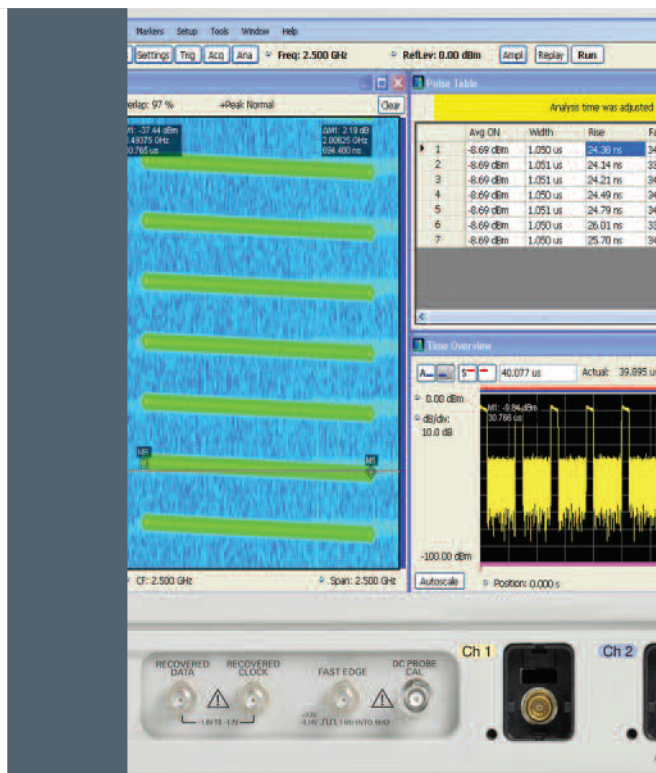




高级雷达分析

现代雷达测量工具

目录

引言 3

脉冲发生设备选型 4

脉冲测量设备选型 5

 重要的脉冲参数 5

 设备功能 5

 传统示波器测量 5

 示波器脉冲波形和 DPX™ 采集技术 6

 示波器触发 6

 手动定时方法 7

 自动示波器定时测量 7

 频谱分析仪测量 8

 其它频谱测量 9

 DPX™ 实时 RF 频谱显示 11

 RSA 上的自动测量功能 11

 示波器上的自动 RF 脉冲测量功能 13

 测量设备选型图 14

测量脉冲和其他信号 –

部分实例 14

 仪器操作:

 设置采集及查看脉冲 14

 幅度随时间变化和时间概况之间的差异 15

 轨迹压缩控制 15

 考察预计信号 16

 监测实例: 使用 RSA5000 和 RSA6000 系列

 监测雷达 17

 调试偶发调制实例: 使用 DPO7000 系列示波器

 和 SignalVu 调试宽带线性调频 19

 非预计信号 21

 杂散信号 21

 瞬态信号 (DPX 实时 RF 频谱显示) 21

 DPX 实时 RF 频谱显示技术 22

 RSA 系列中的频率模板触发 (FMT) 24

 时域和频域中的信号 25

 事件隔离和分析 26

 外部威胁 26

 干扰 26

 人为干扰和欺骗 27

引言

在设计现代电子战争和雷达系统时，您面临着重大的挑战。您必须开发拥有检测及避免下一代威胁所需灵活性和适应性的解决方案。为此，您需要相应的工具，生成和分析异常复杂的脉冲码型，您需要以高级扫描方法验证设计，这些工具要能够处理复杂的雷达基带、IF 和 RF 信号，并识别多系统干扰。

随着当今雷达技术快速发展，开发和制造高度专业的新型电子产品、以检测雷达信号，需要采用尖端技术和工具。泰克

新型测试设备降低了设计过程中的测试不确定度，为日益复杂的设计的完整性提供了信心。泰克任意波形发生器、实时频谱分析仪和高带宽示波器为满足现代雷达应用要求提供了所需的功能。实时查看高级脉冲压缩系统、生成和分析所有数字动态信号类型，可以帮助您为密集的商用电子系统创造高度可靠的、经济的系统设计。泰克广泛的一系列生成和分析工具代表着可扩充的结构，可以保护您的投资，加快设计开发速度。

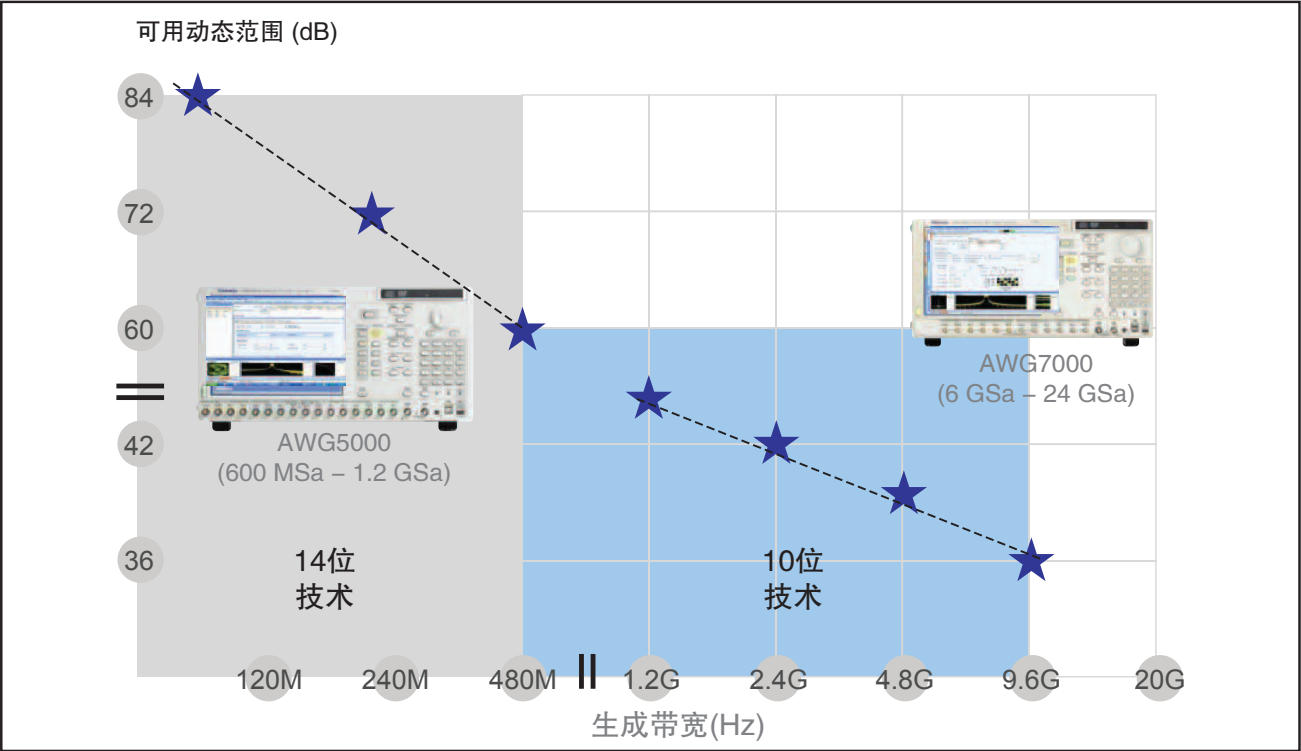


图 1. AWG 系列概况。

仪器系列	采样率	带宽	上升时间	存储深度	分辨率 (位)
函数发生器					
AFG3000	250 MS/s	10 MHz 25 MHz	< 50 ns < 18 ns	2 – 128 kpts	14
AFG3100	1 GS/s	100 MHz	< 5 ns	128 k; 250 MS/s 16 k; 1GS/s	14
AFG3250	2 GS/s	240 MHz	< 2.5 ns	128k; 250 MS/s 16 k; 2 GS/s	14
任意波形发生器					
AWG5000	10 MS/s – 600 MS/s; 1.2 GS/s	240 MHz 370 MHz	< 1.4 ns < 0.95 ns (直接)	16 Mpts 选项 (32 Mpts)	
AWG7000	10 MS/s – 6 GS/s; 12 GS/s; 24 GS/s	2.4 GHz 3.5 GHz 选项 6 (9.6 GHz)	150 ps 100 ps 40 ps	32 Mpts 选项 (64 Mpts)	8/10

表 1. 信号发生设备概况。

脉冲发生设备选型

AWG5000 系列任意波形发生器拥有每个样点高达 14 位的分辨率，在一个波形内部提供了最高的动态范围。AWG7000 系列拥有高达 24 GS/s 的时钟速率，提供了最高的有效输出频率 (可达 9.6 GHz)。

AFG3000 系列任意函数发生器能够为生成基带脉冲直接选择波形参数。

表 1 指明了根据要求的测试所需的信号特点来选择测试设备。

脉冲测量设备选型

为测量雷达脉冲选择最优设备取决于脉冲的特点及提供的测试设备之间的功能差异。

重要的脉冲参数

确定设备时应考虑需要测量的参数以及这些结果预计的取值范围。

脉冲 RF 载频是基本参数。如果提供的设备没有覆盖涉及的频率，那么除基础测试仪外，还要求一台频率转换设备。这样的转换器可能会引入相位和平坦度损伤或其它失真。测量系统应内置校正这些不理想特点的功能。

脉冲带宽是另一个考虑因素。现代雷达使用更宽带宽的脉冲，如更快的上升时间和更宽的调制带宽。只有在一次捕获整个带宽时，才能正确测量许多测量。

第三个考虑因素是调制。需要测量哪些不同调制？哪些调制属性至关重要？某些类型的线性调频脉冲只要求载频在指定范围上扫描。而许多其它脉冲则要求载波扫描满足线性度指标。这些脉冲参数会影响对测试设备提出的线性度和动态范围要求，以及仪器测量带宽的相位和频率平坦度。

在存在高功率信号时测量小信号或在长时间间隔内进行高精度相位测量，可能要求数字化拥有高动态范围或位深度。

复杂调制方式可能要求内置专用解调过程。

设备功能

本节考察了市场上多种设备，包括示波器、频谱分析仪及可以分别在不同仪器上使用的自动软件。

传统示波器测量

示波器是考察电压随时间变化的基本工具。它特别适合显示基带脉冲的形状。示波器性能参数的原点要追溯到早期雷达脉冲的检定。当今实时示波器拥有高达 33 GHz 的带宽，旨在捕获和显示重复信号或一次性信号。本文没有讨论等效时间示波器或采样示波器，因为它要求重复脉冲，本身不能测量单个脉冲。

传统示波器可以很好地显示基带脉冲。33 GHz 带宽示波器可以准确地看到拥有非常快的跳变时间或非常短的时长（纳秒级或更短）的脉冲。

示波器触发系统是一种精心研制的技术，后面将更详细地讨论这种技术。

由于大多数示波器拥有 8 位数字化器，因此如果需要一起测量小信号和大信号，那么要求认真考虑动态范围和有效位数 (ENOB)。

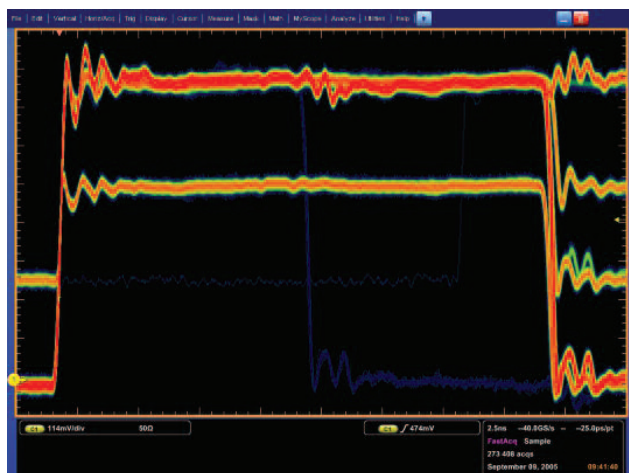


图 2. FastAcq 显示了几十万个脉冲中有一个太窄的脉冲。

示波器脉冲波形和 DPX™ 采集技术

示波器的 FastAcq 功能使用 DPX™ 采集技术处理实时时域数据。所有频域测量都在带有时间标记采集的存储数据上进行。

示波器上的 FastAcq 画面可以发现基带脉冲时域瞬态错误。图 2 只显示了脉宽比数十万个正确脉冲窄的一个脉冲。信号余辉温度标度表示的蓝色表示发生频次最低，红色区域则表示每次都发生的信号部分。

DPO、DSA 和 MSO 系列上的 FastAcq 功能提供了时域显示及高波形捕获速率。DPX 采集处理器直接处理来自模数转换器的实时数字样点。它在时域画面中发现快速变化或一次性事件。

在使用示波器进行宽带测量时，可以使用 FastAcq，利用电压随时间变化画面查看瞬时的瞬态事件。

图 3 用蓝色显示一次性瞬态信号。对这一画面，蓝色表示发生频次非常低的瞬态事件，红色表示不断循环的波形部分。

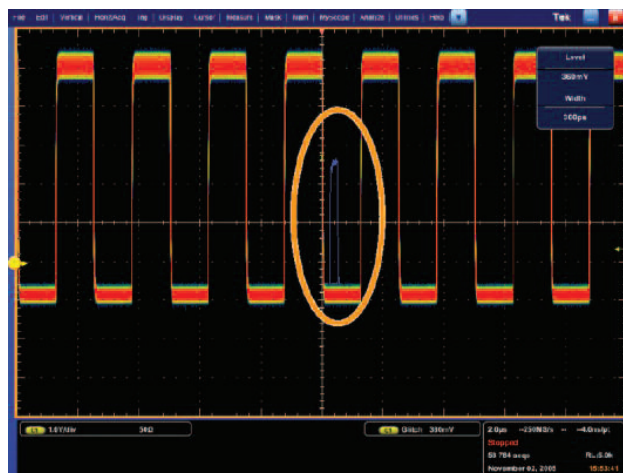


图 3. 在一串脉冲中发现单个瞬态毛刺。

示波器触发

示波器最发达的功能之一是触发。示波器触发的最新进步实现了一种触发方式，根据一条或多条通道中的电压和电压变化触发采集或测量。

这些触发拥有不同的复杂度，从简单的边沿或电压电平触发到复杂的逻辑和定时比较，并结合提供的所有输入通道。码型识别（包括并行和串行）触发“欠幅脉冲”或“毛刺”信号，甚至基于商用数字通信标准进行触发，这些功能均在示波器中提供。

DPO/MSO5000、DPO7000 和 DPO/MSO/DSA70000 系列示波器允许用户指定两个不同的触发事件作为采集条件，称为触发顺序或 Pinpoint™ 触发。主触发或“A”触发对一套判定标准作出反应，可以从简单的边沿跳变到多个输入的复杂逻辑组合。然后可以指定在用时间或事件表示的延迟之后，发生边沿驱动的“B Delayed”触发。

B 触发不限于边沿触发。相反，示波器允许 B 触发在延迟周期后查找从 A 触发使用的、同样广泛的触发类型列表中选择条件。设计人员现在可以使用 B 触发查找怀疑的瞬态事件，例如，在 A 触发之后几百纳秒发生被定义为运行周期的开头。由于 B 触发提供了全系列触发选择，因此工程师可以指定比如希望查找的瞬态信号的脉宽。通过 Pinpoint 触发，可以判定超过 1,400 种可能的触发组合。序列中还可以包括 A 触发事件后单独的水平延迟，以在时间上定位采集窗口。

复位触发功能使得 B 触发变得更加高效。如果 B 事件未能发生，示波器不会无限地等待，而是会在指定时间或指定周期数量之后复位触发。为些，它会重新准备 A 触发，查找新的 A 事件，用户不必监测和手动复位仪器。

系统可以检测宽度小于 200 ps 的瞬态毛刺。高级触发类型，如脉宽触发，可以用来捕获和考察一串时间或幅度变化的脉冲中的特定 RF 脉冲。作为实现可重复测量的关键因素，触发抖动有效值低于一万亿分之一秒 (1 ps) rms。

对基带脉冲，设计人员最关心的功能是基于边沿、电平、脉宽和跳变时间触发。如果需要基于与不同频率有关的事件进行触发，那么需要使用 RSA 系列频谱分析仪。

手动定时方法

传统脉冲测量一度通过目视检查示波器显示画面来完成，这需要观察基带脉冲的形状。使用这种方法提供的测量项目是定时和电压幅度。这些测量在当时是足够的，因为脉冲一般非常简单。

基带脉冲用来调制雷达发射机的功率输出。如果必需测量来自发射机的 RF 调制脉冲，那么通常使用简单的二极管检测器，校正 RF 信号，复现其基带定时和幅度，以便示波器进行显示。一般来说，示波器没有足够的带宽，能够直接显示 RF 调制脉冲，如果能，那么很难清楚地看到脉冲，甚至很难可靠地生成触发。

对这些基带脉冲测量，首先使用的测量技术是目视注意脉冲重要部分在屏幕上的位置，数出脉冲一个部分与另一个部分之间屏幕上的格数。这是由示波器操作人员执行的完全手动过程，因此容易发生错误。

自动示波器定时测量

由于模数转换器的出现，查找屏幕上位置的过程需要在各种脉冲位置直接测量时间和电压。

现在，现代示波器提供了全自动基带脉冲定时测量功能。单键选择上升时间、下降时间、脉宽、等等已经十分常见。但是，大多数测量的重点不是测量被调制雷达信号的包络。

在用于脉冲调制载波时，这些测量的功能有限，因为它们用信号的载波表示，而不是用检测到的脉冲表示。这导致在单个载波周期上进行脉宽测量，测量的是载波的上升时间，而不是被调制脉冲。可以在示波器输入上使用检测器，消除载波，克服这个问题。

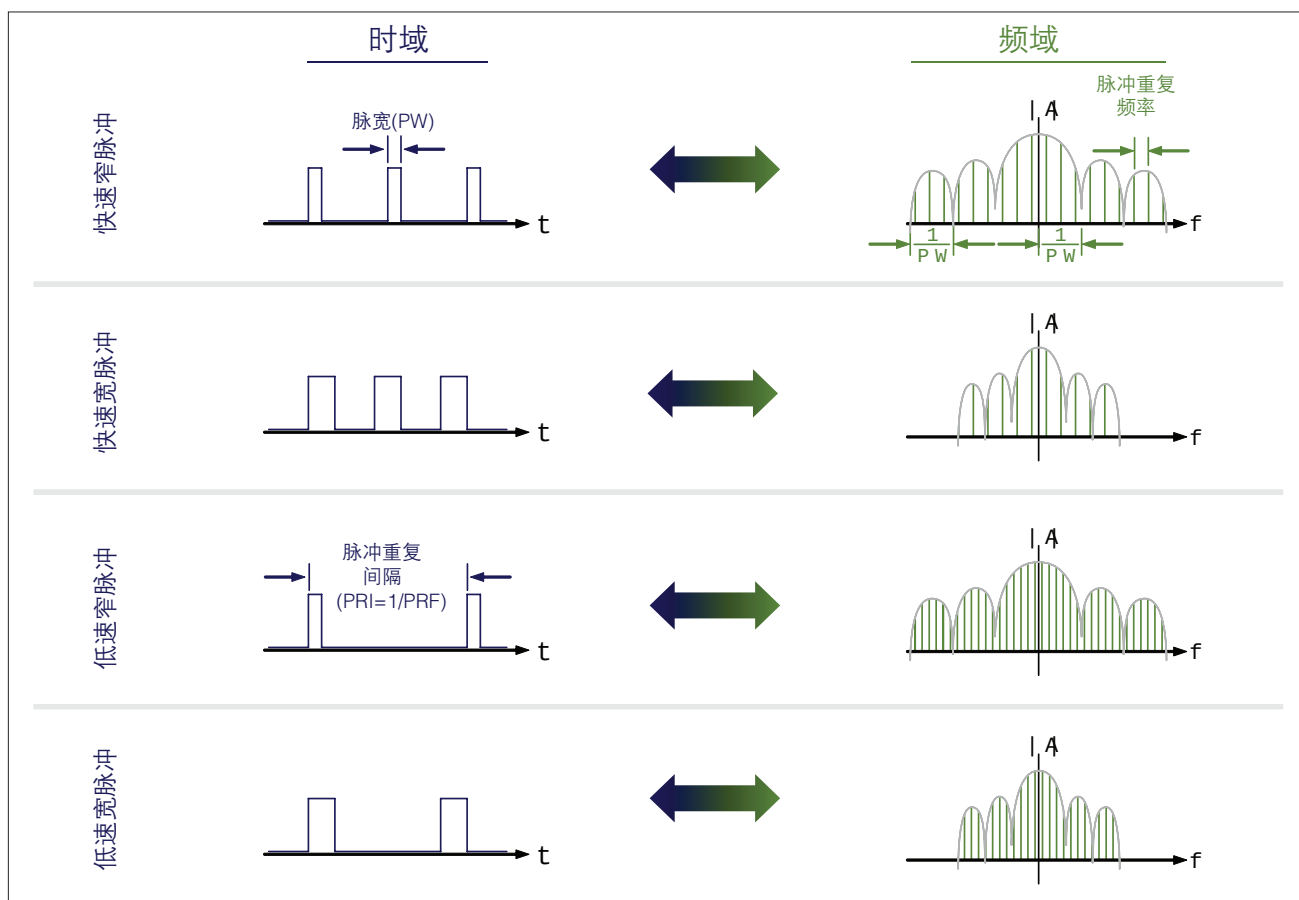


图 4. 脉宽和重复率的频谱图测量。

频谱分析仪测量

传统扫频分析仪是一台简单的 RF 检测器，可以有效地扫描选定的 RF 频宽，它产生一个画面，显示选定频宽内所有信号的综合 RF 频谱。

通过手动观察频谱画面内部的行，辅以屏幕上的标记读数，可以测量载频、脉宽和脉冲时长。载波位于脉冲频谱中心，如图 4 所示。这里，载波标为字母 "A"。

频谱分析仪特别适合显示脉冲调制 RF 载波的频谱，前提是信号是重复的、稳定的，解析带宽 (RBW) 和视频带宽 (VBW) 控制功能正确设置。

频谱分析仪通常是存在非常大的信号时查看非常小的信号所需的高动态范围优化的。快速傅立叶变换或基于 FFT 的矢量信号分析仪 (VSA) 采用内部数字化器，以固定频率对采集带宽采样，可能拥有高达 75 – 85 dB 的 SFDR (无杂散动态范围)。

由于频率和时间之间是倒数关系，可以使用频谱分析仪频域画面确定基本脉冲定时参数。脉冲重复时间（脉冲周期）是较大的频谱包络内部精细间隔的行之间频率间隔的倒数。脉宽是频谱包络中零之间频率间隔的倒数。

在使用扫频分析仪时，在扫描时间与脉冲速率之间可能会有假信号。分析仪将只在脉冲打开的具体时间提供垂直偏转，在脉冲关闭期间不产生偏转。这可能表现为脉冲重复频率 (PRF) 行，但表现频率间隔会随着分析仪的扫描速率变化。这时必需手动改变扫描时间，确定看到的行是 PRF 还是扫描时间假信号。基于 FFT 的 VSA 分析仪不会出现这种假信号。

扫频分析仪还有一种零频宽模式，操作人员选择一个 RF 频率，仪器会在这个频率上停止运行，而不会扫描其频率转换器。检测器现在对分析仪 IF 带宽（也称为解析带宽 - RBW）内部所有信号做出应答。仪器显示屏上显示脉冲随时间变化。结果就像示波器一样显示 RF 功率随时间变化，但频谱分析仪提高了动态范围。

在零频宽模式下，RF 脉冲被检测及显示为基带脉冲。零频宽模式的上升时间功能受到分析仪 IF 系统中最宽的解析滤波器限制。

在能够在一次捕获中数字化和存储宽频段的 VSA 或实时频谱分析仪中，可以显示信号幅度随时间变化。这可以以全捕获带宽允许的速度快速显示脉冲上升时间，频谱画面没有行。对上升时间高于这一带宽能够支持的水平时，推荐使用示波器来准确地测量脉冲的上升时间。

其它频谱测量

可以在频谱画面上使用标记，手动进行 RF 频谱测量，但大多数仪器通常会自动完成这一操作，因为手动操作会相当繁琐。RSA5000 和 RSA6000 系列基本软件或装有 SignalVu™ 矢量信号分析软件的示波器包括许多常用自动测量，如占用带宽 (OBW)、互补累积分布函数 (CCDF) 和邻道功率比 (ACPR)（也称为频谱再生）。

高级雷达分析

应用指南

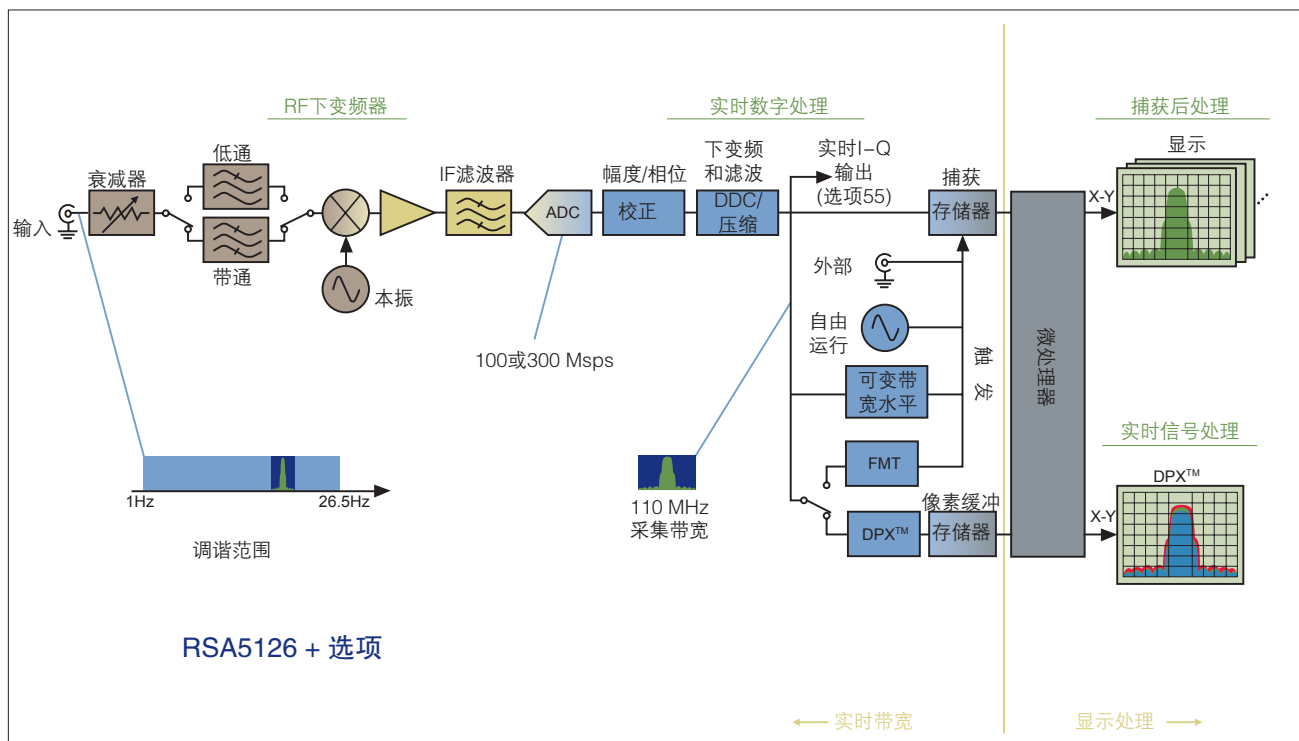


图 5. 简化的 RSA 方框图。

占用带宽与脉冲式雷达关系最紧密。大多数雷达必须满足规定带宽，以避免干扰附近频率上工作的 RF 系统。这一测量考察信号的 RF 频谱，定位最高幅度值。然后，在频谱中执行功率积分，找到指定百分比的总功率占用的带宽。默认设置报告 99% 功率带宽，但用户可以输入其它值。

实时频谱分析仪 (RSA) 拥有一个与扫频分析仪类似的 RF 转换段。正如图 5 中简化的方框图所示，RSA5000 系列数字化高达 110 MHz 的带宽，支持的无杂散动态范围可达 78 dB。

数字化后的样点通过硬件 DSP 直接处理，同时可以保存在内存或硬盘上。这个硬件处理器在 RF 频谱信息中执行离散时间变换。这可以实时触发选择的频率事件，或提供 DPX 实时 RF 频谱画面，可以发现 RF 瞬态事件，显示同一频率内共享时间的 RF 信号。

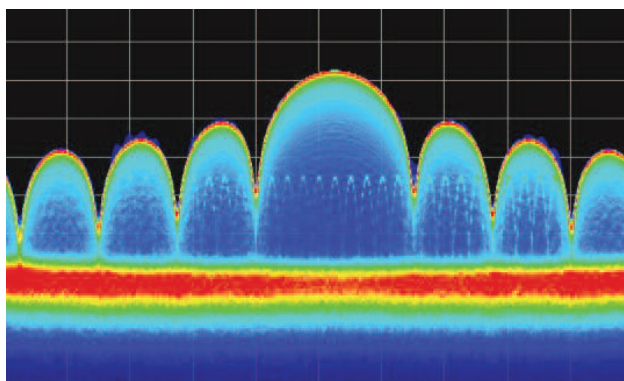


图 6. 脉冲干扰。

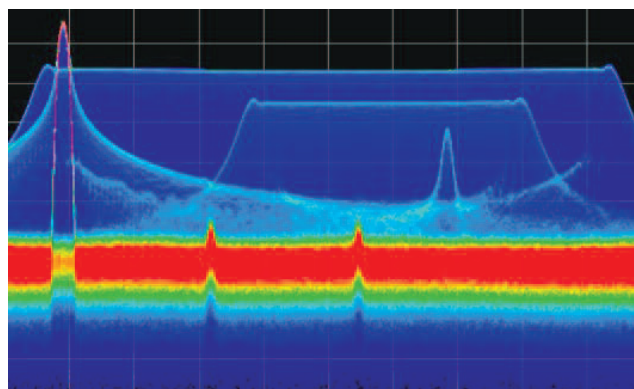


图 7. 一个频段中多个线性调频。

Pulse Table										
Freq Error: -87.77 Hz (Auto)										
	Avg ON	Width	Rise	Fall	Rep Int	Duty %	Ø Diff	F Diff	Freq Dev	Time
1	-10.43 dBm	25.00 us	675.0 ns	674.6 ns	250.0 us	10.00 %	-- °	-- Hz	4.812 kHz	1.468773 ms
2	-10.42 dBm	25.00 us	680.6 ns	685.7 ns	250.0 us	10.00 %	-0.7033 °	-1.076 kHz	2.943 kHz	1.718776 ms
3	-10.43 dBm	25.00 us	692.1 ns	689.8 ns	250.0 us	10.000 %	0.0309 °	-3.427 kHz	3.290 kHz	1.968775 ms
4	-10.40 dBm	25.00 us	686.7 ns	681.5 ns	250.0 us	10.00 %	-0.3505 °	-3.995 kHz	2.948 kHz	2.218772 ms
5	-10.40 dBm	25.00 us	681.8 ns	674.7 ns	250.0 us	10.00 %	-0.3818 °	-4.615 kHz	4.060 kHz	2.468773 ms
6	-10.44 dBm	25.00 us	678.9 ns	684.8 ns	250.0 us	10.00 %	0.1076 °	-1.642 kHz	3.857 kHz	2.718776 ms
7	-10.45 dBm	25.00 us	689.1 ns	689.6 ns	250.0 us	10.000 %	-0.8330 °	-3.437 kHz	3.223 kHz	2.968775 ms
8	-10.44 dBm	25.00 us	687.5 ns	680.9 ns	250.0 us	10.00 %	-0.1236 °	-2.883 kHz	3.650 kHz	3.218773 ms
9	-10.44 dBm	25.00 us	677.3 ns	675.6 ns	250.0 us	10.00 %	-0.3531 °	-7.975 kHz	4.445 kHz	3.468773 ms
10	-10.43 dBm	25.00 us	683.9 ns	684.3 ns	250.0 us	10.00 %	-0.3800 °	-2.089 kHz	2.468 kHz	3.718778 ms
11	-10.44 dBm	25.00 us	691.4 ns	692.0 ns	250.0 us	10.000 %	-0.1173 °	-3.740 kHz	3.085 kHz	3.968775 ms
12	-10.41 dBm	25.00 us	685.4 ns	681.3 ns	250.0 us	10.00 %	-0.6874 °	-4.049 kHz	2.902 kHz	4.218773 ms
13	-10.42 dBm	25.00 us	675.2 ns	675.6 ns	250.0 us	10.00 %	-0.2335 °	-902.3 Hz	5.305 kHz	4.468774 ms

图 8. 自动脉冲测量结果表。

DPX™ 实时 RF 频谱显示

RSA 系列在高达 110 MHz 采集带宽上实现 DPX™ 实时 RF 频谱显示。DPX 一词源自“数字荧光技术”显示概念，这种技术重建 CRT 荧光缓慢衰减的内存效应。对 RSA，硬件处理器每秒执行多达 292,969 次 FFT。这可以不间断地、连续实时查看变化的 RF 信号。图 6 是一个雷达脉冲，干扰载波扫描通过脉冲式频谱。

连续不间断查看能力保证了以 100% 的侦听概率捕获最短 3.7 μ s 的信号或瞬态事件，因为没有死区时间。DPX 频谱显示正在监测所有时间。

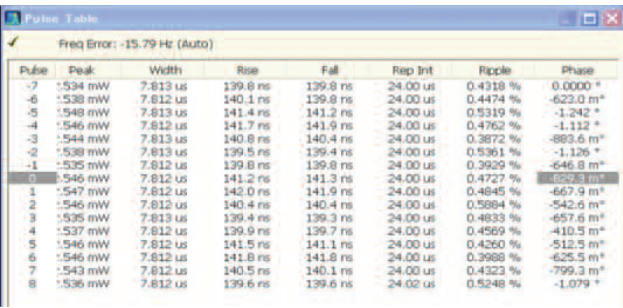
可以发现雷达脉冲干扰及同一频率上有多个信号的情况。图 7 是一个线性调频的 DPX 频谱显示，这个线性调频在频率中重叠了第二个功率较低的线性调频，同时有多个单频脉冲式载波和两个连续波 (CW) 干扰源。

RSA 上的自动测量功能

尽管可以以类似扫频分析仪的方式使用 RSA5000 和 RSA6000 系列来测量频域或时域，但 RSA 提供了自动脉冲测量功能，实现了高得多的信号细节和测量可重复性。高级信号分析软件 (选项 20) 包括脉冲测量功能。对这一分析，分析仪存储数字采集，在采集内部查找脉冲，测量每个脉冲的全套参数。

定时、频率和相位参数均会测量。可以显示或导出选择的任意一套参数。可以进一步处理这些测量结果，显示和分析发展趋势。

高级雷达分析
应用指南



Pulse	Peak	Width	Rise	Fall	Rep Int	Ripple	Phase
-7	1.534 mW	7.813 us	139.8 ns	139.8 ns	24.00 us	0.4318 %	0.0000 °
-6	1.538 mW	7.812 us	140.1 ns	139.8 ns	24.00 us	0.4474 %	-623.0 m°
-5	1.548 mW	7.813 us	141.4 ns	141.2 ns	24.00 us	0.5319 %	-1.242 °
-4	1.546 mW	7.812 us	141.7 ns	141.9 ns	24.00 us	0.4762 %	-1.112 °
-3	1.544 mW	7.813 us	140.8 ns	140.4 ns	24.00 us	0.3872 %	-883.6 m°
-2	1.538 mW	7.813 us	139.5 ns	139.4 ns	24.00 us	0.5361 %	-1.126 °
-1	1.535 mW	7.812 us	139.8 ns	139.8 ns	24.00 us	0.3929 %	-646.8 m°
0	1.546 mW	7.812 us	141.2 ns	141.3 ns	24.00 us	0.4727 %	-526.1 m°
1	1.547 mW	7.812 us	142.0 ns	141.9 ns	24.00 us	0.4845 %	-667.9 m°
2	1.546 mW	7.812 us	140.4 ns	140.4 ns	24.00 us	0.5884 %	-542.6 m°
3	1.535 mW	7.813 us	139.4 ns	139.3 ns	24.00 us	0.4833 %	-657.6 m°
4	1.537 mW	7.812 us	139.9 ns	139.7 ns	24.00 us	0.4569 %	-410.5 m°
5	1.546 mW	7.812 us	141.5 ns	141.1 ns	24.00 us	0.4260 %	-512.5 m°
6	1.546 mW	7.812 us	141.8 ns	141.8 ns	24.00 us	0.3988 %	-625.5 m°
7	1.543 mW	7.812 us	140.5 ns	140.1 ns	24.00 us	0.4523 %	-799.3 m°
8	1.536 mW	7.812 us	139.6 ns	139.6 ns	24.02 us	0.5248 %	-1.079 °

图 9. 脉冲测量结果表，为显示选择了 7 个参数。

RSA5000 和 RSA6000 系列脉冲测量软件为高达 110 MHz 带宽提供了一套完善的脉冲参数测量，包括定时读数、失真、幅度、频率、相位和脉冲时间。

部分测量专用于线性调频脉冲，包括频率偏差、频率误差、相位偏差和相位误差。拥有数字结果的任何参数还可以相对于脉冲数量绘制结果图，查看错误的时间趋势。最后，这些趋势可以输入到 FFT 中，确定错误是否有错误变化的相干频率，进而可能发现变化的原因。

脉冲表显示中可以包括任何或所有带数字结果的测量，如图 9 所示。

自动脉冲测量在可以选择的、高达 110 MHz 的带宽中捕获的数据记录上运行，其可以在 RSA5000 的 1 Hz – 26.5 GHz RF 覆盖范围内部任何地方调谐。

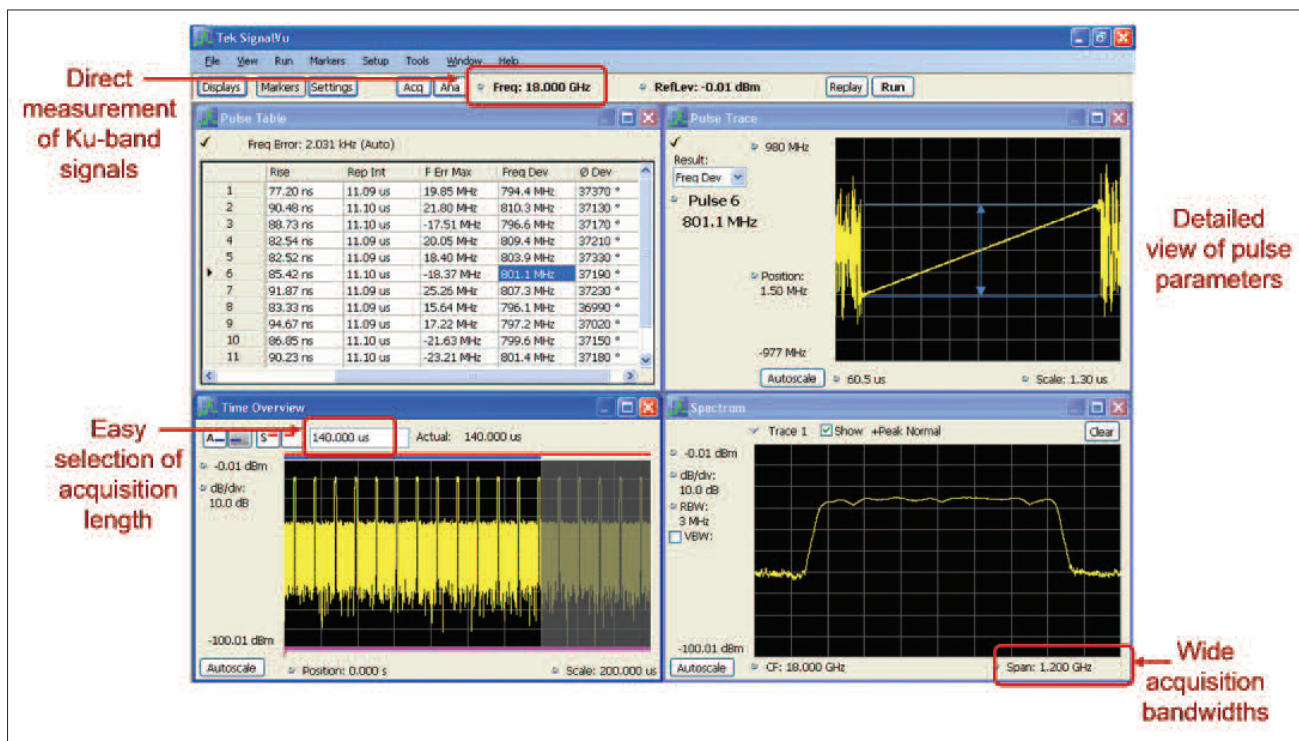


图 10. SignalVu 矢量信号分析软件显示了一个 1 GHz 宽的线性调频及脉冲参数表。

示波器上的自动 RF 脉冲测量

采用选配 SVP 高级信号分析应用的 SignalVu 矢量信号分析软件拥有 RSA5000 和 RSA6000 相同的自动脉冲测量功能。它可以安装在 DPO/MSO5000、DPO7000 和 DPO/DSA/MSO70000 系列示波器上。这把 DPO70000 系列在 33 GHz 时的超宽带宽与 RSA5000 和 RSA6000 系列频谱分析仪的频谱分析功能及全自动脉冲测量软件结合在一起。

当安装在示波器上时，频率覆盖范围、带宽和记录长度的内部软件等限制设置会自动调节，使用安装在的示波器上的频率和内存限制。SignalVu 矢量信号分析软件可以控制示波器衰减器、增益、采样率和扫描速率控件，允许以频谱分析仪用户熟悉的方式控制 "Reference Level"、"Frequency Span"。

矢量信号分析软件可以使用示波器的任何输入通道。它还可以使用示波器的“数学轨迹”功能，把来自多条通道的数据组合起来，在数据上使用数学功能。

测量拥有与示波器相同的动态范围，同时保持全部带宽。图 10 显示了 1.25 GHz 的频宽及宽 1 GHz 的线性调频脉冲。频宽功能只受软件安装在的示波器上的带宽功能限制。

与 RSA 一样，其在连续捕获 / 分析周期中在采集内存的数据上执行脉冲测量，或在仪器硬盘中存储的波形上执行脉冲测量。

仪器系列	频率范围	带宽	上升时间 (20%/80%) / 最低检测脉宽	三次互调失真 (典型值)
频谱分析仪				
RSA5000	1 Hz – 26.5 GHz	25 MHz 标配; 40 MHz 选配 85 MHz 110 MHz	40 ns/120 ns 25 ns/120 ns 12 ns/50 ns 10 ns/50 ns	< -84 dBc @ 2 GHz
RSA6000	9 kHz – 6.2/14.2 GHz	40 MHz 标配; 110 MHz 选配	25 ns/150 ns 10 ns/50 ns	< -80 dBc @ 2 GHz
示波器				
DPO7000	DC – 3.5 GHz	500 MHz 1 GHz 2.5 GHz 3.5 GHz	310 ps/16 ns 200 ps/8 ns 100 ps/3 ns 95 ps/2.25 ns	-40 dBc @ 2 GHz
DSA/DPO/MSO70000	DC – 33 GHz	4 GHz 6 GHz 8 GHz 12.5 GHz 16 GHz 20 GHz 25GHz 33 GHz	65 ps/2 ns 43 ps/1.3 ns 33 ps/1 ns 23 ps/640 ps 21 ps/500 ps 17 ps/400 ps 17 ps/400 ps 17 ps/400 ps	-55 dBc @ 2 GHz -48 dBc @ 10 GHz -50 dBc @ 18 GHz

表 2. 测量设备概况。

测量设备选型图

我们已经介绍了各项测量任务、每项任务的重要脉冲参数以及各种测试设备的功能和局限性。表 2 概括了根据所需测量特点选择的测试设备。

测量脉冲和其他信号 – 部分实例

仪器操作：设置采集，查看脉冲

不管是使用示波器还是使用实时频谱分析仪，都有某些控件，提供灵活的操作能力，可能需要采用与默认值不同的设置，以正确采集信号及进行脉冲测量。通常来说，只有在操作超出一个或多个“默认”仪器设置时，才需要调节这些设置。调节这些高级设置，可能会影响测量结果。

比较常见的参数包括：触发后的延迟（在识别触发后延迟采集开头）；采集时间和采集样点长度（这些通常自动耦合到频宽、带宽及使用的测量类型设置中）；伏特、瓦特或 dB 单位（默认值是 dB，但某些任务可能要求选择其它单位）；

对准（对由于内部对准规程导致的中断不能接受时，可以根据需要使内部对准程序失效）。

时域显示（频率、相位和幅度随时间变化）有一个额外的测量滤波器，可以调节其带宽。

RSA5000 和 RSA6000 中进行的所有测量都离不开获得已经通过 IF 频率转换器系统的信号。对 RSA5000 和 RSA6000 的 110 MHz 带宽选项，IF 滤波器大约宽 120 MHz。

由于频率转换方式这么宽，使用的滤波器在滤波边沿必须有相对锐利的频响滚降。对脉冲来说，这可能会导致高达 40% 的过冲。为进行脉冲测量，需要高斯响应滤波器，使脉冲上的这种过冲达到最小。可以增加这个高斯滤波器，使脉冲响应平坦化，但要以带宽为代价。如果希望较窄的、但平坦的响应，还可以选择非高斯滤波器。

对 RSA 硬件，需要考虑某些硬件控制功能，包括内部 / 外部参考频率，用来锁定频率参考，以便分析仪能够测量参考

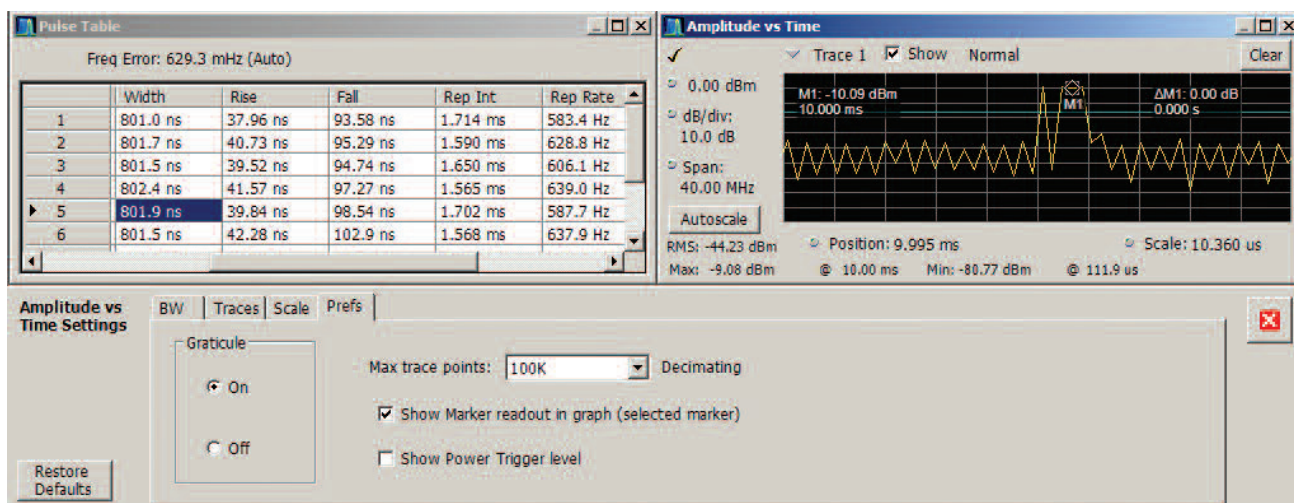


图 11. 在右上方的参数随时间变化显示画面中，轨迹压缩被设置成最大 100,000 点。

外部系统参考源的频率；外部增益或损耗，用来考虑可以用把发射机功率降低到 RSA 硬件限制的衰减器以及衰减器限制，防止内部衰减器被设置为零，从而防止分析仪前端混频器被大的信号损坏。

对 SignalVu 矢量信号分析软件，部分示波器控件可以与软件控件或设置交互。默认设置会把示波器控件锁定到分析软件设置，但可以越权处理这一设置，手动设置采样率、输入衰减、等等。这会导致软件改变频宽、RBW 和参考电平，以适应手动示波器设置。

幅度随时间变化和时间概况之间的差异

乍一看，似乎这两个显示画面一模一样，事实上并非如此。时间概况是一种非常简单的幅度显示，采集中所有被压缩的 I/Q 样点对是其来源。这里，可以看到要分析的整个采集的子集。另外还显示了创建频谱画面使用的采集部分，可以单独进行调整。幅度随时间变化画面是使用采集记录“分析”子集的分析之一。这个画面相当于传统扫频分析仪中的“零频宽”设置。这个显示有自己的“时域带宽”滤波器，可以用来降低这一测量的带宽，以减少噪声或毛刺。

轨迹压缩控制

使用比较少的另一个控制功能是“Trace Decimation”（轨迹压缩）设置。特别是对“参数随时间变化”画面，被分析的采集记录可能会非常大。它可以大到整个采集内存，相比之下，“脉冲轨迹”只有一个脉冲的样点。在有几百万个或更多的采集样点时，轨迹处理速度可能会下降。这通常发生在数字化速率非常高、同时采集记录长度设置得非常长时。

轨迹处理器拥有用户选择的轨迹压缩功能，设置这些“参数随时间变化”画面中允许的得到的轨迹点数的极限，提供更快显示结果。

在大多数情况下，100,000 点应该足够了。但在占空比非常小的雷达脉冲中，可能需要放大显示画面，放大倍数远远超过正常水平。在图 11 中，采集长 18.722 ms，以 40 MHz 采样率获得 936,112 个样点。可以在采集控制标签中找到这些采集参数。最大的轨迹点被压缩到 100,000，如图 11 所示。只是为了在屏幕右上方的幅度随时间变化画面中看到一个脉冲，显示画面已经被放大到 10.36 μ s 宽，但只能看到一个脉冲。这只为显示提供了 $10.36/18722 * 100,000 = 55$ 个点。从这里可以看出，55 点不足以清楚地查看脉冲的特点。

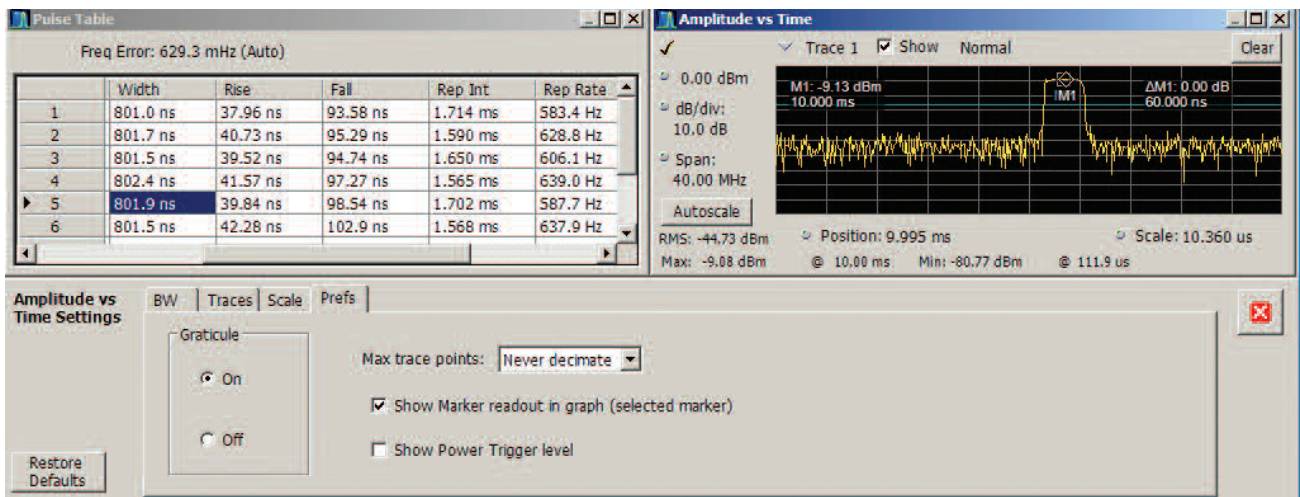


图 12. 在右上方的参数随时间变化显示画面中，轨迹压缩被设置成最大 100,000 点。

解决方案是去掉图 12 中下方看到的轨迹点限制。现在数字化记录的整个样点集 (936,122 点) 都可以用于没有缩放的轨迹，在屏幕放大显示中提供了 $10.36/18722 * 936,122 = 405$ 点。

现在，幅度随时间变化轨迹拥有足够的点，显示数字化脉冲的真实特点，在图 12 右上方可以看到这些特点。

轨迹中的点数可能与屏幕上看到的点数不同。LCD 屏幕只能支持普通的个人电脑显示分辨率 (在本例中是水平方向 1,024 点)。如果选择的显示画面拥有的点数超过 LCD 上可以显示的点数，那么必须为显示进一步压缩轨迹。这由 Windows 操作系统完成。在图 11 和图 12 中，轨迹只占整

个屏幕尺寸的 40%，或 401 个像素。因此，在本例中，计算机显示画面不需要进一步压缩 405 点轨迹。如果在没有缩放的情况下显示轨迹，那么将对 100,000 点进行相当大的压缩。

即使在使用 Windows 进一步压缩屏幕画面时，测量精度仍不受影响。标记和其它测量在完整的“轨迹分辨率”上运行。还可以导出完整分辨率的轨迹，进一步进行分析或保留记录。

考察预计信号

可能必需监测来自雷达系统的预计信号，以保证满足法规，在多个系统安装在附近时确认互操作能力。

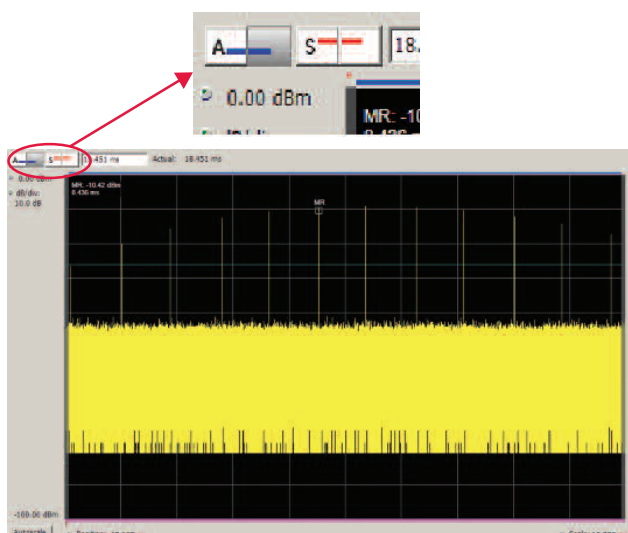


图 13. 天气雷达的时间概况。

监测实例：使用 RSA5000 和 RSA6000 系列监测天气雷达

在了解信号采集和轨迹压缩的重要性后，这个实例演示了我们怎样使用时间概况和幅度随时间变化测量，隔离进行的脉冲测量。这个实例是在 9.6 GHz 上观测天气雷达得到的一套数据。这个雷达是脉冲式的，拥有一架旋转天线，进行全方位 360 度扫描。通过单独显示多个测量窗口，所有同步窗口中的标记会在多个显示画面中相关。

对基于地面的监测位置，当发射天线在监测接收机天线中摆动时，脉冲的测得功率将会变化。

这里，时间概况窗口显示了在扫描监测天线时脉冲及其幅度变化。标记已经被放在最高幅度的脉冲上，这个脉冲与发送天线直接指向监测天线的时间对应。在图 13 中，显示画面左上角附近的四个小框（一对框标有字母 A，用于分析；另一对框标有字母 S，用于频谱）选择采集记录部分编程使用

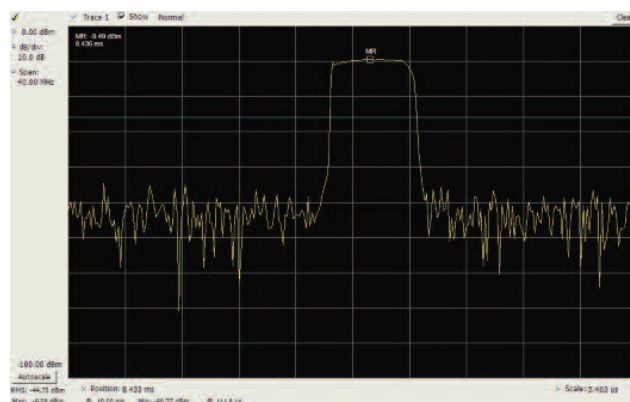


图 14. 幅度随时间变化，没有轨迹压缩。

的项目，在这部分上将重复执行脉冲分析和频谱分析。可以单独选择整个采集记录中哪个脉冲会影响这套测量的每个测量项目。

时间概况测量顶部的蓝条表明了分析时间。注意分析长度和偏置（两个蓝色按钮）将应用到仪器上除频谱显示之外的所有显示画面。可以使用红色按钮设置频谱长度和偏置。最小频谱长度设置将由自动模式下实现请求的 RBW 设置所需的样点数量自动确定。例如，窄 RBW 滤波器要求更长的频谱时间。频谱长度和偏置由画面顶部的红条表示。

幅度随时间变化轨迹窗口可以设置成分析采集记录的任何部分或所有部分。这个画面相当于扫频分析仪中的零频宽模式。由于这个特定采集足够长，能够保证捕获天线在我们的位置上全方位旋转，因此有相当大量的数据。在需要缩放时，可能需要使轨迹压缩失效。

这里看到的标记与时间概况窗口中的标记时间相关。这意味着如果移动任一标记，另一个标记也会移动到完全相同的时间位置。这可以测量不同的参数，完全同时关联所有参数。

Freq Error: 629.3 mHz (Auto)

	Avg ON	Peak	Avg Tx	Width	Rise	Fall	Rep Int	Rep Rate	Duty %	Ripple
1	-16.52 dBm	-16.31 dBm	-48.92 dBm	801.0 ns	37.96 ns	93.58 ns	1.714 ms	583.4 Hz	0.0467 %	4.235 %W
2	-13.38 dBm	-13.20 dBm	-46.03 dBm	801.7 ns	40.73 ns	95.29 ns	1.590 ms	628.8 Hz	0.0504 %	4.095 %W
3	-11.48 dBm	-11.31 dBm	-44.45 dBm	801.5 ns	39.52 ns	94.74 ns	1.650 ms	606.1 Hz	0.0486 %	3.497 %W
▶ 4	-10.33 dBm	-10.16 dBm	-43.17 dBm	802.4 ns	41.57 ns	97.27 ns	1.565 ms	639.0 Hz	0.0513 %	3.147 %W
5	-9.96 dBm	-9.77 dBm	-43.16 dBm	801.9 ns	39.84 ns	98.54 ns	1.702 ms	587.7 Hz	0.0471 %	3.178 %W
6	-10.32 dBm	-10.11 dBm	-43.17 dBm	801.5 ns	42.28 ns	102.9 ns	1.568 ms	637.9 Hz	0.0511 %	3.946 %W
7	-11.27 dBm	-11.07 dBm	-44.41 dBm	801.7 ns	43.19 ns	104.3 ns	1.708 ms	585.5 Hz	0.0469 %	3.886 %W
8	-13.01 dBm	-12.81 dBm	-45.71 dBm	799.9 ns	44.33 ns	105.8 ns	1.581 ms	632.6 Hz	0.0506 %	4.044 %W
9	-15.31 dBm	-14.98 dBm	-47.82 dBm	799.9 ns	45.88 ns	106.2 ns	1.633 ms	612.3 Hz	0.0490 %	8.863 %W
10	-18.34 dBm	-18.01 dBm	-- dBm	799.9 ns	45.63 ns	103.2 ns	-- s	-- Hz	-- %	5.443 %W

图 15. 脉冲表，显示测得结果。

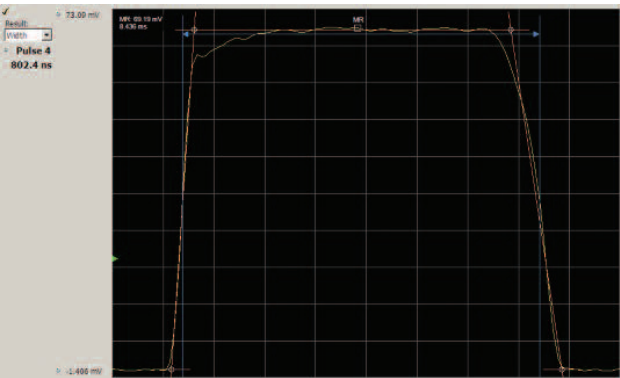


图 16. 宽度的脉冲轨迹，显示脉冲行和方位基点。

图 16 选择脉冲轨迹作为显示画面，作为显示参数输入宽度。读数表明显示了第 4 个脉冲。这一选择将在下一个窗口中进行。对这个显示画面，单位从 dB 变成 Volts。这提供了线性显示，现在显示脉冲行和方位基点。在显示画面拥有非

线性标度时，这些功能会失效，因为行也会变成非线性。

这是真实的空中雷达测量，因此使用的天线和某些本地物体可能会影响这里看到的脉冲和失真。

在找到脉冲后，表格可以显示要报告的所有参数，如图 15 所示。注意，一个单元格是深蓝色。在鼠标点击任何结果单单元格时，它会变成蓝色，表明已经被选中，脉冲轨迹窗口将自行进行配置，以图形方式显示该特定脉冲参数。如果脉冲轨迹窗口中检查的参数在该窗口中变化，脉冲表格中蓝色高亮度选项会相应移动。

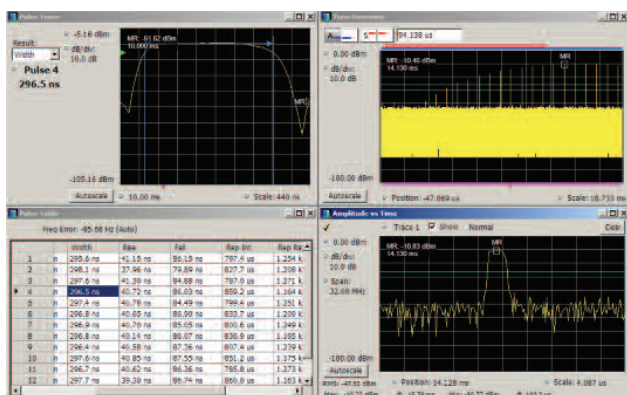


图 17. 天气雷达的 300 ns 脉宽模式。

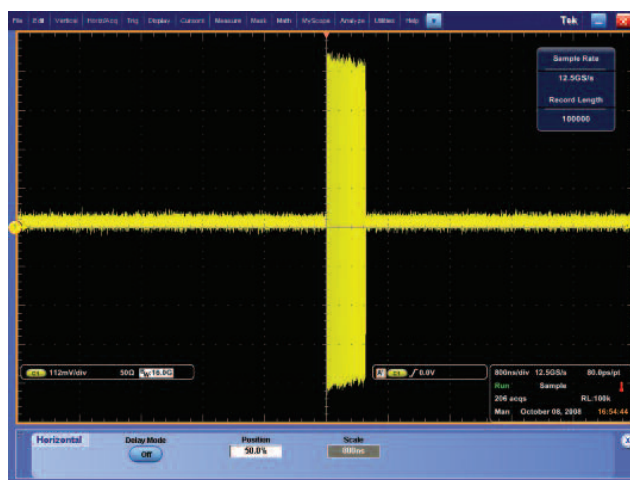


图 18. 500 MHz 宽的线性调频脉冲的电压波形。

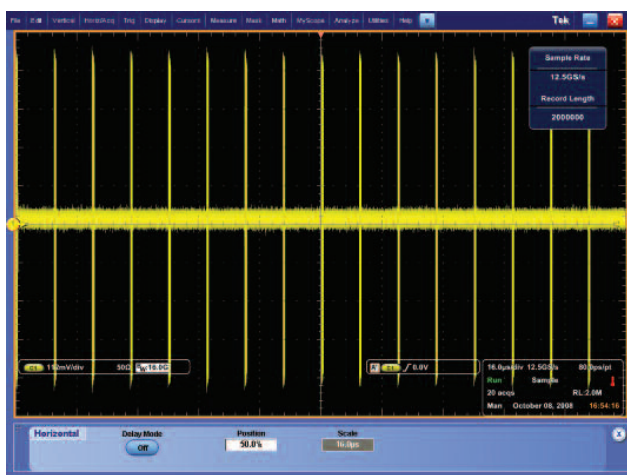


图 19. 波形显示了 16 个脉冲。

这个特定的天气雷达有两种模式，拥有不同的脉宽。要检查的下一个脉冲是图 17 中的 300 ns 脉宽。

在需要一次验证多个脉冲测量时，脉冲测量软件可以快速提供完整的解决方案。

调试偶发调制实例：使用 DPO7000 系列示波器和 SignalVu 测量宽带线性调频

这个实例在示波器上使用 SignalVu 矢量信号分析软件，测量发送信号中有误差的雷达信号。这是一个线性调频脉冲，线性调频宽度约为 500 MHz，要求示波器拥有更高的带宽。图 18 是被调制脉冲波形的简单视图。

由于一个波形中包括多个脉冲，看到各个脉冲之间的差异并不容易。如果有差异，那么差异也非常小，超出电压波形上能够看到的水平。

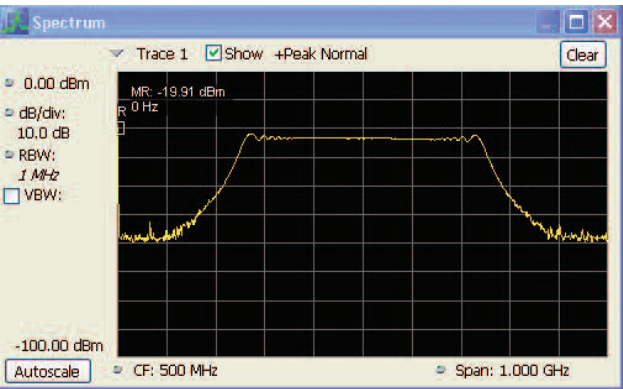


图 20. 宽度的脉冲轨迹，显示脉冲行和方位基点。



图 21. 宽度的脉冲轨迹，显示脉冲行和方位基点。

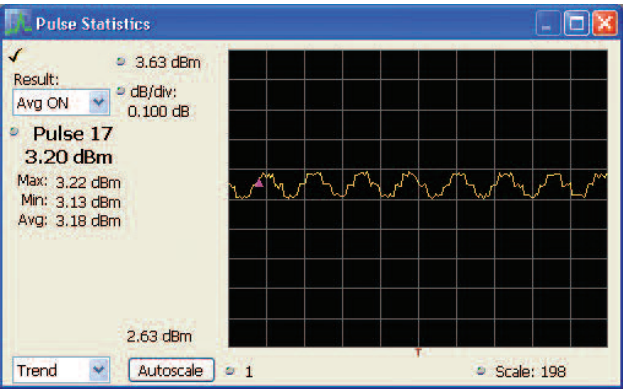


图 22. 宽度的脉冲轨迹，显示脉冲行和方位基点。

SignalVu 矢量信号分析软件采用示波器中存储的数字化电压波形，使用与 RSA 系列相同的软件，进行所有 RF 测量。图 20 显示了频谱。这个脉冲从 250 MHz 到 750 MHz 进行线性调频。然后，我们选择了脉冲表，包括基本定时和幅度测量。

多个脉冲的平均 ON 功率显示的变化非常小。但乍一看，它们表现得并不明显。如果事实上有相干变化，那么数字结果的图形曲线将变得更加明显。

图 22 显示了平均 ON 参数的趋势图。为能够看到小的变化，垂直标度已经被“放大”到每格 0.1 dB 的灵敏度。在这一设置下，脉冲幅度的周期变化非常明显。总峰峰值幅度变化约为 0.07 dB。

水平标度是在垂直方向上绘制的幅度的脉冲数量。全面分析变化的有效方式是使用这个曲线中的趋势数据的 FFT。

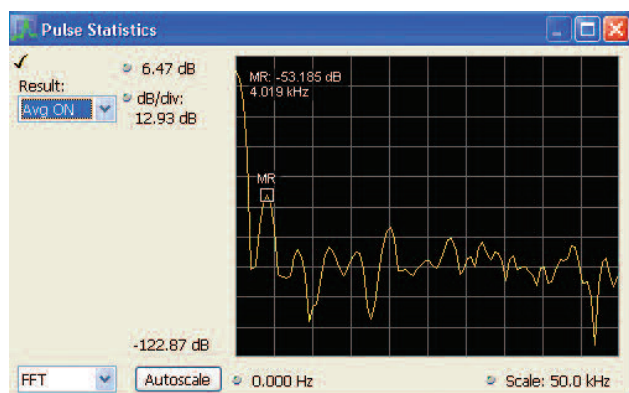


图 23. 脉冲幅度的趋势的 FFT。

在图 23 左下角的下拉框中选择 "FFT"、而不是 "Trend"，可以得到被测参数的频谱。频谱曲线以不同方式显示 4 kHz 时的峰值干扰，比幅度平均值低 53 dB。某个项目以 4 kHz 速率调制脉冲功率。干扰频率可以协助调试雷达内部导致这个问题的元器件或子系统。

为了把这个 dB 读数转换成幅度变化，可以向回推断 dB 公式： $V = \text{逆对数}(\text{dB}/20)$ 。-53 dB 等于 0.22% 的有效电压变化，这是 0.63% 峰峰值。这与上面图 22 中看到的“眼球”值非常吻合。

实践证明，可以方便地分析这个雷达发射机非常小的干扰。

非预计信号

在考察已安装的雷达系统时，一项重要任务是检查对雷达没有帮助、很可能会导致干扰的辐射。在使用雷达时，必须考虑频谱分配及其它附近 RF 设备和设施。非预计信号还可能会提高雷达的可视性，或提供可以用来识别雷达的不想要的签名。

杂散信号

雷达系统可能会辐射出对其它系统产生干扰的信号。这些信号可能位于主雷达发射机信号分析通道以外的频率上。某些信号可能会一直活动，某些信号可能会只在脉冲传输过程中活动。这要求逐步通过分析仪的整个频率范围。支持 FFT 频谱曲线的宽带示波器可以提供单一的视图，查看同道辐射和异道辐射。

瞬态信号 (DPX 实时 RF 频谱显示)

某些信号可能只在脉冲期间存在，但会位于不同频率上。某些信号可能完全与脉冲无关，可能位于任何频率上，包括脉冲频率本身。

为发现这类信号，需要连续的监测仪，同时要能够在连续检查时显示单一的信号偏差。

DPX 实时 RF 频谱显示可以完全做到这一点。这种技术在 RSA 硬件中实现，因此 SignalVu 矢量信号分析不能在存储的采集记录上使用这种技术。DPO/DSA/MSO 系列示波器还在电压随时间变化轨迹中使用 DPX 技术。

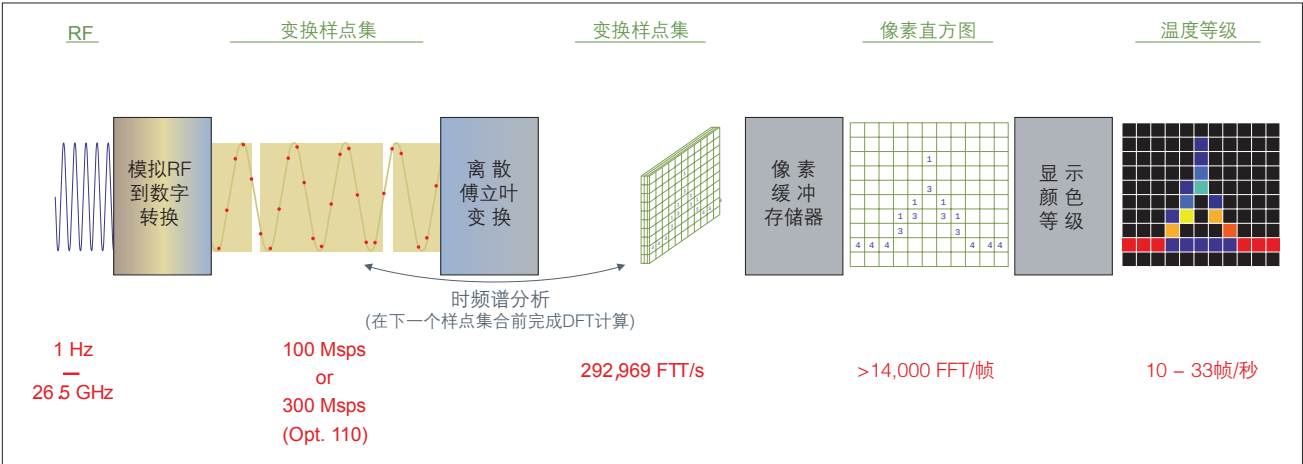


图 24. 宽度的脉冲轨迹，显示脉冲行和方位基点。

DPX 实时 RF 频谱显示技术

参阅上面图 5 中的 RSA 方框图。模数转换器连续运行。IF 中的任何信号的样点都会不间断地传送到硬件信号处理器。这些，样点以每秒高达 292,969 的无缝频谱测量进行处理。

这些频谱测量在 DPX 运行时引擎中完成。然后使用小型缓冲存储器（虚拟屏幕），频谱显示位图放在这个小型缓冲存储器中。然后在生成每个频谱显示画面时，另一个位图被增加到像素缓冲器中，一次一个像素。这创建了一个位图，每个像素包含一个数字，表示频谱轨迹“命中”虚拟屏幕上该位置的次数。

一旦主显示监视器准备接收下一次更新，缓冲器像素被转换成不同的颜色，表示命中密度，蓝色表示命中非常少，红色表示命中非常多。通过这种方式，DPX 频谱显示信息被更新到显示监视器上，即使在每秒 48,000 个频谱测量中，也不会漏掉存在的哪一个频谱。

最后一步是使用 DPX 频谱显示处理器，检查“余辉”的用户输入。如果余辉设置成最小值，那么像素存储器将在进入下一个频谱集之前清零。如果余辉为高，那么较老的数据将慢慢分配，从而老频谱事件的影响会慢慢消失。但是，在余辉设置成无穷大时，图像后面的像素直方图将是完整的直方图，不会消失。

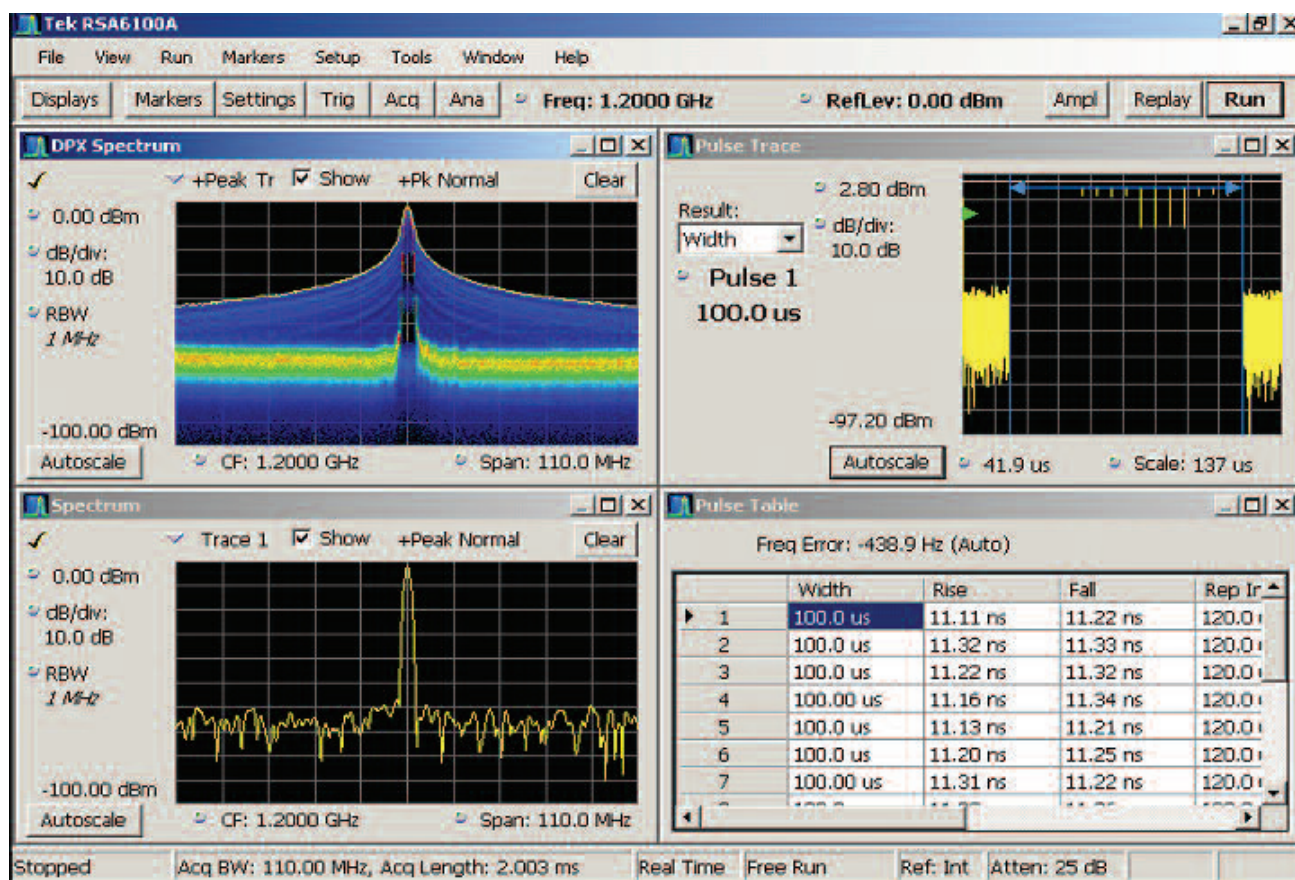


图 25. 使用 RSA 测量弗兰克编码脉冲。

现在，我们使用 DPX 频谱显示画面“发现”某些其它方式看不到的假信号。这种弗兰克编码脉冲有一些非常有意思的特点。每个脉冲被编程为拥有控制的跳变时间。这在一定程度上应限制 CW 脉冲的带宽。在图 25 右下角的脉冲表中，可以看到脉冲定时的宽度为 100 μ s，上升时间和下降时间为 11 μ s。但是，不同相位段之间的跳变并不是连续相位。在这些跳变上，产生了时间非常短的宽频率瞬态频谱成分。

脉冲的整个 $\sin(x)/x$ 频谱只占用图 25 左下角 110 MHz 宽的标准频谱显示画面的正中心。这个画面没有显示由于不同调制相位各段间跳变上允许不正确的相位不连续点而导致存在扩展的频谱能量。这些相位跳变占脉冲时长的百分比非常小。标准频谱画面不能显示这些非常窄的跳变的频谱结果。左上方的 DPX 频谱画面明显显示由于相位跳变导致的偶发宽带泼溅。这些漂移呈深蓝色，表明与脉冲频谱中央部分相比发生的频次非常低。

频谱轨迹是一项测量的结果（具体视频谱设置而定），这项测量可能会每个脉冲发生一次，也可能整合到多个脉冲。DPX 频谱显示支持每秒显示 292,000 个单独频谱的（对这个 100 μ s 脉宽和 120 μ s 脉冲周期），至少每个脉冲有 6 个无缝频谱测量。这可以发现所有频谱能量，包括相位跳变的宽泼溅能量。

DPX 频谱显示可以发现偶发的或以其它方式拦截概率很低的信号。

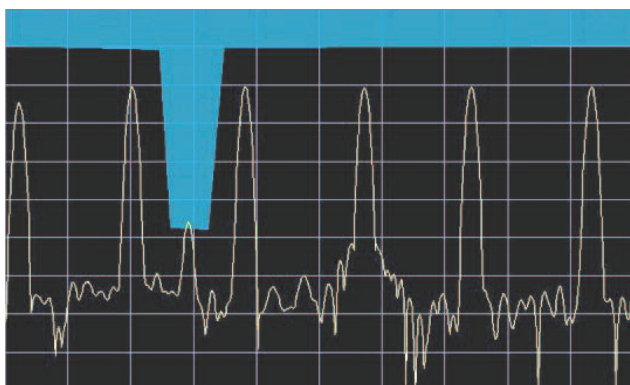


图 26. 触发两个大信号间小信号的频率模板。

RSA 系列中的频率模板触发 (FMT)

DPX 频谱显示使用的运行时流程引擎可以用来监测采集带宽，而不会在后面的频谱上中断及触发仪器。

为触发特定幅度的特定频率，泰克发明了频率模板触发 (FMT)。用户可以在频谱显示画面上画一个模板。这个模板可以定义一个“信号进入这里时触发”的模板。图 26 显示了一个模板实例。在这个模板中，在合法的两个信号之间，画出了一个触发区域。信号的 FFT 幅度与模板快速进行对比，

以满足内奎斯特标准。现在，如果一个小信号闯入模板，那么会生成触发，把信号捕获到内存中。信号被连续数字化，馈送到采集内存中。在数据到达内存最后时，它在内存开头无缝启动，替换最老的数据。通过这种循环方式，可以更新捕获数据的整个内存。在触发发生时，仪器在内存中标记触发位置。

与数字示波器或逻辑分析仪一样，也有用户指定的触发前和触发后内存大小。一旦在内存中标记了触发位置，那么采集将一直持续到内存的触发后容量被填满。

通过这种方式，可以以最优方式配置内存，包含触发前和触发后无缝捕获的事件。

可以使用多个指针或所需的其它形状的区域任意画出模板。也可以使用“Autodraw”功能，使用用户自定义频率和幅度偏置，在 DPX 频谱或频谱视图内，从现有的轨迹中自动定义频谱。然后可以在关心的特定频率事件周围手动修改这些点。

这个模板可以在一个频率上触发非常小的信号，同时防止周围的大量信号生成触发。正常功率触发将一直触发 IF 带宽内高于触发门限的任意信号。FMT 将只触发用户指定的频率。

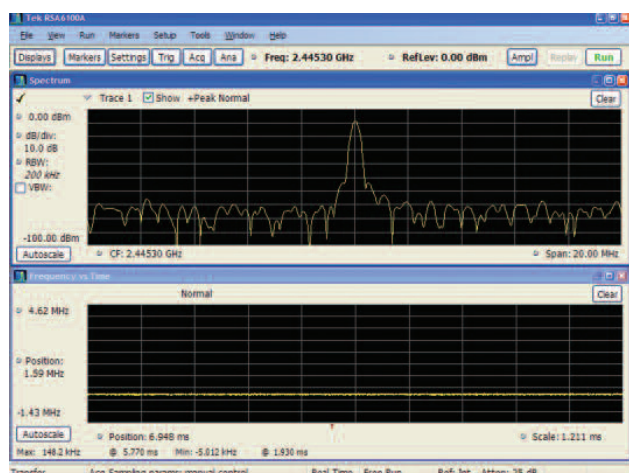


图 27. PLL 未锁定瞬态信号的频谱分析仪和频率随时间变化视图。

时域和频域中的信号

某些信号可能会在时域和频域中同时表现出瞬态特点。其中一个实例是锁相环，其锁定处于临界状态，偶尔会解锁。在解锁时，它可能会迅速恢复，在几个小时内不会再次解锁。这些瞬态信号特点可能很难捕获。

而使调试进一步复杂化的是在解锁时，振荡器可能会扫描很宽的频率范围。时域和频域中的这种瞬态信号要求 DPX 频谱显示之类的工具，了解问题的特点。

图 27 是这样一个偶尔解锁的 PLL。如果没有 DPX 频谱显示，那么几乎没有办法发现存在问题。瞬态信号解锁和再锁总共用了 150 μ s。这个瞬态信号大约每秒重复一次，瞬态信号

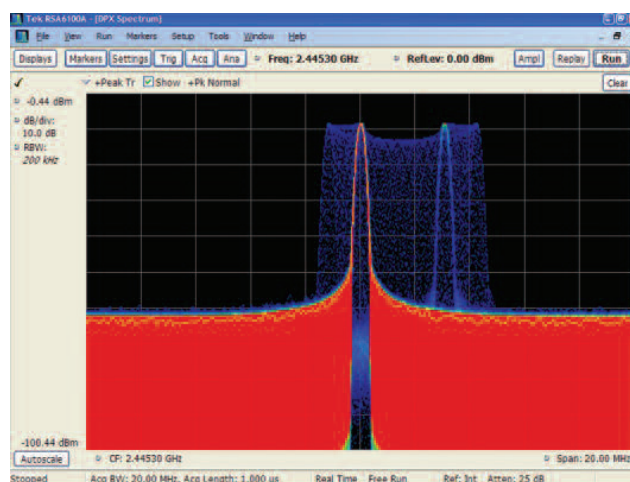


图 28. PLL 未锁定瞬态信号的 DPX 频谱画面。

的占空比是 0.015%。正因如此，上方窗口中的频谱轨迹只有预计的载波，而没有表明存在问题。

下方轨迹是频率对时间解调视图。如果可以定位问题，那么可以看到其特点。然后，我们使用 DPX 频谱显示画面查找任何瞬态信号问题。

通过 DPX 频谱显示画面，可以迅速看到问题。超低占空比是导致这样深蓝色瞬态频率的原因，连续的其余频谱部分则显示为非常亮的红色。

一旦发现存在问题，并知道运行的频率，可以设置 FMT，只在瞬态信号滑到蓝色显示成分右面的部分时捕获记录。

高级雷达分析

应用指南

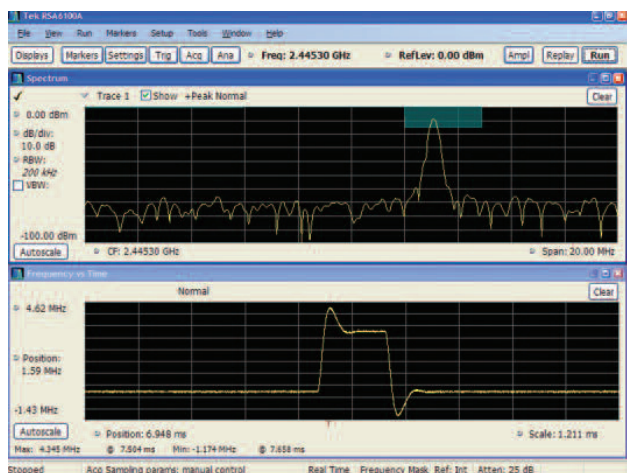


图 29 . FMT 捕获瞬态信号。现在频率随时间变化分析这个信号。

事件隔离和分析

图 29 上方的轨迹是和前面相同的频谱，但现在在画面最上面的蓝色框中设置了 FMT。它代表着触发在哪里找到信号，频谱曲线则显示了当时存在的频率。

频率对时间画面现在显示瞬态信号的特点。显示画面已经放大，以查看瞬态信号的详细形状。在需要时，可以使用标记，获得具体的测量数据。

外部威胁

在雷达或其它电子系统外面可能有许多信号会导致问题。当系统彻底停止工作时，我们才知道发生问题。但某些信号可能比较小，因此雷达只会得到错误的结果。这种情况可能要比完全失效糟糕得多。

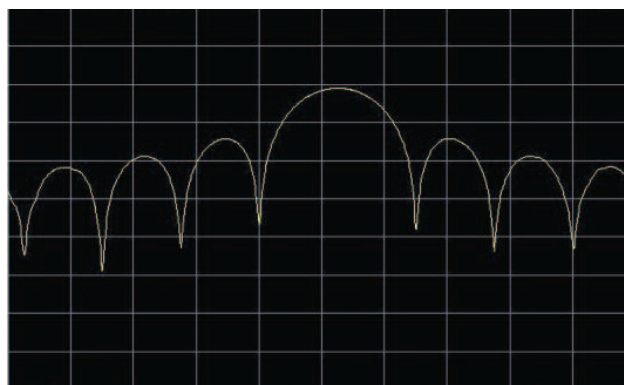


图 30 . 普通分析仪在雷达区域中的频谱显示。

在干扰比较小的情况下，我们需要一种方法，发现问题，并触发它，捕获和分析它，了解问题是什么，以及问题可能出在哪儿。视外部问题的类型，发现和定位问题的技术可能会不同。

干扰

可能很难找到脉冲式信号的干扰。下一个实例是在安装的雷达附近有一个“扫描监测接收机”。接收机中的本振 (LO) 在实际靠近雷达接收机的地方发射出一个谐波。当扫描仪在监测的频段中跳频时，谐波也在雷达脉冲频率中跳频。

但是，一开始时，我们只知道雷达每隔四秒左右就会遇到错误。图 30 显示了普通频谱分析仪或 VSA 测量的频谱。我们只能看到 $\text{sine}(x)/x$ 脉冲频谱的外形。如果能够关闭雷达，那么可能会看到其它信号，但在这种情况下，干扰只在有限的时间周期内存在，因此不需要把雷达关闭几天的时间。

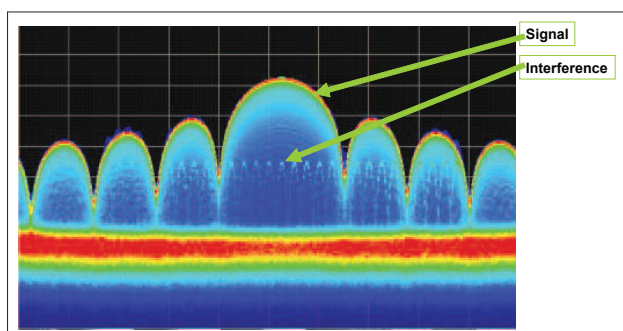


图 31 . RSA 及 DPX 实时 RF 频谱显示可以看到干扰信号在雷达脉冲下面跳频。

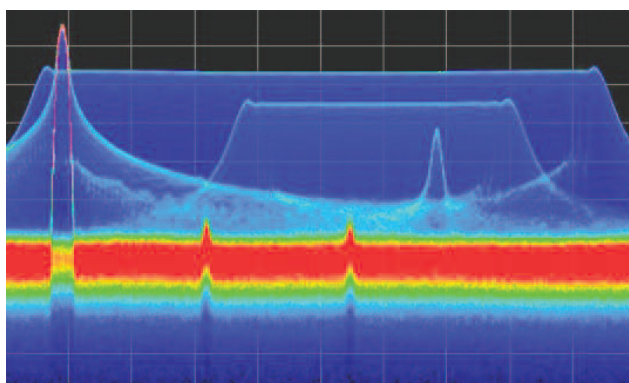


图 33 . DPX 频谱画面显示了多个线性调频和 CW。

普通分析仪没有足够的频谱测量功能，也不能把多个频谱测量组合起来，保证不会漏掉任何频谱的影响。

DPX 频谱显示可以查看所有频谱影响。注意即使在脉冲发射机的频谱波瓣内部，仍可以方便地看到步进本振谐波。在实际 RSA 系列频谱分析仪（而不是这里所示的静态图片）上查看这个谐波时，实时 RF 视图可以真正更好地看到干扰，因为其在静态脉冲频谱内部的移动提高了查看能力。

人为干扰和欺骗

人为干扰通常只是信号的溅出现象，其拥有足够的功率，会在接收机中淹没预计信号。这会干扰接收机的操作。应该指出，雷达可能并不知道其被干扰，因为结果可能是未能检测到目标。

欺骗则是故意生成“山寨”雷达脉冲，这些脉冲部分或完全模仿被欺骗的雷达中产生的脉冲。这些脉冲对雷达表示为来自其自己发送信号的目标反射（如距离拖引干扰），其会引起目标处理器混乱，甚至会导致做出错误的战术决策。欺骗

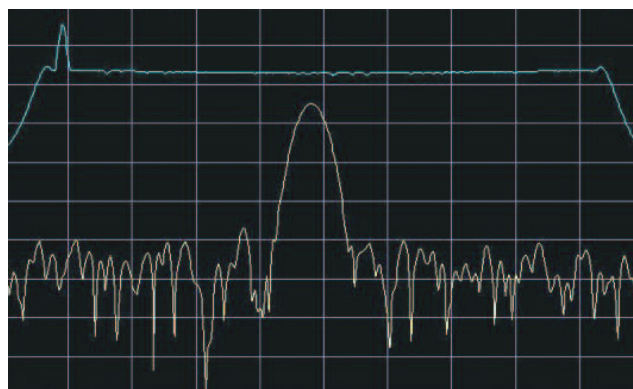


图 32 . VSA 频谱显示其查看真实环境的能力有限。

信号的识别通常要求全面认真地进行分析，其程度要远远高于干扰台。

首先，我们使用 VSA，看到的频谱活动有限。轨迹在信号不同部分变化很大，只有在启动“max hold”时，才看到图 32 上方的轨迹。这是所有信号的最大值，没有提供任何细节。似乎有一个线性调频，在线性调频低频末尾附近可能有一个窄干扰源。

在图 33 中，在同一频谱中可以看到两个线性调频。DPX 频谱画面显示一个幅度较低，频率变化较少，有效地“隐藏”在较大的线性调频内部。此外，在两个线性调频内部有一个脉冲式载波，两个小 CW 载波一直存在。通过 DPX 频谱显示，可以非常迅速地看到这个图像。尽管也有其它方式（如三维频谱图），但 DPX 频谱显示大大改善了获得信息所需的时间。

普通分析仪曲线中可能能够看到连续载波，但噪底中的噪声变化会挡住这些连续载波，直到 DPX 频谱显示功能捕获所有噪声变化，因此噪声看上去要恒定得多。事实上，它包括噪声频谱的全部 292,969 点，而不是老式技术中显示画面可以顺序处理的样点数量。

线性调频雷达脉冲是高幅度宽脉冲。现在可以清楚地看到多个干扰源。现在还可以完全看到一个小的线性调频信号和非常大的脉冲式人为干扰信号。以前只能看到 CW 脉冲干扰台的最顶部，因为该部分的幅度要高于其它地方。

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
上海市徐汇区宜山路900号
科技大楼C楼7楼
邮编: 200233
电话: (86 21) 3397 0800
传真: (86 21) 6289 7267

泰克深圳办事处
深圳市福田区南园路68号
上步大厦21层G/H/I/J室
邮编: 518031
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
武汉市解放大道686号
世贸广场1806室
邮编: 430022
电话: (86 27) 8781 2760/2831

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

有关信息

泰克公司备有内容丰富的各种应用文章、技术简介和其他资料，并不断予以充实，可为从事前沿技术研究的工程师提供帮助。请访问泰克公司网站 www.tektronix.com.cn

©2013 年泰克公司版权所有，侵权必究。泰克产品受到已经签发及正在申请的美国专利及外国专利的保护。本文中的信息代替以前出版的材料中的所有信息。本文中的技术数据和价格如有变更，恕不另行通告。TEKTRONIX 和 TEK 是泰克公司的注册商标。本文中提到的所有商号均为各自公司的服务标志、商标或注册商标。

03/13 DM/

37C-23378-1

Tektronix®