress 软件非常方便产生多个跳频信号, 设置参数如下图:



图 38. 泰克的 AWG 任意波形发生器产生复杂跳频信号

下面是使用泰克的实时频谱分析仪的 DPX 技术测试出跳频频点, 跳频带宽等跳频规律。DPX 显示技术中颜色代表信号出现的概率, 下图为一个跳频信号测试例图右侧显示了 7 个跳频频点, 颜色为淡蓝色, 淡蓝色意味着信号在该频点不是稳态驻留 (如稳态驻留则为红色)。图左侧是该信号的时频图 (三维频谱图), 结合时频图可以清楚的看到该信号的跳频图案。

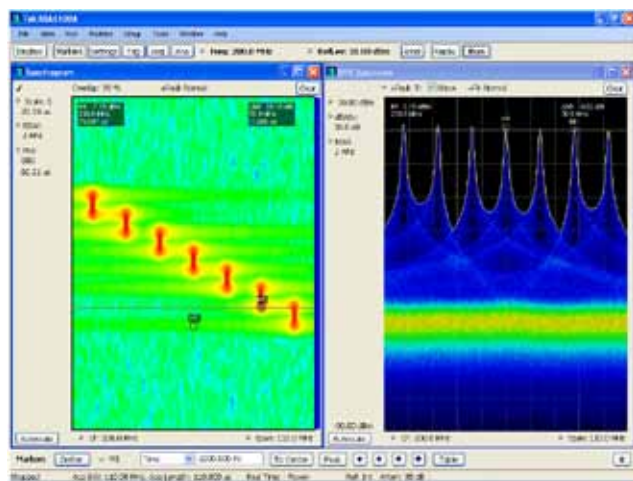


图 39. 利用泰克的实时频谱分析仪实时观测跳频信号

泰克的 AWG 任意波形发生器可以产生复杂的跳频信号, 可以对跳频信号进行仿真, 而且每一跳可以选择不同的调制方式。泰克 AWG 方便的产生跳速达到每秒百万跳的各种跳频通信信号, 还可以和实时信号分析仪组成闭环系统, 进行信号的采集回放。



## 六、总结

泰克任意波形产生器 AWG70000A 系列是基于数模变换、使用数据创建实际波形的信号源，可以在其指标范围内产生“任意”的激励信号。任意波形发生器硬件结构简单、通用，可以根据用户需求产生各种信号，包括射频、中频、基带，模拟信号、数字信号、调制信号、真实环境信号等。而如果使用传统信号源，这些信号可能必须使用不同的设备来产生，甚至需要有多种信号源配合其它外围设备的信号源系统来完成。AWG 可以在发射机和接收机的各个部位提供信号，基带、中频、射频各部分信号的产生只需要根据信号参数不同进行设置就可以，配合相应的信号生成软件可以方便的产生各种需要的信号，如数字、通信、雷达、OFDM、跳频、多音信号、宽带调制、复杂电磁环境等等，可以应用于各类半实物仿真场景中。



泰克官方微信

**如需所有最新配套资料，请立即与泰克本地代表联系！**

**或登录泰克公司中文网站：[www.tek.com.cn](http://www.tek.com.cn)**

**泰克中国客户服务中心全国热线：400-820-5835**

**泰克科技(中国)有限公司**

上海市浦东新区川桥路1227号  
邮编：201206  
电话：(86 21) 5031 2000  
传真：(86 21) 5899 3156

**泰克北京办事处**

北京市海淀区花园路4号  
通恒大厦1楼101室  
邮编：100088  
电话：(86 10) 5795 0700  
传真：(86 10) 6235 1236

**泰克上海办事处**

上海市长宁区福泉北路518号  
9座5楼  
邮编：200335  
电话：(86 21) 3397 0800  
传真：(86 21) 6289 7267

**泰克深圳办事处**

深圳市深南东路5002号  
信兴广场地王商业大厦3001-3002室  
邮编：518008  
电话：(86 755) 8246 0909  
传真：(86 755) 8246 1539

**泰克成都办事处**

成都市锦江区三色路38号  
博瑞创意成都B座1604  
邮编：610063  
电话：(86 28) 6530 4900  
传真：(86 28) 8527 0053

**泰克西安办事处**

西安市二环南路西段88号  
老三届世纪星大厦26层C座  
邮编：710065  
电话：(86 29) 8723 1794  
传真：(86 29) 8721 8549

**泰克武汉办事处**

武汉市洪山区珞喻路726号  
华美达大酒店702室  
邮编：430074  
电话：(86 27) 8781 2760

**泰克香港办事处**

香港九龙尖沙咀弥敦道132号  
美丽华大厦808-809室  
电话：(852) 2585 6688  
传真：(852) 2598 6260

更多宝贵资源，尽在 [WWW.TEK.COM.CN](http://WWW.TEK.COM.CN)

© 泰克科技公司版权所有，侵权必究。泰克产品受到已经签发及正在申请的美国专利和国外专利保护。本文中的信息代替所有以前出版的材料中的信息。技术数据和价格如有变更，恕不另行通告。TEKTRONIX 和泰克徽标是泰克公司的注册商标。本文提到的所有其他商号均为各自公司的服务标志、商标或注册商标。

