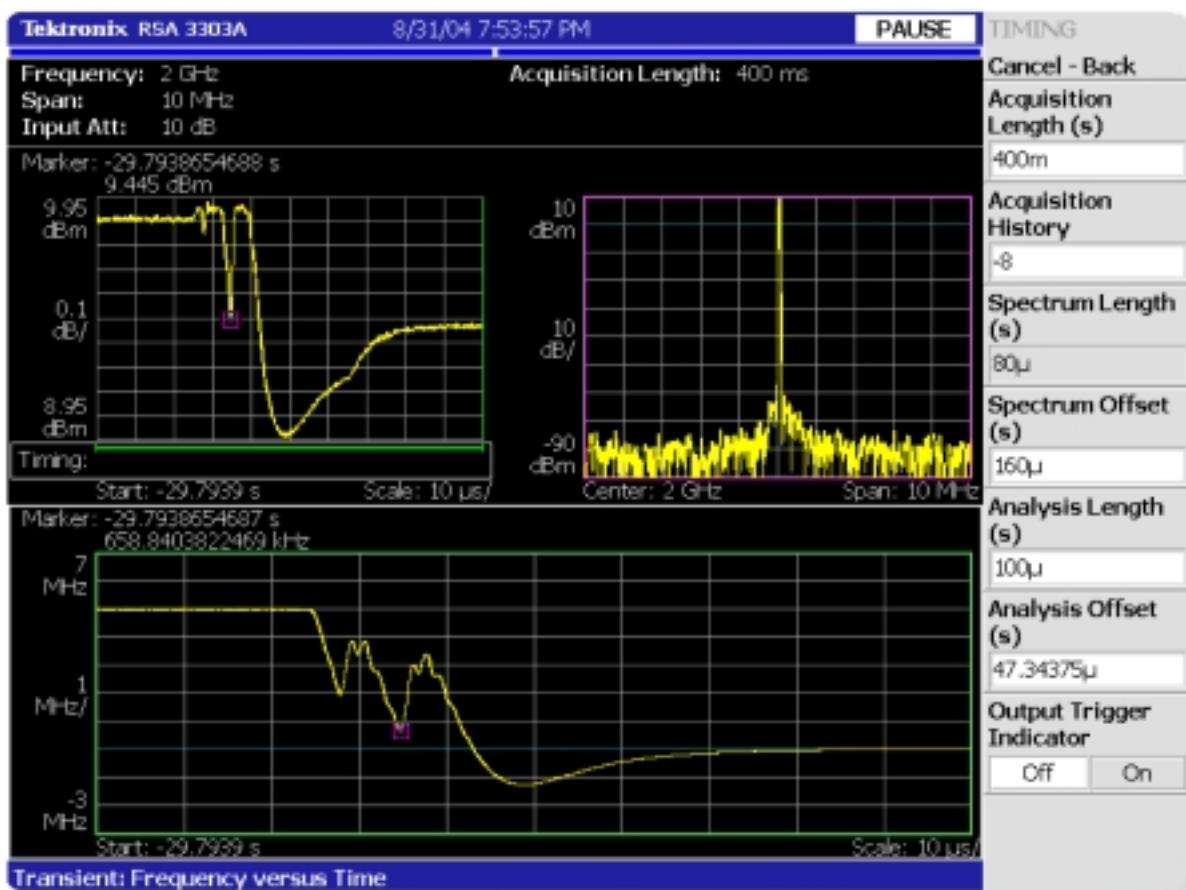


# 在研发环境中分析瞬时 RF 信号



## 引言

近几年来，RF器件的数量和复杂程度已经发生指数级增长，RF中的技术创新速度仍在不断加快。结果，RF元器件的成本不断下降，除传统军事行业和通信行业外，无线技术正在各种市场中找到新的应用。

RF发射机已经变得无所不在，几乎任何想得到的地方，都可以看到它们的身影。在家里，从游戏控制器到家电

设备，各种消费电子在来回发送无线数据。植入人体中的起捕器等医疗设备使用RF链路，把信息传送到监测设备。在车间和仓库中，RFID已经开始作为传统条形码的补充，跟踪和定位目标。汽车采用GPS导航系统、卫星无线系统、集成式移动电话、远程无键输入设备、甚至轮胎压力传感器，把RF信号发送到车载计算机上。应用数量正在不断提高，而且增长速度非常迅猛。

# 在研发环境中分析瞬时 RF 信号

## ► 技术简介

随着RF信号遍布现代世界，生成RF信号的各种设备之间的干扰问题也变得无处不在。这些产品必须设计成不能把RF能量发送到相邻频率通道中，如在需要执照的频谱中工作的移动电话，对在不同传输模式之间切换、与不同网元保持同步连接的复杂的多标准设备来说，这尤其是一个巨大的挑战。在没有执照的频段中工作的比较简单的设备，也必须设计成在存在干扰信号时正确工作。政府法规通常规定，只允许这些设备以很低的功率在短突发内传输信号。

为抗击干扰、避免检测、改善容量，现代雷达系统和商用通信网络已经变得异常复杂，其一般采用完善的RF技术组合，如突发、跳频、码分多址和自适应调制。设计这些类型的高级RF设备，并把它们成功地集成到工作系统中，是异常复杂的任务。

为克服所有这些挑战，当前的工程师和科学家能够可靠地检测和检定随时间变化的RF信号至关重要，使用传统测量工具并不能轻松完成这些任务。为解决这个问题，泰克已经设计了实时频谱分析仪(RSA)，这种仪器可以触发RF信号，把它们无缝地捕获到内存中，并在频域、时域和调制域中分析这些信号。

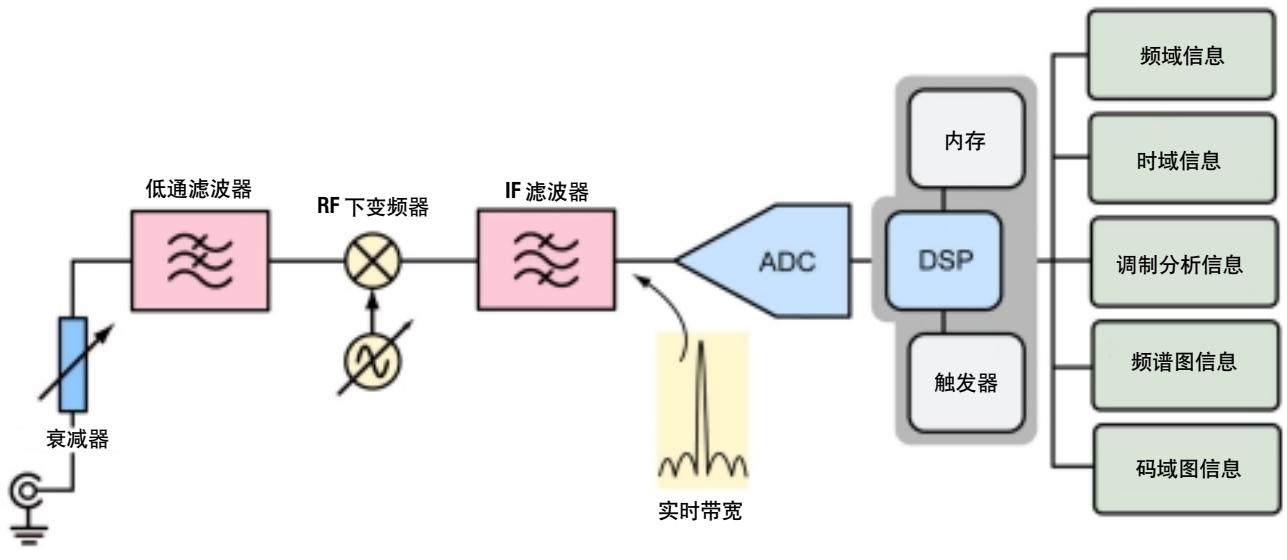
## 瞬时RF信号的测量挑战

鉴于检定当前RF设备特点的挑战，必需了解频率、幅度和调制参数在短期内和长期内的行为方式。在这些情况下，使用扫频分析仪和矢量信号分析仪等传统工具可能能够在频域和调制域中提供信号概况，但其通常不能提供足够的信息，以足够的置信度描述设备生成的动态RF信号。通过了解这些参数随时间变化情况，RSA在所有这些测量中提供了另一个关键维度。

考虑一下下面的常见测量任务：

- 捕获突发传输、毛刺、开关瞬变
- 检定PLL稳定时间、频率漂移、微音扩大
- 检测间歇性干扰，噪声分析
- 捕获扩频信号和跳频信号
- 分析脉冲式信号的频率、幅度和相位成分
- 监测频谱使用情况，检测流浪传输
- 一致性测试，EMI诊断
- 检定随时间变化的调制方案

每项测量都涉及随时间变化的、通常是不可预测的RF信号。为有效检定这些信号的特点，工程师需要一个工具，这个工具要能够触发已知事件和不可预测的事件，无缝捕获信号，并把它们存储在内存中，并分析频率参数、幅度参数和调制参数在测量期间的特点。



▶ 图 1. 泰克实时频谱分析仪方框图。

### 实时频谱分析：触发、捕获、分析

泰克实时频谱分析仪是为迎接与瞬时和动态 RF 信号有关的这些测量挑战专门设计的。实时频谱分析的基本概念是能够触发 RF 信号，把信号无缝地捕获到内存中，并在多个域中分析信号。这样就可以可靠地检测和检定随时间变化的 RF 信号特点。

图 1 是 RSA 结构的简化方框图。可以在仪器的整个频率范围内调谐 RF 前端，它把输入信号下变频为固定的 IF，其与 RSA 的最大实时带宽有关。然后它对信号滤波，使用 ADC 数字化，然后传送到 DSP 引擎，DSP 引擎管理着仪器的触发、内存和分析功能。RSA 是为提供实时触发、无缝信号捕获和时间相关多域分析而优化的。

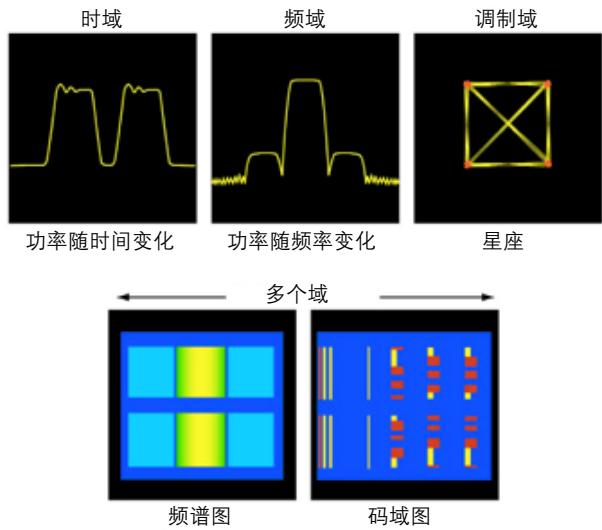
## 在研发环境中分析瞬时 RF 信号

### ► 技术简介

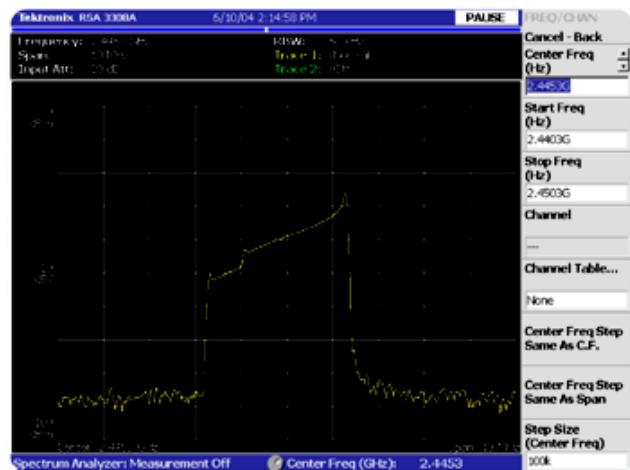
对于小于等于RSA的实时带宽的测量跨度，通过数字化RF信号，并把时间邻近的样点存储在内存中，这种结构可以在时域中触发信号，然后无缝地捕获输入信号，而没有时间间隔。然后，可以使用RSA中提供的各种时间相关的信息分析信号，如图2所示。

一旦检测、采集和存储了某个RF信号，RSA可以进行频域测量、时域测量和调制域测量。由于所有这些结果都是从同一套底层时域取样数据中计算得出的，因此RSA可以在不同域之间关联信息特点，了解频率事件、时间事件和调制事件怎样基于公共参考时间相互关联。

这可以全面检定瞬时和动态RF信号，而使用扫频分析仪或矢量信号分析仪很难或不可能捕获和分析这些信号，这尤其适合要求瞬时信号检定的应用，如系统集成、设备调试和频谱监测。



► 图2. RSA 上提供的部分时间相关测量实例。

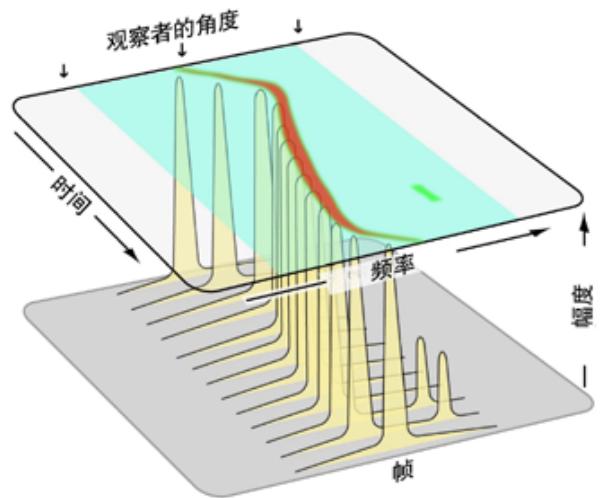


► 图3. 传统频域测量提供的瞬时RF信号相关信息非常少。

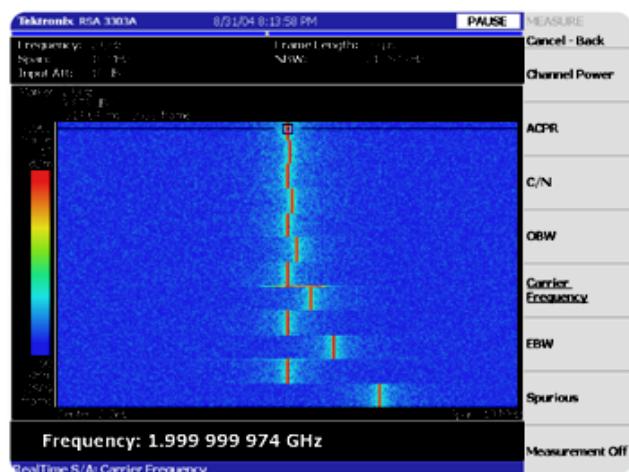
### 检定信号稳定性和开关瞬变

能够测量信号稳定性是许多电子电路和调试应用中的一个基本需求，现代电路的复杂性和电路集成程度不断提高，使得找到、捕获和分析稳定性问题更加困难。传统扫频分析仪通常会完全漏掉瞬时 RF 信号，即使检测到信号，功率随频率变化图仍不能很好地查看动态信号的特点。例如，从图 3 中可以看出，其不可能精确地确定信号随时间变化情况。

RSA 提供了多种强大的工具，可以在时域、频域和调制域中查看信号特点。通过把 RF 信号无缝捕获到内存中，然后使用 DSP 技术处理取样的数据，RSA 可以可靠地显示 RF 信号随时间变化情况。图 4 所示的频谱图是一个重要的显示图，可以直观地表示信号在时域中怎样随时间变化。这使得工程师能够满怀信心地对突发信号、瞬时信号和跳频信号进行测量，如图 5 所示。



▶ 图 4. 频谱图显示。横轴是频率，竖轴是时间，幅度用颜色表示。



▶ 图 5. 频谱图显示了跳频信号在频率、幅度和时间方面的特点。

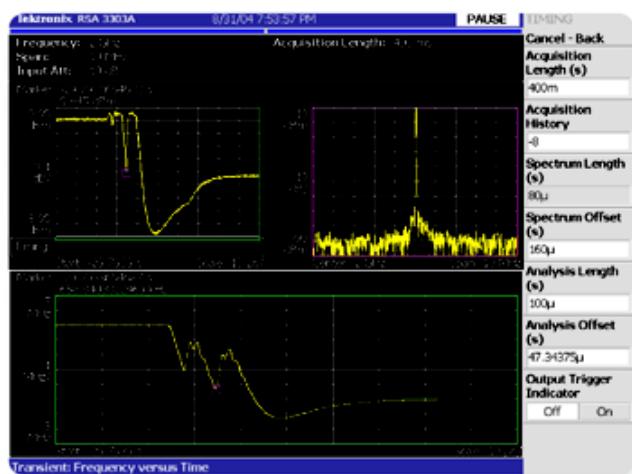
## 在研发环境中分析瞬时 RF 信号

### ► 技术简介

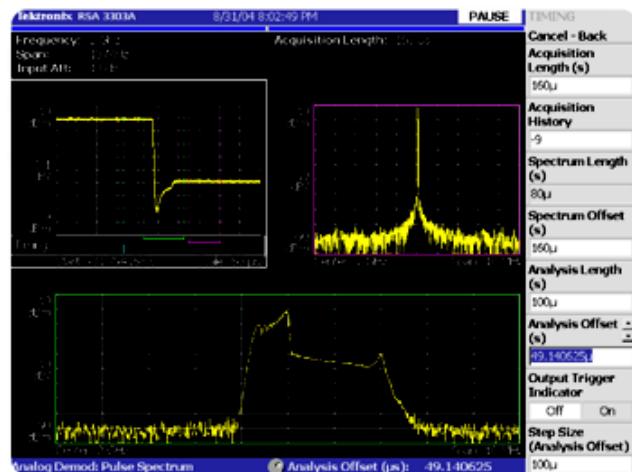
时间相关多域分析是RSA的另一个关系密切的功能。一旦已经捕获信号，并存储到内存中，可以使用RSA全面检定信号在任何给定时点上的特点。图6说明了图5中跳频信号的一个开关瞬变的测量结果。左上方窗口中功率随时间变化图的标尺连接到下方窗口中频率随时间变化图的标尺，从而可以简便地查看信号的不同方面怎样相互关联。右上方窗口中的频域显示图显示了稳定到目标频率后的信号频谱。图7是频率转换期间和频率转换后信号频谱成分的测量实例。由于能够对捕获的同一信号使用RSA中提供的各种测量，并基于共同的时间轴把其结果关联起来，特别有助于理解和调试不想要的瞬时事件。

### 调试锁相环

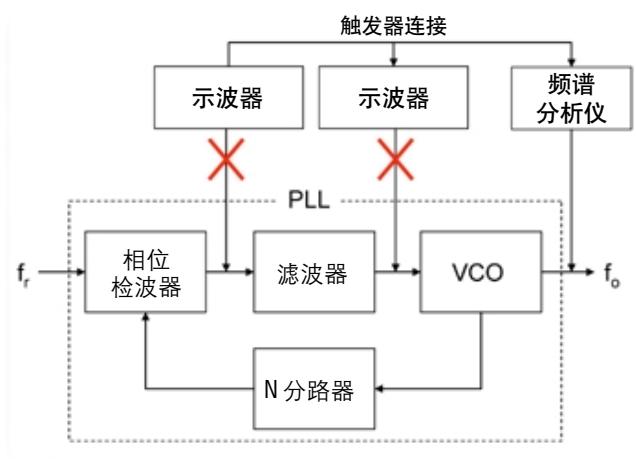
锁相环(PLL)是当前最常用的电路之一。尽管PLL有许多用途，但其中最常见的用途之一是生成精确的可变频率参考。在最简单的形式下，PLL可以视作一个黑匣子，它接受频率参考( $f_r$ )输入，生成可变频率输出( $f_o$ )，可变频率输出是频率参考的可变倍数(N)。在低频或简单的信号应用中，PLL一般可以提供无差错操作。在频率提高，信号变得更加复杂时，评估PLL性能也会变得更加复杂。



► 图6. 在100  $\mu$ s开关周期中，功率随时间变化及频率随时间变化的时间相关测量结果。



► 图7. 脉冲频谱测量(下面的窗口)显示了开关瞬变过程中的频域成分。频谱显示图(左上方)显示了开关瞬变后的频域成分。与每项测量相对应的时间窗口通过功率随时间变化显示图(左上方)上的绿条和紫条显示。

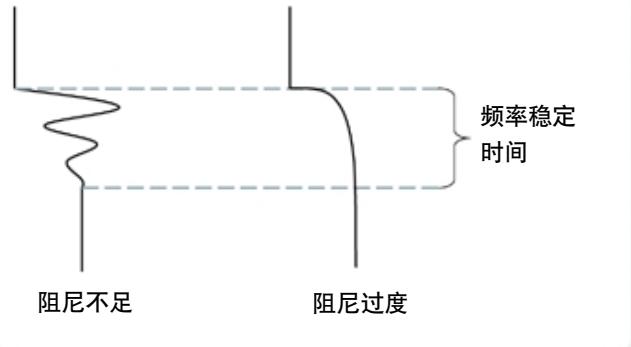


► 图 8. 传统的 PLL 测量技术。

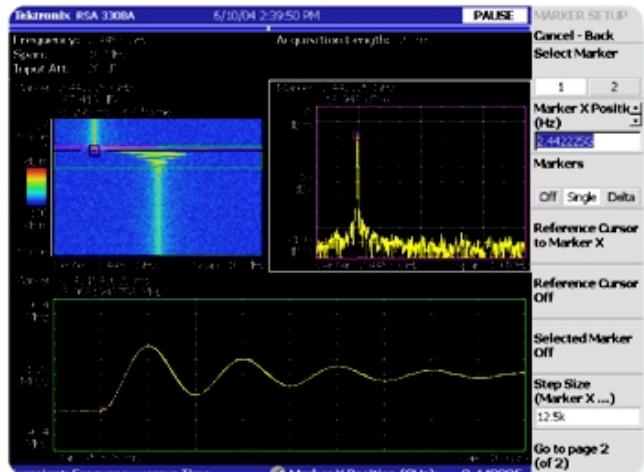
传统PLL性能分析方法是在电路中每个点上对信号取样(即在相位检波器、滤波器、压控振荡器和N分路器之间)，如图8所示。但是，人们正越来越多地作为完整的集成电路购买PLL，不允许访问电路内部的各个节点。这使得PLL问题调试变得非常困难，甚至不可能实现。使用传统方法分析现代PLL的性能还要求在不同仪器之间采取复杂的触发排列，以捕获信号。

RSA能够查看与时间相应的频率变化，允许有效查看PLL的性能。可以设置触发器，捕获和分析各种PLL特点，包括频率切换速度、频率稳定特点、频率可重复性和瞬时不稳定性。

VCO实现新频率所需的时长称为稳定时间。PLL一般拥有一种设置阻尼数量的机制，以获得最优的稳定时间。在PLL阻尼不足时，PLL会在锁定前过冲最后频率。在



► 图 9. 阻尼不足和阻尼过度的频率稳定廓线。



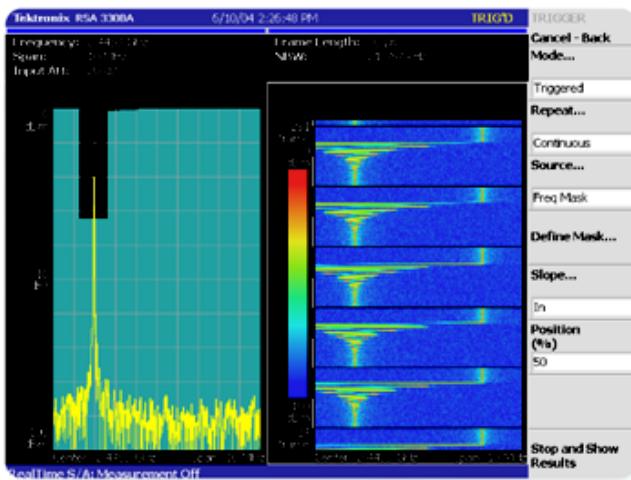
► 图 10. 2.4453 GHz 时阻尼不足的 PLL 的频率随时间变化测量结果。

PLL 阻尼过度时，PLL 在接近最后频率时会移动得很慢。图 9 说明了这两种情况的稳定廓线。

检定这种特点非常重要，以能够尽快获得频率锁定。图 10 说明了可以明显改善其性能的 PLL 的频率稳定廓线。

## 在研发环境中分析瞬时 RF 信号

### ► 技术简介

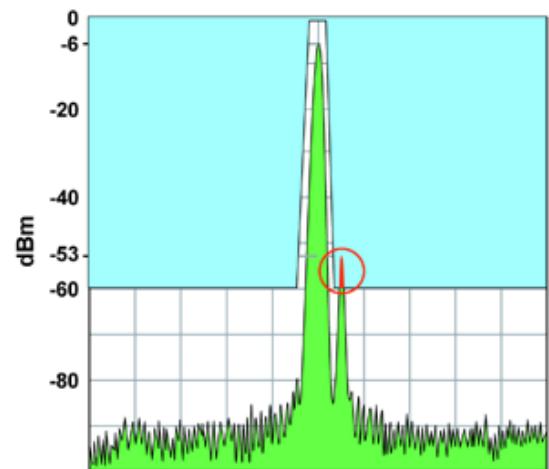
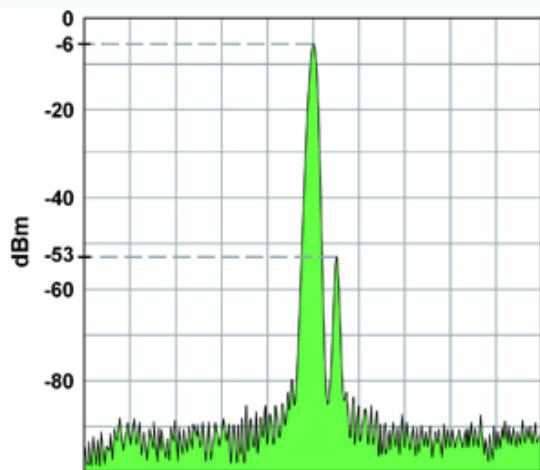


► 图 11. 使用频率模板触发器的频谱图，测量频率可重复性。

PLL 的另一个重要特点是其锁定在具体频率的稳定性和可重复性。结果，能够测量到同一频率的多个跳的载频非常重要。如图 11 所示，RSA 通过使用频率模板触发器和频谱图，可以简单地完成这一任务。一旦已经无缝地捕获这些数据，并把数据存储到内存中，可以使用其它测量全面检定每项转换的特点，如功率随时间变化及频率随时间变化。

### 检测间歇性干扰

电磁干扰(EMI)是几乎所有电子电路应用都关注的问题，而无线技术设计人员对此则尤为关心。根据政府和军事机构中的一致性测试要求，设计人员被迫在一致性测试中投入大量的资源，其通常是通过昂贵的认证实验室来完成。一致性测试不合格是一个巨大的挫折，要求改变设计、重新测试和重新加工，代价非常高。无线网络运



► 图 12. 设置频率模板，检测小的间歇性干扰。

营商还特别关注干扰。由于信号小、覆盖范围宽，低功率干扰可能会给客户导致明显的问题，最终会导致收入流失。

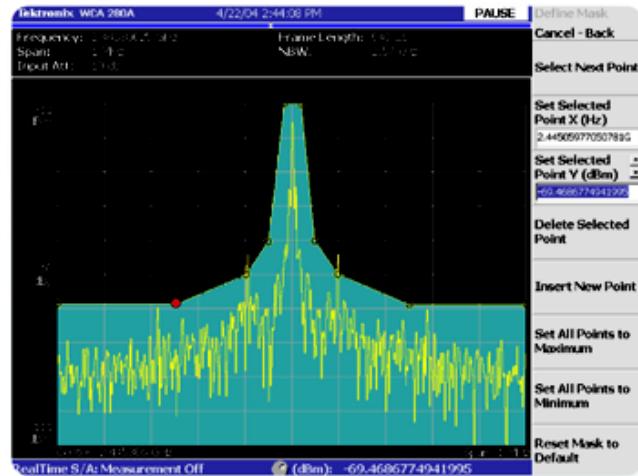
## 在研发环境中分析瞬时 RF 信号

► 技术简介

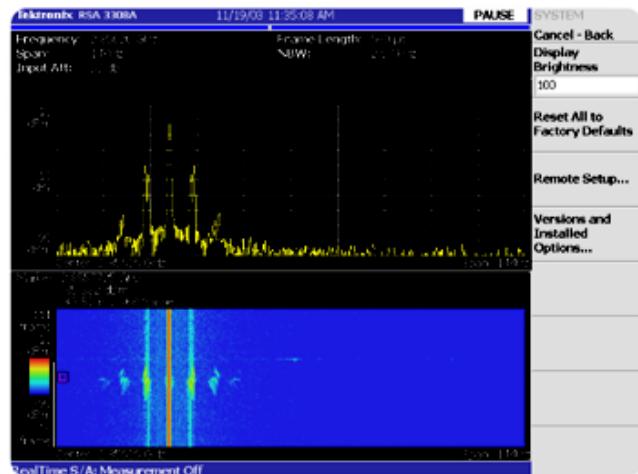
在所有这些应用中，都很难检测和解决小的间歇性干扰。传统测试方法使用接收机或频谱分析仪，其在感兴趣的频段内扫描速度很慢，通常检测不到瞬时干扰和间歇性干扰。

RSA 特别适合找到和检定 EMI 和间歇性干扰问题。如图 12 所示，可以使用频率模板触发器，迅速高效地检测间歇性干扰。频谱图画面则显示了干扰信号随时间变化情况。此外，RSA 能够使用广泛的通用工具（时域、模拟解调、数字解调等等），捕获和分析干扰信号，大大简化了确定干扰源的工作。

图 13 是使用频率模板触发器捕获信号的实例，其中带有载波中不想要的零星调幅导致的小的失真产物。图 14 是瞬时互调失真产物的频谱图画面，这些产物影响着复杂系统的整体性能。



► 图 13. 使用频率模板触发器捕获的间歇性 AM 边带。



► 图 14. 瞬时互调失真产物的频谱图画面。

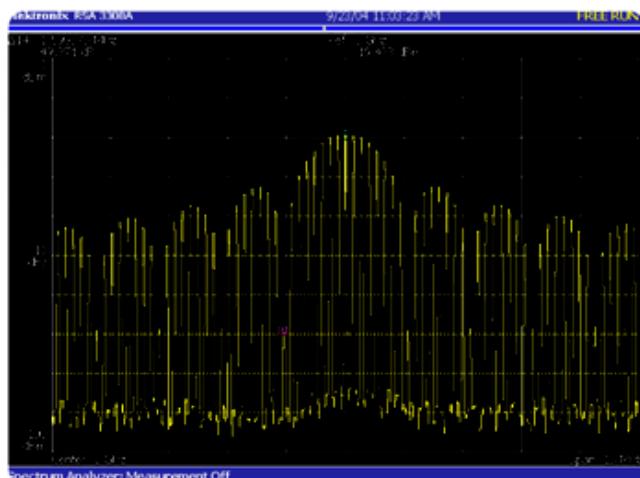
## 在研发环境中分析瞬时 RF 信号

### ► 技术简介

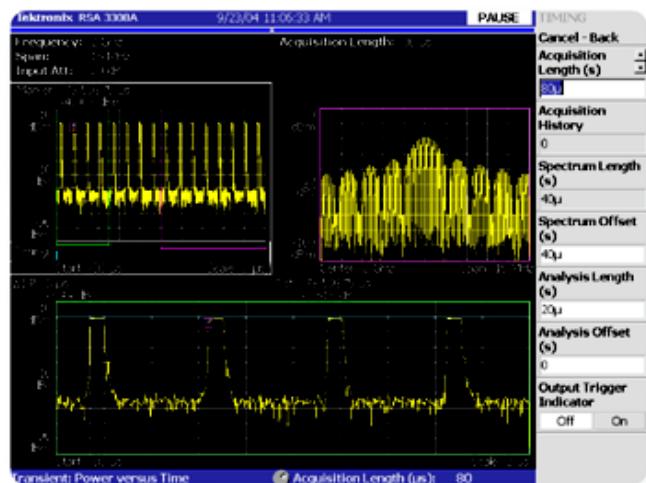
#### 分析脉冲式信号和突发信号

大多数现代雷达和通信系统都基于脉冲式或突发 RF 传输。这些系统采用的传统测量方法通常使用示波器检定突发的时域特点，使用频谱分析仪检定频域特点，如图 15 所示。如果还要求了解调制特点，那么还必需使用调制域分析仪。为捕获突发信号，所有这些仪器必需共享公共的触发器。

脉冲式信号和突发信号捕获、分析和检定起来非常困难。在许多情况下，这些瞬变发生的速度对传统扫频分析仪太快了（即事件发生在能够进行完整扫描之前）。瞬时信号的快速上升时间 / 下降时间会产生频谱成分，也很难触发和捕获，使测量工作进一步复杂化。许多系统还以不规则的间隔发送信号，大大提高了捕获和分析这些信号的挑战性。图 16 到图 19 是怎样使用 RSA，在时域中分析脉冲式信号的幅度、频率和相位特点实例。



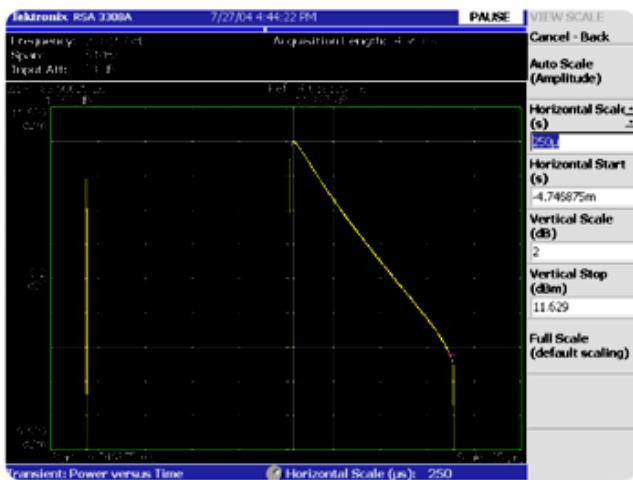
► 图 15. 2 GHz 时重复的脉冲式 RF 信号的频域图。通过测量音调和零讯号的频率间隔，可以计算出脉宽为 600 ns，脉冲重复间隔为 5  $\mu$ s。



► 图 16. 无缝捕获和长内存使得 RSA 能够直接对脉宽和 PRI 进行时域测量。下方窗口中的增量标尺读数显示的 PRI 为 5  $\mu$ s，它可以简便地重新定位，显示任意单个脉冲 600 ns 的脉宽。这种时域和频域综合分析功能特别适合拥有低占空比和/或非重复特点的脉冲式 RF 信号。

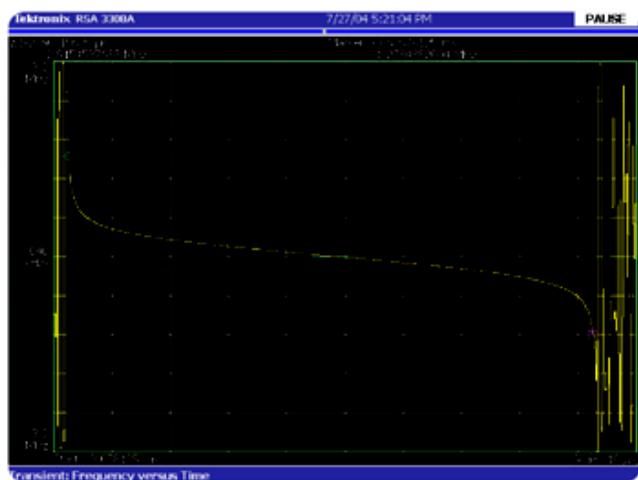
## 在研发环境中分析瞬时 RF 信号

► 技术简介

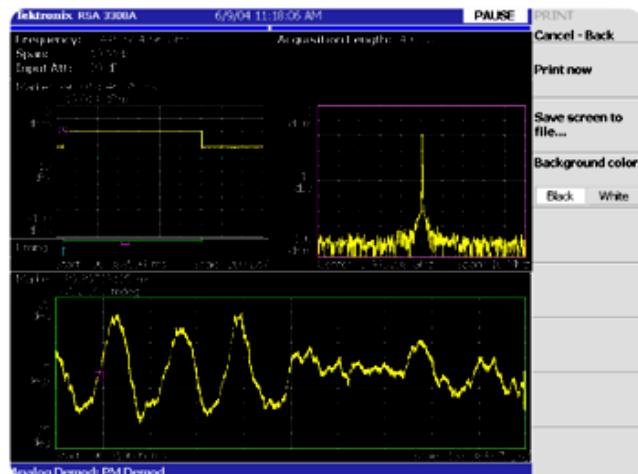


► 图17. 使用功率随时间变化图，在2.8 GHz 的中心频率上放大和查看90  $\mu$ s 脉冲内部1.2 dB 的幅度衰落。

由于泰克RSA使用实时无缝捕获，而不是扫频分析仪技术，因此它更适合触发、捕获和分析突发信号及其它瞬变。由于RSA实时捕获信号，并使用快速傅立叶变换(FFTs)显示频率成分，因此它不会漏掉突发传输及其频谱成分。RSA能够设置频率模板触发器，可以根据感兴趣的频率成分简单明了地捕获突发。此外，如上面的实例所述，RSA时域、频域和调制域同步，可以迅速直观地进行信号分析。最后，与采用不同接口的多部仪器相比，时域、频域和解调域合并的单一仪器接口缩短了学习时间，加快了分析速度。



► 图18. 使用频率随时间变化图，在2.8 GHz 的中心频率上测量90  $\mu$ s 脉冲内部2 MHz 的切线频率啁啾。



► 图19. 使用相位解调，在2.445 GHz 的中心频率上检定1.3 ms 突发内部 +/- 20 度的相位漂移。

**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) 6235 1210/1230  
传真：(86 10) 6235 1236

**泰克上海办事处**  
上海市静安区延安中路841号  
东方海外大厦18楼1802-06室  
邮编：200040  
电话：(86 21) 6289 6908  
传真：(86 21) 6289 7267

**泰克广州办事处**  
广州市环市东路403号  
广州国际电子大厦2807A室  
邮编：510095  
电话：(86 20) 8732 2008  
传真：(86 20) 8732 2108

**泰克深圳办事处**  
深圳市罗湖区深南东路5002号  
信兴广场地王商业大厦G1-02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**  
西安市东大街  
西安凯悦(阿房宫)饭店345室  
邮编：710001  
电话：(86 29) 8723 1794  
传真：(86 29) 8721 8549

**泰克武汉办事处**  
武汉市武昌区民主路788号  
白玫瑰大酒店924室  
邮编：430071  
电话：(86 27) 8781 2760/2831  
传真：(86 27) 8730 5230

**泰克香港办事处**  
香港铜锣湾希慎道33号  
利园3501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](http://www.tektronix.com)



© 2005 年 Tektronix, Inc. 版权所有。版权所有。Tektronix 产品，不论已获得专利和正在申请专利者，均受美国和外国专利法的保护。本文提供的信息取代所有以前出版的资料。本公司保留变更技术规格和售价的权利。TEKTRONIX 和 TEK 是 Tektronix, Inc. 的注册商标。本文提及的所有其它商号分别为其各自所有公司的服务标志、商标或注册商标。

02/05 KCJ/WOW

37C-18188-1

**Tektronix**  
Enabling Innovation