

使用混合域示波器进行雷达分析

应用文章

随着无线技术的应用日益普遍，设计工程师必须同时检测这两个领域的信号。混合域示波器的诞生从根本上改变了RF设计的调试与测试的方法，泰克在一台仪器中同时提供了示波器和频谱分析仪功能，并且提供独创的混合域触发与时间相关的信号分析。新的MDO4000混合域示波器系列有助于工程师捕获时间相关的模拟、数字和射频信号，获得完整的系统级视图。目前已经有大量的资料描述MDO4000混合域示波器的结构及其可以怎样用于某些常见的应用，如RFID、Zigbee、蓝牙、WIFI、电源设计的噪声源查找、PLL锁相的过程、RF功率启动与关闭的瞬态信号跟踪、RFFE等等，这里就不再赘述(详情可以参考<http://www.tek.com/zh/scoperevolution>)。本文将介绍如何使用MDO4104-6分析宽带线性调频雷达系统。



图 1. 泰克 MDO4000 系列混合域示波器

雷达设计中有哪些常见测量？目前使用哪些工具？为什么要使用 MDO4000 混合域示波器分析雷达？

从本质上看，雷达信号可以是 RF 突发的调谐的脉冲。雷达设计中的典型问题是距离和分辨率之间的矛盾问题。简言之，宽脉宽的信号包含足够的 RF 能量，能够远距离传送到标靶。问题在于，如果有多个标靶，长脉冲会使各个反射变得模糊。换言之，宽脉宽的特点是观测距离远，但分辨率差。

如果缩窄脉宽，那么分辨率将改善，但距离将变短。

解决方案是脉冲压缩。让脉冲宽，但在脉冲中进行一些独特的处理，使您能够区分多个反射。其中最常用的技术之一是线性调频。如果脉冲的中心频率是 4GHz，那么在 3.97GHz 启动信号，扫描到 4.03GHz，而不是播放纯粹的 4 GHz。许多雷达系统采用窄线性调频，宽度在 10MHz-50MHz。但是，为了实现更好的空间分辨率，您的线性调频要更宽。现代雷达的线性调频带宽可以达到 500MHz 以上！

怎样测试雷达？通常可以作为标准雷达测试各个器件(发送/接收模块、天线器件、等等)，安装已知良好的器件，并进行评估。但是，使用被测器件本身通常并不理想，因此市面上流行的工具为进行性能评估提供了专用雷达模块。

对调频带宽在 100MHz 以下的雷达，可以使用频谱分析仪测量雷达特性。泰克生产数字实时频谱分析仪(RSA)，可以把 RF 脉冲向下变频到基带信号，作为数字 I 和 Q 存储数据。从这些数据中，可以进行各种测量。泰克 RSA6000 和 RSA5000 系列可以执行 27 种不同的标量和矢量脉冲测量。标量表示基于幅度随时间变化的测量，如脉冲上升时间、宽度、占空比、纹波、衰落、等等。矢量表示频率偏差、频率误差、脉冲响应、相位偏差和脉冲到脉冲相位误差等测量。

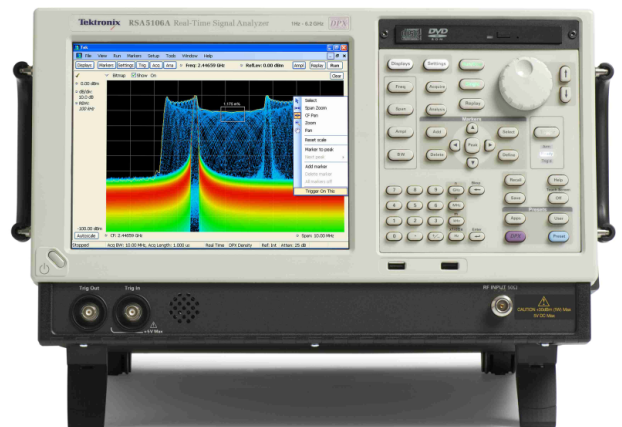


图 2. 泰克 RSA5000 系列实时频谱分析仪

对更宽频宽的雷达，一般使用实时数字示波器采集信号。泰克生产的示波器拥有足够的采样率，能够采样RF载波。只要拥有足够的带宽，就可以采样自己的信号。泰克新推出的DPO/DSA70000D示波器目前的实时带宽达到33GHz，几乎可以采集和分析任何信号。在与专用软件包(如泰克SignalVu软件)结合使用时，其可以进行同样27种矢量和标量测量。

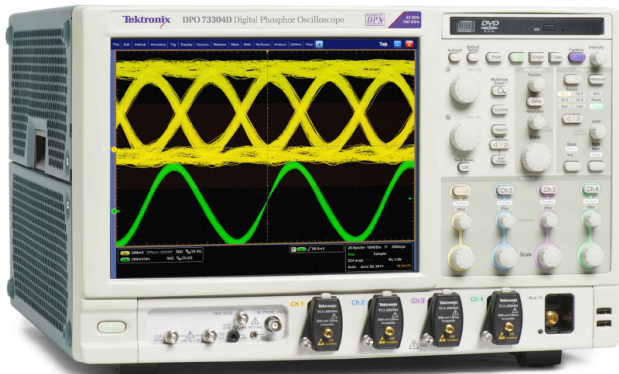


图3. 全球最高测量精确度的泰克DPO/DSA70000D系列

全世界似乎对标准雷达、频谱分析仪和示波器都感到满意，那么混合域示波器在雷达诊断中发挥的作用是什么呢？

- 便携性和尺寸。混合域示波器深仅5"，重只有11磅，携带起来比大型仪器要容易得多。前面提到的频谱分析仪和示波器的重量可能会超过50磅，尺寸相当于一小件行李。
- 成本相当低。通常来说，实验室只能承受和购买一台高端频谱分析仪或高带宽示波器。不管是哪款仪器，价格都要超过10万美元。而MDO4000混合域示波器的起价在23,000美元，每个实验室都买得起，远远要比购买一台混合信号示波器加一台频谱分析仪更便宜。
- 最重要的是，MDO4000混合域示波器为用户提供了独特的能力，不仅可以分析雷达信号，还可以分析雷达系统中存在的其它数字门信号和定时信号。

MDO4000混合域示波器有4条带宽高达1GHz的模拟通道，另外还有16条数字通道和1个RF输入。RF输入频率范围最高为6GHz，另有3GHz的型号。实时频谱捕获带宽保证为1GHz或以上(最高为3GHz，是一般扫频频谱分析仪的100-300倍)。它还可以解码最多4条总线，如MIL-STD-1553、I2C、RS-232、RS-422、RS-485等。

注意，MDO4000混合域示波器并不是要代替带有SignalVu这类专用雷达分析软件的示波器，如泰克DPO/MO5000、7000和70000示波器。SignalVu可以进行明显多得多的测量，特别是在脉冲式雷达方面，包括脉冲到脉冲频率差、脉冲到脉冲相位差、脉冲上的频率误差、脉冲响应，并可以分析最多10,000个连续脉冲。MDO4000混合域示波器不能复现这种强大详细的分析能力，因此这两种工具在RF工具台上实际发挥着不同的作用。下面的实例在示波器上运行SignalVu，分析连续脉冲参数，显示最多10,000个脉冲中这些参数的直方图，并显示了线性调频的脉冲响应频谱。

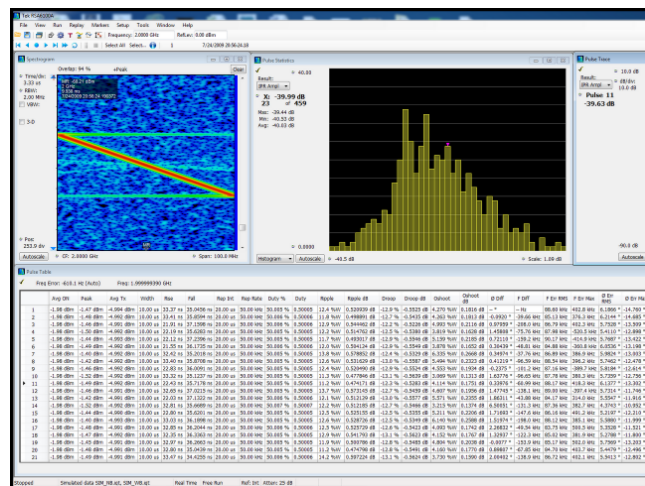


图4. 高带宽示波器上的SignalVu - 对雷达信号进行大量的单通道分析。

与运行SignalVu的示波器进行的分析相比，MDO4000混合域示波器完成的是一个分析子集，但这是一个重要的子集，通常涵盖基本需求，同时增加多通道时间相关功能。

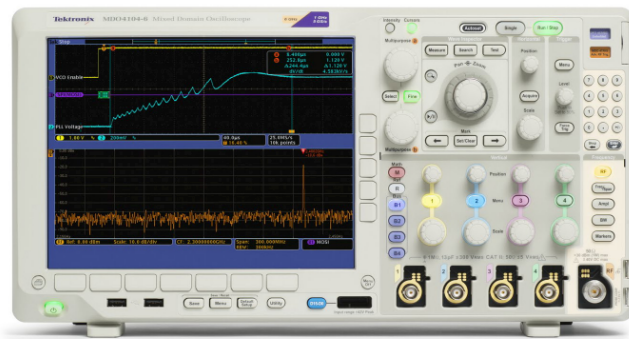
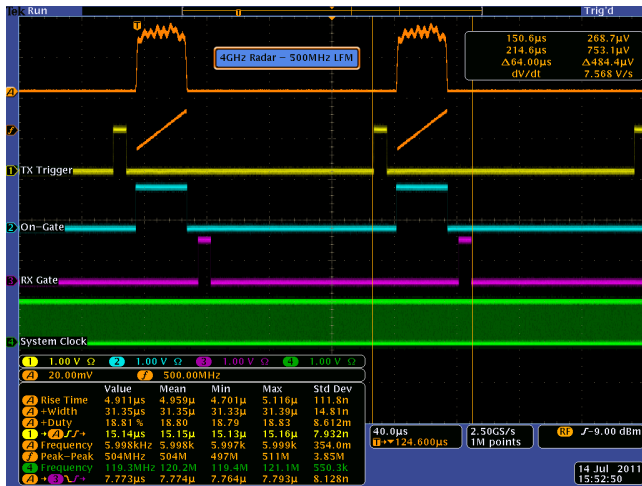


图5. 泰克MDO4104-6混合域示波器

在下面的画面中，我们得到多条曲线。从上面开始，首先是中心频率为4GHz、线性调频带宽为500 MHz的雷达信号的幅度随时间的变化。这与传统频谱分析仪上的“零跨度”(Zero Span)类似，但没有任何一台频谱分析仪能够实现500MHz零跨度显示。它标为“A”，表示“幅度随时间变化”。它下面的曲线标为“f”，表示“频率随时间变化”。它显示了脉冲期间的频率偏差。这条曲线有的地方是空白的，因为我们在脉冲没有启动时静噪了频率画面。

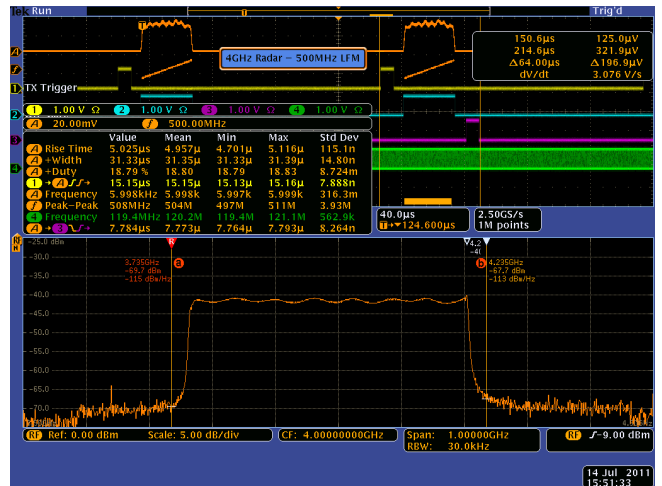
这个信号下面是发送脉冲触发信号(通道1)，然后是脉冲期间有效的数字门信号(通道2)，然后是返回脉冲的接收触发信号(通道3)，然后是所有数字门的系统时钟信号(通道4)。为节约空间，没有显示这些曲线，但可以吧16条额外的数字通道分配给系统中多个门信号。



我们触发了RF突发(参见右下角-9dBm处的RF突发)，进行了一系列自动测量。包括：测量了雷达的上升时间(4.957us)、脉宽(31.35us)、占空比(18.8%)和PRF(5.99kHz)。还测量了从TX触发上升沿到包络开始的延迟(15.15us)，以及从RF脉冲下降沿到接收门上升沿的延迟(7.773us)。另外我们还在频率随时间变化上进行了峰峰值测量，显示线性调频的504MHz频率偏差。最后，测量了系统时钟，运行频率为120MHz。

另外注意，在触发RF突发的上升沿时，MDO4000混合域示波器还触发其它脉冲特性。可以把示波器设置成触发窄脉冲、宽脉冲、欠幅脉冲(没有达到全部幅度的脉冲)、甚至漏掉的脉冲。甚至还可以把示波器的触发设置为RF突发脉冲存在，但On-Gate信号没有存在时触发(可以使用“逻辑”触发)。普通示波器或频谱分析仪是不能触发所有这些条件的。

下面我们将显示相同的数据，但我们把屏幕分开，也显示脉冲的RF频谱。大家可以看到，第二个脉冲下面的橙色条指明了我们在哪里进行FFT。为了更好地查看线性调频雷达的FFT，您需要把窗口函数设置成Rectangular，因为Kaiser在频域中看上去就象一串尖峰。通过这一画面，我们可以使用手动标记，测量占用带宽。从4.235到4.735，我们得到500MHz。我们还可以移动频谱分析窗口，显示脉冲关闭时间，查看脉冲没有活动时的频谱外观。



只有MDO4000混合域示波器能够同时捕获高频RF信号和较慢的门控制信号，并且在时间轴将它们互相关连起来。假设我们要分析4GHz的窄带雷达。频谱分析仪可以进行大量的分析，但不能采集其它相关信号，如数字门信号。实时示波器可以采集RF信号和其它信号，但捕获深度有限，并且平均噪声电平、动态范围、谐波杂讯等指标都要比一般的频谱仪或混合域示波器要差。如果实时示波器以50GS/s数字化，并标配10M点存储器，那么它只能捕获200us的数据。即使在最大存储容量时，它仍只能捕获5ms的RF数据。如果降低采样率，我们可以捕获更多的时间，但采样率不够高来获得RF数据。我们怎样才能同时查看4GHz RF信号和100MHz时钟信号呢？

尽管MDO4104-6实现了RF信号、模拟信号和数字信号的时间相关，但模数转换器都是独立与示波器的。因此在RF通道捕获4GHz脉冲信号的同时(1GB的独立RF存储能够记录最多75ms的RF时域数据)，模拟通道此时仍可以以500MS/s速度运行，只需20M的存储深度就可以记录同样时间长度的时钟信号其后就可以进行频域与时域的混合域分析。

应用文章

混合域示波器是一种全新的仪器类别。当然，在雷达分析中，它们不会代替频谱分析仪或传统数字示波器。MDO4000混合域示波器这种工具以较小的尺寸/较低的价格把部分关键功能叠加在一起，同时增加了任何其它平台上没有提供的创新功能：

1. 业界首创：内置频谱分析仪的新一代示波器
2. 业界首创：在任何时间点上查看模拟、数字、总线与射频信号并其关连
3. 业界首创：频谱时间
4. 业界首创：保证 1GHz 以上的实时频谱捕获带宽
5. 业界首创：跨域与射频触发
6. 业界首创：11 个自动峰值测量光标
7. 业界首创：频率、幅度与相位随时间的变化轨迹
8. 业界首创：RF 探头、电流、电压、差分探头的适配器

了解更多有关 MDO4000 混合域示波器，可以参考 <http://www.tek.com/zh/scoperevolution>。

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
成都市人民南路一段86号
城市之心23层D-F座
邮编：610016
电话：(86 28) 8620 3028
传真：(86 28) 8620 3038

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20层K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

如需进一步信息

泰克维护完善的一套应用指南、技术简介和其它资源，并不断扩大，帮助工程师处理尖端技术。请访问：www.tektronix.com.cn



版权所有©泰克公司，侵权必究。泰克产品受到已经签发及正在申请的美国和国际专利的保护。本文中的信息代替以前出版的所有资料。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。本文提到的所有其它商号均为各自公司的服务标志、商标或注册商标。

2011年8月31日

Tektronix®