

# 实时频谱仪原理及应用案例集汇编

主编：钱永

泰克亚太区射频产品专家



尊敬的读者朋友：

你们好！数字科技在各个领域的快速发展有目共睹，这些发展不仅改变着我们的工作方式和生活模式，也带来了电子产业的巨大变化，同时给相应的测试、测量工作带来了前所未有的挑战！

泰克公司一直致力于为客户提供业界领先的测试、测量解决方案，它为全球通讯、计算机和半导体行业以及军事 / 航空航天、消费电子、教育等各行各业提供各种测量解决方案和服务。在崭新的数字世界中，无线技术无处不在，泰克公司针对无线测试应用领域的工程师、研究院校的师生、仪器仪表行业人士以及其他读者及时地推出此书，希望能够对广大读者有所帮助，并籍此为促进中国的技术创新做出贡献。

邓伟安

泰克科技（中国）有限公司销售总监

# 前言

随着技术的进步，现代的无线技术朝着三个方向发展，一是数字化，二是智能化，三是隐蔽性强。这就给我们的测试带来了很大的挑战。同时，鉴于检定当前 RF 设备行为特点，时间作为一个很重要的信息在 RF 的测试中不可或缺。如软件定义无线电 (SDR), 认知无线电 (Cognitive Radio) 的普及，以及各种如雷达，跳频及瞬态干扰信号，都需要在时间域上进行分析。在这些情况下，使用传统工具如扫频频谱分析仪(SA)和矢量信号分析仪(VSA)可能会在频域和调制域内提供信号概况，但其通常不能提供足够的时间信息，也无法满足数字化，智能化，瞬态信号的测试。

有鉴于此，我们介绍了全新的产品，实时频谱分析仪 (RTSA)，这是基于快速傅利叶 (FFT) 的仪表，可以实时捕获各种瞬态信号，同时在时域、频域及调制域对信号进行全面分析，满足现代测试的需求。

编著本书的目的是为了读者能够系统、全面、快速的掌握实时频谱分析仪的基本原理及独特的先进技术如数字荧光(DPX)，频率模板触发 (FMT)，帧重叠等。同时也列出了一些实际的测试应用方法和案例，以方便读者理解和应用实时频谱分析仪产品。

本书共分成两大部分，第一部分主要是介绍了实时频谱分析仪的基本原理及一些独特的技术，第二部分是典型的应用案例及测试指南。在第二部分中我们分成五大应用，分别是国防电子、无线监测、RFID、民用通信和综合应用。本书由泰克公司专门的实时频谱分析仪技术部门编写，主要针对无线测试应用领域的工程师、研究院校的师生及仪表界的人士。本书第一部分及综合应用由钱永编写，国防电子应用由张鹏编写，无线监测应用由陈峰编写，RFID 应用由程骏编写，民用通信应用由龚伟华和杨鹏编写。全书由程征和钱永审核。

新的技术层出不穷，我们只是在现有的基础上介绍了实时频谱技术及应用，由于水平和能力有限，难免有错误和不足之处，敬请广大读者批评指正。

钱永

2007年9月28日

# 总目录

一、实时频谱仪原理.....	1
第1章 简介和概述.....	2
RF信号的演变.....	2
现代RF测量挑战.....	2
仪器结构纵览.....	3
扫频频谱分析仪：传统频域分析.....	3
矢量信号分析仪：数字调制分析.....	4
实时频谱分析仪：触发，捕获，分析.....	5
实时频谱分析仪的主要概念.....	6
样点、帧和块.....	6
实时触发.....	7
无缝捕获和频谱图.....	8
时间相关的多域分析.....	8
第2章 实时频谱分析仪的工作方式.....	10
实时频谱分析仪中的数字信号处理技术.....	10
IF数字转换器.....	10
数字下变频器.....	11
I和Q基带信号.....	11
采样.....	11
取样速率对时域和频域的影响.....	11
实时触发.....	12
在具有数字采集的系统中触发.....	13
触发模式和特点.....	13
RSA触发源.....	14
建立频率模板.....	15
定时和触发.....	16
基带DSP.....	16
校准/归一化.....	16
滤波.....	16
定时、同步和二次取样.....	16
快速傅立叶变换分析.....	17

FFT属性	17
窗口	17
FFT后的信号处理	18
重叠帧	18
调制分析	19
调幅、调频和调相	19
数字调制	19
功率测量和统计	20
<b>第3章 实时频谱分析仪测量</b>	<b>21</b>
频域测量	21
实时频谱分析仪	21
标准频谱分析仪模式	22
带频谱图的频谱分析仪模式	22
时域测量	22
频率随时间变化	22
功率随时间变化	24
互补累积分布函数	24
I/Q随时间变化	25
调制域测量	25
模拟调制分析	25
数字调制分析	26
基于标准的调制分析	27
码域图显示	27
<b>第4章 FFT 重叠技术</b>	<b>28</b>
<b>第5章 数字荧光 (DPX) 技术</b>	<b>41</b>
<b>第6章 实时频谱仪的“双核”技术</b>	<b>46</b>
<b>第7章 常见问答</b>	<b>48</b>
<b>第8章 词汇表</b>	<b>53</b>
参考缩略语	55

## 二、应用案例集.....56

(由于条件所限, 应用案例不能一一列出。如有兴趣了解更多, 请与泰克公司联系。)

1.国防电子.....	56
新一代跳频电台测试技术 .....	56
RSA3000系列实时频谱仪雷达测试概述 .....	65
RSA6100A实时频谱分析仪雷达测试概述 .....	87
实时频谱仪在雷达对抗中的应用 .....	102
基于实时频谱分析仪的TDOA发射机定位方案 .....	110
脉冲雷达的相参测量 .....	112
2.无线电监测.....	116
RSA6100A系列实时频谱分析仪实现高级频谱管理 .....	116
信号监测、监控和实时频谱分析 .....	130
3.RFID.....	146
RFID的测试要求和测试方法 .....	146
欧姆龙公司采用实时频谱分析技术监测RFID标签和读写器之间的通信 .....	162
日本UHF频段RFID现场互通性测试报告 .....	164
使用实时频谱分析评估和优化射频识别(RFID)系统 .....	213
4.民用通信.....	219
实时频谱分析在WLAN和Combo设备中的应用 .....	219
草议IEEE802.11n测量解决方案和多输入多输出(MIMO)测量挑战 .....	239
RTSA捕获到其它频谱分析仪漏掉的无线突发信号 .....	241
利用多域分析评估W-CDMA系统压缩模式 .....	243
测试W-CDMA上行信号是否符合3GPPRF Tx规范 .....	253
检修W-CDMA网络中的基站和用户设备交互问题 .....	264
GSM/EDGE信号分析 .....	271
CDMA2000 EVDO 前向链路和后向链路测量 .....	277
使用泰克无线通信分析仪进行cdma2000 RF测量 .....	284
测量W-CDMA系统中的波形质量 .....	295
RSA3408A实时频谱分析仪在TD-SCDMA调测中的典型应用 .....	299

RSA3408A 在 TD-SCDMA 三载频调测中的应用 .....	303
RSA6000 和 RSA3000 系列 RSAVu 离线分析软件 .....	309
<b>5. 综合应用</b> .....	<b>311</b>
使用实时信号分析技术进行软件定义的无线电测试 .....	311
软件定义的无线电：设计 SCA (软件通信架构) 标准无线电系统所使用的综合测试方法 .....	326
实时频谱分析仪在激光器应用中的优势 .....	342
实时频谱分析仪在高能物理应用中的优势 .....	344
泰克实时频谱仪在“高能加速器”测试方面的应用 .....	355
使用实时频谱分析仪进行电源测试 .....	359
信号源分析工具加快相噪测量速度 .....	367
使用泰克实时频谱分析仪检定锁相环 .....	369
使用实时频谱分析仪灵活地进行调制分析 .....	383
使用实时频谱分析技术, 迅速识别间歇性信号和干扰信号 .....	402
使用泰克实时频谱分析仪进行 EMI 测量 .....	410
使用实时频谱分析仪调试和检定宽带 RF 系统 .....	412
泰克实时频谱分析仪基带测量 .....	430
本底噪声附近的频谱分析仪测量 .....	434
<b>三、产品说明书</b> .....	<b>437</b>
RSA6100A 系列 6.2 GHz 和 14 GHz 实时频谱分析仪 .....	437
实时频谱分析仪 RSA3300A 系列 .....	453





# 实时频谱分析仪原理



# 第一章：简介和概述

## RF 信号的演变

早在 19 世纪 60 年代，James Clerk Maxwell 通过数学运算，预测出存在着能够通过真空传输能量的电磁波，此后，工程师和科学家一直在寻求创新方法利用 RF 技术。在 Heinrich Hertz 在 1886 年物理演示了“无线电波”之后，Nikola Tesla、Guglielmo Marconi 等人开创了利用这些波实现长途通信的方式。一个世纪以后，无线电已经成为 RF 信号第一个实际应用。过去三十年中已经启动了多个研究项目，考察信号发送和接收方法，检测和定位远距离内的目标。到第二次世界大战开始时，无线电探测和测距(也称为雷达)已经成为又一个盛行的 RF 应用。

在很大程度上，由于军事和通信领域的持续增长，RF 技术创新在 20 世纪其余时间内都一直稳定加速增长，直到今天这种增长仍在继续。为防止干扰、避免被探测及改善容量，现代雷达系统和商用通信网络已经变得非常复杂，这两种系统一般都采用全面组合的 RF 技术，如脉冲、跳频、码分多址和自适应调制。设计这些高级 RF 设备，并把它们成功地集成到工作系统中，是非常复杂的任务。

同时，越来越广泛的蜂窝技术和无线数据网络的成功，导致了基本 RF 元器件的成本直线下降。这使得传统军事和通信领域之外的制造商能够把相对简单的 RF 设备嵌入到各类商用产品中。RF 发射机变得异常流行，几乎在任何想得到的位置都可以发现它们的身影，如家中的消费电子，医院中的医疗设备，工厂中的工控系统，跟踪设备甚至可植入家畜、宠物和人的皮肤下。

随着 RF 信号在现代世界中变得无所不在，生成 RF 信号的设备之间的干扰问题也随之增长。在需要执照的频谱中工作的移动电话等产品，在设计时必须不会把 RF 能量发送到相邻频率通道中，对在不同传输模式之间切换、并

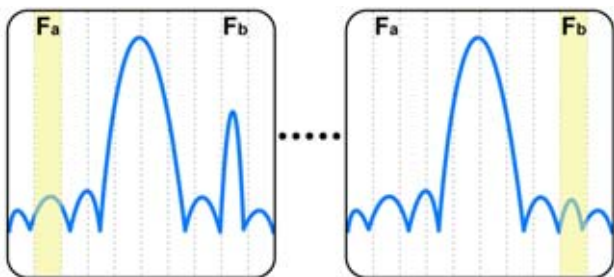
保持同步链接不同网元的复杂多标准设备来说，这一点尤其具有挑战性。在无需执照的频段中工作的比较简单的设备，也必须设计成在存在干扰信号时能够正确运行，政府法规通常规定，这些设备只允许以低功率在短脉冲中传输信号。

为克服这些不断发展的挑战，当前工程师和科学家能够可靠地检测和检定随时间变化的 RF 信号非常关键，而使用传统测量工具并不能简便地实现这一点。为解决这些问题，泰克设计了实时频谱分析仪(RTSA)，这种仪器可以触发 RF 信号，把信号无缝捕获到内存中，并在频域、时域和调制域中分析这些信号。本文介绍了 RTSA 的工作方式，可以基本了解怎样使用 RTSA，解决与捕获和分析现代 RF 信号有关的许多测量问题。

## 现代 RF 测量挑战

鉴于检定当前 RF 设备行为特点的挑战，必需了解频率、幅度和调制参数在短期和长期内的行为方式。在这些情况下，使用传统工具如扫频频谱分析仪(SA)和矢量信号分析仪(VSA)可能会在频域和调制域内提供信号概况，但其通常不能提供足够的信息，让用户满怀信心地描述设备生成的那些动态的 RF 信号。RTSA 在所有这些测量中增加了另一个关键维度 - 时间。

- 捕获和分析瞬时及动态信号
- 捕获脉冲传输、毛刺和开关瞬变
- 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
- 监测频谱使用情况，检测恶意发射
- 一致性测试，EMI 诊断



■ 图 1-1: 扫频分析仪以一定步长扫描频段, 通常会漏掉在当前扫描波段之外发生的重要的瞬态事件, 如图中用黄色突出显示的部分。

- 模拟和数字调制分析
- 检定随时间变化的调制特性
- 使用多域时间相关, 诊断复杂的无线标准问题
- 进行调制质量诊断

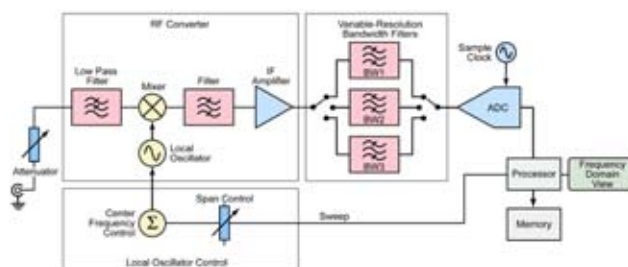
每种测量都涉及随时间变化的RF信号, 这些信号通常是不可预测的。为有效检定这些信号的特点, 工程师需要一种工具, 这种工具要能够触发已知事件或不可预测的事件, 无缝捕获信号, 把信号存储在内存中, 分析频率、幅度和调制参数在不同时间的特点。

### 仪器结构纵览

实时频谱分析仪(RTSA)是泰克设计的一种新型测量工具, 解决了上面介绍的新兴RF测量挑战。为了解RTSA的工作方式及理解其提供的测量价值, 有必要先考察两类其它的传统RF信号分析仪: 扫频频谱分析仪(SA)和矢量信号分析仪(VSA)。

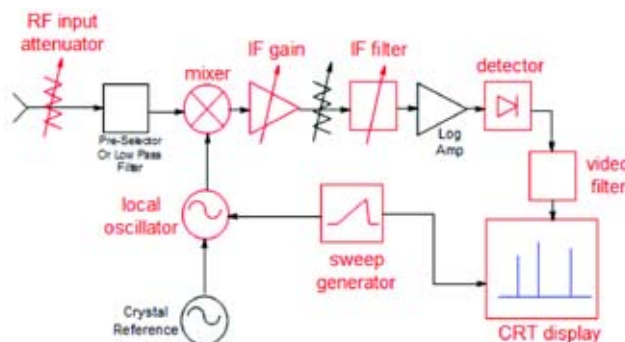
#### 扫频频谱分析仪: 传统频域分析

传统的频谱仪以扫描的方式处理数据, 所以又叫扫频仪或者叫超外差式频谱仪。这种仪表产生于二十世纪六十年代, 这种仪表具有测试频带宽, 可以达到几十个GHz, 动态范围大, 噪声低等特点, 所以被广泛的用于生产、研发等领域。扫频频谱分析仪最初是使用纯模拟器件构建的, 之后一直随着其应用的不断发展。当前一代扫频频谱分析仪也加入各种数字单元, 如ADC、DSP和微处理器, 但仅仅是中频部分。其基本扫描方法在很大程度上保持不变, 其最适合观测受控的静态信号。由于其技术



■ 图 1-2: 典型的扫频分析仪结构。

方面的天生缺陷, 无法满足数字信号, 尤其是瞬变信号的测试要求。如下图是该种频谱仪的简单框图:



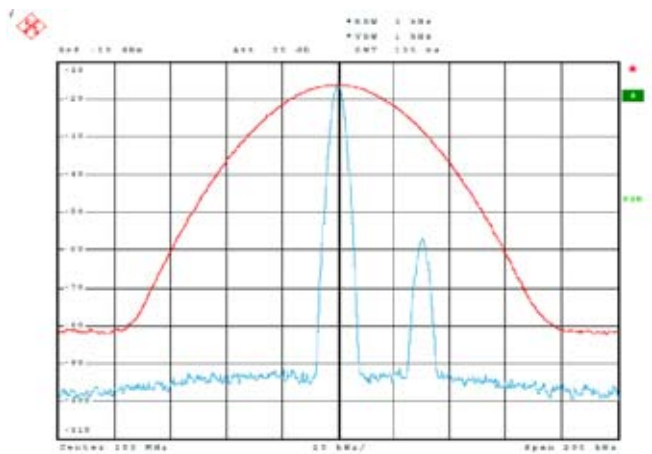
如上图所示: 扫频频谱分析仪通过把感兴趣的信号向下变频, 并扫描通过分辨率带宽(RBW)滤波器的传输频带, 来测量功率随频率变化。RBW滤波器后面跟有一个检测器, 检测器计算选择的跨度内每个频率点的幅度, 它一次只能计算一个频率点的幅度数据。分析仪在频率跨度内扫描需要很长的时间, 在某些情况下要达到几十秒。这种方法基于这样一个假设, 即分析仪能够完成多次扫描, 而被测信号没有明显变化。结果, 这种方法要求输入信号相对稳定及不变。传统的扫描式频谱仪的最小扫描时间为:

$$T_{Sweep} \cong k \cdot \frac{Span}{RBW^2}$$

# 实时频谱仪原理

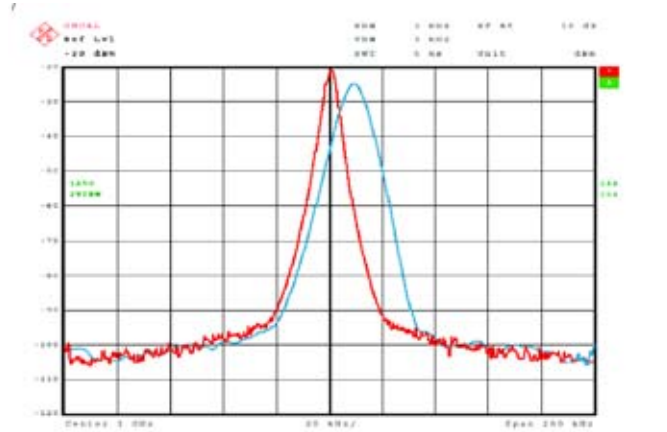
## ■ 应用指南

其中，Span是测试频谱带宽，RBW 指中频滤波器带宽，K是中频滤波器因子。当Span=10MHz，RBW=10KHz，K=1.5 时，代入公式得到最小扫描时间为 150ms，即扫描10MHz带宽一次需要150ms。如果某个跳频信号在某个频点上出现很短时间如10ms，则很可能就无法捕获这个信号，至少无法百分百地捕获该信号。当然，我们可以通过加大 RBW 的方法来减少扫描时间，但加大 RBW 会带来几个问题：首先，仪器的本底噪声会提升，假如我们把RBW设置为RBW=1 MHz，代入公式得到最小扫描时间为 10 微妙，但本底噪声会提升  $10\text{Log}(1\text{M}/10\text{K})=20\text{dB}$ 。如果原先底噪声是  $-100\text{dBm}$ ，现在就是  $-80\text{dBm}$ ，那么可能一些弱的噪声信号就无法测试了。其次，仪表的频率分辨率会降低，假如两个信号频率相差很小，比如是 100 KHz，当RBW=1 MHz 在一起显示上看到的就是一个信号而无法分辨出两个信号。如下图所示：



上图中，红色轨迹是当RBW=30KHz时测试结果，我们以为只有一个信号，当我们减小RBW=3KHz时，我们看到了蓝色轨迹，这时可以清楚看到在中间大信号的旁边还有一个小的信号。

当然我们也可以手工调节扫描时间，但当我们设置的时间小于最小扫描时间时，测试的信号会出现频率升高，幅度降低的情况。如下图：图中红色信号是正确设置下测试的信号，而蓝色信号是强行减小扫描时间测试的波形，从图中看到信号的频率升高，同时幅度降低。在仪表的左上角也显示红色UNCAL文字，表示该状态下测试的结果是不准确的。

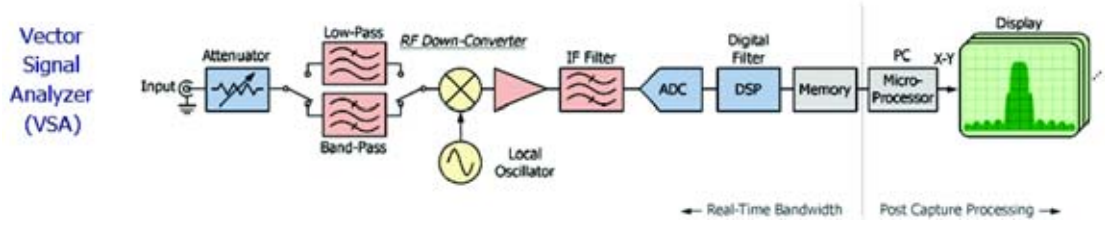


扫频仪只能给出幅度和频率的关系，没有时间信息，无法描述信号随时间的变化过程。由于其内存的限制，一般只有几百 KByte，如FSP(128KByte)，所以只能存储一个界面，也无法存储一段时间的信息。同时由于检波后丢失了信号相位信息，扫频仪无法进行数字解调分析，对数字信号测试无能为力。

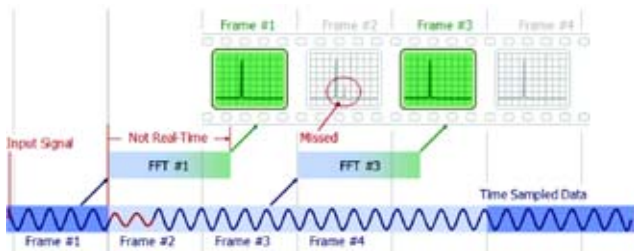
从以上分析可以看到，扫频仪无法分析数字信号，也很难捕获瞬态信号，越来越难满足现代瞬态复杂信号的测试挑战

### 矢量信号分析仪：数字调制分析

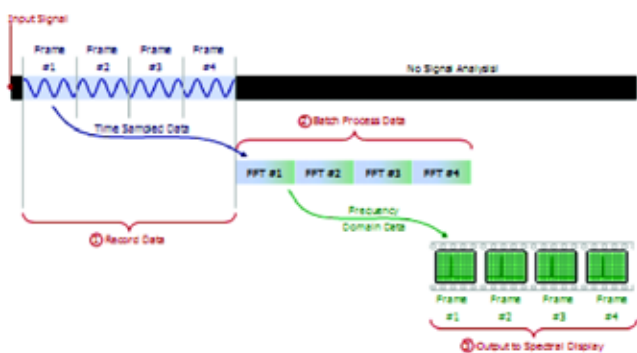
随着数字调制信号的普遍出现，简单的频谱测试难以满足要求。大约在二十世纪九十年代出现了矢量信号分析仪。矢量信号分析仪是为进行数字调制分析专门设计的工具，但并不完全适合瞬态信号的捕获和分析。下图是简化的VSA方框图：



在VSA内部，射频信号下变频到中频，然后ADC数字化宽带IF信号，下变频、滤波和检测均以数字方式进行。时域到频域转换使用FFT算法完成。ADC的线性和动态范围对仪器的性能至关重要。同样重要的是，还必须要有足够的DSP处理能力，以能够进行快速测量，如下图显示：



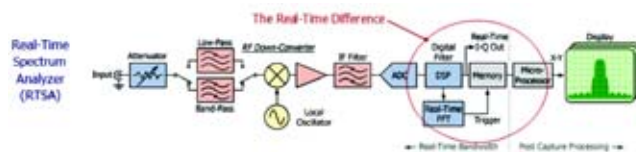
矢量信号分析仪采集一帧数据，然后需要一段时间处理分析进行FFT变换把采样信号变换到频域然后显示出来。当处理时间较长，如图中第二帧时出现了一个异常信号(红色信号)，但这个时候VSA在处理数据无法捕获这个信号所以就丢失了这个异常信号。到了第三帧VSA再采集数据时异常信号已经消失了。所以从仪表中只能看到图中顶部的第一帧和第三帧信号。在实际的仪表设计中往往采用批处理技术，如下图：



在信号捕获时我们可以设置捕获时间长度，一次采集许多帧的数据然后再进行处理，这样需要的处理时间就更长，丢失瞬态信号的可能性就更大。除非DSP的处理速度非常快，但这是非常难的，因为一般的VSA是采用软件做DSP运算，速度受到很大的限制。同时，大多数(但不是全部)VSA都旨在了解任何时间点上的输入信号概况，因此很难存储很长的一串采集记录，获得信号在不同时间上行为特点的累积历史。与扫频频谱分析仪一样，触发功能一般也局限于IF电平触发和外部触发，这些触发方式对于异常的频谱事件无能为力，如果这些瞬态信号刚好出现在VSA的捕获时间内就可以被显示出来，但更多的情况是瞬态信号出现在处理时间(因为处理时间远远大于捕获时间)内，则就会丢失该信号。

### 实时频谱分析仪：触发，捕获，分析

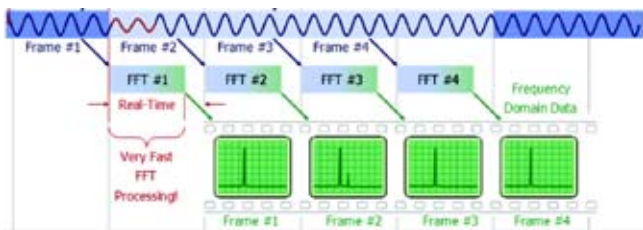
实时频谱分析仪旨在解决与上一节中介绍的瞬时动态RF信号有关的测量挑战。实时频谱分析的基本概念是能够触发RF信号，把信号无缝地捕获到内存中，并在多个域中分析信号。这可望可靠地检测和检定随时间变化的RF信号。实时频谱仪是第三代无线信号分析仪，它源自于扫频仪和矢量信号分析仪但又在综合能力方面超越它们。实时频谱仪可以做频谱分析、数字解调分析，同时还具备了瞬态信号捕获和分析所需的一切功能。下图是简化的RSA(实时频谱仪)方框图：



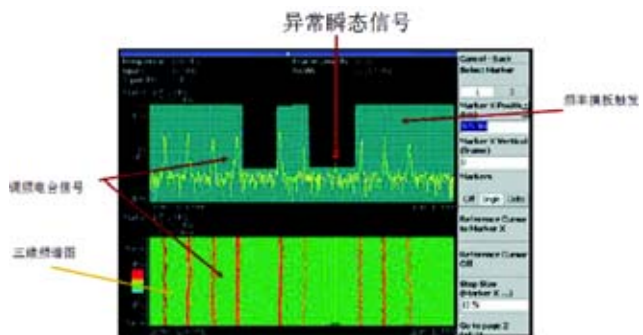
## 实时频谱仪原理

### ■ 应用指南

从这个图中我们可以看到，实时频谱仪和矢量信号分析仪基本原理几乎是一样的。同样是射频信号下变频到中频，然后ADC数字化宽带IF信号，下变频、滤波和检测均以数字方式进行。时域到频域转换使用FFT算法完成。其中关键的区别就在于数字信号处理部分即图中红色圆圈部分。在实时频谱仪中增加了实时FFT专门的硬件设备，这个设备提供实时FFT处理和频域模板触发功能。其处理能力远远高于软件FFT处理，能够实时地处理采集到的数据。如下图：



时域采集的信号通过FFT变换转变到频域，当处理速度足够快时就可以做到实时处理。如上图所示，第二帧出现的瞬态异常信号就可以在下面的频谱图中显示出来。在实时频谱仪中也采用了批处理的技术，也可以设置捕获时间长度，连续捕获很多帧，然后再处理。这样也会带来丢失异常信号的可能性。但实时频谱仪采用了有效的触发技术，除了普通的IF电平触发和外部触发，还有独一无二的频率模板触发，即直接在频域上发现瞬态信号然后触发，这样在没有瞬态信号时可能会丢失一些帧的数据，但当瞬态信号出现时就可以触发捕获，保证了百分百地捕获率。如下图所示：



在上图中是调频电台信号，我们可以画一个模板（如图中所示）把所有正常的信号匡在模板内，一旦出现了异常瞬态信号超出了模板就引起触发，就可以把信号捕获下来，然后在时域、频域和调制域进行分析。

## 实时频谱分析仪的主要概念

### 样点、帧和块

RTSA进行的测量使用数字信号处理(DSP)技术实现。为了解怎样在时域、频域和调制域中分析RF信号，首先需要考察仪器怎样采集和存储信号。在ADC数字化转换信号之后，信号使用时域数据表示，然后可以使用DSP计算所有频率和调制参数。第二章中详细讨论了这些概念。

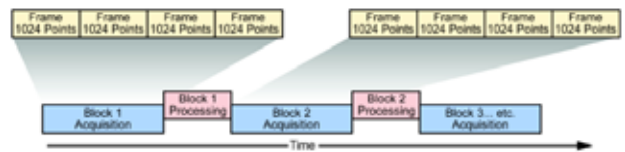
在RTSA使用实时采集无缝捕获信号时，三个条件(样点、帧和块)描述了存储的数据层级。图1-5是样点-帧-块结构。

数据层级的最低层是样点，它代表着离散的时域数据点。这种结构在其它数字取样应用中也很常见，如实时示波器和基于PC的数字转换器。决定相邻样点之间时间间隔的有效取样速率取决于选择的跨度。在RTSA中，每个样点作为包含幅度和相位信息的I/Q对，存储在内存中。

下一层是帧。帧由整数个连续样点组成，是可以应用快速傅立叶变换(FFT)把时域数据转换到频域中的基本单位。在这一过程中，每个帧产生一个频域频谱。

采集层级的最高层是块，它由不同时间内无缝捕获的许多相邻帧组成。块长度(也称为采集长度)是一个连续采集表示的总时间。块内部表示输入信号时没有时间间隔。

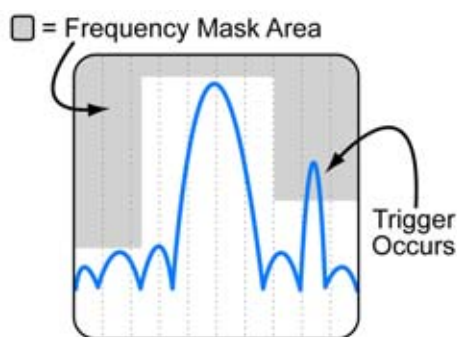
在RTSA实时测量模式下，它无缝捕获每个块，并存储在内存中。然后它使用DSP技术进行后期处理，分析信号的频率、时间和调制特点。在标准频谱分析仪模式下，RTSA步进通过超过最大实时带宽的频段中的RF前端，来仿真扫频分析仪。第4章中介绍了更多的信息。



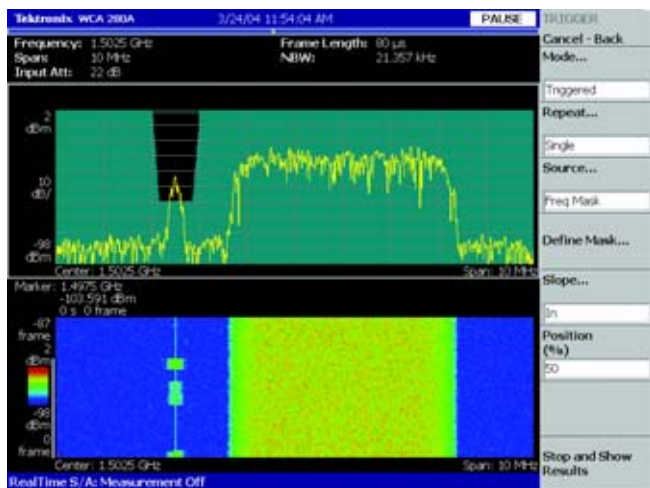
■ 图1-6：实时频谱分析仪块采集和处理。

图 1-6 显示了块采集模式，可以实现实时无缝捕获。对块内部的所有帧，每个采集在时间上都是无缝的，但在块之间不是无缝的。在一个采集块中的信号处理完成后，将开始采集下一个块。一旦块存储在内存中，可以应用任何实时测量。例如，实时频谱模式下捕获的信号可以在解调模式和时间模式下分析。

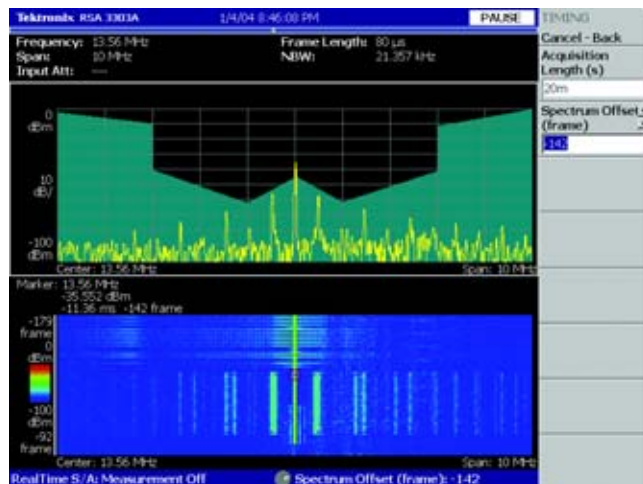
通过把采集长度除以帧长度，可以确定块内采集的帧数。用户输入的采集长度要四舍五入，因此块包含整数数帧。最大采集长度为几秒到几天，取决于选择的测量跨度和仪器的内存深度。第 4 章中给出了特定的 RTSA 实例。



■ 图 1-7：采用频率模板的实时频域触发。



■ 图 1-8：使用频率模板，在存在大的信号时触发低电平脉冲。



■ 图 1-9：使用频率模板，在拥挤的频谱环境中触发特定信号。

### 实时触发

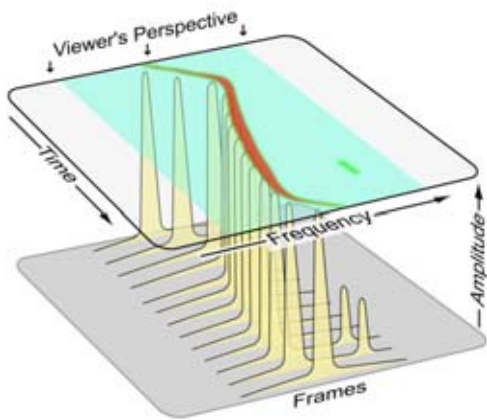
有效触发一直是大多数频谱分析工具中缺失的项目。RTSA是第一个主流频谱分析仪，除了简单的IF电平和外部触发功能外，它提供了实时频域触发和其它直观的触发模式。传统扫频结构不太适合实时触发，其原因有很多，但最重要的原因在于扫频频谱分析仪使用触发事件开始扫描，而RTSA则使用触发事件作为无缝采集信号的时间参考点。这实现了许多其它有用的功能，如能够同时存储触发前的信息和触发后的信息。第2章深入讨论了RTSA的实时触发器。

RTSA的另一个重要功能是实时频率模板触发，允许用户根据频域中的特定事件触发采集。如图 1-7 所示，它画出一个模板，定义分析仪实时带宽内部将生成触发事件的条件集合。

灵活的频率模板触发器为可靠地检测和分析动态RF信号提供了一个强大的工具。它还可以用来进行传统频谱分析仪不可能完成的测量，如在存在强大的RF信号时捕获小电平瞬时事件(如图1-8所示)，在拥挤的频谱范围内检测特定频率上的间歇性信号(如图 1-9 所示)。

## 实时频谱仪原理

### ■ 应用指南



■ 图 1-10: 频谱图显示。

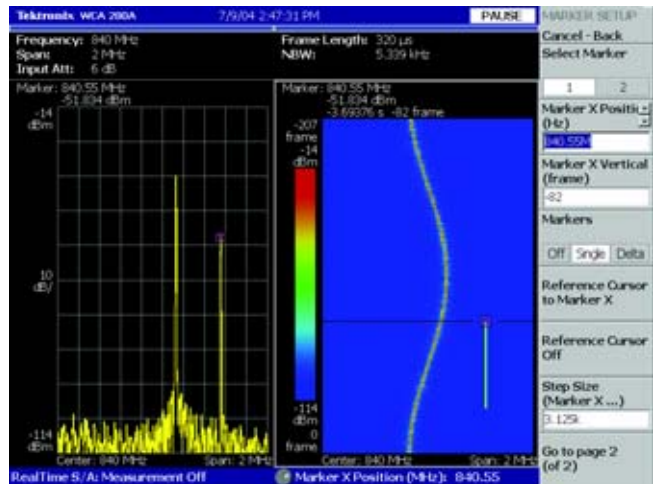
### 无缝捕获和频谱图

一旦定义了实时触发条件，仪器准备开始采集，RTSA 会连续检查输入信号，考察指定的触发事件。在等待这个事件发生时，信号会不断数字化，时域数据循环通过先进先出捕获缓冲器，在累积新数据时，缓冲器会丢弃最老的数据。这使得分析仪在检测到触发事件时，能够把触发前和触发后的数据保存到内存中。

如前几节所述，这一过程可以无缝采集指定的块，其中信号用连续的时域样点表示。一旦这些数据存储在内存中，它可以使用不同的显示画面进行处理和分析，如功率与频率关系、频谱图和多域图。样点数据一直在随机访问的内存中提供，直到它被后续采集覆盖，另外它还可以保存到 RTSA 的内置硬驱中。

频谱图是一个重要的测量项目，它直观地显示了频率和幅度怎样随时间变化。横轴表示传统频谱分析仪在功率与频率关系图上显示的相同的频率范围。在频谱图中，竖轴表示时间，

幅度则用轨迹颜色表示。每“片”频谱图与从一个时域数据帧中计算得出的一个频谱相对应。图 1-10 显示了动态信号频谱图的概念图。



■ 图 1-11: 时间相关的多个视图: 功率与频率关系图(左)和频谱图(右)。

图 1-11 是一个屏幕快照，显示了功率与频率关系及图 1-10 中所示信号的频谱图。在频谱图上，最老的帧显示在图的顶部，最新的帧显示在图的底部。这一测量显示了频率随时间变化的 RF 信号，它还揭示了在时间块末尾附近出现和消失的小瞬时信号。由于数据存储在内存中，可以使用标尺，“在时间上向回滚动”频谱图。在图 1-11 中，标尺已经放在频谱图的瞬时事件上，这导致与某个时点相对应的频谱显示在功率与频率关系图上。

### 时间相关的多域分析

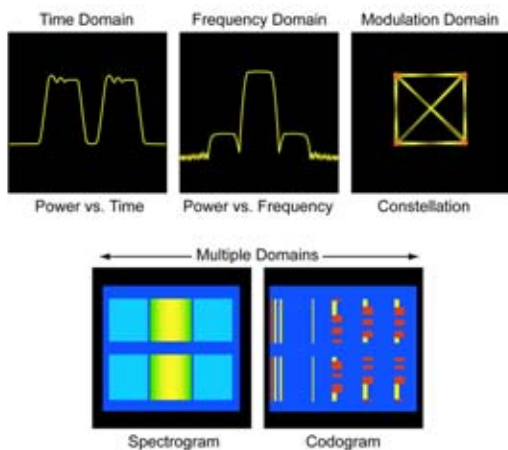
一旦信号已经采集并存储在内存中，可以使用 RTSA 中提供的各种时间相关视图分析信号，如图 1-12 所示。

这对设备调试和信号检定应用特别有用。所有这些测量都基于同一套底层时域样点数据，其突出表现出两大结构优势：

- 在频域、时域和调制域中，通过一次采集进行全方位信号分析。
- 多域相关，了解频域、时域和调制域中的特定事件怎样在公共时间参考上相关。

在实时频谱分析模式下，RTSA 提供了被捕获信号的两个时间相关图：功率与频率关系图和频谱图。图 1-11 是这两个视图。



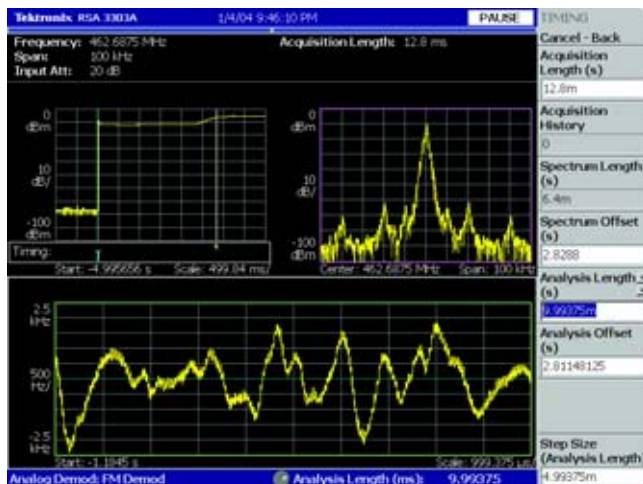


■ 图 1-12: RTSA 上提供的多个时间相关测量项目图。

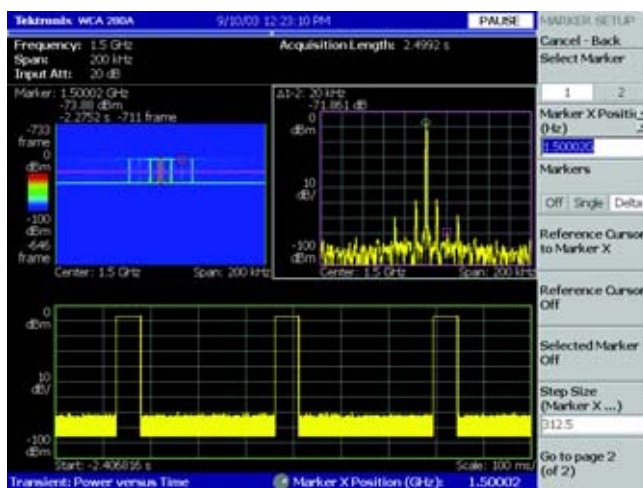
在进行时域分析和调制域分析的其它实时测量模式下，RTSA显示了被捕获信号的多个视图，如图 1-13和图 1-14 所示。左上方的窗口称为概况图，它可以显示功率随时间变化情况或频谱图。概况显示了块中采集的所有数据，它作为其它分析窗口的索引使用。

右上方的窗口(用紫色标出)称为子图，它显示了实时频谱分析仪模式下提供的同一功率与频率关系图。与图 1-11 中的显示画面一样，这是一个数据帧的频谱，可以滚动整个时间记录，查看任何时点上的频谱。这通过调节频谱偏置实现，其位于 RTSA 的 Timing (定时)菜单中。另外还要注意，在概况图中有一个紫条，表明与紫色子图窗口中的频域显示相对应的时点位置。

屏幕下半部分的窗口(用绿色标出)称为分析窗口或主图，它显示了选择的时间或调制分析测量的结果。



■ 图 1-13: 显示功率随时间变化、功率与频率关系及 FM 解调的多域图。



■ 图 1-14: 显示频谱图、功率与频率关系及功率随时间变化的多域图。

图 1-13 显示了频率调制分析实例，图 1-14 显示了瞬时功率随时间变化情况分析实例。与子图窗口一样，绿色的分析窗口可以位于概况窗口所示的时间记录内部任何位置，它也有相应的绿条，表明其位置。此外，可以把分析窗口的宽度灵活地调节到小于或大于一个帧。

时间相关的多域分析提供了巨大的灵活性，可以使用各种分析工具，放大和全面检定采集的 RF 信号的不同部分。第 3 章中介绍了这些测量。

## 实时频谱仪原理

### ■ 应用指南

## 第二章：实时频谱分析仪的工作方式

现代实时频谱分析仪可以采集分析仪输入频率范围内任何地方的传输频带或跨度。这一功能的核心是RF下变频器，后面跟有一个宽带中间频率(IF)段。ADC数字化IF信号，系统以数字方式执行所有进一步的步骤。FFT算法实现时域到频域变换，后续分析生成频谱图、码域图等显示画面。

可以通过多个关键特点区分实时结构是否成功：

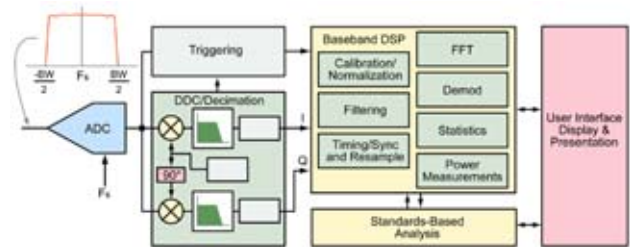
- ADC系统能够数字化整个实时带宽，并具有足够的保真度，支持希望的测量。
- 集成信号分析系统，对被测信号提供多个分析视图，并在时间上相关。
- 足够的捕获内存和DSP能力，在希望的时间测量周期上实现连续实时采集。
- DSP处理能力，在频域中实现实时触发。

本章包含了泰克实时频谱分析仪(RSA)主要采集和分析模块的多个结构图，其中忽略了某些辅助功能(小的触发相关模块、显示和键盘控制器等)，以更清楚地进行讨论。

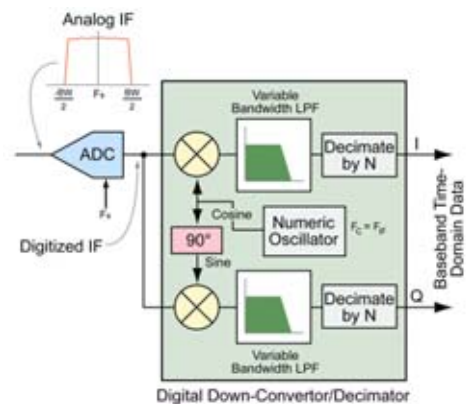
### 实时频谱分析仪中的数字信号处理技术

泰克RSA结合使用模拟信号处理和数字信号处理技术，把RF信号转换成校准的时间相关多域测量。本节将介绍RSA信号处理流程的数字部分。

图2-1显示了泰克RSA系列中使用的主要数字信号处理模块。模拟IF信号经过传输频带滤波和数字转换。数字下变频和抽样过程把A/D样点转换成同相(I)和正交(Q)基带信号流。触发模块检测信号条件，控制采集和定时。基带DSP系统使用基带I和Q信号及触发信息，通过FFT、调制分析、功率测量、定时测量及统计分析等手段，进行频谱分析。



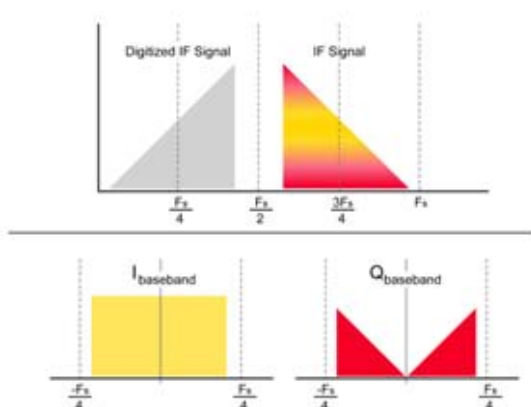
■ 图 2-1：实时频谱分析仪数字信号处理方框图。



■ 图 2-2：数字下变频器方框图。

### IF 数字转换器

泰克RSA一般会数字化以中间频率(IF)为中心的一个频段。这个频段或跨度是可以进行实时分析的最宽的频率范围。在高IF上进行数字转换、而不是在DC或基带上进行数字转换，具有多种信号处理优势(杂散性能、DC抑制、动态范围等)，但如果直接处理，可能要求额外的计算进行滤波和分析。泰克RSA采用图2-2所示的数字下变频器(DDC)和采样器，以有效的、对选择的跨度足够高的取样速率把数字化的IF转换成I和Q基带信号。



■ 图 2-3：即使只是取样速率的一半，I 和 Q 仍保持传输频带信息。

### 数字下变频器

IF 信号以取样速率  $F_s$  进行数字转换。然后把数字转换后的 IF 发送到 DDC。DDC 中的数字振荡器在感兴趣的波段中心频率上生成正弦和余弦。正弦和余弦以数字方式乘以数字化 IF，生成 I 和 Q 基带样点流，其中包含原始 IF 中包含的所有信息。然后 I 和 Q 流经过可变带宽低通滤波器。低通滤波器的截止频率根据选择的跨度而变化。

### I 和 Q 基带信号

图 2-3 显示了提取频段、并使用正交下变频将其转换到基带中的过程。在三个半取样频率和取样频率之间的空间中包含着原始 IF 信号。取样在零和一个半取样频率之间生成这个信号的图像。然后信号乘以感兴趣的传输频带中心的相干正弦和余弦信号，生成 I 和 Q 基带信号。基带信号是实数值，在零点两边对称。正负频率中包含着同样的信息。原始传输频带中包含的所有调制也包含在这两个信号中。每个信号要求的最低取样频率现在是原始频率的一半，然后可以两两采样。

表 2-1：选择的跨度、采样和有效取样速率。  
(泰克 RSA3300A 系列)

跨度	采样(n)	有效取样速率	时间分辨率
15 MHz	2	25.6 MS/s	39.0635 纳秒
10 MHz	4	12.8 MS/s	78.1250 纳秒
1 MHz	40	1.28 MS/s	781.250 纳秒
100 KHz	400	128 kS/s	7.8125 纳秒
10 KHz	4000	12.8 kS/s	78.125 纳秒
1 KHz	40000	1.28 kS/s	781.25 纳秒
100 Hz	400000	128 S/s	7.81250 ms

### 采样

内奎斯特定理指出，对基带信号，只需以等于感兴趣的最高频率两倍的速率取样。时间和频率是倒数关系。为了解低频率，必需观察很长的时间记录。可以使用采样平衡跨度、处理时间、记录长度和内存使用量。

例如，泰克 RSA3300A 系列在模数转换器上使用 51.2 MS/s 取样速率，数字化 15 MHz 带宽或跨度。I 和 Q 记录 DDC 之后的结果，这 15 MHz 跨度的滤波和采取的有效取样速率是原始取样速率的一半，即 25.6 MS/s。样点的总数没有变化：我们得到两个样点集合，每个集合的有效取样速率是 25.6 MS/s，而不是速率为 51.2 MS/s 的单一集合。对更窄的跨度将进一步进行采样，导致对相同数量的样点得到更长的时间记录。有效取样速率较低的缺点是降低了时间分辨率。有效取样速率较低的优点是在时间记录一定时，减少了计算工作，降低了内存使用量，如表 2-1 所示。

### 取样速率对时域和频域的影响

使用采样降低有效取样速率对重要的时域和频域测量参数具有多种影响。图 2-4 和图 2-5 中的实例比较了宽跨度和窄跨度。第 4 章的常见问题中更详细地进行了讨论，并提供了更多的实例。

## 实时频谱仪原理

### ■ 应用指南

表 2-2: 改变跨度设置对时域和频域的影响比较。(泰克 RSA3300A 系列)

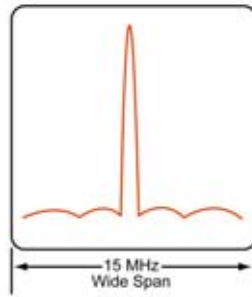
仪器设置	宽跨度	窄跨度
跨度	15 MHz	1 kHz
取样速率	51.2 MS/s	51.2 MS/s
采样	2	32000
有效取样速率	25.6 MS/s	1.6 kS/s
<b>对时域的影响</b>		
时域分辨率(取样)	39.0 纳秒	625 微秒
频谱图时间分辨率(帧长度)	40.0 微秒	640 毫秒
最大记录长度(256 MB 内存)	2.56 秒	11.4 小时
<b>对频域的影响</b>		
频率分辨率(FFT 二元组宽度)	25.0 kHz	1.56 Hz
NBW (噪声带宽)	43.7 kHz	2.67 Hz
同等高斯 RBW	41.2 kHz	2.52 Hz

宽捕获带宽显示了频域分辨率相对较低的宽频率跨度。与较窄的捕获带宽相比，取样速率越高，分辨率带宽越宽。在时域中，帧长度越短，时间分辨率越好。记录长度与存储的样点数量成正比，但这些样点表示的时间数量较短。图 2-4 显示了宽带宽捕获，表 2-2 提供了实际环境实例。

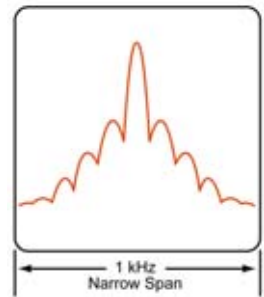
相比之下，窄捕获带宽显示了频域分辨率较高的小频率跨度。与宽捕获带宽相比，取样速率越低，分辨率带宽越窄。在时域中，帧长度越长，时间分辨率越粗，提供的记录长度涵盖的时间越多。图 2-5 显示了窄带宽捕获，表 2-2 提供了实际环境实例。注意数量级，如频率分辨率与宽带捕获相差数百倍。

### 实时触发

实时频谱分析仪在频谱和调制分析中增加了时域处理能力。触发对捕获时域信息至关重要。RSA 提供了独特的触发功能，它提供了功率触发和频率模板触发及常用的外部触发和基于电平的触发功能。

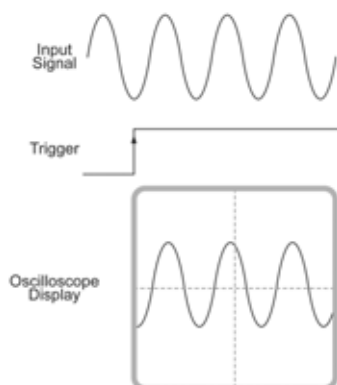


■ 图2-4 宽捕获带宽实例。



■ 图2-5 窄捕获带宽实例。

最常见的触发系统是大多数示波器中使用的触发系统。在传统模拟示波器中，要观察的信号输送到一个输入中，而触发则输送到另一个输入中。触发事件导致启动水平扫描，信号幅度则显示为重叠在校准的格线上的垂直位移。在最简单的形式下，模拟触发支持在观察的触发器之后发生的事件，如图 2-6 所示。



■ 图 2-6 传统示波器触发。

### 在具有数字采集的系统中触发

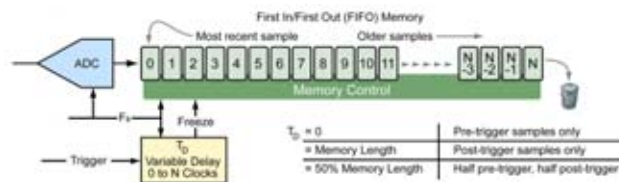
能够以数字方式表示和处理信号，并配以大的内存容量，可以捕获触发前及触发后发生的事件。

泰克RSA中使用的数字采集系统采用模数转换器(ADC)，在深内存中填充接收的信号时戳。从概念上说，新样点连续输送到内存中，最老的样点将离开内存。图 2-7 中所示的实例说明了配置成存储 N 个样点的内存。触发到达时，采集停止，内存内容被冻结。在触发信号通路中增加可变延迟，将支持在触发前发生的事件及在捕获后出现的事件。

考虑一下没有任何延迟的实例。在触发同步的样点存储后，触发事件导致内存立即冻结。然后内存会包含触发时的样点及触发前发生的“N”个样点。它只存储触发前的事件。

现在考虑一下把延迟设置成与内存长度完全匹配的实例。在触发发生后、内存冻结前，可以有“N”个样点进入内存中。然后内存包含触发后“N”个信号活动样点。它只存储触发后的事件。

如果延迟设成内存长度的一部分，那么既可以捕获触发前事件，也可以捕获触发后事件。如果延迟设置成内存深



■ 图 2-7 数字采集系统中的触发技术。

度的一半，那么存储的一半样点是触发之前的样点，存储的一半样点是触发之后的样点。这种概念与传统扫频分析仪中零跨度模式使用的触发延迟类似。但是，RSA 可以捕获长得多的时间记录，然后可以在频域、时域和调制域中分析这些数据。这为信号监测和设备调试等应用提供了一个强大的工具。

### 触发模式和特点

自由运行模式采集接收的 IF 信号样点，而没有考虑任何触发条件。在采集和处理时，将显示频谱、调制或其它指标。

触发模式要求触发源及设置各种参数，定义触发条件及与触发对应的仪器行为。

选择连续触发还是单次触发决定着每次触发发生时是重复采集，还是每次在准备测量时只采集一次。触发位置可以在 0-100% 范围内调节，可以选择块的哪个部分是触发前的部分。如果选择 10%，那么捕获的触发前数据是选择的块的 1/10，捕获的触发后数据是选择的块的 9/10。触发坡度允许选择上升沿、下降沿或其组合进行触发。上升和下降可以捕获整个脉冲。上升和下降可以捕获其它连续信号中的间隔。

## 实时频谱仪原理

### ■ 应用指南

表 2-3: RSA 触发源比较。

触发源	触发信号	设置单位	时间分辨率	备注
外部	外部触发连接器信号	TTL 电平	时域点(基于有效的取样速率)	外部控制信号
电平	A/D 输出上的电平比较器	% A/D 全标	时域点(基于有效的取样速率)	全部 IF 带宽
功率	DDC/ 采样器输出上的功率计算	相对于顶部格线的 dB 全标	时域点(基于有效的取样速率)	跨度设置定义的带宽
频率模板	FFT 处理器输出上逐点比较	dB 和 Hz, 基于屏幕上画出的格线模板	帧长度(基于有效的取样速率)	用户定义的灵活的模板特性文件

#### RSA 触发源

泰克 RSA 提供了多种内部触发和外部触发方法。表 2-3 概括了各种实时触发源、其设置及与每种设置有关的时间分辨率。

外部触发允许外部 TTL 信号控制采集。这一般是一个控制信号，如来自被测系统的频率切换命令。这个外部信号会提示用户在被测系统中采集事件。

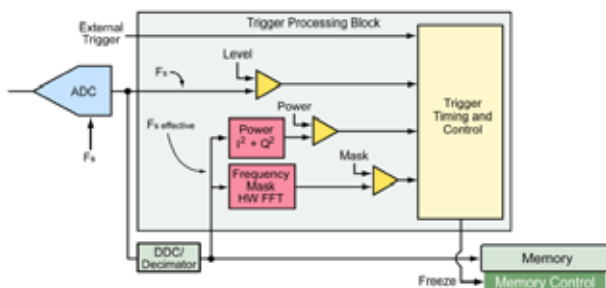
内部触发取决于被测信号的特点。RSA 能够根据数字化信号的电平、滤波和取样后的信号功率或使用频率模板触发器在发生特定频谱成分时触发采集。每个触发源和触发模式都在频率选择度、时间分辨率和动态范围方面提供了特定的优势。图 2-8 显示了支持这些特点的功能单元。

电平触发把 ADC 输出上的数字化信号与用户选择的设置进行比较。即使在观察要求进一步滤波和采样的窄跨度时，仍可以使用数字化信号的全部带宽。电平触发采用全数字化速率，可以在全部取样速率时检测时长短到一个样点的事件。但是，下行分析的时间分辨率受到采样的有效取样速率的限制。触发电平设置成 ADC 削波电平

的百分比，即其最大二进制值(全“1”)。这是一个线性数量，不要与对数显示混淆，后者用 dB 表示。

功率触发计算滤波和采样后的信号功率。每个滤波的 I/Q 样点对的功率( $I^2+Q^2$ )与用户选择的功率设置进行比较。设置使用 dB 表示，而对数屏幕上显示的则是全标(dBfs)。0 dBfs 设置把触发电平放在顶部格线上，在跨度中包含的总功率超过该触发电平时，将生成触发。在跨度中的总功率达到比顶部格线低 10 dB 的电平时，-10 dBfs 的设置将触发采集。注意，跨度中的总功率会生成触发。例如，每个电平为 -3 dBm 的两个 CW 信号，总功率为 0 dBm。

频率模板触发把频谱形状与用户定义的模板进行对比。这种技术功能强大，允许频谱形状变化触发采集。即使在存在电平高得多的其它信号时，频率模板触发仍可以可靠地检测远远低于全标的信号。这种在存在强信号时触发弱信号的能力，对检测间歇性信号、是否存在互调产物、瞬时频谱包容超限等至关重要。比较信号与模板要求全面 FFT，要求一个完整的帧。频率模板触发器的时间分辨率大约是一个 FFT 帧，或有效取样速率的 1024 个



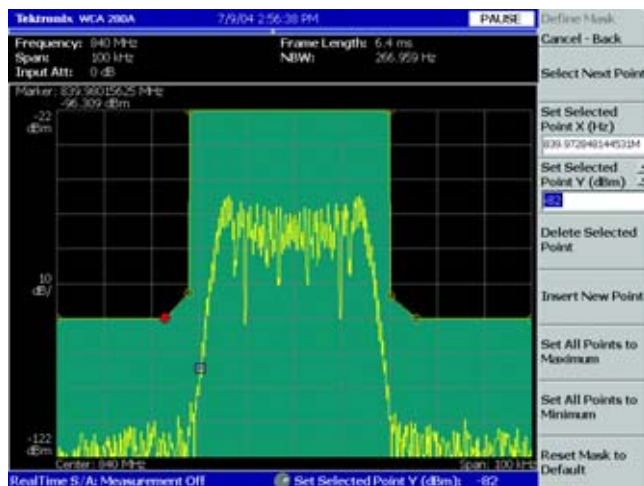
■ 图 2-8 实时频谱分析仪触发处理。

样点。它使用专用硬件 FFT 处理器在时域中确定触发事件，如图 2-8 中的方框图所示。

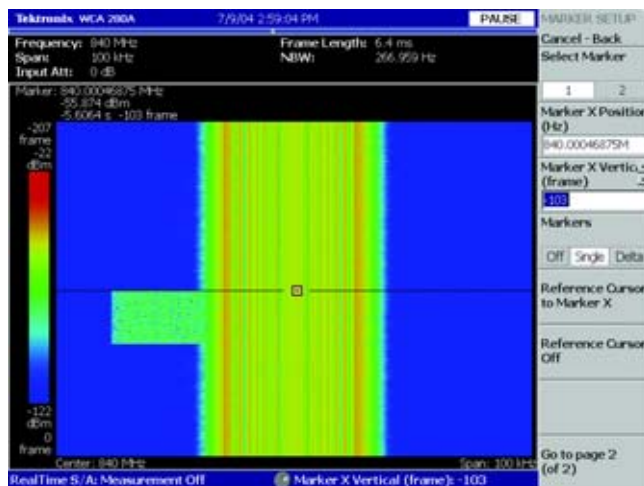
### 建立频率模板

与其它形式的模板测试一样，频率模板触发(也称为频域触发)先要定义一个屏幕上模板。这种定义通过一个频点及幅度集合完成。模板可以逐点定义，也可以使用鼠标或其它指向设备以图形方式画出。可以设在模板边界外面的信号“突入”边界时触发，也可以设置在模板边界内部的信号“突出”边界时触发。

图 2-9 显示了一个定义的频率模板，允许通过信号的正常频谱，但不允许瞬时畸变通过。图 2-10 显示了在信号瞬时超过模板时触发的采集的频谱图。图 2-11 显示了超过模板的第一个帧的频谱。注意，其采集了触发前的数据和触发后的数据，频谱图中同时显示了这些数据。



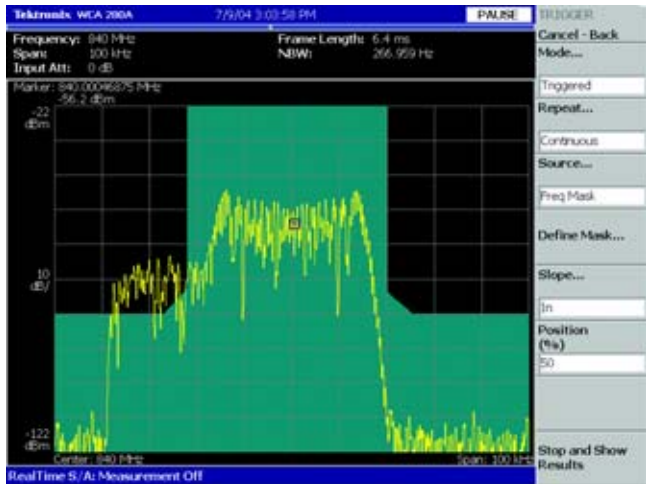
■ 图 2-9 频率模板定义。



■ 图 2-10 显示了与载波相邻的瞬时信号的频谱图。光标设在触发点上，因此光标线以上显示的是触发前的数据，光标线以下显示的是触发后的数据。蓝色区域左边的窄白线表明了触发后的数据。

## 实时频谱仪原理

### ■ 应用指南



■ 图 2-11 频谱图的一个帧，显示了瞬时信号越过频率模板边界的瞬态事件。

### 定时和触发

在与触发一起使用时，定时控制为分析瞬时参数或其它定时相关参数提供了强大的组合。

采集长度规定了响应触发的样点存储在内存中的时间长度。采集历史决定着在每个新触发后将保留多少个以前的采集。泰克 RSA 在时域概况窗口中显示了整个采集长度。

频谱长度决定着计算的频谱显示图的时间长度。频谱偏置决定着触发事件瞬间直到显示的 FFT 帧开始的延迟时间或提前时间。频谱长度和频谱偏置的时间分辨率都是一个 FFT 帧(在有效的取样速率上是 1024 个样点)。泰克 RSA 在时域概况窗口底部，使用色条表示频谱偏置和频谱长度。色条颜色被键入到相关的显示画面中。

分析长度决定着进行调制分析及其它基于时间的测量的时间长度。分析偏置决定着从触发瞬间直到分析开始时

的延迟时间或提前时间。泰克 RSA 在时域概况窗口底部使用一个色条表明分析偏置和长度。色条颜色被键入到相关的显示画面中。

输出触发指示器允许用户在触发瞬间选择性地启动 TTL 后面板输出。它可以用来把 RSA 测量与其它仪器同步，如示波器或逻辑分析仪。

### 基带 DSP

几乎所有实时频谱分析仪测量都是通过 DDC/ 采样模块生成的、存储在采集内存中的 I 和 Q 数据流的数字信号处理(DSP)进行的。下面介绍了 DSP 实现的部分主要功能模块。

### 校准 / 归一化

校准和归一化补偿模数转换器之前的模拟电路的增益和频响。校准在工厂内进行，并作为校准表存储在内存中。在计算时，将在测量中进行存储表校正。校准提供了可以溯源正式标准机构的精度。归一化是在内部进行的、校正温度变化、老化和设备之间差异引起的变化所进行的测量。与校准一样，归一化常量存储在内存中，作为测量计算的校正值使用。

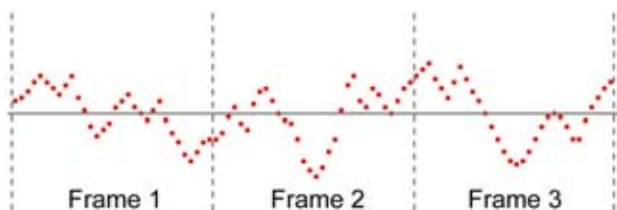
### 滤波

除 IF 和 DDC/ 采样器中的滤波器外，许多测量和校准过程要求滤波。滤波以数字方式在内存中存储的 I 和 Q 样点上完成。

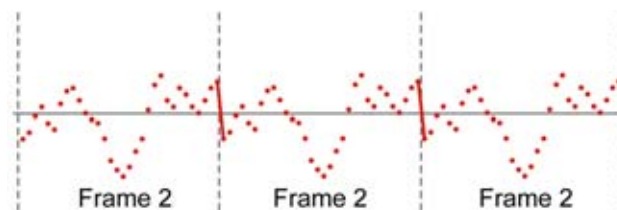
### 定时、同步和二次取样

信号之间的定时关系对许多现代 RF 系统非常关键。泰克 RSA 提供了频谱、调制和功率时间相关分析，允许测量和研究各种 RF 特点之间的时间关系。解调和脉冲处理需要时钟同步和信号二次取样。





■ 图 2-12 取样的时域信号的两个帧。



■ 图 2-13 单个帧中样点的周期扩展引起的不连续点。

### 快速傅立叶变换分析

快速傅立叶变换(FFT)是实时频谱分析仪的核心。在RSA中,一般采用FFT算法,把时域信号转换成频域频谱。从概念上说,FFT处理可以视为把一个信号传送通过一群频率分辨率和带宽相等的并行滤波器。FFT输出一般是复数值。在频谱分析中,复数结果的幅度通常最为重要。

FFT流程始于正确采样和滤波的基带I和Q成分,其构成了信号的复数表示,其中I是实数部分,Q是虚数部分。在FFT处理中,同时处理由复数I和Q信号组成的样点集合。这个样点集合称为FFT帧。FFT在取样的时间信号上操作,生成长度相同的取样的频率函数。FFT中的样点数量通常是2的幂,也称为FFT长度。例如,1024点FFT可以把1024个I样点和1024个Q样点变换成1024个复数频域点。

#### FFT属性

在进行FFT时,样点集合表示的时间数量在RSA中称为帧长度。帧长度是FFT长度和取样周期的乘积。由于计算得出的频谱是信号在帧长度期间的频率表示,因此从相应的频谱中,在帧长度内部不能分辨出临时事件。因此,帧长度是FFT过程的时间分辨率。

FFT处理的频域点通常称为FFT二元组。因此,FFT长度等于一个FFT帧中的二元组数量。这些二元组相当于前面讨论的并行滤波器中的各个滤波输出。所有二元组的

频率间隔是相等的。将不能分辨间隔小于二元组宽度的两个频谱线。因此,FFT频率分辨率是每个频率二元组的宽度,其等于取样频率除以FFT长度。鉴于取样频率相同,FFT长度越大,频率分辨率越好。对取样速率为25.6 MHz、FFT长度为1024的RSA,频率分辨率为25 kHz。

通过提高FFT长度或降低取样频率,可以改善频率分辨率。如前所述,RSA使用数字下变频器和采样器,在频率跨度变窄时降低有效的取样速率,从而用时间分辨率换取频率分辨率,同时把FFT长度和计算复杂程度保持在可以管理的水平。在较粗的频率分辨率已经足够时,这种方法可以精细地分辨窄跨度,而不会在宽跨度上花费过多的时间。分辨率远远高于显示点的FFT在仪器屏幕上不会提供任何额外的信息。

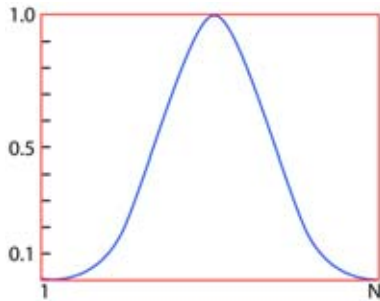
#### 窗口

在离散傅立叶变换和FFT分析中,一个固有的假设是要处理的数据是单个周期定期重复的信号。图2-12描述了一系列时域样点。例如,在帧2上使用FFT处理时,在信号上进行周期扩展。一般会在连续帧之间发生不连续点,如图2-13所示。

这些人为的不连续点生成原始信号中不存在的杂散响应,在附近存在大的信号时,不可能检测到小的信号。这种效应称为频谱泄漏。

## 实时频谱仪原理

### ■ 应用指南



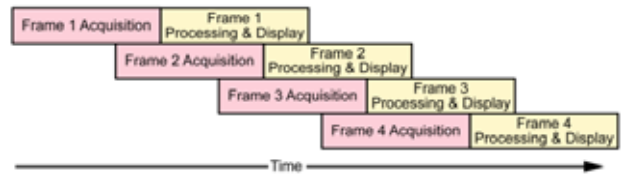
■ 图 2-14 Blackman-Harris 4B (BH4B) 窗口轮廓。

泰克 RSA 在进行 FFT 处理前对 FFT 帧采用窗口技术，以降低频谱泄漏的影响。窗口函数通常是一个钟状。有许多窗口函数，图 2-14 是流行的 Blackman-Harris 4B (BH4B) 轮廓。

图 2-11 所示的 Blackman-Harris 4B 窗口函数对第一个样点和最后一个样点的取值为零，其间有一个连续的曲线。把 FFT 帧乘以窗口函数，可以降低帧两端的不连续点。在 Blackman-Harris 窗口中，我们可以消除所有不连续点。

窗口效应是在窗口中心的样点上放置的权重要高于偏离中心的样点，在两端的值将达到零。这可以视为有效降低计算 FFT 所用的时间。时间和频率是倒数关系。时间样点越小，频率分辨率越差(越宽)。对 Blackman-Harris 4B 窗口，有效的频率分辨率约比没有窗口实现的值宽两倍。

窗口的另一个影响是，这个窗口改动的时域数据会产生一个 FFT 输出频谱，它对帧中心的行为最为灵敏，但对帧开始和末尾的行为并不灵敏。出现在 FFT 帧末尾附近的瞬时信号被去加重，可能都会被漏掉。通过使用重叠帧可以解决这个问题，重叠帧是一种复杂的技术，涉及计算时间和时域平坦度折衷，以实现希望的性能。下面对此进行了简要介绍。



■ 图 2-15 使用重叠帧采集、处理和显示信号。

### FFT 后的信号处理

由于窗口函数在帧的两端衰减信号，因此它降低了整体信号功率，从支持窗口功能的 FFT 中测得的频谱幅度必须定标，以提供正确的幅度读数。对纯正弦波信号，标度系数是窗口函数的 DC 增益。

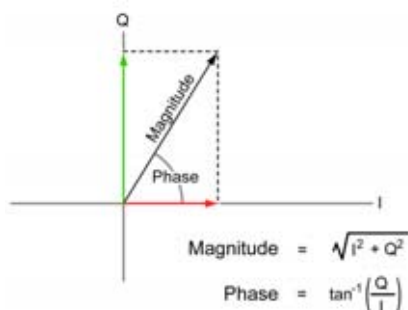
另外还使用后期处理，通过加总每个 FFT 二元组实数部分和虚数部分的平方和，来计算频谱幅度。频谱幅度一般用对数标度显示，因此可以在同一屏幕上同时显示宽量程幅度的不同频率。

### 重叠帧

某些实时频谱分析仪可以使用重叠帧在实时模式下工作。在发生这种情况时，将在采集新帧的同时，处理以前的帧。图 2-15 显示了怎样采集和处理帧。

重叠帧的一个优势是提高了显示更新速率，这一效应在要求采集时间长的窄跨度中最为明显。如果没有重叠帧，那么直到采集整个新帧时才能更新显示屏幕。在使用重叠帧时，将在以前的帧完成前显示新帧。

另一个优点是在频谱图中实现的无缝频域显示。由于窗口滤波器降低了帧的每端样点对零的影响，如果帧没有重叠，在两个相邻帧接合处发生的频谱事件可能会丢失。但是，重叠帧保证了可以在频谱图上查看所有频谱事件，而不考虑窗口效应。



■ 图 2-16 幅度和相位的矢量表示。

### 调制分析

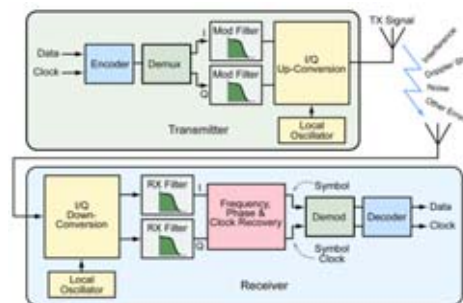
调制是 RF 信号承载信息的手段。使用泰克 RSA 进行调制不仅可以提取传输的数据，还可以测量信号调制的精度。此外，它可以量化许多劣化调制质量的误差和损伤。

现代通信系统已经明显提高了使用的调制格式的数量。RSA 能够分析最常见的格式，并采用一个结构，在新格式出现时分析新的格式。

### 调幅、调频和调相

RF 载波可以根据载波的幅度或相位变化通过多种方式传输信息。频率是相位的时间派生物。因此，调频(FM)是调相(PM)的时间派生物。正交相移键控(QPSK)是一种数字调制格式，其中码判定点发生在 90 度倍数的相位上。正交调幅(AM)是一种高阶调制格式，其中幅度和相位同时变化，提供了多种状态。即使是高度复杂的调制格式，也可以分解成幅度和相位成分，如正交频分复用(OFDM)。

幅度和相位可以视为极坐标系中矢量的长度和角度。同一点可以用 Cartesian 坐标或矩形坐标(X, Y)表示。RSA 在内存中存储的时间样点的 I/Q 格式，在数学运算中相当于 Cartesian 坐标，其中 I 代表横轴或 X 成分、Q 代表竖轴或 Y 成分。



■ 图 2-17 典型的数字通信系统。

图 2-16 显示了矢量的幅度和相位及其 I 和 Q 成分。AM 解调包括为内存中存储的每个 I/Q 样点计算瞬时幅度，并绘制不同时间的结果。PM 解调包括计算内存中 I 和 Q 样点的相位角，并在考虑  $\pm \pi/2$  反正切函数的不连续点后，绘制其在测量期间的结果。一旦计算了整个时间记录的相位轨道或 PM，那么通过取得时间派生物，可以计算出 FM。

### 数字调制

图 2-17 说明了典型数字通信系统中的信号处理。发送过程先从要发送的数据和时钟开始。数据和时钟穿过编码器，编码器重新排列数据，增加同步位，进行误码恢复编码和加扰。然后数据分到 I 和 Q 通路中，进行滤波，从比特变成模拟波形，然后模拟波形上变频到相应的通道，然后通过空中传送。一旦传送，信号在接受前不可避免地会因为环境影响而劣化。

接收过程与传输过程相反，但增加了某些步骤。RF 信号下变频为 I 和 Q 基带信号，然后穿过通常为去掉码间干扰而设计的 RX 滤波器。然后信号通过一种算法，这种算法恢复确切的频率、相位和数据时钟。这一点必不可少，以校正多通路延迟和通路中的多普勒位移，另外 RX 和 TX 局部振荡器通常没有同步。一旦恢复了频率、相位和时钟，将解调和解码信号，校正误码，恢复比特。

# 实时频谱仪原理

## 应用指南

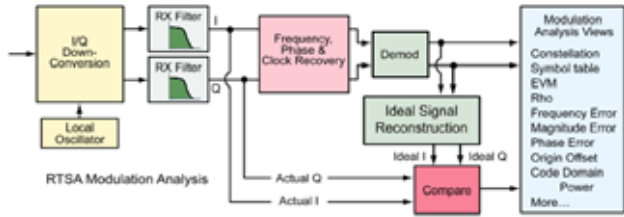


图 2-18 RSA 调制分析方框图。

数字调制的种类很多，包括用户熟悉的 FSK、BPSK、QPSK、GMSK、QAM、OFDM 等等。数字调制通常与通道分配、滤波、功率控制、误码校正和通信协议相结合，涵盖了特定的数字通信标准，其目的是在链路相反的两端，在无线电之间发送无差错的信息比特。在信号通过空中传送时，数字通信格式中引入的复杂度在很大程度上对补偿进入系统的误差和损伤必不可少。

图 2-18 说明了数字调制分析要求的信号处理步骤。其基本流程与接收机相同，但有一点除外，即它使用恢复的

码重建数学上理想的 I 和 Q 信号。这些理想的信号与实际的或劣化的 I 和 Q 信号进行比较，生成要求的调制分析图和测量。

### 功率测量和统计

泰克 RSA 可以在频域和时域中进行功率测量。通过在规定时间内对频谱中的功率求积分，可以进行频域测量。可以使用许多基于标准的测量要求的通道滤波器，获得相应的通道功率。另外还可以使用校准和归一化参数，在所有规定条件下保持精度。

通信标准通常会规定元器件和最终用户设备的统计指标。RSA 拥有测量程序，可以计算信号的互补累积分布函数 (CCDF)，其通常用来检定复调制的信号的峰值均值功率特点。

## 第3章：实时频谱分析仪测量

本章介绍了RSA的工作模式和测量项目。许多相关细节如取样速率和FFT点数与产品密切相关。与本文中的其它测量实例一样，本节中的信息适用于泰克RSA3300A系列实时频谱分析仪。

### 频域测量

#### 实时频谱分析仪

这是第1章讨论频谱图无缝捕获时介绍的模式。它能够实时无缝捕获、实时触发及使用功率与频率关系图和频谱图分析捕获的时域数据。这种模式还提供了多种自动测量功能，如图3-1所示的载频测量。

如第1章中所示，频谱图有三个轴：

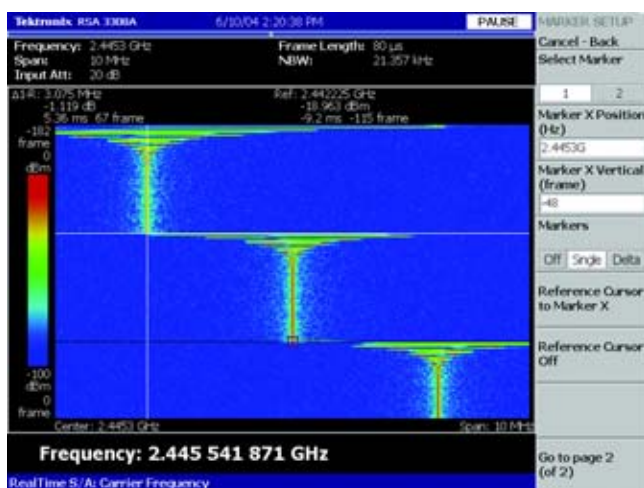
- 横轴表示频率
- 竖轴表示时间
- 颜色表示幅度

在与实时触发功能结合使用时，如图3-2所示，频谱图

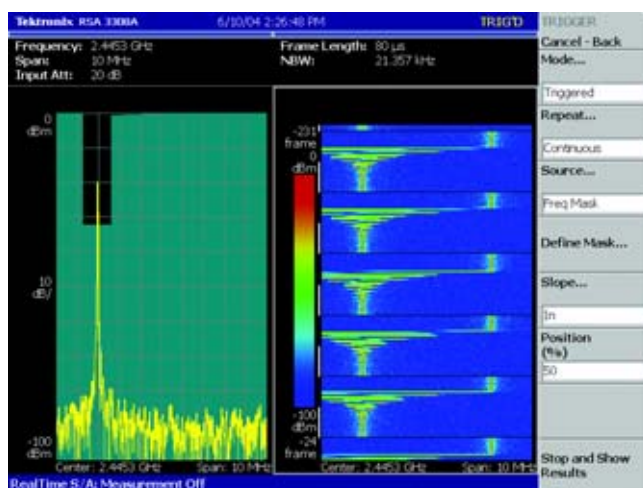
成为更加强大的动态RF信号测量工具。

在使用频谱图时，需要记住的几个要点如下：

- 帧时间与跨度有关(跨度越宽，时间越短)。
- 频谱图的一个竖行 = 一个实时帧。
- 一个实时帧 = 1024 个时域样点。
- 最老的帧位于屏幕顶部，最新的帧位于屏幕底部。
- 块内部的数据被无缝捕获，在时间上是连续的。
- 频谱图的黑色横线表示块之间的边界。在采集之间发生了时间间隔。
- 频谱图左侧的白条表示触发后的数据。



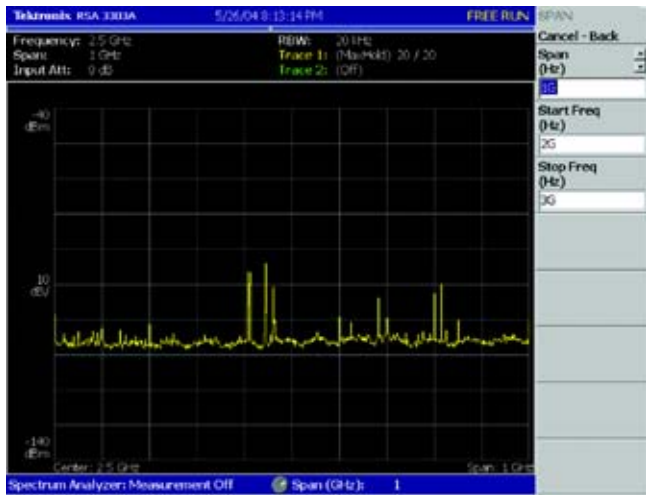
■ 图3-1 实时频谱分析仪模式，显示了跳频信号的频谱图。



■ 图3-2 实时频谱分析仪模式，显示了使用频率模板触发器采集的多个块，以测量频率切换瞬变的可重复性。

## 实时频谱仪原理

### ■ 应用指南



■ 图 3-3 标准频谱分析仪模式，显示了使用最大保持功能在 1 GHz 频率跨度上进行的停播测量。

### 标准频谱分析仪模式

如图 3-3 所示，标准频谱分析仪模式提供了仿真传统扫频分析仪的频域测量。对超过仪器实时带宽的频率跨度，这通过调谐 RSA，通过感兴趣的跨度来实现，其在很大程度上与传统频谱分析仪类似(本章最后的采集部分对此进行了更详细的介绍)。这种模式还提供了可调节的 RBW、平均功能及调节 FFT 和窗口设置的能力。标准频谱分析仪模式下没有提供实时触发和实时无缝捕获功能。

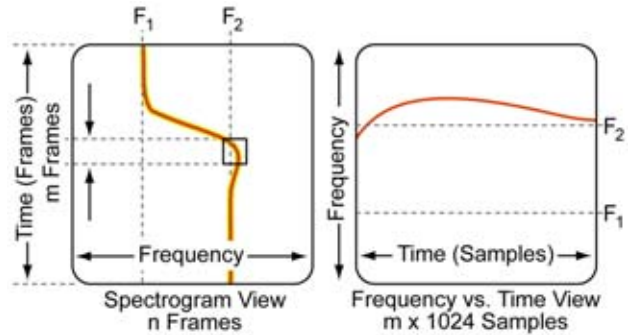
### 带频谱图的频谱分析仪模式

带频谱图的频谱分析仪模式提供了与标准频谱分析仪模式相同的功能，但增加了频谱图显示。这种模式也允许用户选择大于 RSA 最大实时采集带宽的跨度。但是，与实时频谱分析仪模式不同的是，带频谱图的频谱分析仪模式没有实时触发功能，也没有无缝捕获功能，数据没有存储在仪器的内存中。这就不可能在时间上向回滚动频谱图上显示的数据。

### 时域测量

#### 频率随时间变化

频率随时间变化在竖轴上表示频率，在横轴上表示时间。它提供了与频谱图上显示的类似结果，但有两个重大差别。第一，频率随时间变化图的时域分辨率要远远好于

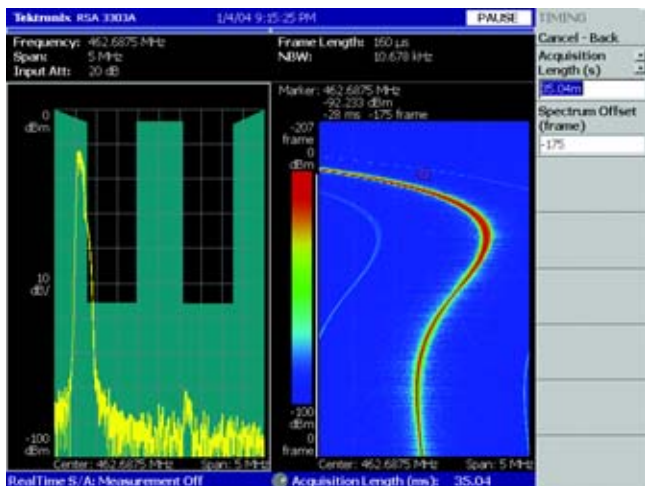


■ 图 3-4 频谱图与频率随时间变化图比较。

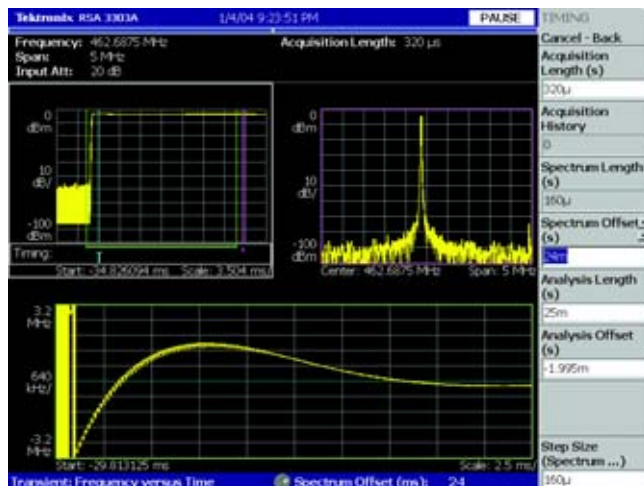
频谱图，下面对此进行了详细介绍。第二，这一指标计算每个时点的单一平均频率值，这意味着它不能象频谱图那样显示多个 RF 信号。

频谱图由多个帧汇聚而成，其逐行时间分辨率等于一个帧的长度；频率随时间变化图的时间分辨率则是一个取样间隔。假设一个帧中有 1024 个样点，那么这种模式下的分辨率是频谱图的 1024 倍。这可以更详细地、更简便地查看小的简单的频率位移。频谱图的行为方式几乎与超快速频率计数器一模一样。在 1024 个样点中，每个样点都表示一个频率值，表明跨度是几百赫兹还是几兆赫。频率恒定的信号(如 CW 或 AM)会产生平坦均匀的显示结果。

在一个唯一的频率上存在相对较强的信号时，频率随时间变化图可以提供最佳的结果。图 3-4 是比较频率随时间变化图与频谱图的简化示意图。从某种意义上来说，频率随时间变化图是一个放大的视图，它放大了频谱图的某个部分。这特别适合考察瞬时事件，如频率过冲或减幅振荡。在被测环境中存在多个信号时，或者存在一个信号具有提升的噪声电平或间歇性杂散信号时，首选使用频谱图。它可以可视化选择的跨度内的所有频率和幅度行为。



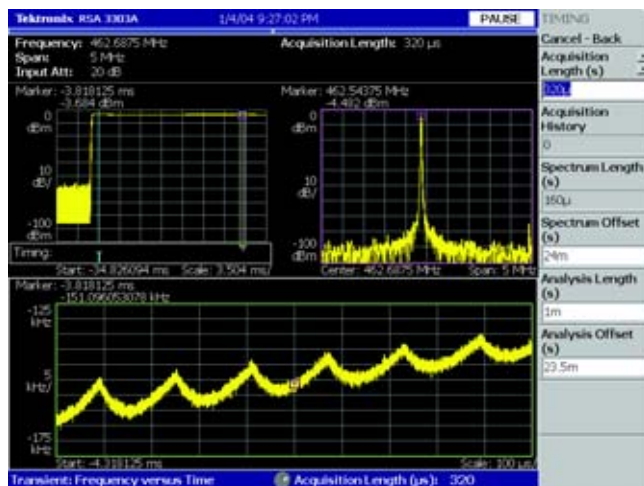
■ 图 3-5 5 MHz 频率和 35 ms 时间上频率稳定的频谱图。



■ 图 3-6 5 MHz 频率和 25 ms 时间上频率稳定的频率随时间变化图。

图 3-5、图 3-6 和图 3-7 显示了同一采集的三个不同分析视图。如图 3-5 所示，使用频率模板触发捕获来自发射机的瞬时信号，这台发射机在开机过程中在频率稳定性方面偶尔发生问题。由于振荡器没有调谐到屏幕中心的频率，RF 信号会突破左边所示的频率模板，引起触发。右边的频谱图显示了设备的频率稳定行为。

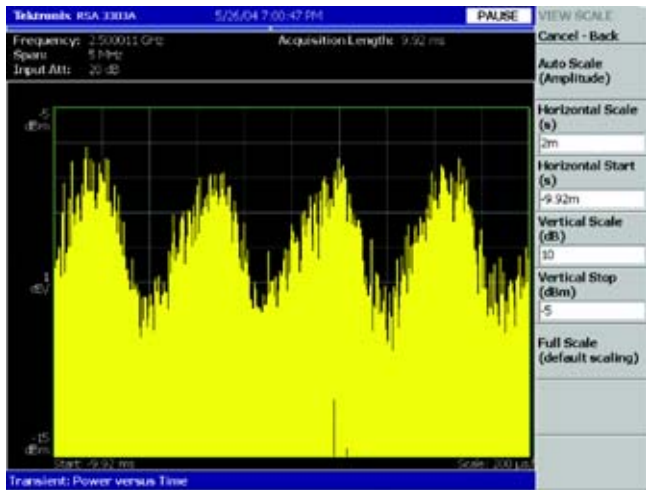
下两个图显示了同一信号的频率随时间变化图，图 3-6 显示了与使用 25 ms 分析长度的频谱图相同的频率稳定行为。图 3-7 显示了能够放大 1 ms 的分析长度，以精细得多的时域分辨率显示了频率随时间变化情况。这揭示了即使在稳定到正确频率后，信号上仍存在残余振荡。



■ 图 3-7 放大查看 50 kHz 频率和 1 ms 时间上的频率稳定情况。

# 实时频谱仪原理

## ■ 应用指南



■ 图 3-8 功率随时间变化显示。

### 功率随时间变化

功率随时间变化显示(图3-8)显示了信号功率怎样逐个样点变化。信号幅度在对数标度上用 dBm 绘出。这一显示与示波器时域图的类似之处在于,其横轴也表示时间。相比之下,竖轴显示了对数标度的功率,而不是线性标度的电压,它表示跨度内检测的总功率。功率恒定的信号将产生平坦的轨迹图,因为每个周期中没有任何平均功率变化。

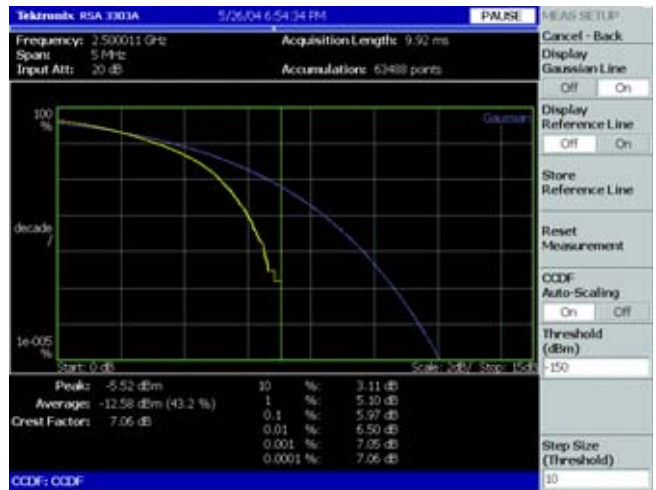
对每个时域样点,功率的计算方式如下:

$$Power = 10 \cdot \log \frac{(I^2 + Q^2)}{1 \text{ mW}}$$

功率随时间变化显示图在所有实时测量的概况窗口中提供。还可以使用功率随时间变化模式在分析窗口中显示。

### 互补累积分布函数

互补累积分布函数(CCDF)视图显示被测信号平均功率之上的峰值功率超过横轴标度上显示的幅度的概率。概率在竖轴上用百分比表示。竖轴是对数。



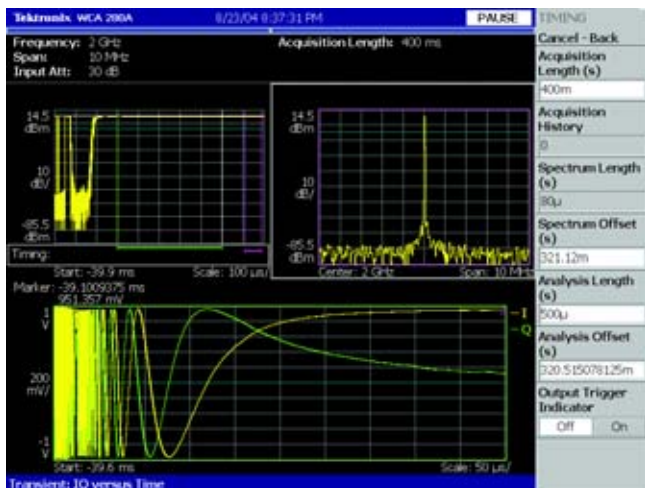
■ 图 3-9 CCDF 测量。

CCDF 分析测量随时间变化的波峰因数,这对许多数字信号非常重要,特别是使用 CDMA 和 OFDM 的信号。波峰因数是信号峰值电压除以平均电压之比,结果用 dB 表示:

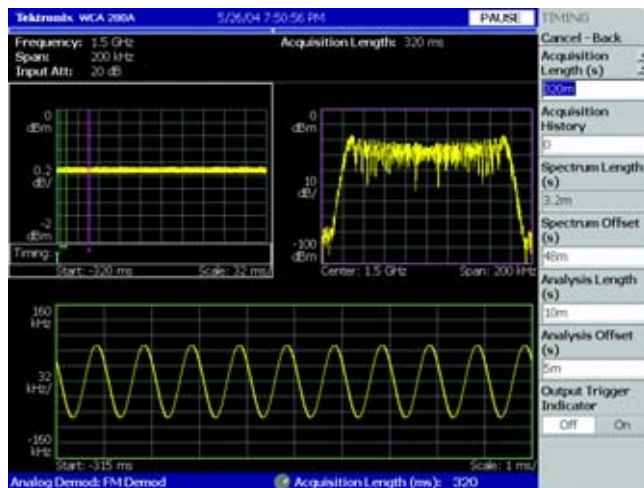
$$C = 20 \cdot \log \left( \frac{V_{peak}}{V_{rms}} \right)$$

信号的波峰因数决定着发射机或接收机必须达到的线性度,以避免信号失真达到不可接受的水平。图 3-9 中所示的 CCDF 曲线用黄色表示被测信号,用蓝色表示高斯参考轨迹。设计人员尤其关注 CCDF 和波峰因数,他们必须在器件(如放大器)的功耗和失真性能之间找到平衡。

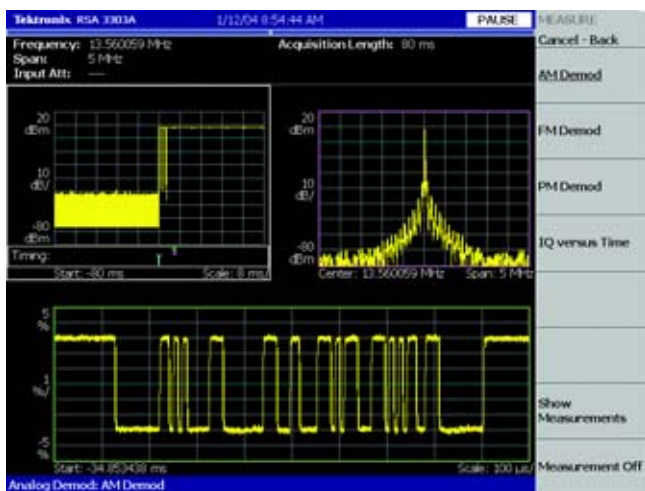




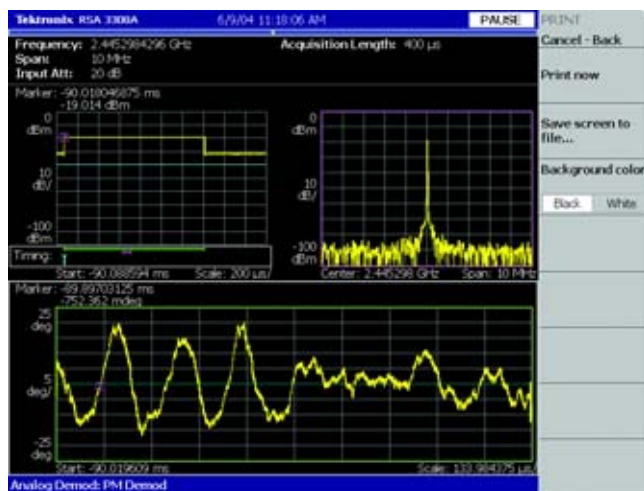
■ 图 3-10 稳定瞬变的 I/Q 随时间变化测量结果。



■ 图 3-12 正弦波调制的信号的 FM 解调分析。



■ 图 3-11 使用幅度位移键控进行数据编码的脉冲式信号的 AM 解调分析。



■ 图 3-13 PM 解调分析，显示了长脉冲上的相位不稳定性。

### I/Q 随时间变化

瞬时 I/Q 随时间变化(图 3-10)是另一个时域图，显示了与时间相应的 I 和 Q 的幅度。这一测量显示了来自数字下变频器的原始 I 和 Q 输出信号。结果，这个显示图没有与被分析信号上可能存在的任何调制同步，这一点不同于数字解调套件内部的 I/Q 随时间变化测量模式。

这一测量可以作为专家用户的另一个有用的调试工具，特别是在考察频率和相位误差和不稳定性时。

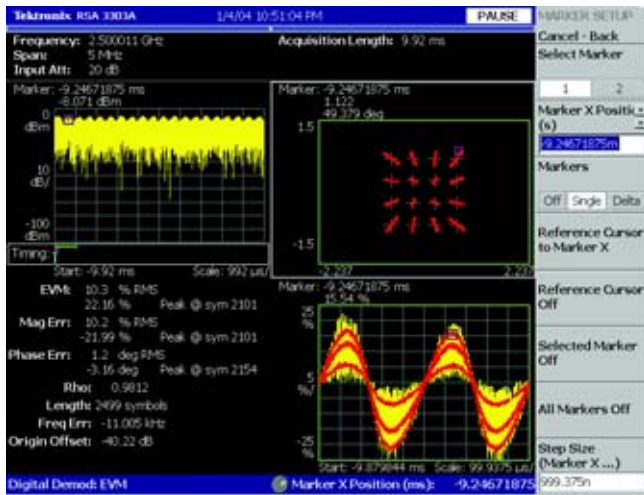
### 调制域测量

#### 模拟调制分析

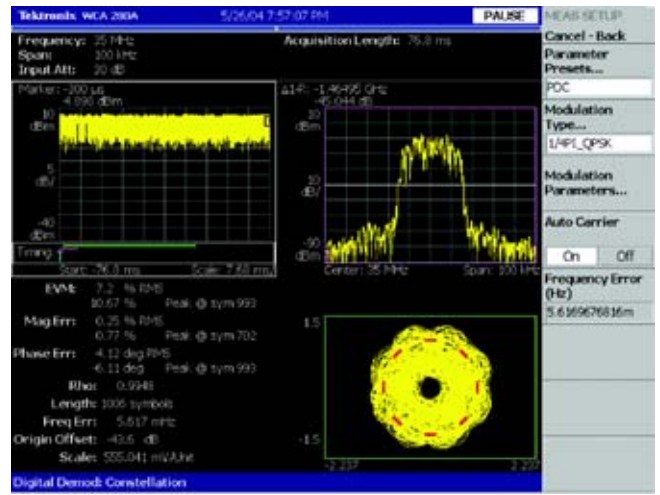
模拟解调模式为解调和分析调幅(图 3-11)、调频(图 3-12)和调相(图 3-13)提供了测量功能。与时域测量一样，这些工具基于多域分析概念，频谱和分析窗口可以位于概况窗口所示的块内的任何位置。

# 实时频谱仪原理

## ■ 应用指南



■ 图 3-14 在 16QAM 信号测量期间进行 EVM 分析揭示了正弦曲线幅度失真。

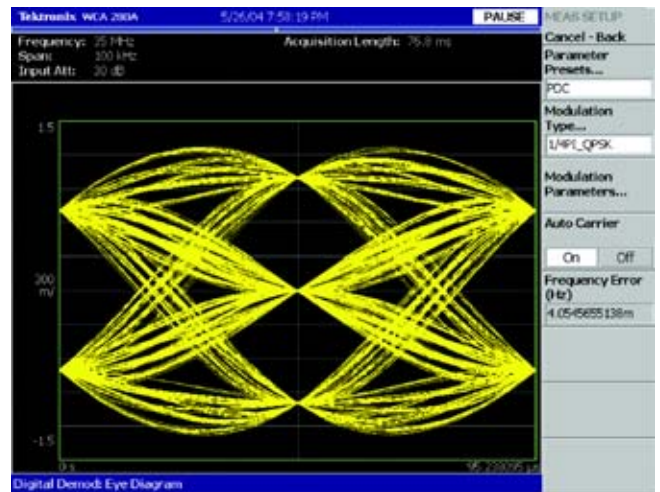


■ 图 3-15 星座图，显示了 PDC 信号中的相位不稳定性。

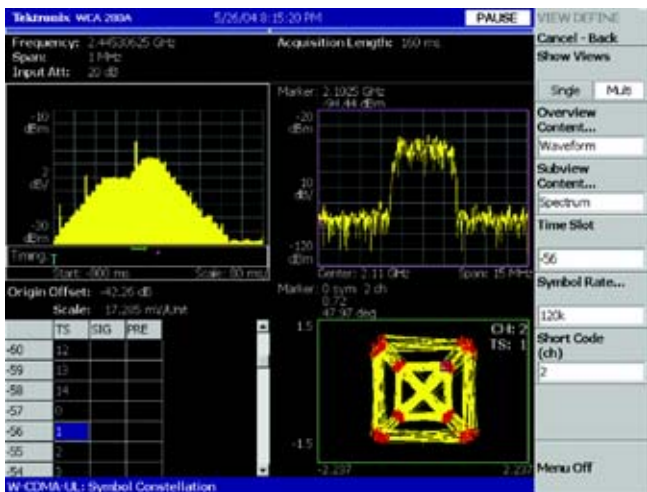
## 数字调制分析

数字解调模式可以解调和分析基于相移键控(PSK)、频移键控(FSK)和正交调幅(QAM)的许多常见数字信号。RSA 提供各种测量功能，包括星座、误差矢量幅度(EVM)、幅度误差、相位误差、解调 I/Q 随时间变化、码表和眼图。为进行这些测量，必需正确配置各种变量，如调制类型、码率、测量(接收)滤波器类型和参数( $\alpha$ /BT)及参考滤波器类型。

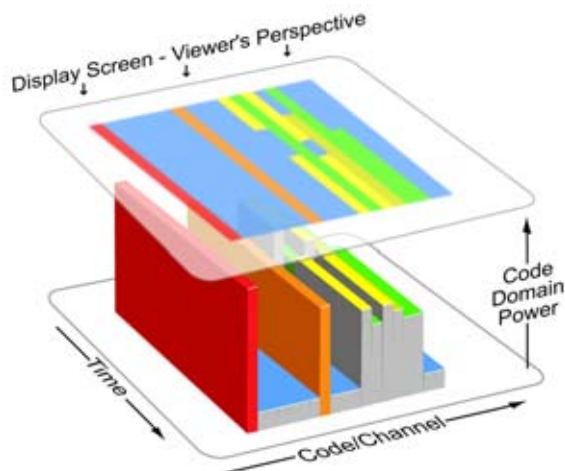
RSA 为检定动态调制的信号提供了一个强大的解决方案，它不仅提供了 VSA 的数字解调测量功能，还提供了实时触发和时间相关多域分析功能，如图 3-14、图 3-15 和图 3-16 所示。



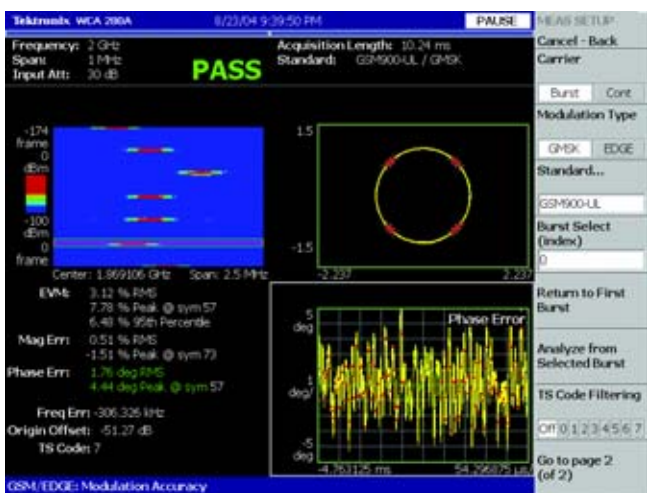
■ 图 3-16 眼图显示，显示了 PDC 信号中的低幅度误差。



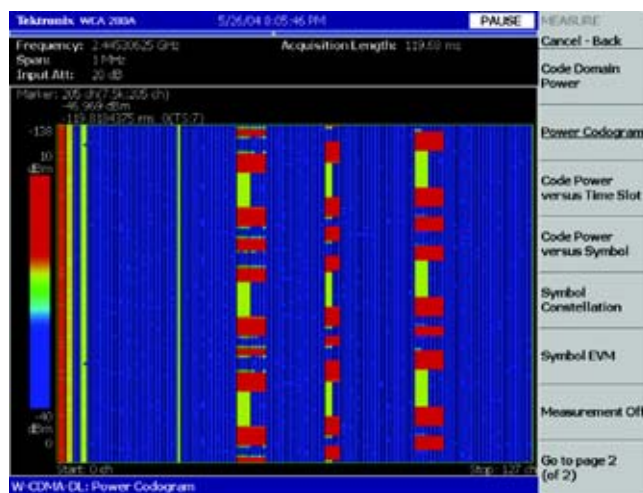
■ 图 3-17 在闭环功率控制下对 W-CDMA 进行调制分析。星座图(右下方)显示了与电平转换过程中发生的大的毛刺有关的误差,在功率随时间变化图(左上图)中可以看见大的毛刺。



■ 图 3-19 码域图画面示意图。



■ 图 3-18 跳频 GSM 信号的频谱图、星座图、EVM 和相位误差随时间变化。



■ 图 3-20 W-CDMA 压缩模式的码域图测量。

### 基于标准的调制分析

RSA 还为许多标准提供了调制分析解决方案,如 W-CDMA、HSDPA、GSM/EDGE、CDMA2000、1xEV-DO 等等。图 3-17 和图 3-18 显示了基于标准的调制分析实例。

### 码域图显示

实时频谱分析仪的码域图显示(图 3-19)在基于 CDMA 的通信标准的码域功率测量中增加了一个时间轴。与频谱图一样,码域图直观地显示了随时间变化情况。

图 3-20 是 RSA 得到的 W-CDMA 码域图显示。这个特定的码域图显示了模拟的 W-CDMA 压缩模式切换,其中数据速率瞬时提高,为传输中简要的临时间隔提供空间。这些间隔允许双模式 W-CDMA/GSM 用户设备搜索可用的 GSM 基站,同时保持连接到 W-CDMA Node B 上。

# 第四章 FFT 重叠技术

在现代实时频谱仪中采用了很多新的技术，本文着重论述 FFT 帧重叠技术。

## 引言

### 需要查看速度更快的随时间变化的信号

随着速度更快的随时间变化的频率信号越来越普遍，泰克提供了采用可以完全重叠的 FFT 帧的实时频谱分析仪 (RTSA)，满足广大用户更好地查看超短时间事件的需求。

我们将显示这一技术的分析优势。我们还将考察其工作方式，及怎样最有效地使用这一技术，更加清楚地查看随时间变化的 RF 信号。

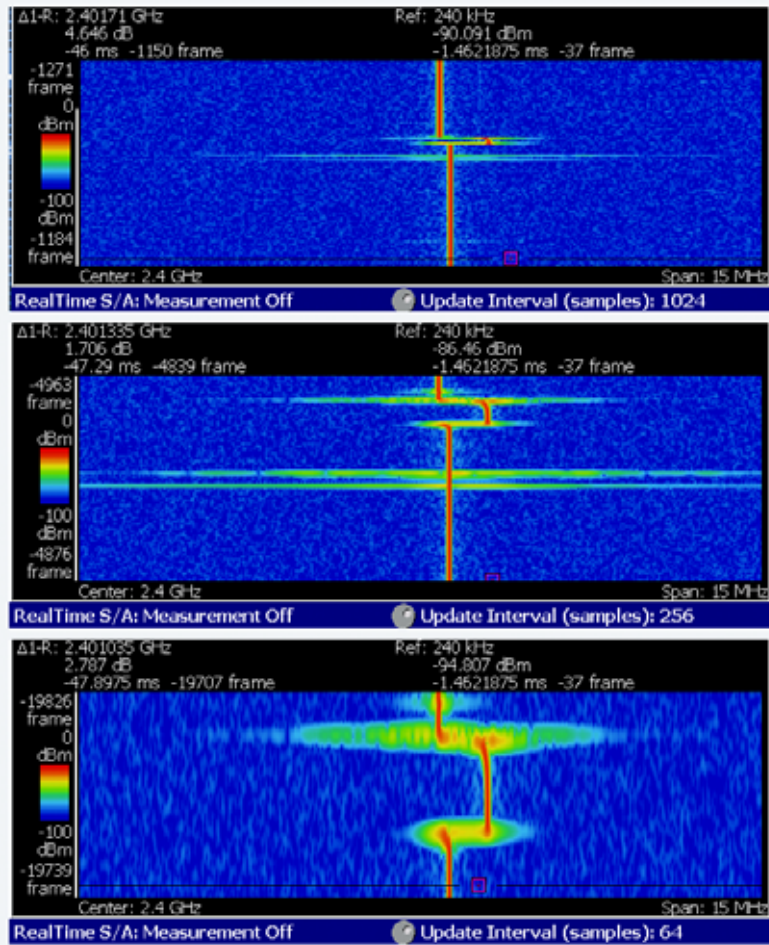
重叠 FFT 的工作方式与频谱图“缩放”有些类似。它有效展宽时间标度，来实现这一点。它重叠小的时间事件，频谱图中提供的更大的查看能力则大大提高了查看频率随时间变化的能力。

## 扩展您的眼界

- 顶部频谱图显示没有重叠  
帧时长 = 20 us

- 768 FFT 点重叠  
(FFT 时间间隔 - 256 点)  
帧时长 = 5 us

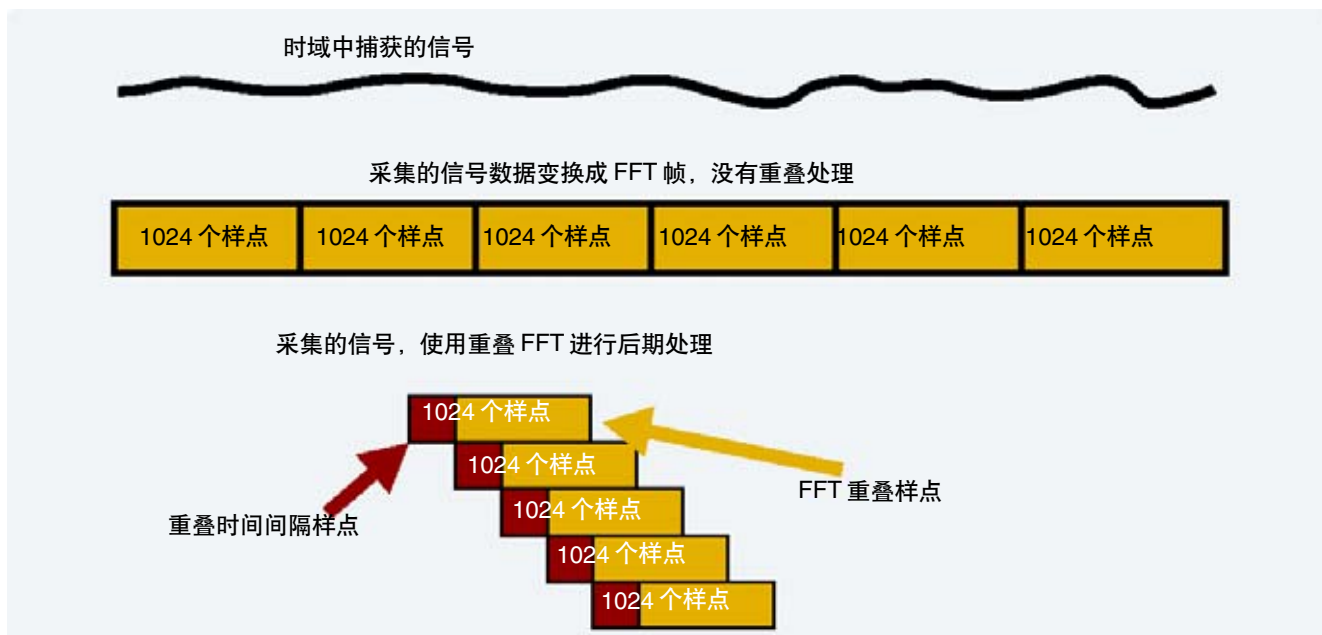
- 960 FFT 点重叠  
(FFT 时间间隔 - 64 点)  
帧时长 = 1.25 us



■ 图 1. 与缩放类似。

图 1 中下面的频谱图可以查看瞬时事件行为。在这种情况下，两个单独的频率步骤在上方的频谱图中仅显示为

一个步骤。下方的整个频谱图只包含在上方面谱图的 5 个帧中。



■ 图 2. 重叠 FFT 处理

## 工作方式

### 重叠多个 FFT

前一代RTSA大多以直接顺序方式处理来自模数转换器的数据。第一个 1024 个字节进入第一个 FFT (第一个帧), 第二个 1024 字节进入第二个 FFT (第二个帧), 依此类推。

通过这种新功能, 用户可以在 0-1023 范围内选择重叠的数据点数量。也就是说, 在 0 重叠时, 我们对与前一个 FFT 相邻的每个 FFT 使用顺序方式。重叠数量指明了任何 FFT 帧中最后面多少个数据点变成下一个帧中包括的开始的数据点。在选择 1023 个重叠时, 第二个 FFT 帧将在末尾只有一个新的数据点, 在前一个 FFT 中只在开头丢掉一个点。1023 个数据点在这些相邻的帧之间共享。图 2 说明了带有重叠和没有重叠的 FFT 处理之间的差异。

这也意味着在显示每个 FFT 频谱时, 它包含着来自上一个频谱的部分信息。在图 1 中间图形所示的重叠 FFT 处理实例中, 使用 256 个样点的 FFT 时间间隔, 每个帧上重叠了 768 个样点。每个帧在前一个帧后 5 微秒时开始, 显示了 15 MHz 的跨度。跨度越窄, 每个频谱占用的时间越多, 可以同时查看的频率成分相互之间的距离越近。

通过这种技术, 可以查看非常短的频谱事件(特别是持续时间短于一个 FFT 帧的频谱事件), 即使其幅度下降, 并位于相互相邻显示的多个 FFT 频谱中。

其优势是可以查看一个信号内部非常短的时间变化。其缺点是由于 FFT 在时间上重叠, 因此各种频率事件也会出现在频谱图显示中, 且重叠数量相同。这种效果可以防止频谱事件之间的相对定时测量与频谱查看能力一样提高分辨率。

# 实时频谱仪原理

## ■ 应用指南

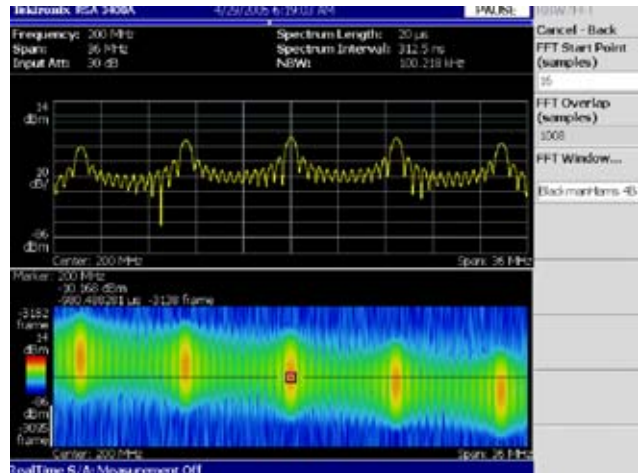


■ 图 3. 非重叠的频谱图。

### 部分比较

在图 3 中，我们看到的是包括雷达脉冲的频谱图。这个脉冲采用跳频，在 32 MHz 中有五个阶跃。它长 8 微秒，包括全部 5 个跳。由于使用 36 MHz 跨度，其约为一个 20 微秒 FFT 频谱帧的 1/3。此外，每个跳持续仅约为一个 FFT 帧的 1/12。因此，它只存在于一个帧中，我们不能看到跳频脉冲中的太多细节。

RTSA 可以触发和捕获这样的脉冲。但是，在频谱图中显示相当困难。为触发非常短的脉冲，首选使用功率触发器。前面提到的脉冲是由泰克 AWG710B 任意波形发生器

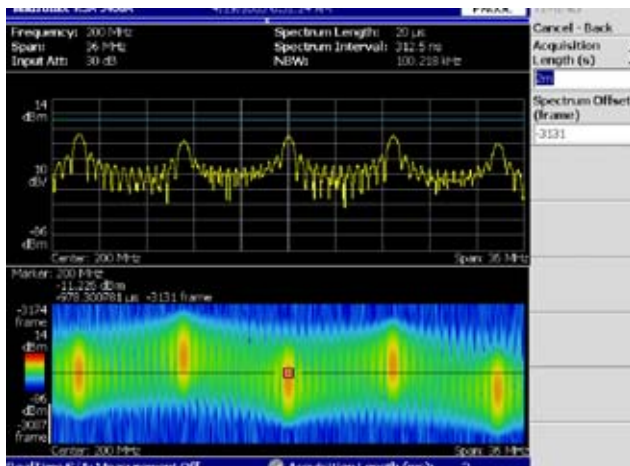


■ 图 4. 重叠的 FFT 频谱图。

生成的。附录 A 中列明了这个脉冲及本文中所有其它脉冲使用的文件。

### 重叠的 FFT

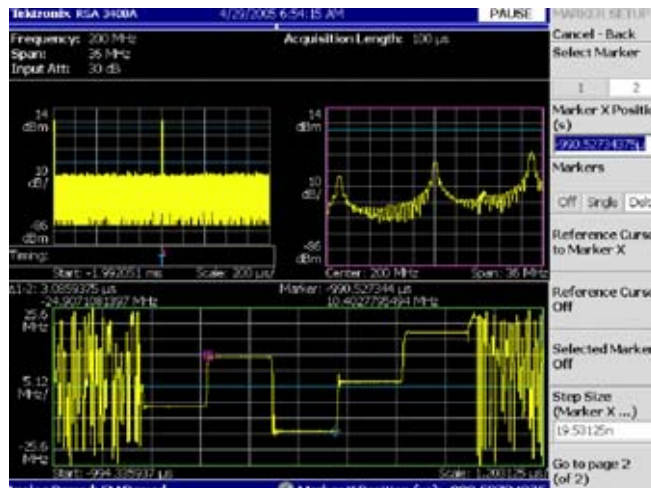
在图 4 中，带宽为 36 MHz 的泰克 RTSA 使用重叠 FFT 处理技术显示了同一个跳频脉冲，其中 FFT 帧与帧之间的时间间隔从 1024 个样点(没有重叠)下降到 16 个样点，有 1008 个样点重叠。结果变化非常大。尽管脉冲仍要短于一个帧，但各个帧以 320 ns 间隔顺序定位。这清楚地显示了在整个脉冲中频率不断提高的阶跃以及每个阶跃相应的时间。



■ 图 5. 重叠 FFT 频谱图伪随机跳频。

### 伪随机调制脉冲

另外还提供了伪随机跳频脉冲波形，如图 5 和图 6 所示。它采用与上一个脉冲相同的跳频时间和相同的频率间隔。但是其频率不会随每一跳线性提高，而是在整个带宽中随机跳频。

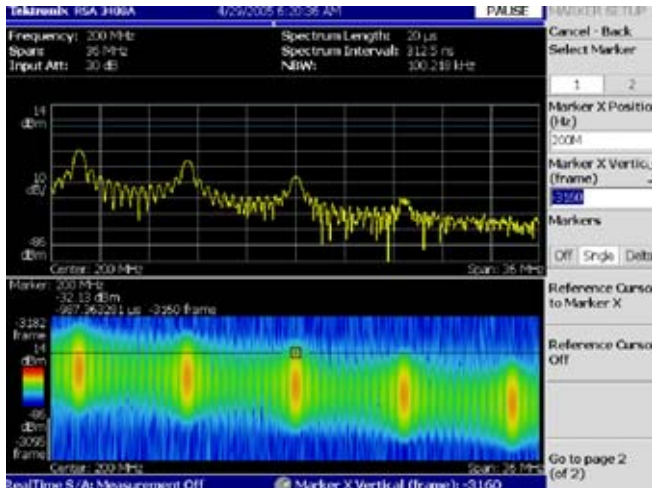


■ 图 6. 频率随时间变化 - 伪随机跳频器。

在图 6 中，我们看到重叠 FFT 的时间重叠效应需要使用频率随时间变化图，测量各个跳上的定时。图中说明了这一显示的优势，因为它与图 5 中的时间明显相反，并顺序显示时间。

# 实时频谱仪原理

## ■ 应用指南



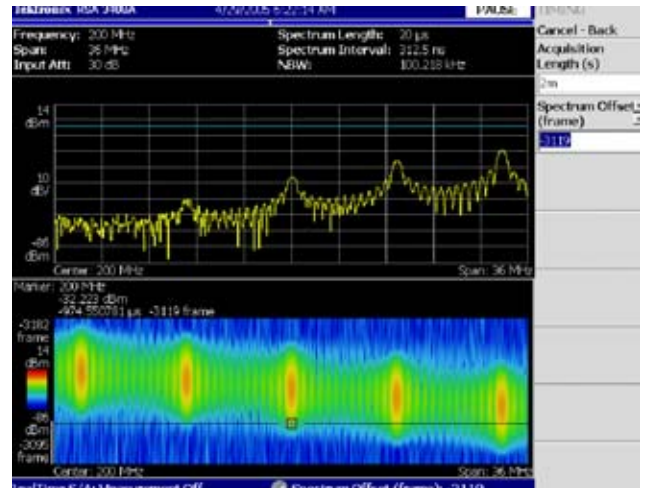
■ 图 7. 时间上重叠的脉冲应用。

### 展宽时间

重叠技术实际带来的效果并不是真正的“缩放”，而更多的是“展宽”时间。这大大改善了查看随时间变化的现象的能力，但事件完全展宽重叠在一起。

在图 7 中，我们把标尺放在脉冲中间跳的开始处。注意，由于 FFT 帧重叠，各个阶跃表现得好像在时间上重叠。这种重叠是不真实的，而是由 FFT 帧重叠引起的。

图 8 显示了标尺放在同一个中间跳的末尾。这些图片清楚地显示了频率及这个脉冲随时间变化的特点，其完全位于一个 FFT 的帧时间内部。如果没有重叠 FFT 帧，是不可能实现这种查看能力的。



■ 图 8. 查看随时间变化的 RF。

时间展宽效应使得这一脉冲的所有跳看起来大多数在时间上是并发的，但我们知道这些跳在时间上都是分开的。对这一效应影响最大的因素之一，是这些特定事件都要短于一个 FFT 帧。

FFT 流程并不是无限短的时间段。它要求处理输入频率的多个周期，以把它们相互分开。因此，如果在这个帧内有多个不同的频率，那么 FFT 将报告所有这些频率。此外，这个 FFT 将只创建一个频谱。因此，即使这些跳频在时间上分开，但如果存在于一个 FFT 帧内部，它们仍会一起显示在一个频谱中。



### 频谱图上升时间

限制频谱图中实际提供时间分辨率能力的另一个效应是使用重叠 FFT 时频谱图的视在“上升时间”。这还会提高这个脉冲显示不同跳频段的时间重叠程度。

### 泰克 RTSA FFT 重叠

在使用非重叠 FFT 时，每个频谱从 20 微秒数据(1024 个样点除以每个样点 20 ns)组成的下一帧中生成。因此，如果在两个顺序帧之间的某一点上打开一个信号，那么它不会给第一个帧带来任何能量，而所有能量会进入下一个帧。这意味着在使用频谱图时，可以以 20 微秒的“分辨率”测量时间事件。

有人可能会推断出，如果使用完全重叠的 FFT (因此一个频谱开始与下一个频谱开始之间的时间是 20 ns)，那么时间分辨率将是 20 ns。事实并不是这样。

通过了解这个过程，可能会有助于了解错误理解结果的潜力。

### FFT 对时间分辨率的窗口效应

模数转换器一直以 102.4 MHz 速率连续数字化，它以 51.2 MHz 的有效速率同时提供 I 样点和 Q 样点，填充内存记录。将从内存记录(一个帧)内部某个地方为每个 FFT 提供 1024 个连续的样点。在我们使用的实例中，36 MHz 跨度的帧长度为 20 微秒。

让我们更仔细地考察重叠 FFT 是怎样处理的。我们将考察的第一个 FFT 是 RF 短突发之前的最后一个 FFT。RF 突发对这个 FFT 的功率没有影响，因为突发还没有开始。第二个 FFT 重叠了 1023，因此在推迟一个样点后开始。它只包含突发中一个样点的功率。每个后续帧将包含突发的另一个样点，直到最后有一个帧包含整个突发(如果突发比一个帧短)，或直到有一个帧被突发整个填充(如果突发等于或长于 20 微秒的一个帧)。

由于每个帧包含的功率都要高于以前的帧，我们看到我们考察的第二个帧最多包含整个突发可能功率的 1/1024。这事实上可以通过 Parseval 定理解释，这一定理指出，FFT 将生成频谱，显示相干信号的功率电平，这个相干信号会与 FFT 中包括的信号样点数的平方直接成比例提高。公式如下：

$$\text{功率(dB)}=20 \text{ Log} (\text{信号样点数} / \text{总样点数})$$

如需与这一现象有关的更多信息，请参阅本文‘幅度效应’部分。

FFT 窗口还会引起第二个效应。这降低了帧末尾样点对频谱的影响程度(最末尾的样点基本上会降到零)。这一时间滤波器的用途是消除突然开始和/或突然结束对帧中信号的“末尾效应”。在帧的一端或另一端附近存在该信号的任何部分时，这个窗口进一步降低了信号给功率带来的影响(参见图 7 和图 8)。

这两种效应相结合，意味着包含突发一个样点的第一个频谱基本上没有感兴趣的信号的频谱。下一个频谱拥有的频谱会多一点点。直到我们得到接近整个突发 1/4 的频谱时，才能显示明显的突发幅度。

这放慢了频谱图有效的“上升时间”及相应的“时间分辨率”。

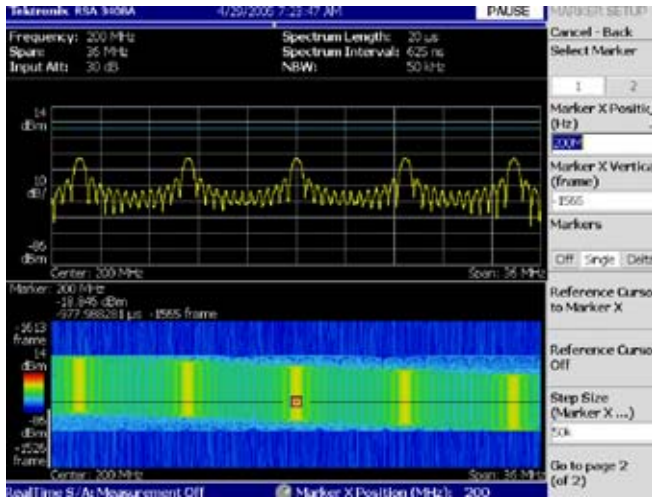
### 跨度和取样速率的影响

“频谱图上升时间”还取决于选择的跨度(它决定着使用的实际有效取样速率，因此决定着噪声带宽)。这个上升时间与 FFT 重叠量无关，而只是取决于选择的跨度及相应的有效取样速率。

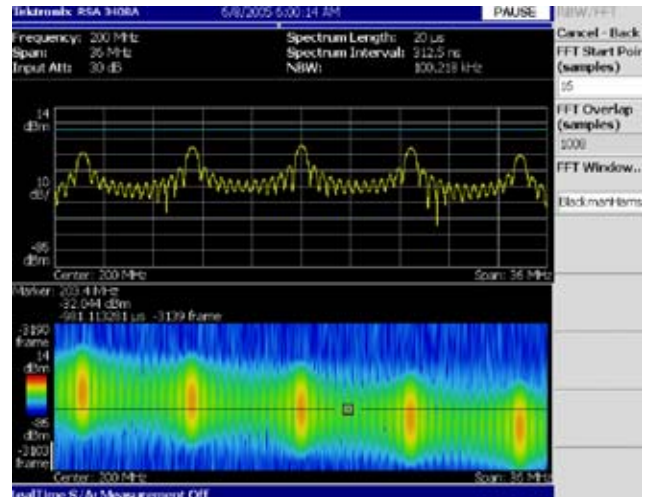
注意，在脉冲或其它频率事件末尾有一个同等的“下降时间”和涂抹时间。脉冲的两端都应用相同的效应。

# 实时频谱仪原理

## ■ 应用指南



■ 图 9. 矩形 FFT 窗口。



■ 图 10. Blackman-Harris 4B 窗口 - 默认值。

### 测量频谱图上升时间

下表(表 1)提供了频谱图上升时间测量结果。

距度 /NBW	重叠		
	1023	1022	992
10 MHz / 25 kHz	27.0 $\mu$ s	28.0 $\mu$ s	31.0 $\mu$ s
20 MHz / 50 kHz	14.6 $\mu$ s	14.4 $\mu$ s	14.1 $\mu$ s
36 MHz / 100 kHz	7.2 $\mu$ s	7.2 $\mu$ s	7.1 $\mu$ s

■ 表 1. 频谱图有效上升时间。

注：这些测量使用 RF 脉冲上的 10% 和 90% 电压点实现。

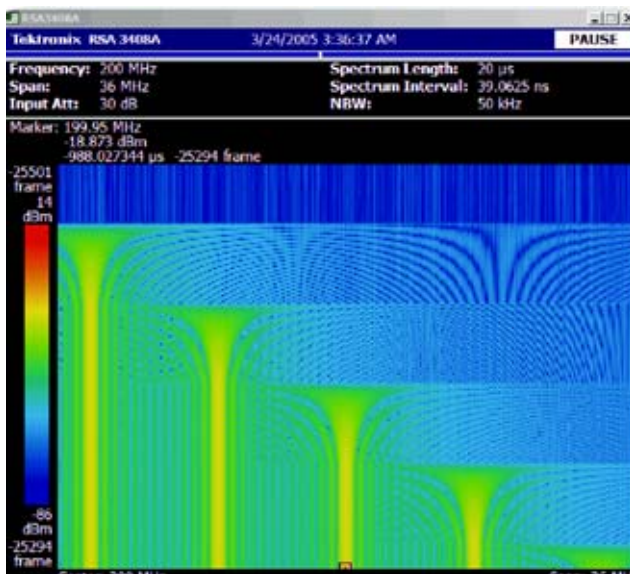
在使用重叠 FFT 频谱图测量频谱事件的定时时，这个“上升时间”极限限制着提供的“时间分辨率”。

### 不使用 FFT 窗口的影响

由于 FFT 窗口在频谱图上升时间限制中发挥着巨大的作用，我们应该考察在去掉这个滤波器时会发生的情况。其中一个滤波器选项是“Rect”（矩形滤波器，或根本没有滤波器）。

我们预计这将改善频谱图的视在“上升时间”。但我们还知道，我们现在将得到帧突然结束的影响。图 9 说明了结果。

各个跳的开始和末尾在时间上仍然重叠。这在重叠 FFT 中不可避免。但现在，我们看到每一段非常明快的开始和结尾。再把这个与图 10（默认窗口）比较一下。由于使用矩形窗口，“有效上升时间”事实上变得好多了。对 Blackman-Harris 4B (BH-4B) (图 10) 中 36 MHz 的跨度，上升时间是 7.2 微秒。在去掉滤波器时，上升时间为 1.27 微秒！改进程度非常好。



■ 图 11. 频谱图中的 Moiré 码型。

### 新的人为信号

在使用矩形窗口时，可以更好地查看随时间变化的跳，但来自跳边沿的人为信号现在非常讨厌。它们将掩盖可能需要查看的任何小信号。事实上，其中一个跳频段的末尾效应在频谱图中表现为明显的Moiré码型，如图11所示。

脉冲只在FFT帧包括其中某些样点时开始，在脉冲结束时结束，从而形成末尾效应。如果没有窗口滤波器，那么在移动通过重叠FFT时，在第一个FFT帧中将看到陡峭的窄脉冲，在每个后续帧中看到略宽的脉冲，直到整个脉冲位于一个帧内。由于每个帧分析前一个FFT看到的略宽的脉冲，因此  $\sin(x)/x$  脉冲频谱会改变周期，频谱图中会形成码型。

另外，我们看到在没有滤波器时，这个跳频脉冲的所有频率成分在时间上都展宽成至少和一个FFT帧一样长的



■ 图 12. 测量时间事件。

时间的一部分，而且没有任何一个频率的阶跃下降程度会降到其它频率阶跃之下。它们会以同等的脉冲缩短程度降低。此外，重叠FFT允许我们在这个时间位置上选择一个FFT窗口。图9中的上方频谱图说明了这一点，所有跳频成分以相等幅度显示，而不是‘倾斜’。

### 测量时间事件

那么如果我们想测量时间，我们该怎么做？泰克RTSA是为正确测量随时间变化的现象而优化的。您只需使用时间模式或解调模式。

RTSA还拥有时间相关的多域分析功能，我们可以通过这一功能，精确测量时间变量。对这个跳频脉冲，我们选择频率解调(FM)模式(频率随时间变化)。

### 时间相关的多域分析

图12显示了底部窗口中的频率随时间变化(选择了FM解调)。增量标尺放在脉冲单跳部分的转换点。读数显示了1.602微秒的跳时间。由于它们放在阶跃的拐角上，标尺还可以精确测量8 MHz的频率阶跃尺寸。

# 实时频谱仪原理

## 应用指南

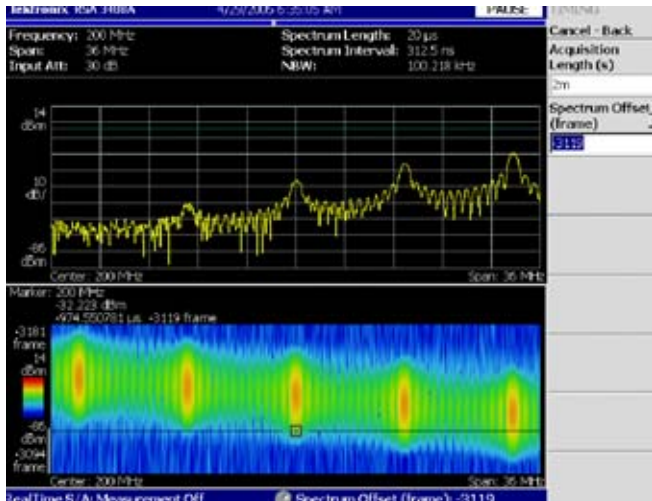


图 13. 较低的频率在这里以较低幅度显示。

### 幅度效应

#### 短脉冲

如前所述，比一个 FFT 帧短的脉冲或其它 RF 事件将转换成频谱信息，但其幅度下降，下降程度与这些信号占用的 FFT 帧的数量成比例(Parseval 定理)。

看一下图 13。包含脉冲的一个 FFT 生成的频谱在幅度上明显变化。最上面的频率显示为约 -15 dBm，下面一个频率显示为 -21 dBm，下面两个频率是 -31 和 -45 dBm，最后一个位于噪声之下而看不见。

但我们知道，所有跳频段的幅度相同。整体幅度下降是由于各个段比一个 FFT 帧短而导致的。

各个段之间的幅度差是由于其在 FFT 窗口滤波器内部的位置引起的(在帧中的位置)。由于脉冲与 FFT 帧完全异步，因此我们测量的脉冲恰好位于帧开始点附近。因此，第一跳(频率最低的跳)由于对 FFT 应用的“窗口”函数而严重下降。跳发生在帧的位置越靠后，下降程度越小，越接近窗口函数中间。

在 20 微秒 FFT 帧中间短脉冲中看到的幅度下降程度(归一化到整个帧幅度)

脉冲长度 (微秒)	矩形滤波器 (无)	Blackman-Harris BH-4B (测得值)	BH-4B (理论值)
20 或以上	0 dB	0 dB	0 dB
8	-7.96 dB	-1.61 dB	1.45 dB
4	-13.98 dB	-5.72 dB	5.74 dB
2	-20.00 dB	-11.29 dB	11.37 dB
1	-26.02 dB	-17.23 dB	17.18 dB
0.5	-32.04 dB	-23.19 dB	23.34 dB
0.25	-38.06 dB	-29.11 dB	29.62 dB

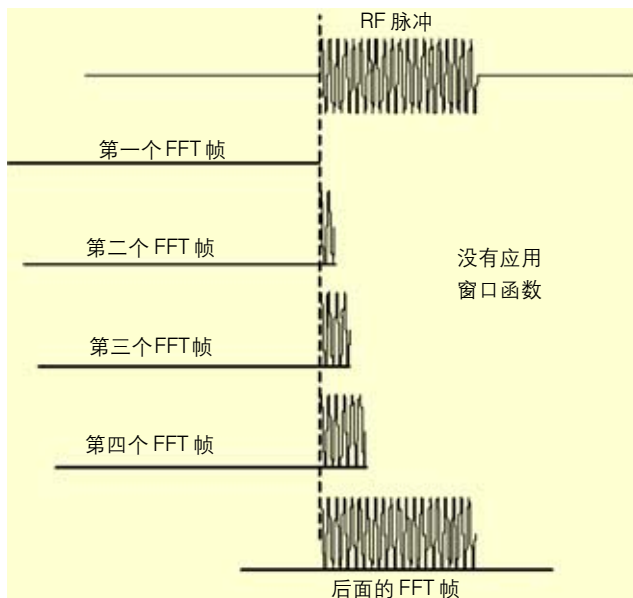
表 2. 短脉冲的幅度下降程度。

这个表显示了多个短脉冲长度的相关值。对这个表，我们使用 36 MHz 的实时带宽。这个带宽使用 20 微秒的 FFT 帧长度。将正确测量等于或长于帧时间的脉冲长度的幅度。这个表列出了引起短脉冲报告的幅度下降的误差。

这个表使用的计算假设脉冲位于帧的中心，使用的窗口是无或 BH-4B(如该栏标题所示)。

另一个假设是没有因进入信号的中心频率不同于分析仪调谐的中心频率而导致的扇形误差。在信号没有完全位于 FFT 中心时，会发生扇形误差，会额外导致十分之几 dB 的误差。通过改变滤波器，可以处理这些误差。

BH-4B 窗口有两栏 - 理论值和测得值。测得结果与理论值非常接近。

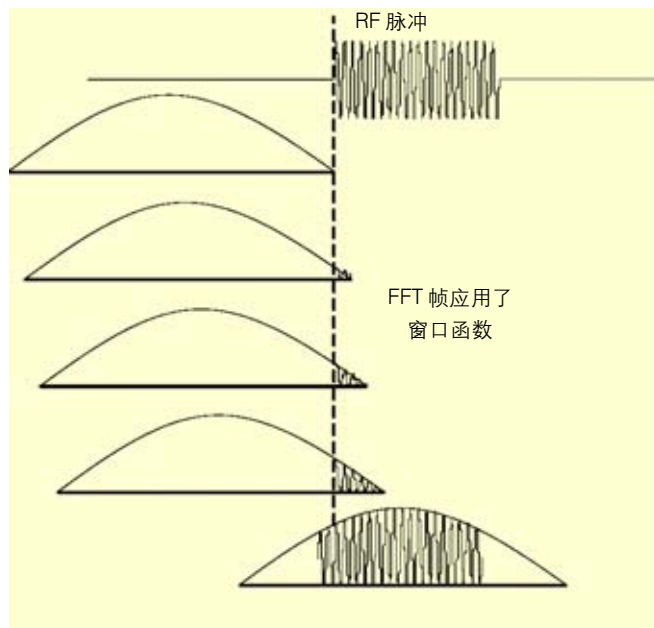


■ 图 14. 重叠 FFT 帧和一个脉冲。

在图 14 中，我们在顶部看到一个 RF 脉冲，下面我们画了四条线，表示四个连续的重叠 FFT 帧时间。每个帧向前推进，包含更多的 RF 脉冲。

可以看到，每个帧中包含的功率要超过前面的帧。然后，在底部是一个帧(在时间上相当靠后)，在中间部分包含整个脉冲。这个帧将显示脉冲的幅度，是任何帧中最高的。

这些 FFT 帧没有使用任何窗口滤波器。



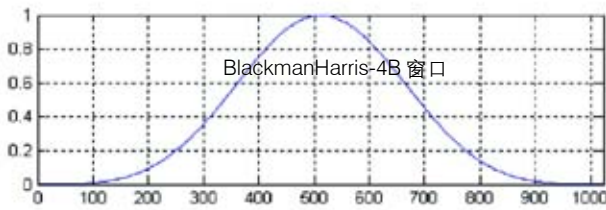
■ 图 15. 应用窗口函数的 FFT 帧。

在图 15 中，在增加时间窗口滤波器时，我们看到相同的脉冲和 FFT 帧。这显示脉冲幅度更大程度地下降，这是由于脉冲位于滤波器的一个边沿或另一个边沿导致的，而帧中间的脉冲幅度只会略微下降。

对等于或长于一个帧、且在整个帧中连续的 RF 信号，将测量其正确幅度。FFT 流程报告的幅度归一化为窗口函数使用的滤波器的响应。下面，我们将考察这里使用的特定滤波器。

# 实时频谱仪原理

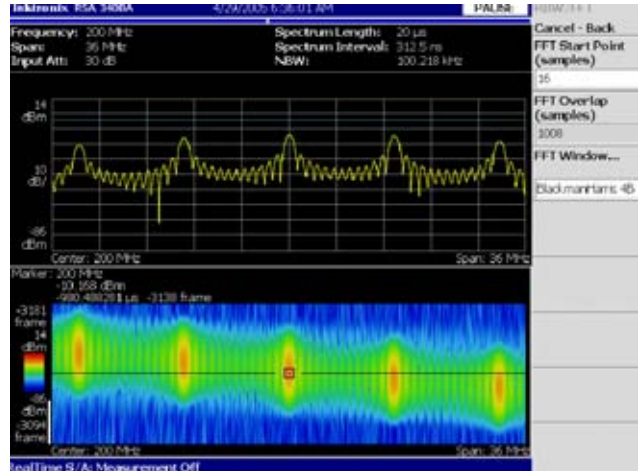
## ■ 应用指南



■ 图 16. BH-4B 窗口图。

### Blackman-Harris 窗口

泰克RTSA产品的默认FFT时间窗口是Blackman-Harris BH-4B窗口。图16是这一滤波器的归一化响应图。如果在没有这一滤波器时在由多个输入样点组成的一个帧上执行FFT，那么由于频谱突然开始及突然结束，会产生大量的频谱人为信号。解决方案是使用这个滤波器(或类似的滤波器)，降低从帧末尾到零的响应。然后，逐渐提高距帧中间更近的样点产生的影响。这个图的水平轴是由1024个样点组成的帧。从这个图中，我们为脉宽与显示的幅度关系表(表2)计算得出滤波的帧数和没有滤波的帧数之差。

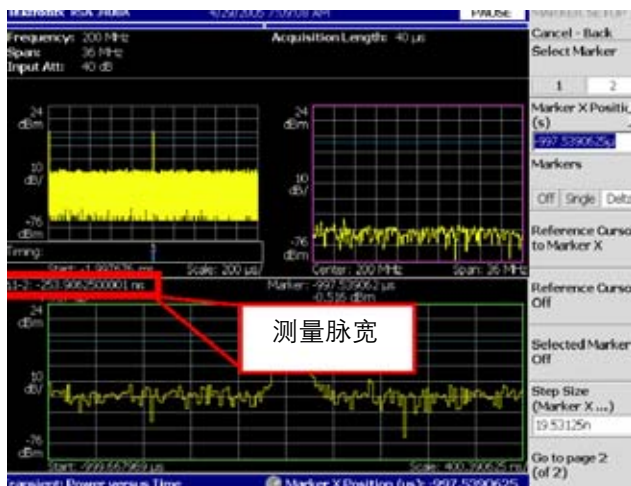


■ 图 17. 显示多个跳频的一个时间标尺。

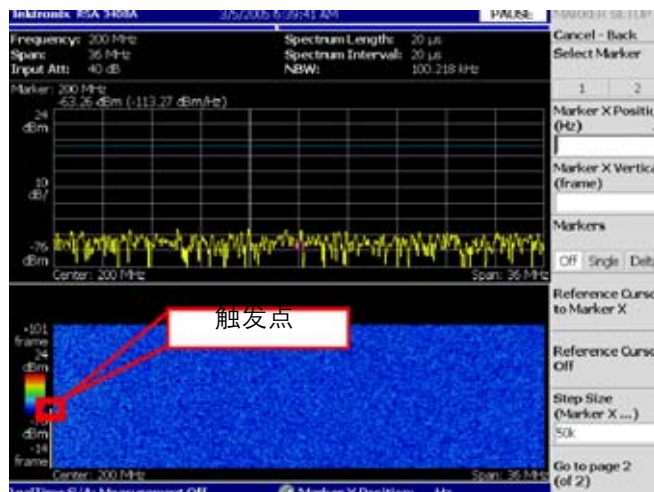
### 计算幅度下降程度

图17说明如果我们使用重叠FFT，并把标尺放在“展宽的”显示画面中间或大体放在中间，那么我们会看到一个FFT产生的频谱，其中脉冲位于帧的中间。在这里，我们看到所有跳频都包含在一个帧内部，并位于应用到帧的窗口函数的中间。其读数位于-13 dBm和-16 dBm之间。由于每一跳长1.6微秒，整个帧长20微秒，我们预计看到频谱图中记录的功率按Parseval定理下降。计算方法是 $20\log(1.6/20) = -21.9$  dB。我们必须考虑因为FFT窗口滤波器对20微秒帧的功率读数所作的校正(表2 BH-4B滤波响应) = +8.24 dB，总计-13.66 dB。

通过这种方式，我们要手动校正窄脉冲幅度的读数。中心脉冲的读数是-10.071 dBm，校正将补偿13.66 dB的幅度下降。这一脉冲的正确幅度是+3.589 dBm。在这个脉冲展宽成一个FFT帧长时，其测得值为+3.51 dBm。实际测量结果与理论计算值非常接近。对没有位于窗口中心的脉冲，计算其幅度校正值要困难得多，要求对滤波的每一侧单独使用BH-4B曲线。



■ 图 18. 在时间视图中可以简便地测量 250 ns 脉冲。



■ 图 19. 在频谱中看不到 250 ns 脉冲。

### 其它窗口

泰克 RTSA 产品中提供了多种不同的窗口。本文已经介绍了 BH-4B 和矩形滤波器的问题。其它窗口的时间和幅度效应要么大于、要么小于默认窗口。如果您正使用别的窗口，那么您需要重新计算幅度和视在频谱图“上升时间”效应。

为特定信号选择最适合的窗口函数是本文要介绍的主题之一。

### 超短脉冲

频谱图或频谱视图(Spectrum View)中都看不到明显比一个 FFT 帧短的脉冲。这些脉冲只能由功率触发器触发，将以与脉冲完全一致的方式触发和启动 FFT 帧。这把脉冲放在 FFT 帧开始的地方，从而位于窗口滤波器的一端。

功率随时间变化显示画面用来测量短脉冲。我们指定了脉冲测量套件，以检定最短 400 ns 的脉冲。对于比 400 ns 短的脉冲，最好采用时间相关多域测量。

功率触发适用于极短的脉冲。它简单地查找位于选择门限之上的任何数字化样点。

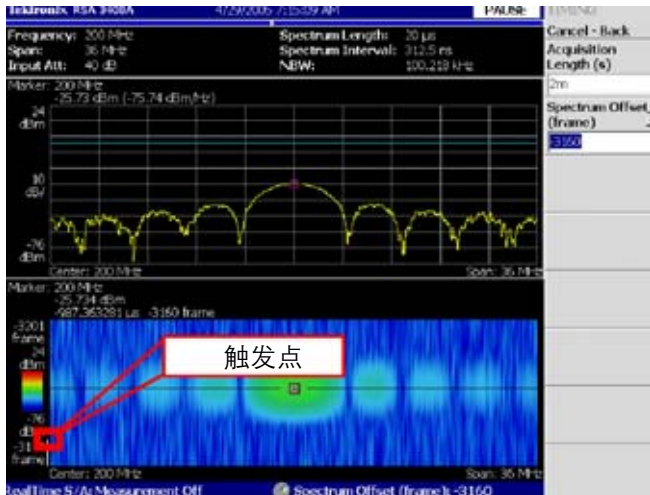
在图 18 中，我们看到 250 ns 脉冲上的标尺报告宽 254 ns 的测量结果。由于宽度很窄，脉冲幅度已经非常低。但是，由于脉冲只位于帧的边沿，因此窗口函数会进一步降低低于噪声的幅度。参见图 19。

这个脉冲长 250 ns，只是略高于一个帧的 1%。如果我们在时域中还没有看到这个脉冲，那么我们唯一能怀疑的是分析仪是否已经触发，频谱图显示了视图中途的触发点，而没有显示任何信号。

在这种情况下，重叠 FFT 决定着是根本看不到这个脉冲的频谱，还是能很好地看到频谱。比较图 19 与图 20，我们现在已经设置成在相邻帧之后 16 个样点时开始重叠每个帧。

## 实时频谱仪原理

### ■ 应用指南



■ 图 20. 现在可以看到 250 ns 脉冲。

现在有 64 个 FFT 帧包括这个脉冲。其中有五个帧拥有的脉冲距中心非常近，从而其可以测量 0.2 dB 范围内的幅度。

重叠设置的关键是拥有足够的重叠数量，以找到最小的脉冲，或者显示随时间变化的现象，但不要超过必要的重叠数量。重叠过多会导致频谱事件的时间涂抹过多。

当我们选择一个脉冲位于窗口中间的频谱时，在图20中，我们现在可以清楚地看到频谱图和频谱。只有FFT重叠能够做到这一点。注意可以看到“触发点”(左边白条顶部)和看得到的脉冲开始点之间的时延。这是因为触发发生在包含信号的第一个帧上(非重叠)。这个帧没有信号的外观，因为窗口滤波器把它降到零。然后，随着重叠推进，帧拥有越来越多的信号，直到看得到的量。这就是前面提到的导致这一明显延迟的“上升时间”。

FFT处理重叠功能只能用于实时频谱分析模式，它可以数字化连续记录、而不改变RTSA硬件设置。在跨度宽于RTSA的实时带宽时，必须使用不同的RF转换器设置把多次采集拼凑在一起，因此不能使用重叠FFT功能。在我们的实例中，实时带宽是36 MHz。

重叠不能象其改进的视觉那样提供同样高的测量分辨率。即使我们去掉窗口滤波器，仍会有“有效上升时间”限制，仍有时间展宽效应。通过使用RTSA中的时域显示，可以克服这些限制。

### 总结

重叠FFT大大提高了查看短时间变化的RF现象的能力(改善了约2000倍)。它可以显示时间短于标准(非重叠)FFT帧的多个随时间变化的事件，从而可以查看前一代RTSA上看不到的极短的脉冲。

重叠FFT只是泰克RTSA产品提供的部分强大的分析功能，为获得最完整、最精确结果，必须与其它深入分析模式一起使用重叠FFT。对时间非常短的RF现象。“Time”(时间)或“Demod”(解调)模式可以进行精确的时间和功率测量，而没有被重叠FFT流程中发生的某些负面效应所影响。

重叠FFT是非常高效的频谱图时间增强功能，使得工程师能够识别以前看不到的非常短的RF事件。



## 第五章 数字荧光 (DPX) 技术



数字荧光(DPX™)频谱技术是现代频谱技术的一个重大革新,大大提高了信号的捕获和观察能力,本文主要介绍其技术原理:

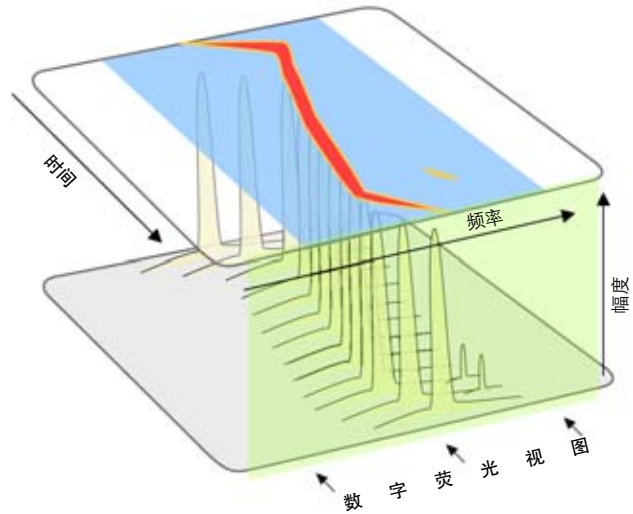
现代RF信号经常会伴随着数字信号处理技术(DSP),以提高通信质量,改善雷达性能,增强电子智能或抗击干扰。“数字RF”的出现从根本上改变了RF工作的前提条件,它在通信和雷达系统及及低价消费器件的设计中,把RF与数字电子器件和计算能力结合在一起。使

用传统测试设备检测、观察和测量数字RF信号感觉就象进入了黑暗的房间一样。RF传输在短突发中完成。调制格式、频率和功率电平都在变化,以对协议事件作出响应。RF突发在随机时间发生。RF元件的数字控制不仅要求注意非线性行为,还要求注意这些行为怎样在日益缩短的时间周期上变化。数字荧光(DPX™)频谱技术在黑暗的房间中点亮了一盏灯。

## 实时频谱仪原理

### ■ 应用指南

- DPX™ 每秒查看 48,000 个频谱
- 然后多个图像重叠在一起，允许统计查看发生频度
- 这一系列快速快照可以以 100% 概率查看任何 > 24 μs 的事件



■ 图 1. DPX™ 的概念表示。

数字荧光频谱技术的名字源于早期示波器和频谱分析仪中使用的传统阴极射线管(CRT)，它为查看动态 RF 行为及不频繁的短时间事件提供了一个工具。早期仪器中 CRT 显示器内采用的发光的荧光具有余辉特点，在 CRT 的电子束激活后会保持发光一段时间。得到的轨迹强度与电子束激活屏幕上某个位置的频度有关。早期仪器显示技术采用可变余辉 CRT，可以调节轨迹的余辉或衰退时间。把余辉变成无穷大可以一直无限地看到单次事件。

泰克研制的 DPX™ 技术采用显示处理专利技术，仿真可变余辉 CRT。泰克实时频谱分析仪中采用的数字荧光频谱分析实现方案把显示处理专利技术与专用 DSP 硬件结合在一起，其执行频率变换的速度较传统频谱分析仪提

高了几个量级。这种组合以一目了然的方式处理和显示空前数量的信息。每次变换的信息组合在 DPX™ 引擎中，以实际信号变化速率生成显示画面。DPX™ 引擎包括统计余辉处理，可以查看信号随时间变化的全部过程。它还可以立即查看强信号中的弱信号，突出显示不频繁的短时间事件。余辉调节允许用户针对变化的信号条件优化显示方式，从“实时 RF”查看动态信号，到发现发生一次的事件。这可以揭示传统频谱分析仪或矢量信号分析仪看不到的信号行为。然后可以使用实时频谱分析仪的触发功能，把信号捕获到存储器中，在时域、频域和调制域中分析信号提供了手段。

### 可以检测到的信号类别

“数字RF”革命带来了空前数量的有用设备，同时降低了其成本和功耗。整个通信系统集成到单片芯片中。在日益稀缺的频谱上传送的信息激增，推动着对每单位带宽更高的数据速率需求，同时需要复杂的通信协议，以实现各种RF器件和系统的和平共存。

通信协议的关键目标之一是在尽可能短的时间内用尽可能少的带宽可靠地传送数据包，同时使干扰达到最小。尽管雷达系统不是为通信而设计的，但雷达系统也有频谱效率及使干扰达到最小的类似目标，同时它增加了安全和避免被发现两个目标。这导致了多种RF传输，包括：

- 只在传输数据单元所需的简短时间内发射，一旦数据被发送，则会释放频谱供其它单元使用。在许多情况下，这些短发射的时间是未知的、随机的。
- 同时与超宽带(UWB)和码分多址(CDMA)系统共享相同频谱的多个系统。
- 智能无线电(CR)，它们调节频率、调制和功率，以在特定时点和位置上对频谱环境作出响应。
- 在一个设备中拥有多个RF器件(在同一个手持设备中实现WLAN, 蓝牙, 蜂窝电话和RFID)。
- 与时钟速率为GHz范围的数字CPU共享相同模块、甚至共享相同硅片的RF器件。

图1中的列表说明了设计人员必须可靠地检测下述原因导致的异常行为：

- 功率、频率或调制转换
- 分散在频繁发生的强信号中的不频繁的弱信号
- 各种RF子系统之间不可预测的相互影响，导致随机产生的频谱

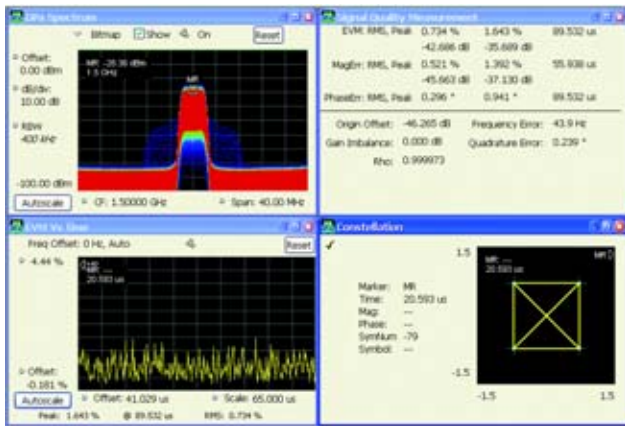
大多数传统一致性认证测试假设静态信号条件，不能保证在实际工作环境中RF系统能否正常工作。为检验系统在实际的RF世界中的运作情况，必须采用新的测试方法。

### 发现、触发、捕获、分析

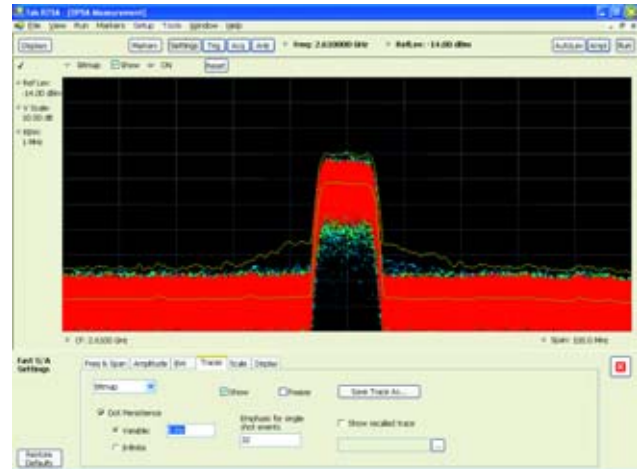
认识到存在问题只是解决问题的第一步。“数字RF”的特定问题通常是间接发现的。一个器件中的瞬变可能会导致另一个器件中的误码率提高。雷达可能会偶尔提供不准确的标靶信息。功放中的热量存储器效应可能会导致数据丢失及给邻道带来瞬时干扰。执行计算密集型软件可能会导致电源电压变化，影响RF传输质量。泰克实时频谱分析仪(RTSA)的DPX™功能为直接发现这些问题提供了一种手段。一旦发现问题，RTSA的频率模板触发会设置成在每次发生特定的信号频谱时触发采集。触发导致信号被捕获到存储器中。一旦捕获，RTSA可以分析信号的时域、频域和调制域特点。可以分析触发前的事件和触发后的事件。

## 实时频谱仪原理

### ■ 应用指南



■ 图 2. 多域相关显示。



■ 图 3. 功放器热内存效应。

可以在独立窗口中同时显示多个测量的结果。所有时域、频域和调制域数据在各个测量窗口中相关。

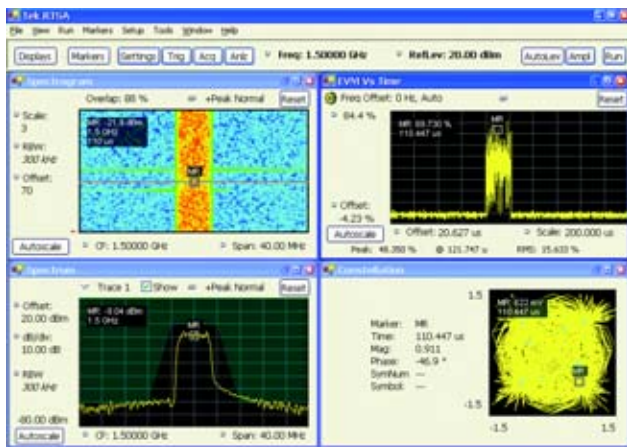
### 发现实例

#### 线性化功放器中的热量存储器

现代 RF 功放器通常使用数字信号处理技术，改善功放器的效率。调制 RF 的基带信号被预失真，以补偿放大器非线性度。它通常带有反馈环路，测量放大器的输出，把输出与生成它的基带信号进行比较，校正预失真系数，根据温度、器件老化及变化的信号条件进行相应调节。非线性行为最明显的后果是频谱再生，它会在与希望的信号相邻的频谱中生成额外的能量。在放大的信号中的功率突

然变化时，会发生热量存储器效应。这种功率突然变化会导致放大器热量不均匀，瞬时改变其非线性特点。这些热量瞬变会持续几微秒到几毫秒，导致预失真器在简短的时间间隔内不正常。其结果是邻道功率瞬时上升，可能会成为邻道用户的干扰源。

图 3 显示了突发 RF 信号在 100 MHz 实时带宽上的 DPX™ 频谱画面。红色区域表明高频谱占用区。绿色轨迹显示了所有频谱轨迹的平均值，黄色轨迹显示了每个频率的最大值。最大轨迹指明了邻道中的频谱至少在简短的时间间隔内拥有额外的能量。这是刚开始时的发现，表明存在热量瞬变效应。后续的触发、捕获和分析显示，只在每个脉冲开始后前 100 微秒中存在额外的能量。



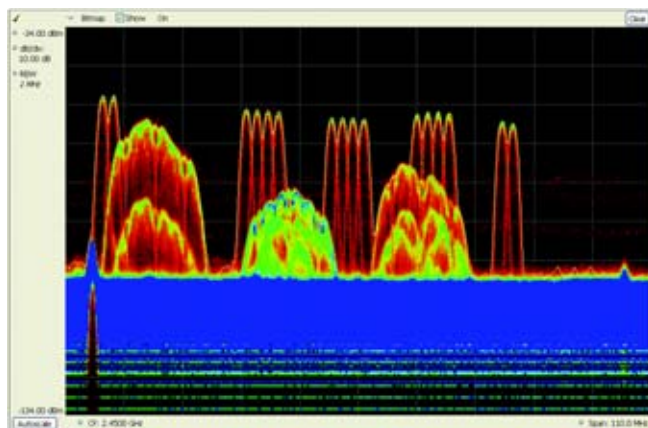
■ 图 4. 由于电源瞬变导致 EVM 劣化，使用 DPX™ 及后续的触发、捕获和分析功能发现这一瞬变。

### 由于电源电流尖峰导致发射机劣化

图 4 显示了一个 QPSK 信号，其在误差矢量幅度(EVM)中发生瞬时劣化。劣化是由拉低电源电压的电流尖峰导致的。电流尖峰是由同一器件中存在的数字电路的活动导致的。使用 DPX™ 检测到频谱瞬时变化。它生成一个频率模板，触发这个异常频谱。对捕获的信号进行多域分析，显示了在包括异常事件的时间周期内的频谱图、频谱、EVM 随时间变化及星座图。星座图同时显示了电源尖峰期间的相位和幅度变化。

### 监测 ISM 频段的频谱

图 5 显示了 110 MHz 捕获，其中包括 2.4 – 2.4835 GHz 整个 ISM 频段。DPX™ 画面显示了通道 1、通道 6 和通



■ 图 5. 识别 ISM 频段中的干扰。

道 11 中的 WLAN 信号以及偶尔的跳频蓝牙信号。20 MHz 的宽圆顶信号是来自附近笔记本电脑的 802.11b 传输信号。下面的黄色圆顶信号表明其发生频次较高。它们是笔记本电脑连接的更远的接入点进行的传输。跳频蓝牙信号是干扰源。

### 小结

DPX™ 为发现通过其它方式不能直接观察的信号提供了一种新的途径。在这盏明灯的照耀下查看 RF 信号非常重要；本技术简介只介绍了这种技术在节约时间、避免灾难方面的部分实例。实时频谱分析仪不仅向设计人员显示了以前从未见过的信号，它们还为迅速调试和解决设计问题提供了一种系统化方式。

## 第六章 实时频谱仪的“双核”技术

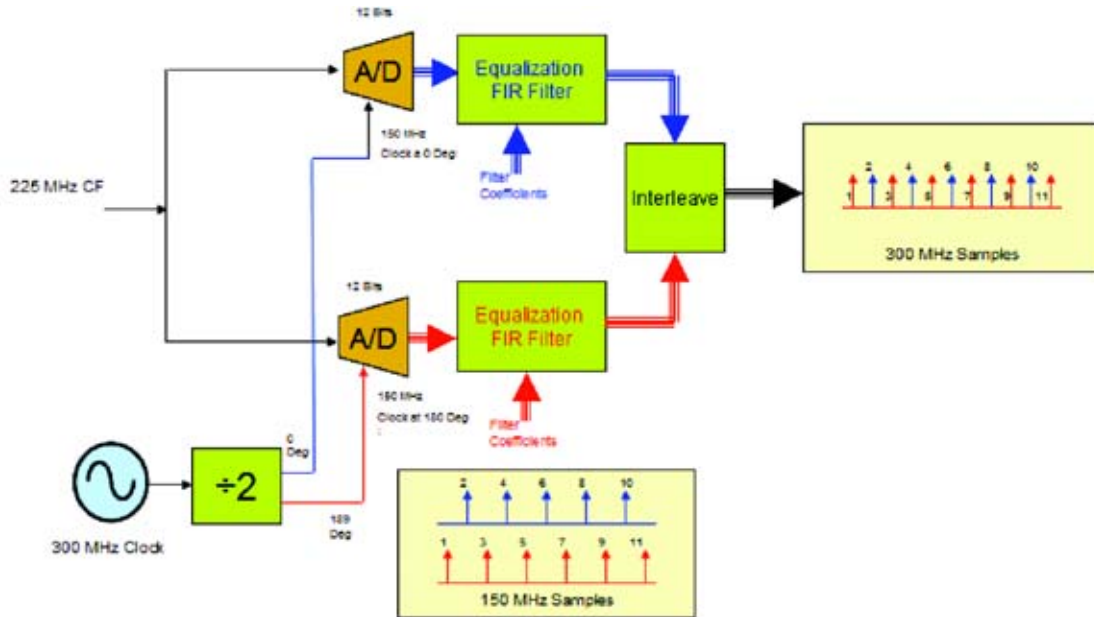
实时频谱仪的核心技术主要是信号的采集和处理部分。在信号采集部分主要是ADC(模数转换器),ADC的采样速率直接决定了最大实时带宽的大小。根据采样定律,采样速率至少是带宽的两倍,考虑到一些采样点的有效性,在仪器中采样速率一般是带宽的2.5—3倍。泰克公司实时频谱仪RSA3408A,其采样速率是102.4MSamples/s,则其实时带宽为36MHz。

同时我们需要考虑仪表的动态范围,其中很关键的一个影响因素是ADC的位数,一般来说ADC的位数越多则可能实现的动态范围越大,我们可以通过以下公式估算:

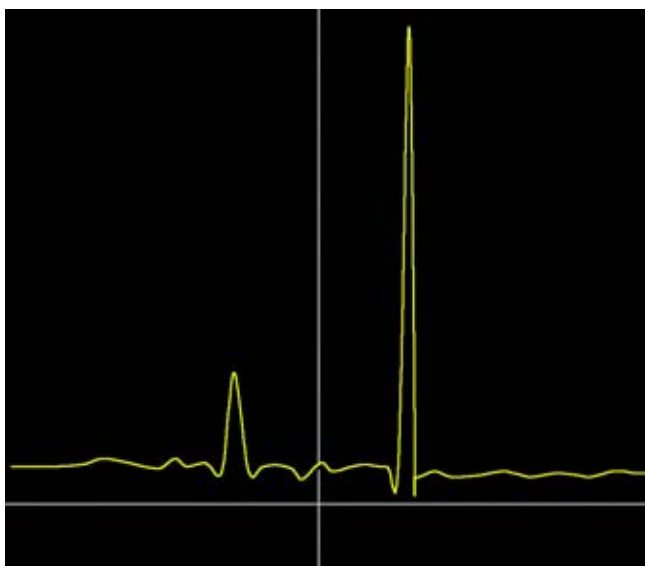
$$SNR(dBFS) = 6.02dB * Num\_bits + 1.76$$

其中SNR(dBFS)指从仪器的参考电平到底噪声之间的

信噪比,例如当ADC的位数是14bit时,通常最末一位不能用,则有效位数为13bit,代入公式得 $SNR(dBFS) = 6.02dB * 13 + 1.76 = 80dB$ 。当然我们可以通过其他方法如减小RBW(中频滤波器带宽)来改善该指标,但由于ADC器件的非线性,往往会带来杂散信号,所以仪表的SFDR(无杂散动态范围)基本可以用这个公式估算。泰克公司实时频谱仪RSA3408a,其ADC采样速率ADC采样速率是102.4MSamples/s,位数14bit,SFDR(无杂散动态范围)是78dB。ADC采样速率和位数我们往往很难兼顾,在示波器中我们可以采用很高采样速率ADC,可以到十几GSamples/s,但其位数在8bit以下。如果位数高了如14bit,但采样率也只有100MSamples/s左右,为了解决这个问题,泰克最新的一款顶级实时频谱仪RSA6100系列采用并行两个ADC的方法来突破这个瓶颈,如下图:



图中看到RSA6100采用了两个150MSamples/s, 12bit的ADC, 它们的相位偏差180度, 合成后采样率就变成300MSamples/s。在合成两个ADC时碰到一个问题就是由于同步, 幅频响应等原因, 两个ADC出来的信号在幅度, 相位上有偏差, 从而造成了杂散信号, 影响了仪表的SFDR (无杂散动态范围)。如下图所示:



由于杂散信号的存在, SFDR (无杂散动态范围) 一般只有50dB左右, 为了解决这个问题, 必须作校正, 对两路ADC信号作幅度和相位的校正, 这也是RSA6000的一个核心技术。校正后, 其SFDR(无杂散动态范围) 达到73dB。RSA6000实现了110MHz实时带宽和73dB无杂散动态范围的完美结合, 在现在业界也是最顶级的仪表。

实时频谱的时间分辨率也取决于采样率, 如RSA6000系列, 其采样率是300MSamples/s, 因为分成I/Q两路, 每路是150MSamples/s, 则每个采样点间隔为 $1/150M=6.6ns$ 。在泰克公司的脉冲测试套件中仪表至少要采集8个样点才能计算所有脉冲信息, 如脉冲宽度, 占空比等, 所以 $6.6*8=50ns$ 。所以当我们使用脉冲测试套件测试一个瞬态脉冲信号, 当脉宽大于50ns时就可以百分百捕获信号。当然, 如果用手工测试脉冲信号时, 可以测试的脉冲宽度可以更窄。

# 第7章 常见问答

实时频谱分析已经以某种形式存在了许多年的时间，随着实现这一结构的技术走向成熟，RTSA已经成为要求检定随时间变化的RF信号特点的各种应用的流行工具。本章将介绍与实时频谱分析有关的若干个常见问题。

### 什么是实时频谱分析？

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。这可以可靠地检测和检定随时间变化的RF信号的特点。

### 什么是实时带宽？

RTSA并不是扫描一系列频率，而是拍摄整个跨度内部所有RF能量的快照。这个跨度称为实时采集带宽。通过数字化信号，记录时域I/Q样点，RTSA可以无缝地捕获实时带宽内部发生的信号，分析特定时点上的幅度、频率、相位和调制参数。

实时带宽可以位于仪器绝对频率范围内的任何位置。例如，泰克RTSA3308A具有15 MHz的实时带宽，可以在DC和8 GHz范围内进行调谐。

最大实时带宽是衡量RTSA的一个重要指标。它一般受到仪器ADC的取样速率及仪器IF段具有线性频率和相位响应的带宽的限制。

### 什么是实时无缝捕获？

实时结构能够在长时间内捕获RF信号。它采集顺序不间断的时域样点，并存储在RTSA的深内存中。这允许仪器建立一个时间轴，与常用的频率轴和幅度轴配套使用，实现频谱图等显示。获得信号的原始幅度和相位表示还使得RTSA能够在频域、时域和调制域中，使用FFT和其它DSP技术处理记录的时域样点，进行复杂的信号分析。

另一个重要结果是如前所述，实时采集带宽内部的所有RF能量会同时数字化和记录。扫频分析仪会以窄步进调谐通过频率跨度，然后汇编结果，生成频谱显示。在RTSA中，用户可以检测和检定无缝时域信息方框内任何时间、实时带宽内部任何地方发生的动态信号。

### “静态”信号和“动态”信号是什么意思？

静态信号或固定信号是不变的信号。许多频谱分析仪测量和通信标准都要求把已知的、行为良好的信号作为被测设备的输入。其它应用需要观察基本CW信号，或调制类型已知、并且不变的信号。

动态信号则会随时间变化。它们会改变幅度、频率、相位或调制类型；或者它们可能会以定期或未知间隔消失和重新出现。在各类应用中，检测和检定这些RF信号类型非常重要，如监控(其中信号简单地、不可预测地出现)、锁相环设计(频率位移后的恢复时间必须符合设计规范)。

扫频分析仪很难测量动态信号，但它们可能能够显示缓慢地或可以预测地变化的信号的部分信息。而RTSA则是为触发、捕获和分析动态信号和瞬态事件专门设计的。

### 为什么RTSA功率随频率变化图看上去与扫频分析仪略有差别？

RTSA中连续采集整个跨度，因此在某些情况下，屏幕更新的速度可能要远远快于扫频分析仪。

对实时带宽内部的跨度，RTSA采集一个数据块，对其进行处理，然后一次显示整个频率范围。结果，每个屏幕的更新方式都类似于新的频谱快照。RTSA显示还会在信号幅度和频率特点变化时迅速变化。与扫频分析仪相比，动态信号在RTSA上看上去可能会非常忙，因为RTSA在实际发生时才显示信号变化。

在扫频分析仪中，等于RBW滤波器设置宽度的滤波器会移动通过频谱。只有在扫描窗口穿过该频率时，才测量跨度中任何频率上的信号幅度。这个窗口可能只是整个跨度的百分之几，但可以简便地定位瞬时扫描频率。但是，不可能知道是否会在其它地方发生瞬变之类的事件。

对超过实时带宽的跨度，RTSA一次采集和处理跨度的一个段，这在很大程度上与扫频分析仪类似。在这种模式下，其行为特点与扫频分析仪类似，但由于RBW滤波器的实现方式不同(在扫频分析仪中通常采用模拟方式，在RTSA中通常采用数字方式)，其速度可能存在重大差别。对非常宽的测量跨度，RTSA一般在窄RBW设置时会更快，扫频分析仪一般在宽RBW设置时会更快。



### 在标准频谱分析仪模式上使用分辨率带宽滤波器会使被测信号看上去有所差别，为什么？

RTSA的所有RBW滤波器都在DSP中实现。与常见的模拟频谱分析仪相比，这些滤波器上的形状系数要陡峭得多，其在频谱内容中表现的外观要窄得多。

陡峭的RBW形状系数较扫频分析仪是一项改进，因为它可以分辨载波附近的小信号。可以更简便地查看相噪，因为它不会隐藏在宽RBW滤波裙裾下。

### 在RTSA上噪声看上去不同。

#### RTSA能够精确地测量噪声功率吗？

在实时采集模式下，RTSA迅速拍摄输入RF信号的快照。如果要检定这些RF信号中的快速变化，必须在非常短的

时间窗口(帧)上分析输入的信号。因此，它精确地显示每个帧表示的频谱的噪声特点。传统扫频分析仪必须缓慢扫描，因此它被迫平均噪声，因为它要扫描整个频率跨度。扫频分析仪这种较长的“分析时间”是其看上去不同于RTSA显示画面的原因所在。

RTSA的噪声带宽可预测性非常高，因为FFT二元组宽度是DSP确定的已知值。因此，可以在RTSA的任何实时跨度内精确地测量噪声功率谱密度。

在标准频谱分析仪采集模式下，提供了视频滤波和显示平均功能来处理噪声。在这种情况下，显示平均功能会产生与扫频分析仪非常类似的噪声信号形状。

**表 4-1：RTSA 跨度选择及对时间分辨率的影响。(泰克 RSA3300A 系列和 WCDA200A 系列)**

跨度	取样速率	采样	有效取样速率	时域分辨率	频谱图时间分辨率	最大记录长度
15 MHz	51.2 MS/s	2	25.6 MS/s	39.0 纳秒	40 微秒	2.56 秒
10 MHz	51.2 MS/s	4	12.8 MS/s	78.1 纳秒	80 微秒	5.12 秒
5 MHz	51.2 MS/s	8	6.4 MS/s	156 纳秒	160 微秒	10.2 秒
2 MHz	51.2 MS/s	16	3.2 MS/s	312 纳秒	320 微秒	20.5 秒
1 MHz	51.2 MS/s	32	1.6 MS/s	625 纳秒	640 微秒	40.0 秒
500 kHz	51.2 MS/s	64	800 kS/s	1.25 微秒	1.28 ms	81.0 秒
200 kHz	51.2 MS/s	160	320 kS/s	3.13 微秒	3.20 ms	205 秒
100 kHz	51.2 MS/s	320	160 kS/s	6.25 微秒	6.40 ms	410 秒
50 kHz	51.2 MS/s	640	80 kS/s	12.5 微秒	12.8 ms	13.7 分钟
20 kHz	51.2 MS/s	1600	32 kS/s	31.3 微秒	32 ms	34.1 分钟
10 kHz	51.2 MS/s	3200	16 kS/s	62.5 微秒	64 ms	68.2 分钟
5 kHz	51.2 MS/s	6400	8 kS/s	125 微秒	128 ms	136.6 分钟
2 kHz	51.2 MS/s	16000	3.2 kS/s	312 微秒	320 ms	5.69 小时
1 kHz	51.2 MS/s	32000	1.6 kS/s	625 微秒	640 ms	11.4 小时
500 Hz	51.2 MS/s	64000	800 S/s	1.25 ms	1.28 秒	22.8 小时
200 Hz	51.2 MS/s	160000	320 S/s	3.13 ms	3.2 秒	2.37 天
100 Hz	51.2 MS/s	320000	160 S/s	6.25 ms	6.4 秒	4.74 天

# 实时频谱仪原理

## ■ 应用指南

### 什么是噪声带宽?

RTSA中的噪声带宽(NBW)相当于扫频分析仪中的分辨率带宽(RBW)。在实时模式下, RTSA 的频率分辨率用 NBW 表示。在标准频谱分析仪模式下(仿真扫频分析仪), RTSA 提供了与传统扫频分析仪相同的可调节的 RBW 设置。

通过在零到无穷大的所有频率上对滤波器的归一化转函求积分, 并把滤波器将要传送到 1 Hz 砖墙(矩形)滤波器的功率与 1 Hz 的噪声带宽关联起来, 可以确定滤波器的 NBW。

扫频分析仪一般使用 RBW 滤波器, 可以检定 RBW 滤波器的噪声带宽, 并在内部进行校正。知道噪声带宽对

信号本身就是噪声的测量或信号具有类似噪声的功率分布(如在 CDMA 传输中)的测量至关重要。

RTSA 在实时模式下采用 BH4B 滤波。由于滤波通过 DSP 完成, 因此可以计算实际噪声带宽, 并在屏幕上与其它仪器设置和测量结果一起显示实际噪声带宽。这种方法提供了精确的噪声测量功能。

### 跨度对 RTSA 的时域分辨率有什么影响?

如第 3 章中所述, RTSA 的跨度设置决定着仪器内存中存储的时域数据的有效取样速率。表 4-1 说明了提高和降低跨度的影响。

**表 4-2: RTSA 跨度选择及对频域的影响。(泰克 RSA3300A 系列和 WCDA200A 系列)**

跨度	取样速率	采样	有效取样速率	频响 (FFT 二元组宽度)	噪声带宽
15 MHz	51.2 MS/s	2	25.6 MS/s	25 kHz	42.7 kHz
10 MHz	51.2 MS/s	4	12.8 MS/s	12.5 kHz	21.4 kHz
5 MHz	51.2 MS/s	8	6.4 MS/s	6.25 kHz	10.7 kHz
2 MHz	51.2 MS/s	16	3.2 MS/s	3.13 kHz	5.34 kHz
1 MHz	51.2 MS/s	32	1.6 MS/s	1.56 kHz	2.67 kHz
500 kHz	51.2 MS/s	64	800 kS/s	781 Hz	1.33 kHz
200 kHz	51.2 MS/s	160	320 kS/s	313 Hz	534 Hz
100 kHz	51.2 MS/s	320	160 kS/s	156 Hz	267 Hz
50 kHz	51.2 MS/s	640	80 kS/s	78.1 Hz	133 Hz
20 kHz	51.2 MS/s	1600	32 kS/s	31.3 Hz	53.4 Hz
10 kHz	51.2 MS/s	3200	16 kS/s	15.6 Hz	26.7 Hz
5 kHz	51.2 MS/s	6400	8 kS/s	7.81 Hz	13.3 Hz
2 kHz	51.2 MS/s	16000	3.2 kS/s	3.13 Hz	5.34 Hz
1 kHz	51.2 MS/s	32000	1.6 kS/s	1.56 Hz	2.67 Hz
500 Hz	51.2 MS/s	64000	800 S/s	781 mHz	1.33 Hz
200 Hz	51.2 MS/s	160000	320 S/s	312 mHz	534 mHz
100 Hz	51.2 MS/s	320000	160 S/s	156 mHz	267 mHz

**跨度对 RTSA 的频域分辨率有什么影响？**

数字下变频和采样同样对 RTSA 的频域分辨率影响重大。FFT 类似噪声的信号 NBW 决定着实时测量的频率分辨率。表 4-2 说明了提高和降低跨度的影响。

**RTSA 的一般 RF 性能与扫频分析仪相比如何？**

RTSA 要优于采用数字 IF 段的现代扫频分析仪。下面概括介绍了这两类分析仪可能引入测量误差的主要领域。

**实时测量：**扫频分析仪事实上没有实时功能，因此一般会对瞬时信号引入大的误差。RTSA 则是为触发、捕获和分析瞬时信号或随时间变化的信号而优化的。

**失真：**扫频分析仪和 RTSA 的失真流程都通过 RF 转换器完成。在 RF 转换器后，RTSA 中的失真取决于 ADC 分辨率及后续 DSP 操作的位宽度。ADC 技术的基础，决定了失真性能和带宽之间是一对矛盾。RTSA 是为实现宽实时带宽而设计的，因此动态范围要低于某些高性能传统扫频分析仪。

**杂散信号：**宽带 ADC、DDC 和 FFT 处理步骤中可能会生成杂散信号。但是，所有这些因素可以保持在一定的水平，使得 RTSA 的净杂散信号性能一般相当于扫频分析仪的性能。

**热噪声和相噪：**RTSA 和扫频分析仪的主要热噪声和相噪机制类似。

**幅度平坦度：**RTSA 和扫频分析仪结构的 RF 转换器幅度平坦度相同。由于 RTSA 依赖宽带 IF 滤波器，而 DDC 中的数字滤波器是为转换频带性能而优化的，因此 RTSA 设

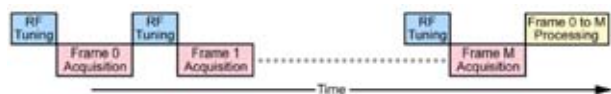


图 4-1. 标准频谱分析仪模式信号采集和处理过程。

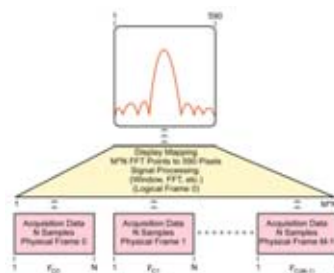


图 4-2. 对大于实时带宽的跨度，标准频谱分析仪模式的数据映射。每个物理帧有 N 个样点，有 N 个物理帧及 1 个逻辑帧。

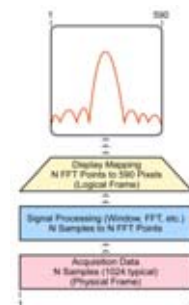


图 4-3. 对小于实时带宽的跨度，标准频谱分析仪模式的数据映射。

计要求特别注意处理偏离平坦响应的任何变化。在实践中，RTSA 的幅度平坦度性能与扫频分析仪大体相同。

**检测器和对数误差：**RTSA 和现代扫频分析仪都没有老式模拟频谱分析仪中的检测器和对数误差问题。这两种现代仪器系列都使用 ADC 和 DSP，完成检测和对数定标。

**RTSA 怎样在大于实时带宽的跨度中进行测量？**

泰克 RTSA3300A 系列中使用两种不同的采集模式：

## 实时频谱仪原理

### ■ 应用指南

- **块采集模式**(如第1章和第2章中介绍)是大多数实时频谱分析仪测量中使用的方法,包括实时频谱分析、时域分析和调制分析。在这种模式下,跨度不能超过最大实时带宽。
- **标准频谱分析仪采集模式**是用来仿真传统扫频分析仪频域测量的方法。在这种模式下,跨度可以超过最大实时带宽。

标准频谱分析仪采集模式允许分析仪在两种特定测量模式下,在大于实时带宽的跨度内进行测量,这两种模式是标准频谱分析仪模式及带有频谱图的频谱分析仪模式。注意在这两种情况下,仪器都不会进行无缝实时测量。采集逐帧进行,在帧和帧之间存在间隔,如图4-1所示,而不是采集一个连续的时域样点块。这种模式采用两种不同的数据结构:

- **逻辑帧**:使用590个显示点组成的集合表示一个频率跨度。逻辑帧的跨度可以超过实时带宽。
- **物理帧**:使用N个时域样点组成的集合生成一个FFT。对小于实时带宽的跨度,一个物理帧等一个逻辑帧。对大于实时带宽的跨度,多个物理帧映射到一个逻辑帧。

对大于实时带宽的跨度,跨度使用采集的多个物理帧度量,RF转换器调谐成以10 MHz步进通过输入频谱。每个调谐步进都采集一个物理帧。图4-1显示了这一采集顺序,图4-2和图4-3显示了数据映射。

### **RSA系列前面板与扫频分析仪有什么差别?**

#### **有什么类似之处?**

RSA的许多控制功能与扫频分析仪相同,如中心频率、跨度、参考电平(幅度)、RF衰减及其它前面板按钮都是过去使用扫频分析仪的工程师非常熟悉的。RSA还具有标准频谱分析仪模式,其中仪器提供了功率随频率变

化显示,其行为方式几乎与扫频分析仪完全相同。

在标准频谱分析仪模式下,一些RSA参数的外观或行为方式会不同于扫频分析仪。扫频分析仪的扫描时间等于RSA中的帧长度。帧长度取决于跨度长度、采集的点数及取样速率。用户可以控制跨度长度,有时还可以控制采集的点数。

在其它模式下,RSA有许多新的控制功能,支持扫频分析仪不能实现的各种实时测量。采集定时控制允许用户设置采集多少实时数据。采集可以短到一个帧或数据,也可以长到硬件内存容量允许的最高限。其它新控制功能与FFT处理有关,包括FFT点数、窗口函数类型选择及RBW滤波器类型。

RSA独特的触发控制功能也是频谱分析领域中新增的功能。频率模板触发等触发功能在传统扫频分析仪中是不可能实现的。RSA可以精确控制触发参数,包括频率和幅度。

### **什么情况下应该使用RTSA?**

#### **什么情况下应该使用扫频分析仪?**

没有一种万能的分析仪可以最好地解决每种RF测量挑战。事实上,可以使用扫频分析仪或RTSA进行许多常见测量,其效果是一样的。在许多情况下,RTSA是一个通用性更强的工具,因为它除了基本频域测量之外,还提供了实时测量功能。

- 测量随时间变化的瞬时和动态信号 – RTSA
- 实时触发、无缝捕获和深入分析信号 – RTSA
- 关联时域、频域和调制域事件 – RTSA
- 对复杂的通信标准进行调制分析 – RTSA 或 VSA
- 基本参数频域测量 – RTSA 或扫频分析仪
- 要求极高动态范围的静态信号测量 – 扫频分析仪

## 第 8 章 词汇表

### 采集

整数个时间连续的帧；一个块。

### 采集时间

一次采集表示的时间长度，与块长度相同。

### 幅度

电信号的幅度。

### 调幅(AM)

正弦波(载波)的幅度根据第二个电信号(调制信号)的瞬时电压变化的过程。

### 分析时间

一个块中时间连续的样点的子集，作为分析视图的输入使用。

### 分析视图

用来显示实时测量结果的灵活的窗口。

### 块

整数个时间连续的帧。

### 载波

调制所在的 RF 信号。

### 载频

载波信号的 CW 部分的频率。

### 中心频率

与分析仪显示的频率跨度中心对应的频率。

### 码域图

码通道、时间和功率显示图，其中 CDMA 码通道为 X 轴，时间为 Y 轴。功率用颜色表示。

### CW 信号

连续波信号 – 正弦波。

### dBfs

用参考全标的 dB 表示功率电平的单位。根据上下文内容，这可以是显示屏幕的全标，也可以是 ADC 的全标。

### dBm

用参考 1 毫瓦的 dB 表示功率电平的单位。

### dBmV

用参考 1 毫瓦的 dB 表示电压电平的单位。

### 分贝(dB)

一个电功率与另一个电功率之比的对数的 10 倍。

### 显示线

波形显示上的横线或竖线，作为参考线目视(自动)比较给定电平、时间或频率。

### 失真

信号劣化，通常是非线性操作的结果，导致了不想要的频率成分。谐波和互调失真是常见的失真类型。

### 动态范围

在输入上同时存在的、可以以规定精度测量的两个信号电平的最大比率。

### FFT

快速傅立叶变换 – 计算离散数量的时域样点的频谱的一种数学运算过程。

### 帧

一系列时间连续的样点；用来计算单个频谱。

### 帧长度

一个帧内部时域样点表示的时间数量；是样点数量和取样速率的函数。

### 频率

信号振荡的速率，用赫兹或每秒周期数表示。

### 频域图

与频率对应的信号频谱成分的功率；信号的频谱。

### 频率漂移

在其它条件保持不变时显示的频率在规定的时间内逐渐位移或变化，用每秒赫兹表示。

## 实时频谱仪原理

### ■ 应用指南

#### 频率模板触发

基于频域中发生的特定事件的灵活的实时触发功能。

#### 调频(FM)

电信号(载波)的频率根据第二个电信号(调制信号)的瞬时电压变化的过程。

#### 频率范围

设备工作的频率范围，具有上限和下限。

#### 频率跨度

在两个频率极限之间扩展的连续的频率范围。

#### 标尺

波形轨迹上的可视识别点，用来提取该点表示的域和范围值读数。

#### 调制

改变信号特点，一般是为了传输信息。

#### 噪声

叠加在信号上的不想要的随机干扰，其一般会使信号变得模糊。

#### 本底噪声

系统固有的噪声电平，代表着可以观察输入信号的最低限；最终受到热噪声(kTB)的限制。

#### 噪声带宽(NBW)

用来计算绝对功率(单位为 dBm/Hz)的滤波器的确切带宽。

#### 实时带宽

可以进行实时无缝捕获的频率跨度，其与实时频谱分析仪的数字转换器和 IF 带宽相对应。

#### 实时无缝捕获

采集和存储不间断的一系列时域样点的能力，这些样点代表着 RF 信号在长时间内的行为特点。

#### 实时频谱分析

根据测量技术触发 RF 信号，无缝地把信号捕获到内存中，并在频域、时域和调制域中分析信号。

#### 参考电平

分析仪显示屏最上方的格线表示的信号电平。

#### 分辨率带宽(RBW)

频谱分析仪的 IF 阶段中最窄的滤波器的宽度。RBW 决定着分析仪分辨间隔近的信号成分的能力。

#### 灵敏度

衡量频谱分析仪显示最小信号的能力，通常用显示的平均噪声电平(DANL)表示。

#### 频谱图

频率、时间和幅度显示画面，其中频率用 X 轴表示，时间用 Y 轴表示，功率用颜色表示。

#### 频谱

信号的频域表示，显示了频谱成分随频率变化的功率分布。

#### 频谱分析

确定 RF 信号频率成分的测量技术。

#### 矢量信号分析

检定 RF 信号调制特点的测量技术。

**参考缩略语**

ADC:	模数转换器
AM:	调幅
BH4B:	Blackman-Harris 4B 窗口
CCDF:	互补累计分布函数
CDMA:	码分多址
CW:	连续波
dB:	分贝
dBfs:	dB 全标
DDC:	数字下变频器
DSP:	数字信号处理
EVM:	误差矢量幅度
FFT:	快速傅立叶变换
FM:	调频
FSK:	频移键控
IF:	中间频率
I/Q:	同相 / 正交
LO:	局部振荡器
NBW:	噪声带宽
OFDM:	正交频分复用
PM:	相位调制
PSK:	相移键控
QAM:	正交幅度调制
RBW:	分辨率带宽
RF:	射频
rms:	均方根
RSA:	泰克实时频谱分析仪
RTSA:	实时频谱分析仪
SA:	频谱分析仪
VSA:	矢量信号分析仪

# 新一代跳频电台测试技术

张鹏 业务发展经理

泰克科技(中国)有限公司

## 1. 跳频电台的概述以及特点

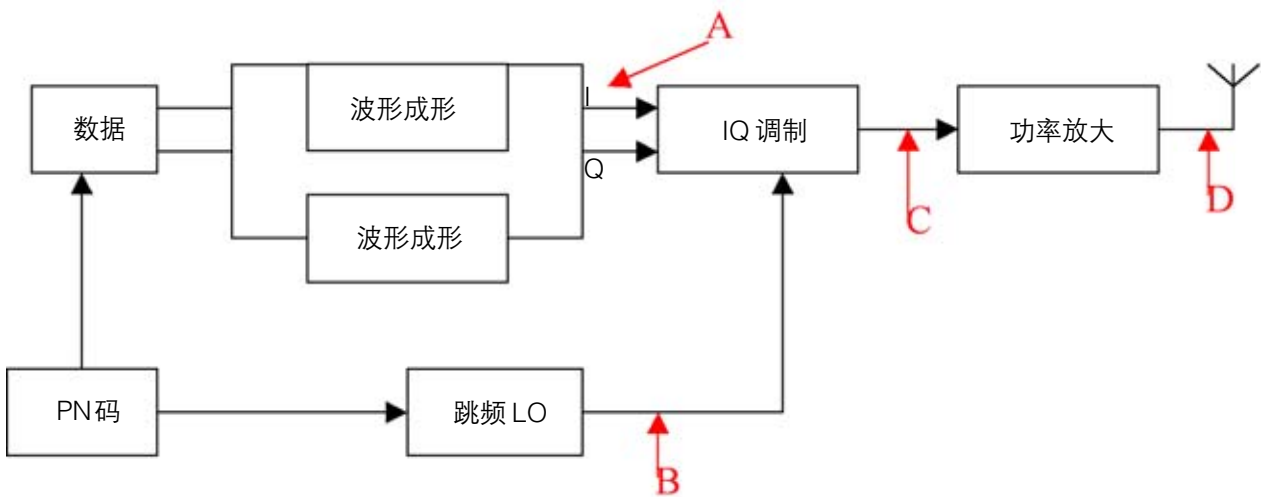
现代战争是一场高技术较量的电子战争,跳频通信技术是在现代信息对抗日益激烈的形势下迅速发展起来的。在民用通信系统中,跳频技术也得到了广泛的应用。随着国民经济的发展,工业电子噪声日趋增多,各种无线通信(数字蜂窝移动通信、个人通信、无绳电话、室内无线通信等)的发展,出现频谱拥挤的情况。GSM蜂窝移动通信系统率先采用了跳频技术抗多径干扰。蓝牙和很多室内无线通信系统也已经采用了跳频技术来对抗工业干扰。这既可克服或减弱相同信道干扰的影响,又

可抗多径衰落。

跳频电台的测试是跳频电台研发部门一直都很关心的重要问题,由于信号跳变的性质,使得跳频电台的测试变的困难。下面通过实时频谱仪对跳频电台分项目的测试的举例来说明实时频谱仪在跳频电台测试上的优势。

## 2.跳频电台的测试点和当前常规测试项目概述

图1是跳频电台发射原理框图,主要由四部分组成,包括调制信号的波形成形, IQ 调制, 功率放大, 跳频频率源等几部分组成。



■ 图 1.跳频电台框图及主要测试点

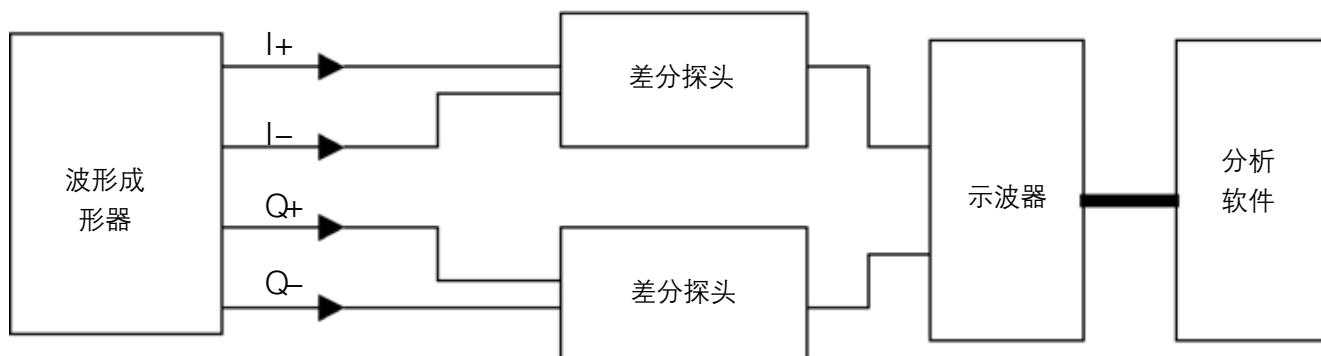
## 3. 如何用实时频谱仪推进跳频电台的测试技术水平

### 3.1 基带信号的波形成形质量的测量

从跳频电台的机构框图图1上我们可以看到在A点对基带信号的测量时非常重要的,这可以帮助工程师发现跳

频电台系统中许多由于数字电路涉及问题所带来的影响,如FPGA中存在的设计问题。在常规测试方法中一般不涉及到研发中的许多测量项目,但是对于跳频电台的研发人员来说是无法回避的。

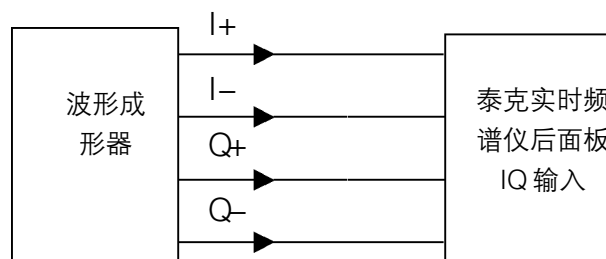




■ 图2.示波器 IQ 测试方法

基带信号在实际设计和应用中多数IQ输出都是输出I+、I-、Q+、Q-四路平衡信号，而且都是带有直流偏置。过去由于没有频谱仪可以对基带信号直接进行调制质量分析，所以只能借助示波器进行这样的操作。图2就是用示波器进行测量的框图。对于四路信号通过差分探头接到示波器，可以通过分析软件进行分析，但是由于示波器的ADC都是8bit，所以在测量精度上会大受影响，另外由于示波器同样也只能观测连续波信号的调制质量，对于跳频信号仍然无能为力，当基带信号有跳变发生的时候，EVM就会变的恶化，结果就是在示波器的屏幕上看到的星座图时有时乱，无法评估EVM质量。还有示波器不能分析带直流偏置的信号，必须在探头前端进行隔直处理。工程师为了避免在基带测量信号质量，就四路信号通过一个固定IQ调制器搬移到载频后进行测试，但时由于调制器的EVM恶化会影响结果，测试结果与实际情况差异较大。

实时频谱仪具有14bit的ADC保证了对EVM测量的精度。由于泰克实时频谱仪具有独特的IQ输入功能，可以直接将基带的差分IQ信号输入到实时频谱仪中进行EVM分析。对基带IQ的测试方法如图9所示，由于它有四路平衡输入，可以直接连接。实时频谱仪可以变分析长度，可以直接测试跳实际输出的IQ信号，通过减小分析长度和改变分析位置来选择不同的跳频点进行分析。可以分别得到换频处和实际数据的EVM值，完全是实际情况测试。

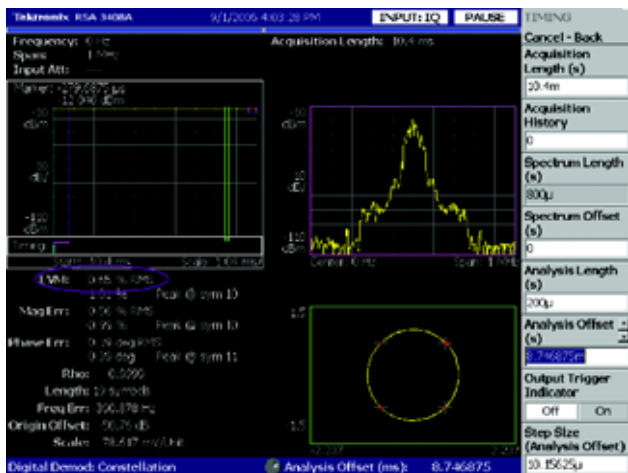


■ 图3.实时频谱仪基带 IQ 测试方法

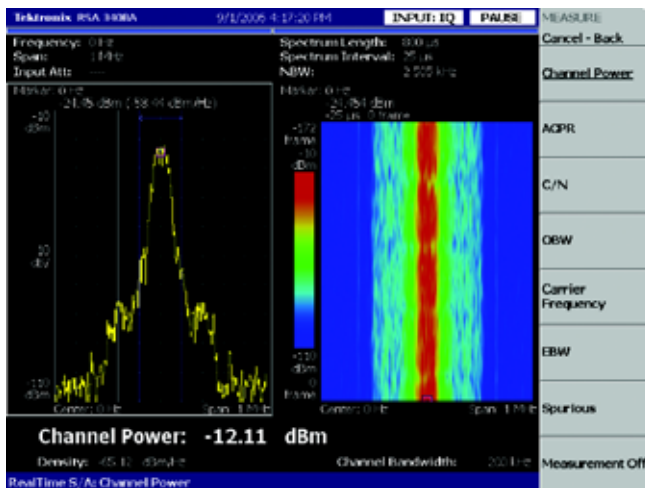
图3是分析长度为200us的基带IQ信号质量。从图中我们看到EVM的值为0.65%，具有很高的调制质量。从图4我们注意到实时频谱仪不但可以观测频谱，同时还可以进行时间相关的多域观测，左上图为时间域，右下图为星座图。以往的传统频谱仪只有一个窗口即只能进行频域观测。而对于时域，解调域等这样和时间直接相关的参数是无法直接测量的。这个功能是泰克频谱仪独特的功能叫做时间相关的多域观测。我们将在后面的第7章中介绍什么时间相关多域观测，他能给我们的测试带来什么样的好处。

# 应用案例集—国防电子

## ■ 应用指南



■ 图 4.实时频谱仪基带 IQ 测试 EVM，并多域显示



■ 图 5.一键测量：通道功率，并功率和三维频谱图多域显示

### 3.2 基带信号的功率指标测量

在 A 点也可以对其他的常规指标进行测量如通道功率，信噪比，相邻信道功率比，占用带宽等。值得一提的时，这些射频指标时通过泰克实时频谱仪的单键测量功能完成的，如图 5 所示，十分方便。

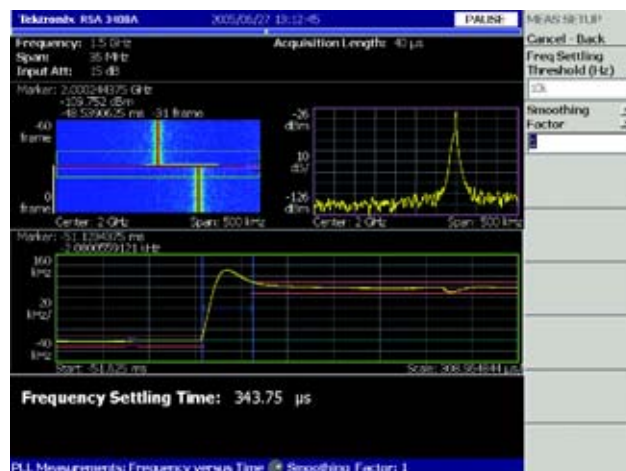
### 3.3 换频时间的测量

对于跳频通信系统，换频时间是指从个工作频率切换到另一个工作频率稳定下来所花的时间。换频时间决定了系统设计时的换频保护时间，也涉及到系统的效率，换频时间通常可以在图 1 所示的 B 点进行测试，来验证频率合成器的性能。对于跳频系统来说，换频时间越短越好，通常工程师都要验证换频时间是否能够达到设计的要求。对于换频时间的测量，传统方式是使用示波器进行时间的测量。但是换频时间这个项目真正关心的是频率随时间的变化，在示波器上面是很难分辨出频率的细微变化，只能看到信号跳变大概包络，无法知道频率的稳定程度是多少，就没有办法真正的测量出换频时间的值，并且只能用光标粗略卡出认为频率稳定的点去估算



■ 图 6. 实时频谱仪测试换频时间图，这里换频时间自动测量 (Frequency setting time) 值为 1.107ms。

时间，而不能自动的精确的找到频率稳定的点去测量换频时间。泰克的实时频谱仪不但可以观测频谱，而且在测量频域的同时加上一个时间轴，所以可以测量频率随时间的变化，最高的时间分辨率可以达到6ns。实时频谱仪可以在观测频谱的同时测量出换频时间。实时频谱仪具有换频时间自动测试功能，过去手动测量只能使用光标去估计频率起跳的点和频率稳定的点，但是这些估计都存在着不同的认为误差。实时频谱仪换频时间自动测量功能可以自动设定频率稳定的门限，只要频率震荡小于某一个阈值门限，实时频谱仪就会自动卡到这个位置测量出换频时间。这使得实时频谱仪在在这个项目上大大



■ 图 7. 换频时间的自动测量，并进行时间相关的多域观测

优于示波器或调制域分析仪的测试能力，成为换频时间测量更专业的测试仪器。图 6 是用实时频谱仪测试的 203 跳/秒的换频时间图。由于实时频谱仪在测量频谱的时候加上了一个时间轴，所以我们上一章提到的驻留时间和阻塞脉冲等参数一样可以轻松测量，而且他的优势在于同时可以检测频谱的变化，而不是单单测量时间。

图 7 是 RSA3408A 对换频时间进行的自动测量。自动测量的时间为 343.75μs。

## 应用案例集—国防电子

### ■ 应用指南

#### 3.4 频率合成器的相位噪声测量

在B点主要是对频率合成器进行测试,这是跳频系统非常重要的一个测试点,既要测量换频时间,而且还要测量频率合成器的频谱纯度等指标。常规测量相位噪声的仪器是频谱仪,实时频谱仪具有自动测量相位噪声的功能,而且其优点是可以对跳变的信号进行相位噪声的测量,这是以往测试的难点,以往使用频谱仪测试相位噪声也只能对稳定频率的信号进行测量。实时频谱仪的优点时可以对跳变的信号进行测量。

#### 3.5 跳频信号的调制质量分析

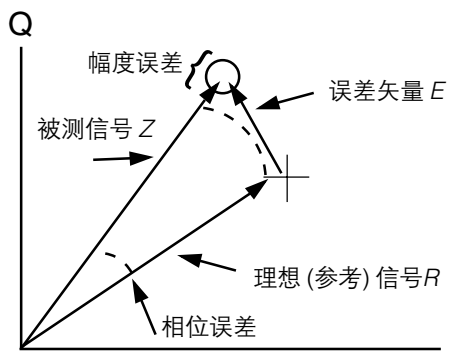
跳频电台广泛采用数字调制方式进行信息传输,所以信号的调制质量至关重要,直接决定了通信性能的好坏。考察矢量调制质量成为检测现代通信设备的主要技术指标。

矢量调制质量主要以幅度误差、相位误差和误差矢量幅度为主。对于恒包络调制可以采用相位和频率误差作为衡量调制质量的标准,但非恒包络调制由于其在幅度上也存在误差,相位和频率误差已不足以反应其调制精度,因此需要一种可以全面衡量信号幅度误差和相位误差的指标。在星座图上,误差矢量能清楚地反映信号的损伤程度,于是提出了误差矢量幅度 (EVM : error vector magnitude) 参数, EVM 是对测量信号与参考信号的差值信号矢量进行测量。这个差值矢量被称为误差矢量。跳频电台的信号在系统中存在放大器,混频器滤波电路等器件都会对信号质量造成影响,其调制信号的功率,相位,定时等参数都会有所损失,我们所以强调 EVM 测量,是因为对于数字系统而言, EVM 和误码率是相关的, BER 取决于波形、编码、及滤波,因此 BER 就和特定 S/N 相关,但 S/N 测试相对复杂,而 EVM 测试容易得多,通过 EVM 和 S/N 转换,就能得到 BER 值。

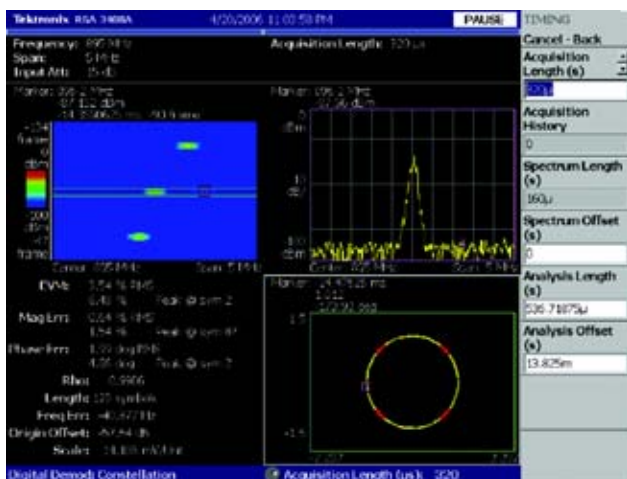
$$S/N = -20 \lg ( EVM )$$

$$S/N = ( E_s R_s ) / ( N_o B )$$

对于特定的调制方式、编码、滤波,  $E_s/N_o$  对应了特定的误码率。所以测出 EVM 就能算出 BER。在跳频状态下,由于频率的切换带来相噪的变化,必然带来 EVM 的恶化,如果恶化严重,将导致整机误码率升高,不能满足系统要求,所以需要测试跳频状态下的 EVM 值,泰克的实时频谱仪正好可以满足测试需求。同时对于数字信号的调制质量还有一些重要指标如相位误差,幅度误差, IQ 增益不平衡, IQ 的正交性等,这些指标都可以通过 EVM 的测量直接或者间接得到,泰克的实时频谱仪具有全面的数字信号调制质量的评估能力。对 EVM 的测量,由于频率合成器的相噪和 IQ 调制器的相位幅度误差会使信号质量恶化,需要在 C 点进行信号质量和调制质量的测试。我们也可以从图 1 的 D 点进行测量,直接测量射频信号,同时工程师也需要从 A 点进行测量, A 点是整个系统的 IQ 基带部分,很多时候调制质量的问题直接来自基带,如果只对 D 点测量可以评估真个系统的信号质量,但是工程师无法知道系统是否在基带的时候就已经存在问题了,这对分离问题非常重要。

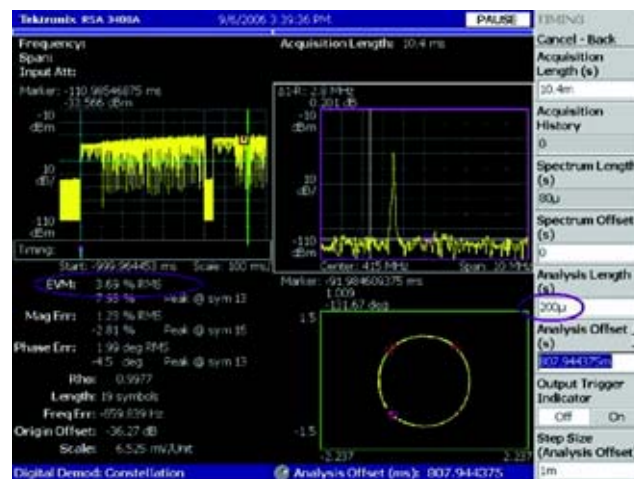


■ 图 8. 矢量幅度误差描述



■ 图 9.多域显示。从左上角的三维频谱图上我们可以看到有 3 个 GSM 跳频点，用选择框选中中间的一个跳频点进行解调，右上角是此跳频点的频谱图，右下角则是对这个跳频点解调的星座图。

常规方式采用矢量信号分析仪和信号源分析仪进行测试，这种方法可以对定频下连续的矢量信号的 EVM 进行很好的测试，但是由于是矢量信号分析仪的工作模式为随机捕获随机解调的方式，所以不具备对跳频信号解调分析的功能，另外也没有载波跟踪的功能，虽然跳频信号跳在是矢量信号分析仪的带宽内，但是不在中心频率上的话，也无法进行解调分析，所以假如用矢量信号分析仪测量跳频信号，将会因为采集到换频的地方或者偏离载频的地方而发现星座图是乱的，可能偶尔使两信号分析仪正好捕获到某一个跳频点稳定的区域正好在矢量信号分析仪的中心频率上，瞬间看到一个比较好的星座图，但是也是稍纵即逝。所以矢量信号分析仪无法直接进行跳频测试，只有采用间接方法，就是让频率合成器在一个频点上跳变，变成定频工作。



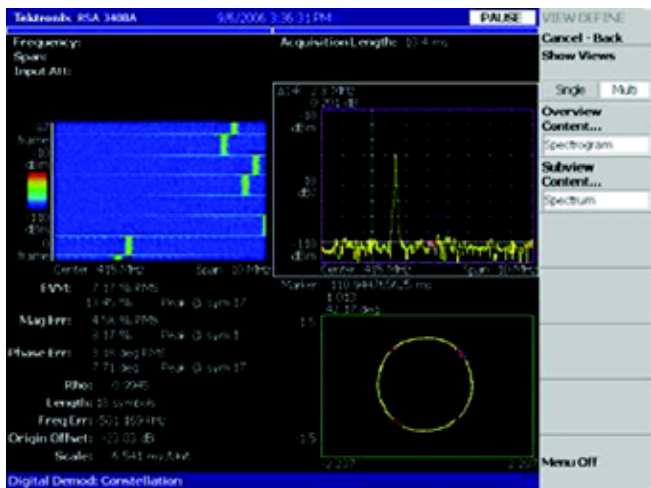
■ 图 10.左上的是时域显示，右上的图是该跳频点的频谱，而右下的图是左上图中绿框内信号的星座图，可以移动绿框的位置来看不同跳频点的星座图。这个绿框可以根据用户的要求进行位置和长短的调节。

但是这样就不能发现在跳频模式下会出现的各种情况，这一直是困扰工程师的一个难题。泰克的实时频谱仪由于其实时特性，可以对信号进行实时捕获，“触发-捕获-分析”这样的分析方法，使得对跳频信号的分析解调变的非常容易，图 9 是对一个 GSM 跳频信号进行的解调。

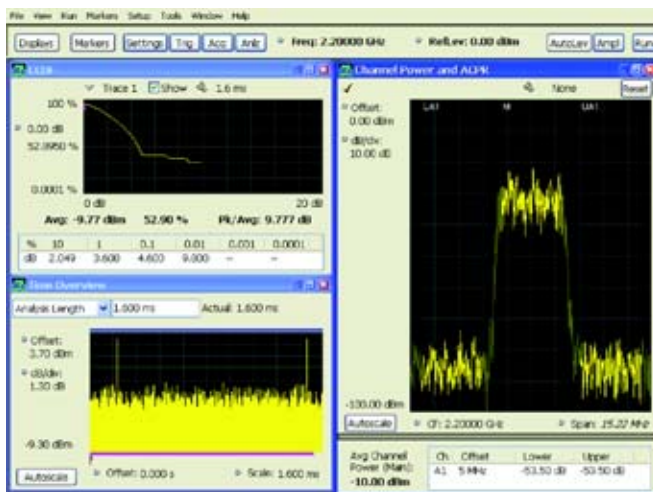
实时频谱仪具有载波跟踪、可变分析位置和分析长度、和存储分析的功能，能直接对调制后的信号进行分析，不需要系统做任何改变，所以测试结果能真实反映实际现象。而且是一次捕获多次分析，可以对有问题的信号捕获下来进行细致复杂的后续分析，而不用担心难以重现故障而难以分析。图 10 是用实时频谱仪测试的跳频信号的调制质量。

## 应用案例集—国防电子

### ■ 应用指南



■ 图 11.通过多域视图分析EVM



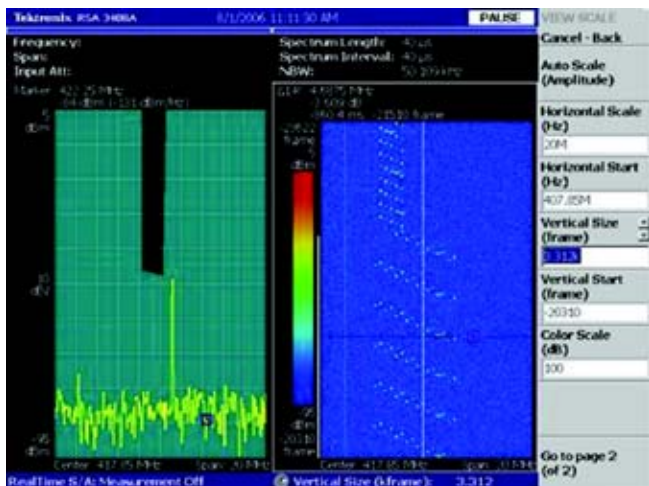
■ 图 12.多域显示。这里是RSA6114A显示的对通道功率测量的图2。其中右边的窗口就是频谱的通道功率显示。

### 3.6 跳频信号的功率测量

当其他条件一定时，接收机灵敏度一致时，通信距离就与接收的功率就有对应的关系，在跳频情况下，每一跳的功率是否一致将直接影响每一跳的通信距离是否一致，需要对跳频情况下测量每个跳频点功率的一致性可以在图1中所示的D点进行测试。由于泰克实时频谱仪具有实时

捕获和信号回放的功能，同时可以对捕获的信号进行逐点的RF性能测量，可以满足对每一个跳频点功率测量的需要。

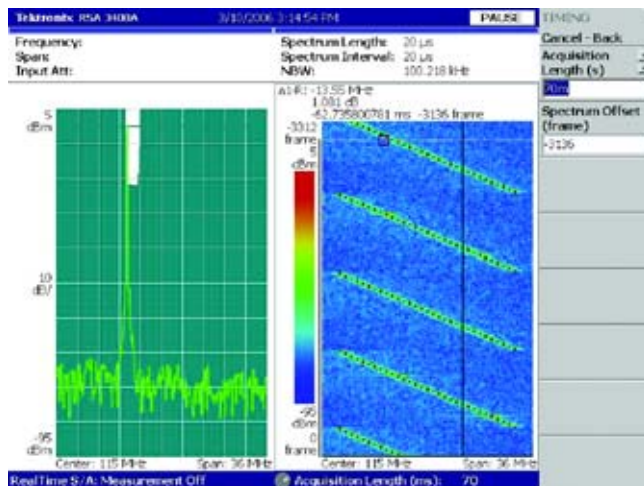
泰克的实施频谱仪可以对信号捕获下来进行各种分析，包括频率测量，这是跳频信号测量功率的唯一手段。图12是RSA6114A测试信道功率的例子。



■ 图 13. 通过触发捕获的跳频通信过程和跳频图案左边是频率模板，右边是捕获到的信号在三维频谱图上的显示，也就是跳频图案。

### 3.7 跳频图案测试

跳频图案常规方法无法进行直接测试，而实时频谱仪可以通过频率触发进行实时捕获并存储分析，因为频率模板触发功能可以确定频率进行捕获，所以能准确捕获特定跳频起始之前和之后的图案。图 13 是用实时频谱仪通过频率模板触发捕获到的跳频图案。图 14 是用调制域(时间对频率)观测同步头的跳频图案。



■ 图 14. 右边时三维频谱图显示跳频图案

在跳频情况下，跳频图案是否按照设计的跳频图案进行伪随机跳变，将直接影响到跳频电台的抗干扰性能和跳频电台设计是否成功，所以需要跳频图案进行测试验证。泰克实时频谱仪的三维频谱图是观测跳频图案的一种非常有效的方式。由于频率模板触发功能的使用，可以使得工程师直接设定跳频的起始点来捕获跳频信号观测跳频图案，这样就可以找到特定频率位置的跳频图案。而对于传统仪器只能随机捕获，很有可能无法确定的捕获到关心的跳频点位置的跳频图案。这是实时频谱仪实时捕获的优势所在。

## 应用案例集—国防电子

### ■ 应用指南



■ 图 15.这是用调制域跳频信号，横周是时间，纵轴是频率，所以只需要添加 2 个光标就可以测出跳频速率。

### 3.8 跳频速率测试

跳频速率的测量，可以借助实时频谱仪中调制域窗口或者三维频谱图进行测量，如下图，在下图中使用调制域窗口进行测量，其横轴是时间，纵轴是频率，频率跳变的点清晰了然，直接用光标测量时分方便，而且准确。

### 3.9 跳频带宽

常规的频谱仪虽然可以使用的最大保持功能来观测跳频

带宽，但是由于扫频频谱仪时逐点扫描过去，所以很难保证在一次扫描过程中看到所有的点，需要长时间的最大保持，有时候需要几十分钟的时间，即便这样也有可能带来测量误差。新一代的实时频谱仪的瞬时带宽可以达到 110M，这样就可以看到所有跳变的点，借助数字荧光显示技术可以在几秒的时间内得到结果，而且可以长时间的存储下来进行分析，使用三维频谱图进行观测，过去由于不能覆盖这么宽的分析带宽，工程师只能分段进行分析。这样的手段不能不说是跳频带宽观测的一种进步。

### 小结

从第六章我们可以看到使用实时频谱仪可以大大改进跳频电台的测试水平如交换时间的测量，跳频频率点的测量等等，同时也增加了许多应该测而过去无法测量的项目，如对跳频信号的调制质量的分析，跳频信号的功率测量等，这些项目都是非常重要但是由于测试手段局限的项目。同时实时频谱仪具有非常好的通用射频指标，如工程师关心的相位噪声、三阶交调、功率准确度、频率准确度等这些指标，大家可以参考说明书的射频指标。实时频谱仪能够提高跳频电台的测试水平都得益于泰克专利的实时捕获技术，和先进的信号分析理念。



## RSA3000 系列实时频谱仪雷达测试概述



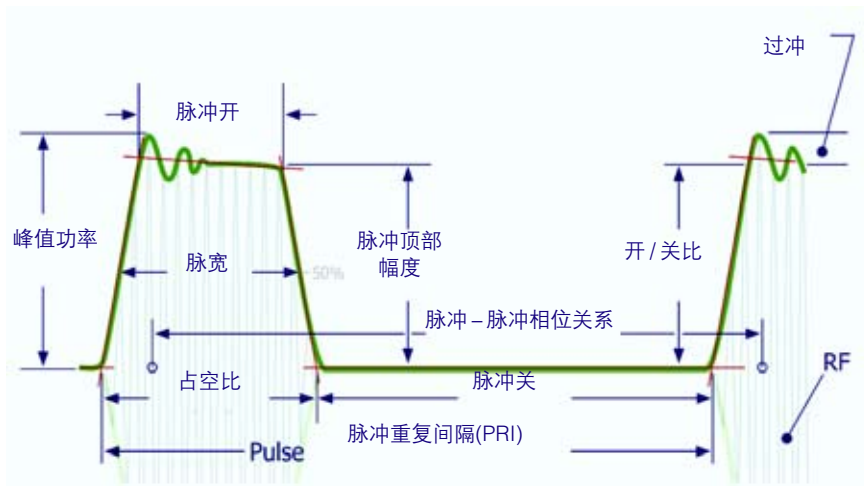
### 引言

雷达脉冲测量是雷达、EW和ELINT系统的关键组成部分。实时频谱分析仪(RTSA)及其独特的脉冲测量软件为检定瞬时雷达脉冲提供了一个完善的分析解决方案。RTSA的瞬时信号测试功能可以提供其它分析仪上无法提供的分析显示和性能洞察力。重叠快速傅立叶变换

(Overlap FFT)、频率模板触发(FMT)和20 nS分辨率、外加业内最完整的脉冲自动分析测量软件,可以提供必要的诊断细节,高效调试现代雷达、EW或ELINT系统。在本应用指南中,我们将考察现代RTSA对雷达测量和测试所作出的贡献。

## 应用案例集—国防电子

### ■ 应用指南



■ 图 1. 常见的雷达脉冲特点决定着重要的雷达系统性能特点。

从历史上看，雷达脉冲测量一直给设计工程师、生产测试经理和现场技术人员带来了许多挑战。雷达脉冲的瞬时特点与现代脉冲压缩技术的方案相结合，通常需要精心的测试设置。传统上，测试测量行业一直未能提供完善的脉冲测量软件，这就迫使许多雷达工程设计人员创建复杂的自定义测试解决方案。

泰克RSA3408A实时频谱分析仪与脉冲测量套件相结合，为通过在一台测试仪器内进行雷达脉冲测试和分析提供了最完善的解决方案。实时频谱分析仪的功能使其能够分析和显示超出其它测试设备的信号细节。

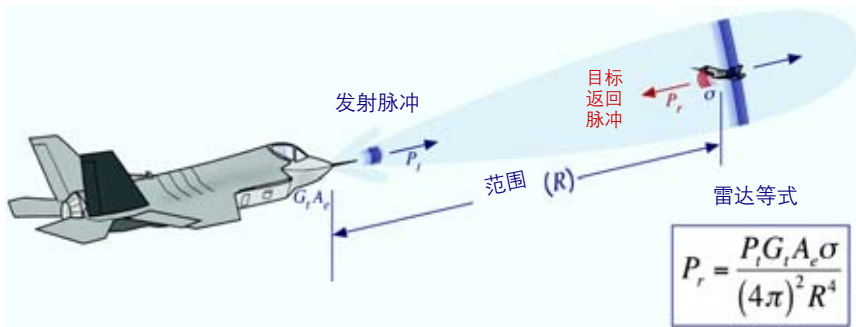
在本应用指南中，我们先回顾与脉冲设计和诊断有关的部分关键雷达系统概念，然后我们考察实时频谱分析仪及其

独特的功能。然后我们介绍可靠地捕获和查看雷达信号的技术。

然后，我们使用RTSA的脉冲测量套件进行压缩脉冲测量、自动进行脉冲信号检定和多普勒 ( Doublet ) 测试，重点分析捕获的数据。最后，我们得出简单的结论，概括实时频谱分析仪在检定雷达脉冲所具有的优势。

### 脉冲式信号背景知识

一般来说，雷达使用一个 RF 脉冲探测其目标，然后监听其回波。由于 RF 脉冲以光速传播，回波返回所用的时间与距目标的距离成正比。当然，这适用于一级雷达，这种雷达依赖从目标上弹回的被反射能量。二级雷达重传来自异频雷达收发机返回的信号，具有额外的延迟。



■ 图2. 发送雷达脉冲，照亮目标。部分信号从目标上弹回，返回到雷达接收机。发送的脉冲与回波之间的时间差决定着到目标的距离。发射机和接收机之间的信号损耗由雷达等式给出，这对确定雷达的最大使用范围至关重要。

RF 脉冲特点在很大程度上决定着雷达的功能。电子战争(EW)和电子智能(ELINT)专家专门研究这些脉冲式信号。脉冲特点提供了与发送信号的雷达类型及可以附着的东西有关的宝贵信息，如帆船、战舰、客机、轰炸机、导弹等等。

让我们回顾一下部分常用脉冲术语及其与系统性能的关系。

脉冲重复间隔(PRI)是脉冲周期在重复前所需的时间，它等于脉冲重复频率(PRF)或脉冲重复速率(PRR)、每秒发送的脉冲数量的倒数。PRI 非常重要，因为它会限制雷达可以工作的最大明确范围或距离。

实际上，脉冲关闭时间可能会更好地表明雷达系统的最大设计范围。大多数雷达系统采用发送/接收(T/R)开关，允许发射机和接收机共享一部天线。发射机和接收机轮流使用天线。发射机发出脉冲，在关闭期间，接收机监听回波。脉冲关闭时间是接收机能够监听反射回波的时间周期。关闭时间越长，目标的距离可以越远。如果经过返回延迟的回波脉冲出现在下一个发送脉冲后面，这会不正确地使目标表现为似乎是附近物体反射回来的。为避免这种模糊，大多数雷达简单地使用脉冲关闭时间，这个时间足够长，使得很远的物体返回的回波功率

变得非常弱，从而不可能在后续脉冲的关闭时间中错误地检测到这些回波。

雷达最大范围的另一个考虑因素是发射信号的功率。峰值功率用来衡量脉冲中的最大瞬时功率电平。功率衰落、脉冲顶部幅度和过冲也是相关因素。ELINT 专家有时会仔细考察这些特点，因为它们提供了与雷达质量有关的其它信息。

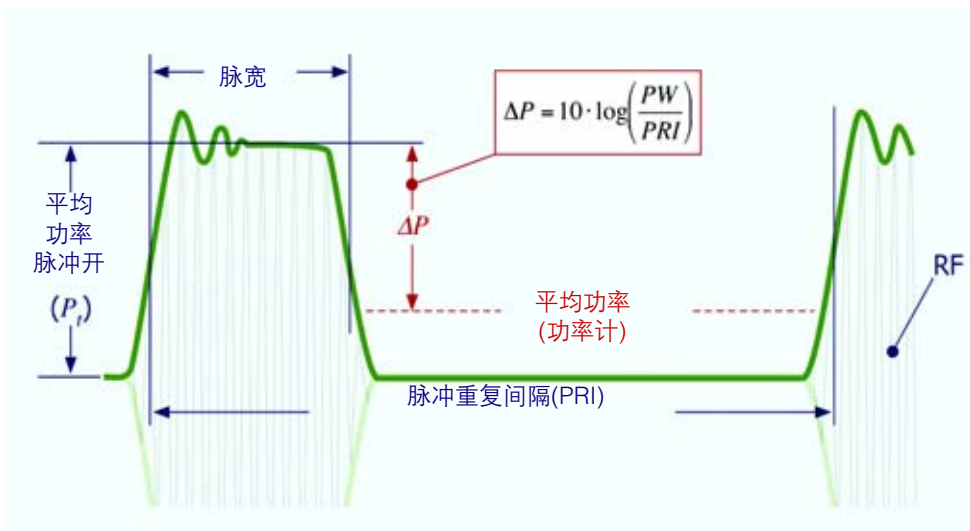
脉冲顶部幅度(功率)和脉宽(PW)对计算一定脉冲中的总能量非常重要(功率 x 时间)。如果知道一定脉冲的占空比和功率，那么可以计算发射脉冲的平均 RF 功率(脉冲功率 x 占空比)。

与通信系统不同，雷达系统会受到非常大的信号传输路径损耗的影响。其中发射和回波途经的双向距离是一条通信链路的两倍，此外还有与雷达横断面及目标反射率有关的损耗。

雷达式把接收的功率( $P_r$ )与发射的脉冲功率( $P_t$ )关联起来，它受到天线增益( $G_t$ )、区域( $A_e$ )、目标横截面(?)和探测范围距离( $R$ )参数的影响。范围一词是指分母中的四阶功率，突出了雷达信号出现的巨大的信号功率损耗。雷达等式分成多种形式，以考虑不同的应用和天线配置。

## 应用案例集—国防电子

### ■ 应用指南



■ 图 3. 脉冲越宽，平均功率越大，从而可以改善最大可用探测范围。

通过使用雷达等式，可以计算得出接收的信号电平，确定是否存在足够的功率检测到雷达脉冲。把多个脉冲组合在一起，积聚成更大的信号功率，通过平均滤除噪声值，这也有助于提高检测范围。

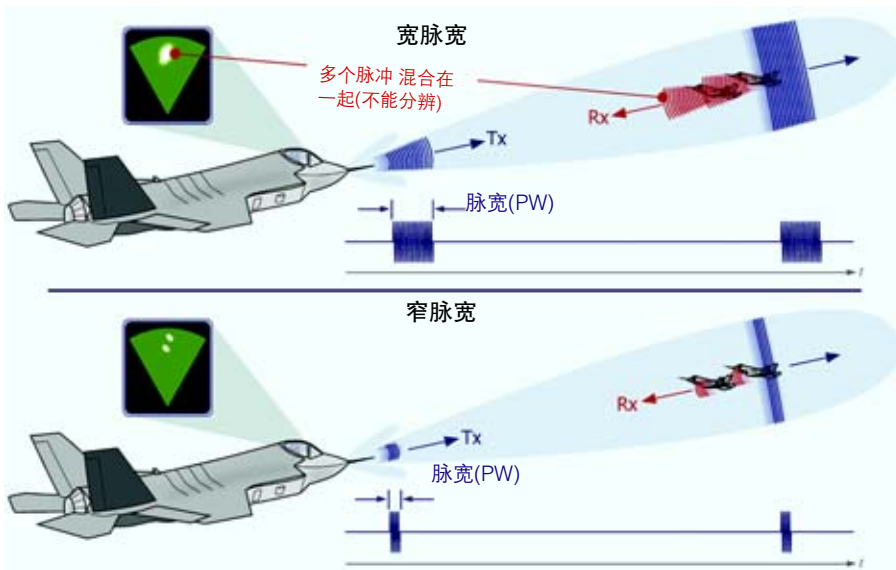
脉宽是一种重要的雷达信号属性。脉冲越宽，幅度一定的脉冲中包含的能量越大。发射的脉冲功率越大，雷达的接收范围能力越大。

脉宽越大，平均发射功率越高，发射机工作越困难。可以使用 10 乘以  $\log$  脉宽除以脉冲重复间隔，简便地计算出脉冲功率与平均功率电平之间的分贝(dB)差。

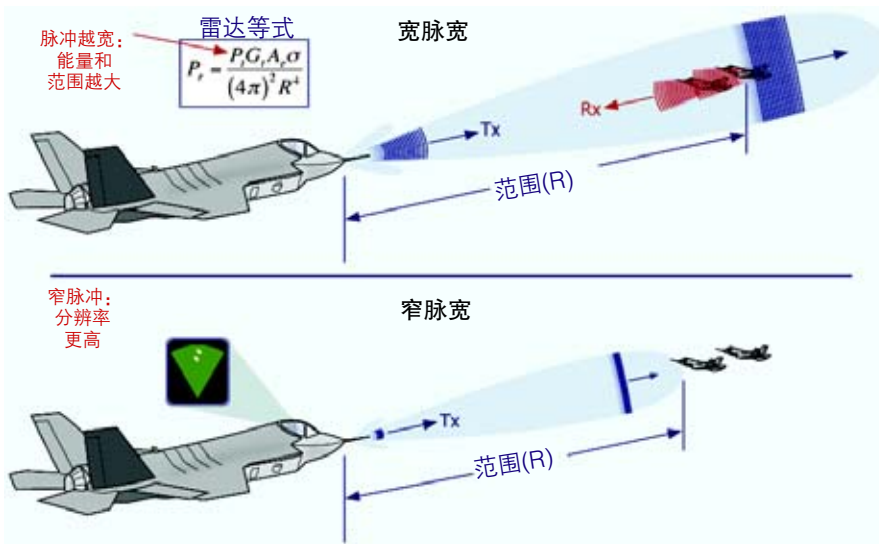
因此，探测范围受到脉冲特点和传播损耗的限制。PRI 和 占空比决定着雷达回波允许的最大时间，而发送的功率或能量必须克服接收机上听到的背景噪声。

脉宽还影响着雷达的最低分辨率。来自长脉冲的回波在时间上可能会重叠，从而很难确定一个或多个目标的特点。脉冲返回时间太长，可能是由一个大目标引起的，也可能是由一架客机引起的，或者是由间隔很近的多个小型目标引起的，也可能是由严格编队的战斗机引起的。如果没有足够的分辨率，就不可能确定实际构成回波的物体数量。窄脉宽避免了重叠回波，改善了分辨率。

因此，脉宽影响着两个非常重要的雷达系统功能：分辨率和检测范围。遗憾的是，这两个功能相互矛盾。脉冲越宽，雷达距离越远，分辨率越低；而脉冲越窄，分辨率越好，但距离越短。正确生成和接收窄脉冲还要求更高的带宽，因此还必需关注脉冲的频谱特点。



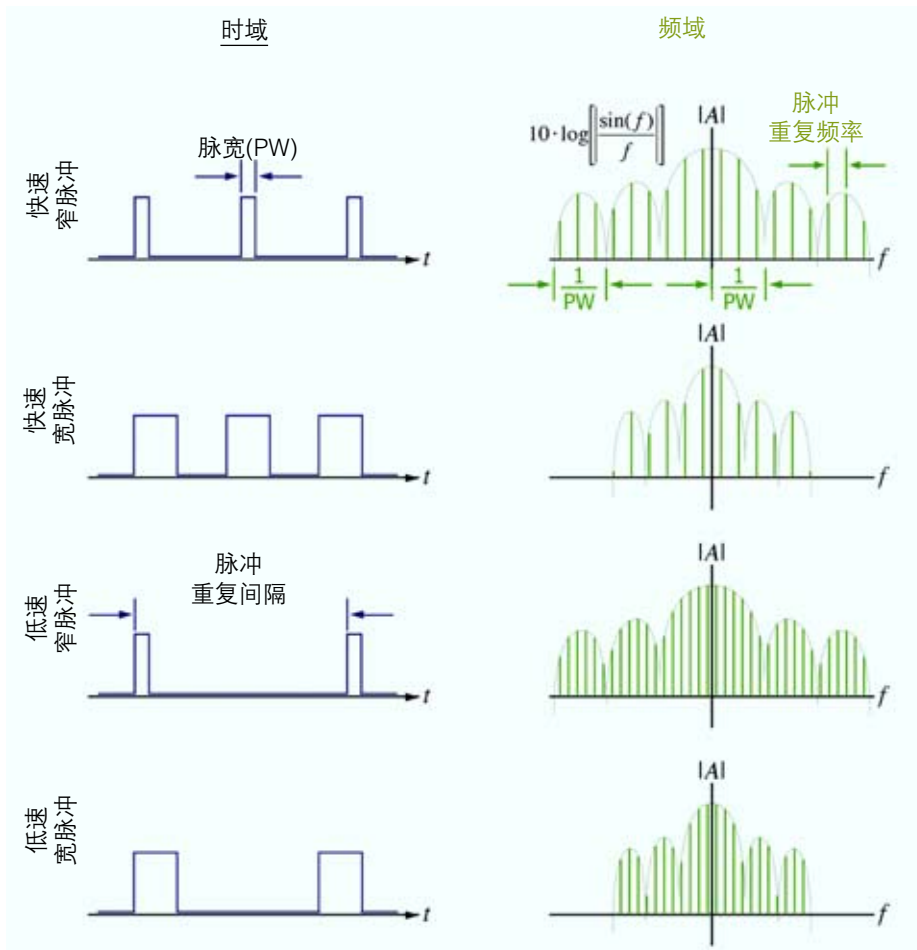
■ 图4. 较长的脉宽的回波混合在一起, 被理解为一个回波或物体。较短的脉宽改善了雷达的分辨率, 它返回完全分开的回波, 但要求更高的系统带宽。



■ 图5. 雷达系统设计的一个主要矛盾是最大探测范围与最小可分辨尺寸之间的矛盾。相反, 窄脉冲可以得到更好地分辨率, 发现更小的目标。

# 应用案例集—国防电子

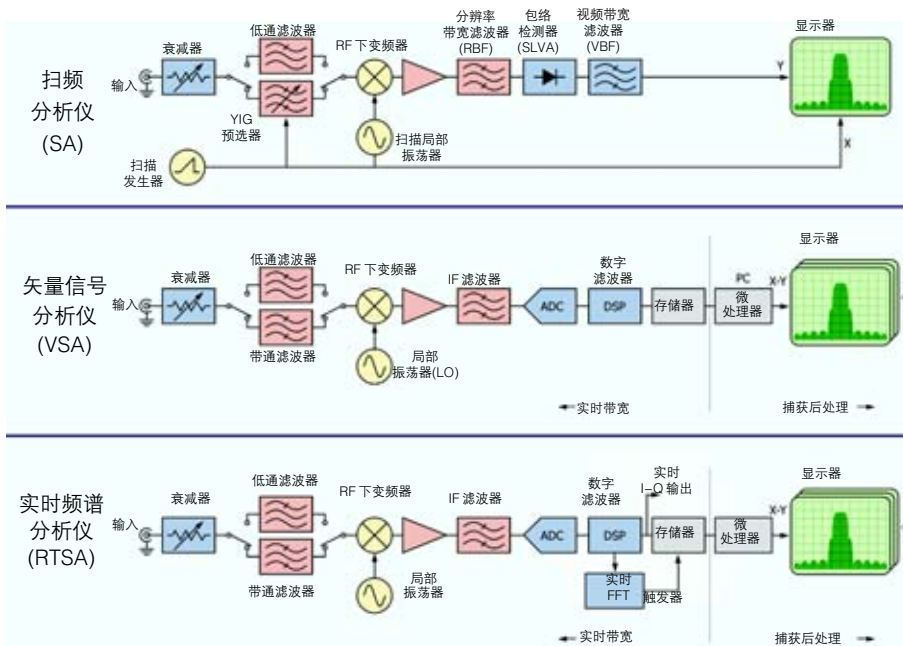
## ■ 应用指南



■ 图6. 脉冲重复速率和脉冲宽度改变了频谱响应。把时域响应变换到频域中显示出改变 PW 和 PRI 或 PRF 产生的影响。

脉冲的时域特点自然而然有频域同等特点。窄脉宽的频谱形状要比宽脉冲宽。类似的，脉冲重复频率高的频谱线成分之间的间隔要大于低速 PRF。

现在，我们已经简要回顾了脉冲特点及其对雷达性能的影响，我们将考察某些关键信号分析技术。



■ 图7. 简化的方框图说明了不同频域分析仪类型之间的主要结构差异。实时频谱分析仪拥有其它分析仪中没有的独特的实时器件,可以更加有效地处理脉冲式或间歇性 RF 信号。

### RTSA 概念介绍

为更好地了解实时频谱分析仪独特的功能,有必要先简要考察一下当前提供的三种基本频谱分析仪简化的方框图。尽管这些分析仪之间有许多类似之处,如都有输入衰减器,但它们之间有许多重要的差异。

扫频分析仪(SA)是最古老的分析仪设计,它在下变频频谱之前,采用相对较窄的可调谐预选器滤波器。然后信号向下变频,通过分辨率带宽滤波器(RBF),在局部振荡器(LO)连续扫描频率跨度时,LO 检测并显示信号。

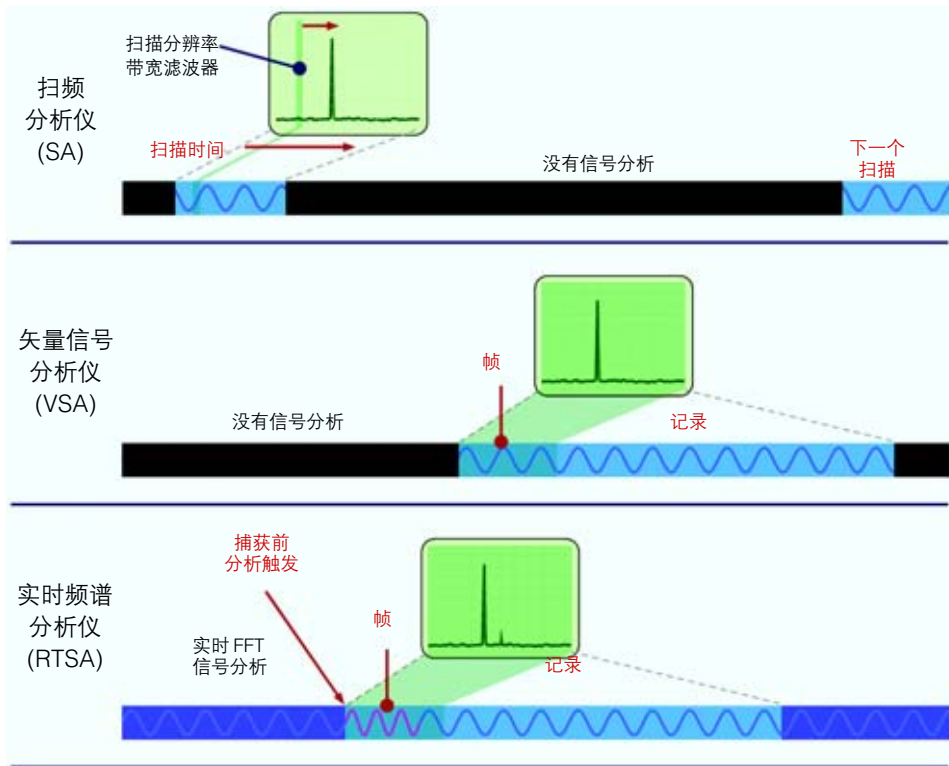
现代矢量信号分析仪(VSA)的结构对信号进行下变频,

但使用按步移动的LO。它通过在每个LO步进上和仪器IF带宽一样宽的段中数字化时域信号,来获得连续的频率覆盖。然后VSA把数据存储在存储器中,使用快速傅立叶变换(FFT)把它变换到频域中,显示频谱。

尽管RTSA方框图的许多单元和采集过程与传统SA和VSA结构类似,但它们之间也有许多重要的差别。RTSA和其它基于FFT的现代分析仪之间最明显的差别是,RTSA有实时数字信号处理硬件,而其它分析仪则没有。这些硬件单元从根本上改变了RTSA捕获和分析信号的能力。让我们看一看其具体工作方式…

## 应用案例集—国防电子

### ■ 应用指南



■ 图 8. 在扫频分析仪中，有很大一部分时间没有被分析；与此类似，矢量信号分析仪不能检测到信号记录之间的频谱变化。实时频谱分析仪在捕获记录前检测到信号在频域中的变化。因此，RTSA 可以触发重要的频谱事件，然后记录信号，进行详细分析，从而有效消除没有考虑的时间周期。这还特别适合可靠地捕获可能弱于附近信号的雷达脉冲，这种情况在复杂的 EW 环境中非常常见。

扫频分析仪不能连续分析整个输入信号跨度。在扫描通过跨度时，它为分析提供了窄分辨率带宽，且只在调谐的频率点上进行分析。因此，在等待分析带宽到达时，许多频谱频率变化都没有检测到。传统扫频频谱分析仪针对频率随时间变化的信号捕获缺乏办法，如果感兴趣的信号 (SOI) 具有瞬变特点，可能会完全漏掉信号。两次扫描之

间的回扫周期也没有分析，相对于 SOI 来说不确定，这进一步提高了问题的复杂度。

矢量信号分析仪提供的基本 IF 触发很容易会漏掉隐藏在复杂的频谱背景中重要的间歇性频域事件。



与VSA一样,实时频谱分析仪也捕获时间取样的信号记录,以进行深入分析和显示。但是,与其它分析仪不同,RTSA的实时FFT连续搜索输入信号中的频谱变化。在检测到设定的频谱事件时,实时FFT触发数据记录,进行后续的后处理分析,而不会漏掉事件。这使得RTSA具有独特的能力,可以连续考察输入上的所有频谱活动,找到感兴趣的事件,可靠地捕获该事件进行分析。这样,实时FFT功能可以100%检测和捕获瞬时脉冲频谱事件,这一点对雷达、EW和ELINT应用至关重要。

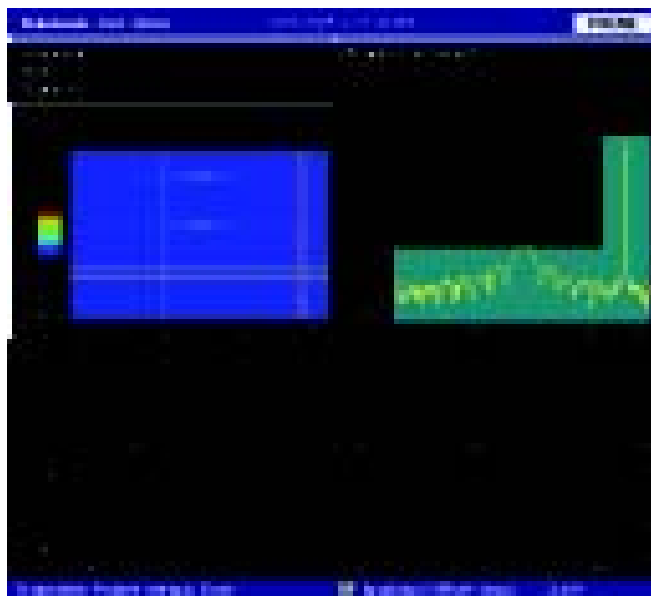
泰克实时频谱分析仪还有一个独特之处,是其拥有完善的脉冲测量软件。脉冲测量套件作为高级测量软件的一部分,具有全面的自动脉冲测量功能。RTSA可以有效代替多种传统测试仪器(SA、VSA和调制分析仪),这一软件大大增强了诊断能力。

在开始信号分析和诊断前,必需捕获感兴趣的信号记录。然后,我们将考察允许RTSA捕获其它分析仪漏掉的信号事件的技术。

### 捕获雷达信号

实时频谱分析仪独特的DSP硬件使其能够把时域波形样点实时转换到频域中。泰克专利技术—频率模板触发(FMT)等独有功能则可以可靠地捕获嵌入在复杂的EW或现实生活频谱背景中的难检雷达脉冲或频率异常事件。

为捕获感兴趣的脉冲事件,首先从触发菜单中设置频率



■ 图9. 实时频谱分析仪的频率模板触发器从接收机的70 MHz IF可靠地捕获雷达脉冲,其远远低于只在IF上方看到的下变频局部振荡器(LO)泄漏。

模板触发器。RTSA提供了典型的触发选项选择:外部触发;功率(IF电平)触发;单次捕获或连续捕获;及频率模板触发。

通过双击鼠标左键,增加模板样点并拖到相应位置,可以在不感兴趣的信号上扩展复杂的频率模板。可以把模板设置成高于本底噪声,避免假触发。一旦设置了频率模板,那么落在模板外面的任何感兴趣的频谱事件都将触发捕获。

# 应用案例集—国防电子

## 应用指南

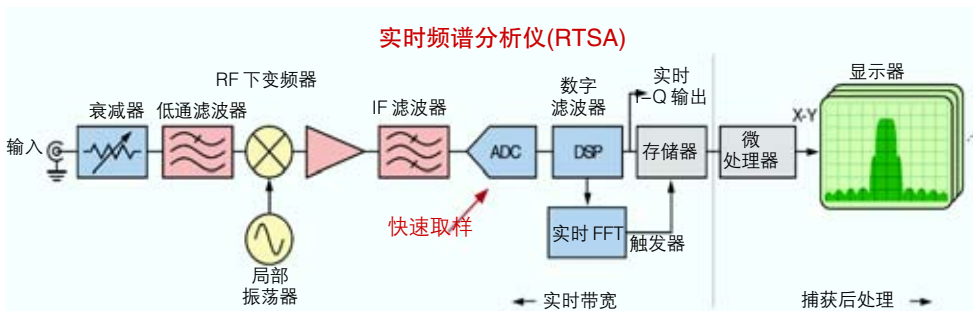


图 10. 实时频谱分析仪简化的方框图数字化 IF，并以数字方式处理数据。RSA3408A 上的快速取样实现了 20 nS 的时间取样分辨率或 36 MHz 的实时带宽。

在雷达工作中，瞬时脉冲回波通常远远低于其它附近频谱辐射的信号电平。这使得 IF 触发变得不可靠。但是，FMT 可以实时比较输入信号的频谱与用户定义的触发模板，检测到即使很弱的异常信号。

可靠地找到脉冲非常重要，但一旦找到脉冲，还有其它问题也会影响捕获的数据的显示清晰度和精度。

回顾一下 RSA3408A 方框图，我们发现，整个 IF 是使用高速模数(ADC)转换器进行数字化的。

RSA3408A 可以无缝捕获要求 36 MHz 频谱带宽的信号。在功率随时间变化模式下，通过使用为时域测量优化的滤波器，RSA3408A 可以提供 20 nS 的分辨率。这就可以分析非常窄的脉冲，很好地提供脉冲形状细节。

分析仪获得的输入信号的时间样点至少是感兴趣的频率(内奎斯特速率)的两倍以上，以避免混迭。

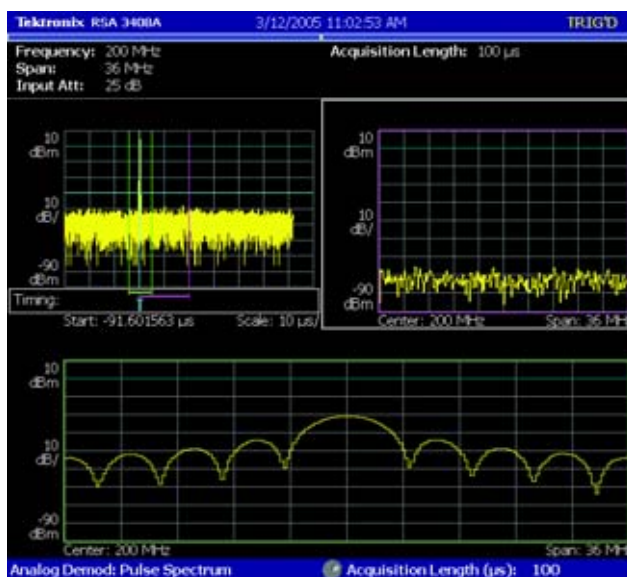
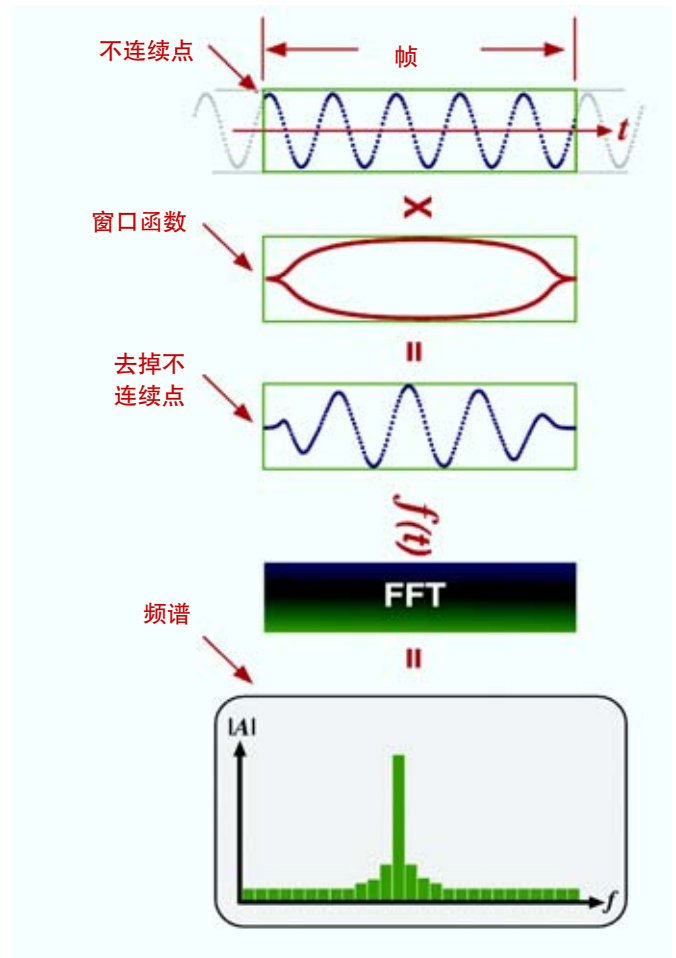


图 11. RSA3408A 快速采样可以捕获非常窄的雷达脉冲。通过使用专用脉冲频谱模式，可以简便地看到在普通频谱模式下查看起来太窄的脉冲。

时间样点划分到数据帧中。每个帧包含FFT流程必需的确切的整数数据。

在进行FFT将数据从时域变换到频域时，是以帧（Frame）为单位的。与创建帧之前的原始时间样点一样，每个帧尾的数据样点在帧以上不连续，这会人为地产生突然的不连续点。在从时域变换到频域中时，这个不连续点会导致频谱扩展。帧本身现在实际上是一个“脉冲”。为使这个不连续点的影响达到最小，可以使用窗口函数，扩大时间取样的数据的幅度，把帧每一端的数据样点幅度降到零。RTSA提供了各种流行的窗口函数，如Hanning, Hamming, Blackman, Blackman/Harris, Parzen, Welch等等。

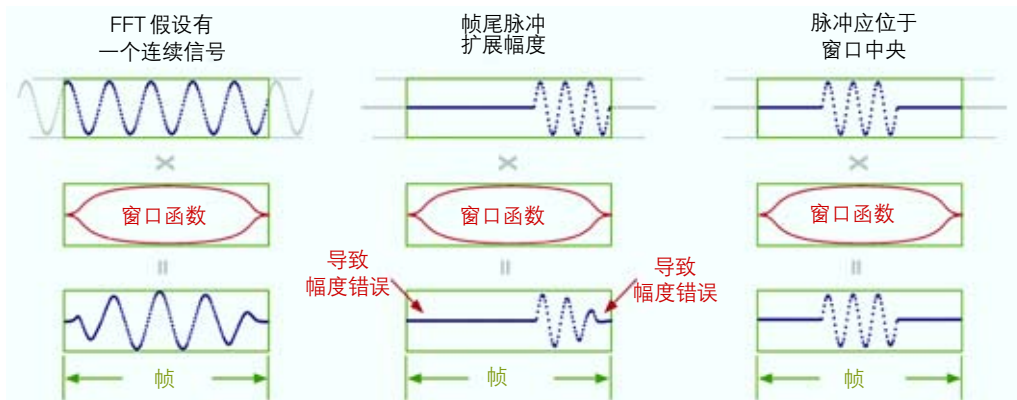
在窗口函数扩展帧的数据后，将计算FFT，把数据从幅度随时间变化变换成幅度随频率变化，即时域到频域。FFT要求各种数据计算，来确定每个频率段或“桶”的幅度。



■ 图 12. FFT 窗口消除了截断不连续点末端的效应。

## 应用案例集—国防电子

### ■ 应用指南



■ 图 13. FFT 假设有一个连续的信号通过帧。帧幅度和窗口缩放幅度差异很大，会引起幅度错误，通过象 RTSA 这样把脉冲放在窗口中间，可以一定程度上避免这些错误。

FFT 流程假设有一个连续信号通过数据帧。不连续点或短于一个帧长度的脉冲会在频谱显示中产生错误。时长短于整个帧长度的信号显示的幅度将按比例小于占用整个帧的信号。在分析雷达脉冲时，这带来了一个问题。更糟糕的是，窗口函数会使帧尾的瞬时脉冲幅度进一步下降或完全消失。这些效应会导致明显的测量误差。

在脉冲式信号中，当脉冲位于数据帧中心，且长度与帧大体相等时，可以获得最准确的 FFT 结果。事实上，这使得脉冲式数据更像是连续的数据。

在处于“Pulse Spectrum”(脉冲频谱)模式时，RSA3408A 自动把脉冲放在帧中间，以降低测量误差。比整个帧短的脉冲的幅度仍会下降。但是，通过正确居中脉冲，可以防止窗口函数末尾导致的错误。这种独特的 RTSA 功能是为改善雷达信号测量精度而设计的。它还通过运行在实时实时模式，对 RSA3408A 36 MHz 实时带宽范围内的脉冲，消除了人们熟悉的“每次采集都采集不同频谱部分”的显示问题。此外，实时频谱分析仪允许用户定义 FFT 窗口，

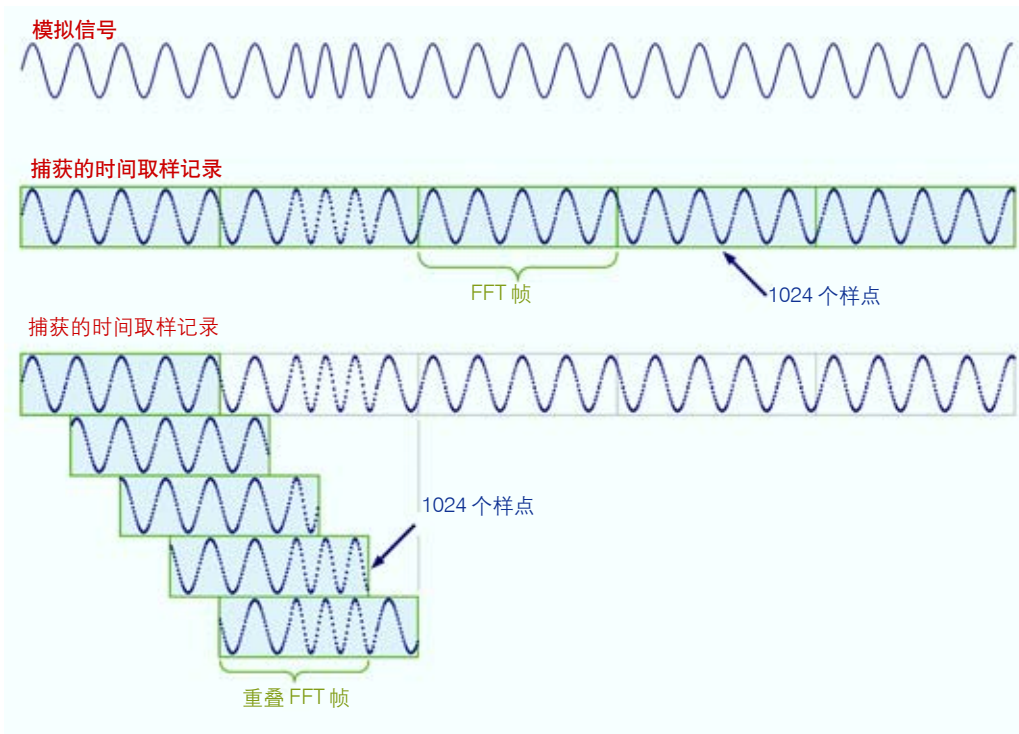
进一步优化测量性能。

### 重叠 FFTs (Overlapping FFTs)

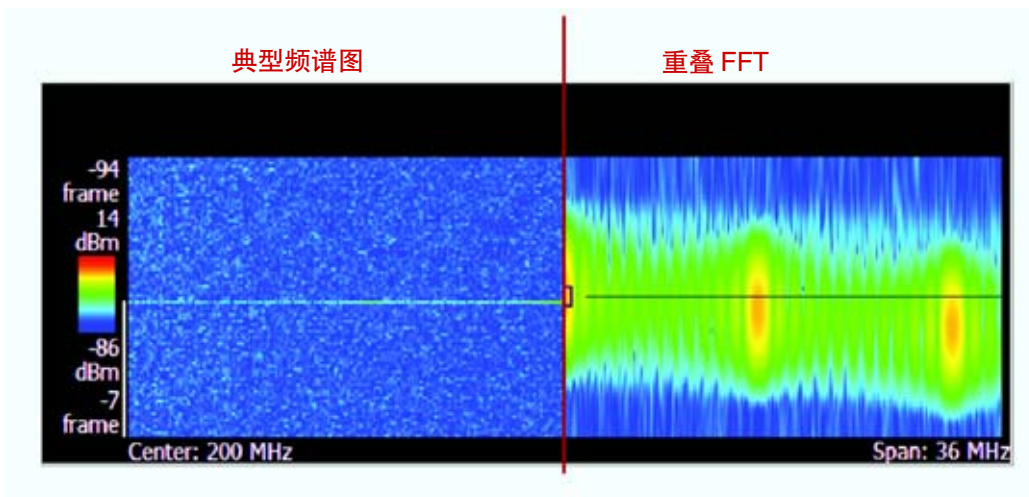
实时频谱分析仪能够重叠 FFT 帧，满足了查看频谱细节的需求，而没有针对瞬时信号优化的分析仪则不能显示这些细节。

遗憾的是，对窄雷达脉冲来说，整个脉冲通常包含在一行频谱图数据中，从典型的雷达频谱图中理解有用信息变得非常困难。

RTSA 可以对许多额外重叠的 FFT 帧分区。这产生了一种类似于在时间上扩展频谱图的效应，可以提供显示细节中的重大差异。重叠 FFT 帧特别适合 ELINT 操作应用，在这些应用中，迅速破译雷达脉冲的特点至关重要。例如，海军海员可能希望迅速确定高 PRF 信号是来自导弹的终端归属局雷达，还是来自采用脉冲压缩编码、消除了范围模糊性的距离更远的雷达。重叠 FFT 可以迅速查看雷达脉冲的特点。



■ 图 14. 在时间取样的记录中捕获模拟输入信号，然后记录解析成 1024 个样点帧，通过 FFT 变换到频域中。RTSA 可以重叠多个帧，创建额外的 FFT 转换，获得更高的分析细节。



■ 图 15. 典型频谱图通常显示的细节非常少。重叠 FFT 扩展了时间标度，揭示了大多数工程师一般看不到的信号细节。

## 应用案例集—国防电子

### ■ 应用指南

类似的，重叠FFT改善了频谱显示，因为脉冲信息步进通过一串重叠的帧。重叠帧使显示更新更加平滑，提供了更多的细节和更加平滑的播放能力。

重叠功能还把脉冲放在帧中的各种位置上，保证正确表示频谱幅度，避免单个帧位置差的窗口效应而导致的理解错误。

注意(如图 16 所示)，顺序分开的信号事件现在似乎被重叠FFT在时间上扩展了，从而表现为在很大程度上在时间上是并发的。时间扩展功能可以大大改善查看短时长瞬变的能力，同时可以扩展或重叠时间关系。

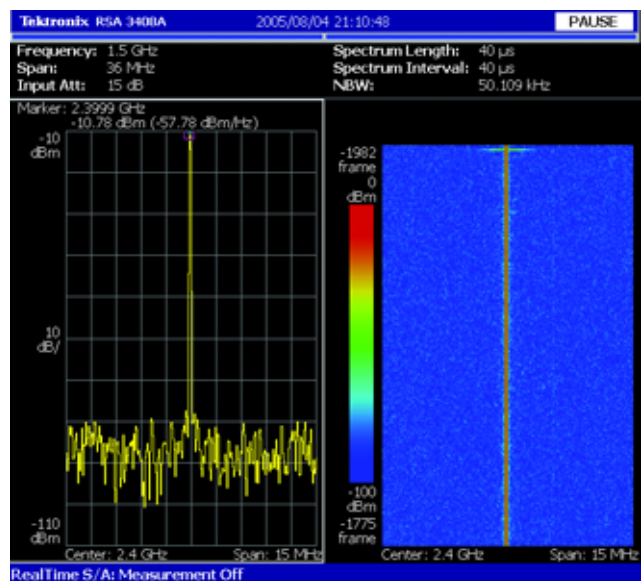
增强显示细节的另一个RTSA特性是缩放功能。通常在捕获到信号时，最好使用最宽的频率跨度。这允许用户调查更宽的频谱，找到可能导致问题的信号。

由于分析仪的水平显示像素数量是有限的，因此每个FFT bin 或 Frequency Bucket 的噪声带宽(NBW)设置成与提供的像素数相匹配。例如，如果为 15 MHz 的跨度提供了 600 个 bin，那么每个 FFT 频率 bin 将宽 25 kHz，等于频率标尺分辨率。在纵向排列中(如图 17 所示)，提供了 300 个显示 bin，每个 bin 的分辨率是 50.109 kHz。

确切的NBW取决于窗口类型及RTSA的频率跨度设置。在选择 Blackman/Harris 4B 窗口时，NBW 大约是 bin 宽度的两倍。



■ 图 16. 重叠 FFT 可以有效查看跳频雷达。



■ 图 17. RTSA 监测 LO 信号频谱，找到落在 15 MHz 跨度范围内的潜在寄生信号。

人们通常希望在更宽的跨度内搜索信号，但这会提高 NBW，频谱显示中的本底噪声会提高，因为会有更多的总功率到达检测器，降低分析仪查看低电平信号的能力。

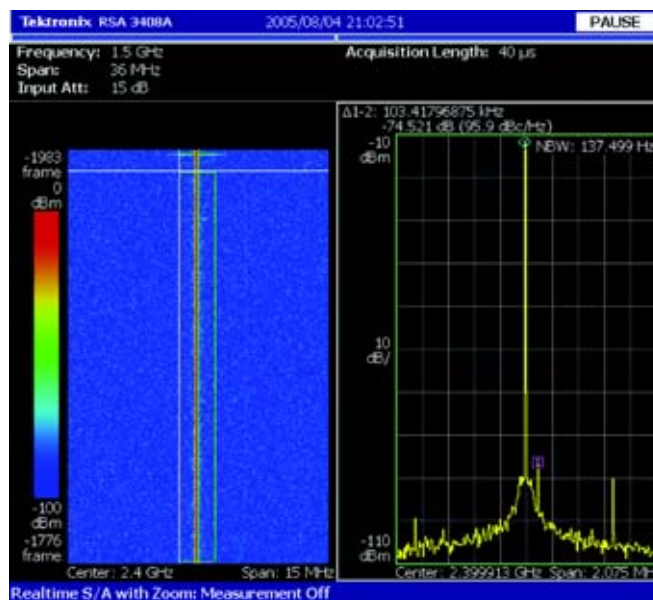
为揭示可能隐藏在更宽跨度内的杂散信号，RTSA 采用方便的频谱图缩放功能。通过简单地把光标拖到感兴趣的频谱图部分，可以激活缩放功能。它自动调节跨度、中心频率和 NBW，查看相关频谱的细节信息。由于在缩放模式下只使用频率跨度的一部分，因此 NBW 变窄了，进而降低了 RTSA 上显示的平均噪声电平(DANL)。实时频谱分析的缩放功能可以使用最佳的分辨率，迅速考察频谱图细节，而不必重新采集信号。

实时频谱分析仪能够捕获数据、并以数字方式把数据无缝处理成显示细节，为迅速诊断问题提供了原始信息。杰出的显示细节只是这一强大的诊断工具的一部分；另外，能够检定显示的信号和频谱也是一个重要单元。

### 分析雷达信号

实时频谱分析仪创新的脉冲测量套件和时间相关多域显示为分析雷达信号提供了业内领先的功能。

脉冲测量套件提供了为检定雷达信号设计的各种自动化测量功能。该测量软件把许多大批量消费者 RF 器件多年来一直享受的速度和方便性带入雷达信号分析中。其成本也要低于专用军事 ELINT 脉冲分析仪。



■ 图 18. 频谱图缩放是一种独特的节约时间的 RTSA 功能，它自动调节跨度、中心频率和 NBW，揭示最佳的细节。

在与时间相关的多域显示一起使用时，可以迅速确定各个脉冲的特点。带有脉冲测量套件的 RTSA 可以代替多种传统测量工具。

为演示脉冲测量套件功能，我们先简单地测量本应用指南前面考察的常见脉冲特点。

## 应用案例集—国防电子

### ■ 应用指南

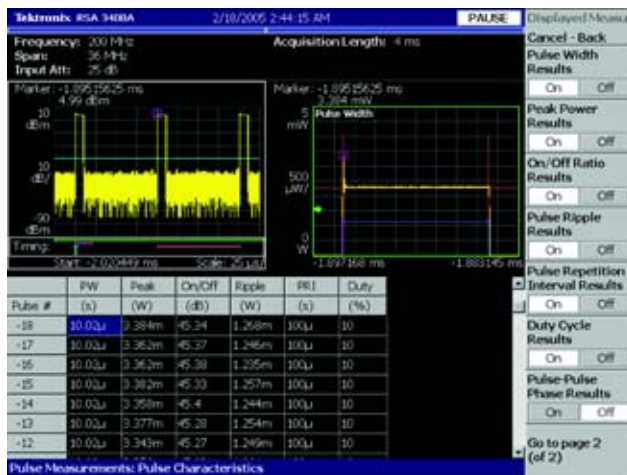
为在 RSA3408A 上进行基本脉冲测量，把分析仪置于“Time”模式，在显示屏软键上选择脉冲测量。按下“View Define”键，然后按下“Display Measurements”软键，可以激活希望的脉冲测量。

RTSA可以测量及以图形方式显示脉宽(Pulse Width)、峰值功率(Peak Power)、开关比(On/Off Ratio)、脉冲纹波(Pulse Ripple)、脉冲重复间隔(Pulse Repetition Interval)、占空比(Duty Cycle)、脉冲-脉冲相位(Pulse-Pulse Phase)、通道功率(Channel Power)、占用带宽(OBW)、有效带宽(EBW)和频率偏差(Frequency Deviation)。

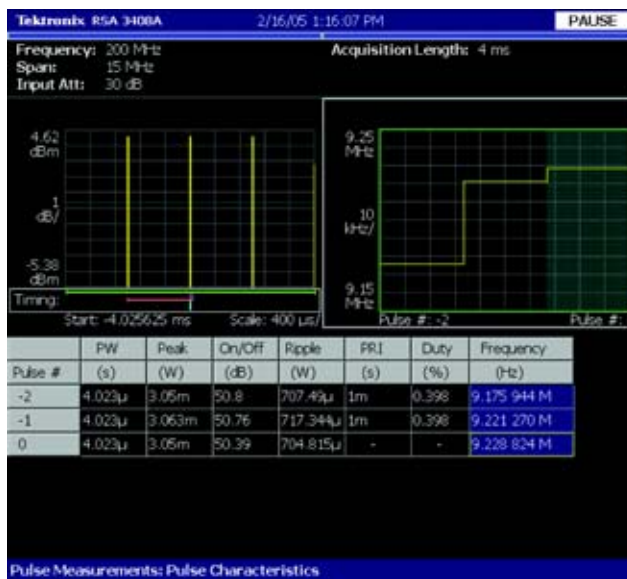
由于在一个记录中可以捕获一个以上的脉冲，因此RTSA测量每个脉冲，为脉冲分配一个编号，自动将每一个脉冲的测量结果列表显示。RTSA拥有多域时间相关显示，因此在测量表中选择一个脉冲时，功率随时间变化图中的相应光标将自动相关，锁定到相应的脉冲信号。同样，概况频谱图中的光标将与频谱图功能的脉冲编号相对应。

脉冲测量套件不仅为每个脉冲测量提供了表格数据，还提供了图形显示。图形显示可以揭示该测量参数的变化趋势，提高故障诊断能力。

例如，在雷达发射机预热时，工作频率可能会漂移。通过使用“View Select”键和“View Define”键，以图形方式显示每个脉冲的频率测量和变化趋势，这样可以简便地确定多个脉冲中的频率漂移趋势。这些测量不仅有益于雷达系统设计人员和构建人员，还为ELINT或EW专家提供了宝贵信息。详细分析信号的变化趋势可以对遇到的发射机类型提供确认信息。



■ 图 19. RSA3408A 的脉冲测量套件可以自动进行常见脉冲测量。



■ 图 20. 脉冲测量套件同时提供了表格数据和图形数据。



### 分析多个脉冲

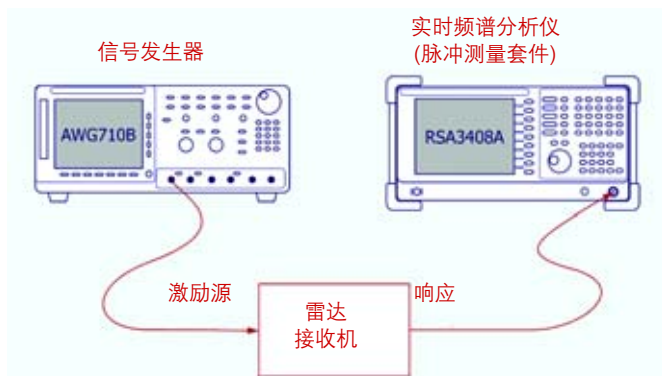
RTSA还可以用来测量多个脉冲，如通常用来测试雷达接收机性能的脉冲多普勒 ( Pulse Doublet )。两个距离很近的脉冲即一个“脉冲多普勒”，它模拟从间隔很近的两个目标物体的回波。脉冲多普勒特别适合测试雷达接收机的分辨能力。通过使用AWG710B之类的信号发生器，可以为雷达接收机测试创建各种脉冲多普勒码型。

AWG710B信号源拥有4.2 GS/s的取样速率及8位垂直分辨率，提供了世界一流的速度和信号保真度。高取样速率可以直接输入到各种雷达、EW和ELINT 1.0 GHz IF端口。此外，AWG710B信号源还有一个内置的图形化波形编辑器及一个强大的波形序列存储器，这有助于迅速创建复杂的雷达和EW测试信号。

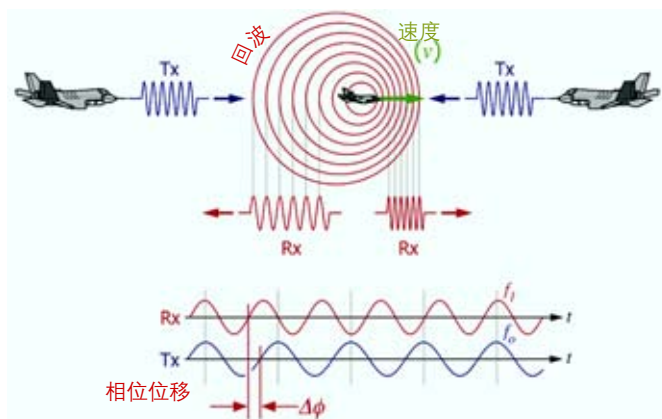
AWG710B完善了泰克雷达测试系列解决方案，它不仅提供了一个脉冲多普勒信号源，还能够生成复杂的EW环境。RTSA特别适合检验脉冲多普勒码型，观察接收机导致的劣化。

例如，使用脉冲多普勒的另一个诊断应用是测量经过接收机的多个脉冲之间的相位变化。某些雷达接收机使用相位变化，测量目标的速度。

移动的目标在发射的脉冲与接收的脉冲之间在频率上产生一个多普勒位移。多普勒频移可以看作发射的信号与接收的信号之间累积的相位位移。定期测量发射频率与接收频率之间的相位位移可以迅速确定相对速度差异。



■ 图 21. AWG710B 可以为 RSA3408A 观察和测量生成复杂的雷达信号源。



■ 图 22. 物体之间的相对速度在雷达回波中产生与位置有关的多普勒位移。发射的信号与接收的信号之间的频率差可以视作累积相位位移。

## 应用案例集—国防电子

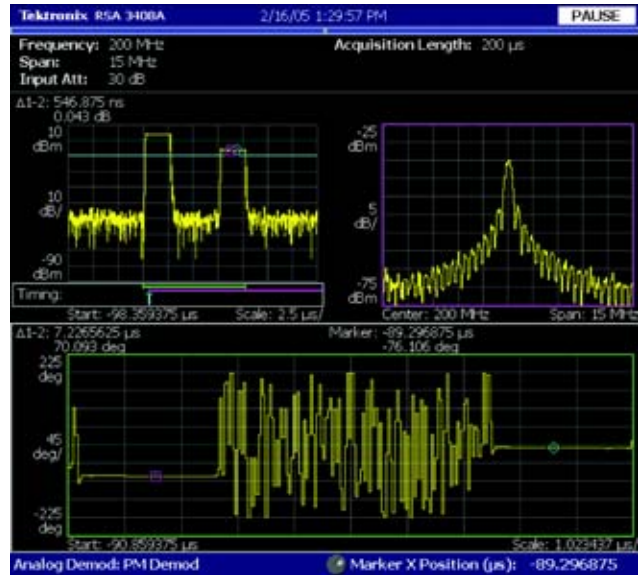
### ■ 应用指南

因此,在不同回波幅度电平上保持接收机相位稳定对精确测量速度非常重要。遗憾的是,雷达接收机链路中的许多器件都可能会呈现出非线性效应,如调幅到调相转换(AM/PM),这会在回波幅度基础上产生不想要的相位位移。这些不想要的相位位移将被理解为速度误差。

使用RTSA确定接收机相位稳定性非常简单。首先,使用幅度不同的相干脉冲多普勒从AWG710B信号发生器模拟雷达接收机,然后在接收机链的输出上观察两个脉冲之间的相位差。通过在“demod”菜单下选择相位解调画面,RSA3408A将以图形方式显示每个脉冲相对于时间的相位变化。对各种多普勒幅度差,静止的目标的相位差应该是零。如果相位稳定性差,那么可能要求使用更高的动态范围器件。

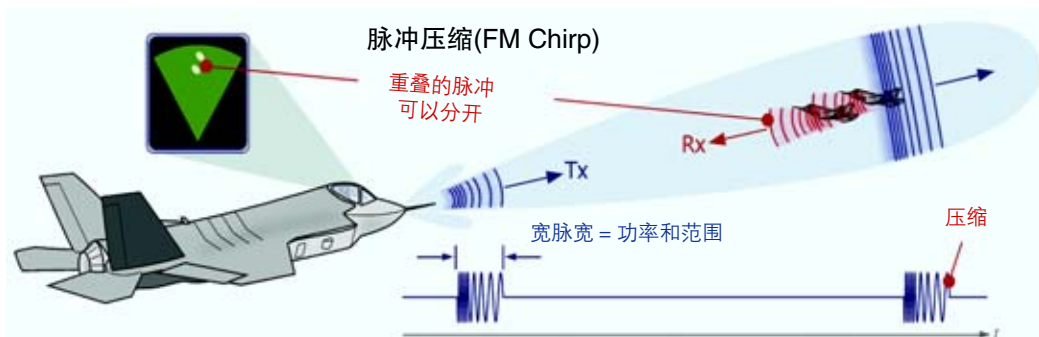
### 脉冲压缩分析

为进一步说明RTSA和脉冲测量套件的优点,考虑一下压缩雷达脉冲的部分测量挑战。雷达脉冲压缩是对雷达脉冲进行调制。许多雷达使用脉冲压缩,改善范围和分辨率。如前所述,在改善分辨率与脉冲变窄及在提高范围与加宽脉冲之间是相互矛盾的。脉冲压缩技术可以同时提高范围和分辨率。通过调制脉冲,可以分开重叠的回波。因此,可以以更大的能量使用更宽的脉冲,而不必牺牲显示分辨率。



■ 图23. 在时域、频域和相位调制域中查看脉冲对。脉冲之间的相位差可能表明非线性度。

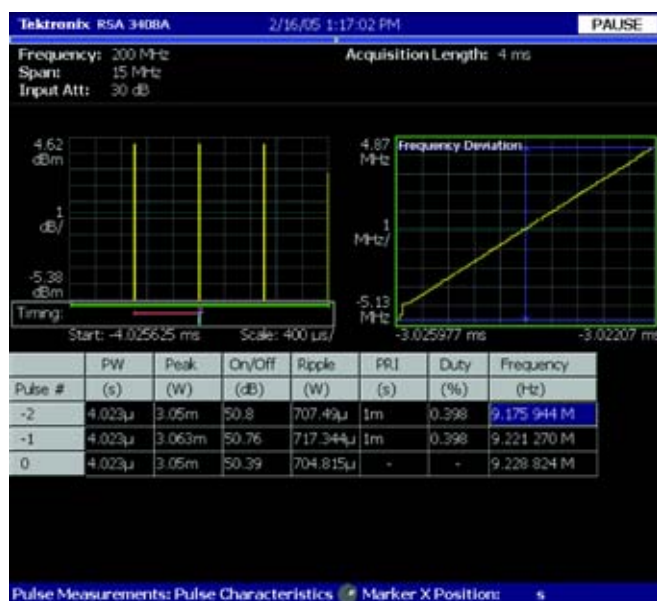
有许多不同的脉冲压缩方案和调制技术。一般来说,脉冲压缩通过频率调制或相位调制实现,以保持更加恒定的脉冲幅度。



■ 图 24. 脉冲压缩或调制每个脉冲为分隔重叠的回波提供了一种手段。这可以在更大的范围内实现更宽的脉冲，同时为以更高的分辨率分隔回波提供了一种手段。

最常用的脉冲压缩调制是 FM Chirp 雷达，其中使用线性 FM 调频。在接收机中，通过专用滤波器传送 FM Chirp 的回波，其延迟低频的方式不同于延迟高频的方式。通过这种方法压缩脉冲，在时间上变窄。很宽及重叠的脉冲在滤波器后被明显的区分为不同的脉冲。

检定压缩雷达脉冲增加了脉冲解调挑战。RTSA 的多域显示可以在进行普通脉冲测量的同时，分析压缩脉冲的调制。例如，可以在功率与时域、FM 调制域和脉冲测量模式下同时查看具有 FM Chirp 的脉冲。这可以简便地检查 FM 调频线性度、脉宽、占空比和频率偏差。时间相关的显示画面进一步简化了诊断评估工作。把光标放在一个脉冲上将在功率与时域和调制域显示画面中提供相应的对应光标。



■ 图 25. 测量 FM Chirp 上压缩的脉冲在脉冲开始处揭示了某些非线性度。

## 应用案例集—国防电子

### ■ 应用指南

类似的，RTSA 可以分析脉冲中的步进频率变化。在选择 FM 解调模式时，脉冲中的跳频步进会随时显现。甚至少量的振铃也可以看作到下一个频率的锁相环转换。这种细节水平使得诊断脉冲发生电路变成一个简明的过程。

RSA3408A 还可以分析采用相位调制的压缩雷达脉冲。实时频谱分析仪简单地置于模拟解调模式，并选择相位解调。在复杂的频谱环境中，频率模板触发器设成捕获脉冲记录。一旦捕获了脉冲，RTSA 的解调器将显示相位随时间变化的图形，其中可以查看各个电平转换。这对许多现代雷达系统都非常重要，这些雷达系统使用双相调制及正交数字编码来分隔重叠的脉冲，消除范围模糊问题。

有许多完善的脉冲压缩方案，RTSA 可以灵活地提供工程师所需的基本测量功能。对挑战性的雷达信号测量，实施频谱仪的脉冲测量套件和时间相关多域分析可以更加简便地在工程设计实验室或生产测试车间中进行诊断调试。

RTSA 还为处理软件定义的雷达系统的人员提供了某些独特的优势。



■ 图 26. RTSA 测量跳过五个频率的雷达脉冲。标尺显示跳频时长是 1.6 μs。



■ 图 27. 在双相调制的压缩脉冲上检查 180° 相位转换。

### 现代雷达研发

现在,大多数现代雷达都在一定程度上采用数字信号处理技术。同时使用模拟器件和数字信号处理的系统一般会在软件和硬件集成中遇到一个常见问题。尽管有完善的软件开发工具,但同时调试在新混合信号硬件上运行的数字信号处理仍是一个效率低下的过程。不能在已知良好的 RF 硬件上测试软件,可能会使工程师不确定问题是与硬件有关还是与软件有关。AWG710B 和 RSA3408A 为解决这个问题提供了独特的解决方案。

AWG710B 可以作为“已知良好的”低功率脉冲源,生成复杂的雷达信号和功能。它还可以在雷达 IF 频率上生成这些信号,驱动现代雷达的上变频器和功放器。类似的,RTSA 允许用户获得 I-Q 数据样点,从而模拟为“已知良好的”接收机和数字化器使用。然后可以在这个虚拟雷达系统上验证软件,而不会怀疑问题是否与硬件有关。

可以通过 RSA3408A 上的 LAN 局域网端口简便地访问 I-Q 数据记录,或通过专用硬件选项直接从模数转换器(ADC)的原始实时 I-Q 数据中简便地获得数据。这两种方法都可以把数据导出到软件解调器中,以详细分析和开发算法。

甚至可以在不进行昂贵的硬件开发的情况下,测试复杂的数字雷达概念。通过使用 AWG710B 任意波形发生器、RSA3408A 和计算机,可以只通过软件开发创建实验雷达系统。用户不需要检验 RF 硬件,可以把精力完全放在软件创建上,降低开发时间。类似的,RSA3408A 还可以作为无源收发分置雷达的前端使用。通过使用 RSA3408A,无源雷达开发人员可以立即把重点放在极具挑战性的计算问题上,而不会浪费宝贵的时间开发定制 RF 硬件。

在高度机密环境中工作的军事用户和商业用户还特别喜爱 AWG710B 和 RSA3408A 配有可移动硬盘的特点,从而可以简便地保证数据安全。

## 应用案例集—国防电子

### ■ 应用指南

#### 小结

在传统上,复杂的雷达信号要求精心设计的测试设置,以检定信号。雷达脉冲的瞬时特点及现代脉冲压缩方案相结合,使得捕获和精确分析脉冲成为一个挑战。实时频谱分析仪是为这些瞬时 RF 信号而优化的。

即使在复杂的 EW 频谱环境中,RTSA 的频率模板触发器仍能够可靠地捕获雷达脉冲。重叠 FFT、脉冲在帧中自动居中显示及频谱图缩放功能为 RTSA 提供了杰出的雷达脉冲显示细节。

脉冲测量套件为雷达、EW 和 ELINT 专员提供了全面的脉冲自动检定功能。脉冲测量软件自动进行许多常用的脉冲

测量,并与时间相关的多域显示无缝工作。自动测量简化了设置时间,多域显示增强了诊断能力,从而可以快速调试雷达系统,得出可靠的诊断结论。

RTSA 涵盖了从简单脉宽测量到复杂地解调跳频脉冲的全系列测量,提供了全新的测试测量功能,可以有效地代替多部传统分析仪。RTSA 提供的快速自动脉冲测量增强了产品开发、生产和现场维护操作的效率。类似的,RSA3408A 的实时 I-Q 导出功能特别适合数字雷达研究和概念验证应用。此外,RSA3408A 是一个真正的便携式测试仪器,适用于调试移动平台机载雷达或边远地点的雷达。

## RSA6100A实时频谱分析仪雷达测试概述



测试先进的雷达通常要求测量设备提供优异的性能。RSA6100A 系列为先进的雷达测试确立了新的行业标准，提供了优异的性能和创新功能，大大简化了诊断调试和生产测试工作。RSA6100A 涵盖了 14 GHz 及以下的流行雷达频段，拥有 110 MHz 的瞬时 IF 带宽和 73 dB

的动态范围，在业内居于领先地位。这种硬件性能与 DPX 显示和脉冲测量套件等创新功能相结合，使得 RSA6100A 成为测试先进雷达的首选。在本应用指南中，我们将考察 RSA6100A 系列实时频谱分析仪 (RTSA) 为先进的雷达测试提供的性能和功能。

# 应用案例集—国防电子

## 应用指南

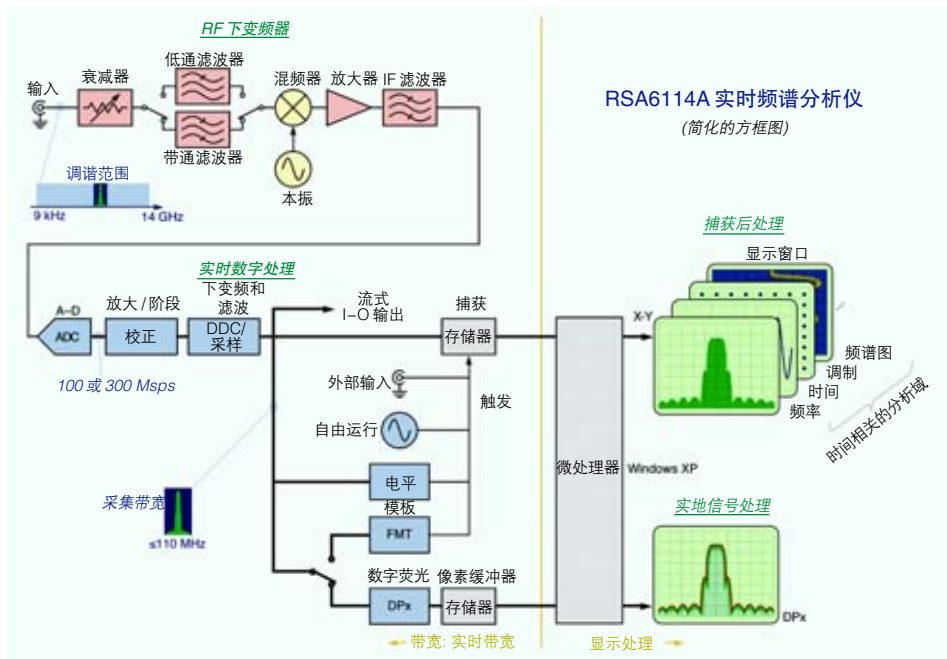


图 1.采用数字荧光技术(DPX)的RSA6114A 实时频谱分析仪简化的方框图，其中显示了实时结构。

### RSA6100A 的性能

RSA6100A 实时频谱分析仪为解决以前棘手的雷达、电子战争(EW)和电子智能(ELINT)问题提供了方案，在带宽、频率、动态范围和显示处理方面扩大了单台仪器的处理能力。让我们看一下 RSA6100A 的独特功能。

#### 频率范围

RSA6114A 的信号路径开端是一台模拟 RF 下变频器。RF 下变频器使用简单的转换，与许多频谱分析仪类似，但它提供了非常宽的 IF 带宽。下变频器支持 9 kHz – 14 GHz 的频率范围，涵盖了许多流行的雷达频段。

### 宽带宽

RSA6100A 把 40 MHz (标配)或 110 MHz (选件 110)的捕获带宽与高动态范围结合起来。这种带宽要求改变仪器结构中的 RF 部分，这个部分过去一直采用传统频谱分析仪。以前的仪器一直使用扫描式 Yttrium-Iron-Garnet(YIG)滤波器作为预选器，在超过大约 3 GHz 时进行图像和杂散信号控制。YIG 滤波器的带宽有限，同时具有明显的调谐滞后效应及群时延变化，因此在多次测量中很难实现可重复的结果。在需要宽带捕获时，传统仪器要求绕过 YIG 滤波器，这会降低无杂散动态范围。基于这些原因，RSA6100A 在超过 8 GHz 时使用一系列开关式带通滤波器进行图像和杂散信号控制，同时实现了高无杂散动态范围和宽带宽。

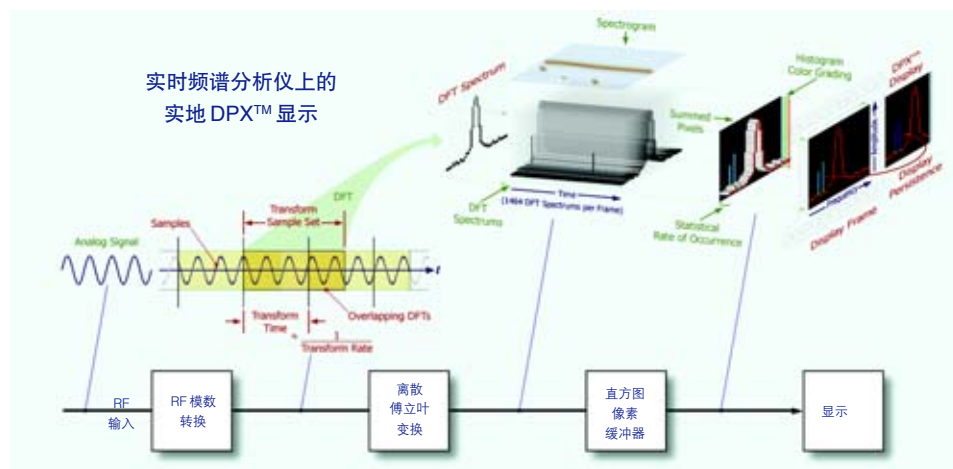


## DPX 显示

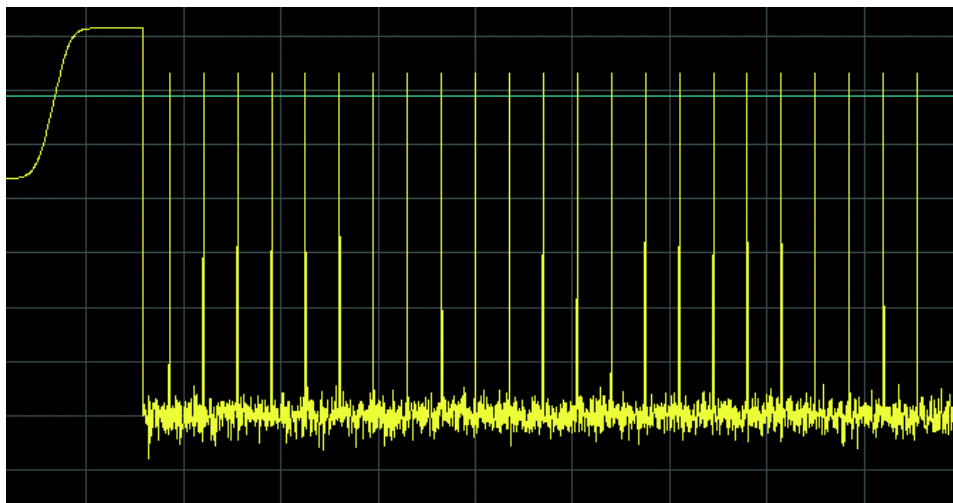
先进的雷达工程师特别关注 RSA6100A 独有的实地 DPX 频谱显示。RSA6100A 系列实时频谱分析仪每秒可以处理 48,000 多个频谱测量，保证可靠地侦听短时长事件，如窄雷达脉冲。

DPX 频谱处理速率要比人眼感受到的速度快得多。为查看实地信号，它必须降慢速度，而又不能丢失信息。DPX 显示处理器把每秒 48,000 个频谱的测量速率压缩到大约每秒更新 33 屏。为实现这一目标，而且又不能丢失信息，DPX 处理器通过汇编由多个频谱样点构成的像素直方图，其中每个频谱样点构成了每个显示画面，创建一个颜色等级显示屏。显示的每个像素位置中发现的能量在每个显示画面期间进行的数百个频谱测量上累积。显示屏中每个像素的颜色和辉度基于显示画面期间每个像素位置上发现能量的次数。这把频谱更新速率降低到大约每秒 33 帧，而又不会丢失任何频谱信息。

每个显示画面可以调节的荧光类余辉可以使非常短的事件在显示屏上保持足够长的时间，能够被人眼看到。如需与这种革命性的技术有关的更多信息，请参阅泰克提供的其它 DPX 频谱显示应用指南。



■ 图 2. 简化的 DPX 示意图说明了怎样使用像素直方图和可变余辉显示，降低每秒 48,000 个频谱的处理速率。



■ 图 3. 具有开机瞬变的间歇性脉冲串的时域图。

为说明 DPX 频谱技术怎样改进了查看能力，我们使用一个间歇性脉冲(参阅图 3)。在开机过程中，脉冲发生器在生成脉冲前发射出罕见的载波瞬变。

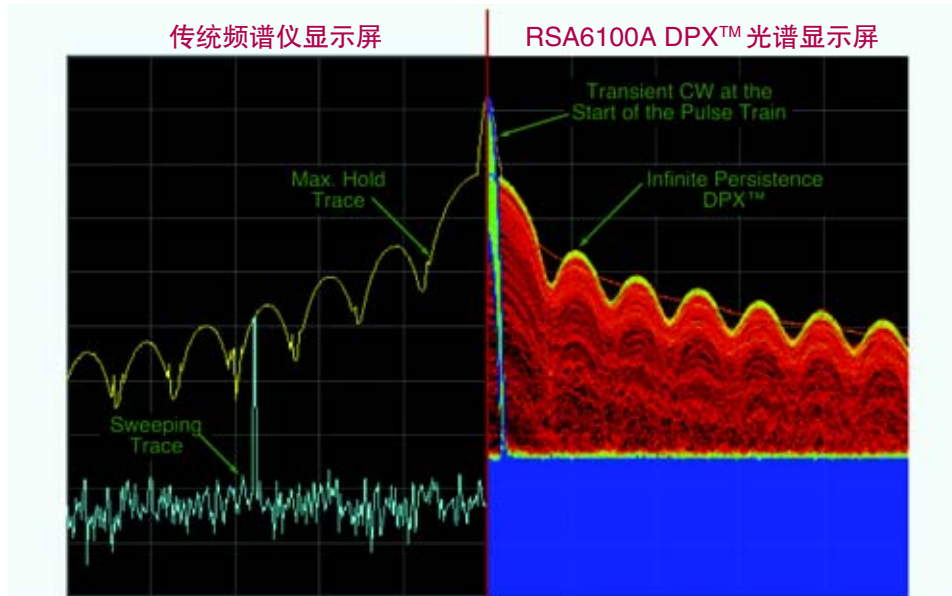
## 应用案例集—国防电子

### ■ 应用指南

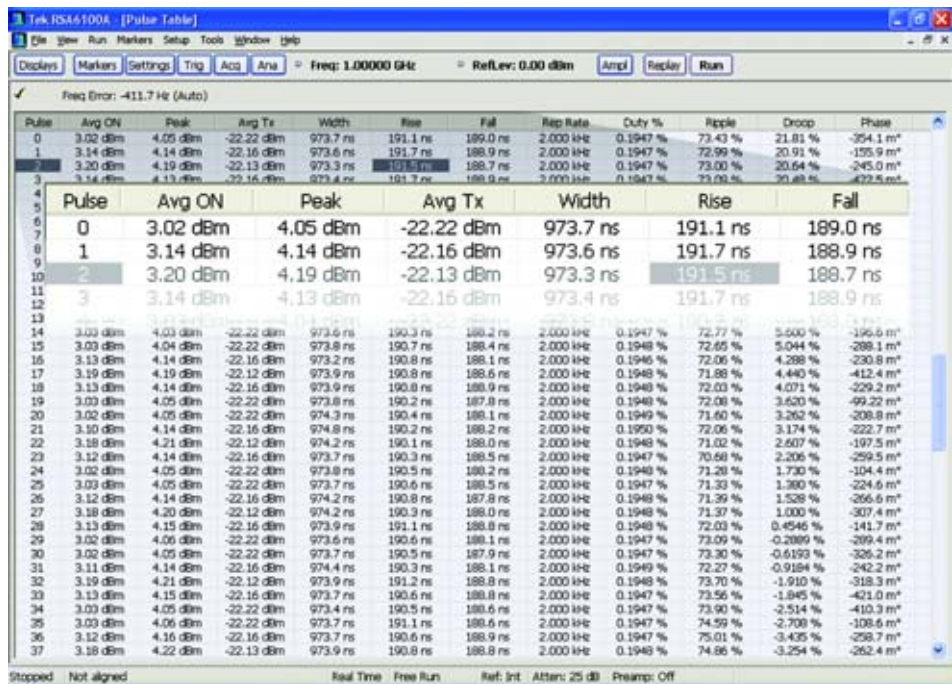
通过比较扫频分析仪显示屏与具有 DPX 频谱功能的 RSA6100A, 有助于说明这两种仪器之间的差异。图 4 是这两台仪器的合成图。扫频分析仪需要几秒的时间, 才能构建最大保持轨迹, 显示脉冲式信号的  $\sin(X)/X$  特点。DPX 显示立即表明了这种特点, 它采用颜色等级, 不频繁的事件用红色表示, 比较频繁的事件(如本底噪声)用蓝色表示。屏幕中心绿色的开机瞬变表明其存在的时间要比脉冲串其余部分长。扫频分析仪能够在最大保持轨迹中捕获开机瞬变信号, 但不能表明其发生频次。

### 调试雷达

先进的雷达系统可能会遇到调试困难的复杂问题。现场可编程门阵列(FPGAs)、数模(D/A)转换器和模数(ADC)转换器技术的最新发展提高了性能, 使得以前基于模拟的三重转换系统正被包含着数字方式实现的滤波、调制、信号处理和上变频到 IF 的雷达所代替。这些数字信号路径降低了可用的测试点数量, 因此设计人员必须从系统每个点中获得尽可能多的信息。让我们看一下 RTSA 的性能可以怎样协助诊断复杂的雷达问题。



■ 图 4. 实地 DPX 频谱简便地揭示频繁发生的开机瞬变(在屏幕中心用绿色表示)的细节。传统频谱分析仪只能在单色轨迹中显示峰值幅度。



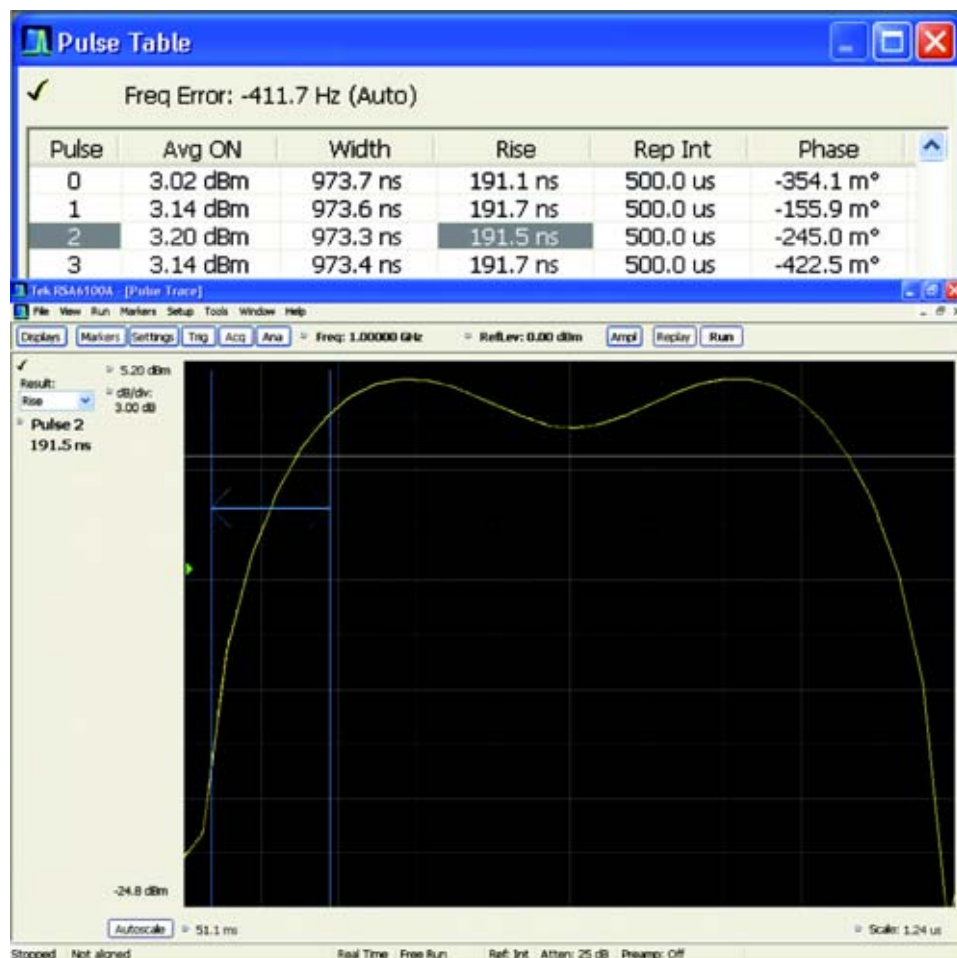
■ 图 5. 脉冲串提供了捕获的脉冲串中每个脉冲的脉冲特点摘要。

## 脉冲检定

RSA6100A 系列中提供的自动脉冲测量套件大大简化了确定基本雷达操作参数的工作。为说明基本检定过程，我们捕获了一个脉冲串，并选择了多项测量进行自动分析。脉冲表中显示了选择的测量(图5)。脉冲表对遇到的每个脉冲编号，把为每个脉冲选择的所有测量放在一行中。图5中“放大”了表中显示的部分测量，以在本应用指南中更好地查看信号。可以使用这个测量视图，概括了解所有信号特点，迅速发现分析周期内发生的脉冲之间的大的差异。

## 脉冲轨迹

脉冲轨迹画面用来详细考察脉冲结果表中存在的任何脉冲。可以在脉冲视图中考察选定脉冲的任何测量项目，用户可以自动定标测量，放大细节。图6中显示了脉冲表和脉冲轨迹图，其中详细显示了第二个脉冲的上升时间。



■ 图6. 使用脉冲轨迹视图可以查看第二个脉冲的上升时间。脉冲表中突出显示了轨迹视图中选择的脉冲。

## 应用案例集—国防电子

### ■ 应用指南

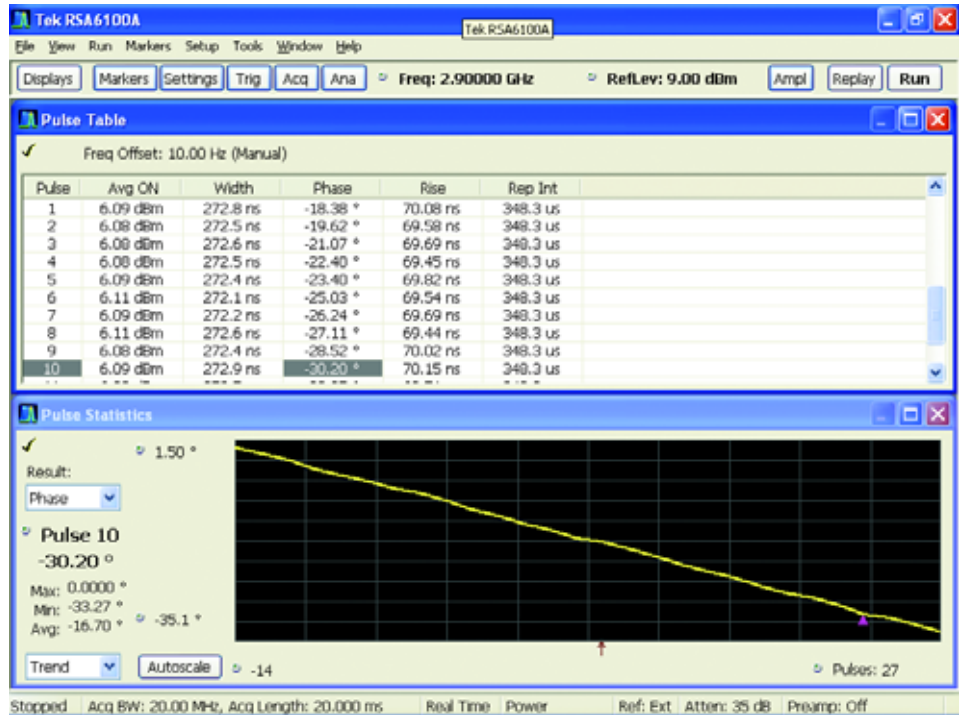
#### 脉冲统计

脉冲统计画面对一系列脉冲执行综合分析，提供了测量趋势图或测量结果 FFT。脉冲测量趋势为每个脉冲绘制相对于脉冲编号的测量结果，自动消除脉冲之间的可变停运时间。这可以简便地考察测量期间测量项目的发展趋势。图 7 显示了一串 27 个脉冲上的脉冲到脉冲相位变化。

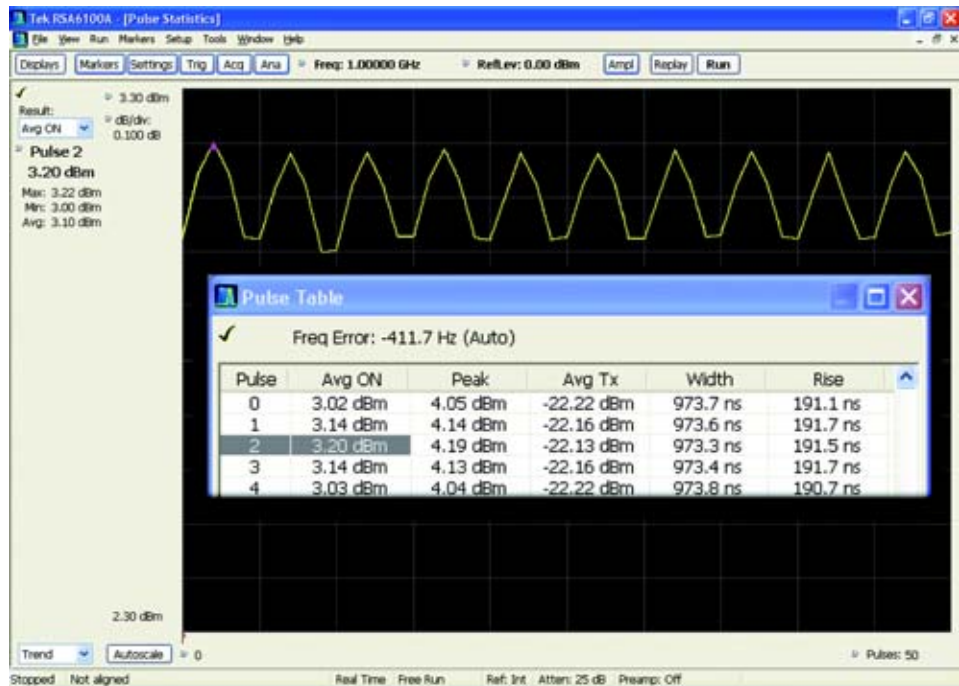
#### 使用趋势和 FFT 调试系统

雷达脉冲非预计相位或幅度调制可能会成为问题。例如，滤波不足、把 400 Hz AC 转换成高压 DC 电源的飞机电源可能会调制用来发送雷达脉冲的微功放大器，导致以 AC 电源的速率发生脉冲幅度变化。

可能很难迅速把电源调制问题与一系列其它可能区分开来。在使用典型的扫频分析仪时，必需努力在频域中辨别宽带脉冲上小的窄带调制。通过使用 RSA6100A 中的脉冲统计视图，可以简便地在宽几 MHz 的脉冲频谱上辨别 400 Hz 调制。



■ 图 7. 在这个脉冲到脉冲相位差测量中，在发送的信号中找到了不断下降的相位误差，可能表明本振没有锁定。



■ 图 8. 一套脉冲的脉冲统计清楚地表明脉冲功率电平的幅度调制。

图8中创建并定标了平均开机功率测量的趋势，显示了脉冲到脉冲幅度中小的变化。在这种情况下，变化非常小，约为0.2 dB峰到峰值，如果没有绘制成趋势图，其甚至可能注意不到。如图8中所示，幅度变化具有周期性特点。我们可以看到，在变化中有一个主导频率，但仍不能表明其发生的速率。

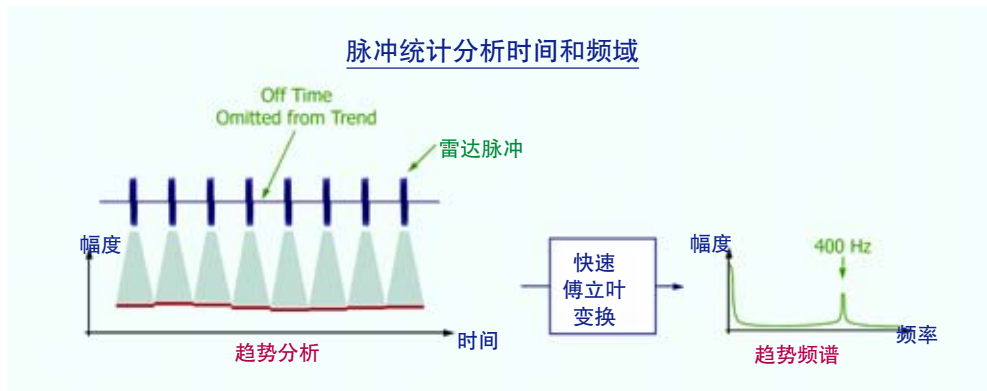
通过把趋势数据转换到频域中(图9, 图10), 可以简便地查看调制特点, 从而查看与其来源有关的关键信息。频谱视图可以显示调制是在单个频率上, 还是包含多个频率。

RSA6100A对测量结果趋势执行快速傅立叶变换, 提供了幅度趋势数据的频谱图, 清楚地显示了400 Hz调制(图10)。RSA6100A的脉冲测量套件能够把时域统计分析转换到频域中, 为发现和隔离脉冲式信号中的问题提供了独特的功能。

### IF 输出测量

在调试及在脉冲上进行时域测量时, 一种流行的技术是使用频谱分析仪作为示波器的带限下变频器。示波器提供了任何测量工具中最优秀的触发功能和定时分辨率。当前的示波器拥有超过10 GHz的频率范围, 实际上可

### 脉冲统计分析时间和频域



■ 图9. 趋势分析和趋势结果FFT。



■ 图10. 通过在脉冲统计数据上使用频率变换函数, 可以简便地看到电源中的400 Hz幅度调制。

以用来直接查看RF脉冲。但是, 这样的宽带输入会受到固有的低信噪比的影响, 而且由于示波器的8位数字化器的灵敏度相对较低, 因此其动态范围有限。由于这些限制, 在使用示波器进行脉冲测量时, 使用频谱分析仪作为带限下变频器成为一个极具吸引力的方案。

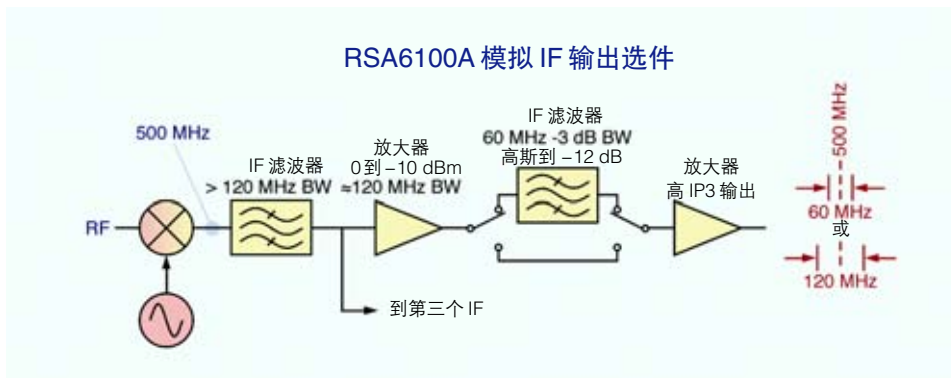
## 应用案例集—国防电子

### ■ 应用指南

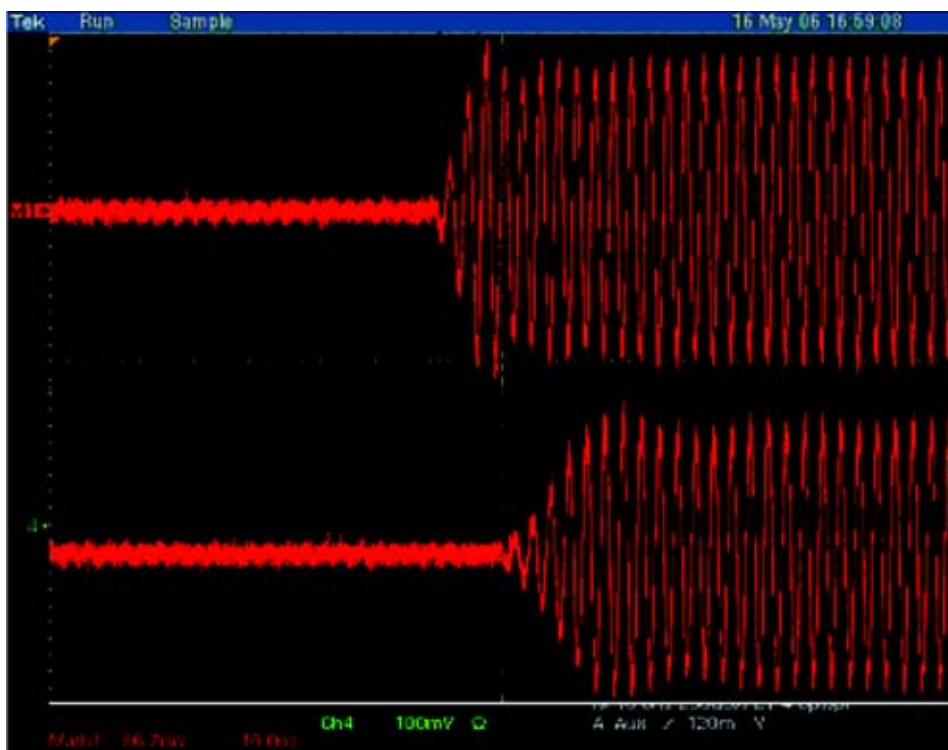
RSA6100A系列提供了一个IF输出端口，其中心频率是500 MHz，是为与示波器和其它设备一起使用而设计的，如外部解调器。RSA6100A直到14 GHz的调谐范围、120 MHz的IF带宽、可以选择的滤波器和集成式缓冲放大器，大大简化了使用外部IF分析工具时的下变频过程。

RSA6100A的IF输出对示波器非常友好。IF输出包含一条放大器电路，对-25 dBm的信号电平，在RTSA的第一个混频器上把输出电平调节到大约0 dBm (0.224 V)。它不需要外部信号调节放大器，降低了设置时间、复杂性和费用。高输出电平为示波器提供了一个强大的信号，防止由于IF电平低而损耗动态范围。

IF输出路径(图11)允许选择带宽为120 MHz的方顶滤波IF或带宽为60 MHz的高斯滤波器。滤波的IF和未滤波的IF可以控制测量的噪声带宽、过冲和脉冲上升时间。这可以用于各种雷达测量。



■ 图 11. RSA6100A 上提供的 500 MHz 的 IF 输出可以在内部滤波到 60 MHz，或不进行滤波，保持大约 120 MHz 的宽度。



■ 图 12. 这个合成视图说明了 120 MHz 带宽 IF 和可以选择的 60 MHz 高斯滤波器之间的差异。120 MHz 滤波器(顶部)表现出快速上升时间，但过冲特点要高于受控高斯响应(底部)。

这种独特的功能降低了IF输出噪声功率,同时最大限度地降低了时域过冲和IF振铃。因此,高斯滤波器改善了噪声余量,同时在脉冲形状中引入了受控失真。在滤除脉冲频谱的高阶波瓣时,将会影响脉冲的上升时间。通过关闭IF滤波器,工程师可以迅速检查与滤波的IF有关的上升时间减少量(图12)。

可以同时使用RSA6100A的IF输出配置(图11)和实时频谱分析仪测量。可以使用示波器进行高精度定时测量,同时使用实时分析仪进行频谱和调制测量。这要优于扫频分析仪,后者在使用IF输出时要求把仪器放在零跨度中。

使用示波器进行IF输出测量可能要不同于使用RSA6100A内部脉冲分析进行自动测量。实时频谱分析仪和示波器之间在信号路径特点和测量方法中的差异可能会影响脉冲形状和上升时间。例如,仪器第二个IF上的带宽超过120 MHz,导致系统上升时间低于使用内部脉冲测量套件时应用数字滤波和校正后存在的上升时间。此外,没有为幅度平坦度和相位变化校正IF输出路径。IF的3 dB带宽上的平坦度可以是 $\pm 2$  dB,在120 MHz带宽上的相位变化可以大于90度。相比之下,使用自动脉冲测量套件进行的测量频段限定在110 MHz,为使误差达到最小,已经进行了幅度和相位校正。

### 测量考虑因素

检定先进的雷达极具挑战性,测试设备的性能可能会明显影响测量结果。本节概括介绍了为实现准确的结果,相对于仪器规范在测量中所必须考虑的因素。

### 上升时间测量

短时长的雷达脉冲要求宽信号带宽。无穷窄的脉冲函数要求无穷大的带宽。因此,脉冲越窄,RF带宽必须越宽,以避免脉冲失真。但是,宽带宽提高了噪声功率数量,给小信号的灵敏度带来了负面影响。对每个应用,必须考虑适当地平衡测量带宽、信号保真度和噪声性能。

为说明测量带宽的影响,看一下测量带宽为110 MHz的系统与测量带宽为55 MHz的系统之间的上升时间差别(图13)。本例中创建了一个上升时间小于3 ns的脉冲,因此可以看到RSA6100A的系统上升时间。得到的7 ns测量(顶部)主要是由于RSA6100A的系统上升时间引起的。但是,在这一测量中可以看到某些过冲,这是由于RTSA中使用的平顶带通滤波器引起的。用户选择的内部高斯滤波器(底部)把测量带宽降低到55 MHz,它降低了过冲,但提高了脉冲测得的上升时间。

110 MHz测量带宽中存在的过冲是脉冲中的过冲和测量路径中的过冲相结合的结果。在这种情况下,测量路径主要由RSA6100A的IF中的滤波器组成,同时结合使用数字滤波器,校正仪器中的幅度误差和相位误差。这些滤波器相结合,在110 MHz测量带宽中实现了非常好的幅度平坦度和相位线性度,同时还在测量中产生了下冲和过冲。基于这一原因,可以在测量路径中应用一套高斯滤波器,控制下冲和过冲。

## 应用案例集—国防电子

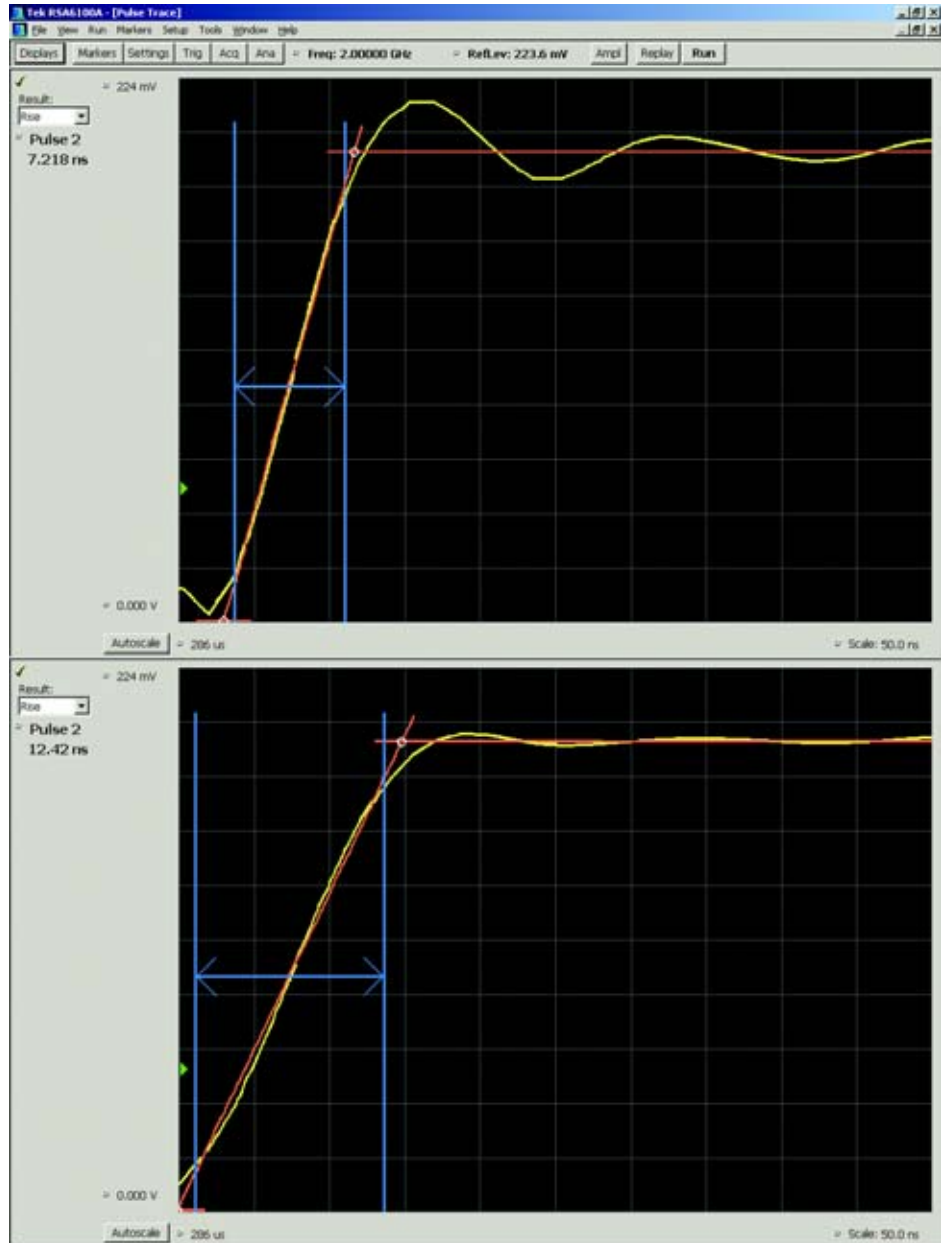
### ■ 应用指南

可以在配备选件 110 的 RSA6100A 中应用在 3 dB 点上带宽高达 55 MHz 的高斯滤波器。高斯滤波器形状与 IF 和数字校正滤波器的形状相结合，会产生一个带宽为 55 MHz 的滤波器，拥有接近 -12 dB 的高斯响应。这种滤波器组合在传输频带中提供了可以预测的相位和幅度特点，在传输频带之外提供了更明显的衰减。

### 估算频率误差

为准确地测量脉冲串的特点，必须知道脉冲的频率。在许多情况下，可能提供了系统参考信号，可以用来把 RTSA 的参考源锁定在 DUT 参考源上。在这种情况下，手动输入的频率误差是零，因为测量工具的参考源和 DUT 参考源锁定在一起。

在没有精确知道脉冲频率时，RSA6100A 系列使用三种可以选择的频率误差估算方法，确定 RTSA 的中心频率与脉冲频率之差。选择的方法取决于脉冲的频率和相位特点，由于用户进行选择。



■ 图13. 根据滤波器类型和带宽分析仪，脉冲的上升时间可能会变化。在使用配备选件110的RSA6114A整整110 MHz的带宽时，测得的上升时间为7 ns；而使用55 MHz高斯滤波器带宽时，测得的上升时间为12 ns。



脉冲的频率和相位特点可以定义为：

- ▶ 恒定相位
- ▶ 变化相位
- ▶ 线性频率啁啾

在每种情况下，都会估计脉冲的相位，确定测量期间测量频率的相位差。这个相位差用来估算脉冲串与仪器的中心频率之间的频率变化或误差。

通过相对于参考源的相位确定每个脉冲的相位，可以估算相位恒定的信号的频率(如通过对CW信号进行脉冲调制)。RSA6100A的信号处理算法采用I-Q表示被测的信号。相位从I-Q波形中计算得出，其中：

$$\text{Phase}(\phi) = \arctan\left(\frac{Q}{I}\right)$$

然后使用每个脉冲计算得出的相位，计算相位差的斜率随时间变化情况，得到相对于分析仪频率的频率误差，如图15所示。为在确定脉冲相位时最大限度地减少滤波导致的过冲和振铃效应，从每个脉冲中心的50%处获得I和Q样点。

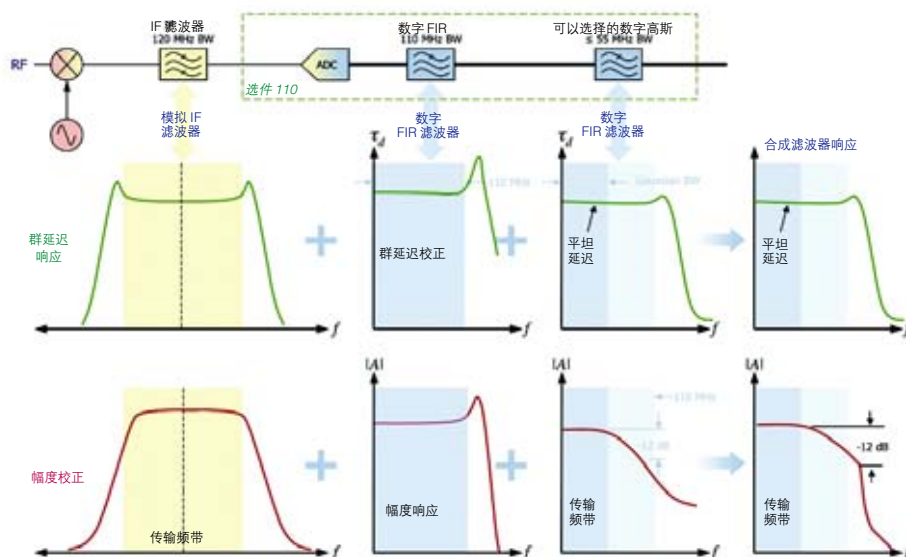


图14. 在-12 dB的高斯形状的受控响应中，RSA6100A RF/IF和DSP滤波器的高斯测量滤波器和平坦急剧的滚降系统响应结合在一起。

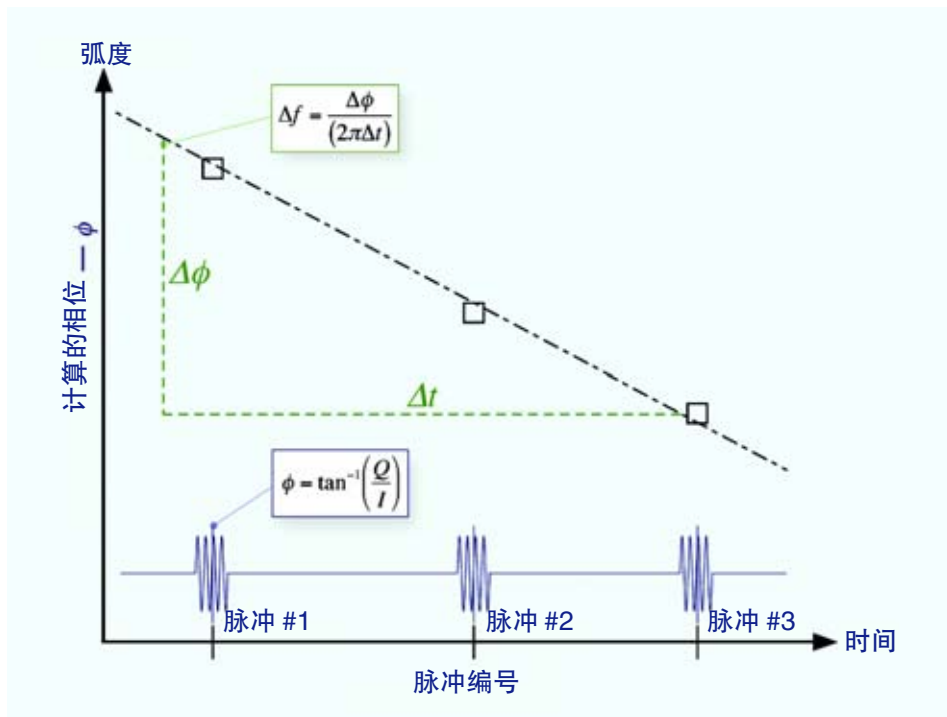


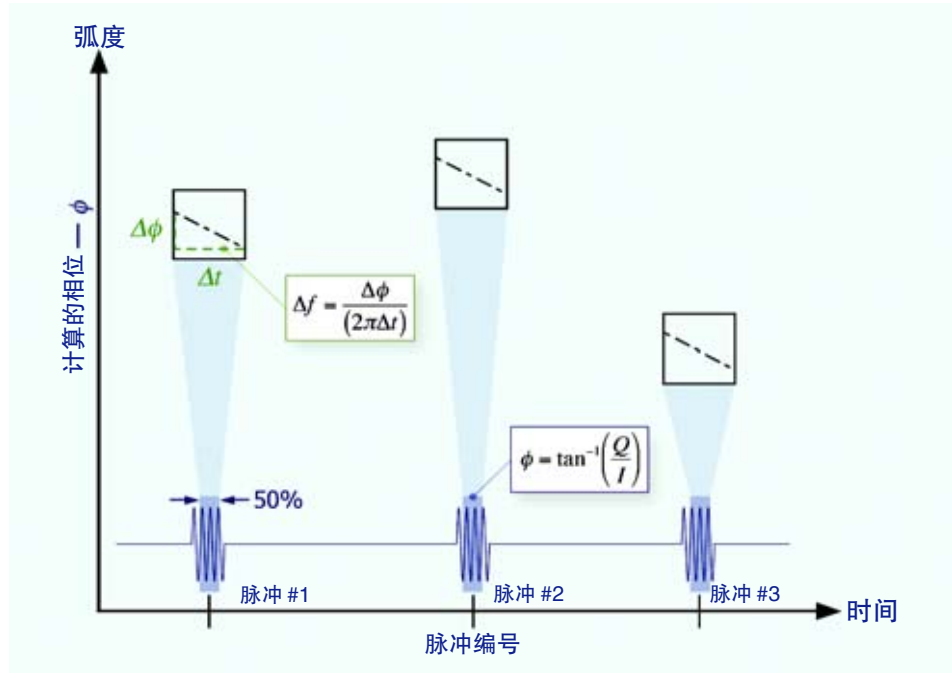
图15. 估算恒定频率和恒定相位的信号的频率误差。在每个脉冲的中心点上计算每个脉冲的相位，多个脉冲上的线路斜率决定着频率偏置。

## 应用案例集—国防电子

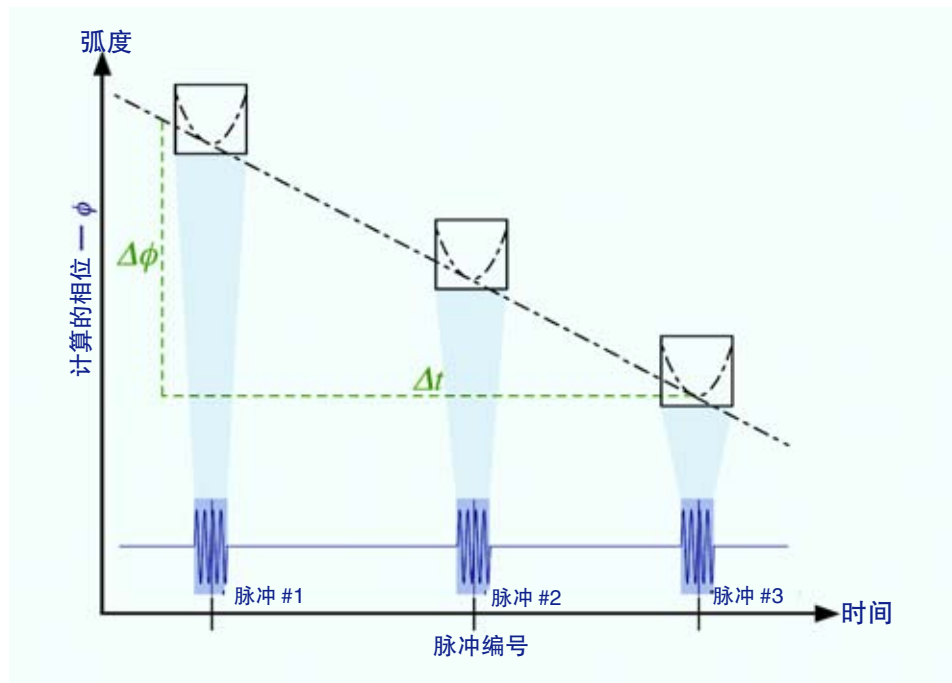
### ■ 应用指南

对描述为相位变化时频率恒定的信号(如通过开关振荡器创建的信号), 脉冲之间并没有简单的相位关系。也就是说, 尽管每个脉冲的频率相同, 但每个脉冲的相位可能会变化。这时, 必需确定每个脉冲的频率。相对于测量频率确定每个脉冲的相位斜率允许我们计算每个脉冲的频率误差。这一计算使用每个脉冲打开时中心的 50%。然后对分析周期中的所有脉冲平均得到的频率值, 确定测量频率中的频率误差。

对包含重复线性调频(FM)啁啾的信号, 将看到在脉冲打开期间相位以抛物线方式变化。在这种情况下, 通过把直线切线拟合到每个抛物线相位计算结果中, 可以估算出频率误差, 如图 17 所示。



■ 图 16. 变化的相位信号的频率误差是分析周期中所有脉冲的频率误差平均值。



■ 图 17. 线性 FM 啁啾频率估算。

### 脉冲到脉冲相位测量

脉冲到脉冲相位测量通常是先进的雷达系统的一个重要指标。除需要准确地测量脉冲频率外(如前所述),脉冲到脉冲相位测量精度还取决于四个主要因素:

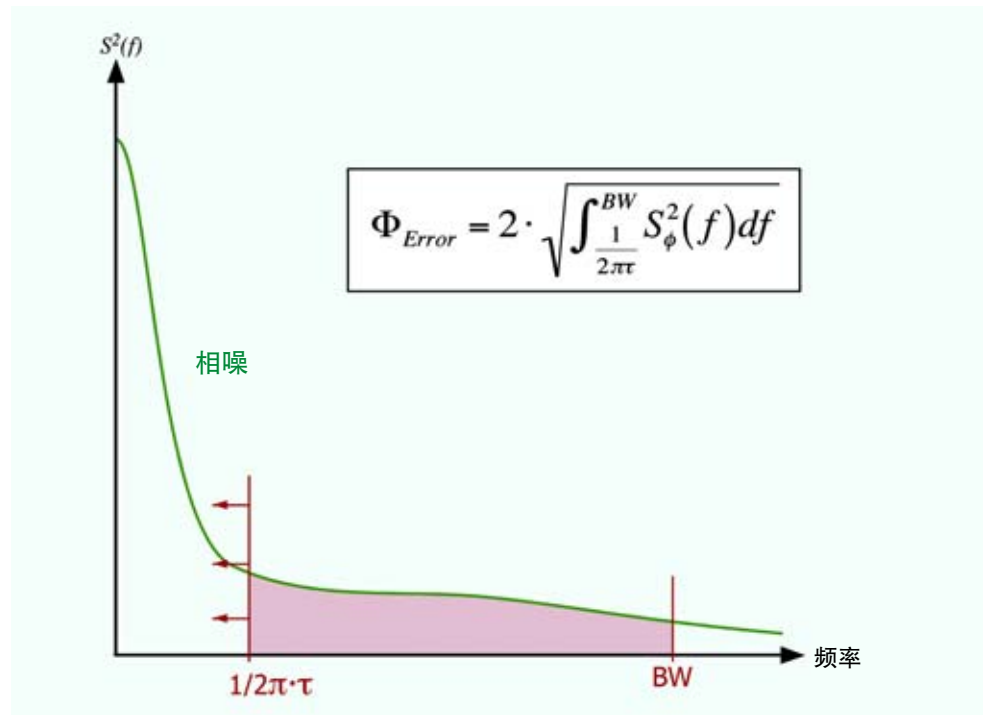
- 相噪
- 总测量时间
- 脉冲边沿定义和测量点
- 信噪比

来自被测信号和测量仪器的相噪都会影响测量精度。相噪产生的不确定量取决于总测量时间。例如,1 ms 的测量时间会导致积分相噪极限从距载波大约1 kHz 的偏置开始,一直扩展到测量带宽。

通过最大限度地缩短参考脉冲和被测脉冲之间的时间,可以提高脉冲到脉冲的测量稳定性。

影响相位测量精度的另一个重要因素是估算脉冲上升沿实际开始位置及相位振铃缩小所需的时间。RF 载波在距脉冲上升沿规定偏置上进行脉冲到脉冲相位测量。上升沿定义差或测量差都会导致距参考脉冲的偏置不一致,降低精度。在测量上升沿和下降沿时,RSA6100A 使用内插方法,最大限度地降低了这种不确定性。

RSA6100A 允许相对于脉冲的上升沿指定测量点。为考虑振铃,它为距脉冲上升沿或下降沿的距离大于  $t = 10/$  (测量带宽)的任何点指定了脉冲到脉冲相位测量精度。



■ 图 18. 随着脉冲到脉冲相位测量时间提高,相噪积分下限下降,进而提高了总相位误差。

例如,对大于  $10/(55 \times 10^6)$  的测量点,使用 55 MHz 测量滤波器进行的脉冲到脉冲相位测量落在规范内,或距脉冲的上升沿或下降沿大约 182 ns。图 19 是脉冲轨迹视图,说明了相位测量点的位置。

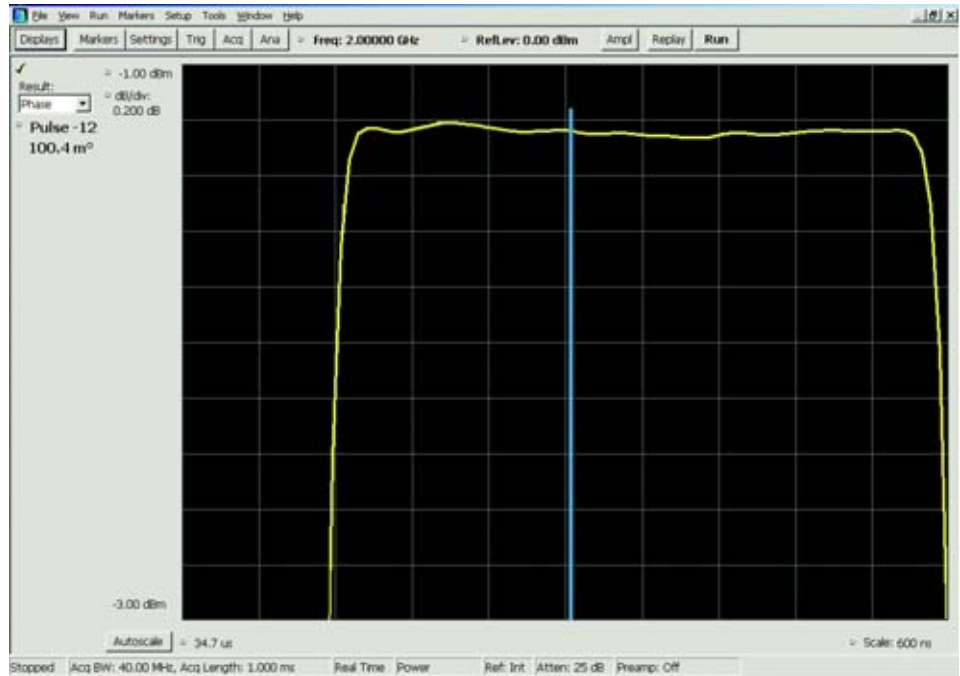
最后,信噪比(SNR)是影响脉冲到脉冲测量精度的一个重要因素。RSA6100A 在 20 MHz 带宽时、在 2 GHz 时的典型脉冲到脉冲相位测量是  $1.7^\circ$ , 在 110 MHz 带宽时是  $2.0^\circ$ 。在 10 GHz 时,20 MHz 带宽和 110 MHz 带宽的精度分别是  $3.2^\circ$  和  $5.0^\circ$ 。不确定性的提高主要是由于分析仪在较高频率上存在较高的相噪和噪声电平引起的。

## 应用案例集—国防电子

### ■ 应用指南

RSA6100A 提供的性能水平对观察脉冲到脉冲相位的发展趋势至关重要，这有助于调试硬件问题。

在类似于 RSA6100A 规定的信号条件下，配有相噪极低的固定频率相干下变频器的高性能雷达通常可以实现不到1度的相位变化。虽然性能优异，但 RSA6100A 可能并没有提供足够的性能，在某些固定频率雷达上进行高精度多普勒测量。



■ 图19. RSA6100A允许用户为脉冲到脉冲相位测量指定相位测量点，在画面中用蓝线标明。

### 小结

通过提供杰出的仪器性能，RSA6100A扩展了泰克系列实时频谱分析仪。频率覆盖、带宽和动态范围与DPX频谱显示相结合，使其走在了实时频谱分析仪产品线的前列。

RSA6100A还拥有先进的测量算法、各种用户可以选择的滤波选项及IF同时输出功能，可以迎接当前雷达专业人员面临的关键测量挑战。

## 附录：RTSA 脉冲测量应用比较

可以使用泰克提供的更加经济的实时分析仪来满足许多雷达应用的需求。下表列出了RSA3408A和RSA6100A系列之间的差异,可以协助用户根据自己的应用要求选择相应的性能水平。

指标	型号	
	RSA3300A/3400A	RSA6106A/6114A
频率范围	DC – 8 GHz	9 kHz – 6.2 / 14 GHz
捕获带宽	36 MHz	40 MHz / 110 MHz <sup>1</sup>
捕获存储器	64 MB / 256 MB	256 MB / 1 GB
最大输入(CW)	+30 dBm (1W)	+30 dBm (1W)
最大输入(DC)	± 0.2 VDC	± 40 VDC
最大输入(脉冲)	+30 dBm (1W)	+48 dBm (75W) <sup>2</sup>
IF 输出	标配	选配
IF 输出频率	421 MHz	500 MHz
IF 模拟带宽	36 MHz	120 / 60 MHz <sup>3</sup>
IF 滤波器形状	方顶	方顶 / 高斯
系统上升时间	25 ns	25 ns / 10 ns <sup>1</sup>
最小脉冲时长	400 ns	150 ns / 50 ns <sup>1</sup>
最小 DPX™ 事件时长	–	24 μs
<sup>1</sup> 选项 110		
<sup>2</sup> 占空比 ≤ 0.01%, 1μs 脉宽		
<sup>3</sup> 可以选择		

■ 表 1. 泰克实时频谱分析仪提供了广泛的性能功能,可以满足最苛刻的雷达系统和最适中的预算。

RSA3408A和RSA6100A都具有自动脉冲测量功能。尽管测量项目类似,但它们之间有一些重要差别。RSA6100A的脉冲测量套件可以在50欧姆系统中灵活地显示dBm、Watt或Volt,而RSA3408A的竖轴只能显示dBm。在系统测试要求是使用功率或电压单位编写的时,RSA6100A这种灵活的显示能力使用起来非常方便。

为改善测量精度和分辨率,RSA6100A上采用先进的内插算法。可以在脉冲测量套件中增加脉冲上升时间测量,同时RSA6100A改善了脉冲到脉冲的相位测量精度。

下面的测量摘要表详细列出了RSA3408A和RSA 6100A系列脉冲测量功能之间的差异。

自动测量	型号	
	RSA3300A/3400A	RSA6106A/6114A
脉冲幅度	√	√
脉冲峰值幅度	√	√
总平均幅度	–	√
脉冲顶部纹波波动	√	√
脉冲衰落	√	√
脉宽	√	√
脉冲重复速率	–	√
脉冲重复间隔	√	√
脉冲占空比	√	√
脉冲到脉冲相位	√	√
脉冲纹波波动	√	√
脉冲趋势	√	√
趋势结果的FFT	–	√
脉冲上升时间	–	√
脉冲下降时间	–	√
开关比	√	–
通道功率	√	√
占用带宽	√	–
辐射带宽	√	–
DPX™ 频谱	–	√

■ 表 2. RSA3300A 系列、RSA3408A 和 RSA6100A 系列 RTSA 提供了针对各种雷达脉冲特点的内置测量功能。

# 实时频谱仪在雷达对抗中的应用

## 1. 雷达对抗测试概述

现在战争被专家称为电子战 (EW),而雷达对抗和雷达战是电子战中的重要部分,可常规雷达的体制一般为连续波雷达和简单的脉冲调制雷达,但是随着雷达信号侦察与反侦察,干扰与干扰,对抗与反对抗,现代雷达的体制也在不断发展,其雷达新技术新体制主要有:单脉冲雷达,频率捷变雷达,相位扩频编码雷达,超低旁瓣以及相控阵雷达等。还有毫米波雷达,合成孔径雷达,等离子雷达也是最近比较流行的雷达发展方向。在技术上的主要发展方向是多极化,超宽带,灵活的脉内调制,所以脉冲内部的调制越来越复杂,幅度,频率,相位都成为了变量,而脉内跳频和脉间的捷变频也用在现代的雷达体制上面,这些新技术的运用,也使得工程师在雷达系统的研发、联调,以及雷达信号的侦察上面带来很大的挑战。在本文中,我们会论述如何使用实施频谱仪对复杂的脉冲进行实时捕获和全面分析。

## 2. 雷达信号的捕获

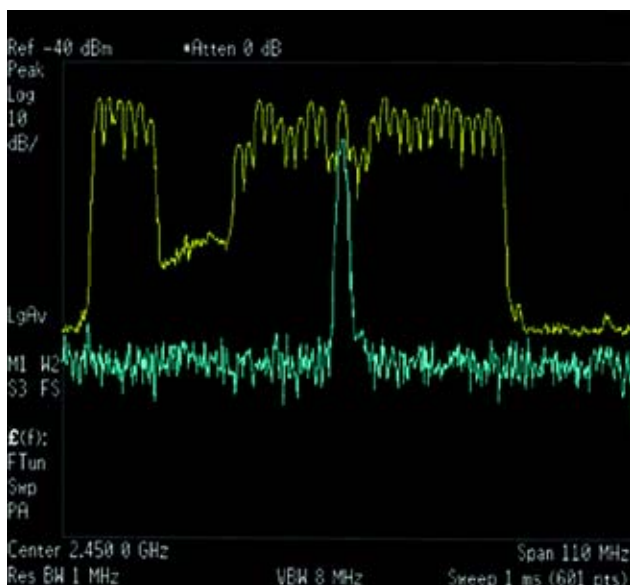
雷达信号的分类识别是电子干扰的一个重要方面,它利用检测设备截获敌方雷达信号来识别和分析它的信号特征以便干扰。雷达信号包络在信号变化时呈现出不同的瞬态信息,这些瞬态信息可用作雷达信号的识别依据,例如信号上升沿、下降沿的变化,顶部起伏,每个尖峰的位置,尖峰的相对幅度,尖峰数,脉宽和脉内调制信息。在电子侦察中,各种信号的密度越来越高,调制方式越来越多样化,在没有任何先验先知的情况下,这种非合作信号的识别变得非常困难,例如,在某一个特定战争环境通过对战区电子

战的电磁信号测试,发现信号环境密度高达每秒 120 万~150 万个脉冲。此外,通常在电磁辐射信号中,雷达信号和通信信号及其他各种电信号混杂在一起。如何发现和定位感兴趣的雷达信号是分析他的关键。

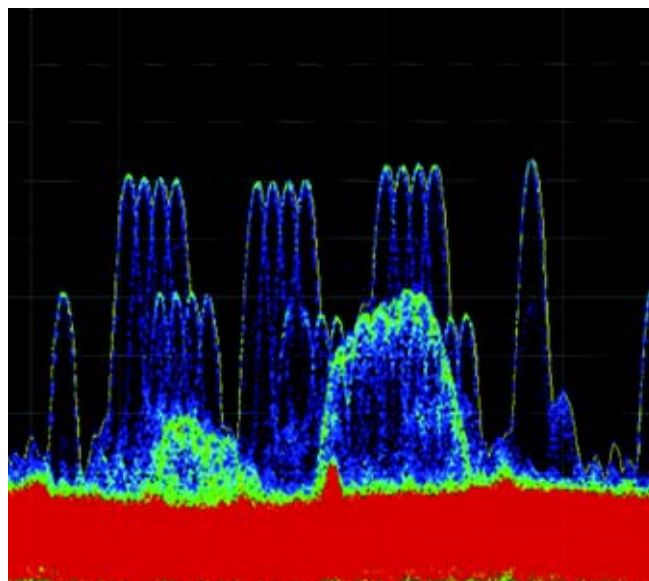
实时频谱仪独有的数字荧光显示技术 (DPX),可以让你在复杂的环境中发现你感兴趣的信号,即使是同频干扰的信号也可以轻松的分辨出来。同时再利用实时频谱仪独创的频率模板触发技术设定频率和功率两维信息,将感兴趣的脉冲信号捕获下来,同时可以存储和进行相关的多域分析,使得可以同时时在时域,频域,调制域里分析该信号,而且是时间关联的进行分析。认识到存在问题只是解决问题的第一步,发现问题——定位问题——分析问题,这样一个对未知信号分析的基本思路,在实时频谱仪中得到的充分的验证。

## 2. 1 DPX 数字荧光显示技术 - 将信号的发现能力提高 1000 倍

数字荧光频谱技术的名字源于早期示波器和频谱分析仪中使用的传统阴极射线管(CRT),它为查看动态 RF 行为及不频繁的短时间事件提供了一个工具。早期仪器中 CRT 显示器内采用的发光的荧光具有余辉特点,在 CRT 的电子束激活后会保持发光一段时间。得到的轨迹强度与电子束激活屏幕上某个位置的频度有关。早期仪器显示技术采用可变余辉 CRT,可以调节轨迹的余辉或衰退时间。把余辉变成无穷大可以一直无限地看到单次事件。



■ 图 1：传统频谱仪显示的瞬态信号



■ 图 2：实时频谱仪 DPX 技术显示的同一个瞬态信号

新研制的DPX™技术采用显示处理专利技术，仿真可变余辉 CRT。实时频谱分析仪中采用的数字荧光频谱分析实现方案把显示处理专利技术与专用 DSP 硬件结合在一起，其执行频率变换的速度较传统频谱分析仪提高了几个量级。这种组合以一目了然的方式处理和显示空前数量的信息。每次变换的信息组合在 DPX™引擎中，以全面的运动速率生成显示画面。DPX™引擎包括统计余辉处理，可以查看信号行为随时间变化的全部运动。它还可以立即显示强信号中的弱信号，突出显示不频繁的短时间事件。余辉调节允许用户针对变化的信号条件优化显示特点，从“实地 RF”查看动态信号，到发现只发生一次的事件。这可以揭示传统频谱分析仪或矢量信号分析仪看不到的信号行为。然后再利用实时频谱分析仪触发该信号，把信号捕获到存储器中，在时域、频域和调制域中时间相关的分析该信号。在图上我们看到是用色温的方式显示的不同频度出现的二个信号，虽然这两个信号是在同一个频率上，但是由于出现的频度不一样，所以在屏幕上显示出不同的颜色，使得可以看到从未见过的信号出现在屏幕上。新一代实时频谱仪 RSA6100A 系列实时频谱仪的捕获速率为每秒 48828 次，也就意味着只要你观测的信号持续时间超过了 24μs，那么数字荧光技术将有 100% 的侦听概率发现该信号。对于雷达对抗的信号来说，使用该技术无疑可以

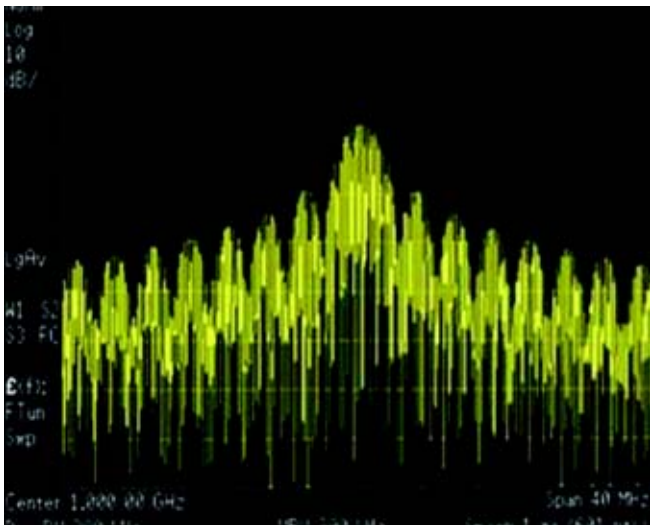
提高对信号的识别概率。

在上面的图上我们可以看到，由于传统频谱仪是采用超外差扫频的结构，在观测频谱的时候是依靠每次扫描保持显示的频谱来观测整个信号的频谱的，这样就很难发现瞬态的信号，这是由其原理决定的。其主要原因是 SA 在每次扫描期间。频率跨度中的每个频电只有很短的时间去检测，如果在该时间点调谐的地方之外的任何跨度区域发生的时间，将不能被检测和显示。而基于 FFT 的分析仪，包括矢量信号分析仪，还是会漏掉采集之间的时间内的信号。因为采集之间的时间越短，频谱更新的速度越快，可以检测任何信号的概率就越大。而新一代的实时频谱仪数字荧光显示技术使用了基于 FFT 分析手段，专利的 DPX 硬件处理器具有超强的显示处理速度，对任何信号，只要其时长不超过 24 微秒，且位于实时带宽范围 110MHz 内，则 DPX 技术可以在自由运行的模式中 100% 的捕获该信号。RSA6100A 系列通过每秒 48828 次的频谱变换速度实现了这种可能。

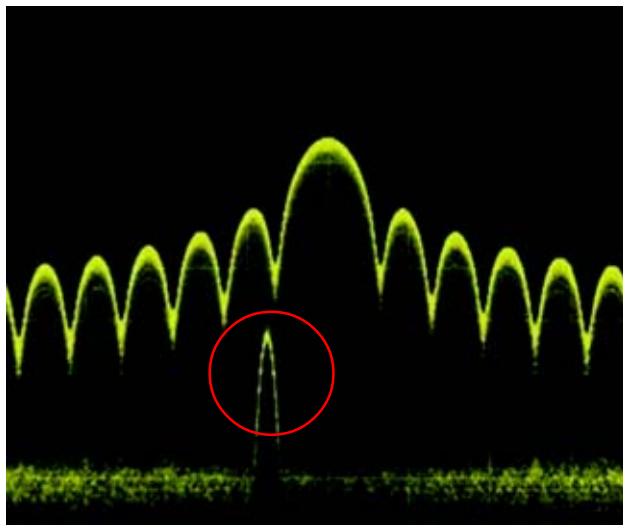
这里提到了实时频谱仪和传统频谱仪的原理的区别，在本文的后面，我们会专门介绍实时频谱仪的原理和传统频谱仪的原理的不同。

## 应用案例集—国防电子

### ■ 应用指南



■ 图 3：传统频谱仪观测的脉冲谱



■ 图 4：相同的信号使用 DPX 技术频谱显示，可以发现隐藏在大信号下面的小的泄漏信号

## 2. 2 实时触发捕获技术 – 信号侦听能力的进步

- 捕获瞬时脉冲
- 捕获捷变频雷达信号
- 捕获突发的干扰信号

当你知道在复杂的 EW 环境中有你感兴趣的信号，那下面的工作就是如何去捕获现实频谱背景中难以检测的雷达脉冲或频率异常事件。那如何能够高效率的捕获雷达信号呢？合适的触发功能是捕获特定信号最直接有效的手段。触发是通用测量仪器包括频谱仪中的一个很重要的功能，它是定位故障，发现问题，捕获干扰最直接有效的手段。就像我们用照相机拍照，当我们发现美景出现的一刹那，快速按动快门将景色记录下来，按动快门的那一刹那就是触发。随着技术的发展，雷达的信号变的越来越复杂，从过去的周期信号，到现在出现的频率捷变，瞬态信号，甚至单次脉冲信号。对于这些信号频谱的观测，只有使用触发，才能够确保稳定的，没有漏失的捕获信号。有效触发一直是大多数频谱分析工具中缺失的项目。实时频谱仪是第一个具备强大触发功能的频谱分析仪，除了

简单的 IF 电平和外部触发功能外，它提供了实时频域触发和其它直观的触发模式。传统扫频结构的频谱仪只有简单的功率触发而且不适合实时触发，其原因有很多，但最重要的原因在于扫频频谱分析仪使用触发事件开始扫描，而实时频谱仪则使用触发事件作为无缝采集信号的时间参考点。这实现了许多其它有用的功能，如能够同时存储触发前的信息和触发后的信息。实时频谱仪的一个重要功能是实时频率模板触发 (FMT)，允许用户根据频域中的特定事件触发采集。如图五所示，它画出一个模板，定义分析仪实时带宽内部将生成触发事件的条件集合。条件包括功率和频率双重信息。RTSA 是唯一可以提供频率触发条件的频谱仪。灵活的频率模板触发器为可靠地检测和分析动态 RF 信号提供了一个强大的工具。它还可以用来进行传统频谱分析仪不可能完成的测量，如在存在强大的 RF 信号时捕获小电平瞬态事件，在拥挤的频谱范围内检测特定频率上的间歇性信号。





■ 图 5：实时频谱分析仪的频率模板触发器从接收机的 70MHz IF 可靠的捕获雷达脉冲，其功率远远低于只在 IF 上方看到的下变频局部振荡器的(LO)泄漏。绿色区域是为了仅仅捕获脉冲信号而设定的频率触发模板，在这里设定的触发条件是只有当信号进入的黑色区域才会形成触发事件。我们看到脉冲频谱已经超出了模板，满足了触发条件。图中使用的多域显示，除了频谱，还有时域和解调域我们会在后面介绍多域观测的相关内容。

因为频率模板触发技术首次加入了频率信息做为触发条件，所以使得在脉冲分选和信号识别上的效率大大提高。频率模板触发技术是频谱分析技术的一个飞跃。在雷达工作中，瞬时脉冲回波通常远远低于其它附近频谱辐射的信号电平。这使得 IF 触发变得不可靠。但是，频率模板触发可以实时比较输入信号的频谱与用户定义的触发模板，检测到即使很弱的异常信号。可靠地找到脉冲非常重要。

捷变频雷达信号的测量再次验证了频率模板触发的功效。雷达研发工程师希望能测量出来频率捷变的变化时间是多少？这个参数是捷变频雷达的一个非常重要的指标，这个指标影响着捷变频雷达抗干扰能力的强弱。对于该指标的测试一直以来是一个测试难题，虽然你的实验室里已经堆满了各种各样的频谱仪，但是对于这个参数的测量是传统频谱仪无法实现的。过去您只能通过调制域分析仪来进行分析，但是调制于分析仪不能观测信号的频谱，另外调制于分析仪对于周期信号可以进行观

测，但是如果该信号是突发的，如何捕获仍然是一个难题。

该信号就是一个典型的突发信号，何时产生由客户控制。在这里我们仍然使用频率模板触发技术，而我们的模板的触发条件换成有信号离开黑色区域才触发，也就是信号原来是在某一个频率上是存在的，当该信号突然偏离该频点，仪器就触发进行捕获。只有实时频谱仪外加频率模板触发可以做到这一点。捕获下来的信号，可以进行时间相关的测量分析（如下图 6）



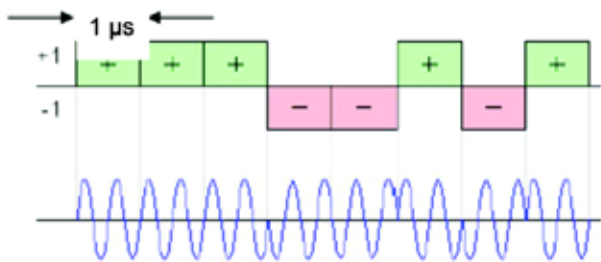
■ 图 6：图上看到三个窗口，左上的是功率对时间的显示（时域），右上的窗口是功率对频率的显示（频域），下方的窗口是频率对时间的显示（调制域），从下方的窗口上可以看到频率捷变的时间为 1.19 $\mu$ s。另外该仪器提供自动测量功能可以将频率转换时间自动测量出来。

### 3. 脉内信息的分析

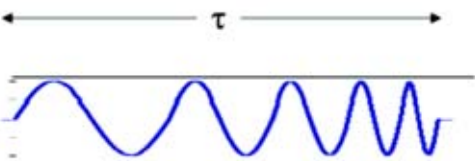
现代雷达脉冲调制越来越复杂，除了简单的脉冲调制以外，现在应用较多复杂调制有脉冲压缩调制，脉冲压缩相位编码调制，线性相位等等，图 7，8 为常见几种脉冲调制波形。对于这些复杂的脉冲调制分析以往没有简便的手段使用一台设备就可以解决。传统上，测试测量行业一直未能提供完善的脉冲测量软件，这就迫使许多雷达工程设计人员创建复杂的自定义测试解决方案。实时频谱分析仪与脉冲测量套装软件相结合，为通过在一台测试仪器内进行雷达脉冲测试和分析提供了最完善的解决方案。实时频谱分析仪的功能使其能够分析和显示超出其它测试设备的信号细节。

## 应用案例集—国防电子

### ■ 应用指南



■ 图 7-1：相位编码的雷达信号



■ 图 7-2：脉冲压缩的雷达信号

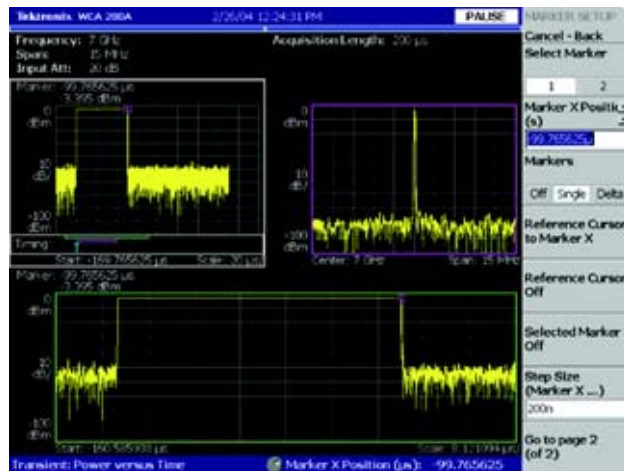
雷达对抗和信号侦察关心的雷达参数很多，如峰值功率，开关比，纹波，相位信息，频率信息等等。峰值功率用来衡量脉冲中的最大瞬时功率电平。功率衰落、脉冲顶部幅度和过冲也是相关因素。电子侦察专家有时会仔细观察这些特点，因为它们提供了与雷达质量有关的其它信息。下面我们会介绍的实时频谱仪是如何对这些参数进行测量，如何通过一个仪器就进行全部的测量，我们还会介绍业内很有特点的雷达测量分析软件，该软件内嵌在实时频谱仪里面，和硬件一起组成了一个雷达测试系统。

### 3. 1 脉冲信号的时频分析

在电子侦察中，对非合作脉冲信号的分析首先从功率和频率开始，这也就使得脉冲信号功率和频率的测量成为必须。对于传统频谱仪来说，想要测量峰值功率和频率的话，除了借助频谱仪测量频率，而还需要峰值功率计来测量峰值功率。此外在使用传统频谱仪测量频率的时候要求被测量的雷达信号必须是周期性的，也就是说传统频谱仪无法分析单脉冲雷达信号，而在复杂的电子雷达对抗环境中，稍纵即逝的单脉冲信号也许就是你最关心的那个。为什么传统频谱仪只能观测稳定周期的雷达信号呢，因为对于瞬态的雷达信号来说，他的频谱不是一个稳定的频谱，不能用扫频仪重建出来显示，而实时频谱仪利

用高速AD进行采集并实时进行快速傅立叶变换得到每一个脉冲的频谱，使得可以针对每一个特定的脉冲进行全面的分析。

这里借助几张图片来说明实时频谱仪是如何进行时频分析的。

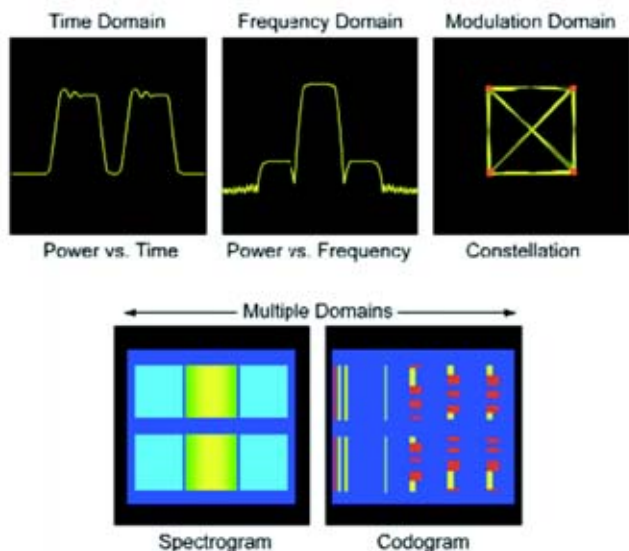


■ 图 8：左上窗口是时域测试，可以直接测量峰值功率。左上窗口可以测量频谱的值，而下面的窗口可以直接测量脉冲宽度。

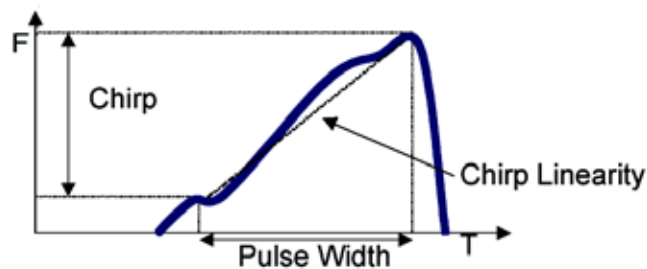
从上图我们可以看到实时频谱仪不但可以观测频谱，同时还可以进行时间相关的多域观测，这样就方便的测量峰值功率，脉冲宽度，脉冲重复周期，以及频谱都参数。以往的传统频谱仪只有一个窗口即只能进行频域观测。而对于脉冲宽度，和脉冲重复周期这样和时间直接相关的参数是无法直接测量的。这里我们又一次提到了时间相关多域观测，那我们来看看是什么时间相关多域观测。

一旦信号已经采集并存储在内存中，可以使用RTSA中提供的各种时间相关视图分析信号，如图 8，图 10，图 12 所示。这对设备调试和信号检定应用特别有用。所有这些测量都基于同一套底层时域样点数据，其突出表现出两大结构优势：

- 在频域、时域和调制域中，通过一次采集进行全方位信号分析。
- 多域相关，了解频域、时域和调制域中的特定事件怎样在公共时间参考上相关。



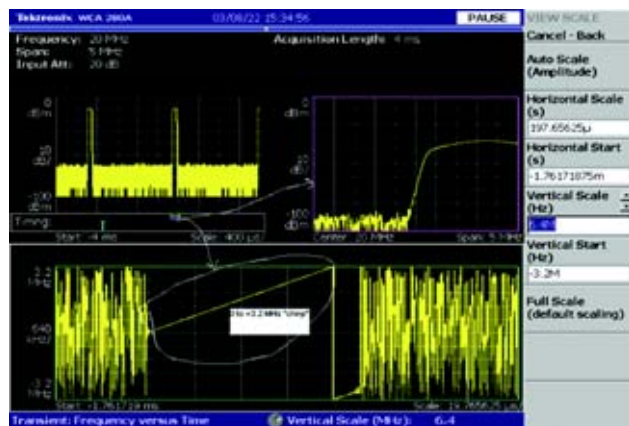
■ 图 9：RTSA 上提供的多个时间相关测量项目图。



■ 图 11：对线性调频信号线性度的定义



■ 图 12：对脉内的跳频进行解调分析



■ 图 10：对线性调频信号进行解调

在进行时域分析和调制域分析的其它实时测量模式下，RTSA显示了被捕获信号的多个视图，如图10所示。左上方的窗口称为概况图，它可以显示功率随时间变化情况或频谱图。概况显示了块中采集的所有数据，它作为其它分析窗口的索引使用。

右上方的窗口(用紫色标出)称为子图，它显示了实时频谱分析仪模式下提供的同一功率与频率关系图。这是一个数据帧的频谱，可以滚动整个时间记录，查看任何时点上的频谱。这通过调节频谱偏置实现，其位于RTSA的Timing(定时)菜单中。另外还要注意，在概况图中有一个紫条，表明与紫色子图窗口中的频域显示相对应的的时间位置。屏幕下半部分的窗口(用绿色标出)称为分析窗口或主图，它显示了选择的时间或调制分析测量的结果。

## 应用案例集—国防电子

### ■ 应用指南

图 10 对应的分析窗口里的图(绿框)是对一个脉冲压缩信号进行的解调,其线性调频的趋势图一目了然,可以看到线性跳频的线性度的好坏。以往对线性跳频信息的分析不能在频谱仪上直接进行,现在使得工程师可以用一台仪器就可以进行频谱分析和时间对频率的分析。

图 12 中的分析窗口是对一个脉内有跳频的雷达信号进行分析,从图上我们可以清晰的看到脉冲内部有五个跳频点,而且这五个跳频点是顺序变化的。

从这里可以看到,RTSA 不仅仅能够测量频谱,而且可以得到时间相关的各种信息,而时间信息或者各种脉冲之间的时间关系是雷达对抗分析很中要的环节。

### 3. 2 脉内相位信息分析

相位信息是现代雷达的一个重要参数,在频率资源充分利用的今天,在相位上做文章成为雷达发展的一个趋势。比如扩频雷达中相位编码的使用,各种相参雷达等等,在这里我们来看看RTSA是如何进行相位分析的,这里也通过几个图例来说明。

图 13 所显示的是相位编码的雷达信号,这里是 BPSK 的编码调制,对于 RTSA 来说,不但可以看到不同的相位调制波形,而且还可以直接观测 BPSK 数字调制的星座图眼图,和码表图。对于数字信号的解调功能,实时频谱仪完全可以替代 VSA (矢量信号分析仪),而 VSA 确不具备 RTSA 的实施捕获和触发功能。



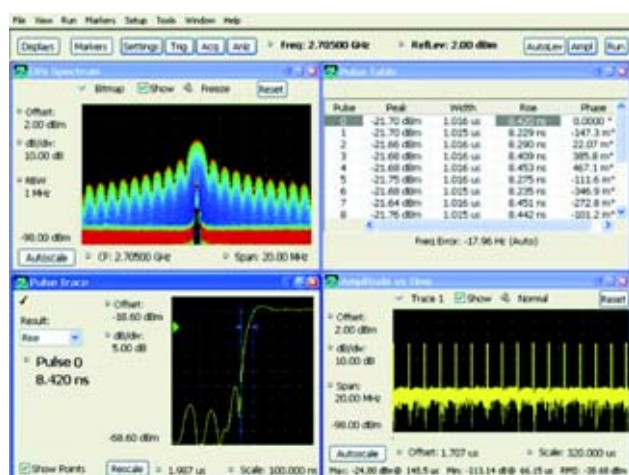
■ 图 13: 相位编码雷达信号

### 3. 3 脉冲自动分析测量软件 – 测量各种脉冲指标

实时频谱分析仪还有一个独特之处,是其拥有完善的脉冲测量软件。脉冲测量套件作为高级测量软件的一部分,具有全面的自动脉冲测量功能。RTSA 可以有效代替多种传统测试仪器(SA、VSA 和调制域分析仪),这一软件大大增强了诊断能力。

RTSA 可以测量及以图形方式显示脉宽(Pulse Width)、峰值功率(Peak Power)、开关比(On/Off Ratio)、上升时间下降时间(Rise Time, Fall Time)、脉冲纹波(Pulse Ripple)、脉冲重复间隔(Pulse Repetition Interval)、占空比(Duty Cycle)、脉冲-脉冲相位(Pulse-Pulse Phase)、通道功率(Channel Power)、占用带宽(OBW)、有效带宽(EBW)和频率偏差(Frequency Deviation)。

由于在一个记录中可以捕获一个以上的脉冲，因此 RTSA 测量每个脉冲，为脉冲分配一个编号，自动将每一个脉冲的测量结果列表显示。RTSA 拥有多域时间相关显示，因此在测量表中选择一个脉冲时，功率随时间变化图中的相应光标将自动相关，锁定到相应的脉冲信号。同样，概况频谱图中的光标将与频谱图功能的脉冲编号相对应。脉冲测量套件不仅为每个脉冲测量提供了表格数据，还提供了图形显示。图形显示可以揭示该测量参数的变化趋势，提高故障诊断能力。例如，在雷达发射机预热时，工作频率可能会漂移。通过使用“View Select”键和“View Define”键，以图形方式显示每个脉冲的频率测量和变化趋势，这样可以简便地确定多个脉冲中的频率漂移趋势。这些测量不仅有益于雷达系统设计人员和构建人员，还为电子侦察或电子战专家提供了宝贵信息。详细分析信号的变化趋势可以对遇到的发射机类型提供确认信息。



■ 图 14: 内嵌在实时频谱仪里面的脉冲测量分析软件，可以同时分析多个脉冲的参数。

#### 4. 实时侦察和记录功能

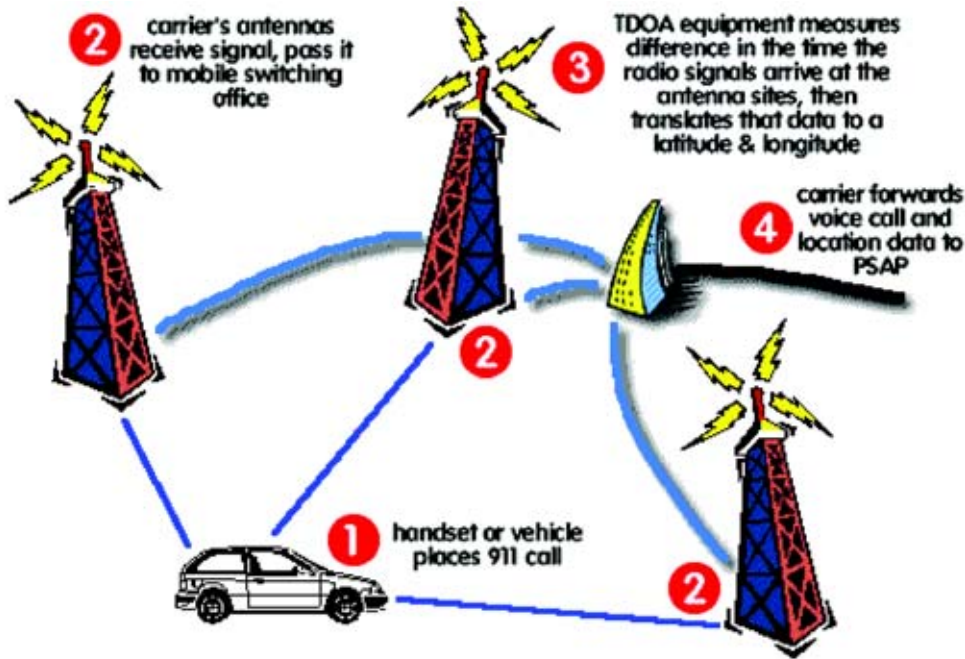
在真正的作战环境中，常常需要长时间的监视并记录空中信号。实时频谱仪有 1GB 内存空间可以记录信号，但是对于信号侦察工作来说，可能还远远不够。RTSA 的实时 I-Q 输出功能特别适合信号的侦察工作，他可以允许直接将 IQ 输出的信号记录在高速硬盘上，进行长时间的记录。

#### 5. 小结

对于瞬态雷达信号的发现和捕获，复杂脉冲的调制分析这样的一些功能是传统仪器很难做到或者同时做到的。独特的雷达脉冲测量分析软件也让雷达信号的常规分析变的更加简便。现代雷达技术的发展迅猛，各种数字新技术和软件无线电技术也应用到雷达系统中。雷达宽带数字接收机和数字侦察接收机的出现使得传统的超外差窄带接收机相形见绌。而频谱仪的发展也如同雷达接收机的发展一样，实时频谱仪正是使用了宽带数字接收和软件无线电的原理，特别适合当前的技术发展需要，可以说实时频谱测试技术是频域测试的一个发展方向。

## 基于实时频谱分析仪的 TDOA 发射机定位方案

使用 TDOA 进行空中信号的定位需要至少 2 到 3 个位置的接收机同时工作，同时用天线接收发射的信号，然后进行后续的计算分析。下图为 TDOA 信号定位系统的框图：



TDOA (Time Difference of Arrival)

在图中，我们以实际的蜂窝移动电话为例（1号位置），要确定位置1的确切地址，需要不同的天线进行接收，步骤如下：

1. 位置1的用户使用无线通信手机拨叫一个电话。
2. 这个无线信号被多个不同位置的天线接收（图中有3个2号位置）。由于天线的位置和距离无线信号发出的手机的不同，所以在信号到达接收机的时间会有细微的差别。这个技术需要获得这些来自不同接收天线的时间差。
3. 用同步时钟统一接收机的时钟，把手机信号和精确的时间信息发送到可以进行时间比较和计算经纬度的移动开关。
4. 把经纬度的数据发送到处理中心。

在这个测试系统中，需要用到的接收机或者频谱仪需要具备一下的功能：

**具有触发信号输出功能。**当接收机接收到信号的同时要有一个具有精确时间参考的信号输出来确定接收到信号的时间信息。这一点至关重要，有了这个时间信息才可以进行后续的计算。TEK 的实时信号分析仪具有触发输出功能，当被测信号到达接收机的时候，同时启动触发输出，来确定信号到来的精确时刻。泰克独有的触发输出技术正好满足了这样的需要。

**接收机具有精确的时间测量功能。**接收机不但能测量信号的频率和频谱，同时还要求具有时间轴。信号在空间传输大概 3.3ns/m,所以接收机的时间测量精度也就会影响到定位的距离精度。泰克的实时信号分析仪不但可以测量频谱，进行高级分析，同时提供一个时间轴，可以观测频谱随时间的变化。这是频域分析仪器的一个革新，以往的频谱仪是无法提供精确的时间轴的。

**开放的仪器操作平台。**需要一个开放的仪器操作平台，来运行和处理所开发的软件。泰克的实时信号分析仪采用的是 Windows XP 的操作系统，并采用 TEKVISA 的结构，使得仪器的程序控制更加方便，处理速度更加快捷。

刚才提到重要的一点就是触发输出的时间精度，这个精度直接关系到是否可以满足客户的精度要求，下面是泰克公司在这个指标进行的时间精度标定方法和测量结果

在下面的结构图中，我们可以看到为了确定泰克实时信号分析仪 2 台之间的触发信号输出时间差，我们采用了 Agilent 的信号源 E4437B 作为模拟的发射机信号输入。信号参数如下：

Transmitter: Agilent E4437B ; Signal Frequency=1GHz, Pulse width=100us, PRI=1s

使用通用计数器 Agilent 53132A 来精确测量两路信号的时间差。

实施信号分析仪的设置如下：

1: Lancer 6106 and 6114 : f=1GHz, Span=40MHz, RBW=300KHz

Time difference : 10ns---180ns

(trigger method: Power)

Time difference : roughly 10ms (trigger method: FMT)

2: Lancer 6106 and 6114 : f=1GHz, Span=110MHz, RBW=1MHz

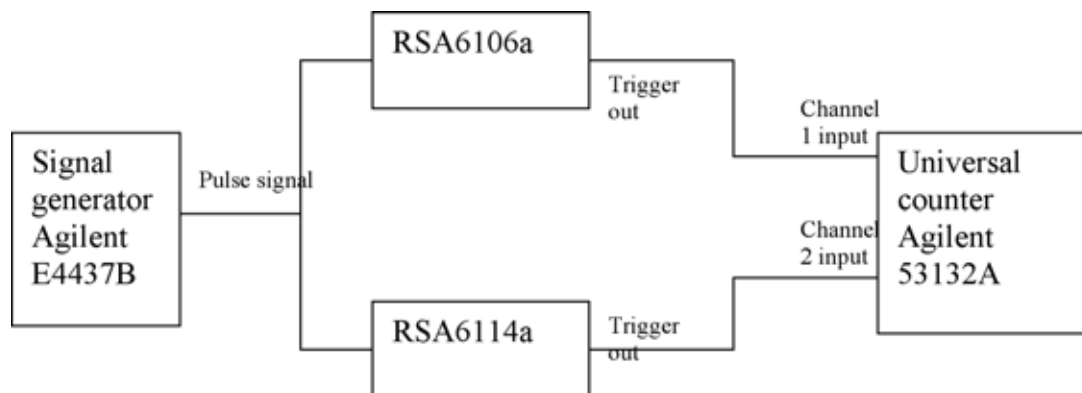
Time difference : less than 50ns

(trigger method: Power)

Time difference : roughly 10ms (trigger method: FMT)

结果：当使用 2 台泰克的实时信号分析仪 RSA6114A 或者是 RSA6106A 的时候，使用 Power Trigger 的时候，时间误差只有 50ns，这样的测量结果是时分令人满意的，这个测量功能也是以往的仪器所不能完成的功能。

TDOA 系统的关键在于系统的时间精度，泰克的实时频谱仪提供了高的时间精度，满足了测试需求，后台的软件算法现在已经非常成熟，可以很容易地通过计算得到结果，实现定位功能。



# 脉冲雷达的相参测量

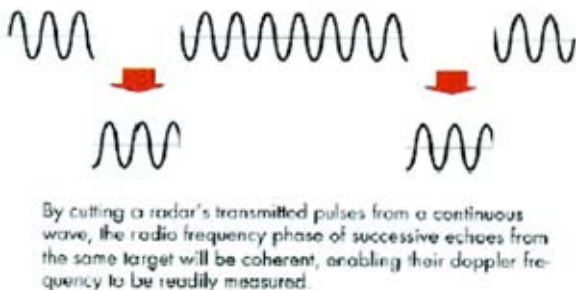
作者：张鹏

业务发展经理

泰克科技(中国)有限公司

## 1. 脉冲雷达中相参的意义

所谓相参 (coherent) 是指两个信号的相位之间有着确定的关系, 因此, 简单的说, 相参雷达是指发射波形的相位之间具有确定的关系或者具有统一的参考基准。相参雷达也是脉冲雷达的一种, 这些脉冲是通过开启和关闭同一个 CW 信号得到的, 如下图所示:



相参信号具有很好的相关性, 能够满足接收机检波后多普勒处理的需要。理论上M个幅度相等、相位相参的信号脉冲相加, 输出脉冲电压将M倍于单脉冲电压。但是由于相加的噪声脉冲是非相参的(一般的接收机脉冲和许多其他噪声均是如此), M个噪声脉冲相加后, 其均方根值仅仅是单个噪声脉冲均方根值的  $\sqrt{M}$  倍。因此, 在理想情况下, 信噪电压比改善就等于  $\sqrt{M}$ , 单脉冲最小可检测信噪功率比下降M倍。从这里可以看到相参对雷达接收机的性能的影响是很大的。如果信号的相参不够好的话, 直接影响到接收机的灵敏度, 导致雷达对目标的跟踪能力大大受到影响。对多普勒雷达信号来说, 信号的相参不够好的话, 对多普勒频偏的处理会出现错误, 导致频率偏差, 丢失目标。

## 2. 如何利用实时频谱分析仪进行相参测量

### 2. 1 实时频谱分析仪概述

实时频谱分析仪是一台将被测信号数字化并进行实时频谱运算和分析的仪器。其优势在于高速、高动态范围的ADC对信号进行实时采集并可以进行实时的FFT处理。实时频谱仪具有对信号的实时观测和实时捕获的功能。同时由于实时频谱仪具有将捕获的信号数字化并存储下来的功能, 所以其强大的分析软件可以对整个捕获下来的信号进行分析。最长可以分析 10000 个脉冲。

对于一般的具有数据采集并可以进行数字频谱化的仪器来说, 和实时频谱仪的区别在于实时频谱仪可以对内存中的所有数据进行分析, 所以就具有了同时可以分析多个脉冲并对多个脉冲同时进行各种参数的测量的功能, 比如每个脉冲的脉宽、每个脉冲的峰值功率和脉冲到脉冲之间的相位信息。

### 2. 2 实时频谱分析仪如何进行相参测量

#### 2. 2. 1 实时频谱仪如何定义相参测试

实时频谱仪对脉冲进行相参测量, 简单的讲, 就是测量脉冲到脉冲的相位差。这个相位差是选择不同脉冲的相同的位置。对于相参信号只要脉冲PRI是固定的, 那么不同脉冲同一位置的相位一定是相同的或者具有一定的关系。所以只要知道脉冲彼此之间的相位差是否很小(相位相同)或者按照一定的规律变化(相位差按照一定的规律变化)。如下图所示, 不同的脉冲的同一个位置的相位都和第一个参考脉冲相比较, 就会得到相对第一个脉冲的相位差。第一个脉冲作为参考脉冲, 这里的“第一”只是相对于所分析



的脉冲而言的,在捕获下来的时域信号中,可能包括几十个甚至几百个脉冲,所选择分析时域信号的区域里面第一个脉冲作为参考脉冲。

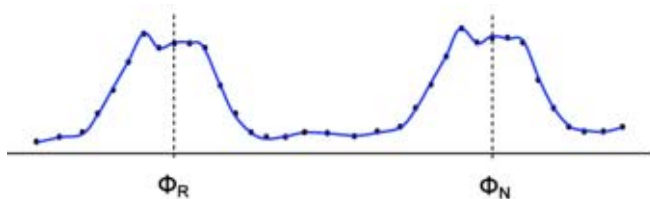


图 2

### 2. 3 相参的测量

使用实时频谱仪进行脉冲间的相位测量可以借助实时频谱仪中的脉冲测量套件,该套件不仅仅可以进行相参测量,同时可以进行多种脉冲参数的测量和分析,比如脉宽、峰值功率、PRI、占空比、上升时间等等。在这里我们只讨论脉冲相位到相位的测量。

能够进行脉冲内部的参数分析和能够进行脉冲到脉冲间的参数分析,尤其是脉冲到脉冲间的参数分析是实时频谱仪进行相参测试的基础,这依赖于实时频谱仪独特的数据分析能力——可以对一段时间内的多个脉冲进行检测并进行分析。同时借助于实时频谱仪独有的时间相关多域观测功能使测量变的更加直观更加方便。

什么是时间相关多域观测呢?先看一下下面的截图:

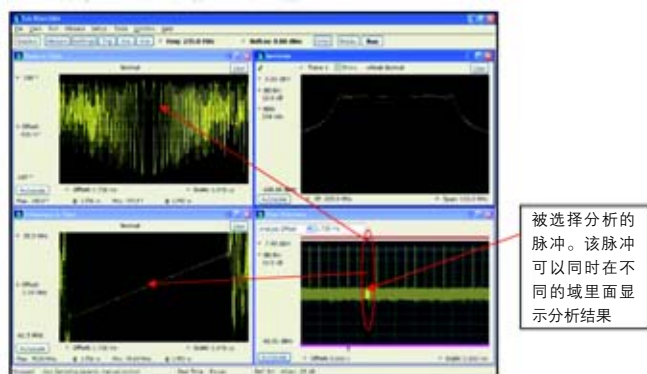


图 3

在图3中可以看到4个窗口,实时频谱仪允许打开若干窗口来进行时间相关的多域测量。在上面的图中可以看到分别对该雷达信号进行了频谱显示(右上),时域脉冲包络的显示(右下),某个脉冲的脉内频率对时间的显示(左下)和该脉冲相位变化的显示(左上)这种测量方式叫做多域测量,而且实时频谱仪的多域测量是在相同的时间参考上面的,如果加上光标,那么该光标会在不同域的同个时刻上显示,也就是说不同域的光标在时间轴上是同一个光标。这种分析手段给了雷达研发工程师一个排查故障、分析故障最有效的手段。

如下图4所示,在加了光标以后可以同时显示在不同的分析域里面而且具有相同的时刻。

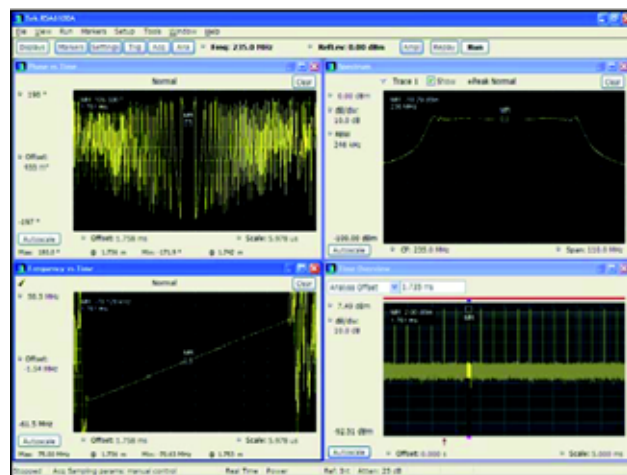


图 4

利用时间相关的多域分析和能对长的采集数据分析的能力,再加上合适的计算方法,就可以完成脉冲到脉冲的相位差测量。在第4节中将会重点介绍实时频谱仪实现脉冲相位差测量的理论依据和计算方法。

# 应用案例集—国防电子

## ■ 应用指南

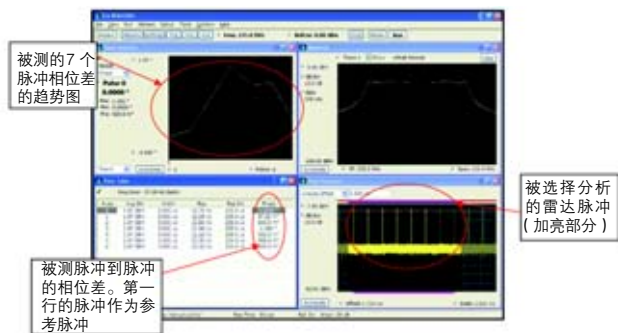


图 5

针对图3所示的脉冲压缩的信号，打开脉冲测量套件就可以对多个脉冲的相位进行分析。在进行测量之前需要针对被测信号对实时频谱仪进行相应的设置：如采样率、滤波器带宽和类型、holdoff 时间以及选择雷达信号的类型等等，这些设置的选择会影响到测量结果的正确性和精度。从图5中可以看到，被选择分析的脉冲的第一个被确定为参考脉冲，认为其相位差为0度，后面的脉冲的相位差值都是和它进行比较所得到的结果。同时该分析条件还可以对测量所得到的数据进行统计分析和趋势图分析，如图5中左上的窗口。

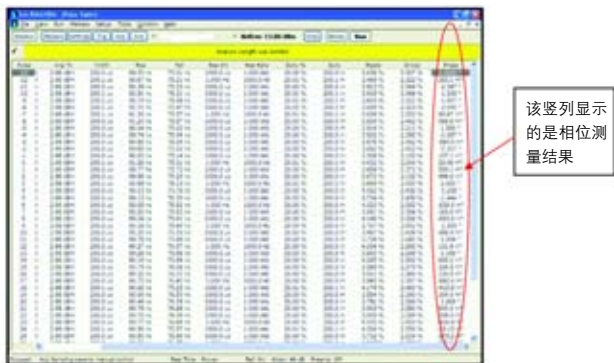


图 6

该脉冲分析套件可以支持最多分析 10000 个脉冲，图6是将脉冲分析套件屏幕最大化后的结果，上面的实例中被分析的脉冲达 40 多个。当被分析的脉冲数量太多的时候，也许不方便观察，实时频谱仪可以将被测结果输出能 CSV 文件或者 TXT 文件以及 matlab 可以直接分析的文件格式。下面是对被测结果输出 CSV 文件后 Excel 生成的图表。

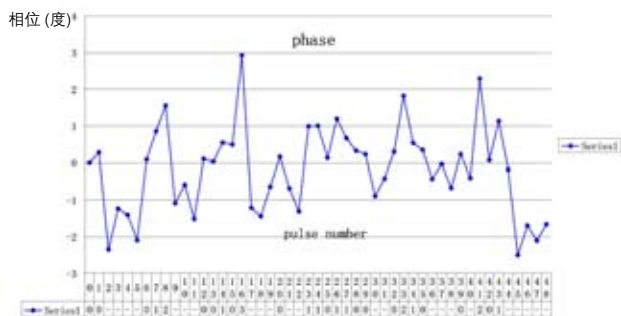


图 7

图7所显示的横坐标是脉冲的次序，纵坐标是相位差(和第一个脉冲相比)。这种输出后的分析对脉冲个数比较多的时候时分方便。

### 3. 实时频谱仪相参测量的理论依据

首先，是对被测信号进行采集和数字化。实时频谱仪对相位进行测量是基于数字信号处理的方法，所以首先需要对被测信号进行 ADC 的高速采集并进行数字下变频，用 I、Q 的方式来表示。如图2所显示的脉冲信号的时域包络已经是由采样点所构成的。被采集的信号在接受处理和计算之前先要通过滤波器，滤波器的类型可以选择高斯或者 no filter(直通)等，因为滤波器的选择会对脉冲包络的上升时间和信号的信噪比产生影响，所以选择合适的滤波器是正确测量脉冲到脉冲相位的必要条件。

数字相位测量方法如图所示，

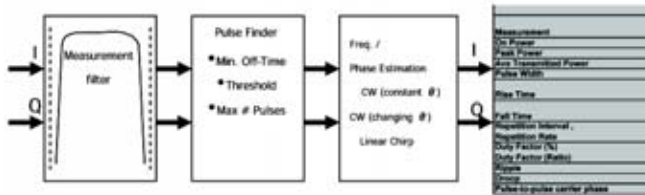


图 8

输入信号分成两路，并进行下变频，两个输出信道相位相差 90 度，称做为 I 路输出和 Q 路输出。假如这两个信道完全平衡，则

$$V_{in} = A \cos [ 2\pi (f_i - f_0) t + \phi ]$$

$$V_{in} = A \sin [ 2\pi (f_i - f_0) t + \phi ]$$

式中，A和 $f_i$ 分别输入信号的幅度和频率， $f_0$ 为频谱仪本振的频率， $\phi$ 为信号的初始相位。我们用 $I(n)$ 和 $Q(n)$ 表示数字化信号， $n$ 为整数。上式可以写为：

$$I(n) = A \cos [ 2\pi (f_i - f_0) n t_s + \phi ]$$

$$Q(n) = A \sin [ 2\pi (f_i - f_0) n t_s + \phi ]$$

式中， $t_s$ 是数字化时间间隔。

为测量信号的相位，需要处理器完成以下工作：1.取 $Q(n)/I(n)$ 的反正切，得到相位 $\theta(n)$ ；2.求出不同时刻之间的相位差。这两步可以写为：

$$\theta(n) = \arctan \frac{Q(n)}{I(n)} = 2\pi (f_i - f_0) n t_s + \phi$$

$$\Delta \theta(i) = \theta(n+i) - \theta(n) = 2\pi (f_i - f_0) i t_s$$

式中， $\theta(n)$ 表示 $n$ 时刻的相角， $\Delta \theta(i)$ 是间隔 $i$ 个 $t_s$ 时间单元的两个相角的相位差。如果可以求得 $\Delta \theta(i)$ ，那么就可以求得输出信号的频率：

$$(f_i - f_0) = \frac{\Delta \theta(i)}{2\pi i t_s}$$

在这个等式中，有一点很重要，即相角是限制于0到 $2\pi$ （或者是 $-\pi$ 到 $\pi$ ）弧度之间的。如果相角变化超过 $2\pi$ ，相位将折叠到 $2\pi$ 以内。

由上面的公式中可以得到：

$$\Delta f = \frac{\Delta \theta}{(2\pi \Delta t)}$$

要想计算 $\Delta \theta$ ，必须知道确切的频率值 $\Delta f$ ，如果用户知道这个频率值可以手动输入，如果不知道频率值，仪器可以对频率值进行误差估计，要正确对频率值进行误差估计必须选择被测信号的不同类型，在这里可以选择三种不同的信号类型来计算频率，他们是相位连续的脉冲信号；相位随机变化的脉冲信号；线性调频的雷达信号。

值得注意的是，这个方法还可以用来分析频率对时间的变化。如果输入信号只包含单一频率，则该方法能够提高频率分辨率。如果以 $1\mu$ 的时间间隔对输入信号进行采样，并对输入信号数据进行FFT运算，则频率分辨率为1MHz。如果采用上述方法并且时间延迟是 $1\mu s$ ，则最大非模糊带宽为1MHz。如果我们用6位分辨率测量相位角，则相位角的分辨率为 $5.625$ 度( $360^\circ / 64$ )。在这种条件下，测得的频率分辨率为 $15.625$ kHz，这意味着该方法的频率分辨率比FFT的方法提高了64倍。

相参技术是抑制海、地固定杂波、箔条等体分布慢动杂波和提取运动目标的最有效的技术措施，对提高雷达低空探测能力和提高机载雷达下视工作有重要的作用，在现在雷达中广泛的使用。实时频谱仪的相参测试解决了以往无法直接对相参信号进行测量的难题，大大提高了雷达研发工程师对雷达系统相参性的评估能力。

## RSA6100A 系列实时频谱分析仪实现高级频谱管理



相对于传统射频接收机或频谱分析仪,实时频谱分析仪(RTSA)为无线电监测和频谱管理应用提供了许多卓越的功能。

在本应用指南中,我们重点介绍泰克 RSA6100A 系列仪器的创新功能如何帮助用户有效的进行频谱管理,特别是两种最新的 RTSA 应用技术,即实时 DPX™ 显示和宽带 110 MHz 实时触发和捕获分析技术。

RSA6100A 仪表最高的射频测量范围可以达到 14 GHz,并提供了高达 110 MHz 的实时 IF 带宽及不小于 73 dB 的动态范围它们与实时 DPX? 显示模式等创新技术相结合,使 RSA6100A 成为满足高级无线电监测需求的理想选择。

## 引言

近年来无线设备和数字通信应用的迅猛增长，给射频环境的规范和查找干扰带来了重大挑战。在本应用指南中，我们将介绍怎样使用实时频谱分析技术，在当前极具挑战性的频谱环境中发现我们所关心的关键信息。

## RSA6100A 的性能

RSA6100A 实时频谱分析仪为棘手的频谱管理和监测问题提供了解决方案，在带宽、频率、动态范围和显示处理方面扩大了单台仪器的测量能力。

### 频率范围

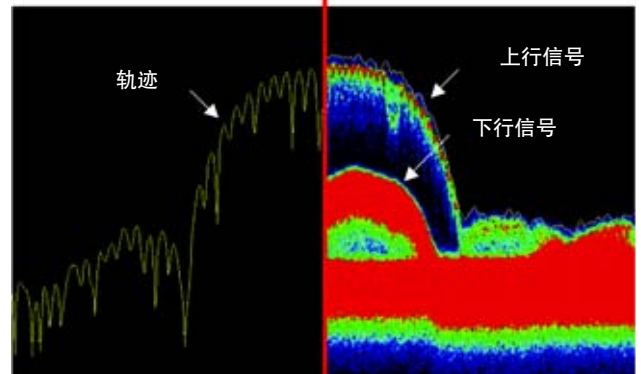
与传统频谱分析仪类似，RSA6114A 射频输入信号的模拟 RF 下变频器使用多次变频转换技术。但有一个重要不同是其数字 IF 带宽很宽。下变频器在 9 kHz – 14 GHz 的频率范围上进行调谐，能够涵盖大多数通用的通信频段。

### 宽带宽

RSA6100A 把 40 MHz (标准配置)或 110 MHz (选件 110) 的实时捕获分析带宽与高动态范围结合在一起。这样带宽的指标就要求对仪器结构中的 RF 部分改进，使其不同于传统频谱分析仪。传统的频谱分析仪一直使用窄带可调谐滤波器，作为预选器控制映像和杂散信号。这些滤波器有明显的调谐滞后效应和通带变化性，在多次测量中很难实现可重复的结果。在需要宽带捕获时，传统仪器的射频通路需要绕过 YIG 滤波器，这必然会降低无杂散动态范围。基于这些原因，RSA6100A 采用一系列开关式带通数字滤波器，在 8 GHz 以上的频段中控制映像和杂散信号，同时实现了很高的无杂散动态范围和很宽的带宽。

传统频谱分析仪显示

频谱显示画面



■ 图 2. 实时 DPX™ 频谱显示了信号的详细信息，如 WLAN 信号的上行及下行内容。传统频谱分析仪只能使用单色轨迹显示峰值幅度。在这幅图片中，左半部分和右半部分显示的是同一个 WLAN 信号采用不同显示方式的结果。

## DPX™ 显示技术

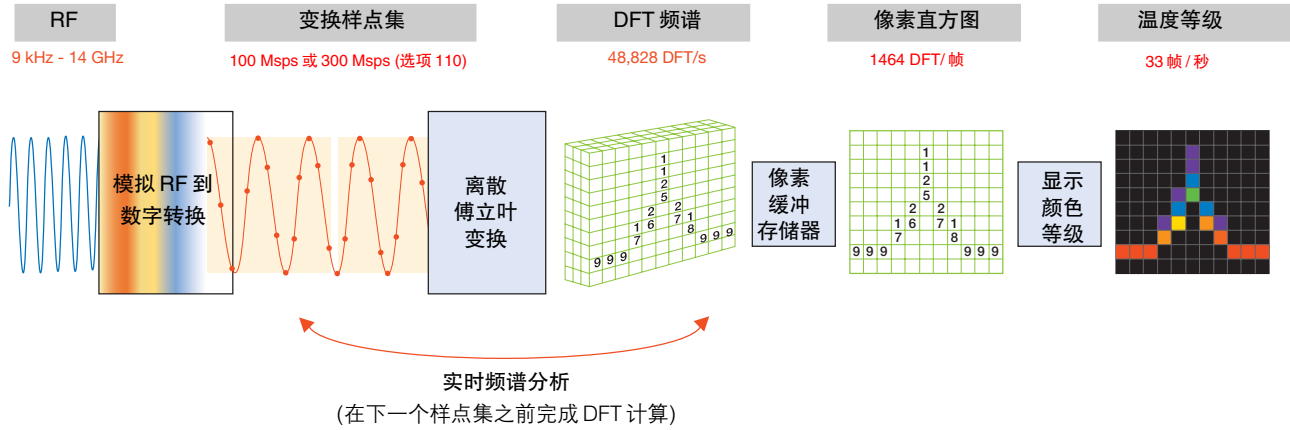
RSA6100A 在无线电管理应用中的一个独特功能是实时 DPX™ 频谱显示模式。DPX™ 技术每秒可以实现超过 48,000 次的频谱测量从而保证可靠地检测持续时间很短的信号。

DPX™ 显示技术的信号检测优势特别适合发现那些传统手段很难发现的瞬时异常信号，或查找隐藏在其它信号频谱下面的时变小能量信号。

通过比较传统频谱分析仪的单色频谱显示和 DPX™ 频谱图的频谱分析画面，有助于说明这两台仪器之间的差异。图 2 是上述两个显示画面的合成图。DPX™ 显示画面采用颜色等级的“色温”技术，用颜色表示不同信号出现频次的多少。出现频次低的事件（如瞬态干扰）用蓝色显示而出现频次高的事件（如本底噪声）用红色表示。相比之下，扫描式频谱仪由于采用“功率累加”原理，在最大保持曲线中只能显示能量最高的信号而无法分辨同一频点或频段上是否有其他信号存在。

# 应用案例集—无线电监测

## ■ 应用指南

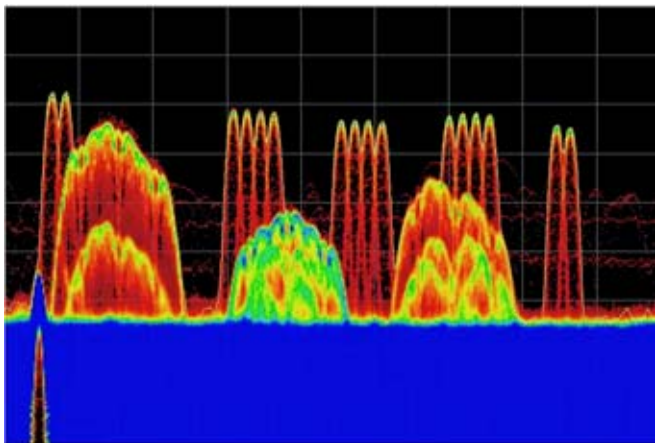


■ 图 3. 信号在经过模数转换之后，通过 DPX™ 引擎把 DFT 变换之后的数据叠加显示在屏幕上

### DPX™ 观察拥挤的频谱

下面是某些动态变化的信号及同一频段的多信号显示的实例。如果不能有效的查看所有这些信号，那么我们可能不知道他们是否是在有效的分时工作或是否会相互带来严重干扰。

DPX™可以帮助您查看以前无法分开显示、甚至根本看不到的时变的 RF 信号。通过 DPX 技术可以准确地查看那些难以检测的 RF 信号，而普通显示技术在拥挤的频谱环境中是不可能显示这种结果的。



■ 图 4. 可以在 2.4 GHz 频段内同时看到许多信号。三条 WLAN 信号，蓝牙信号集，在背景中可以看到多个频段非常宽、出现频次非常低的信号。

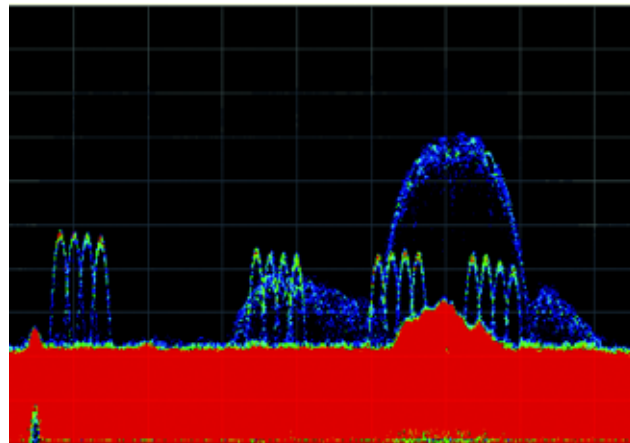
### 分辨同频信号

当一个频段中存在多个信号且重叠在一起时，传统分析仪几乎不能分开的查看这些信号。显示屏通常只会显示每个频率点上信号能量叠加的结果。

在图 4 中，有三个 WLAN 信号及一个蓝牙传输信号，同时还有多个重复率低、频段非常宽的信号覆盖了整个频段。当存在多个不同的此类信号时很难查看存在哪些信号，甚至根本不能分辨不同的信号。

在两个随时间变化的信号重叠时，DPX™显示模式可以简便地显示不同的信号。注意在图 4 中，可以非常容易地把同一条通道上多个重叠的 WLAN 信号区分开来。信号颜色告诉我们信号每个部分出现的频次情况。

可以很容易看出，发生频次低的类似噪声的宽带信号干扰了所有其它信号，而且从显示屏上可以很容易看出哪个信号比干扰信号能量强，哪个信号比干扰信号弱。



■ 图 5. 这里我们看到一台 WLAN 基站(噪声中的红色隆起部分)，这是看到的最弱的信号，因为它的距离最远。在这个颜色方案中，红色表示传输几乎是连续的。同一条通道附近有一台笔记本电脑，发出的信号最强。但它的颜色是蓝色，因为传输频次非常低。四条通道、每条通道四个载波则源于蓝牙信号。

### 分辨信号类型

即使在其完全重叠时，DPX 显示画面仍可以分辨和揭示随时间变化的多个信号的属性。可以清楚地分辨和查看其发生的幅度和频率。信号存在的时间占总时间的百分比用颜色显示。

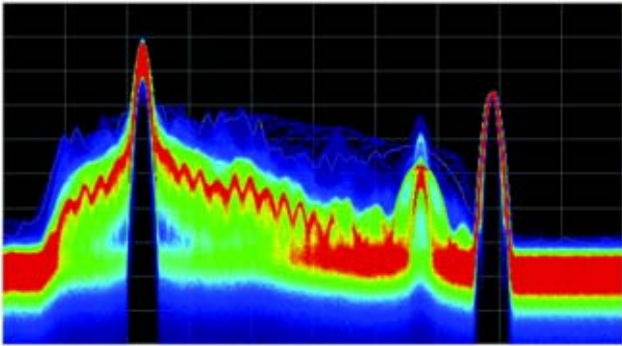
传统频谱分析仪的横轴及纵轴只能显示信号的幅度和频率。DPX™显示画面还带有可变余辉，这提高了查看短脉冲式信号的能力。

### 随时间变化的信号

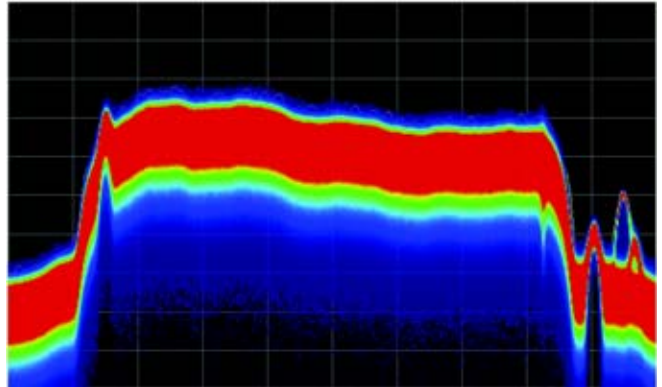
某些信号本身具有频谱随时间大幅度变化的特点。模拟电视信号就是这样的信号。尽管主载波和音频载波相对恒定，但在图像变化时，视频信息导致的调制产物会一直变化。带有大量信息的图像、带有大量色彩的图像及带有大的固态内容的图像都有明显不同的频谱成分。

## 应用案例集—无线电监测

### ■ 应用指南



■ 图6. 模拟电视传输由于传送的图像不断变化而导致频谱成分连续变化。



■ 图7. 数字电视传输的频谱要比模拟频谱稳定得多。注意这个电视台上方的三个通信信号。

在测量模拟电视信号是否满足频谱标准时,DPX™允许同时查看平均占用情况及频谱极值的特点和范围。

在图6中,我们看到一个模拟电视传输信号。传统显示画面要么会在每次更新时采用单色的频谱图像显示,包含自上次更新以来所有频谱能量;要么会提供存储的显示画面,对存储复位以来的所有频谱能量采用单色显示。

DPX™显示模式从“经常”(红色)到“罕见”(蓝色)显示每个频谱成分的发生速率。

这里,我们看到红色的恒定载波,同时可以全面查看所有视频图像频谱,它们在不同线路和帧之间变化。

在低频一侧,可以清楚地看到“残留边带”。注意蓝色区域表明频谱成分只是偶尔重现。正是这些成分具有很大的违反频谱辐射要求的风险,传统频谱分析仪很容易会漏掉这些成分。

数字电视传输的时间稳定性要比模拟电视传输高得多。图7是8-VSB US DTV信号的DPX图。

由于数字信号比较完整地填充可用的指配带宽,频谱监测对数字电视仍至关重要。任何小的未能满足指配模板的行为,都会严重地泄露到相邻通道中。注意,就在这条频道DTV信号上方有多个72 MHz通信信号,必须防止这些信号干扰受到DTV广播。

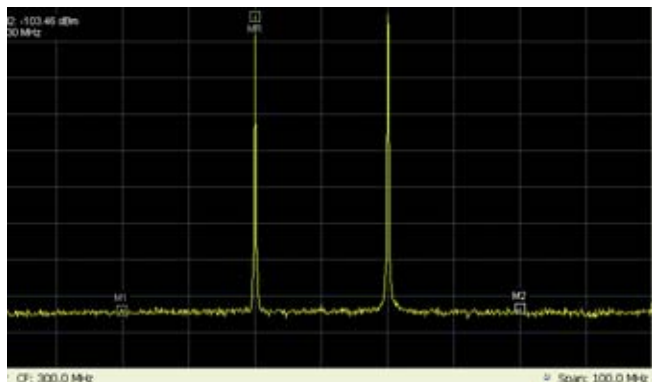
尽管DTV发射机的滤波通常会很好,但偶尔还是能监测到这些信号。

### 110 MHz 捕获带宽

#### 宽带宽和高动态范围相结合

无线电监测设备的一个重要属性是提供足够的动态范围和选择度,避免位于所需频率附近的大信号产生拥堵。同样重要的是,大的分析带宽可以在一次采集中捕获整个感兴趣的通信频段。





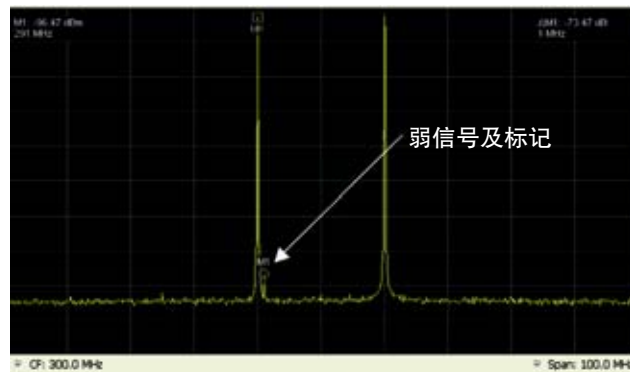
■ 图 8. 两个高能量的信号。MARK 显示看到的分析仪互调产物所在的位置。

例如，5 GHz U-NII 开放频段的带宽为 100 MHz，2.4 GHz 开放频段带宽为 83.5 MHz。使用 RSA6100A 可以全面连续地捕获这些频段内的信号。

相关频段内部强大的干扰源或相邻信号可能会在分析仪中产生互调制产物，而不能成功地解调所需的信号。不想要的互调制产物一般还会产生没有意义的信号扰乱频谱，减慢频谱检查过程。

#### 宽带宽和高灵敏度相结合

RSA6100 系列频谱仪典型的显示平均噪声电平(DANL)为  $-151$  dBm/Hz，这有助于小信号的检测。在使用内部前置放大器时，典型 DANL 是  $-166$  dBm/Hz，进一步改善了其灵敏度。与之相对应的是在 110 MHz 全带宽时的无杂散动态范围为 73 dB，因此能够满足各种无线电监测应用。



■ 图 9. 在 100 MHz 跨度内可以明显看到比强信号小 74 dB、仅相隔 1 MHz 的一个弱信号。

在图 9 中，我们使用 20 kHz 的分辨率带宽，可以非常清楚地看到距大信号仅 1 MHz 的被标记信号，这个信号比大信号弱大约 74 dB。

这种性能的结合及 110 MHz 分析带宽，使得 RSA6114A 在复杂的频谱情况下以高的灵敏度捕获 RF 信号。

#### 监测应用

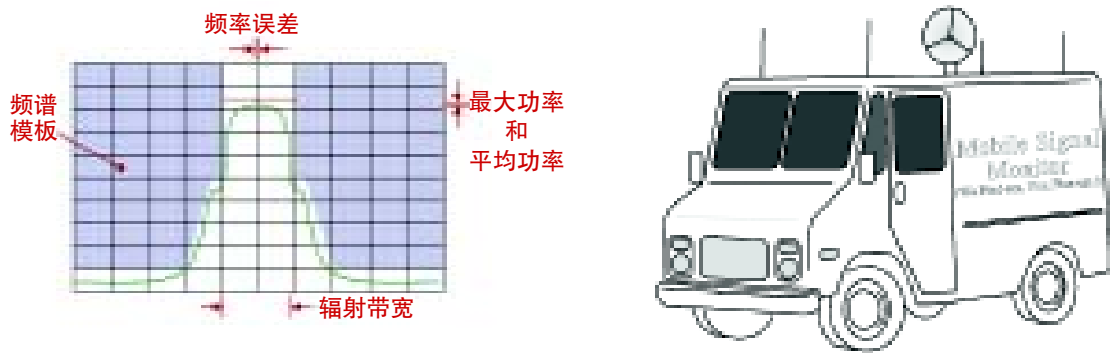
##### 频谱管理

无线电频率是一种共享资源，对它的使用有着非常严格的法规要求，以避免用户之间发生不希望的干扰。法规实施部门定期对无线电环境监测，保证各种无线电设备满足法规要求。

无线电环境监测通常被视为单纯的政府行为。事实上，许多商业企业也开始进行监测信号工作。商用信号监测应用正随着无线设备及频段拍卖的迅猛增长而明显提高。

## 应用案例集—无线电监测

### ■ 应用指南



■ 图10. 频谱辐射模板可以以图形方式显示违规事件, 即使发生频次低, 仍可以使用RTSA触发和捕获这些违规。

因疏忽而产生的干扰辐射可能会给蜂窝频段运营商带来非常高的成本。同样, 商用广播机构可能会由于相邻频道转播站质量控制差而失去大量的市场受众。卫星、通信港和终端地面站不仅需要监测信号的干扰问题, 还需要监测资产情况及实现计费的情况。为确定干扰问题, 首先要监测发送的频谱辐射。

频率法规监管机构通常需要监测多个不同的信号类型, 以确定是否有违法行为发生。

#### 捕获 LPD 突发事件

RTSA 提供了实时捕获分析功能, 为可靠地捕获检测概率低的信号提供了独特的解决方案, 把检测概率提高到 100%。

RTSA 的频率模板触发(FMT) 可以可靠地触发 LPD 事件。RSA6100A 系列实时频谱分析仪的 110 MHz 实时带宽可以以 100% 的概率捕获时长最短 21 微秒的信号。

#### 查找窃听装置

工业企业把自己的工艺和产品视为宝贵的专有资产。他们希望保护在这些专有资产中的投资。为实现这种

保护能力, 他们有时可能要查看竞争对手是否在本公司办公室中安装了“窃听”装置。

尽管大多数窃听装置非常简单, 但随着 RF 技术发展, 某些装置正变得日益完善。例如, 某些装置可能会采用“存储和转发”数字技术。这种工作模式把声音数字化, 压缩数字记录。然后窃听装置会在预定时间或根据指令, 作为短突发的调制 RF 传送数字记录。

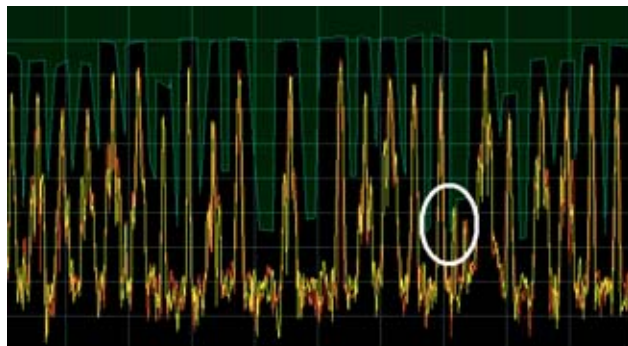
这些突发可能会随机出现, 使用传统扫频分析仪几乎不可能找到这些突发。RTSA 为查看和捕获间歇性突发传输提供了适当的工具。

为找到这类间歇性信号, 可以使用频率模板触发加宽带捕获, 这个应用中的频率模板是为了避开合法的本地 RF 信号而设计的。图 11 显示了 FM 广播频段的频谱。当有短突发数字调制信号满足了模板触发条件就引起触发(如来自“存储和转发类型”的窃听装置的信号)。这个信号比 FM 信号低 40 – 50 dB, 尽管 RTSA 距数字发射机的距离比距 FM 发射机的距离近得多(前者是 20 英尺, 后者是 15 英里)。

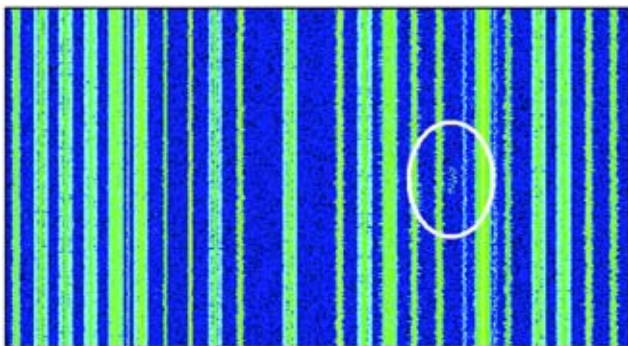
图 12 是上述案例的时频图 (三位频谱图), 显示了 FM 载波之间的数字信号, 同时显示了突发瞬态信号与之的时间关系。查看短突发的瞬态干扰另一种方式是使用 DPX 显示模式。图 13 是与图 11 相同信号的 DPX 显示画面。这里, 我们看到突发瞬态干扰与常发信号用颜色区分开来。相对恒定的广播信号用红色显示, 频次低的突发信号用浅蓝色显示。在突发开始直到衰落时, 活动的 DPX 画面还会动态变化, 具体显示结果取决于 DPX 余辉设置。

### 清频应用

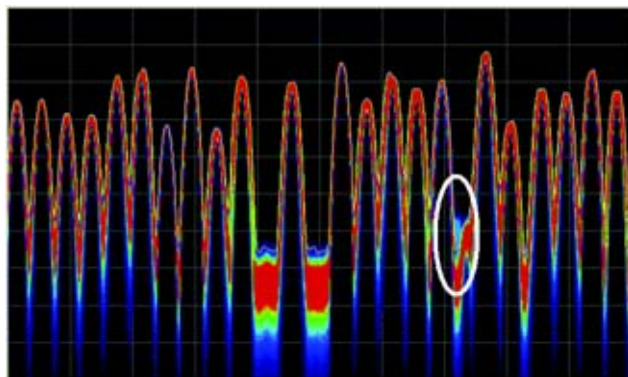
在新技术开发及在大量用户有频谱需求时, 向不同用户分配频率的方法偶尔也会变化。在这些分配方案变化时, 某些用户可能还不知道频率已经重新分配。在另外一些情况下, 重新分配可能会推迟到新用户准备占用某一频率时。法规机构或新用户都可能需搜索和确定老用户位置, 以通知他们需要完成频率转移。这样可能需要在非常宽的频段内进行搜索, 以便在整个频段内确定旧信号位置。由于 RTSA 最新技术实现了 110 MHz 的瞬时捕获带宽, 因此可以连续的检测宽的频段。



■ 图 11. 突发干扰在进入模板区域时, 仪表会开始触发采集相应过程。



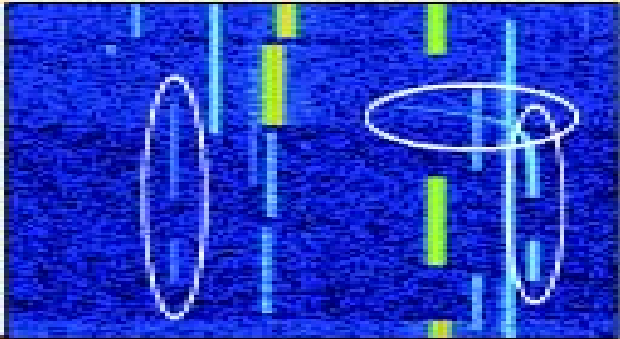
■ 图 12. 时频图显示了突发干扰的时间关系。



■ 图 13. DPX™ 用浅蓝色显示发生频次低的突发干扰。

## 应用案例集—无线电监测

### ■ 应用指南



■ 图14.左面的圆圈显示了合法的发射机信号。右面两个圆圈显示了杂散信号。

### 频率管理的实际应用

RF 频谱正变得越来越拥挤。在许多地区每个人都有一部以上的移动电话。越来越多的电子设备需要相互通信，计算机网络正在以显著速率增长。

相互复用这些频率资源的用户必须共存,而又不能产生严重干扰。在这种 RF 环境中，所有设备必须满足杂散辐射要求，以便为相邻信号提供干净的路径。

### 出租车公司实例

我们举一个杂散干扰实例,在某个大城市的出租车公司使用的 450 和 460 MHz 频段内工作的多个无线电通信信道受到了一系列影响。干扰一次出现几分钟的时间,然后一下子消失几个小时的时间。由于一天中大多数时

间看不到问题投诉数量不多,因此并不是每个人都认识到干扰正影响着整个通信频段。如果想解决这个问题,频率模板触发结合时频图可以找到这个干扰。

从图 14 的时频图可以看出,干扰(左面圆圈中频次较高的信号)存在的时间与其中一个合法的通信信号(显示画面左侧的圆圈)完全一致。由于能够在整个频段中查看这种时间关系,可以确定在这个城市中有一台发射机产生了杂散振荡。另外可以看出,这个振荡从发生开始后迅速改变频率。因此它扫过其它用户使用的多条信道,一个接一个地干扰这些通道。然后,它稳定在与发射机基站的温度相关的一个频率上。这也正是干扰在不同时间变化的原因。

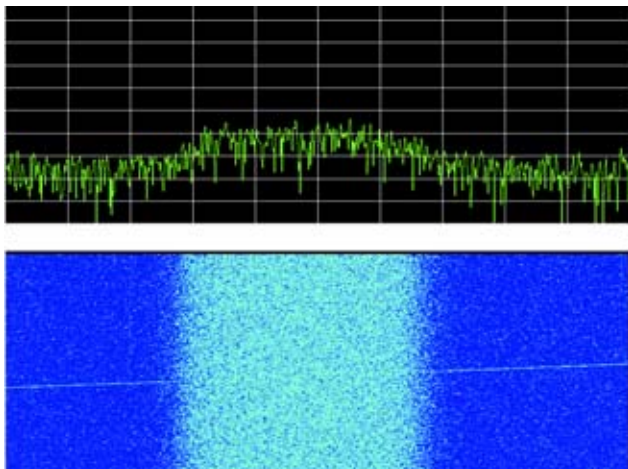
在这种情况下,出租车公司所有的发射机都被不正确地改动了,在换上新设备时问题得到解决。

### 来自日用电子消费品的辐射

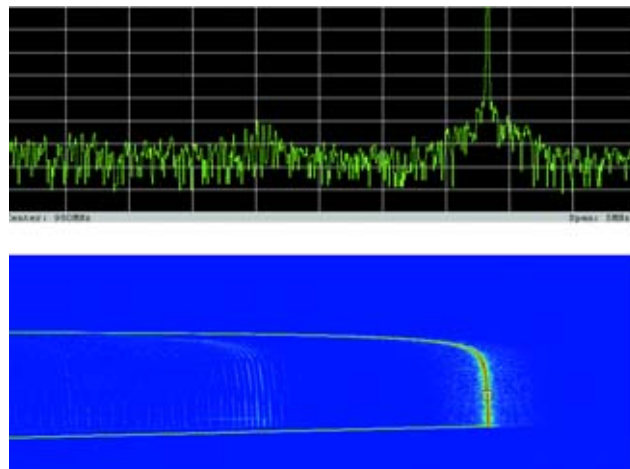
越来越多的采用 RF 技术的各类电子消费品数量正在迅速增长是造成频谱管理特别困难的原因。一个案例是卫星接收序列化视频给 EMS 响应器带来的干扰。干扰发生时视频接收常会随机中断,一次通常会持续几个小时。

卫星视频供应商及接收设备厂商都未能解决这个难题原因是传统测试设备不能找到问题所在。

RTSA 可以触发干扰信号。图 15 是一个传统频谱与时频图的结合显示,上面清楚的显示了数字卫星信号(来自 IF 天馈线)及扫过视频传输信道的干扰信号。在卫星的信号带内,干扰信号一次只出现大约 500 微秒的时间,但这足以导致接收机不能锁定信号。



■ 图 15. 频谱和时频图，显示扫过卫星信号频段的干扰信号。



■ 图 16. 扫频信号在高频点峰值功率时刻的时频图。

步进式的调整 RTSA 中心频率，直到找到扫描信号的末端。图 16 是扫描高频端的时频图。干扰信号总扫描带宽是 260 MHz 并以明显随机的时间间隔重复。有时扫描带宽会有所不同。

在知道信号特点后，我们移动使用 RTSA 寻找干扰源。这在开始时极具挑战性，因为信号似乎一次来自多个方向。但是由于监测工具锁定了一个非常强的信号，因此可以确定干扰源。

干扰来自停车场中汽车内使用的便宜的进口雷达检测器。在市区中有相当多的此类设备，有时它们停在距接收卫星天线或远或近的各种位置。

为解决这个问题，可以把接收天线安置在不同的位置。比如隐藏在大楼后面而不是放在屋顶上原来的位置。

### SDR 检验

软件定义的无线电带来了全新的问题。许多脉冲性质的

突发信号有时被称为“开关瞬变导致的频谱”，因为其发生时间和关闭时间具有突发性并会产生宽带干扰。

SDR 进一步加剧了这个问题，因为无线电可能会在操作过程中在多个不同调制方式之间切换。RF 切换的宽带特点可能会分布到整个通信频段中。RTSA 不仅可以显示频谱，在其变化时还可以显示 RF 的时域图。SDR 的一个特殊分支是认知无线电。这种无线电可以侦听本地 RF 环境，确定某个频谱是否没有使用。它还会遵循本地政府法规，确定是否允许使用频谱。现在针对这种无线电通信有了许多新法规，在主许可开始传输信号时，要求这种无线电通信在非常短的时间内腾出某些通道。

通过 RTSA 独特的频率模板触发功能，在切换到新频率时捕获认知无线电的时域特点，可以测量这一“信号回避”时间。

## 应用案例集—无线电监测

### ■ 应用指南



■ 图 17. 拥挤的 VHF 和蜂窝发射塔，以及拥挤的微波发射装置。

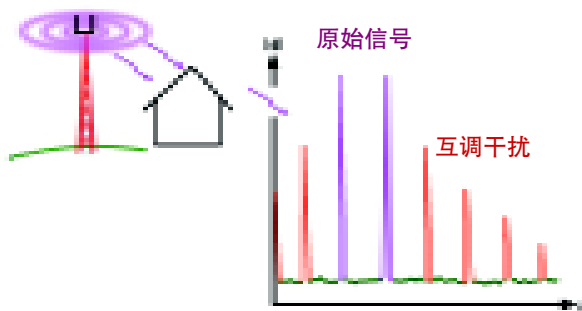
### 雷达系统干扰

许多民用雷达系统(如机场、轮船和天气监测站中使用的系统)也可能产生干扰，特别是相互之间的干扰。RSA6100A系列为测量这些干扰同时提供了所需的频率范围(高达 14 GHz)和窄脉冲检测的功能。

RSA6100A系列提供的脉冲测量套件可以帮助机场维护部门从机场的各类雷达脉冲中找出干扰(地面控制、交通控制、天气监测等等)。但是，如果机场位于轮船停靠的海港附近，那么两种雷达信号间也可能产生相互干扰。

### 拥挤频段的互调干扰

在实际条件下，无线电频谱过度拥挤往往还伴随着发射机安装地点过度拥挤的问题。而一些地方法规还会要求更多的 RF 传输设备共享公共设施，使这个问题进一步恶化。



■ 图 18. 生锈的屋顶引发干扰。

图 17 是这种发展趋势的实例。这些站点中经常遇到的一个技术难题是混合或互调制非常接近的两个或多个信号。一个或多个信号可能会进入无关的发射机天线和非线性放大器，导致生成和重新发出多个不想要的信号。通过在产生干扰的发射机天线连接中增加滤波器和铁素体隔离器，通常可以简便地解决这个问题。

但是更困难的是附近大楼上生锈的屋顶面板、甚至是发射塔本身中生锈的螺钉产生的非线性混频。如图 18 所示，可能有多个信号混合在一起，导致辐射问题。可能需要 RTSA 频谱图和频率模板触发功能，检查几个小时的信号，然后触发和测量混合在一起的各种信号的时间关系。

RSA6100A 系列特别适合这种情况，因为许多同点发射的信号和潜在的各种互调制可能很容易发生在 100 MHz 频谱附近。测量仪器的动态范围本身不能产生自己的互调制，因为这可能会掩盖干扰源辐射。

## 数字采样数据输出

### 为外部处理或记录提供输出

RSA6100A 的信号输出方式有两种：模拟 IF 及 RF 波形的数字化时间样点。

有两种方式访问数据样点：作为采集文件或作为流式直接硬件访问数据。所有这些输出都可以提供 110 MHz 的全带宽。

### RSA6114A I-Q 文件导出模式

以太网、USB 或 CD/DVD 可以导出分析仪中存储的校准后和校正后的数据文件(内部“tiq”格式)。RSA6100A 系列还提供了 ASCII 格式, 允许使用通用软件处理采集的信号。文件记录长度只受到提供的 RTSA 存储器限制。表 1 表明了 RSA6100A 系列的时间分辨率和总可用记录存储时间。

### 高速数字 I/Q 输出

如果相关的信号调制是连续的、超出了存储容量, 那么该怎么办呢? 文件导出受到内部采集存储器的容量限制, 而泰克 RSA6100 系列(与前一代产品一样)则拥有一条高速低压差分信令(LVDS)连接可以访问模数转换器的输出。它为每个样点提供了两个值: 同相值和正交值。

RTSA 输入 RF 和 IF 段转换选中的信号, 把它传送到模数转换器上。数字流输出为外部解调或其它处理提供数字化时域波形。

### 实时校正的数据

RSA6114A 所有的数字 I/Q 输出方法(文件导出或流式数据)都拥有一种杰出功能, 即一直校正采样数据的幅度变化和相位变化。

在信号通过 RF 转换阶段时, 映像滤波器和其它组件在采集的带宽中增加了一定数量的幅度和相位变化。RSA6100A 在实时处理模数转换样点中包括校准后的校正功能。与模拟 IF 输出不同, 它一直针对这些变化校正数字 I/Q 数据。外部数字处理器能够由此解调或处理和生成异常准确的数据表示进入的信号。

跨度	时间分辨率	最大记录长度
110 MHz	6.7 ns	1.7 秒
40 MHz	20 ns	5.12 秒
5 MHz	160 ns	41 秒
1 MHz	640 ns	8.19 秒
100 MHz	5.12 ms	10.9 分钟
20 kHz	20.48 ms	43.7 分钟

■ 表 1. 为各种捕获带宽提供的时间分辨率和捕获长度。跨度决定着捕获带宽。

## 应用案例集—无线电监测

### ■ 应用指南

#### 模拟 IF 输出测量

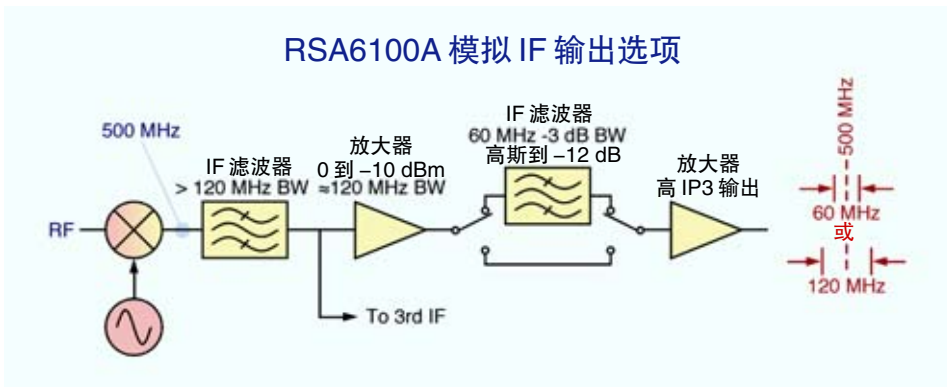
某些监测应用可能会有 RSA6100A 中没有提供的信号测量或解调功能。外接的第三方接收机可以提供解调或专有的信号处理功能。

在这些情况下，RSA6100A 提供一个 IF 输出端口其中中心频率为 500 MHz，用于与示波器和其它设备联合一起工作，如外部解调器。IF 输出使得 RSA6100A 能够作为性能优越的下变频调谐器使用。

RSA6100A 提供了高达 14 GHz 的调谐范围、120 MHz 的 IF 带宽、可以选择的滤波器和集成式缓冲放大器，大大简化了对其它分析设备的需求。IF 输出包含一条放大器电路，把输出电平调节到大约 0 dBm (0.224 V)，在 RTSA 的第一个混频器上实现 -25 dBm 的信号电平。它不需要外部信号调节放大器，降低了设置时间、复杂性和费用。高输出电平为示波器提供了强大的信号，可以防止由于 IF 电平低而损害动态范围。

如图 19 所示，即使在实时分析仪上进行其它测量时，RSA6100A 的 IF 输出仍处在活动状态。在使用实时分析仪同时进行频谱测量时，可以同时完成外部 IF 处理或解调。这消除了某些传统扫频分析仪在使用 IF 输出时把仪器置于零跨度的要求。

比如在无线电监测应用中，这功能允许用户在频谱测试或 DPX 测试的同时使用 IF 输出解调其中一个信号。



■ 图 19. RSA6100A 上提供的 500 MHz IF 输出可以在内部滤波到 60 MHz，也可以保留在大约 120 MHz 带宽。

必需指出的是，使用外部示波器或其它设备进行模拟 IF 输出测量，其结果可能不同于 RSA6100A 内部进行的自动测量。这是因为 RTSA 测量程序所测量的所有数字样点都校正了幅度和相位，而模拟 IF 输出则可能包含幅度变化和相位误差，示波器或其它分析设备的分析结果可能包含这些幅度变化和相位误差。

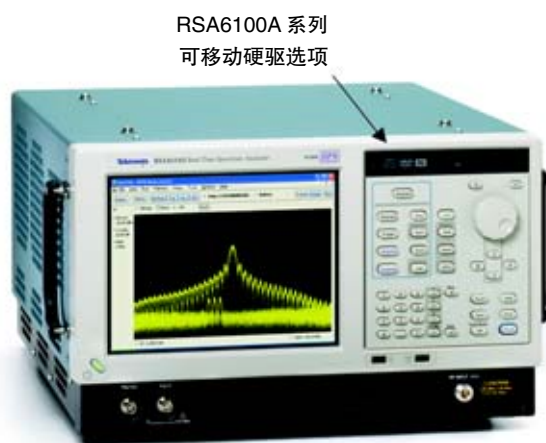
#### 解决私密性问题

##### 更换硬驱

频谱监测工作可能会产生私密性问题。在开发环境中，测试设备通常在各个项目之间共享，不同的项目可能都希望保留自己的数据。

RTSA 是为在各种项目领域中简单地进行混合操作而设计的。RSA6100A 系列选配的前面板功能可以接入内置硬驱，迅速拆除硬驱。用户可以拆下硬驱，插入另一块硬驱，迅速移出所有项目数据。然后可以插入第二块硬驱，使仪器在完全无关的项目环境中工作。





■ 图 20. 可移动硬驱选项在 RSA6100A 系列中的位置。

## 小结

近年来，随着无线通信设备和通信信号迅猛增长，监测和频谱管理应用面临的挑战也在不断提高。

实时频谱分析仪独特的 DPX<sup>®</sup> 和频率模板触发技术，可以以前所未有的方式查看瞬时信号，准确地触发和捕获瞬时及同频干扰事件。另外，可移动硬驱和全带宽连续 I-Q 数据输出和导出功能，为可靠地收集频谱及生成信息提供了关键保证。

RSA6114A 极宽的带宽和高动态范围为许多监测应用提供了基本前提条件。

## 附录 1: RTSA 比较

下表概括了 RSA3408A 和 RSA6100A 系列之间的区别，可以协助您为应用选择所需的性能。

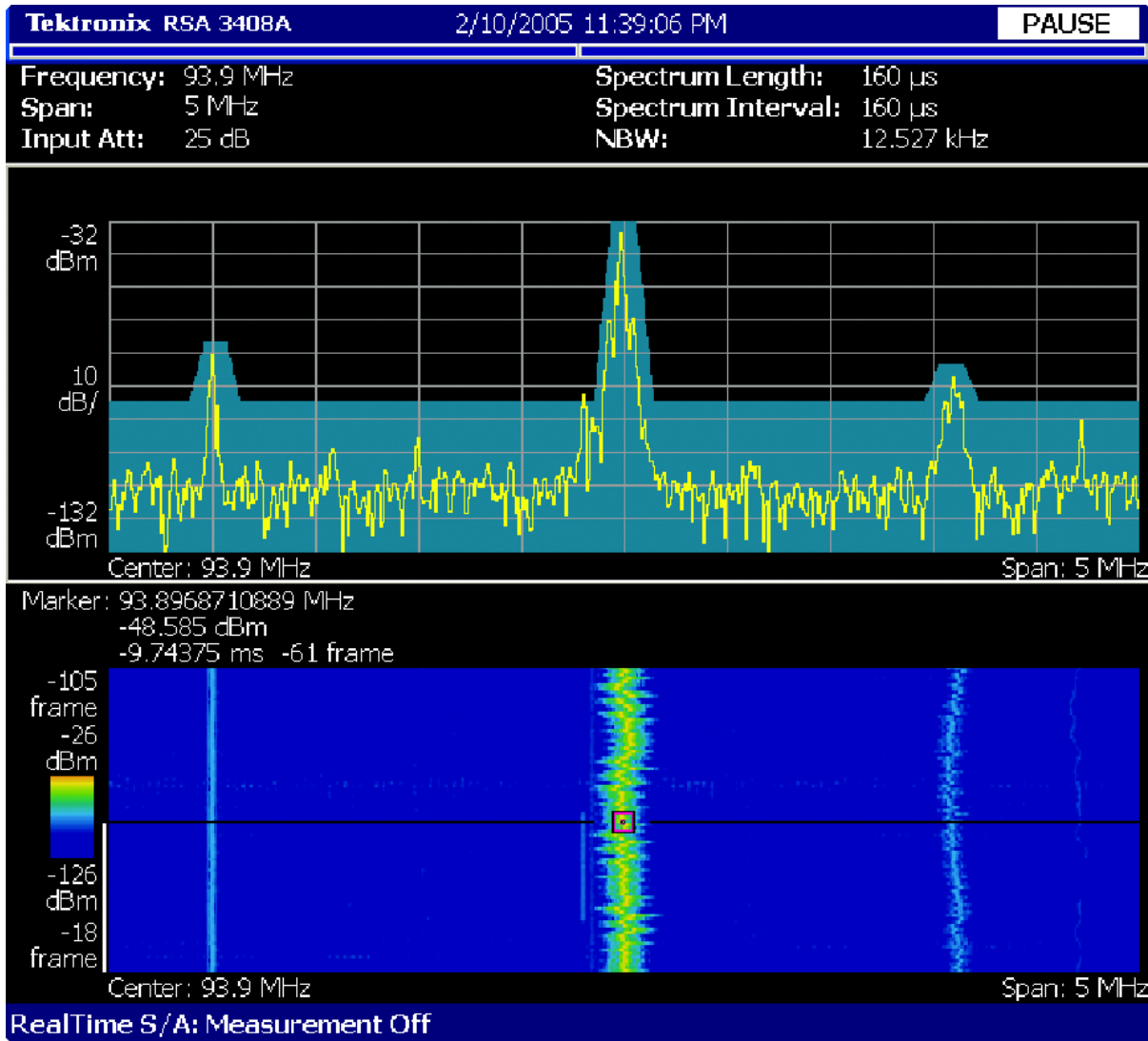
指标	型号	
	RSA3408A	RSA6106A/6114A
频率范围	DC–8 GHz	9 kHz–6.2 / 14 GHz
捕获带宽	36 MHz	40 MHz / 110 MHz
捕获存储器	64 MB / 256 MB	256 MB / 1 GB
最大输入(CW)	+30 dBm (1W)	+30 dBm (1W)
最大输入(DC)	± 0.2 VDC	± 40 VDC
数字 I & Q 输出	16 位 @ 每个 50 MSamples/sec.	16 位 @ 每个 150 MSamples/sec
模拟 IF 输出	标配	选配
IF 输出频率	421 MHz	500 MHz
IF 模拟带宽	36 MHz	120 / 60 MHz
IF 滤波形状	方顶	方顶 / 高斯
系统上升时间	25 ns	25 ns / 10 ns
最小 DPX <sup>™</sup> 事件时长	(没有提供 DPX <sup>™</sup> )	24 μs

■ 表 2. 泰克实时频谱分析仪提供了各种性能功能，可以满足最苛刻的监测系统和最紧张的预算需求。

## 应用案例集—无线电监测

### ■ 应用指南

# 信号监测、监控和实时频谱分析



## 引言

RF 信号监测和监控应用拥有特殊的设备要求，其通常要超出典型无线接收机或频谱分析仪的处理能力。实时频谱分析仪 (RTSA) 为信号监测和监控提供了许多杰出的功能。在本应用指南中，我们将考察拦截和分析信号的基本挑战。我们先介绍公开的一致性监测，然后介绍拦截低概率检测转换信号及触发、捕获和分析信号智能 (SIGINT) 使用的 RTSA 技术。

近年来，无线设备和 RF 通信的迅猛增长，给常规和智能的工业界带来了重大的挑战。在本应用指南中，我们将考察怎样使用 RTSA 技术，从当前极具挑战性的频谱环境中采集关键决策信息。为查看 RTSA 怎样有效地捕获所需的信息，我们先概括介绍这一技术，然后简要考察其在信号监测中的应用。

然后,我们将考察信号监测的技术挑战和主要的仪器性能指标,其中包括RTSA实时频率模板触发技术对难检信号的独特价值。

最后,我们还介绍了使用多域解调测量及安全环境中使用的部分特定功能,从捕获的波形中挖掘智能。

### 监测广播信号

为阐述RTSA的用途,我们将考察其在监测广播信号是否满足法规标准中的应用。

#### 法规标准

无线频谱是一种共享资源,它拥有广泛的法规要求,以避免用户之间出现不想要的干扰。法规实施机构会定期监测频谱辐射,以保证传输设备满足法规标准。

一致性监测通常被视为单纯的政府行为。实际上,许多商业企业都在连续监测信号。由于无线设备、全球新闻覆盖率和频段拍卖活动的迅猛增长,商业信号监测应用已经大幅度增长。

确定干扰中的问题首先要监测发送的频谱辐射。对蜂窝频段所有者来说,无意中的干扰辐射代价可能会非常高。同样,商业广播机构如果相邻频道电台控制差,那么会失去大量的市场听众。卫星所有者/运营商要求监测其轨道资产。类似的,电传和终端地面站不仅需要监测信号的干扰问题,还需要监测资产使用情况及实现计费。

### 频谱测量

频谱法规机构通常会规定多个常用的频谱指标来防止干扰,可以监测这些主要指标,确定不会受到法规机构的强制措施或处罚。

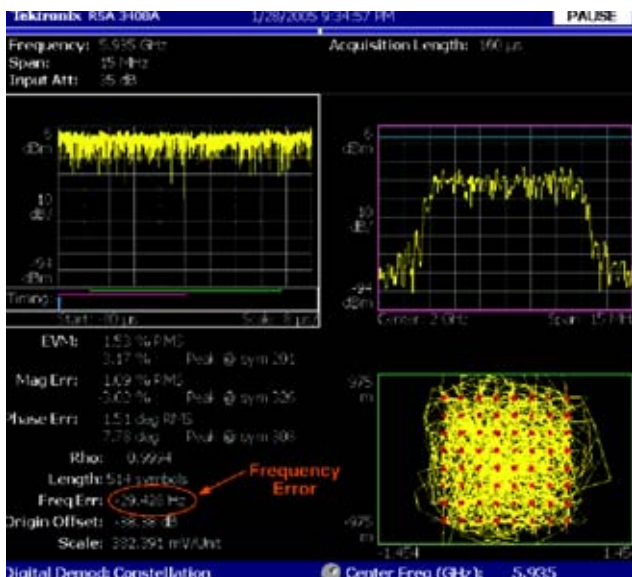
载频测量保证了信号广播机构处在相应许可的频道上。为受到抑制的现代载波调制确定确切的载频可能会非常困难。与许多扫频分析仪不同,RTSA可以从实际信号中提取频率误差。其实现方式是:首先把分析仪的中心频率设置成授权的通道频率;然后输入调制参数、符号速率、滤波类型和形状;RTSA自动锁定信号,在误差矢量幅度(EVM)测量模式上显示通道频率误差。仪器在解调数字信号时的锁频范围取决于信号参数,但其范围可以位于15 kHz到仪器的整个频率跨度内。

一旦法规机构监测人员发现信号处于正确的频率上,下一步可能是检验其宽度是否正确。占用带宽(OBW)是总发送功率的百分比,辐射带宽(EBW)是以dB为单位的衰减电平,这两个指标有助于确定信号是否位于相应的分配带宽范围内。RTSA只需按一个键就可以测量这些信号特点。用户还可以改变默认测量参数,如带宽百分比或衰减电平,满足特定的调制要求。

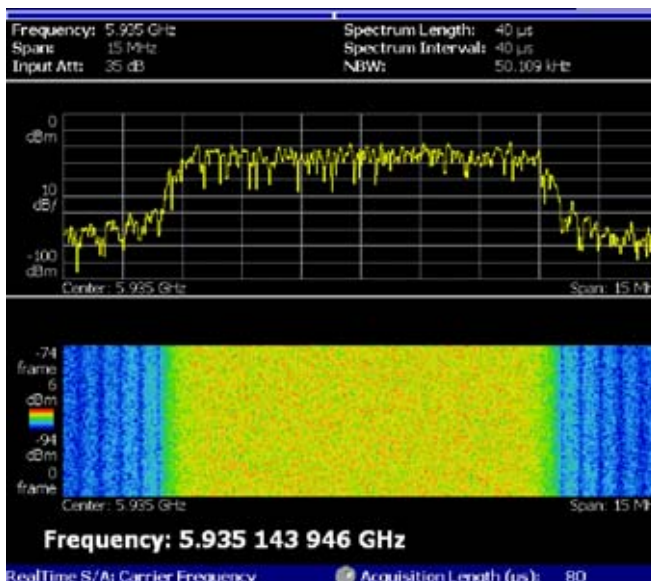
频谱管理要求测量每条通道中存在的信号电平。RTSA带有一个RMS电压检波器,有助于确定法规机构用来判断信号传输是否满足法规要求的通道功率统计数据。许多频谱分析仪中使用的常用包络峰值检波器要求一系列校正因数,从峰值电压测量中估算RMS信号功率。RTSA的RMS检波器可以在没有峰值及RMS校正因数的情况下测量信号功率。这有助于法规机构进行监测,确定每条通道中发现的最大功率和平均功率。

## 应用案例集—无线电监测

### ■ 应用指南



■ 图3. 在EVM显示画面中测得的6 GHz, 64 QAM 信号的信号频率误差, 揭示了-29.4 Hz 的误差。



■ 图4. -40 dB 辐射带宽EBW 测量显示, 信号落在10 MHz 法规要求范围内。

进行频谱测量、保证满足法规标准通常要求使用远程操作的监测设备。在现场进行远程操作或自动操作, 可以把仪器放在信号强度最优的位置。这改善了采集的数据质量, 而没有在现场派驻人员的费用或危险。

RTSA 的分析软件基于 Windows, 设备兼容 LAN 和 IEEE-488。基于 Windows 的软件可以通过局域网连接, 使用流行软件包远程查看显示画面。使用 TekVisa 通过标准 IEEE-488 总线或以太网连接增加系统控制器, 则可以把 RTSA 配置成在现场自动远程采集信号监测或智能数据。

### 信号监控的挑战

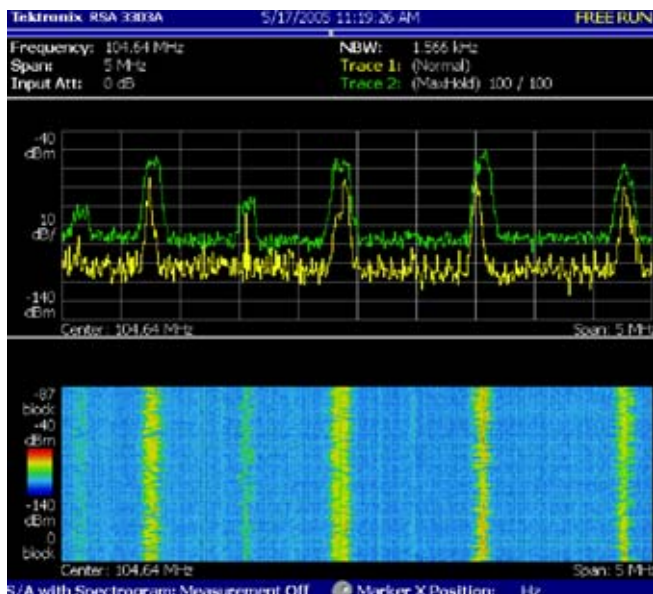
本应用指南中使用的信号监控和信号监测的意思不同。信号监测是指检查信号, 主要目的是预防干扰, 保持质量, 或对发射机运营商采取强制措施。信号监控则用于收集信息, 调查情况。在本应用指南中, 监控一词主要用于智能采集。监控经常会私下进行, 因此被监控目标并不知道这一行为, 而监测则具有公开的特点。

信号监控操作对分析设备提出了额外的要求。让我们考察一下信号监控中众所周知的部分问题。

### 次优接收

RF 信号监控的隐蔽特点通常要求把拦截信号分析仪放在相对于预计接收机次优的信号接收路径中。拦截接收机的位置通常会远离感兴趣的信号发射器。把拦截接收机放在友好的地域、中立的机场或国际水域, 可以消除放置及从位于敌对地域内部的设备中检索数据涉及的诸多挑战。

遗憾的是, 许多监测任务具有 RF 路径长的特点, 再加上隐蔽天线的限制, 通常会导致接收信号电平很低。无关的商用广播带来的强大干扰会使监控设备过载, 使情况进一步复杂化。另外, 目前在现场遇到的调制范围近年来已经提高。现代监控设备需要灵活地拦截各种调制, 包括无线标准, 以使部署相关风险和相关成本的智能回报达到最大。



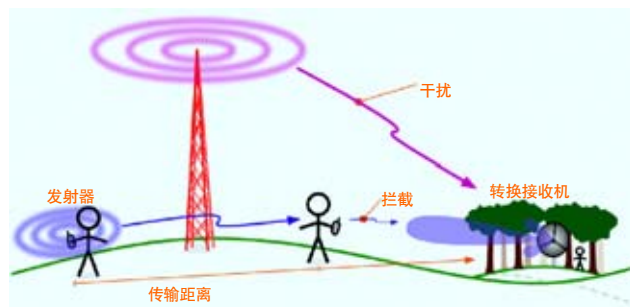
■ 图 5. Max-hold 和 RMS 检测为法规官员确定最大和平均功率通道统计数据提供了方便的 RTSA 功能。

为克服次优条件和复杂的信号环境,监控设备必需具有多个重要的设计属性。

### 动态范围的价值

监控设备的一个重要属性是拥有充足的动态范围和选择度,避免位于想要的频率附近的干扰源阻碍信号传输。

强大的干扰源可能会使模数转换器(ADC)饱和,阻塞接收想要的较弱的信号。强大的干扰源还会在分析仪中产生互调产物,阻碍成功地解调想要的信号。不想要的互调产物一般还会用没有意义的信号扰乱频谱,放慢频谱调查过程。



■ 图6. 间接接收路径通常会使得转换拦截出现明显的信号劣势。

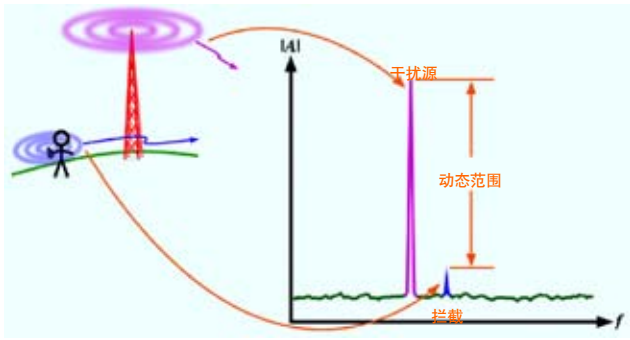
拥有充足的动态范围可以在存在强大的信号时使信号分析仪隔开较弱的信号。RTSA 拥有 78 dB 的无互调动态范围,使得分析仪能够处理各种监控应用。RTSA -151 dBm/Hz 的典型 DANL 则有助于保证检测到小信号。

### 低相噪接收机

分析仪相噪也是许多信号拦截应用中的一个重要属性。即使拥有杰出的动态范围,但如果分析仪的本地频率振荡器(LO)相噪没有足够低,那么不可能接收某些信号。分析仪接收机中的 LO 可能会展宽相邻的信号,掩盖想要的较弱信号。一旦掩盖,解调器就不再能够把两个信号分开,较弱的信号会丢失。

## 应用案例集—无线电监测

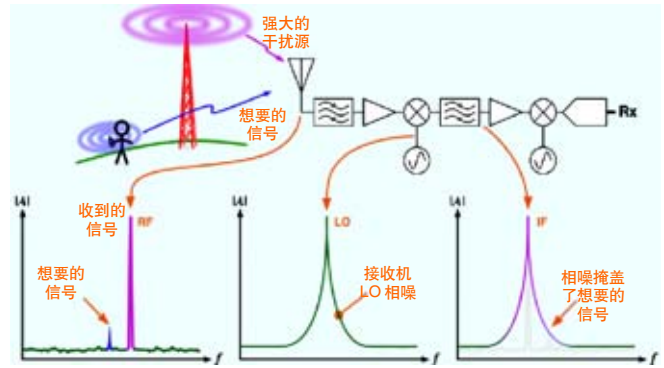
### ■ 应用指南



■ 图 7. 强大的干扰源可以封锁接收，使模数转换器过载，或在没有足够动态范围的分析仪中产生互调产物

大多数高功率发射机使用简单的固定频率的本地振荡器 (LO) 信号源生成信号。相反，信号分析仪需要高度可调谐的频率信号源。分析仪信号源的调谐速度和频率范围会对其相噪性能带来负面影响。与固定调谐的高功率发射机相比，必须调谐广泛的频率范围的分析仪通常拥有较差的相噪。这使得简单的固定调谐发射器能够相互通信，而许多分析仪不能拦截其传输。

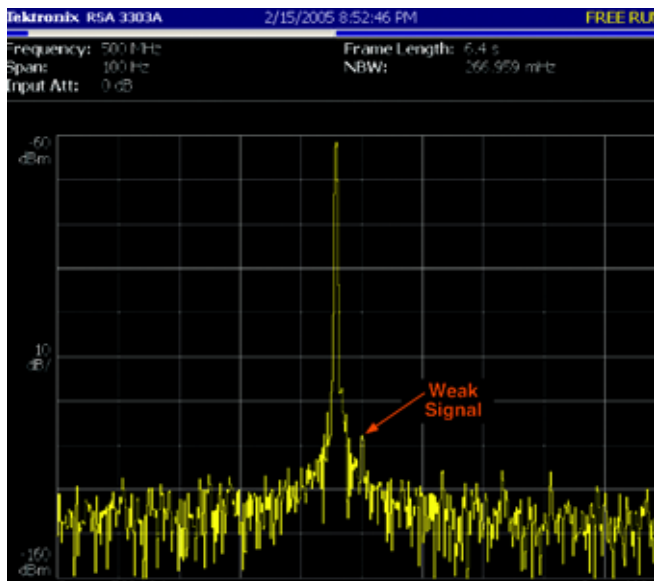
但是，RTSA 拥有  $-108 \text{ dBc/Hz} @ 20 \text{ kHz}$  的杰出相噪性能，可以把幅度差异巨大、相互距离近的各种信号分开，而其它分析仪则不能实现这一点。



■ 图 8. 分析仪相噪差会阻碍拦截号传输。

### 低信号电平

对信号电平位于热本底噪声附近的应用，RTSA 还可以配备外部前置放大器。前置放大器直接从仪器前面板供电，大大改善了较弱的信号性能。通过前置放大器， $2 \text{ GHz}$  时  $-164 \text{ dBm/Hz}$  的 DANL 可以迅速升级 RTSA，完成拦截较弱信号的工作。



■ 图 9. RTSA 的相噪和动态范围性能足以从困难的环境中恢复较弱的信号。分析仪相噪不会掩盖强大的干扰源以下 70 dBc 附近跨度中心及相距仅 4 Hz 的较弱信号。

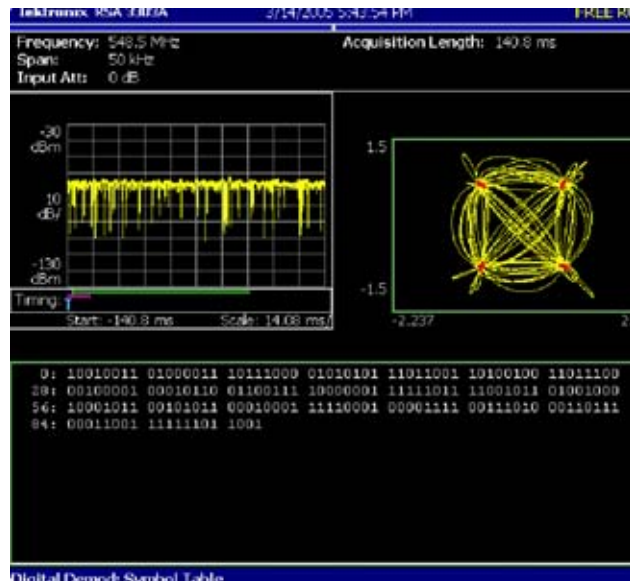
良好的动态范围、相噪性能和噪声系数是解决次优传输路径劣势的重要的分析仪前提条件。这些属性使得 RTSA 在困难的条件下能够有效拦截正常的信号传输。

但是，某些信号设计成很难拦截和解调。RTSA 在可靠地拦截这些传输方面，较其它分析仪提供了某些独特的优势。

### 监控 LPD 信号

防止信号拦截的主要方法有两种：生成无线频谱中很难找到或很难检测的信号；一旦找到，生成很难解调/解码的信号。在无线频谱中很难检测的信号具有低检测概率 (LPD)。信息拦截困难的信号(要么由于很难发现、要么由于很难解调/解码)具有低拦截概率(LPI)。

避免信号检测和拦截的一种常用方法是使用扩频技术把信号隐藏在本底噪声中。



■ 图 10. 动态范围和低接收机相噪的优秀组合，使得 RTSA 能够捕获强大的发射器附近困难的拦截。可以识别、捕获和解调 UHF 电视发射机附近的隐蔽的 QPSK 传输。在这种情况下，已经成功地检测并解调小于 -60 dBm 的隐蔽信号。

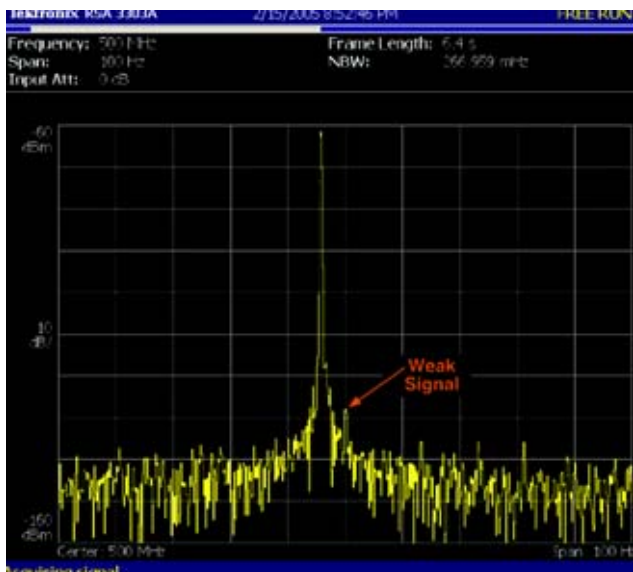
为发现隐藏在表现平坦的本底噪声内部的信号，可以使用轨迹平均技术，揭示下面隐藏的扩频信号的形状。防止信号检测的另一种方法是在短突发中发送信号。这种降低检测概率的方法一般利用大多数分析仪不能连续分析信号输入的原理，使信号躲过拦截分析仪。

### 信号突发

信号突发或间歇性信号可能会很难检测。在非常短的传输之间可能会有非常长的时间周期。在传统扫频分析仪的频率取样之间，很容易会漏检间歇性信号。类似的，矢量信号分析仪上信号捕获之间有一段周期不进行分析，也可能会漏检间歇性信号。这迫使许多分析仪最大限度地降低扫描时间及减少捕获之间的时间，来改善检测概率。通常的作法是降低扫描时间，从而提高一定突发长度时发现信号发射器的概率。某些信号分析仪热销的原因实际上是其快速扫描时间功能，这改善了信号检测的概率。

## 应用案例集—无线电监测

### ■ 应用指南



■ 图 11. 可选的 RTSA 前置放大器降低了分析仪本底噪声，增加了 20 dB 的增益，改善了接收性能。前置放大器直接从 RTSA 中供电。

RTSA 为可靠地捕获 LPD 信号提供了一种独特的解决方案。其实时捕获前分析功能可以把检测概率提高到 100%。

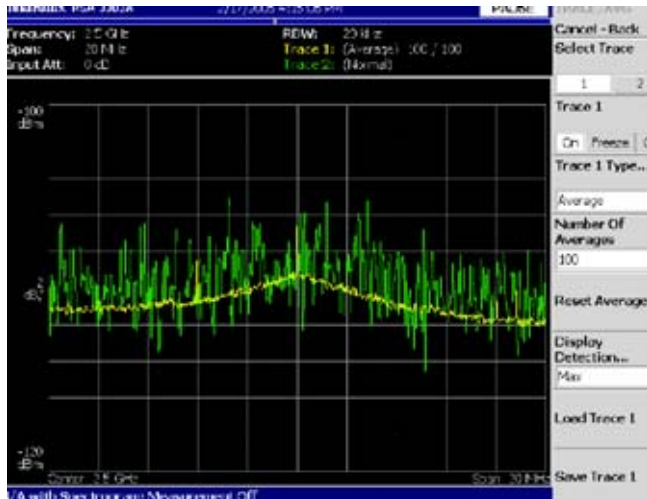
读者可能会问，是什么东西使 RTSA 变得如此独特，使其能够可靠地捕获事件，而其它分析仪却做不到这一点呢？

RTSA 的独特功能来自其实时快速傅立叶变换(FFT)和频率模板触发(FMT)。为了解 RTSA 怎样预先分析和触发捕获关键事件，我们需要更仔细地考察 FFT 流程。

#### FFT 流程

分析仪先对输入信号抽取时间样点，其速率至少是感兴趣的频率的两倍(Nyquist 速率)或更高，以避免假信号效应。时间样点分成数据帧。每个帧包括 FFT 流程必需的确切的整数数据集。

在帧的每一端截断的数据样点可以包含突然的不连续点，在从时域变换到频域中导致扩频。为最大限度地降



■ 图 12. 通过使用轨迹平均技术，可以从本底噪声中分辨出扩展的频谱信号。上图中打开了两条轨迹，一条进行平均，一条没有平均。平均的轨迹清楚地显示了噪声中潜伏的某些东西。

低这一不连续的影响，可以使用窗口功能，定标时间取样的数据的幅度。RTSA 提供了各种流行的窗口功能，如 Hanning、Hamming、Blackman、Blackman/Harris、Parzen、Welch 等等。

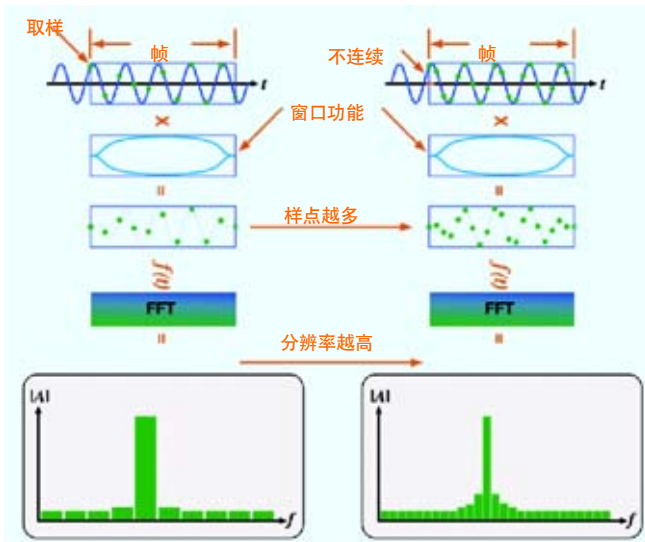
在窗口功能定标帧的数据后，将计算快速傅立叶变换，把数据从幅度与时间转换成幅度与频率。FFT 要求执行各种数据计算，以确定每个频率段或“桶”的幅度。

每个帧中样点数越多，变换完成后的频率分辨率越好。遗憾的是，这也意味着所需的数据计算量也越大，以变换帧。FFT 流程的密集计算要求是众所周知的。

#### 独特的实时处理和常用的后期处理

把时间取样帧变换到频域中所需的计算时间根据变换的点数及计算执行的速度而不同。如果可以执行必要 FFT 计算的时间周期比每个帧进行时间取样所需的时间短，那么 FFT 是“实时” FFT。如果 FFT 所需的时间比一个帧的时间取样所需的时间长，那么它就不是实时 FFT。



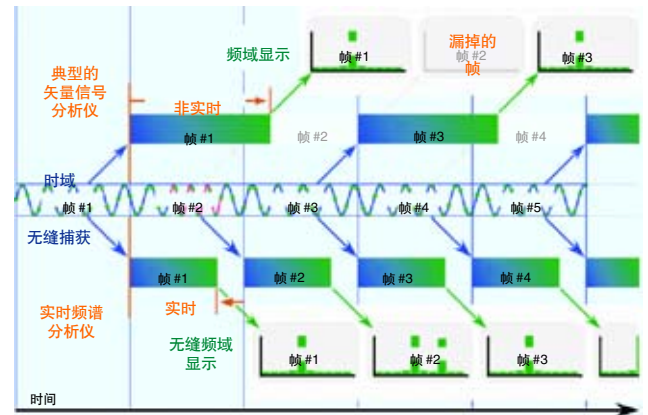


■ 图13. 取样和FFT流程显示时域取样越多, 频域分辨率越高, 而完成每个FFT帧所需的数字信号处理时间也就越长。

以高速率取样宽带信号所需的数字信号处理速度要求非常高。例如, 为在下一个数据帧准备就绪前在  $12\mu\text{s}$  内执行 1024 点的 FFT, 其要求相当高的 DSP 处理能力。

为避开这种密集的 DSP 计算要求, 几乎所有矢量信号分析仪都对 FFT 进行成批后期处理。这意味着它们捕获整个时间取样的数据记录, 然后对每个帧的 FFT 进行成批后期处理, 创建频域显示。这种常用的后期处理技术不需要非常高速的 DSP 硬件, 允许使用低价通用计算机。遗憾的是, 在成批后期处理中, 只有在捕获了整个数据记录后, 才会提供频谱信息。这使得矢量信号分析仪不能在捕获数据记录前预览信号频谱。

相反, 具有实时 FFT 功能的 RTSA 可以连续预览信号频谱, 直到检测到感兴趣的事件, 然后捕获数据。RTSA 能够对输入信号进行实时 FFT 处理, 对捕获的时间取样记录进行成批后期处理。这为 RTSA 提供了与实时 FFT 有关独特



■ 图14. RTSA 具有独特的触发功能, 因为它拥有实时 DSP 硬件 FFT, 可以在下一个帧时间取样完成前把每个帧转换到频域中。这使得 RTSA 可以在捕获时间取样的数据记录前, 连续分析进入信号的频率成分。

的频谱预览功能及后期处理深入分析功能。

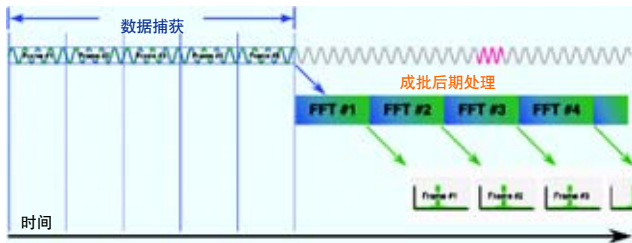
监控领域特别关注实时频谱分析仪独特的 DSP 功能提供的优势。能够把时域波形样点实时转换到频域中实现了许多独有的功能, 如泰克频率模板触发器(FMT)专利技术。FMT 为可靠地捕获难检 LPD 信号突发提供了理想的解决方案。

### 频率模板触发器

为什么 FMT 特别适合捕获 LPD 信号呢? LPD 信号经常会隐藏在强大的信号中, 检测起来比较困难。为了降低进一步检测到这些信号的概率, 可以使用低功率的短传输突发。大多数矢量信号分析仪上使用的传统 IF 功率电平检波器不能用来触发捕获这些 LPD 突发。IF 电平检波器只测量最强大的相邻信号, 而不能检测感兴趣的功率较低的信号。

## 应用案例集—无线电监测

### ■ 应用指南



■ 图 15. 矢量信号分析仪捕获整个时域数据记录，然后使用 FFT 对数据进行大批量后期处理，将其转换到频域中。遗憾的是，在捕获时间记录前，对时间取样的数据进行后期处理不允许预览信号的瞬变频谱。

FMT可以分析传输突发的输入信号，触发信号事件的数据捕获记录。FMT是一种用户可以定义的、可以选择频率的触发模板。由于FMT基于实时FFT，如果任何信号从噪声频谱中弹出，其可以实现100%捕获触发数据的概率。实时FFT没有扫频分析仪或矢量信号分析仪的消隐或分析空白问题。

许多LPD传输突发间歇发生，突发之间的周期非常长，可能会有几个小时或几天的时间。使用FMT在触发前实时分析频谱不再需要把非常长的信号记录捕获到存储器中。这大大降低了分析仪的存储要求或对外部数据存储系统的要求。FMT也不需要搜索数据，找到感兴趣的事件。由于信号捕获从频谱事件触发开始，因此没有必要在后期处理后搜索很长的捕获，来定位感兴趣的事件。这也最大限度地降低了生成有意义的数据拦截所需的存储器数量。



■ 图 16. TIF 电平保持不变，FMT 则捕获低功率间歇发射机频谱图。恒定 IF 电平意味着不能使用传统 IF 功率电平触发。

为捕获这种重要的信号拦截，RTSA 用户开始调查频段。这可以使用频谱图在频谱分析仪(SA)模式下完成。SA 模式仿真传统扫频分析仪，允许启动和停止远远宽于 RSA3408A 36 MHz 实时带宽的频率。分析人员可以使用这些宽带信息，查找感兴趣的发射器。

一旦确定了感兴趣的频谱区域，分析人员可能想设置 FMT，捕获弹出的 LPI 突发信号。

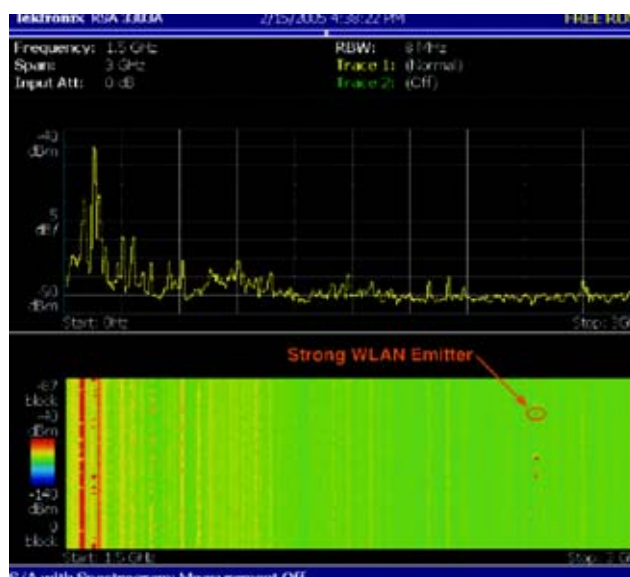
FMT 从触发菜单中进行设置。RTSA 提供了典型的触发选项：外部，功率(IF 电平)触发；单一捕获或连续捕获；和 FMT。



■ 图 17. 当存在多个强大的 FM 广播无线电台时, FMT 触发捕获隐藏的低电平传输。这个 LPD 突发的功率几乎要低 100,000 倍或比强大的 FM 信号低 50 dBc, 且仅长 5 ms, RTSA 触发和捕获了这个 LPD 突发, 并进行分析。

通过双击鼠标增点多个点, 然后画到相应的位置, 可以简便地创建复杂的频率模板。用户可以选择多个点, 可以把模板定义成 -60 dB 的全屏信号电平。也可以为每个点直接输入 X (Hz) 和 Y (dBm) 值, 创建频率模板。直接输入值特别适合需要法规模板的信号监测应用。用户应该知道, 由于 FFT 根据每个 FFT 帧中包括的样点数创建频率“二元组”或桶, 因此频率模板点会发生部分量化。在实时模式下, 跨度中的 FFT 点数固定在 1024。

在连续捕获模式下, RTSA 允许用户在调节模板时查看频谱捕获。这有助于在本底噪声之上充分设置模板, 避免假触发。模板底部提升得足够高, 以防止噪声触发仪器。通过使用 Trigger 菜单下的 Stop and Show Results 键, 可以启动测试触发器, 检验模板中是否正确包含频谱。然后仪器会准备捕获间歇的信号突发。



■ 图 18. 具有频谱图模式的 SA 仿真扫频分析仪。信号分析软件可以一次调查多个频段, 找到感兴趣的信号, 如 2.4 GHz 的强大的 WLAN 发射器。频谱图捕获传统频谱分析仪显示屏可能会检测不到的信号。

在 IEEE-488 总线或以太网控制下, 可以保存每个触发的捕获, 以进行后续分析。

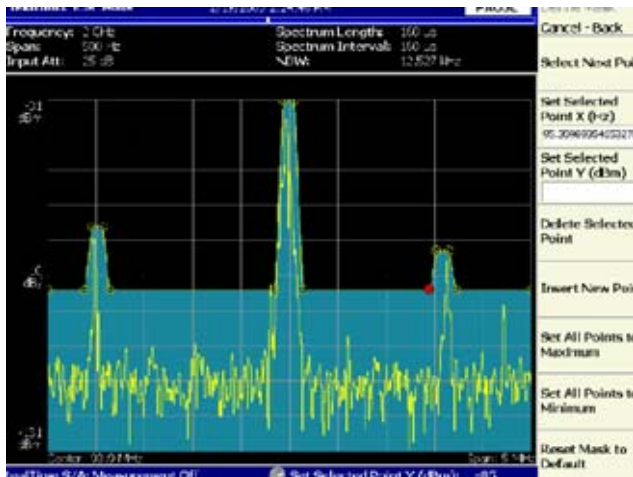
### 信号识别和智能

一旦检测和捕获了感兴趣的信号, 下一步是分析信号, 提取有用信息。通常情况下, 信号监控会努力回答三个基本问题: 是谁或是什么? 它们在哪儿? 它们在做什么或将要做什么? 可以通过多种方式从发送的 RF 信号中挖掘信息, 回答部分问题。

RTSA 的多域分析功能和信号测量可以为分析人员提供丰富的信息。

## 应用案例集—无线电监测

### ■ 应用指南



■ 图19. 可以使用USB鼠标或小键盘, 简便地完成频率模板触感器设置。

### 提取关键信息

在从接收的信号中提取有用信息中,通常第一步并不是解调信号,而是确定信号来自哪里。测量某些基本信号参数可以帮助迅速确定可能的来源,回答“是谁或是什么?”的问题。

信号的频段通常会缩小可能性。例如,由于传播特点及相对于信号波形常用标靶的物理尺寸,海上雷达在3.0 GHz左右的频率上工作得非常好。地面车辆可能会首选30 – 50 MHz通信无线电的较低频率,改善非视线通信。OBW或EBW也有助于确定可能的来源。不同的带宽可以表明无线电应用的特点。窄带信号是语音信息的可能性较高,宽带信号是视频或复用信号信息的可能性较高。RTSA通过快速菜单选择,自动提供信号带宽信息。

RTSA还具有重叠FFT功能,特别适合窄频谱跨度。

互补累积分布函数(CCDF)等测量可以提供“是什么”的其它信息。某些发射机在“C”类模式下操作,带有饱和和的功放器,而某些发射机在“A”类模式下线性操作。测量CCDF曲线有助于确定有哪些类型的发射机。甚至可以使用CCDF签名,区分同一类型、型号完全相同的多部发射机。PA饱和特点在某些发射机之间可能会差别很大,足以在CCDF图上看到这些特点。可以使用CCDF图,确定电平非常低的发射器特定识别问题。

通过使用这些简单的测量,可以在RF发射机上实现大量的智能。RTSA显示屏还在屏幕上突出显示当前日期和时间。这可以帮助分析人员确定信号的重要程度。分析人员可以确定显示屏上触发的捕获是9:00 PM通勤族正常驶出,还是传闻的走私人员在9:10 PM驶出?

通过方便的单键测量功能,可以使用简单的信号测量快速简便地识别发射器。它们有助于迅速划分有哪些东西。分析人员可以忽略不重要的东西,把重点放在重要的东西上。此外,没有解调的测量不会象解调测量那样激起广泛的侵犯个人隐私的问题。

RTSA显示屏拥有一整套标尺和双轨迹功能,可以进行比较测量。这些显示功能有助于估算发射器范围,把信号轨迹与以前捕获的数据进行比较。Max. Hold、Min. Hold和Averaging等显示配置也具有重要意义。



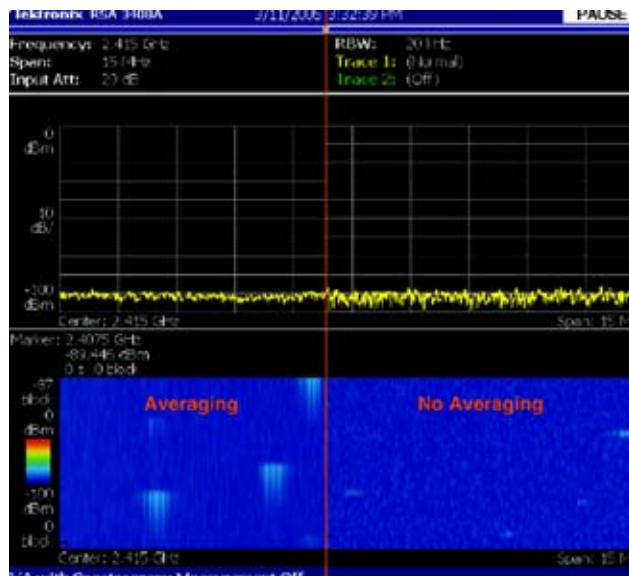
■ 图20. CCDF签名有助于确定哪种发射机及可能哪个序列号的设备生成了信号。

能够迅速处理显示画面、频率和跨度对许多监控操作非常重要。中心频率标尺、节约时间的命令等功能必需一直放在菜单顶级，或放在专用键上，以最有效地利用通常有限的信号观察机会。RTSA采用业内最佳作法，可以简单、快速、直观地从前面板中使用重要功能。

一旦捕获并对信号分类，那么可以保证对特别感兴趣的发射器进一步进行详细的调制分析。

### 调制分析

解调信号可以提供丰富的数据，包括传输的信息内容。可以使用信号的信息内容，帮助回答“它们正在做什么或将要做什么？”的问题。解调信息成分会产生许多侵犯个人隐私的道德问题和法律问题，因此信息采集设备必须很好地判断是否进行这种操作。



■ 图21. 比较间歇性信号的两个频谱图。增加少量轨迹平均（这也适用于频谱图）可以使短时长事件变得非常明显。

使用RTSA的解调功能明显扩展了在简单的时域或频域指标上可望实现的信号识别测量。可以测量抑制的载波信号的精确载频信息、星座图和识别使用的其它参数。最重要的是，可以访问信号传输中的实际数据。

需要指出的是，RTSA的机载解调器是一种码组解调仪器。这意味着在信号记录到存储器之后才会发生实际解调。码组解调限制了在存储器模块耗尽前解调信号可用的时间数量。

可以使用码组解调仪器，简便地捕获和解调短传输，如半双工空中话务控制通信或警务无线通信。连续的宽带通信信号一般要求实时专用解调器，防止数据丢失。RTSA还可以作为前端下变频器和数字化器，用于连续的宽带应用。

## 应用案例集—无线电监测

### ■ 应用指南

跨度	时间分辨率	最大记录长度
30 MHz	20 ns	1.28 秒
15 MHz	39 ns	2.56 秒
10 MHz	156 ns	5.12 秒
5 MHz	312 ns	10.2 秒
1 MHz	625 ns	40.0 秒
500 kHz	1.25 us	81.0 秒
100 kHz	6.25 us	410 秒
20 kHz	31.3 us	34.1 分钟

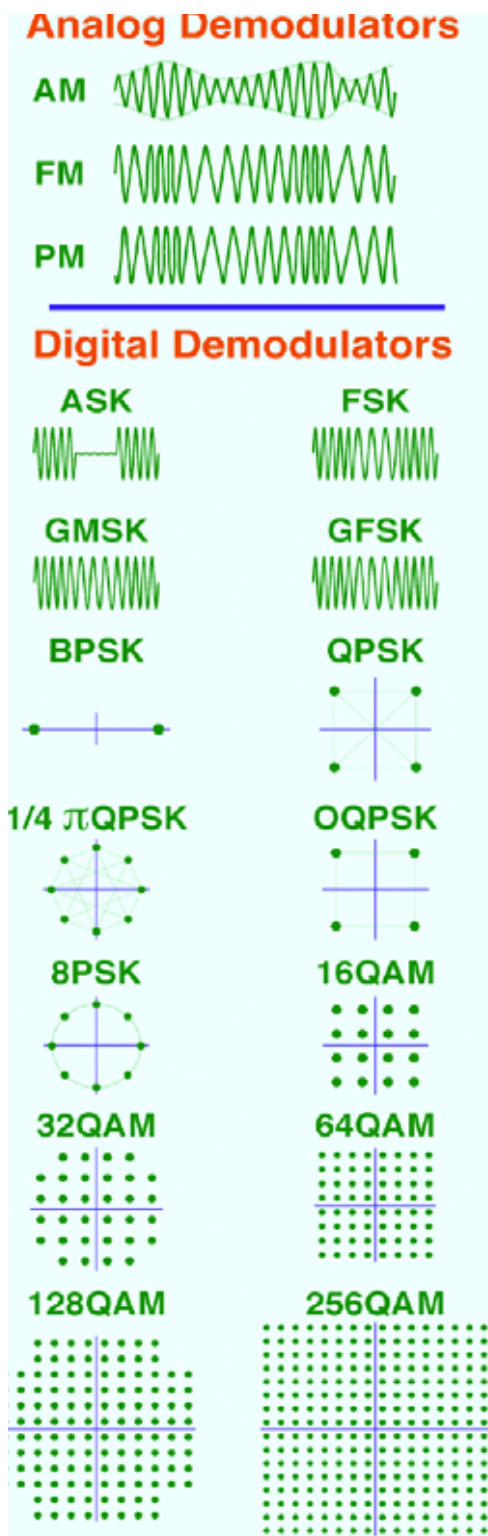
■ 表1. 存储器限制着码组解调器可用的记录时间。对占用100 kHz 的窄带RF 信号，如FSK 无绳电话，可以记录几分钟的时间。而对宽带设备，则只能记录几秒钟或更少的时间。

调制标准	选项
通用调制分析	选项 21
W-CDMA 上行分析	选项 23
GSM/EDGE 分析	选项 24
CDMA 1X 前向 / 后向链路分析	选项 25
1X EVDO 前向 / 后向链路分析	选项 26
3GPP 下行(HSDPA)分析	选项 27
TD-SCDMA 分析	选项 28
WLAN 802.11a/b/g 分析	选项 29

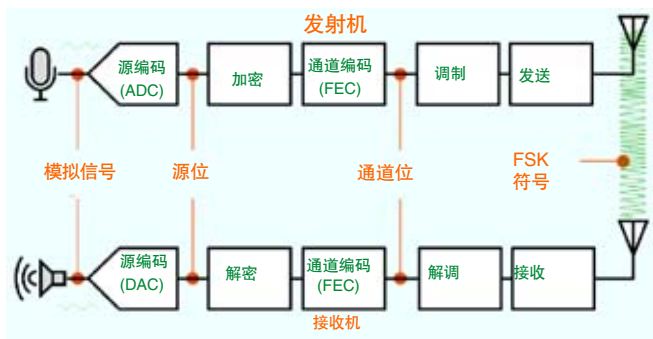
■ 表2. 提供的基于调制“标准”的分析选项。

RTSA的内置码组解调器支持许多调制标准，可以灵活地解调许多采集操作中各种常用的调制类型。每种调制类型进一步允许用户控制符号时钟速率、基带滤波类型和滤波形状(alpha)。

RTSA还支持世界各地使用的流行的无线通信调制标准，因此可以简便地设置信息内容采集和解调。在实地中，可以迅速简便地生成有用的智能。



■ 表3. RSA3408A 支持的调制。



■ 图 23. 源位没有加密，没有纠错编码。通道位传送到调制器，在解调器中恢复。符号是通道位的调制表示。

通过选装的RTSA实时I-Q输出驱动的外部解调器，可以支持不太常用的调制，或在长时间内要求连续解调的调制。I-Q输出可能对许多操作都非常重要，这些操作开始时定期采集智能，在发现新信号能量时进行扩容。扩容能力最大限度地降低了跟上新型发射器发展所需的资本开支。

RSA3408A 还为幅移键控(ASK)和频移键控(FSK)数字调制提供了位解码功能。许多分析仪提供了幅度调制(AM)和频率调制(FM)解调器，但没有为数字版的这些调制提供实际位解码功能。RTSA 内置了三个流行的位解码功能：NRZ-L、Manchester 和 Miller。这使得仪器能够直到通道位级解码 ASK 或 FSK 调制，简便地进行分析。

一旦调制被解调和解码，那么恢复的位或符号可以保存成二进制(BIN)、十进制(OCT)或十六进制(HEX)文件，以进行后续解密和分析。

通过使用IEEE-488命令，可以通过局域网或互联网连接自动实现和访问整个信息采集过程。这允许放在远端的仪器触发关键信号，捕获RF波形，解调波形，解码数据，保存恢复的信息进行分析。RSA3408A 36 MHz的瞬时带宽足以处理流行的宽带信号，如WLAN。用户只需按一个

键，就可以捕获和分析IEEE 802.11a/b/g之类的WLAN标准。RSA3408A的软件可以自动检测WLAN信号类型，相应地设置仪器。许多WLAN设备同时支持较老的互补代码键控(CCK)格式和较新的正交频域调制(OFDM)格式。即使在混合突发码型中，RSA3408A仍可以自动区分并解调这两种格式，而不需要操作人员干预，提供平滑的连续拦截数据流。RTSA的内置解调功能涵盖了许多最常见的信号标识和信息拦截情况。在下一节中，我们将考察故意设计成拦截困难的非标准信号。

### 解调LPI信号

根据传输路径限制、要求的数据传送数量和希望的安全性，可以把某些信号传输设计成低拦截概率。尽管LPI信号可能也很难检测(LPD)，但其主要重点是防止解调消息内容。

完善的LPI信号通常使用专用的调制格式和编码技术，因此如果没有相应的解调器，那么很难拦截其消息。

### 专有调制

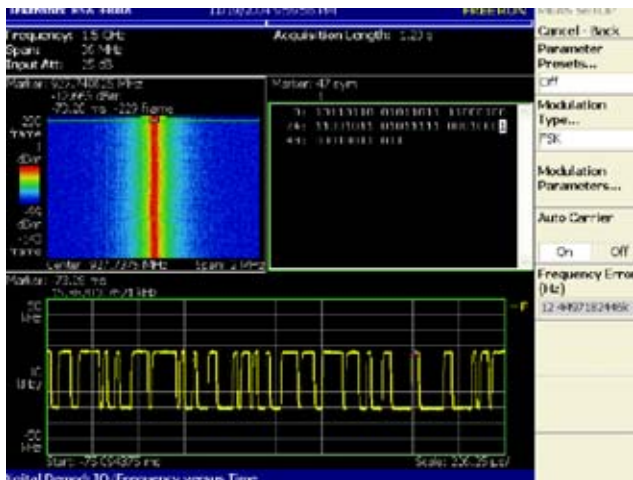
基于专有非标准调制技术的完善的LPI信号可能会给信号分析人员带来重大挑战。遗憾的是，并不能简便地预测这些专有调制，因此信号分析仪制造商不可能为其提供内置解调器。解调后的后续解密也可能超出RTSA内部微处理器的计算能力，从而带来重大挑战。

完善的LPI信号要求使用专用解调器和解密设备。

通过作为信号捕获设备操作，RTSA可以适应极具挑战性的LPI信号。分析人员可以利用RTSA的FMT、相噪和动态范围性能，采集信号记录。然后可以把捕获的数据导出到灵活的软件工具中，如Matlab或MiDAS，并能够解调和解密极具挑战性的LPI信号。

## 应用案例集—无线电监测

### ■ 应用指南



■ 图 24. RSA3408A 从 FSK 调制的 927 MHz 无线电电话信号拦截中解码 NRZ-L 通道位。时间相关的多域标尺在频谱图、解调的 FM 和 FSK 位上显示了相应的标尺。

### 数据导出

RTSA 允许用户通过两种方式访问 I-Q 数据样点。可以通过 RSA3408A 上的局域网端口访问 I-Q 数据记录，用户也可以通过专用硬件选项直接从模数(ADC)转换器中访问原始 I-Q 数据。这两种方法都可以把数据导出到软件解调器中，进行更加详细的分析。RSA3408A 能够以仪器的全部带宽(36 MHz)导出 I-Q 取样数据。RSA3408A 上的两种数据访问方法为 LPI 应用提供了不同的优势。

通过以太网连接，可以把分析仪中捕获和存储的经过校准和校正的数据简便地导出到各种计算机系统中。它不仅支持 RTSA 自己的 .iqt 文件，还提供了 ASCII 翻译程序，可以通过一般软件访问 IQ 取样数据。

在使用以太网连接时，记录长度受到 RTSA 中提供的存储器限制。因此通过 LAN 端口下载捕获的数据特别适合落在仪器 16 M 样点 IQ 对内、且可以扩展到 65M 样点 IQ 对最大记录长度的信号突发。从仪器存储器中下载的数据也对 RTSA 的 RF 性能进行校准校正，随时可以用于专用解调算法。

如果感兴趣的 LPI 调制是连续的、并超过仪器的存储容量，那么该怎么办呢？

泰克为 RSA3408A 配备了一条可选的高速低压差分信令(LVDS)连接，可以直接访问模数转换器的输出。这个专用端口使得专家用户能够连续访问 I-Q 数据流，进行外部解调。来自 RTSA ADC 的原始数据还没有应用增益平坦度、相位平坦度或校准校正。

通常在仪器中应用的这些校正因数必需在数字解调前应用到仪器外部的原始数据中。这个端口的目标，是用于用户能够提供和支持高速捕获硬件的高级数据捕获应用中。

RSA3408A 能够访问原始高速数据取样，用户可以灵活地解调现场遇到的棘手的连续 LPI 信号。

RTSA 上的 LVDS 端口还特别适合开发专用信号。通过使用 I 和 Q 数字输出代替昂贵的接收机，可以测试复杂的数字调制，而不需开发昂贵的硬件。通过使用任意波形发生器、RTSA 和计算机，可以只开发软件，创建一条 RF 数据链路。在创建新的 LPI 信号或对现场非预期信号作出响应时，对数据链路的 RF 变换和数字化部分使用可靠的测试设备解决方案，可以明显节约时间。用户不必检验 RF 硬件，而把重点全部放在软件开发上，则缩短了开发周期。在出现紧迫的国家安全威胁时，缩短开发时间尤为重要。





■ 图25. 在配备LVDS端口时，可以使用RTSA简便地连续实时提取I-Q记录。

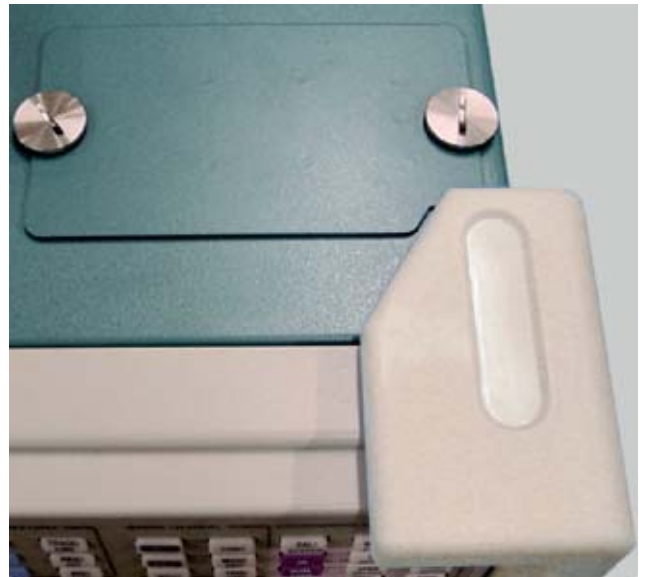
### 在安全环境中工作

监控工作要求处理敏感的消息拦截或需要限制访问的其它数据。但是，监控设备偶尔要求没有被排除访问敏感区域的个人进行校准或维修。类似的，在开发环境中，通常会在限制访问的敏感项目与不限制访问的未分类项目之间共享测试设备。

包含敏感信息的数据记录的设备必须在获准进入不受限制的访问区域前或在发生安全泄密前全面删除这些信息。如果信息意外留在分析仪上或没有完全删除，那么高素质的校准技术人员或其它其它“没有排除的”安全风险可能会获得这些信息。

在用于分类环境中时，许多信号分析仪给安全官员提出了一个难题。机载闪存和计算机磁盘很难拆除或完全擦除，通常要求设备必须在整个使用期间一直放在限制区域中。分类区域内部与校准和维护有关的成本可能会明显高于非限制区域。

RTSA是为在安全区域和非安全区域中进行简单的混合操作而设计的。仪器顶部的方便开口可以接触内置硬驱，迅速拆除硬驱。仪器把所有非易失性内存信息存储到硬驱上。用户只需拆下硬驱、插上另一个硬驱，就可以全面删除敏感信息。在插上第二块硬驱后，仪器可以在非限制访问环境中工作。更换硬驱可以在混合安全环境中大大改善设备利用率，此外它还提供了一种方式，在需要时迅速在现场处理敏感信息。



■ 图26. RTSA拥有一个方便的进入开口，可以拆下包含RTSA中存储的信息的硬驱。这可以从仪器中迅速删除敏感信息，因此分析仪可以移动到非安全区域中。

### 小结

近年来无线设备和通信链路的迅猛增长，给信号监测和监控应用带来了更多的挑战。可以在信号监测和监控工作中使用RSA3408A RTSA，它为成功操作提供了一系列重要功能。RSA3408A的宽带宽、良好的动态范围和相噪，是许多监控应用的基本前提条件。实时FMT、可拆卸硬驱、全带宽连续I-Q数据导出功能及支持流行调制格式的多域分析等独特的RTSA功能，是可靠地采集和生成智能的关键因素。在遇到棘手的LPD或LPI信号时，实时频谱分析仪的触发专利功能和选装的前置放大器还提供了重大的拦截优势。

## 应用案例集—RFID

■ 应用指南

# RFID 的测试要求和测试方法

**程 骏**          射频业务发展经理  
**Peter Chen**      亚太区射频产品专家  
泰克科技(中国)有限公司

## 目 录

引言 .....	147
1.RFID 介绍 .....	147
2.RFID的测试要求 .....	149
3.RFID 测试对仪表的要求 .....	151
4.使用 RTSA 对 RFID 设备进行测试 .....	152

## 引言

RFID 技术早在二十多年前就已经投入商用，它可以溯源到 20 世纪 40 年代的敌我军事识别(IFF)系统。亚微型互补金属氧化物半导体(CMOS)中的最新发展，可望使 RFID 技术无所不在。随着设备价格下降及全球市场扩大，RFID 应用正迅速增长。此外，许多采用类似技术的短程近场通信(NFC)链路也进入迅速增长时期。RFID 和 NFC 技术需要进行 RF、定时和调制测量，面临着各种不寻常的工程测量挑战。瞬变信号、带宽效率低的调制、反向散射的数据和无源终端都要求传统测试仪器中通常没有提供的专用测量功能。这需要一个工具，可以触发表示 RFID 活动的瞬时事件，然后捕获和分析终端和查询器之间的对话；还需要一个调制分析工具；可能还需要一个一致性测试工具和一个互通性测试工具。

或许可以只使用一个工具完成这一切，那就是泰克实时频谱分析仪(RTSA)。在一台实时频谱仪中，可以同时获得宽带矢量信号分析仪、频谱分析仪和实时频谱分析仪独有的触发-捕获-分析功能。可以轻松应对所有 RFID 应用中瞬变信号的捕获。

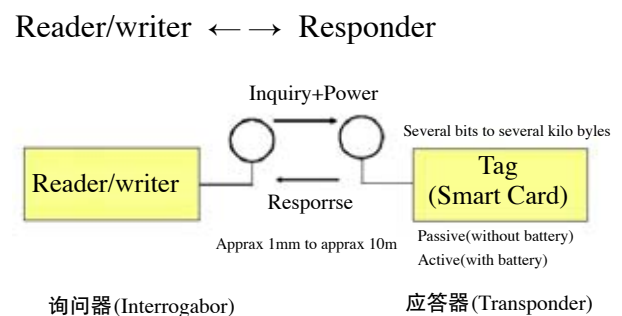
针对 RFID 的特点，泰克公司在实时频谱仪的平台上开发了专门 RFID 测试软件，可以满足以上的所有 RFID 测试需求，为测试人员提供的非常方便的测试手段。实时频谱仪的实时捕获能力可以百分百地捕获 RFID 信号，无论是脉冲还是跳频信号。同时，实时频谱仪具备频域、时域和数字调制域的多域测试功能，可以满足 RFID 的时间相关参数测试及数字解调测试。专门的 RFID 测试软件提供了目前所有的 RFID 解码功能，可以直接解出数据。同时，泰克公司专利的频域模板触发技术为测试跳频 RFID 信号提供了独一无二的解决方案。

目前，泰克提供了五种型号，可以处理全系列 RFID 测量，包括：频率测量(载频、OBW、杂散、发射功率、ACLR 等等)；定时测量(读写器与标签之间的周转时间、载波上升时间/下降时间、稳定时间等等)和调制测量(符号表、调制深度、眼图、星座图等等)；以及相应的一致性测试(ISO 18000-Part 6 Type A, B, C 等等)。

在本文中，我们将介绍 RFID 技术并讨论泰克实时频谱仪在 RFID 测量中的应用和测试方法。

## 1 RFID 介绍

RFID 是一种低功耗的短程无线通信技术，全称为“Radio Frequency Identification (射频识别)”。RFID 系统的组成一般至少包括两个部分：电子标签(英文名称为 Tag)和读写器(英文名称为 Reader/Writer 或 Interrogator)。电子标签中一般保存有约定格式的电子数据，在实际应用中，电子标签附着在待识别物体的表面。读写器可无接触地读取并识别电子标签中所保存的电子数据，从而达到自动识别物体的目的。进一步通过计算机及计算机网络实现对物体识别信息的采集、处理及远程传送等管理功能。



目前定义 RFID 产品的工作频率有低频、高频和甚高频的频率范围内的符合不同标准的不同的产品，而且不同频段的 RFID 产品会有不同的特性。

### 1.1 低频(从 125KHz 到 134KHz)

其实 RFID 技术首先在低频得到广泛的应用和推广。该频率主要是通过电感耦合的方式进行工作，也就是在读写器线圈和感应器线圈间存在着变压器耦合作用。通过读写器交变场的作用在感应器天线中感应的电压被整流，可作供电电压使用。磁场区域能够很好的被定义，但是场强下降的太快。除了金属材料影响外，一般低频能够穿过任意材料的物品而不降低它的读取距离。工作在低频的读写器在全球没有任何特殊的许可限制。虽然该频率的磁场区域下降很快，但是能够产生相对均匀的读写区域。相对于其他频段的 RFID 产品，该频段数据传输速率比较慢。低频 RFID 系统主要应用在畜牧业的管理系统、汽车防盗和无

## 应用案例集—RFID

### ■ 应用指南

钥匙开门系统的应用、自动停车场收费和车辆管理系统、自动加油系统的应用、酒店门锁系统、门禁和安全管理系统等领域。

#### 1.2 高频(工作频率为 13.56MHz)

在该频率的感应器不再需要线圈进行绕制，可以通过腐蚀印刷的方式制作天线。感应器一般通过负载调制的方式进行工作。也就是通过感应器上的负载电阻的接通和断开促使读写器天线上的电压发生变化，实现用远距离感应器对天线电压进行振幅调制。如果通过数据控制负载电压的接通和断开，那么这些数据就能够从感应器传输到读写器。除了金属材料外，该频率的波长可以穿过大多数的材料，但是往往会降低读取距离。感应器需要离开金属一段距离。该频段在全球都得到认可并没有特殊的限制。虽然该频段的磁场区域下降很快，但是能够产生相对均匀的读写区域。该频段系统具有防冲撞特性，可以同时读取多个电子标签。可以把某些数据信息写入标签中。数据传输速率比低频要快，价格不是很贵。高频RFID系统主要应用在图书管理系统、服装生产线和物流系统的管理、三表预收费系统、酒店门锁的管理和应用、大型会议人员通道系统、固定资产的管理系统、医药物流系统的管理、智能货架的管理等领域。

#### 1.3 甚高频(工作频率为 860MHz 到 960MHz 之间)

甚高频系统通过电场来传输能量。电场的能量下降的不是很快，但是读取的区域不是很好进行定义。该频段读取距离比较远，无源可达 10m 左右。主要是通过电容耦合的方式进行实现。在该频段，全球的定义不是很相同 - 欧洲和部分亚洲定义的频率为 868MHz，北美定义的频段为 902 到 905MHz 之间，在日本建议的频段为 950 到 956 之间，而我国定义的频段为 840 到 845MHz 和 920 到 925MHz。甚高频频段的电波不能通过许多材料，特别是水，灰尘，雾等悬浮颗粒物。相对于高频的电子标签来说，该频段的电子标签不需要和金属分开来。电子标签的天线一般是长条和标签状。天线有线性和圆极化两种设计，满足不同应用的需求。该频段有好的读取距离，但是对读取区域很难进行定义。有很高的数据传输速率，在很

短的时间可以读取大量的电子标签。甚高频RFID系统主要应用在供应链上的管理、生产线自动化的管理、航空包裹的管理、集装箱的管理、铁路包裹的管理、后勤管理系统等领域。

#### 1.4 其它频段

除以上三个主要频段，目前在 315MHz、433MHz、2GHz-2.5GHz、5.8GHz 频段也被 RFID 系统采用。它们也分别具有自己的特性。

RFID 除按频段分类外，根据电子标签内是否装有电池为其供电，又可分为有源系统和无源系统两大类；

工作频率范围	说明
<135 kHz	低频电感耦合
6.765 ~ 6.795 MHz	中频(ISM),电感耦合
7.400 ~ 8.800 MHz	中频, 仅用于电子防盗
13.553 ~ 13.567 MHz	中频(13.56 MHz, ISM), 电感耦合, 广泛使用, 国际标准有 ISO - 14443, ISO 15693, ISO 18000-3 等
26.957 ~ 27.283 MHz	中频(ISM),电感耦合, 仅在特别应用中采用
433 MHz	UHF(ISM), 反射散射耦合,少量 RFID 使用
840 ~ 870 MHz	UHF, 反射散射耦合, 新频段
902 ~ 928 MHz	UHF (SRD), 反射散射耦合,已有多种应用(中国铁路)
2.400 ~ 2.500 GHz	SHF (ISM), 反射散射耦合, 已有多种应用(车辆识别: 2.446 .. 2.454 GHz)
5.725 ~ 5.875 GHz	SHF (ISM), 反射散射耦合,少量使用

从电子标签内保存的信息注入的方式可将其分为集成电路固化式、现场有线改写式和现场无线改写式三大类。RFID 信号主要采用 OOK (100% ASK)、10% ASK、FSK、PSK、FHSS 等调制方式。编码主要采用 NRZ, Manchester, DBF, MFM, Miller, Extended Miller 等。工作方式有半双工(Half duplex)、全双工(Full duplex)、时序(Sequential)三种。

- 时下,无线射频识别(RFID)已成为全球信息产业的热门话题。由于受到国际组织的全力推动以及国际大企业的应用需求和发展步伐的加快、各类标准正在加紧制定等因素的驱动,RFID已经进入高速发展的轨道。

## 2 RFID 测试要求

### 2.1 无线电使用法规符合性测试

无线电使用法规规定了频谱资源的发放。对各个频段包括RFID各类系统的功率、ACPR、OBW (EBW) 和杂散做了规定以避免和其它无线电系统的冲突和干扰。

这类测试,需要测量RFID系统的如下参数:

- 发射功率
- 载波频率
- 占用带宽
- 询问器杂散发射(Interrogator Transmit spurious emissions)
- ACLR (或 ACPR)
- 跳频参数

### 2.2 RFID 的行业标准符合性测试

RFID的行业标准主要定义了RFID系统的物理层协议和高层协议,以保证系统能够协调流畅的工作。以下介绍目前在世界上较为常用的几个标准。

#### 2.2.1 ISO 14443

ISO 14443 在 1995 年开始操作,标准的完成则是在 2000 之后。以 13.56MHz 交变信号为载波频率,ISO 14443 读写距离稍近,但应用较广泛,目前的第二代电子身份证采用的标准是 ISO 14443 TYPE B 协议。

ISO14443 定义了 TYPE A、TYPE B 两种类型协议。通信速率为 106kbps/s,它们的不同主要在于载波的调制深度及位的编码方式。

ISO 14443 主要规定内容如下:

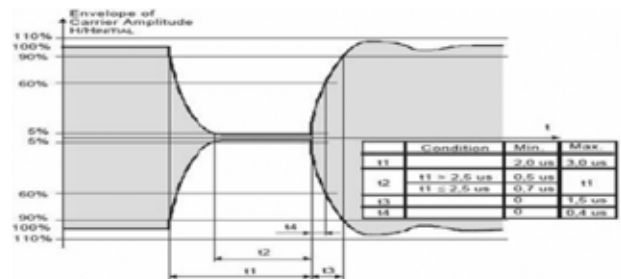
- Frequency: 13.56MHz +- 7KHz

- Operating Field (around a couple of cm)

- Minimum un-modulated field should be 1.5A/m rms (Hmin)
- Maximum un-modulated field should be 7.5A/m rms (Hmax)

- Type A, PCD to PICC specification

- 调制: ASK 100% (No tolerance)
- 比特率: 106Kbps
- Type A for PCD to PICC waveform timing measurement

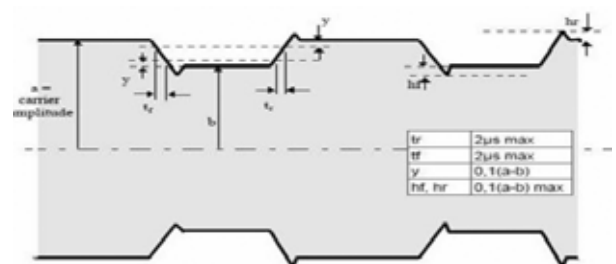


- Type A, PICC to PCD specification

- 比特率: 106kbps
- Load Modulation amplitude shall be at least 30mVpeak
- 副载波:  $f_s/16$  (847KHz)

- Type B, PCD to PICC specification

- 调制: ASK 100% (No tolerance)
- 比特率: 106Kbps
- Type A for PCD to PICC waveform timing measurement



## 应用案例集—RFID

### ■ 应用指南

- Type B, PICC to PCD specification
  - 比特率: 106kbps
  - Load Modulation amplitude shall be at least 30mVpeak
  - 副载波:  $f_s/16$  (847KHz)

#### 2.2.2 ISO 18000-4: 2.45GHz RFID 系统空气接口参数。

主要规范内容如下:

- 根据本地区无线电管理法规使用2 400到2 483,5 MHz, Frequency Accuracy:  $\pm 50$ ppm
- 频率跳变速率依据法规, 例如 FCC 15.247, 400ms
- 占用带宽( OBW ): 500KHz, 需要服从无线电管理法规, 例如 FCC 15.247
- 询问器的最大等效辐射功率需要服从无线电管理法规。
- 杂散辐射(带内和带外) 需要服从无线电管理法规。
- 读写器到标签和标签到读写器的轮询时间
- 发射功率开关时间(上升时间和下降 时间)
- Modulation Index: 99%
- Duty Cycle: 50%  $\pm$  5%
- Bit Rate Accuracy: 100 ppm (Interrogator),  $\pm 15\%$  (Tag)
- Preamble Length: 9 bits (Interrogator), 16 bits (Tag)

#### 2.2.3 ISO 18000-6(Type A 和 Type B):

860MHz-960MHz RFID 系统空气接口参数。ISO 18000-6基本上是整合了一些现有RFID厂商的产品规格和EAN-UCC 所提出的标签架构要求而订出的规范。它只规定了空气接口协议, 对数据内容和数据结构无限制, 因此可用于EPC。实际上, 若采用ISO 18000-6对空气接口的规定加上EPC系统的编码结构再加上ONS架构, 就可以构成一个完整的供应链标准。

主要规范内容如下:

- 根据本地区无线电管理法规使用860MHz到960 MHz。
- 频率跳变速率依据法规
- 发射到接收轮询时间:
  - Type A: 标签应在响应后2比特期间内开放接收命令。
  - Type B: 400 ms
- 接收到发射轮询时间;

Type A: Range from 150 to 1150 ms

Type B: Range 85 to 460 $\mu$ s

- 发射功率开: 1.5ms, 关: 1.0ms
- 调制指数, Type A: 30-100%, Type B: 18% or 100%
- 调制脉冲的包络, 上升下降时间和脉冲宽度
- Bit Rate Accuracy: 100 ppm (Transmitter),  $\pm 15\%$  (Tag)
- Preamble Length 9 bits (Transmitter), 16 bits (Tag)

#### 2.2.4 860-960MHz\_Class1\_Gen2:

- 根据本地区无线电管理法规使用 860MHz 到 960 MHz。
- 读写器到标签和标签到读写器的轮询时间
- Tari 值: 6.25ms  $\pm 1\%$ , 12.5ms  $\pm 1\%$ , 25.0ms  $\pm 1\%$
- 调制深度: 80 - 100%
- 射频包络上升时间: 0.33 Tari
- 射频包络下降时间:: 0.33 Tari
- 脉冲宽度 (PW): MAX 0.525 Tari
- Transmitter Power On, Rise Time: Max 500ms
- Transmitter Power Down, Fall Time: 500ms
- Settling Time: Max 1.5ms
- Delimiter in Preamble Part: 12.5ms  $\pm 5\%$
- RTcal should be 2.5 Tari < RTcal < 3.0 Tari length
- TRcal should be 1.1 RTcal < TRcal < 3.0 RTcal Length
- Tag to Interrogator Link Frequency
- FM0 Preamble: (TRex=0) 1010v1 (v: Violation)
- FM0 Preamble: (TRex=1) 0000 0000 0000 1010v1 (v: Violation)
- Miller Preamble: See Figure 6-15 Subcarrier T=>R Preamble

这类测试除频域测量外, 还需要进行定时测量和调制分析, 如发射至接收时间; 接收至发射时间; 向上跃变的驻留时间或询问器发射能量; 向下跃变的衰减时间或询问器发射能量及调制信息。

### 3 RFID 测试对仪表的要求

根据前文所述，RFID 信号的测试涵盖了射频信号的频域、时域和调制域分析。对于芯片、设备研发和制造企业，需要测试产品是否符合无线电法规和行业标准。对系统集成商，需要分析 RFID 系统在实际环境中的互通性（例如分析读写器、标签和周围环境的干扰，优化读写器具摆放位置、合理增设屏蔽材料等等）。这些要求需要测试仪表具备如下特性：

#### 3.1 标准符合性测试

信号是间歇信号，而且功率较小，有时甚至是跳频信号，需要测试仪表可以捕获瞬态变化信号，能够无缝存储足够长时间的信号并回放分析，还要有较快的测试速度。

信号采用多种不同的调制方式，需要测试仪表具备数字调制信号分析功能。最好能够支持各种 RFID 标准，不仅能够解调，还要能够对多种多样的编码进行解码从而读出数据。

信号的编码规定了很多时间参数，读写器和标签发射和响应时间参数也需要测试，要求测试仪表具备信号时域分析功能、多域相关分析能力和良好的时间分辨率。

很多 RFID 系统采用跳频体制，测试仪表必须具备跳频信号的分析能力。

使用传统仪表的局限：

使用传统仪表对 RFID 产品进行标准符合性测试，我们需要多台设备，但很多项目仍然不能很好进行测试。例如使用扫频频谱仪，难以捕捉 RFID 的间歇性信号，无法分析信号的调制特性，也无法分析一个完整的通信序列的时域特征。使用矢量信号分析仪，受限于有限的触发方式，使得寻找 RFID 数据包成为极为繁琐的操作，尤其对于载波常发的 RFID 系统；而有限的时间相关多域，很难观测到调制特性和频率特性随时间变化的特征。而使用示波器，又要面对较差的动态范围，极其有限的频

域功能，无法实现调制分析等难点。最关键的是，读写器和标签的数据交换无法在空中被动态测量，使得找出通信中的问题所在变得非常困难。泰克实时频谱仪的出现，使这些难题迎刃而解。

Performance	Digital Oscilloscope	Spectrum Analyzer	Real Time SA
良好的动态范围	×	○	○
频域测试功能	×	○	○
时域测试功能	○	×	○
解调功能	×	△	○

#### 3.2 RFID 系统的互通性测试

当 RFID 系统安装于实际环境中，往往受到各种各样的影响，如周围电磁环境的影响，多个读写器，多个标签之间的相互干扰，高低频不同 RFID 系统之间的干扰，造成 RFID 系统不能工作或效能下降。为了解决以上问题，需要测试设备具有以下能力：

3.2.1 实时观测所有 RFID 通道的读写器及标签的情况。

3.2.2 解析所有通道的载波侦听、发送控制等标签与读写器间的详细通信情况。

3.2.3 具备较高的灵敏度，掌握其他区域的读写器信号和周围环境中存在的电磁干扰，并有能力捕获稳态的干扰信号和瞬态的干扰信号。

3.2.4 捕获实际环境中的 RFID 信号并观察调制质量。

3.2.5 传统仪表的局限性：

实际环境中的 RFID 信号和干扰信号分析，对于传统设备来说是非常困难的任务。使用扫频式频谱分析仪时，根本无法实时观测各通道发生的情况，也无法发现瞬态的电磁干扰，更无法解析调制质量。而使用矢量信号分析仪，也不具备真正的实时特性，同样无法实时观测和发现瞬态干扰现象。

## 应用案例集—RFID

### ■ 应用指南

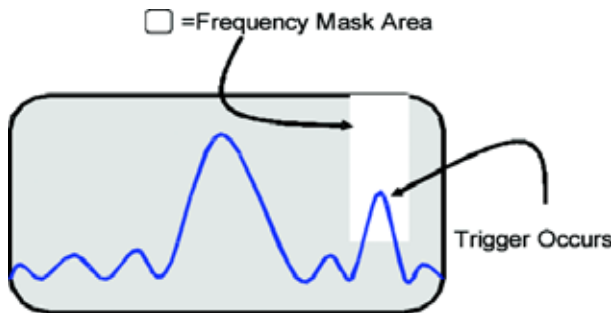
#### 4 使用 RTSA 对 RFID 设备进行测试

实时频谱分析仪(RTSA)是泰克设计的一种新型测量工具，解决了上面介绍的 RFID 测量的挑战。

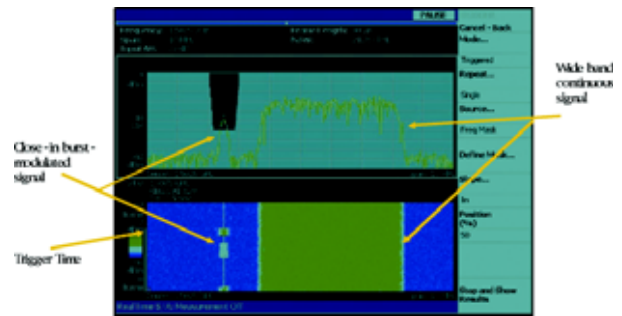
##### 4.1 实时频谱仪 (RTSA) 的主要特点

###### 4.1.1 实时频率模板触发

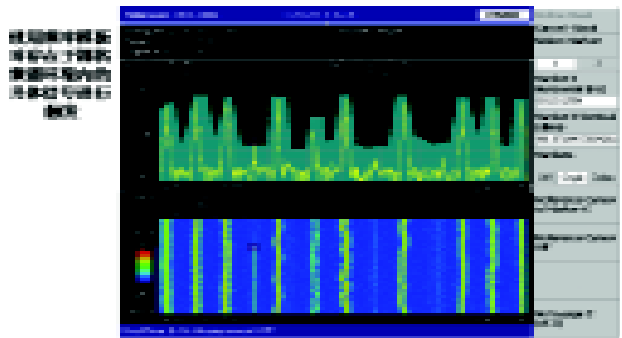
有效触发一直是大多数频谱分析工具中缺失的项目。RTSA除了简单的IF电平和外部触发功能外，它提供了实时频域触发。传统扫频结构不太适合实时触发，其原因有很多，但最重要的原因在于扫频频谱分析仪使用触发事件开始扫描，而RTSA 则使用触发事件作为无缝采集信号的时间参考点。这实现了许多其它有用的功能，如能够同时存储触发前的信息和触发后的信息。实时频率模板触发，允许用户根据频域中的特定事件触发采集。如图 4-5 所示，它画出一个模板，定义分析仪实时带宽内部将生成触发事件的条件集合。灵活的频率模板触发器为可靠地检测和分析动态 RF 信号提供了一个强大的工具。它还可以用来进行传统频谱分析仪不可能完成的测量，如在存在强大的 RF 信号时捕获小电平瞬时事件(如图 4-6 所示)，在拥挤的频谱范围内检测特定频率上的间歇性信号(如图 4-7 所示)。



■ 图 4-5. 采用频率模板的实时频域触发



■ 图4-6. 使用频率模板,在存在大的信号时触发低电平脉冲。



■ 图4-7. 使用频率模板,在拥挤的频谱环境中触发特定信号。

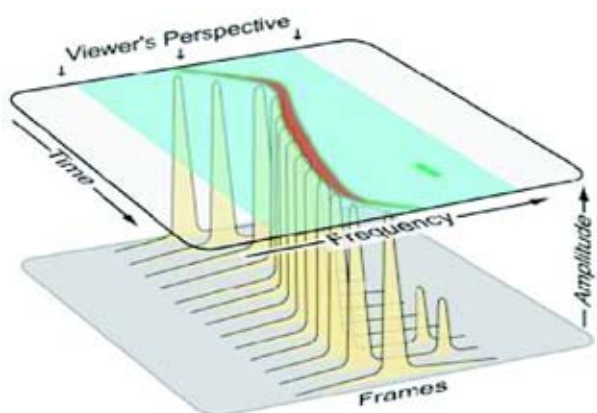
###### 4.1.2 无缝捕获和三维频谱图

一旦定义了实时触发条件，仪器准备开始采集，RTSA 会连续检查输入信号，考察指定的触发事件。在等待这个事件发生时，信号会不断数字化，时域数据循环通过先进先出捕获缓冲器，在累积新数据时，缓冲器会丢弃最老的数据。这使得分析仪在检测到触发事件时，能够把触发前和触发后的数据保存到内存中。

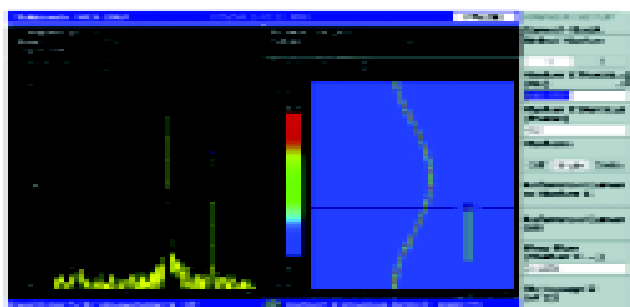
如前几节所述，这一过程可以无缝采集指定的块，其中信号用连续时域样点表示。一旦这些数据存储在内存中，它可以使用不同的显示画面进行处理和分析，如功率与频率关系、三维频谱图和多域图。样点数据一直在随机访问的内存中提供，直到它被后续采集覆盖，另



外,三维频谱图是一个重要的测量项目,它直观地显示了频率和幅度怎样随时间变化。横轴表示传统频谱分析仪在功率与频率关系图上显示的相同的频率范围。在三维频谱图中,竖轴表示时间,幅度则用轨迹颜色表示。每“片”频谱图与从一个时域数据帧中计算得出的一个频谱相对应。图4-8显示了动态信号三维频谱图的概念图。图4-9是一个屏幕快照,显示了功率与频率关系及图4-8中所示信号的三维频谱图。在三维频谱图上,最老的帧显示在图的顶部,最新的帧显示在图的底部。这一测量显示了频率随时间变化的RF信号,它还揭示了在时间块末尾附近出现和消失的小瞬时信号。由于数据存储在内存中,可以使用标尺,“在时间上回向滚动”三维频谱图。在图5-9中,标尺已经放在三维频谱图的瞬时事件上,这导致与某个时点相对应的频谱显示在功率与频率关系图上。



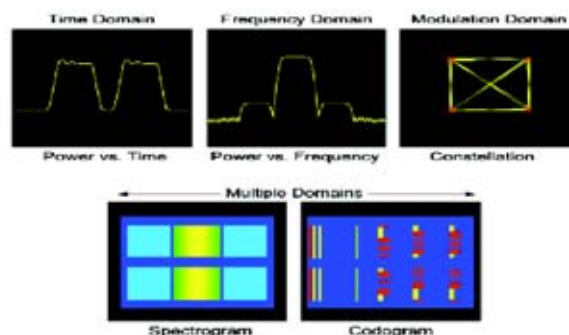
■ 图 4-8. 使用频率模板, 在拥挤的频谱环境中触发特定信号。



■ 图 4-9. 时间相关的多个视图: 功率与频率关系图(左)和三维频谱图(右)。

#### 4.1.3 时间相关的多域分析:

一旦信号已经采集并存储在内存中,可以使用RTSA 中提供的各种时间相关视图分析信号,如图4-10所示。



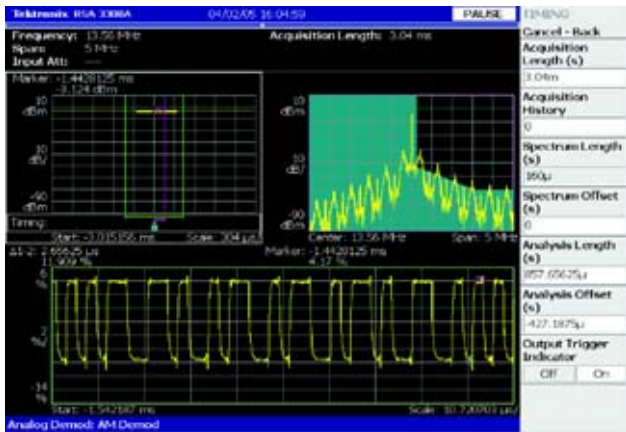
■ 图 4-10. RTSA 上提供的多个时间相关测量项目图。

在实时频谱分析模式下,RTSA 提供了被捕获信号的两个时间相关图:功率与频率关系图和三维频谱图,图4-9是这两个视图。

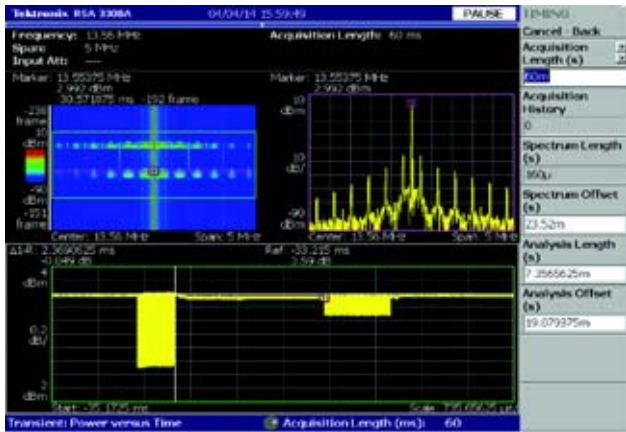
在进行时域分析和调制域分析的其它实时测量模式下,RTSA 显示了被捕获信号的多个视图,如图4-11和图4-12所示。左上方的窗口称为概况图,它可以显示功率随时间变化情况或频谱图。概况显示了块中采集的所有数据,它作为其它分析窗口的索引使用。右上方的窗口(用紫色标出)称为子图,它显示了实时频谱分析仪模式下提供的同一功率与频率关系图。与图4-9中的显示画面一样,这是一个数据帧的频谱,可以滚动整个时间记录,查看任何时点上的频谱。这通过调节频谱偏置实现,其位于RTSA的Timing(定时)菜单中。另外还要注意,在概况图中有一个紫条,表明与紫色子图窗口中的频域显示相对应的时间位置。屏幕下半部分的窗口(用绿色标出)称为分析窗口或主图,它显示了选择的时间或调制分析测量的结果。

# 应用案例集—RFID

## ■ 应用指南



■ 图 4-11. 显示功率随时间变化、功率与频率关系及 ASK 解调的多域图。



■ 图 4-12. 显示频谱图、功率与频率关系及功率随时间变化的多域图。

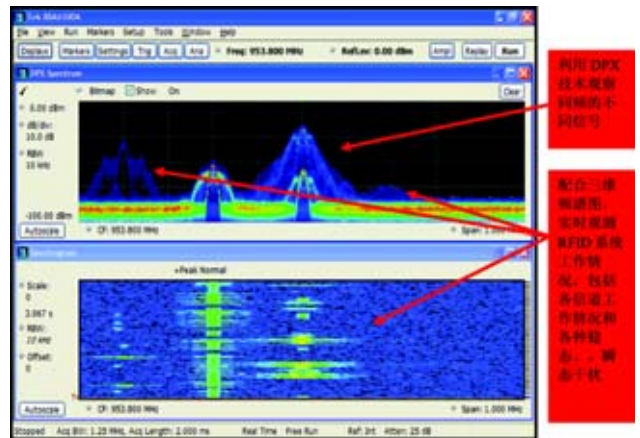
图 4-11 显示了频率调制分析实例，图 4-12 显示了瞬时功率随时间变化情况分析实例。与子图窗口一样，绿色的分析窗口可以位于概况窗口所示的时间记录内部任何位置，它也有相应的绿条，表明其位置。此外，可以把分析窗口的宽度灵活地调节到小于或大于一个帧。

时间相关的多域分析提供了巨大的灵活性，可以使用各种分析工具，放大和全面检定采集的 RF 信号的不同部分。

### 4.1.4 DPX 数字荧光技术

泰克最新推出 RSA6100 系列，提供了独特的 DPX 数字荧光技术，利用色温来表示信号出现的频次。将同频的不同

信号按照出现的概率“实时”分立显示出来，还能够将各个通道的占用率用颜色区分，并 100% 的发现大于 24us 的瞬态变化。使用户能够实时观测通信系统中的情况。



■ 图 4-13

### 4.1.5 实时频谱仪在 RFID 测试中的应用

实时频谱仪的特点非常符合 RFID 设备的测试，提供了一个全新的完全的 RFID 测试解决方案。

特点	使用
触发 高实时捕获带宽和时域实时触发	及时捕捉周期的或瞬变的信号 有目的并准确地捕获带有数据的信号段或捕获瞬态的电磁干扰。
捕捉 高实时带宽捕获 RFID 系统全部带宽内的跳变信号	一次采集所有信号包括瞬变信号和干扰信号存入内存
实时无缝采集，高分辨率 三维频谱图	在连续时间段观察预期信号和未预期信号之间的因果关系。 捕捉跳变信号和突发信号。
分析 支持 ASK、FSK、BPSK、OOK 等常用调制分析	完全调制质量评估。
Manchester、Miller、NRZ、FM0、PIE 等解码，符号表	验证来自读卡器和标签的数据的准确性。
支持如下 RFID 标准： ISO18000-Part 4 Mode 1 ISO18000-Part 6 Type A\B\C ISO14443 Type A\B EPCglobal Generation Class 0\ Class 1 支持手动设置特殊规格	方便地进行一致性测试，一键完成设置。并且能够通过手动设置完成特殊规格的测试。
DPX 数字荧光显示：	实时监测 RFID 系统工作实现监测 RFID 系统通信质量，发现瞬态干扰和同频干扰。

无缝捕捉保证俘获最快速变化的脉冲信号，强大的分析能力保证信号的任何部分得到完全的分析，多域分析能力保证完整地分析信号的时间、频率和调制特性。

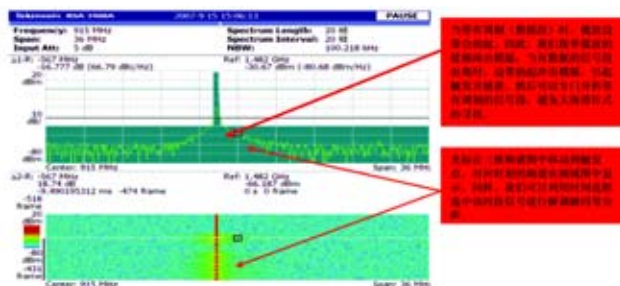


■ 图 4-14. RTSA 捕获一段时间内的 RFID 信号并放大观察

那么，如何使用实时频谱仪进行 RFID 测试呢？

#### 4.1.6 利用实时频谱仪捕获 RFID 信号

要分析 RFID 信号，首先要能够捕获 RFID 信号。传统仪表，例如矢量信号分析仪，只能对信号进行盲拍，然后再从捕获的数据中大海捞针来寻找有用的信号段。而实时频谱分析仪能够利用频率模板触发有目的地快捷地捕获感兴趣的信号段。



■ 图 4-15. 利用频率模板触发捕获带有数据的信号段

另外，实时频谱分析仪大容量的存储长度能够在 36MHz 带宽的情况下无缝捕获长达 1.28 秒的信号 (RSA3408A)，保证捕获完整的“读写器-标签”通信过程。

#### 4.1.7 对政府无线电管理法规的符合性测试

政府法规要求必须在功率、频率和带宽上控制发送的信号。这些法规防止有害的干扰，保证每台发射机在频谱上对频段中的其它用户是好邻居。配有 RFID 软件的 RTSA 可以简便地测量政府法规规定的频谱参数。

对脉冲式信号进行功率测量可能对许多频谱分析仪极具挑战性。RTSA 的瞬变信号优化功能可以简单地测量脉冲式 RFID 分组传输中的功率。FFT 分析在分组传输过程中对任何一定时间周期都提供一个完整的频谱帧，而不需要象老式扫频分析仪那样同步调谐扫描与分组突发。此外，传统频谱分析仪需要校正系数，补偿连续对数视频放大器 (SLVA) 峰值检测电路，而 RTSA 则使用真正的 RMS 检测方法，对大多数法规测量都能精确地读取功率。

另一个重要的频谱辐射测量项目是信号的载频。可以通过两种方式表达这一测量：实际绝对载频或分配的一定信道频率的载频误差。在解调信号时，RTSA 将显示载频误差。在频谱分析模式下，可以选择测量按钮，然后使用载频软键，来显示绝对载频。解调后的载频测量有一个明显优势是，它不要求信号位于跨度的中心。这特别适合跳频信号。

类似的，也可以通过两种方式获得占用带宽 (OBW) 或辐射带宽 (EBW)。在解调模式下，RTSA 显示 OBW 和 EBW 及载频和传输功率电平。在实时频谱分析仪模式下，测量键下也提供了带宽测量。

在 RTSA 中，各项 RFID 测试具有对应的测量按钮，可以方便地查看各项参数，图 5-16 显示了载波频率的测量，同样的，通道功率、占用带宽、辐射带宽、询问器杂散发射 (INTERROGATOR TRANSMIT SPURIOUS EMISSIONS)、ACPR 等参数也能通过按压相应的按钮而直观地得到测量结果。

## 应用案例集—RFID

### ■ 应用指南

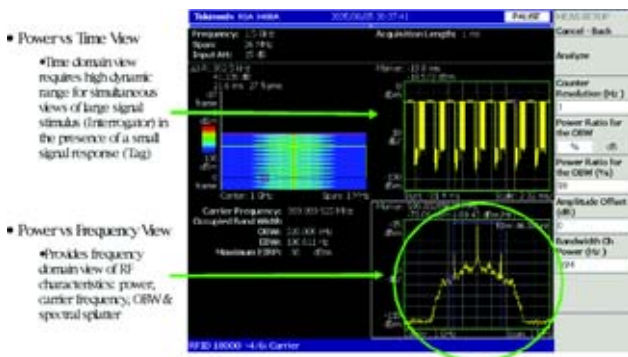


■ 图4-16. 通过“Carrier Frequency”键进行载波频率测量，在屏幕下端直观地显示测量结果



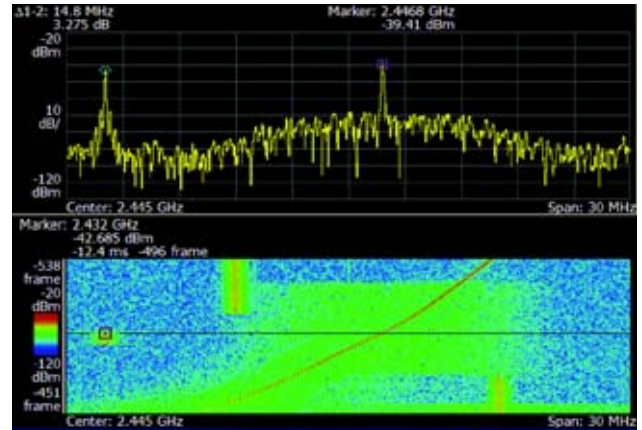
■ 图4-17. 通过“OBW”键进行占用带宽测量，在屏幕下端直观地显示测量结果

通过显示频谱，选择 *OBW/EBW* 测量，还可以迅速进行主要法规频谱测量。如果使用单向天线，那么还提供了载频、*OBW/EBW* 和 *EIRP*。如图 4-17。



■ 图4-18. 通过通过显示频谱，进行 *OBW/EBW* 和 *EIRP* 测量

通过三维频谱图和拉动标记点进行逐帧回放，对跳频 RFID 系统的信号跳变规律进行观察，通过频率随时间变化的视图能够定量分析跳频的参数（如跳变带宽、跳变时间等等）。



■ 图4-19. 通过频域图和三维频谱图观察跳频信号(带有干扰信号)

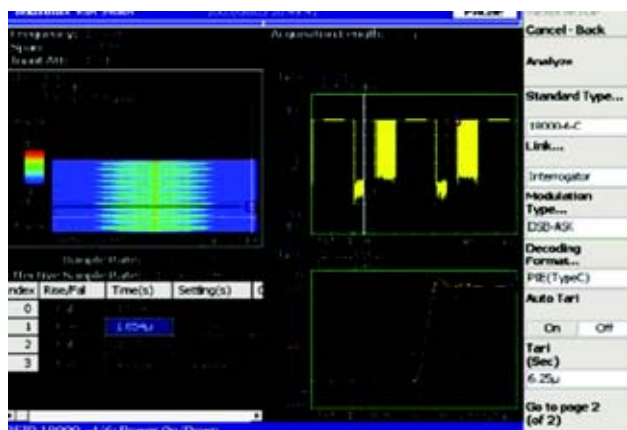
通过使用这些预编程的自动测量功能，可以迅速精确地获得基本法规数据。这消除了对传统频谱分析仪连接同轴电缆，测量瞬变 RFID 信号的麻烦。RTSA 识别调制，只需按一个按钮就可以提供答案。

#### 4.1.8 对行业标准的符合性测试

可靠的询问器和终端交互要求遵守各种行业标准，如 ISO 18000-6 C 类规范。这在基本测试之上增加了许多测试，以满足政府频谱辐射要求。RF 一致性测试对终端和阅读器之间可靠地互操作至关重要。RTSA 的 RFID 软件包含 ISO 18000-4 模式 1、ISO18000-6 A 类、B 类和 C 类、ISO14443 A 类 B 类、NFC 等标准所需的关键测量。RTSA 上预编程的测量消除了检查这些信号格式要求的大部分设置时间。

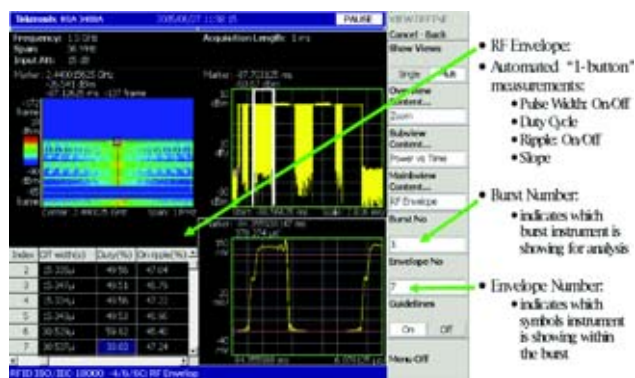
例如，RFID 标准中的一项重要测量是开机时间和关机时间。必须立即打开载波能量的上升时间，以保证终端采集足够的能量、以便正确运行。信号还必须稳定到稳定水平。在传输结束时，信号突发的下降时间必须足够快，避免干扰其它传输。

在解调模式下，选择相应的RFID标准和类型，压下分析仪的软键，选择POWER ON/DOWN。然后RTSA会自动测量开机上升时间、关机下降时间、功率稳定时间、过冲和下冲。为查看更详细的信息，RTSA还在测量窗口中显示波形特点。



■ 图4-20. 在RTSA中，用户只需按一个键，就可以在查询会话中进行开机和关机测量，确定是否符合行业标准。

询问器和终端之间的通信通过开机周期中的ASK信号突发完成。这些信号突发构成了RF包络，对互操作能力非常重要。调制脉冲包络包含着确保阅读器和终端之间兼容能力必不可少的特点。RTSA的RFID软件自动测量RF包络指标，如图5-21所示，测量开机脉宽，关机脉宽，占空比，开机纹波，关机纹波和RF包络边沿斜率。



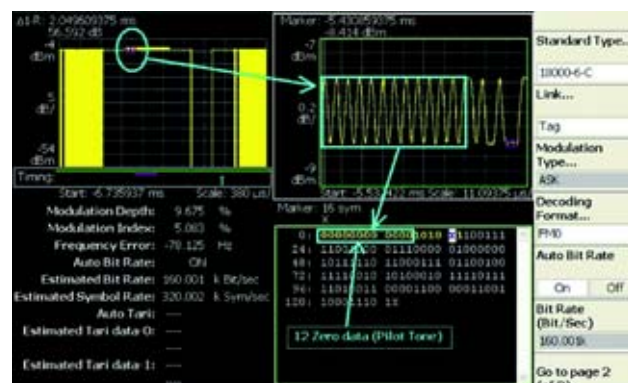
■ 图4-21. 通过“RF Envelop”键进行射频包络测量，如RF包络的开机和关机纹波、占空比和脉宽。

RTSA可以检定各种调制包络，包括DSB-ASK,SSB-ASK和PR-ASK。

Option 21 RFID Standard Measurements		Standard				
Menu	Measurement	ISO 18000-4 Model	ISO 18000-6 Type A	ISO 18000-6 Type B	ISO 18000-6 Type C	
Carrier	Carrier Frequency	✓	✓	✓	✓	
	GBW/BW	✓	✓	✓	✓	
Spurious	Ave. Power for Pwr. On	✓	✓	✓	✓	
	Spurious	✓	✓	✓	✓	
ACPR	ACPR	✓	✓	✓	✓	
Power On/Down	Transmission Power	✓	✓	✓	✓	
	Rise & Fall Time	✓	✓	✓	✓	
	Settling Time	✓	✓	✓	✓	
	Over/Under Shoot	✓	✓	✓	✓	
	Off Level	✓	✓	✓	✓	
RF Envelope	On/Off Width	✓	✓	✓	✓	
	Duty Cycle (%)	✓	✓	✓	✓	
	On/Off Ripple	✓	✓	✓	✓	
	Rise Time	✓	✓	✓	✓	
	Fall Time	✓	✓	✓	✓	
Constellation	Modulation Depth	✓	✓	✓	✓	
Eye Diagram	Modulation Index	✓	✓	✓	✓	
Symbol Table	Frequency Error	✓	✓	✓	✓	
	Bit Rate (Measured)	✓	✓	✓	✓	
	Tari Length (0 & 1)	✓	✓	✓	✓	
	Indicate Preamble	✓	✓	✓	✓	
Marker	Turn Around Time	✓	✓	✓	✓	

为简化协议传输跟踪工作，RFID软件用索引号标记各个突发。分析仪进一步把突发划分成包络编号，在细节画面中显示各个符号参数。

RTSA还可以解调与终端查询有关的符号或码。用户只需选择相应的RFID标准、调制类型和解码格式。分析仪可以自动检测和显示链路的位速率。为进一步增强工程师的生产效率，恢复的数据符号根据功能标上色码。RTSA自动识别前置码，并把这些符号的颜色变成黄色。这就可以简便地识别实际数据净荷，并与已知值进行比较。



■ 图4-22. RTSA解码符合ISO18000-6-C的标签应答数据，并用黄色标记前导部分。

## 应用案例集—RFID

### ■ 应用指南

#### 4.1.9 对专有的 RFID 通讯方案的符合性测试

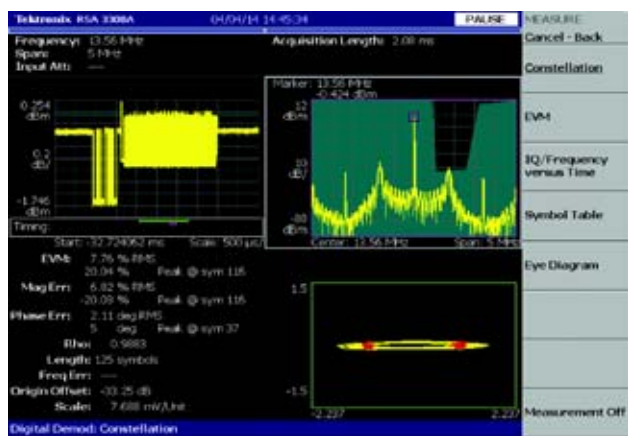
许多 RFID 设备采用为特定市场应用优化的专有通信方案。RTSA 提供了各种灵活的调制测量，可以使用手动配置的测量来测试专有系统。该仪器允许用户定义调制类型、解码格式和数据速率。可以设置频率对系统进行测试，包括低频(LF)频段(125kHz – 135 kHz)，高频(HF)频段(13.56 MHz)，超高频(UHF)频段(868 – 928 MHz)，甚至包括微波段(2.45 GHz、5.8GHz)。

RTSA全面的通用调制测量功能支持许多调制类型，其数据速率可以高达51.2 MBPS。此外，它支持多个解码方案，使其成为专有 RFID 或 NFC 系统的理想工具。

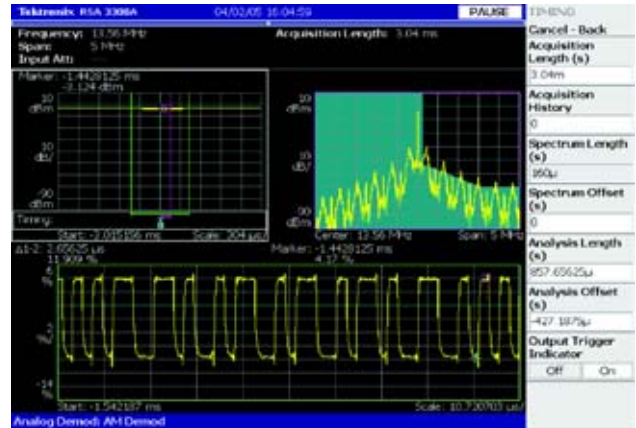
Modulation		Decoding
ASK	GFSK	Manchester
DSB-ASK	BPSK	Miller
SSB-ASK	QPSK	Miller (M-2, M-4 & M-8)
PR-ASK	1/4 $\pi$ QPSK	Modified Miller
OOK	OQPSK	FM0
FSK	8PSK	PIE (Type A or C)
GMSK	16 – 256 QAM	NRZ-L

■ 图4-23.通过可以配置的广泛的调制和解码选项,支持各种专有的 RFID 或 NFC 应用。解码选项根据调制类型变化,RTSA 支持许多流行的组合。

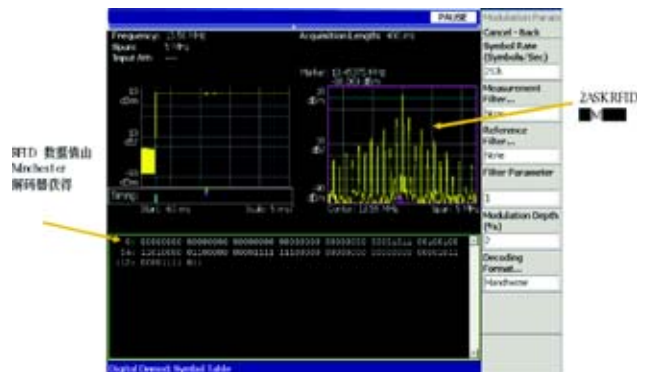
图 4-24 至 4-26 显示了 RTSA 通过加装 OPT21 选件对 RFID 信号进行解调,能够观察信号的星座图、眼图 IQ/频率 / 符号表和测试 EVM 等调制参数。



■ 图4-24.RTSA对RFID信号解调,查看星座图和EVM等参数。



■ 图4-25. RTSA对RFID的ASK调制信号解调,分析ASK调制的时间序列。



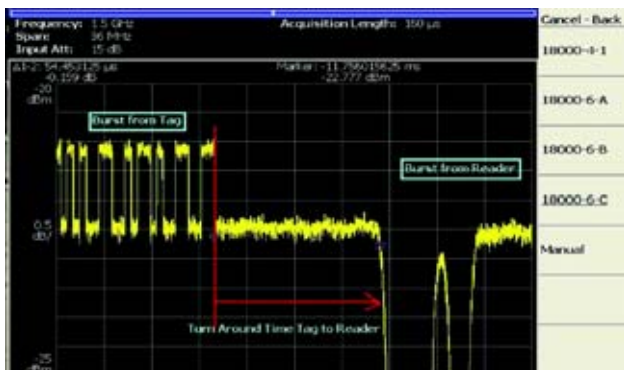
■ 图4-26. RTSA对RFID信号进行解码,列出符号表

#### 4.1.10 利用 RTSA 对 RFID 系统进行优化

一旦满足基本规范,非常重要的一点是优化 RFID 产品的部分功能,在特定细分市场中获得竞争优势。RTSA 特别适合最大限度地提高系统性能,同时最大限度地减少工程师实现所需目标必需完成的工作。

其中一个实例是优化一定时间内可能的终端读取数量。这可以提高整体系统容量,使其更能吸引高利润大批量应用。使容量达到最大的一个重要要素是使每个终端应答的双向时间(TAT)达到最小。提供的 RF 功率、路径增益和符号速率变化可能会延长终端回复询问器查询所需的时间。回复越慢,阅读多个终端所需的时间越长。能

够迅速测量半双工系统的双向时间对优化性能至关重要。RTSA 可以简便地测量 TAT(TURN AROUND TIMING)。首先, 询问器和终端之间的整个查询捕获到分析仪中。在选择符号表的解调模式下, 在视图定义窗口中, 用户把 RTSA 设置在子窗口中显示功率随时间变化。然后使用视图选择和标度键, 把子窗口放大到终端反向散射的波形部分。根据惯例, 从下行传输(R=>T)结束到下一个下行传输开始之间的时间是半双工系统的双向时间或 TAT。因此, 通过把标尺放在终端询问末尾, 把第二个增量标尺放在反向散射末尾或下一个询问器数据传输开始, 可以精确测量双向时间。在最宽的下行条件范围内保持最短的 TAT, 有助于使系统吞吐量达到最大。



■ 图4-27. RTSA对标签到读写器之间的轮询时间(TAT, Turn Around Timing)进行测量。

优化通信通常要求全面诊断, 校正可能影响系统性能的问题。许多传统信号分析仪不能简便地提供调试复杂的 RFID 系统所需的诊断信息。如果没有 RTSA 一流的频率模板触发功能来可靠地捕获重要频谱、全面的 ASK 解调和专用 RFID 符号解码功能, 工作台上的工程设计效率可能会下降到不可接受的水平。这为解决快速发展的 RFID 行业中的灾难提供了一剂良方。

#### 4.1.11 使用 RTSA 进行预一致性测试

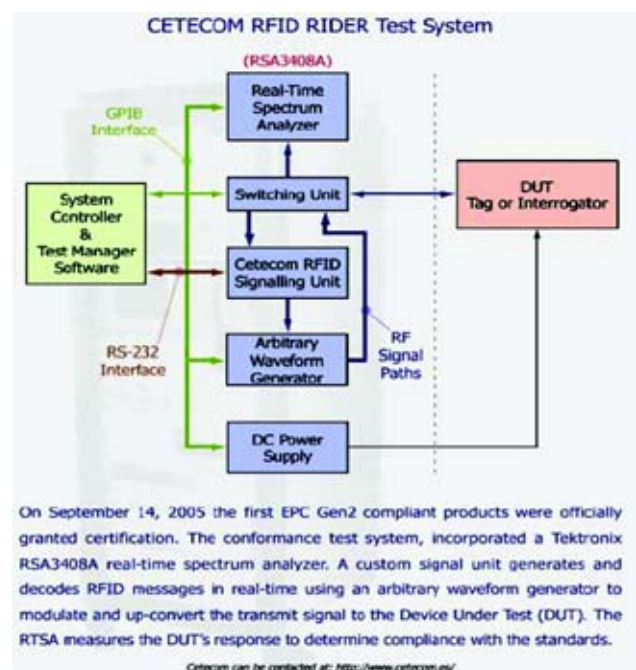
许多行业标准要求一致性认证, 以使用确保性能兼容能力的商标。每个审批标志对潜在客户都非常重要, 因为它提供了某些独立保证, 确保系统将能够与来自不同厂商的各种阅读器和终端正确运行。

一致性测试在很大程度上类似于一项公正客观的测试。如果准备充分, 可以获得令人激动的、回报巨大的感

受。如果准备不充分, 则可能感觉不会太好。遗憾的是, 在快速发展的 RFID 行业中, 一致性认证准备不充分最大的代价通常是丧失产品上市的机会成本。未能通过一致性认证测试、不得不重新安排另一次测试可能需要几周的时间, 导致最新推出的产品丧失大量的收入机会。

产品开发周期和销售收入丧失在很大程度上取决于是否正确准备好通过一致性测试。许多公司认识到这一点。在预一致性测试进行大量投入, 帮助保证在第一次就迅速通过测试。在设计离开公司前发现存在问题的成本要比在一致性认证实验室发现问题的成本低得多。通过高效的预一致性测试设备, 多用几天测试可以避免几周丧失收入的恶果。

经过认证的测试实验室通常使用量身定制的自动测试系统进行一致性测试。图4-28为 EPC GEN2 的一致性测试系统, 实时频谱仪家族中的 RSA 3408A 被应用在系统中。一致性测试通常要比典型工作台开发测试全面得多。如果测量速度太慢, 那么大多数工程师对设计进行穷尽测试所需的时间可能会变得没有意义。在这方面, RTSA 可以为工程师提供杰出的预一致性测试优势。



■ 图4-28. EPC Gen2 一致性综合测试系统

## 应用案例集—RFID

### ■ 应用指南

RTSA独特的RFID测量软件可以迅速检定许多关键行业规范要求。内置表格数据显示使得工程师能够迅速查找一致性问题。在传统的测试设备中,进行多项测量要求大量的人力,因此在逻辑上只可能检查一些点。RSA3408A可以高速进行测量,允许工程师进行近似穷尽的一致性测试。

大家已经看到,可以使用RTSA的RFID测量软件方便地单键设置许多重要的RF测量。能够迅速重新检查一系列指标,降低了在实际一致性测试出现大的失败的可能性。例如,在各种条件下认真进行预一致性测量可以测试询问器的数据突发开机、关机和RF包络纹波,帮助在认证过程中避免这些问题。

使用RTSA作为预一致性测量工具可望消除预一致性测量设备和一致性测量设备之间的测量算法误差。RSA3408A提供了测试行业内第一个专用RFID测量套件,并支持最多的RFID和NFC标准。这种领导地位使其迅速被各种RFID专家所采用,包括一致性测试实验室。通过使用RTSA进行多项测量,制造商的RFID产品将更有机会成功地通过一致性认证。

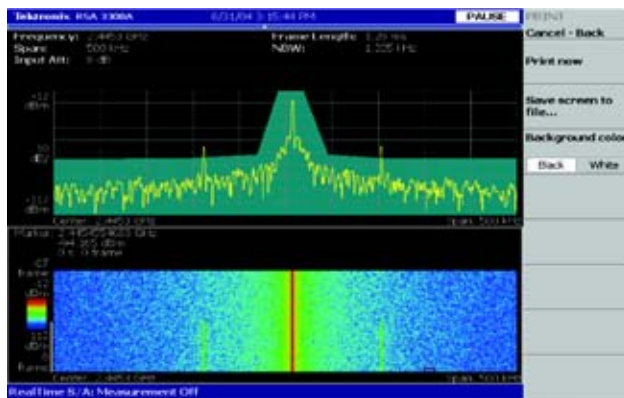
如果在一致性测试过程中发生问题,便于携带的单一产品RTSA可以迅速调试电路。一旦知道了一致性测试失败条件,RTSA的多域相关分析功能可以提供必要的洞察力,跟踪问题,直到根本原因。RSA3408A可以帮助工程师迅速识别问题,在一致性测试工作中救急。这可以防止使用过时、低效的测试设备时发生的冗长的复发问题。

#### 4.1.12 RFID系统的互通性测试

RFID设备满足标准,但安装到实际工作环境中,往往受到各种因素的干扰导致不能工作或效能下降。如何发现多个RFID设备之间的互扰并优化RFID系统的布局,如何发现并找到环境中的干扰,如何合理地安装屏蔽材料,也是RFID厂商面临的重要问题。实时频谱分析仪独有的DPX数字荧光显示技术和FMT(频率模版触发)能够帮助工程人员解决这些问题。

首先,实时频谱仪把良好的实时特性和动态范围完美平

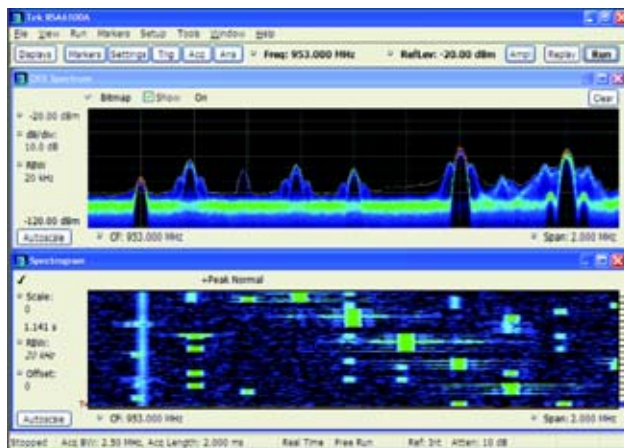
衡,帮助工程师了解实际安装环境中的电磁场情况,利用频率模板触发发现并捕获稳态和瞬态的干扰信号。



■ 图 4-29. 利用频率模板触发捕获瞬态干扰信号

其次,利用强大的触发功能,通过一定间隔和时间长度连续捕获数据,可以解析所有通道的载波侦听、发送控制等标签与读写器间的详细通信情况,用以了解标签混乱等RFID设备间的互扰问题。

第三,DPX数字荧光显示技术使得工程人员能够实时观测RFID系统,容易地掌握所有通道的读写器及标签的情况。如观察同频的读写器信号和标签信号工作情况,通过观察信号边带的瞬态变化判断读写器的干扰特性,监测通道占用,发现瞬态干扰情况。

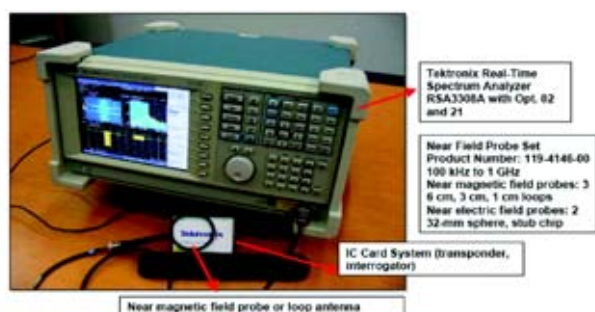


■ 图 4-30. 实时观测 RFID 系统各通道情况



#### 4.1.13 针对 RFID 测试的实时频谱仪配置

仅仅一台泰克实时频谱分析仪加上 RFID 专用测试选件 (OPT.21)、256M 深内存并频率模板触发选件 (OPT.02) 和近场探头 (或天线) 就能够组成标准符合性测试系统, 将天线置于标签和读/写器之间可以满足实时动态测试。图 5-31 为实物配置图。图 5-31 RFID 测试实物配置。



■ 图 4-31. RFID 测试实物配置

RSA6100 系列具备 DPX 数字荧光显示技术, 配合离线分析软件和高性能天线, 不仅仅能够完成 RFID 信号标准符合性测试, 同时更是互通性测试的完美工具。



RSA6114A 型 (9kHz ~ 14GHz)

#### 小结

RFID 行业涵盖了各种各样的技术和应用, 其中许多技术和应用不同于典型的通信链路。最新国际 RFID 标准要求完善的 FHSS 信号、由 ASK 调制构成的瞬变半双工 RF 突发及不同寻常的编码和强健的反冲突协议。为减少对精细测量设置的需求, 简化用户接口, 简便获得诊断洞察力, 泰克推出了配有 RFID 分析软件的 RTSA 系列实时频谱分析仪。

通过第一个完善的 RFID 分析软件包, 实时频谱分析仪支持各种流行的国际 RFID 标准。这一功能大大加快了开发诊断、预一致性测试和生产检查工作。此外, RFID 分析软件包全面支持时间相关多域测量, 改善了调试评估的可靠性。最后, 实时频谱分析仪独有的频率模板触发和 DPX 数字荧光显示技术为 RF 信号提供了直观独特的观测手段, 为 RFID 系统在现场安装中的优化提供了无以伦比的工具。

要求解调 DSB-ASK, SSB-ASK 和 PR-ASK 及对每种支持的格式要求必要的符号解码的测量标准, 现在在 RTSA 上只需按一个键就可以简便完成。这大大增强了工程设计效率, 同时缩短了产品开发周期。RTSA 还可以帮助工程师进行传统扫频分析仪或矢量信号分析仪不能完成的或要求精细耗时的测试调谐的 RFID 测量。不管是调试在开发阶段面临的问题、满足政府频谱法规、通过一系列预一致性测试、准备进行产品认证、安装优化、还是发现排除干扰, 泰克实时频谱仪都为 RFID 厂商提供了理想的解决方案。

## 应用案例集— RFID

### ■ 应用指南

# 欧姆龙公司采用实时频谱分析技术监测RFID标签和读写器之间的通信

明确识别空中发生的问题，帮助加快开发速度



#### 解决方案摘要

**挑战\*\*** 不能在空中动态测量 RFID 终端与读卡器 / 写入器之间的信号随时间变化，很难识别哪里发生了通信问题。

**解决方案\*\*** 在标签和读写器之间放置一部天线。使用实时频谱分析仪测量信号随时间变化，而不是使用扫频分析仪进行稳态测量。

**优势\*\*** 通过了解 RF 调制信号怎样随时间变化，可以迅速识别错误及其成因，成功地加快开发周期。\*\*

### 从工厂自动化直到分销领域的 RFID 应用

欧姆龙公司(总部位于日本京都)是传感和控制领域中的一家重要的公司。从中继器和传感器到工厂自动化、控制系统和公共交通系统，欧姆龙提供了各种产品。该公司还生产医疗设备，如血压计和低频治疗设备。欧姆龙是最早进入 RFID (射频身份识别)应用的企业之一，提供分销和工厂自动化中使用的广泛的一系列产品。

欧姆龙公司是著名的全面支持标签和读写器的为数不多的制造商之一。此外，欧姆龙拥有许多不同的专利技术，如使用超声波熔接标签内部的芯片和天线，从而在把引入线层压到卡中时，最大限度地减少热冲击导致的电源阻抗变化。

### 难于测量的通信系统

许多系统中使用 RFID，在标签和读写器之间通信，其中标签可以采用不同的形式(如插卡形式)。在这些系统中，必需能够在发送方向和接收方向上在通信设备之间进行测量。除必需进行测量、以确定连接能力和数据可靠性外，还必需进行测量、以确定是否符合不同国家中与电磁波使用有关的法律和法规要求。由于多种原因，RFID 系统很难测量。其中一个原因是在 RFID 系统中，读写器不仅要为标签供电，还要进行信号轮询，然后标签响应轮询。由于在这种集成系统中以这种方式实现通信，因此很难隔离标签或读写器进行测量。此外，由于大多数标签只有芝麻粒大小，并内置芯片和天线，因此不允许接入标签电路内部的测量点，这进一步提高了测量难度。

### 空中导致的问题

RFID 系统中使用的载频和调制方案取决于应用类型。有许多不同的频率和调制方法，每种频率和调制方法都要求特定类型的测量技术。对信号可能瞬间变化的情况，如脉冲式 RF 信号或跳频系统中的载频，不可能使用传统扫频分析仪进行精确的有意义的测量。



Kazuhiro Kudoh 先生  
欧姆龙 RFID 业务拓展经理

据欧姆龙 RFID 业务拓展部技术经理 Kazuhiro Kudoh 介绍,“我们被迫使用传统扫频分析仪进行稳态测量。我们还不得不使用来自读写器的输出信号,分析通信协议。在发生问题时,我们很难确定哪里发生了问题,比如是在空中、在天线中、在 RF 电路中、在基带中还是在协议中。”此外,在分销应用中,标签和读写器之间的距离变得非常大,因此来自其它标签的噪声或干扰成为必须解决的问题。鉴于采用了对于干扰特别敏感的子载波等技术,必需能够确定实际操作过程中通信状态的动态变化。

### 唯一的解决方案

为解决这个问题,Kudoh 希望找到“一个频谱分析仪,能够实时动态测量空中实际发生的现象,确定出现的问题。”他开始咨询多家专业从事无线频率测量的公司。结果是“只有泰克拥有可以满足我们所有要求的分析仪、并给我们答复的公司。”泰克 RSA 系列实时频谱分析仪全面满足了 Kudoh 的需求。

RSA 不仅能够把信号中的实时瞬态变化捕获到存储器中,还可以在频域、时域和调制域中同时进行信号的时间相关分析。Kudoh 在选型时想,“就是它了。”泰克实时频谱分析仪可以从读写器轮询信号和标签响应中采集详细的信息,因为它能够清楚地识别其它设备瞬时发生的杂散噪声或干扰。能够作为波形捕获和直接测量 ASK(幅移

键控)调制信号提供了特别高效的轮询分析能力,这是 Kudoh 希望得到的重要功能。“我们还考虑在 RFID 评测系统中使用这一功能,其中实时频谱分析仪将作为真实空间的调制信号解码器使用。”

在 RFID 技术开发中,欧姆龙公司已经从采用能够分析稳态信号的传统扫频分析仪,演进到使用泰克能够分析随时间变化的 RF 信号的实时频谱分析仪。据 Kudoh 介绍,“RSA 系列实时频谱分析仪能够指明标签和读写器之间通信期间发生的问题,加快了欧姆龙的 RFID 产品开发进程。”

### 欧姆龙 V720 系列 RFID 系统



- 标签插入线 – V720S-D13P01
- 读卡器 – V720S-BC5D4
- 架空线 – V720-HS03

# 日本 UHF 频段 RFID 现场互通性测试报告

## 目录

第1章 本项目概要	166
1-1 本项目的背景和目的	166
1-2 项目的内容及实施方法	167
1-3 实施项目的体制	168
第2章 了解UHF频段电子标签系统相互干扰特性并研究使用方法	168
2-1 避免临近时发生标签混乱	174
2-1-1 避免临近时的标签混乱(电波暗室编)	174
2-1-2 避免临近时的标签混乱(开放一侧编)	179
2-1-3 总结	182
2-2 确保载波侦听等待的实时性	182
2-2-1 通过载波侦听等待确保实时性(电波暗室编)	182
2-2-2 通过载波侦听等待,确保实时性(开放一侧编)	186
2-2-3 总结	189
2-3 低频-高频在一起的影响	190
2-3-1 低频-高频在一起的影响(电波暗室编)	191
2-3-2 低频-高频在一起的影响(开放一侧编)	196
2-3-3 总结	197
2-4 关于UHF频段被动性RFID的配置密度和等待时间	198
2-4-1 相互干扰模拟器	198
2-4-2 关于传送模式	200
2-4-3 关于高密度读写器的发送迟延	200
2-4-4 总结	203

第3章 UHF频段电子标签的使用方针	204
3-1 关于颁布UHF频段电子标签使用方针的背景和目的	204
3-2 UHF 频段电子标签系统的基础知识	204
3-2-1 UHF频段电子标签系统	204
3-2-2 兼容条件	204
3-2-3 安装UHF频段电子标签系统的注意事项	205
3-2-4 现场使用UHF频段的注意事项	205
3-3 UHF 频段电子标签系统的使用规则	207
3-3-1 UHF频段电子标签系统可以使用的最小限度的发送输出	207
3-3-2 UHF频段电子标签系统可以使用的最小限度的发送时间	207
3-4 UHF频段电子标签的方针	208
3-4-1 门模式	208
3-4-2 传送频段模式	209
3-4-3 低频型UHF频段RFID读写器	211
3-5 今后的研究课题	211
3-5-1 密集安装读写器造成的相互干扰	211
3-5-2 继续进行有关相互干扰的实际验证测试	212

# 应用案例集—RFID

## ■ 应用指南

### 第 1 章 本项目概要

#### 1-1 本项目的背景和目的

根据 2005 年 4 月修订的总务省(“总务省”相当于中国的国务院办公厅)省令,日本国内通信距离或通信范围可以使用比以往 13.56MHz 或微波频段的标签更好的 950MHz 频段的 UHF 频段电子标签。由于需要继续解决读写器之间的干扰等问题,后由总务省 UHF 频段电子标签系统工作组继续审议,自 2006 年 1 月起,实施了包括防止干扰

等技术内容的省令。

社団法人日本自动认识系统协会(JAISA)根据上述修订的省令,在 2005 年度经济产业省委托的“关于 UHF 频段电子标签系统的广泛使用、普及促进调查研究”的项目中,调查了 UHF 频段电子标签系统不同厂家间的干扰,评估了相互干扰模拟器,制定了 UHF 频段使用电子标签的规则。其概要性结果,参见图表 1-1 所示。

项目	内容以及成果项目
了解不同厂家间的干扰	<ul style="list-style-type: none"><li>在电波暗室以及开放一侧测试; →有防止干扰技术,了解不同厂家间的干扰情况; 载波侦听方式实现在不同厂家间协议环境下分配源; 多个读写器距离近的时候,有时需要选择适当的通道。</li></ul>
对相互干扰模拟器进行评估	<ul style="list-style-type: none"><li>了解读写器发送性能、标签读取性能的决定要素 →制定不同厂家间防止干扰的措施 在同一通道载波侦听有效 决定临近通道选择通道的优先程度 通过遮蔽等措施防止干扰波 选定抗干扰强的标签等</li></ul>
制定指标	<ul style="list-style-type: none"><li>对于相互干扰测试中的课题采取的措施 →现场采用该措施及编制现场采用时的注意事项 安装多个读写器及电波吸收体的方法等</li></ul>

■ 图表 1-1. 2005 年度实施的调查研究的概要

但是,仓库内或物流中心内等狭窄的地方,在不同厂家的环境下使用 UHF 频段电子标签系统时,关于 2005 年度的测试中指出的关于标签混乱<sup>1</sup>和实时性<sup>2</sup>的技术问题,估计还会频繁出现读取不正常的情况,而且还未能制定出彻底的解决方案。

因此,2006 年度实施的本项目的目的是为了将来真正普及 UHF 频段电子标签系统,根据实际的使用环境条件,了解其特性,最大限度地发挥不同厂家的设备在一起时的性能,建立高度的使用模式的同时,研究所需要的方针或规则,推进 UHF 频段电子标签系统的普及。

### 1-2 项目的内容及实施方法

为了了解 UHF 频段电子标签系统的相互干扰特性以及研究其使用方法，在物流仓库等方面，本年度在①货场的进出场管理和②高速传送带上的物流管理的两个场地的使用方面，进行了以下工作。

#### (1) 用读写器 / 标签，进行实际验证

实际使用各公司销售或开发中的 UHF 频段电子标签用的读写器和电子标签，在电波暗室，按照基础测试和实际的物流环境进行了如下实际验证：

- ① 确认读写器临近时的标签混乱的技术问题并研究解决的措施；
- ② 确认由于等待载波侦听导致实时性欠佳的技术问题并研究解决的措施；
- ③ 确认低频之间、低频和低频在一起时的技术问题并研究解决的措施。

#### (2) 使用相互干扰模拟器进行模拟

对于不能进行上述测试的读写器，使用相互干扰模拟器，解析了由于读写器配置密度和干扰造成的平均延迟时间。

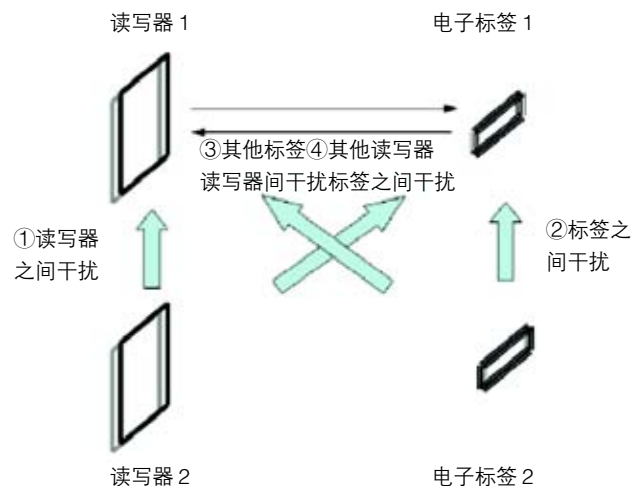
#### (3) 制定 UHF 频段电子标签的使用规则和方针

根据上述结果，制定了 UHF 频段电子标签系统适用上述物流场地时的使用规则和方针。

##### ·<sup>1</sup> 关于标签混乱

如图表 1-2 所示，干扰的种类有 4 种。其中，④由于临近读写器的影响，造成标签上通信不良的，称为标签混乱。

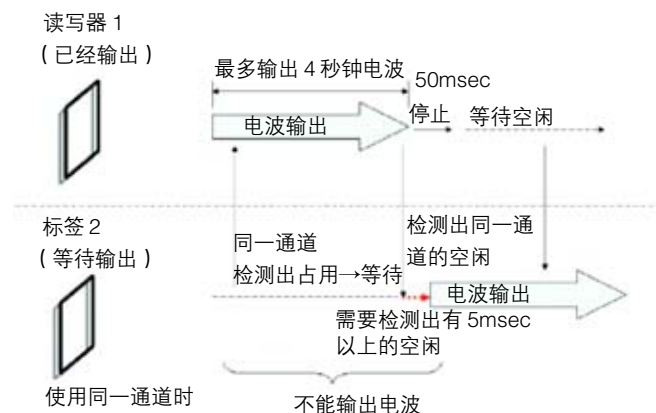
微细的 IC 芯片和天线的单纯构成的电子标签自身，屏蔽环难以躲避干扰，一般认为很难防止标签混乱。



■ 图表 1-2. 干扰的种类

##### ·<sup>2</sup> 关于实时性

现在，日本的电波法规定，UHF 频段电子标签读写器输出电波时，需要先确认使用的通道空闲后才能输出。这称之为载波侦听或 Listen Before Talk (LBT)。如图表 1-3 所示，在高速传送带上，高频读写器实时读取电子标签时，临近的读写器如果使用同一通道，有时读写器不工作。



■ 图表 1-3. 载波侦听 (LBT)

# 应用案例集—RFID

## ■ 应用指南

### 1-3 实施项目的体制

瑞穗情报综合研究株式会社

社团法人日本自动认识系统协会  
主任研究员 高桥 毅  
主任研究员 中火田宽

RFID 专门委员会  
委员长 坂下 仁 (LNTEC 株式会社)  
副委员长 立石 俊三 (欧姆龙株式会社)  
副委员长 今泉 清 (大日本印刷株式会社)

UHF 频段工作组  
组长 龟丸 敏久 (三菱电机株式会社)  
副组长 深井 贵 (株式会社日立制作所)  
副组长 落合 孝直 (富士通株式会社)

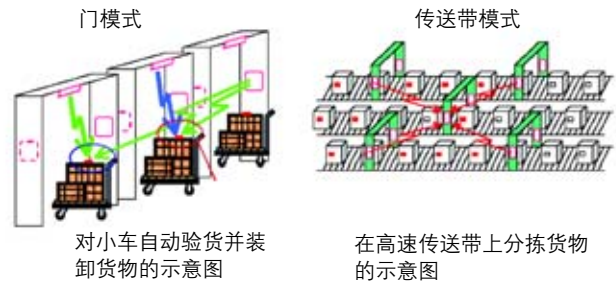
本项目实施	测试副工作组 组长: 西川 浩司 (三菱电机株式会社) [参加的企业、团体] 三菱电机株式会社 株式会社日立制作所 富士通株式会社 松下电器产业株式会社 OKABE MARKING 株式会社 欧姆龙株式会社 株式会社佐藤 夏普株式会社 株式会社电装 WAVE 东芝泰格株式会社 东丽株式会社 株式会社日本信息系统 MIGHTY CARD 株式会社 株式会社大福 庆应义塾大学 SFC 研究所	协力 (观察员) 霓达株式会社 日本泰克科技株式会社
-------	--	----------------------------------

### 第2章 了解UHF频段电子标签系统相互干扰特性并研究使用方法

本项目的目的为了解决2005年度经济产业省委托项目“关于促进UHF频段电子标签系统广泛使用、普及的调查研究”中指出的在仓库内或物流中心内等狭窄的地方,不同厂家环境下使用UHF频段电子标签系统时的标签混乱(其他系统的读写器对本系统电子标签的干扰)和实时性欠佳的技术问题,并提出解决方案。另外,还需要掌握2005年度未能测试的高频读写器和低频读写器在一起时的影响情况。

这里,为了将来真正普及UHF频段电子标签系统,要掌握实际的使用环境,让不同厂家设备在一起时,建立高性能的使用模式。同时,还研究了相关规则。

此次作为研究对象的使用模式,假设了物流、仓库实际的使用环境,从流通中心或物流中心的入口到出口的各种作业区域,设定了进货时从小车卸货后,进货验货时的读取标签,以及装箱时传送带读取的“门模式”和“传送带模式”的2种模式。



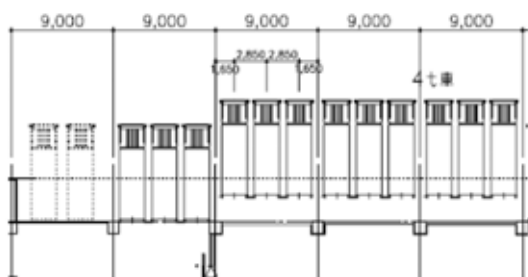
■ 图表 2-1. 实际使用时的示意图

另外,从事物流、仓储业务中用的物料输送设备的株式会社大福举了一个实际使用模式的例子,表示从小车落地到进货时验货的门模式(图表 2-2、图表 2-3)和分拣进货物品的传送带模式(图表 2-4, 图表 2-5)。



容器装载数	20~25 (最多 50) 容器
门宽度	2500mm
门间隔	350mm
门高度	1800mm
门的数量	3~5 台
传送速度	时速 4 公里

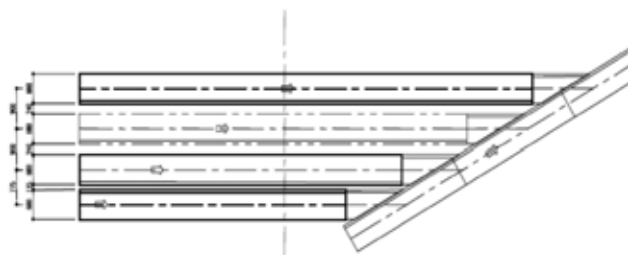
■ 图表 2-2. 门模式



■ 图表 2-3. 小车落地间隔 (例)

传送带初速度	分速 10 米~分速 30 米
分拣用传送带速度	分拣用传送带速度
货物间隔	1 米以内
传送带间隔	最少 115mm

■ 图表 2-4. 传送带模式

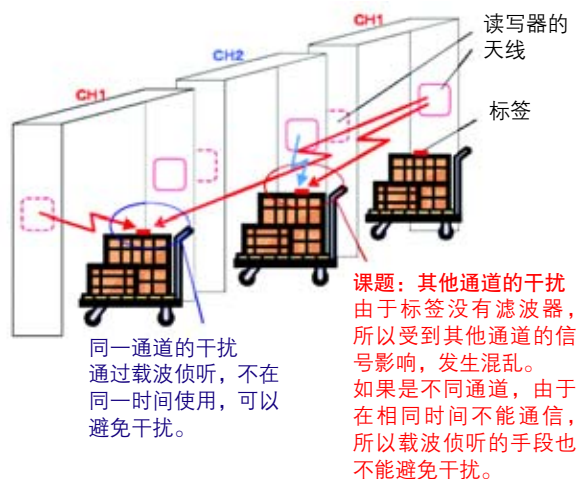


■ 图表 2-5. 传送带配置间隔 (例)

为了研究不同厂家环境下使用 UHF 频段电子标签系统的对策,按如下所示,对课题和模式的关系作了如下定位。

### ①防止标签混乱

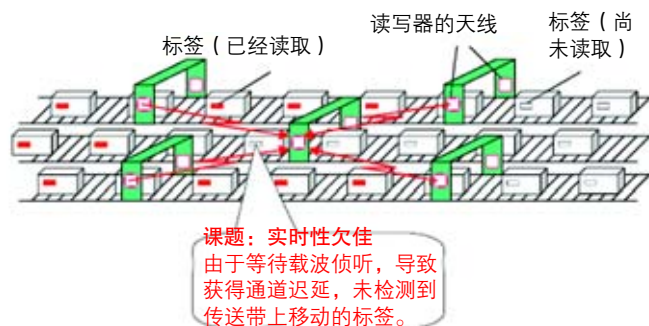
设想大量的物品从多个小车卸下,同时通过多个读取门(图表 2-6),使用门模式验证是否防止了相邻格子间的标签混乱。



■ 图表 2-6. 门模式时的标签混乱

### ②确保实时性

假设到货接收后,物品上贴着标签,在传送带上传送(图表 2-7),读写器读取标签。这样,用传送带模式验证了临近设定的读写器之间的实时性。



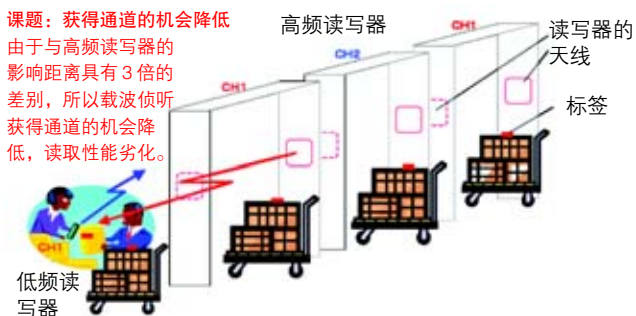
■ 图表 2-7. 传送带模式的实时性欠佳

## 应用案例集—RFID

### ■ 应用指南

#### ③ 高频读写器、低频读写器在一起的影响

通过读取门后,假设为了确认商品,在门附近使用低频读写器(手持终端)(图表 2-8),用门模式,验证了高频读写器和低频读写器在一起时的影响。



■ 图表 2-8. 门模式时高频读写器、低频读写器在一起的影响

#### • 电波暗室

	1月													
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
	—	二	三	四	五	六	日	—	二	三	四	五	六	日
防止标签混乱														
确保实时性														
高频、低频在一起														
公开测试														

#### • 开放一侧 (在株式会社大福的“日新馆”)

	2月													
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	—	二	三	四	五	六	日	—	二	三	四	五	六	日
防止标签混乱														
确保实时性														
高频、低频在一起														
公开测试														

■ 图表 2-9. 测试日程

另外,关于读写器配置的密度更高时的实时性问题,用相互干扰模拟器,分析了读写器的配置密度和平均延迟时间。

并且,进行了验证试验,把在电波暗室采取的基础数据与开放一侧的实际物流环境进行了对比。

此次测试用的读写器以及标签的概要如下所示。

公司名称	株式会社电装 WAVE	株式会社电装 WAVE	富士通株式会社	MIGHTY CARD 株式会社
读写器 商品型号	UR-400 读写器、天线分离型	BHT-232QWU-CE 读写器、天线一体型	TFU- 读写器 526 CF 型读写器	XR480-JP 读写器、天线分离型
产品形态	安装类型	手持终端	CF 型 (安装在 MultiPad 「FHT401SB1」 上, 作为手持型使用)	安装类型
频率	952-954MHz	952-955MHz	952-955MHz	952-954MHz
发送输出	最多 30dBm (4 挡切换)	最多 10dBm	~ 10mW	30dBm(19 挡切换)
外形尺寸 (W × H × D) mm	300 × 215 × 56	90 × 186 × 175 (D) × 20(H)	48(90) (W) × 43(52) (D) × 20(H) ※( ) 内包括突起部分 ※( ) 只是 CF 部分	300 × 220 × 50
天线商品形式	UR-A200 ( 直线偏波 ) UR-A210 ( 右旋圆偏波 )		内置	SANT700
偏波	圆偏波 / 直线偏波	直线偏波	直线偏波	圆偏波 ( 右旋转 / 左旋转 1 对 )
外形尺寸 (W × H × D) mm	200 × 200 × 46			717 × 317 × 38

公司名称	株式会社 日立制作所	夏普株式会社	三菱电机株式会社	株式会社日本信息系统
读写器 商品型号	HE - MU384- 读写器 H001 读写器、天线分离型	RI-2TR4U 读写器、天线分离型	RF- 读写器 001 读写器、天线分离型	U4224SI 读写器、天线分离型, 4 通道
产品形态	壁挂型	安装类型	安装类型	安装类型
频率	952-954MHz	952-954MHz	952-954MHz	952-954MHz ( 可设定 1~9 通道 )
发送输出	30dBm	36dBm ( 6 挡切换 )	30dBm	28、5dBm ( 1dB 单位可变 )
外形尺寸 (W × H × D)mm	351 × 240 × 80	135x196x67	200 × 360 × 50 橡胶腿、插头部分除外	150 × 200 × 30
天线 商品形式	HE - MU384-A001	RI-1AT1U 左旋圆偏波	RF-ATCP001 左旋圆偏波	0015-804 右旋圆偏波, 7、5dBi 0015-803 直线偏波, 7.5dBi
偏波	圆偏波	左旋圆偏波	圆偏波	圆偏波 / 直线偏波
外形尺寸 (W × H × D)mm	168.5 × 168.5 × 32	214x214x36	212 × 212 × 28	203 × 203 × 25 SMA 插头

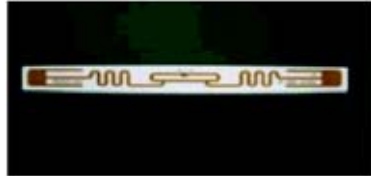
■ 图表 2-10. 读写器以及标签的概要

## 应用案例集—RFID

### ■ 应用指南

公司名称	欧姆龙株式会社	株式会社佐藤	Okabe marking 系统株式会社	东芝泰格株式会社
读写器商品型号	V750-BA50C04-JP 读写器、天线分离型	SR412-RFID ( UHF ) UHF 频段标签打印机	9355RFMP 支持 RFID 打印机	B-SX5T-TS15 ( 自选 RFID )
产品形态	安装类型	组装在打印机里	内置 RFID 调谐器	标签打印机
频率	952-954MHz	954-955Mhz	952-954MHz	952-954MHz
发送输出	28.5dBm(3 挡切换)	10mW	10dBm 以下	26.8dBm( 9挡切换 )
外形尺寸 (W × H × D)mm	246 × 215 × 43.5	宽度 271mm × 高度 35mm × 进深 455mm	318 × 330 × 439 ( 打印机 )	291 × 308 × 460
天线商品形式	V750-HS01CA-JP	内装打印机部	打印机厂家的原装天线	-----
偏波	右旋圆偏波	直线偏波	直线偏波	-----
外形尺寸 (W × H × D)mm	256 × 256 × 57	-----	※因为是内置型，所以省略	-----

公司名称	松下通信系统设备株式会社
读写器商品型号	KU-U1600JA 读写器、天线分离型
产品形态	安装类型
频率	952-954MHz
发送输出	27.5dBm (7 挡切换)
外形尺寸 (W × H × D)mm	232 × 284 × 32mm
天线商品形式	KU-U19010 右旋圆波
偏波	圆偏波
外形尺寸 (W × H × D)mm	214 × 214 × 36mm

公司名称	东丽株式会社
使用的芯片	ALIEN GEN2 Higgs
外形尺寸 (W × H × D)mm	97mm × 11mm
外观图 标签	

使用 ALIEN GEN2 Higgs IC

- 能应用于全世界的 UHF 频段频率 860 - 960MHz
- 包括含有金属、水在内的几乎所有产品用的标签
- 尺寸 97mm × 11mm

另外,此次测试为了观测来自于读写器的大功率的发送信号和来自于电子标签微弱的应答信号有无发生标签混乱,日本泰克科技株式会社提供了高性能频谱分析仪。

并且,露达株式会社提供了对于降低附近读写器电波干扰很有效果的、而且容易安装的电波吸收体。

以下就是此次的测试使用的频谱分析仪和电波吸收体的简介。

### ① 频谱分析仪

此次测试为了观测来自于读写器的大功率发送信号和来自于电子标签的微弱应答信号有无发生标签混乱,使用了动态范围的宽、高性能的实时频谱分析仪。(图表 2-11)另外,使用live频谱显示功能,实时显示通道的获取状况等信息,观测了获取通道成功/失败的情况。

#### RSA6114A 型 实时频谱分析仪

##### 特点

- 通过live频谱显示,可以实时并且容易地掌握所有通道的读写器及标签的情况;
- 通过每 5MHz 间隔、41 秒钟连续捕获数据,解析所有通道的载波侦听、发送控制等标签与读写器间的详细通信情况
- 在高感度 -170dBm/Hz (Typ.), 掌握其他区域的读写器信号等
- 测量读写器及标签在突发特定区间的有效全向辐射功率 (EIRP)
- 将读写器及标签突发信号设置在特定通道
- 按照 ISO 18000-6-C 的规定, 解析各种详细的调频



RSA6114A 型 (9kHz~14GHz)

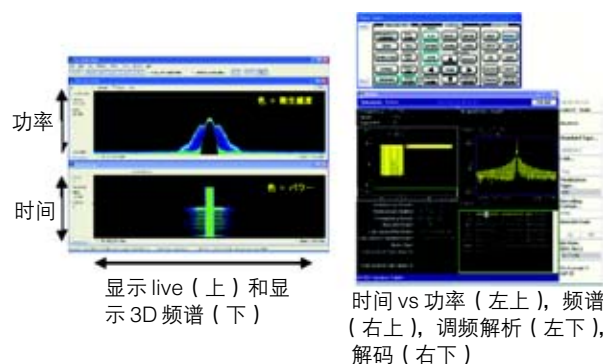
#### RSA3408A 型 实时频谱分析仪

作为辅助设备使用



RSA3408A 型 (DC~8GHz)

#### 画面示意图



■ 图表 2-11. 使用的频谱分析仪

## 应用案例集—RFID

### ■ 应用指南

#### ②电波吸收体

此次测试使用了图案型电波吸收体（图表 2-12）。这个电波吸收体的特点在于不但可以保持UHF频段的高吸收性能，同时还可以保持以往电波吸收体的薄和轻的特点。

利用这个电波吸收体的特点，就可以在隧道门间等空间轻而易举地安装薄型自立式的隔断。另外，还可以用于以清晰的UHF频段电波空间为目的的隔断板、简易电波暗箱、传送带的隧道门通信。

品名	UHF 频段电波吸收隔断	外观照片
电波吸收面规格	单面电波吸收型（表面：电波吸收面；背面：屏蔽层）	
隔断外形尺寸、重量	905mm（宽度）× 1805mm（高）× 500mm（安装脚的宽度）× 14kg/1台（重量）	
结构、框规格	自立式隔断板 外部框：铝框	
电波吸收体规格	品名：图案型薄型电波吸收板 吸收性能（953MHz）： TE10° 15dB 以上 TE10° 15dB 以上 标准外形尺寸： 900mm（宽度）× 1800mm（长度）× 7.5mm（厚度） 吸收体重量： 7.5kg/900mm × 1800mm 标准尺寸 表面颜色和材质：浅灰、PET 胶片	

■ 图表 2-12. 使用的电波吸收隔断的规格

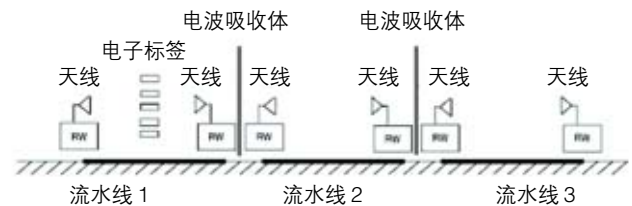
### 2-1 避免临近时发生标签混乱

多个读写器密集安装在一起，同时多个读写器发送息时，容易造成标签混乱。标签混乱指读写器发送到电子标签上的信息中，既有所需要的信息，又有干扰波，造成电子标签串线，不能准确地接收到所需要的信息。如果发生标签混乱，读写器就不能正常读取电子标签。此次测试时，先将电波反射少的电波暗室的电子标签系统的相互干扰假设为小车场等的门，安装读写器的天线，通过读取多个电子标签，实际验证了标签混乱的状况。其后，测试了接近实际的环境的开放一侧的相互干扰。

#### 2-1-1 避免临近时的标签混乱（电波暗室编）

此次的测试以 25 张电子标签为读取条件，使用通用的电子标签，测试用的读写器由 A 公司、B 公司、C 公司、D 公司的 4 家公司提供。

电波暗室的测试假设是小车场等的门，设备配置如图表 2-13 所示。



■ 图表 2-13. 设备配置图

通过图可以知道，通常都是每个流水线的两侧安装天线，切换天线读取电子标签。由于相同流水线上相对的天线是以时间分割来切换发射电波的，所以某个瞬间只考虑单侧即可。另外，由于降低流水线间干扰的电波吸收体是安装在流水线之间的，所以测试分为有电波吸收体时和没有电波吸收体时的 2 种。

门的尺寸条件（这个条件是参考门的一个例子）

门宽度：2500mm

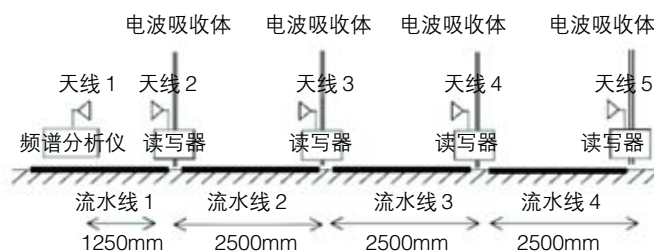
门间隔：350mm

门高：1800mm

### (1) 测量电场强度

读取电子标签之前，为了定量性地测量流水线间的干扰，测量了电场强度。测量电场强度时的设备配置，见图表 2-14 所示。

天线 1 配置在电子标签的位置，目的是测量电子标签的接收功率。天线 2 配置在自己一方的流水线，目的是测量所需信息的接收功率。天线 3~5 是其他流水线发射的干扰波信号。



■ 图表 2-14. 测量电场强度时的设备配置

另外，测量了对面天线的电场强度，由于使用了定向天线，所以对天线背面的电波放射较少。

	1 流水线	2 流水线	3 流水线	4 流水线	5 流水线
理论值	2.0dBm	-7.5dBm	-11.9dBm	-14.9dBm	-17.0dBm
无电波吸收体	3.2dBm	-3.4dBm	-9.9dBm	-14.9dBm	-19.8dBm
有电波吸收体		-17.4dBm	-35.3dBm	-38.2dBm	-41.6dBm
屏蔽效果		-14.0dB	-25.4dB	-23.3dB	-21.8dB

■ 图表 2-15. 电场强度测量结果

测量条件：读写器的发送输出为 36dBm e.i.r.p. (Effective Isotropic Radiated Power 有效全向辐射功率)；

接收天线 1 的增益为 6dBi；

理论值是从自由空间衰减量计算出来的。

图表 2-15 的理论值和没有电波吸收体的电场强度本应一致，但是之所以出现不同，有可能是地面的反射影响。通过图表 2-15 的结果，可以求出对标签的载波干扰比 (CIR Carrier to Interference Ratio)。其他流水线的干扰导致的载波干扰比，见图表 2-16 所示。

	2 流水线	3 流水线	4 流水线	5 流水线
无电波吸收体	6.6dB	13.1dB	18.1dB	23.0dB
有电波吸收体	20.6dB	38.5dB	41.4dB	44.8dB

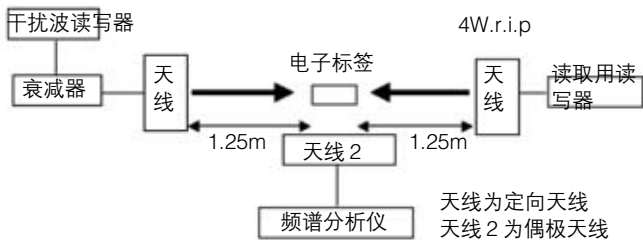
■ 图表 2-16. 每个施加干扰流水线的载波干扰比

## 应用案例集—RFID

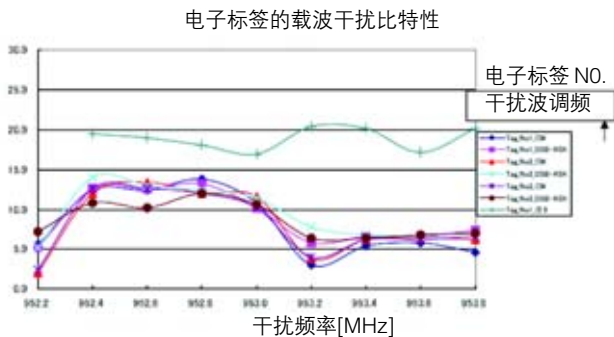
### ■ 应用指南

#### (2) 标签混乱的特性

测量了电子标签的发生混乱的载波干扰比。详见图表 2-17 的测量系统图。将读取电子标签用的读写器放在天线的视轴方向，将干扰波用的读写器放在天线的对面，将电子标签的附近安装的偶极天线连接在频谱分析仪上。用衰减器调节发送干扰波读写器的输出，测量了电子标签有无应答。慢慢地调高发送干扰波读写器的输出，直到电子标签没有应答时，测量读取电子标签附近电场强度的读写器和发送干扰波用的读写器，求出了载波干扰比。



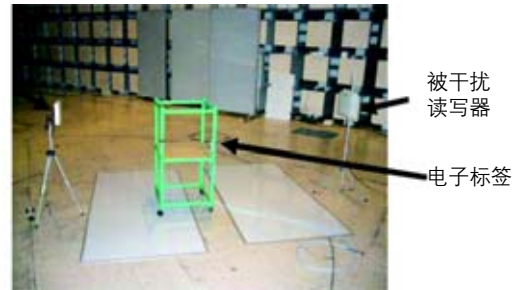
■ 图表 2-17. 测量标签混乱的系统图



■ 图表 2-18. 标签混乱时的载波干扰比特性

注 1 读取读写器的调频方式为 PR - ASK ( Phase Reversal-Amplitude Shift Keying 反相 - 振幅移位键控法 ) 干扰波调频为 DSB - ASK ( Double Side Band- Amplitude Shift Keying 单边带振幅移位键控 )

注 1 以外的读取读写器的调频方式为 DSB - ASK



■ 图表 2-19. 测试标签混乱的现场

#### (3) 读取电子标签的试验

##### (a) 试验方法

读取电子标签试验的设备配置图，参见图表 2-20 所示。电子标签为 25 张。电子标签贴在没有电波反射和吸收影响的泡沫塑料板上。贴的间隔为横间隔 200mm，竖间隔 80mm。

读取电子标签试验的参数是施加干扰读写器的距离( 流水线 )和被干涉读写器的读取通道和施加干扰读写器的发送通道之间有无间隔，以及有无电波吸收体。图表 2-20 的天线 1 是被干扰读写器的天线，天线 3~5 是施加干扰读写器的天线。虽然图表 2-20 标注的是到流水线 4，但是测试是做到流水线 5。

试验条件：施加干扰读写器调频信号拟

似随机符号连续：

被干扰读写器通道 952、2MHz ( 1 通道 )，

FM0 ( Bi-phase Space ) 读取

：读取时间 30 秒

：标签张数 25 张

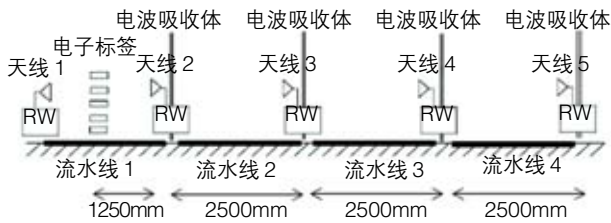
：收集数据 累计读取张数

##### (b) 读取试验结果

###### ① 无电波吸收体的累计读取张数

以下是无电波吸收体时，施加干扰读写器在每个流水线的读取张数。

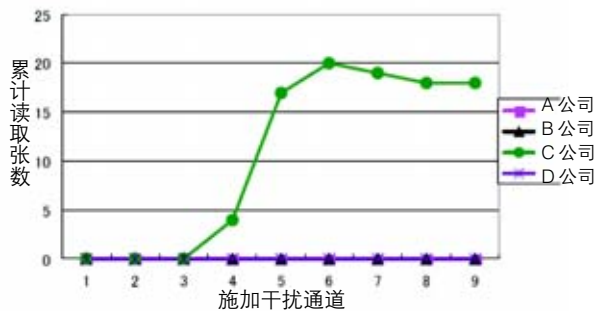




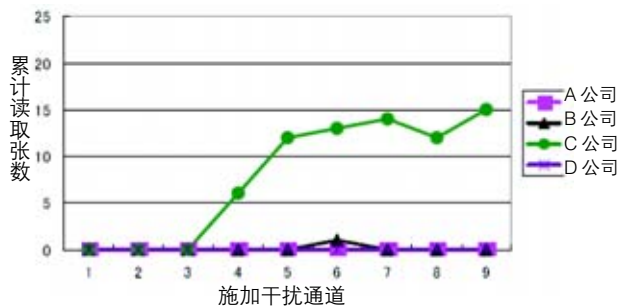
■ 图表 2-20. 读取电子标签试验的设备配置图

	被干扰一侧				施加干扰一侧
厂家	A 公司	B 公司	C 公司	D 公司	
连续发送	4000 m 秒	4000 m 秒	4000 m 秒	4000 m 秒	连续
发送停止	50 m 秒	50 m 秒	50 m 秒	50 m 秒	0 m 秒
e.i.r.p	36dBm	6dBm	36dBm	36dBm	36dBm
e.i.r.p	e.i.r.p	e.i.r.p	e.i.r.p	e.i.r.p	e.i.r.p
天线	旋转方向	左	右	左	右
使用的通道	1 通道	1 通道	1 通道	1 通道	1~9 通道

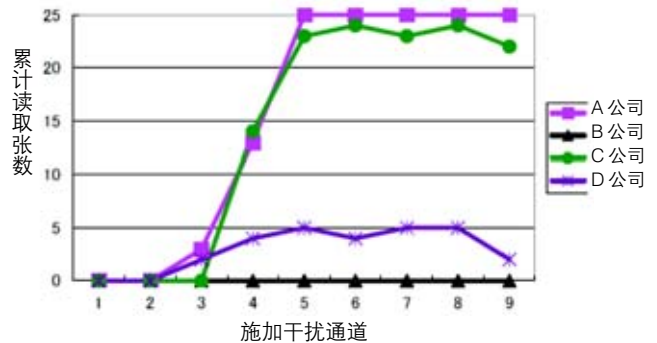
■ 图表 2-21. 测量条件



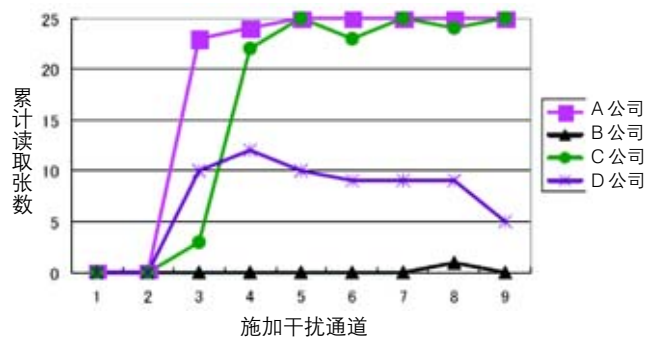
■ 图表 2-22. 施加干扰在 2 流水线的读取张数 (无电波吸收体)



■ 图表 2-23. 施加干扰在 3 流水线的读取张数 (无电波吸收体)



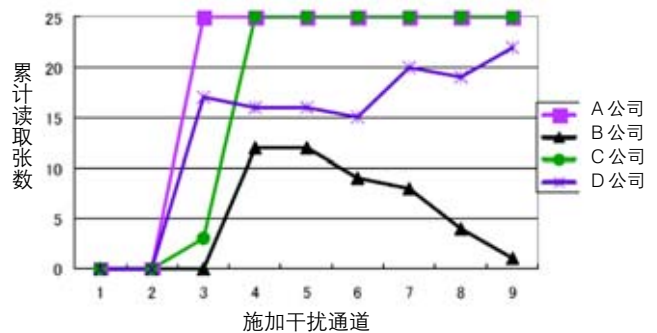
■ 图表 2-24. 施加干扰在 4 流水线的读取张数 (无电波吸收体)



■ 图表 2-25. 施加干扰在 5 流水线的读取张数 (无电波吸收体)

②有电波吸收体的累计读取张数

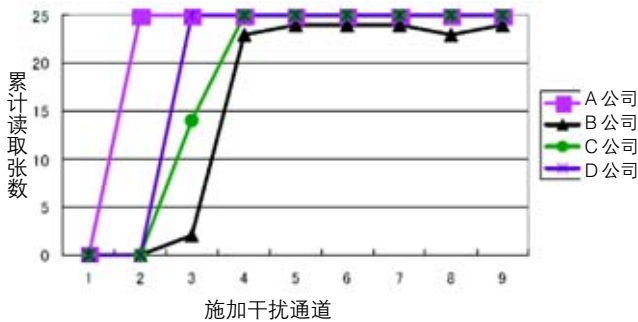
以下是有电波吸收体时，施加干扰读写器在每个流水线的读取张数。



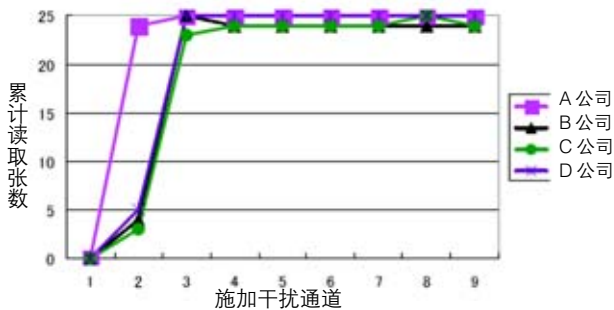
■ 图表 2-26. 施加干扰在 2 流水线的读取张数 (无电波吸收体)

## 应用案例集—RFID

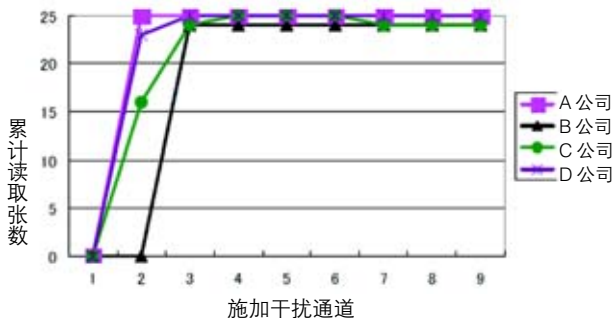
### ■ 应用指南



■ 图表 2-27. 施加干扰在 3 流水线的读取张数 (无电波吸收体)



■ 图表 2-28. 施加干扰在 4 流水线的读取张数 (无电波吸收体)



■ 图表 2-29. 施加干扰在 5 流水线的读取张数 (无电波吸收体)

### (4) 分析

(a) 发生标签混乱的载波干扰比, 在读取读写器的调频方式为 DSB - ASK 时, 200kHz ~ 800kHz 失谐为 11 ~ 13dB, 1000kHz ~ 1600kHz 失谐为 5 ~ 7dB。另外, 用于读取的读写器的调频方式为 PR - ASK 时, 此次用的电子标签的载波干扰比为 17 ~ 20dB。其结果, 图表 2-16 的每个施加干扰流水线的载波干扰比没有电波吸收体时, 相邻流水线就可能会发生标签混乱, 相邻的相邻流水线在阈值附近。此次的数据是测量限定的电子标签特性的结果。今后当电子标签的特性发生变化时, 需要重新规定特性。

(b) 图表 2-22, 当没有电波吸收体时, 施加干扰距离在 2 流水线读取为 0 张数的, 可以认为是发生了标签混乱。这是由于图表 2-16 在无电波吸收体的情况下, 施加干扰距离在 2 流水线时载波干扰比为 6.6dB 造成的。

(c) 没有电波吸收体时, 与施加干扰的流水线无关, 有的厂家 1 通道、2 通道的载波侦听工作, 导致不能读取。这种情况可以认为是由于在 2 通道的载波侦听, 施加干扰读写器的邻道漏 洩功率对被干扰读写器的载波侦听检测强度造成了影响, 或者是被干扰读写器的载波侦听强度的检测回路的滤波器, 检测到了施加干扰的 2 通道的信号。

(d) 没有电波吸收体时, 有的读写器的读取张数为 0, 这可以认为是接收滤波器的频段宽度太宽。

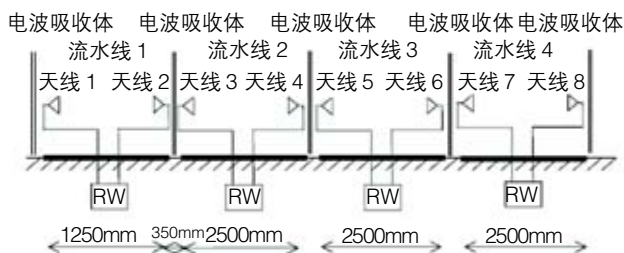
例如无电波吸收体时, 3 流水线的干扰, 就是图表 2-15 受到的 -9.9dBm 的干扰波。如果标签的应答强度为 -50dBm, 就会有约 40dB 的强干扰波。复调标签的接收数据所需要的载波干扰比如果是 15dB, 就需要衰减 55dB 的干扰波。此次各公司提供的读写器, 会随着今后日本 UHF 频段读写器黎明期的到来, 性能会得到改善。

(e) 为了在小车场等多条流水线的地方使用, 流水线间需要安装电波吸收体等设施, 以便减少干扰。

### 2-1-2 避免临近时的标签混乱（开放一侧编）

在电波反射少的电波暗室测量标签混乱,以及设想是在小车场等的门上安装读写器的天线,读取多个电子标签。通过这样的方式,实际验证了标签混乱的状况。可以认为是多个读写器密集安装时,同时有多个读写器发送,发生了标签混乱。发生标签混乱,读写器便不能正常读取电子标签。因此在接近实际环境的开放一侧,测试了相互干扰。

开放一侧的测试假设是小车场等的门,设备配置如图表 2-30 所示。



■ 图表 2-30. 设备配置图

电波吸收体安装在流水线之间,以便降低流水线之间的干扰。测试条件为没有电波吸收体和有电波吸收体 1 连和 2 连的共计 3 个条件。

门的尺寸条件（这个条件参考了门的一个例子）

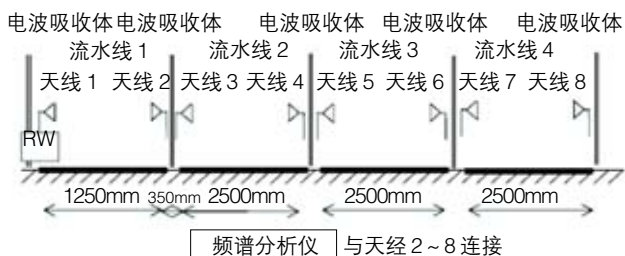
门宽度：2500mm

门间隔：350mm

门高度：1800mm

#### (1) 测量电场强度

读取开放一侧电子标签的测试前,为了定量性测量流水线间的干扰,测量了电场强度。测量电场强度时的设备配置,如图表 2-31 所示。



■ 图表 2-31. 测量电场强度的设备配置

天线 1 是连接读写器的发送源。由于电波暗室的测试课题是读写器与读写器之间的干扰,所以各条流水线上安装了天线,目的是测量接收到的其他流水线干扰波的功率。

作为发送源的天线 1 的发送输出为 4W e.i.r.p, 向右旋转。天线为 2~8 天线增益 6dBi, 右旋转和左旋转。天线 2 为自己一方流水线的天线。天线 4、6、8 在天线 1 的对面,但是天线 3、5、7 为逆向安装。

#### 测量条件:

读写器的发送输出为 36dBme.i.r.p

接收天线的增益为 6dBi

理论值根据自由空间衰减量计算

通过让对面天线的旋转方向相反,采到了隔离。为 10dB 左右。

电波吸收体的效果,1 连只有 5dB 左右,可以认为是周围多途径的影响。2 连可以保证在 15dB 左右。

#### (2) 读取电子标签的试验

##### (a) 试验方法

读取电子标签试验的设备配置,如图表 2-33 所示。小车上放纸箱,纸箱侧面贴标签。标签的张数为每个流水线 25 张。

读取标签试验的参数为各流水线读写器的读取通道和有无电波吸收体。小车的速度为人的行走速度(约 4 公里/h)。

#### 试验条件

- : 标签读取方式 FM0 读取
- : 标签张数 25 张 / 每流水线
- : 收集数据 累计读取张数
- : 各公司读写器的有效全向辐射功率 e.i.r.p

A 公司 36dBme.i.r.p

B 公司 36dBme.i.r.p

C 公司 36dBme.i.r.p

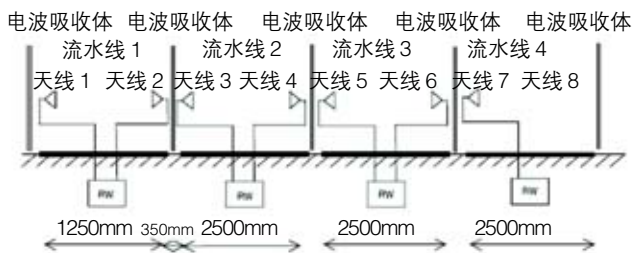
D 公司 36dBme.i.r.p

# 应用案例集—RFID

## 应用指南

		流水线1	流水线2	流水线3	流水线4			
电波吸收体	天线	天线2	天线3	天线4	天线5	天线6	天线7	天线8
理论值	右-右	-4.0	-	-10.6	-	-13.8	-	-16.5
无	右-右	-3.9	-30.0	-10.0	-25.5	-17.3	-31.9	-20.6
无	右-左	-14.0	-21.0	-18.6	-24.6	-26.0	-24.9	-42.0
一连	右-右	-3.9	-30.7	-14.9	-33.7	-29.7	-39.6	-27.5
一连	右-左	-13.8	-28.3	-34.4	-44.3	-31.9	-47.4	-25.8
二连	右-右	-3.8	-43.3	-26.7	-42.6	-47.2	-32.3	-32.0
二连	右-左	-12.0	-32.6	-35.6	-38.9	-41.6	-41.7	-24.5

■ 图表 2-32. 电场强度测量结果 (单位 dBm)



■ 图表 2-33. 读取标签试验的设备配置图



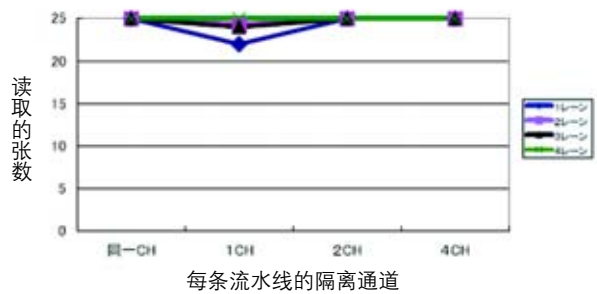
■ 图表 2-34. 开放一侧的测试现场



■ 图表 2-35. 测试时使用的小车

### (b) 试验结果

①相邻流水线的通道配置,按照隔离通道同一、1通道、2通道、4通道以上的组合后,进行了读取试验。读取结果见图表 2-36 所示。结果是,同一通道时 100% 可以读取。这可以认为是彼此的载波侦听工作了,所以防止了干扰,使得读取成功的。相邻流水线的通道配置,在 1 通道时的平均读取率为 95.3%。隔离通道为 1 通道时,可以认为不能防止彼此的干扰。隔离通道为 2 通道、4 通道时, 100% 可以读取。



条件: 各流水线之间安装 2 连电波吸收体

■ 图表 2-36. 将隔离通道作为参数的读取试验

②在 4 条流水线中,有一条配置为同一通道,进行了读取试验。读取结果见图表 2-37 所示。结果是 100% 可以读取。

1 流水线		2 流水线		3 流水线		4 流水线	
通道	读取张数	通道	读取张数	通道	读取张数	通道	读取张数
1 通道	25	9 通道	25	1 通道	25	5 通道	25
1 通道	25	1 通道	25	5 通道	25	9 通道	25

条件: 各流水线之间安装 2 连电波吸收体

■ 图表 2-37. 在 4 条流水线中,有一条配置为同一通道的读取试验

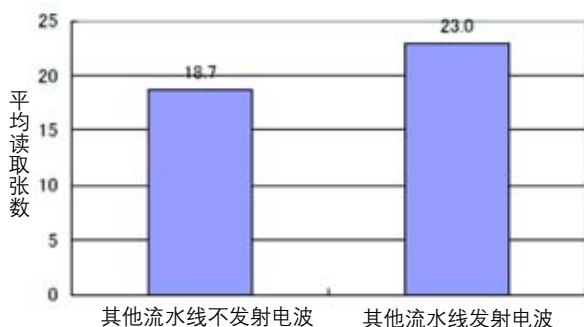
③各条流水线的通道都设为 AUTO 通道的读取试验。读取结果见图表 2-38 所示。结果为 91% 可以读取。

	1 流水线		2 流水线		3 流水线		4 流水线	
	通道	读取张数	通道	读取张数	通道	读取张数	通道	读取张数
第 1 次	AUTO	24	AUTO	25	AUTO	24	AUTO	25
第 1 次	AUTO	25	AUTO	25	AUTO	25	AUTO	9

条件：各流水线之间安装 2 连电波吸收体

■ 图表 2-38. 各流水线的通道组合为 AUTO 通道的读取试验

④测量一次存货读取的标签张数。试验时，将小车固定在天线正面，测试其他流水线的读写器工作时发射的电波，和只有自己一方流水线发射的电波。隔离通道为 4 通道以上。读取结果见图表 2-39 所示。



条件：各流水线之间安装 2 连电波吸收体

■ 图表 2-39. 测量一次存货读取的标签张数

⑤在无电波吸收体的条件下，进行了读取电子标签的试验。读取结果见图表 2-40 所示。由于读取张数为 25 张以上，所以读取了相邻的流水线。第 3 次的 3 流水线，通过载波侦听，一次都未发出电波。

	1 流水线		2 流水线		3 流水线		4 流水线	
	通道	读取张数	通道	读取张数	通道	读取张数	通道	读取张数
第 1 次	1 通道	26	5 通道	24	9 通道	46	3 通道	21
第 2 次	1 通道	43	1 通道	55	1 通道	33	-	-
第 3 次	1 通道	50	1 通道	54	1 通道	0	-	-

条件：各流水线之间无电波吸收体

■ 图表 2-40. 无电波吸收体的条件下，电子标签的读取试验

### (3) 分析

(a) 相邻流水线的隔离通道为 2 通道以上时，读取结果为 100% 可以读取。(参见图表 2-36)

(b) 4 流水线内配置同一通道时，读取结果为 100% 可以读取。这可以认为是载波侦听功能发挥了作用。(参见图表 2-37)

(c) 相邻流水线的隔离通道为 1 通道时，读取率为 95.3%。这可以认为是读写器的接收滤波器的频段受到了相邻通道的干扰，造成读取率劣化的结果。各流水线的通道为 AUTO 时的读取率低可以认为是同样的原因。

(d) 图表 2-39，相邻流水线的隔离通道为 4 通道以上时，1 次存货读取的张数为 11~25 张。如果其他流水线有电波发射(干扰)，则 1 次存货读取的张数就会降低，所以实际的系统中，需要考虑在干扰后进行试验。虽然 1 次存货读取的张数不是 25 张，但是由于总读取张数为 25 张，所以可以认为通过数次重试，便全部读取了。

(e) 没有电波吸收体时，读取了其他流水线的标签，导致读取为 25 张以上。考虑到实际使用，应当采取与其他流水线分离的措施。

(f) 虽然在无电波吸收体时，相邻流水线的干扰造成标签混乱，但是通过移动小车，载波干扰比发生了变化，可以读取了。

## 应用案例集—RFID

### ■ 应用指南

#### 2-1-3 总结

(1) 电波吸收体截断了相邻流水线的电波,有效地抑制了标签混乱。通过开放一侧的测试结果,可以认为流水线之间的电波吸收体可以起到遮蔽效果,可以使用此次设定的门模式 1 流水线 2.5m 的宽度。

(2) 此次设定的门模式,发现如果在没有电波吸收体时,通过相邻流水线施加干扰,就会造成标签混乱。读写器的发送输出与施加干扰和被干扰为同一输出时,为了确保载波干扰比 15dB,施加干扰读写器必须离开被干扰读写器和电子标签之间距离的 6.6 倍。被干扰读写器和电子标签的距离为 1.25m 时,距离天线的距离需要离开 8.25m 以上,才能不发生标签混乱。

(3) 为了有效地再利用电波,应尽量缩短发出电波的时间。需要研究通过传感器连锁等措施,在需要时才发出电波。

(4) 开放一侧的测试有电波吸收体,相邻流水线的隔离通道离开 2 通道时,读取试验 100% 可以读取。流水线增加到 10 条流水线以上时,可以使用同一通道。这时,需要研究 3) 所述得如何缩短读写器的发送时间。

(5) 开放一侧的测试中,由于在流水线的两侧安装了天线,与通过读写器天线和放在流水线上的货物上贴的电子标签的距离缩短了,所以提高了读取率。由于距离缩短了,较少的功率既可读取。但是为了减少对其他流水线的干扰,应将读写器的输出功率降低到最小限度。

#### 2-2 确保载波侦听等待的实时性

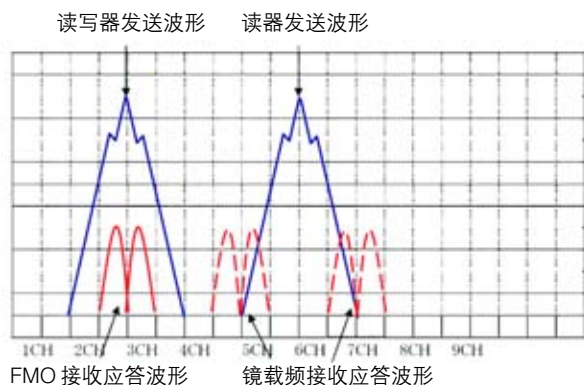
传送带等处使用 UHF 频段电子标签时,需要让货物在传送带上按顺序读取。这时,如果用 UHF 频段电子标签装置,按照通常的方法使用,兼容技术标准载波侦听 (Listen Before Talk) 的时间就会发生迟延,可能会影响读取速度。另外,如果有多个读写器时,会由于读写器之间的干扰或标签混乱等原因,导致丧失实时性,读不到传送带上的货物。对于这样的问题,为了在现有系统内找出预防措施,指定使用方法,从各个角度进行了测试。首先作为获取基础数据阶段,在电波暗室进行测试,了解了问题的所在之处。其次,实际使用传送带,研究了多台读写器在一起的环境下实时性欠佳的问题,以下是相关的报告。

##### 2-2-1 通过载波侦听等待确保实时性 (电波暗室编)

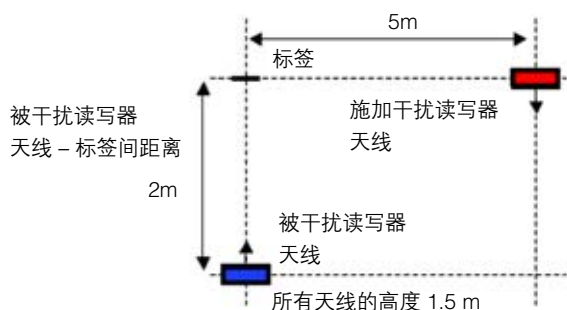
###### (1) 关于 FM0 和次镜载频的干扰性能

###### 【测试方法】

接收 FM0 和次镜载频,进行了比较各个干扰性能的基础性测试。图表 2-41 是接收 FM0/次镜载频时,标签的应答波形和读写器发送波形的一个例子。测试方法是,按图表 2-42 所示,配置施加干扰读写器和被干扰读写器各 1 台,测量 30 秒钟的被干扰读写器的通信成功率。这个配置可以确保被干扰读写器和通信的标签与施加干扰读写器之间不发生混乱,具有足够的载波干扰比。被干扰读写器以 36dBm EIRP 有效全向辐射功率的输出,连续读取每张标签。测试的目的是为了区别标签的应答符号方式在 FM0 和次镜载频方式的两种情况下的不同干扰性能。测试所用的读写器的系统特性,参见图表 2-43 所示。另外,由于是在电波暗室做测试,施加干扰读写器和被干扰读写器都关闭了兼容技术条件的载波侦听功能。



■ 图表 2-41. 读写器发送和标签应答的波形



■ 图表 2-42. 读写器的配置

	被干扰	施加干扰 A
发送输出	36dBm EIRP 有效全向辐射功率	36dBm EIRP 有效全向辐射功率
发送天线	右旋圆偏波	右旋圆偏波
读写器到 标签的速度	40kbps	40kbps
标签到读写 器的速度	50K	-
副载频频率	200kHz	-
标签符号化	MS <sup>1</sup> /FMO	-
读写器符号化	PIE	PIE (PN9)
协议	EPC GEN2	-

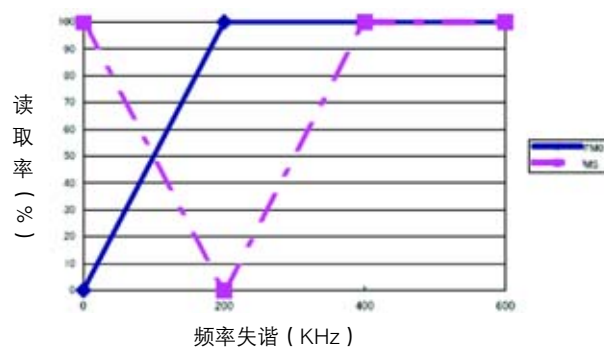
<sup>1</sup> MS: 次镜载频

■ 图表 2-43. 读写器的特性

### 【测试结果】

图表 2-44 是施加干扰读写器的被干扰读写器发送频率的频率失谐的横轴上的读取率, 在纵轴上显示的结果。标签应答的符号化方式为 FMO, 频率失谐为 0 时, 即与施加干扰读写器发送相同频率, 施加干扰读写器施加干扰时, 读取率为 0%。如果是 200kHz 以上的频率失谐的干扰, 在 FMO 方式时没有影响。标签的应答为次镜载频方式时, 只有在频率失谐为 200kHz 时, 读取率为 0%, 此外的频率失谐, 对于读取率没有影响。此次测试由于次镜载频的中心频率为 200kHz, 所以可以认为对其次镜载频的中心频率施加干扰, 会导致读取率劣化。另外, 此次测试是将被干扰读写器一侧的标签接收的载波干扰比做高配置测试的。

在施加干扰读写器发送天线正面的 90 度方向, 由于有与被干扰读写器通信的标签, 所以通过施加干扰读写器发送天线的指向性, 可以确保强度的载波干扰比不对被干扰一侧的系统造成影响。所以, 可以认为此次测试的读取率的劣化, 只是由于标签的应答信号影响施加干扰读写器的信号造成的。



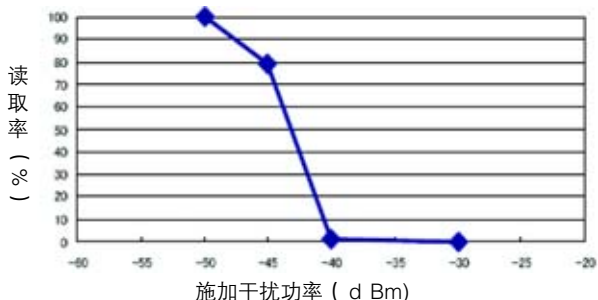
■ 图表 2-44. 施加干扰读写器频率失谐和读取率

图表 2-45 表示在次镜载频接收, 200kHz 失谐时的读取率为 0% 时, 降低施加干扰读写器的发送功率时的读取率。这里横轴表示的施加干扰功率, 是被干扰读写器天线位置的接收功率。纵轴的读取率, 表示的是被干扰读写器的读取率。施加干扰功率在 -40dBm 左右, 读取率开始上升,

## 应用案例集—RFID

### 应用指南

- 50dBm 左右的干扰功率，读取率可以实现 100%。因此，即使在次镜载频接收频段有干扰时，也可以通过确保隔离距离或安装电波吸收频段等方法，降低干扰功率，从而降低对次镜载频接收频段的干扰功率，提高读取率。

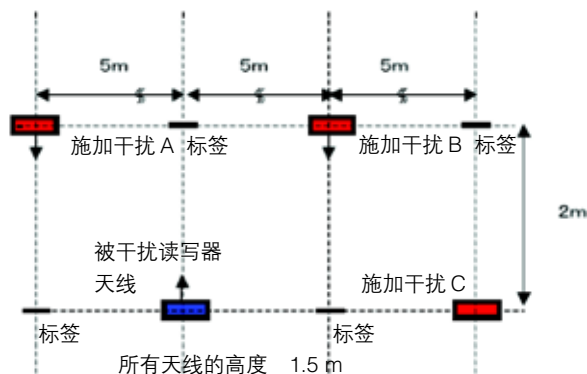


■ 图表 2-45. 施加干扰读写器的干扰功率和读取率

### (2) 关于载波侦听无效时的次镜载频的特性

#### 【测试方法】

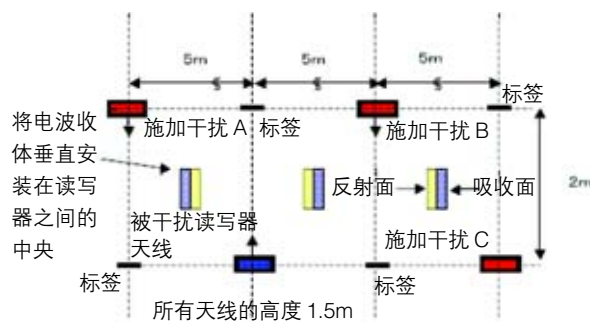
按图表 2-46 的配置，用 4 台读写器研究了兼容技术条件载波侦听无效时的干扰性能。在各读写器的天线视轴方向 2m 的位置配置了标签。为了不让施加干扰读写器发生标签混乱，如图所示，在天线正面 90 度的位置配置各标签。通过这样的配置，各标签位置的接收载波干扰比可以确保计算正确，不会发生标签混乱。使用的频率为 1 通道，用 1 台被干扰读写器、3 台施加干扰读写器，以重叠的发送频率 30 秒钟连续读取 1 张标签。各读写器的特性如图表 2-47 所示。另外，还测量了载波侦听有效时的读取率进行这项测试时，用电波吸收体等确保了各读写器间的隔离。电波吸收体的一面是电波吸收面，背面是反射面。也做了改变电波吸收体的吸收面/反射面配置的测试，并把 2 张电波吸收体连起来，增大吸收面积，提高隔离的测试。



■ 图表 2-46. 读写器配置 无电波吸收体

	被干扰	施加干扰 A	施加干扰 B	施加干扰 C
读写器到标签的速度	40kbps	40kbps	40kbps	40kbps
标签到读写器的速度	50K	40K	50Ka	40K
副载频频率	200kHz	160kHz	200kHz	160kHz
标签符号化	MS	MS	MS	MS
读写器符号化	PIE	PIE	PIE	PIE
协议	EPC GEN2	EPC GEN2	EPC GEN2	EPC GEN2
使用频率	5 通道	5 通道	5 通道	5 通道

■ 图表 2-47. 读写器的特性



■ 图表 2-48. 读写器配置 有电波吸收体



**【测试结果】**

将载波侦听置于无效状态,使用同一次镜载频接收读写器的发送频率,被干扰读写器的读取率为99.7%~100%。在对次镜载频接收频段没有干扰的状态下,即使使用重叠的发送频率,读取标签也没有问题。关于这个结果,如图表2-46所示,读写器与读写器通信标签之间拉开隔离距离,读写器标签之间的混乱就不会发生。然后,按相同条件,在有载波侦听时进行了测试,被干扰读写器的读取率为1.3%。即使是图表2-46的配置,各读写器通过其他读写器的发送电波,载波侦听功能有效,处于与标签不能通信的状态。

通过测试,验证了按30秒钟、1.3%的比率,在其他读写器的发送停止时间发送,便可以读取标签成功。

然后,让载波侦听功能处于有效状态下,按图表2-48所示,在读写器间配置电波吸收体,进行了测试。这时,变化各种电波吸收体的吸收面与反射面的组合,进行了测试,但是读取成功率不管在哪种情况,都是3%以下左右。即使将两张电波吸收体连接起来,增大吸收面积,结果也是同样,读取率在3%以下左右。在电波暗室内,按图表2-48的读写器间距离时,即使将电波吸收体如图所示配置,也会由于-74dBm的载波侦听强度导致读写器的发送受到限制,造成读取率劣化。

**(3) 关于次镜载频的隔离频率和干扰性能****【测试方法】**

按图表2-46所示配置,用4台读写器,研究了兼容技术条件的载波侦听无效时的干扰性能。使用的频率为2通道,在发送频率重叠的状态,进行了30秒钟的连续读取试验。每1通道用两台读写器占用频率,其他的通道,用剩余的两台读写器占用通道。确认两台读写器间的频率失谐作为参数时的干扰性能。频率失谐和各读写器使用频率的关系如图表2-49所示。各读写器和标签间距离固定为2m,按各读写器和标签间没有混乱的情况安装。由于对读写器天线正面方向90度的位置配置标签,所以能够确保标签位置的载波干扰比。

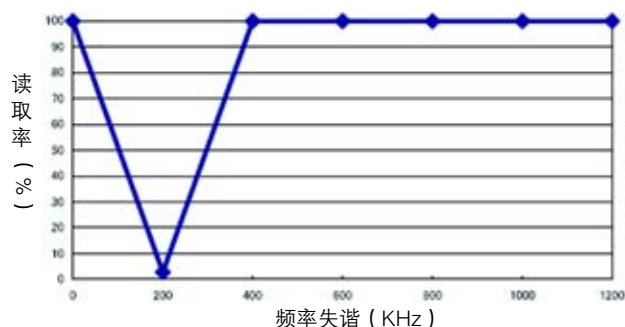
	被干扰	施加干扰 B	施加干扰 A	施加干扰 C
200kHz 失谐	2 通道	2 通道	3 通道	3 通道
400kHz 失谐	2 通道	2 通道	4 通道	4 通道
600kHz 失谐	2 通道	2 通道	5 通道	5 通道
800kHz 失谐	2 通道	2 通道	6 通道	6 通道
1000kHz 失谐	2 通道	2 通道	7 通道	7 通道
1200kHz 失谐	2 通道	2 通道	8 通道	8 通道

■ 图表 2-49. 频率失谐和各读写器使用频率的关系

**【测试结果】**

图表2-50表示的是次镜载频的接收特性。由于载波侦听不发挥其功能,同一通道上共有两台读写器,所以实现了100%的读取率。虽然在频率失谐200kHz的地方读取率劣化到了2.8%,但是这是次镜载频接收频段上有其他两台读写器的发送载频的原因造成读取率劣化的。

由于没有对频率失谐400kHz以上和上述次镜载频的接收频段造成干扰,所以没有发生读取率劣化。因此,配置确保次镜载频接收专用频段的通道就显得更加重要,因此不要在次镜载频频率配置其他读写器的发送频率。



■ 图表 2-50. 次镜载频的接收特性

## 应用案例集—RFID

### ■ 应用指南

#### (4) 防止干扰的措施

安装 FM0 接收读写器不至于导致标签混乱，只要防止使用同一通道，就可以使用多台读写器。接收次镜载频的读写器也同样，如果安装读写器不至于导致标签混乱，只要保护其接收频段，便可以使用多台读写器。

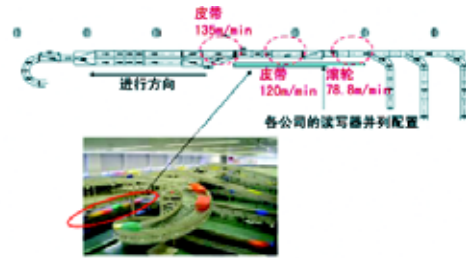
#### 2-2-2 通过载波侦听等待，确保实时性（开放一侧编）

##### (1) 开放一侧的试验概要

2-2-1 中，测试、评估了电波反射少的电波暗室的 UHF 频段电子标签系统的干扰性能的基本特性，本章将测试、评估假设实际使用时的传送带环境中的干扰性能。此次测试使用的传送带环境中，各读写器的载波侦听有效。评估了在传送带工作的状态下，施加干扰/被干扰读写器的发送功率/使用通道的数量/标签应答通信方式作为参数时的读取率。

##### (2) 开放一侧的试验环境

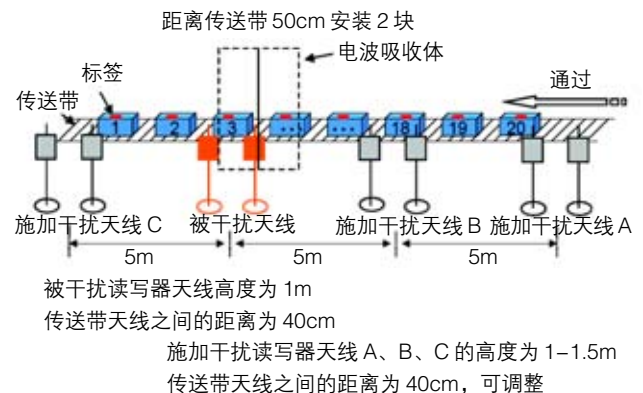
图表 2-51 ~ 图表 2-53 表示的是开放一侧的测试环境。在图表 2-51 所示环境下，传送带上的货物（纸箱）以 120m/分钟的速度移动。传送带上放了 20 个贴标签的货物。1 个货物上贴 1 张标签，标签贴在纸箱上面的读写器天线一侧。虽然每个测试时的货物间隔不同，但是平均以 50cm ~ 1m 左右的间隔在天线前移动。传送带上的 20 个货物以 120m/分钟的速度通过被干扰读写器的天线前大约需要 10 秒左右的时间。读写器的配置关系，如图表 2-53 所示。评估读取率的被干扰读写器为 1 台，在距离传送带 40cm 的位置安装被干扰读写器天线，让天线高度处于最适合读取传送带上货物标签的位置。另一方面，施加干扰读写器为 3 台，距离施加干扰读写器 5m 的位置平行于传送带。施加干扰读写器的天线高度/距传送带的距离，可以使各公司的读写器都能处于最适合读取传送带上标签的位置。



■ 图表 2-51. 开放一侧的试验配置



■ 图表 2-52. 试验现场



■ 图表 2-53. 开放一侧的读写器配置

### (3) 使用传送带读取测试 1

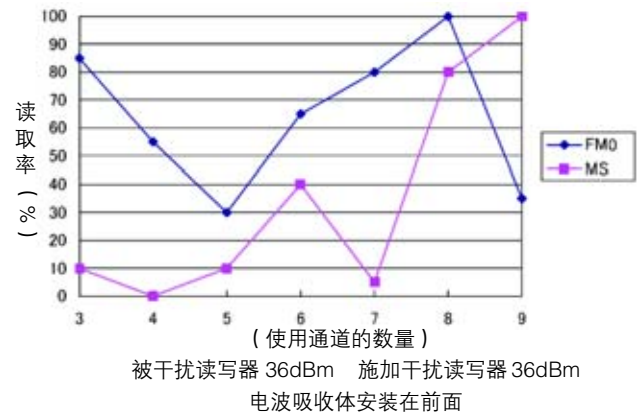
(固定通道的读写器和载波侦听后获取通道的读写器在一起时)

#### 【测试方法】

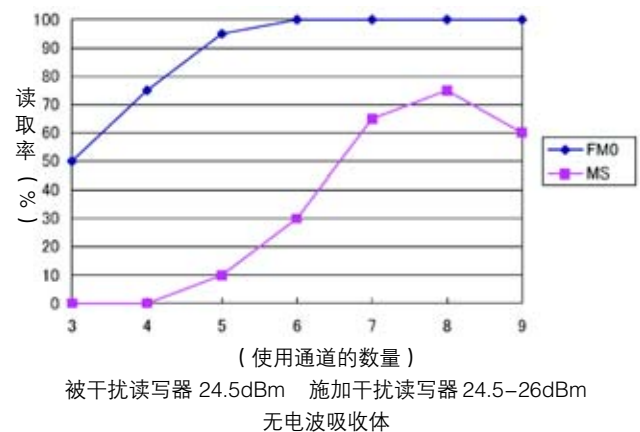
使用4台读写器，1台作为被干扰读写器，其余3台作为施加干扰读写器，这时测量在传送带上以120m/分钟的速度移动的20个货物上贴的20张标签的读取率。同时也确认与被干扰读写器通信的标签的应答符号化方式在FMO/次镜载频时的干扰性能的不同之处。另外，被干扰读写器、施加干扰读写器都满足兼容技术条件，载波侦听功能处于有效状态进行通信。用各公司的读写器发送接收时间、发送停止时间上虽有差别，但是用各公司不同的设计规格，测量以120m/分钟的速度在传送带上移动的货物上贴着的标签的读取率。另外，关于通信时间，从传送带上的货物通过施加干扰读写器天线A之前，到通过施加干扰读写器C 10秒钟以上，施加干扰一侧会连续发送。传送带上的20个货物的ID按顺序排列，然后通过解析原始记录，可以确认是否按照货物的通过顺序读取的。被干扰读写器的发送频率为固定的5通道，施加干扰读写器C的发送频率也固定在6通道进行测试。其他两台读写器可以通过载波侦听自由获取通道。通道配置关系如图表 2-54 所示。

FMO/MS	标签接收符号化			
	FMO	MS	MS	
使用通道的数量	被干扰	施加干扰 A	施加干扰 B	施加干扰 C
3	5 通道	4-6 通道	4-6 通道	6 通道
4	5 通道	3-6 通道	3-6 通道	6 通道
5	5 通道	2-6 通道	2-6 通道	6 通道
6	5 通道	1-6 通道	1-6 通道	6 通道
7	5 通道	1-7 通道	1-7 通道	6 通道
8	5 通道	1-8 通道	1-8 通道 </td <td>6 通道</td>	6 通道
9	5 通道	1-9 通道	1-9 通道	6 通道

■ 图表 2-54. 设定读写器通道



■ 图表 2-55. 最大发送功率的测量结果



■ 图表 2-56. 测量发送输出掉线结果

#### 【测试结果】

对图表 2-55 的测试结果进行分析。被干扰读写器/施加干扰读写器的发送功率为 36dBm EIRP 时，在最初的测试阶段，会发生读取上段传送带上货物的标签，或 20 个货物的 ID 读取顺序与实际货物的配置顺序不同的情况。就是说，由于各读写器的发送功率高，多途径的影响很明显，造成误读为其他传送带的标签，系统上发生了故障。为了防止误读，应在天线正面安装电波吸收体，以便不读取上段传送带的标签。标签符号化方式为次镜载频时，使用通道的数量在 5 通道以下的，副载频接收频段受其他读写器发送波的影响概率高，读取率明显劣化。使用通道的

## 应用案例集—RFID

### ■ 应用指南

数量即使为7通道,如果副载频接收频段上有其他读写器的发送频率,读取率也会降低到10%以下。使用通道的数量为9通道时,读取率虽然达到了100%,但是这个数据,是由于与标签通信时副载频接收中没有其他读写器发送的原因。即使有9通道的使用频率,会由于概率性的载波侦听,如果其他读写器在被干扰读写器的副载频接收频段上发送,可以想象就会使读取率劣化。标签符号化方式为FM0时,比起次镜载频接收,平均的读取率呈现出了好的倾向。这是由于在FM0接收时,标签的应答频率频段与自己的发送频率频段基本相同,所以干扰造成的读取率劣化的概率就降低了。但是,通过5通道/9通道的结果可以看到,读取率恶化的情况还是会概率性发生的。这是由于被干扰读写器的发送频率5通道/9通道与标签通信时的载波侦听,造成其他读写器被使用的结果。

下面分析图表2-56的结果。分析被干扰读写器的发送功率为24.5dBm/施加干扰读写器的发送功率为24.5-26dBm EIRP时的结果。在此次的传送频段环境中,26dBm EIRP以下的4台读写器,在没有安装电波吸收体的状态,没有发生误读其他传送带标签的问题。另外,传送频段上货物的ID也可以按顺序读取,没有发生系统性的问题。标签接收符号化方式为次镜载频时,与刚才的结果同样,施加干扰读写器的发送频率使用的概率,决定次镜载频接收频段的读取率。使用通道的数量越多,读取率越高。虽然使用9通道时的读取率比使用8通道时低,但这是由于与标签通信时,被干扰读写器的副载频接收频段被其他读写器用于发送造成的。标签符号化方式为FM0时,使用的通道如果在6通道以上,可以实现100%的读取率,这可以认为在传送带环境使用没有问题。

此次测试中,由于被干扰读写器的频率是固定的,施加干扰读写器的频率可以通过载波侦听选择,所以被干扰读写器发生了概率性不能获得通道的现象。其结果,载波侦听很可能造成次镜载频接收时丧失实时性,而FM0则容易保证实时性。

#### (4) 使用传送带进行的读取测试 2

(比较固定通道读写器和载波侦听后获取通道读写器的读取率)

#### 【测试方法】

与(1)的测试同样,使用4台读写器,1台作为被干扰读写器,其余3台作为施加干扰读写器,测量在传送带上以120m/分钟的速度移动的20个货物上贴着的20张标签的读取率。这里,被干扰读写器的发送功率为24.5dBm/与干扰读写器的发送功率为24.5-26dBm用有效全向辐射功率(EIRP)进行测试。(1)的测试中,被干扰读写器为固定通道,施加干扰读写器既有固定通道读写器,也有载波侦听后获取通道的读写器,系统中不同选择通道的方法混合在一起。对此,被干扰读写器为固定通道,施加干扰读写器也只是固定通道读写器,选择通道的方法是固定的。

#### 【测试结果】

(比较固定通道读写器和载波侦听后的获取通道读写器的读取率)

图表2-57是图表2-56的被干扰读写器标签符号化方式中MS结果的节选。图表2-58是图表2-56的被干扰读写器标签符号化方式为FM0时结果的节选。上述的两个结果,被干扰读写器的通道为固定,施加干扰读写器的通道选择方式为固定时,与载波侦听后获取时,这两种方式在一起的情况。对此,图表2-59/图表2-60表示的是施加干扰/被干扰读写器的通道选择方式为固定,标签符号化方式为MS/FM0时的情况。

标签接收符号化	MS	FM0	MS	MS
读写器	被干扰	施加干扰 A	施加干扰 B	施加干扰 C
使用的通道	5 通道	3-6 通道	3-6 通道	3 通道
读取率	0%			

■ 图表 2-57. 无专用通道时

标签接收符号化	MS	FMO	MS	MS
读写器	被干扰	施加干扰 A	施加干扰 B	施加干扰 C
使用的通道	5 通道	3-6 通道	3-6 通道	3 通道
读取率	75%			

■ 图表 2-58. 无专用通道时

标签接收符号化	MS	FMO	MS	MS
读写器	被干扰	施加干扰 A	施加干扰 B	施加干扰 C
使用的通道	5 通道	3 通道	6 通道	4 通道
读取率	60%			

■ 图表 2-59. 有专用通道时

标签接收符号化	FMO	FMO	MS	MS
读写器	被干扰	施加干扰 A	施加干扰 B	施加干扰 C
使用的通道	5 通道	3 通道	6 通道	4 通道
读取率	100%			

▶ 图表 2-60. 有专用通道时

比较标签符号化方式为 MS 的图表 2-57 和图表 2-59 后的结果是,施加干扰读写器的不妨碍获取通道的图表 2-59 的读取率高。不过,由于次镜载频接收可能受其他读写器的干扰,不能确保实时性。然后,比较标签符号化方式为 FMO 的图表 2-58 和图表 2-60 的结果是,施加干扰读写器的不妨碍获取通道的图表 2-60 的读取率高。另外,如果是 FMO 接收,由于没有其他施加干扰读写器的影响,所以可以构筑稳定的确保实时性的系统。但是,由于前提条件是同一通道不得有干扰波,所以可以预测,在使用区域内有 9 台以上的读写器时,读取率会劣化。

### (5) 分析、课题

工厂、仓库等可以安装传送带的环境,由于传送带间没有足够的距离,传送带的金属设备和读写器天线间的电波反射等原因可能导致误读取。另外,货物间隔、贴标签的位置、读写器天线的安装位置等,都需要在构筑系统之前充分地进行研究。要构筑不发生误读取、稳定的系统,应尽可能缩小读写器的发送功率,降低彼此干扰的影响。另外,为了降低传送带间不同读写器之间的干扰,用电波吸收体等去除干扰,保持系统间的隔离很重要。特别是进行次镜载频接收的读写器和 FMO 接收的读写器在一起时尤其需要注意,在设计通道时,重要的是要让次镜载频的接收频段上不能有其他读写器的发送频率。在确保载波侦听实时性的基础上,实现稳定的读取率,通过 FMO 接收,将通道设定为固定,让系统内的读写器之间不发生干扰是有效的手段。通道不固定时,设计时不要让通过载波侦听获取通道的读写器与固定通道的读写器在一起。

### 2-2-3 总结

若要实现传送带等要求实时性的系统,应按照如下使用规则设计系统。

- (1) 如果是 FMO 接收(通道频段宽度 200kHz 以内)的读写器,使用独立的全部 9 个通道,可以构筑能确保实时性的系统。如果有 10 台以上的 UHF 频段 RFID 读写器时,使用同一通道的读写器间,需要做时间分割处理。
- (2) 使用次镜载频接收的读写器,需要配置保护接收频段的通道。
- (3) 将读写器的发送功率控制在最小限度,使其不对周围的读写器造成干扰,同时,对本读写器也进行防干扰设计。
- (4) 使用电波吸收体等确保读写器间的隔离,降低干扰。
- (5) 如果固定通道使用的读写器和载波侦听获取通道的读写器在一起,由于固定通道读写器的通道获取概率,会发生不能确保实时性的情况,所以应避免固定/选择载波侦听通道在一起。

## 应用案例集—RFID

### ■ 应用指南

#### 2-3 低频 - 高频在一起的影响

2006年1月25日修订的电波法令中，决定了UHF频段RFID的兼容条件。同时，允许使用无需执照的特定小功率无线局的读写器（低频读写器）。低频读写器是手持型，有只读取型和连接打印机型，假设用途是标签发行机，有可能比以往的高频读写器的使用密度高。随着读写器的普及，高频读写器和低频读写器在一起的问题会越来越明显，下面是研究结果。

##### (1) 关于低频读写器

这里所述的低频读写器，主要是指2006年1月25日修订的电波法令承认的特定省电型无线局范围内的读写器。低频读写器的特点是：

- 发送功率小。
- 使用时无需执照。
- 功耗小，可以用电池驱动。
- 可以实现小型化、可以搬动、可以组装近其它设备。
- 比高频读写器的使用频率频段宽。

等。法令上规定的主要技术条件（输出、频率频段）为：

##### 【发送功率】

- 天线功率：10mW以下（高频型为1W以下）
  - 天线增益：3dBi以下（高频型为6dBi以下）
- 但是，等价等方辐射功率为13dBm以下时，不足的部分可以通过天线增益补充。
- （高频型也同样）

##### 【频率频段】

- 从952MHz到955MHz（通道1~通道14的14个通道）
- （高频型为通道1~通道9的9个通道）

##### 【发送时间】

- 最多1秒（高频型为最多4秒）

##### 【载波侦听】

- 载波侦听强度：-64dBm
- 载波侦听时间：10msec以上。

以下是低频读写器的例子。

##### ①手持型读写器

可搬型读写器，主要用于读取个别标签。一般为电池驱动。在高频读写器不易读取的地方读写标签，或者由作业人员随时携带，不论任何场地，机动性地读写。

##### ②打印机

主要作为标签发行机，在表面打印字的同时，使用内置的读写器单元，在标签上写入初始化数据（ID等）。

综上所述，低频读写器由于具有小型、可搬动的特点，所以能够在高频读写器的使用环境下使用。另外，低频读写器也可以用于多个高密度状况下使用。

##### (2) 高频读写器和低频读写器在一起时的课题

由于发送功率的不同，高频读写器和低频读写器的在一起时，低频型容易受干扰。

读写器的发送功率（等价等方辐射功率 = 包括天线增益输出），高频型为4W（36dBm），低频型为20mW（13dBm），相差200倍（23dB）。即，相同干扰功率到达的距离，在自由空间中，高频读写器是低频读写器的14倍（ $=\sqrt{200}$ ）。

但是，使用同一通道时，影响载波侦听的距离，高频读写器发送，低频读写器载波侦听时为3.5公里，低频读写器发送，高频读写器载波侦听时为1.1公里。

这里，为什么发送功率有差别，而影响载波侦听的距离没有差别，是由于低频读写器的载波侦听的检测强度比高频读写器的检测强度大10倍（10dB），这是典型的高频读写器的接收天线增益是低频读写器的2倍（3dB）以上的原因。

由于低频读写器多为临近读写对象标签，所以可以认为实际的影响程度大约就是载波侦听的计算结果（功率的10倍，距离的3.3倍）。

另外，上述的同时，也许有多个低频读写器临近使用。低频读写器间的干扰，比高频读写器的干扰影响小。但是，与上述同样，使用同一通道时，相互影响载波侦听的距离为250m，此数字不可忽视。不管怎样，在实际的动作环境中，需要调查到底有多大的影响。

### (3) 高频、低频读写器在一起时的措施

对于高频、低频读写器在一起时的干扰问题,可以考虑采取如下措施。

#### ①分离使用频率频段

高频读写器的频率频段被设为952MHz~954MHz(通道1~通道9)的2MHz(9通道),而低频读写器为952MHz~954MHz(通道1~通道14)的3MHz(14通道)。这里,通道1~通道9优先高频读写器使用,低频读写器尽量使用通道10~通道14,所以,可以降低同一通道的竞争以及使用近邻通道的干扰问题。

#### ②天线的对角

低频读写器、高频读写器由于一般都是使用指向性天线,所以比正面方向的天线例如90°方向降低增益5dB~10dB左右。但是至少可以通过避免正面相对工作,降低干扰。另外,低频读写器不在天线正面的方向使用,也可以降低干扰。

#### ③距离

如果即使采取①、②的措施,也没有足够的效果时,应让低频读写器的使用场地和低频读写器的安装场地拉开距离。

#### ④其他

如果即使采取①、②的措施,也没有足够的效果时,或由于安装场地的制约,不能采取③的措施时,则需要使用电波吸收体等隔墙分离空间。

※对载波侦听影响程度的计算举例

$$Pr = Pt + Gt + Lp + Gr \leq Cs$$

$$Lp = -32 - 20 \times \log_{10}[R]$$

Pr: 接收功率[dBm]

Pt: 发送功率[dBm]

Gt: 发送天线增益[dBi]

Lp: 自由空间损失[dB]

Gr: 接收天线增益[dBi]

Cs: 载波侦听强度[dBm]

R: 隔离距离[m]

– 高频读写器对低频读写器的干扰

$$Pt = 30\text{dBm} (1\text{W}), Gt = 6\text{dBi}, Gr = 3\text{dBi},$$

$$Cs = -64\text{dBm} \text{ 和 } R \geq 3.5\text{km}$$

– 低频读写器对高频读写器的干扰

$$Pt = 10\text{dBm} (10\text{mW}), Gt = 3\text{dBi}, Gr = 6\text{dBi},$$

$$Cs = -74\text{dBm} \text{ 和 } R \geq 1.1\text{km}$$

– 低频读写器对低频读写器的干扰

$$Pt = 10\text{dBm} (10\text{mW}), Gt = 3\text{dBi}, Gr = 3\text{dBi},$$

$$Cs = -64\text{dBm} \text{ 和 } R \geq 250\text{m}$$

### 2-3-1 低频—高频在一起的影响(电波暗室编)

为了确认高频读写器和低频读写器在一起使用的问题和确认措施的妥当性,在电波暗室进行了测试。

测试时,在电波暗室内,将施加干扰、被干扰的设备安装在大约1米左右的范围内,变化干扰强度、设备间隔、频率设定等,测试了读写性能的劣化程度。读写性能指标为同一标签单位时间的读取或写入次数(没有干扰时的比率)。

测试结果如前述的预测,通过频率频段的分离和适当的空间分离,即使是在一起的环境也没有问题,可以使用。

#### (1) 获取基础数据的测试

进行了高频读写器对低频读写器的干扰测试和低频读写器之间的干扰测试。

使用的设备:手持型两个机种,打印机3个机种,高频1个机种(施加干扰专用)

#### ①高频读写器对低频读写器的干扰

低频读写器正在读取或写入标签时,让高频读写器连续发出存货命令的干扰波,测试低频读写器的读取或写入性能的变化。

## 应用案例集—RFID

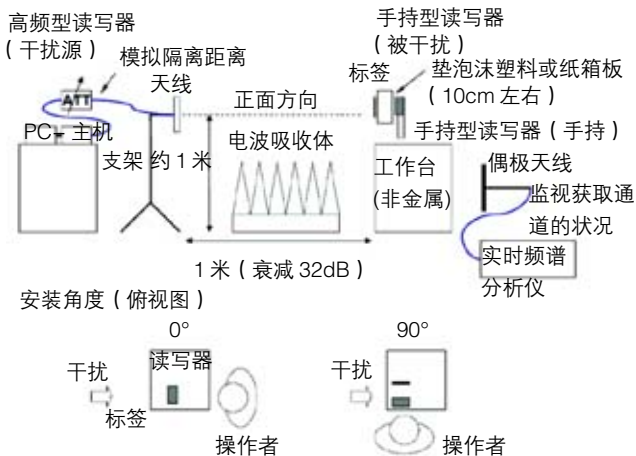
### ■ 应用指南

低频读写器读取或写入的标签，分别固定在读写器的最近处（5cm~10cm左右的距离），按1分钟EPC96bit的读取或写入的次数测量。用计时器手动计时，读写器的读取、写入的开始、停止也是手动进行，手动记录读取、写入次数。应用上使用了适合连续读取、写入的演示软件等。

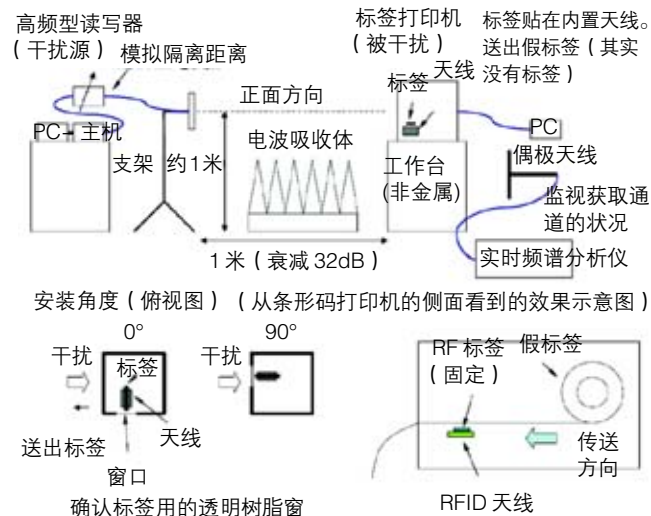
没有干扰时的读取次数为标准的被干扰时的读取次数的比率（读取率%）作为评估性能的指标。

高频读写器发送天线的途中，插入手动的步进衰减器，让施加干扰强度可调。接收天线端模拟终端，连续施加干扰，以便让低频读写器不影响发送。

获取通道的状况，用实时频谱分析仪进行了记录。



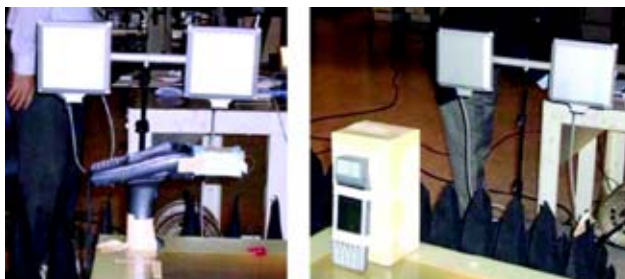
■ 图表 2-61. 测试高频对低频干扰的布置方法 (手持型)



■ 图表 2-62. 测试高频对低频干扰的布置方法 (标签打印机)

### ◇关于手持型读写器

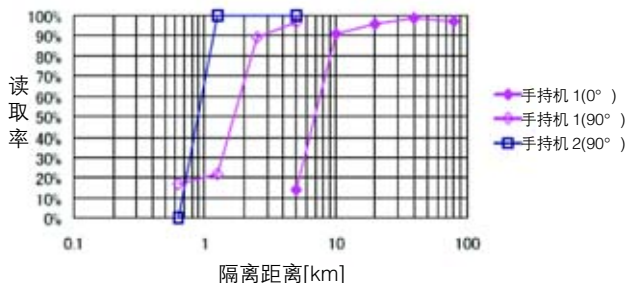
将8cm~10cm的泡沫塑料或纸箱板放入天线，固定标签，测量手持型读写器1分钟的读取次数。



■ 图表 2-63. 测试高频对低频干扰的照片 (手持型)

### — 与高频读写器固定在同一通道时

与高频读写器固定在同一通道时，所需要的隔离距离为数公里。这是由于干扰源高频读写器几乎占用了所有的通道，所以如果不隔离高频读写器，直至消失对载波侦听的影响，低频读写器就得不到发送的机会。



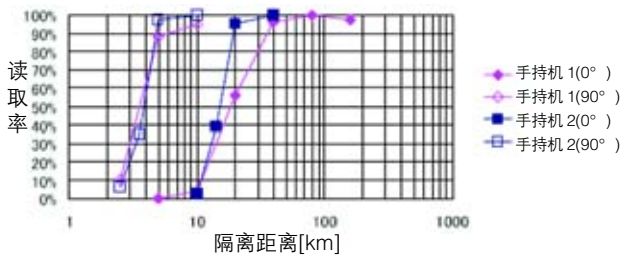
■ 图表 2-64. 高频 (通道 5) 对低频 (通道 5) 的干扰 (手持型)

### — 使用不同于高频读写器的频率时

比使用与高频读写器为同一通道时所需隔离距离大大缩小，只要数十米以下即可。这是由于使用与高频读写器不同的通道，从而确保了利用通道的机会。尽管通道利用的机会得到了确保，但是发生的错误，可以认为对读写器的接收系统有影响或对标签有影响。影响的程度，根据包括天线在内的低频读写器接收的特性（对相邻通道干扰的滤波器的特性）和标签特性的不同而不同。



通道的选择方式为自动的,手持机1每秒钟在发送通道10~通道14的范围内重新选择,实际的动作接近随机。另一方面,手持机2在通道10~通道12的范围内,不离开曾经确保的通道,近似“固定”的状态。



■ 图表 2-65. 高频(通道9)对低频(自动通道)的干扰(手持)

#### — 关于天线对角

对正面方向(按最不利时)和90°侧向(假设为平均时)的两种情况进行了测试。结果都是方向为90°时,比正面方向的所需隔离距离大概可以缩小到一半以下。

并且,由于标签固定在距离低频读写器天线的最近处,这虽然可以认为是标签、读写器的天线增益、指向性等单体的性能不同,但是,测试结果并没有大的影响。

#### 手持机 1

	正面	90°
同一通道(高频:通道5, 低频:通道5)	10km	2.5km
通道分开(高频:通道9, 低频:通道10-14)	40m	5m

#### 手持机 2

	正面	90°
同一通道(高频:通道5, 低频:通道5)	-	1.3km
通道分开(高频:通道9, 低频:通道10-14)	20m	5m

※所需隔离距离:这里,80%以上的读取率,可以确保距离。

■ 图表 2-66. 高频对低频的干扰,所需隔离距离的总结(手持型)

#### ◇ 关于标签打印机

内置天线的附近固定1张标签,用没有贴标签的假标签做模拟发行,此时测试被干扰时1分钟的写入(发行)张数。



■ 图表 2-67. 测试高频对低频干扰的照片(标签打印机)

#### — 与高频读写器固定在同一通道时

与手持型同样,通过载波侦听,不能确保通道,隔离距离变大。但是,机箱起隔离墙的作用,比起手持型的数公里来,可以控制在数百米和十分之一左右。隔离距离虽然根据机箱的屏蔽性能不同而不同,但是可以说比起手持型来,具有足够大的屏蔽性能。

#### — 使用与高频读写器不同的频率时(无重试时)

打印机的1个机种发生错误时,不做重试动作的状态下进行了测试。由于通道的选择是在每个写入时进行的,所以实际的动作是看似随机选择的。如果干扰强度过大时,就会在选择高频读写器的相邻通道时发生错误,打印机停止工作。发生错误的原因,估计是打印机读写器的接收功能受到了干扰或标签混乱造成的。虽然需要数十米的隔离距离,但是发生错误的原因由于是来自相邻通道的干扰造成的,所以选择相邻通道发生错误时,如果重新选择通道,便可以防止。

#### — 使用与高频读写器不通频率时(有重试时)

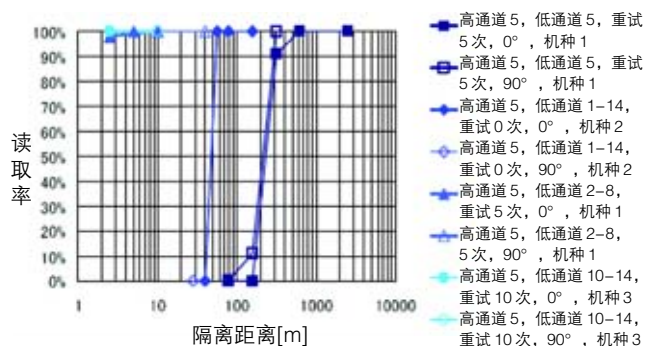
不固定打印机读写器的通道,而是每次写入通道时选择,以这种方式进行了干扰测试。结果隔离距离为测量限界的2.5米。通过打印机机箱的隔墙效果,干扰波被完全切断,另外,关于相邻通道的干扰,结果通过重试,几乎在最近处使用高频读写器,也几乎不受影响。

# 应用案例集—RFID

## 应用指南

### — 天线对角

即使改变打印机的天线方向，也未见大的变化。



■ 图表 2-68. 高频对低频的干扰 (标签打印机)

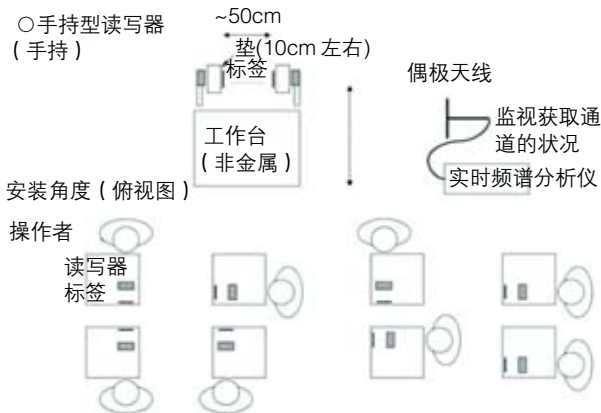
	正面	90°
同一通道 (高频通道 5, 低频通道 5, 重试设定 5 次, 机种 1)	320 米	320 米
同一通道频段 (高频通道 5, 低频通道 1-14, 重试设定 0 次, 机种 2)	56 米	56 米
同一通道频段 (高频通道 5, 低频通道 2-8, 重试设定 5 次, 机种 1)	2.5 米	2.5 米
低频专用通道频段 (高频通道 9, 低频通道 10-14, 重试设定 10 次, 高频通道 9 固定, 机种 3)	2.5 米以下	2.5 米以下

※所需隔离距离：这里，80%以上的读取率为可以确保的距离。

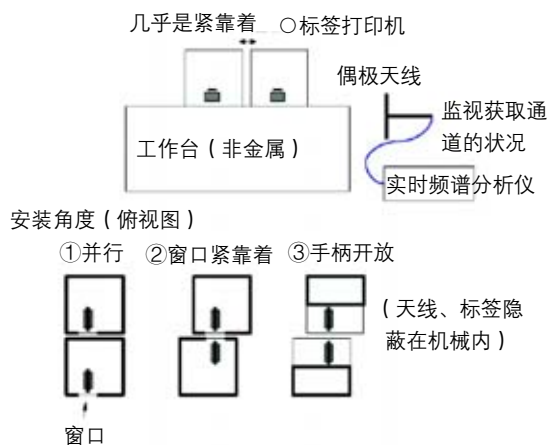
■ 图表 2-69. 高频对低频的干扰，所需隔离距离的总结 (标签打印机)

### ② 低频读写器和低频读写器之间的干扰

如果让低频读写器彼此自动设定通道，结果性能会发生劣化。



■ 图表 2-70. 测试手持读写器之间干扰的布置方法



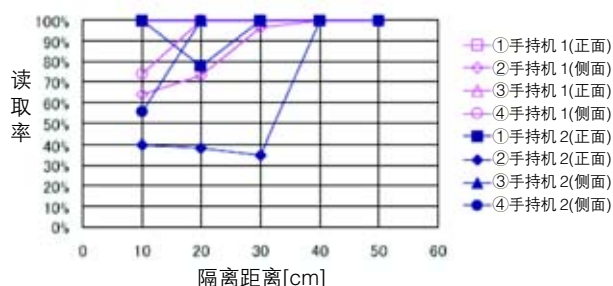
■ 图表 2-71. 测试标签打印机之间干扰的布置方法

### ◇ 手持读写器间的干扰

让两台手持读写器彼此相对、平行、90° 侧向摆放，同时工作，与①同样，测试1分钟的读取张数。不管哪种情况，都是如果至少离开40cm，彼此就没有影响了。距离缩小到10cm左右时，有时互相读彼此的标签。



■ 图表 2-72. 测试手持读写器间干扰的照片



■ 图表 2-73. 测试手持读写器间干扰的结果

#### ◇ 打印机间的干扰

从 3 机种到 2 机种分别组合,进行了干扰测试。不管哪种情况,都是所有朝向接近,彼此均无影响。



■ 图表 2-74. 测试标签打印机间干扰的照片

#### ◇ 手持机与打印机间的干扰

让手持机 2 个机种两台、打印机 3 个机种 3 台,同时互相接近工作,各读写器均未受到影响。

将手持机 1 个机种作为施加干扰源,将天线放在打印机 1 个机种的送纸口上后,虽然打印机的性能劣化到没有干扰时的 60%左右,但是工作没有停止。



■ 图表 2-75. 测试手持机、标签打印机之间干扰的照片

#### (2) 分析

##### ① 关于高频读写器对低频读写器的干扰

###### - 通道分离

高频读写器对低频读写器的干扰,就是在同一通道获取通道的影响、使用附近通道时的接收功能的影响或对标签的影响。低频读写器如果尽量使用专用的频率频段(通道 10~通道 14),便可以排除这些影响。

###### - 重试

分离低频读写器和高频读写器的使用频率频段,虽然可以大大降低干扰的影响,但是即使是选择频率频段的临界通道,在受相邻通道影响时,通过重试,重新选择通道,也可以缩小所需隔离距离。另外,使用的通道有富裕时,设保护通道,有意不选择临界通道,也可以收到同样的效果。

###### - 天线对角

特别是手持型的读写器,天线的正面方向不朝向施加干扰的高频读写器的方向,可以缩小所需的隔离距离。

通过组合以上的措施,所需隔离距离可以达到 5 米以下。

##### ② 关于低频读写器和低频读写器之间的干扰

手持型的读写器只要固定频率,不接近,即使在 50cm 以下的距离使用,也几乎没有影响。另外,打印机的发送频率小(1 分钟 50 左右),通过机箱的屏蔽特性,即使接近使用也几乎没有影响。

## 应用案例集—RFID

### ■ 应用指南

#### ③其他共通事项

##### — 发送时间率

高频读写器用于短时间读写大量标签之用，而低频读写器用于一张一张读写标签之用。因此，1分钟能读写50张~100张就足够了。因此，如果能控制到不发出多余电波的情况下，就可以将干扰降到最小限度。

(注) 并且，由于打印机的一个机种的输出功率为100mW，所以虽然准确来说不是低频读写器，但是抗打印机干扰的性能，要靠机箱的屏蔽和重试功能来决定，所以即使作为低频读写器使用，也不会影响评估结果的妥当性。

#### 2-3-2 低频—高频在一起的影响 (开放一侧编)

把在获取基础数据测试中得到的见解，放在模拟实地的环境下进行了确认。在高频读写器4台(天线共计7张)构成的模拟门的附近，测量了手持型读写器的读取性能。

虽然实地环境特有的数据发生了波动，但是基本与获取基础数据测试时的结果一致，通过分离频率，在3米左右的距离可以使用手持型读写器。

#### (1) 测试

使用设备：手持型读写器1个机种，高频读写器4个机种(施加干扰专用)

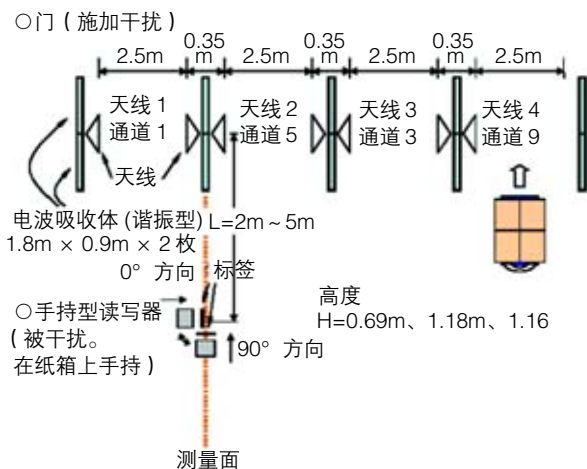
#### 【测试设定】

原封不动地使用“2-1 接近安装时的标签混乱”测试的门。门宽度2.5米，门间隔35cm，门与门之间分别安装2块90cm×180cm的谐振型电波吸收体。门的数量为4个，分别对应1台读写器。1个门1个天线，其余3个门使用两个天线，使用两个天线的门的两个天线是正对着的，以便读取通过的小车上的纸箱上贴着的标签。测试中虽然不分别读取标签，但是连续重复存货的动作。

延长门1和门2的隔墙，在距离天线2米~5米之间，高度69cm、118cm、166cm地方的12处，测试了手持型的读写器对于接近天线放置的每张标签在30秒钟内的读取张数。

#### 【测试结果】

获取基础数据时，读取率虽然两极分化，既有30%以下的，也有达到90%以上的，但是在开放一侧，有些地方在50%~100%之间分布。关于天线的朝向，整体来说90°方向的结果较好，充分显示了其依靠所在地方的特性。大约50%以上的读取率，实用上没有问题。



■ 图表 2-76. 测试高频对低频的干扰的布置方法 (开放一侧)



■ 图表 2-77. 测试高频对低频干扰的照片 (开放一侧)

0° 方向

高度 \ 距离	2 米	3 米	4 米	5 米
1.66 米	74%	58%	97%	77%
1.18 米	49%	66%	98%	91%
0.69 米	82%	57%	65%	68%

90° 方向

高度 \ 距离	2 米	3 米	4 米	5 米
1.66 米	93%	85%	87%	54%
1.18 米	64%	56%	96%	100%
0.69 米	82%	99%	100%	91%

■ 图表 2-78. 测试高频对低频干扰的结果 (开放一侧)

## (2) 分析

由于几乎所有的地方都达到了 50% 以上, 所以可以认为在这个范围内, 手持型读写器在实际应用上没有问题。虽然距离最近的天线只有 2 米, 但由于从高频天线来看这是 90° 方向, 所以这是与正对面最近天线 ( $\sqrt{(2^2 + 2.5^2)} = 3.2$  米) 的最佳距离。相反, 如果使用范围更接近, 低频读写器的读取对象标签就会进入高频读写器的读取范围, 从而发生别的问题。

与获取基础数据时条件不同的原因, 是由于在电波容易反射的环境, 干扰波的强度, 人、物的移动容易发生变动, 多个施加干扰源的干扰波合成在一起的原因。另外, 多个施加干扰源的发送时间率, 比基础数据时的施加干扰源小。因此, 干扰的时间、地点的变动大, 所以读取率也分布在了 50% ~ 100% 之间。

类似这样, 在接近实地环境下, 虽然地点、时间的干扰很复杂, 但是通过采取分离频率、将发送的电波控制在最小限度等措施, 即使在距离高频读写器只有几米的范围内, 也完全可以使用手持型的读写器。

## 2-3-3 总结

根据以上的测试结果, 高频读写器和低频读写器在一起时, 安装、使用时应考虑以下几点:

### (1) 分离通道。

由于与高频型在同一通道使用, 容易受干扰, 所以, 低频读写器尽量使用低频型专用的通道 10 ~ 通道 14。

### (2) 将读写器的发送功率降低到最小限度。

即使分离通道, 读写器接收、标签混乱的影响依然存在。所以彼此作为干扰源的读写器的发送功率、连续发送时间, 应控制在最小限度, 这是共用频率的原则。

### (3) 通过重试处理错误。

有时选择离干扰源近的通道便容易发生错误。发生错误时, 通过重新选择通道, 进行重试, 可以恢复正常。

### (4) 天线对角

尽量避免在高频读写器的天线正面方向使用低频读写器。

由于不得已的原因, 必须要在高频读写器天线的正面方向使用低频读写器时, 至少低频读写器的正面, 不要朝向高频读写器。

### (5) 通过距离分开

当高频读写器的发送频率高时 (大概时间率在 90% 以上时), 与高频读写器天线的隔离距离在 5 米以上, 发送频率低时 (大概时间率在 60% 以下时), 在 3 米以上为宜。

### (6) 关于安装多个低频设备

打印机互相接近安装没有什么问题。

不要让手持型读写器彼此的视轴 (天线正面方向) 经常处于正对的状态, 如果能保证有 50cm 左右的间隔, 实际使用上就不会发生问题。

并且, 高频读写器和低频读写器在接近使用的状态下, 虽然应该低频读写器对高频读写器有干扰, 但是低频读写器的发送频率小时, 几乎可以忽视。

## 应用案例集—RFID

### ■ 应用指南

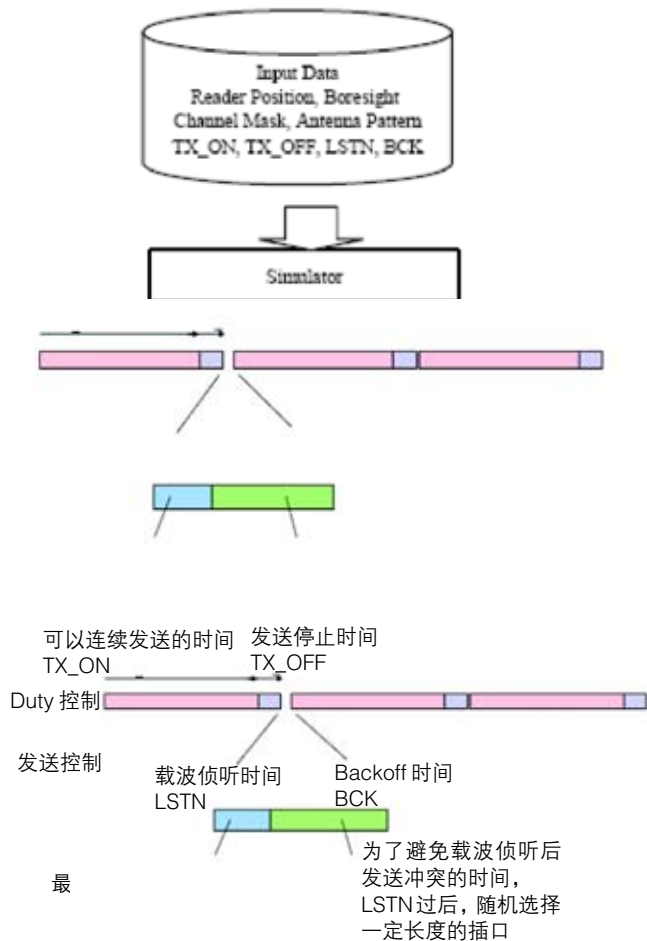
#### 2-4 关于 UHF 频段被动性 RFID 的配置密度和等待时间

UHF 频段 RFID 如果高密度配置, 可能由于载波侦听等待时间以及停止时间的限制, 丧失发送的实时性。本节将报告相互干扰模拟和部分测试中, 读写器的配置密度和平均迟延时间方面的分析结果。

##### 2-4-1 相互干扰模拟器

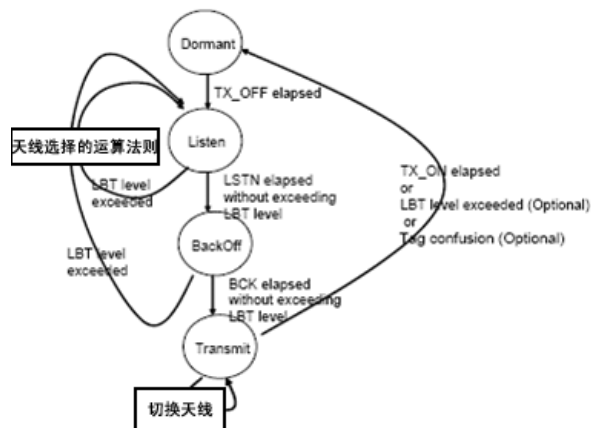
###### (1) 相互干扰模拟器概要

相互干扰模拟器通过读写器位置、读写器视轴、读写器天线图案、发送通道屏蔽和以下所述发送控制的各个参数, 实现频率共享, 计算可以发送到什么状态。



■ 图表 2-80. 读写器的发送控制为 Duty 控制和 access 控制的双重方式。

TX\_OFF、LSTN、BCK、TX\_ON 表示时间的长度, 与其相对应的读写器的状态分别定义为 Dormant、Listen、Backoff、Transmit。另外, 一个读写器上安装有多个天线时, 要均等间隔地分割连续发送时间, 然后切换天线。发送待机状态的读写器, 通过规定的程序选择通道。此次扫描所有的通道后, 选择了干扰强度最小的通道。模拟器内的读写器的状态变化图, 参见图表 2-81 所示。



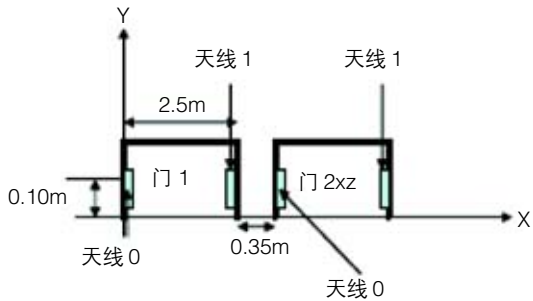
■ 图表 2-81. 读写器的状态变化

access 控制方式, 是根据读写器机型固定的 LSTN 时间 = 5msec, 和概率性发生的 Backoff 时间 = 最多 5msec 组合而成的。读写器虽然在其选择的通道接收强度达不到规定的载波侦听强度 (-74dBm) 时也会开始发送, 但是在计算方面, 它在发送后也测量自己以外的载频强度, 如果超过规定的强度 (就是说其他读写器开始同时发送时), 将停止发送, 而转换到 Dormant。这是由于干扰造成达不到 C/N 要求的读写器不允许发送。另外, 在使用时, 虽然感觉不到, 但是实际也计算标签上读写器向标签方向回线的 C/I。这时, 由于标签不能识别通道, 所以, 是作为所有干扰通道发送的功率计算的。

###### (2) 相互干扰模拟器的验证

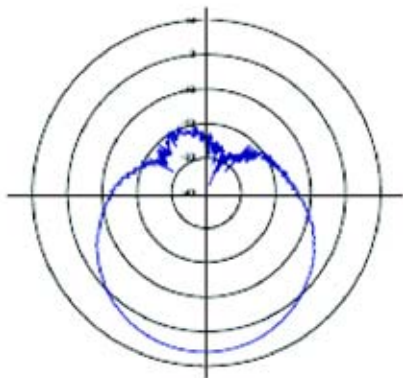
这个相互干扰模拟器虽然在去年的 JAISA 试验上使用过, 但是由于增加了新的功能, 所以应首先确认其计算结果的妥当性。研究模式是用具有两个天线的读写器,

将两台读写器平行放置（图表 2-82）。这是根据今年传送行业的典型例子配置的。每个读写器是把 1000msec 的连续发送时间分割成两个天线使用的。1000msec 连续发送后，设 100msec 的停止时间。

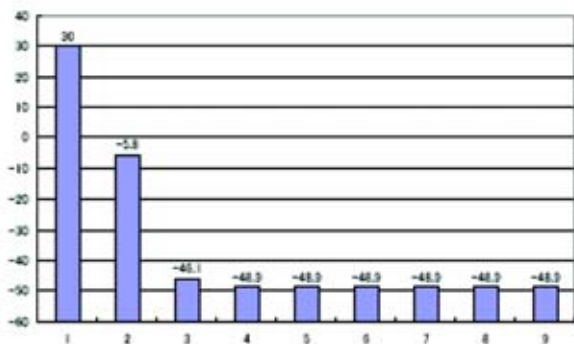


■ 图表 2-82. 验证门模式

天线是 6dBi 的片状天线的实测数据（图表 2-83），图表 2-84 使用了频谱屏蔽。

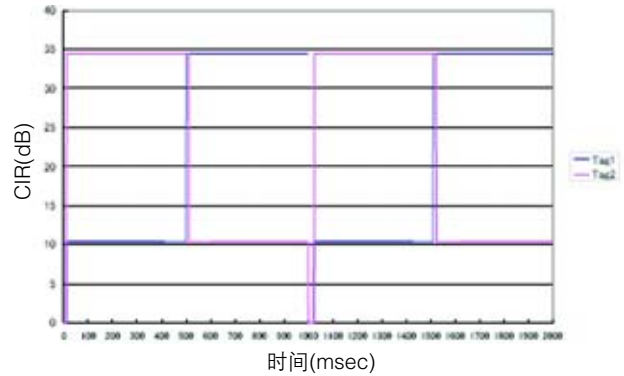


■ 图表 2-83. 天线图案



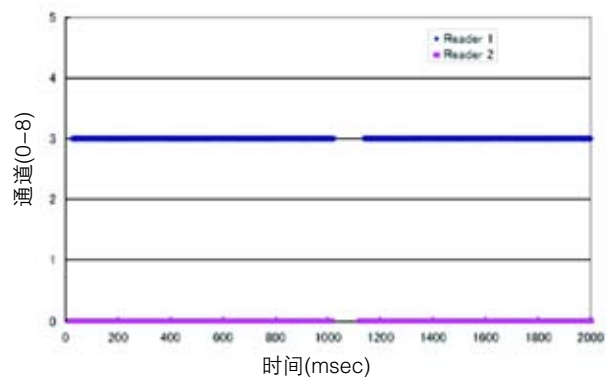
■ 图表 2-84. 读写器的发送功率

两台读写器使用 9 个通道时，标签位置载波干扰比的计算结果，参见图表 2-85 所示。图中，在 1000msec 附近虽然掉到了 0，但这表示的是读写器已经停止发送的状态。



■ 图表 2-85. 标签位置载波干扰比的变化

在 0-500msec，由于读写器 1 和读写器 2 都使用天线 1，所以对于标签 1 来说，读写器 2 的干扰波由于是从视轴方向输入的，所以载波干扰比是单纯的距离比（ $20\log((1.25+0.35+2.5)/1.25)=10.3\text{dB}$ ）。另一方面，对标签 2 的干扰波，是从后瓣发出的。由于后瓣是 -24dBi 左右（图表 2-83），所以载波干扰比为 35dB 左右。这时各读写器选择的通道，是选择频段外离开的 3 通道（图表 2-86）。在 1000msec 附近，显示停止 100msec 后，选择同一通道。



■ 图表 2-86. 选择通道

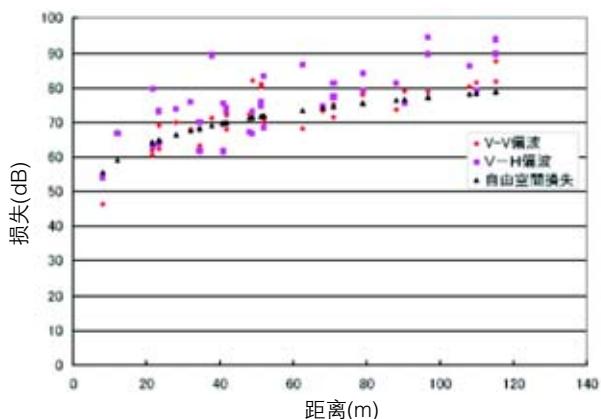
## 应用案例集—RFID

### ■ 应用指南

这个例题，如果两个读写器切换天线的时机一致，两个读写器都能选择适当的通道，就可以同时发送，所以此后载波干扰比逆转并重复。

#### 2-4-2 关于传送模式

图表 2-87 显示的是在某个大工厂内，改变偶极天线的发送偏波、接收偏波，测量传送损耗的结果和自由空间损失。图中的 V-V 偏波的偏波面一致时，V-H 偏波显示发送为 V 偏波，接收为 H 偏波。



■ 图表 2-87. 工厂内的电波传送测量结果

虽然由于衰落的影响，会有一些是例外的，但是如图中所示，如果预计了自由空间损失，就不会有大的问题。另外，如果是直交偏波 (V-H 偏波)，看起来似乎比一些偏波面一致时的损失大。但是它的变动幅度大，为了安全起见，还是不希望偏波分离为好。因此，此次的分析中，关于干扰波，没有指望偏波分离，是按照自由空间损失计算的。

#### 2-4-3 关于高密度读写器的发送延迟

##### (1) 读写器的安装条件

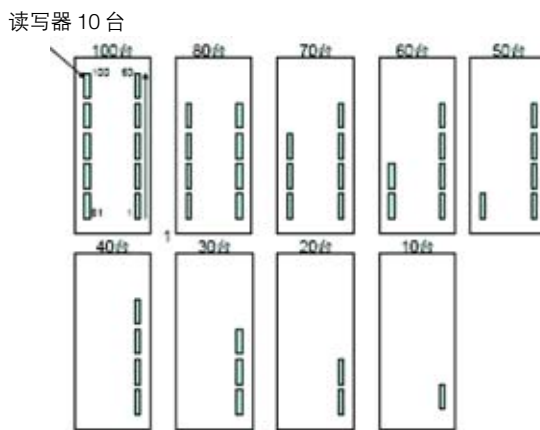
使用载波侦听时，为了再利用 1 个通道，需要一定量的衰减。由于日本高频 (有效全向辐射功率 EIRP = 4W) 电子标签可以使用的通道为 9 通道，所以如果配置的读写器的密度高，就会由于等待空闲通道而造成延迟。此次，门的基本配置如 2-4-1 所述，台数是根据东京物流中心的

情况，读取了地图 (图表 2-88) 到仓库大楼的宽度 (约 150m) 和间隔 (30m)。由于门的间隔是 2.85m，所以在仓库大楼宽度方向，安装了最多 50 个门，加上对面的仓库，用最多 100 台读写器进行了模拟。最关注的结果是频率的使用效率。就是说，所有读写器的发送时间除以总时间 (模拟时间 × 通道数) 的商。频率的使用效率低于 1 的，频率基本上不能再利用。



■ 图表 2-88. 东京物流中心附近的配置

研究了读写器 10 台到 100 台数量的情况。各个配置如图表 2-89 所示。



■ 图表 2-89. 读写器的配置图



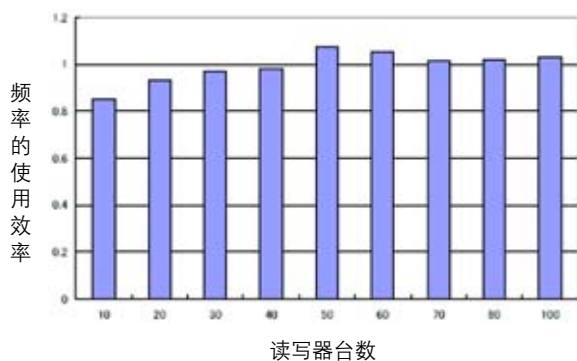
### (2) 关于读写器的发送控制

按照法令规定的  $-74\text{dBm}$ ，读写器进行  $5\text{msec}$  的载波侦听， $5\text{msec}$  的 Backoff 后，从  $500\text{msec}$  到  $4000\text{msec}$  连续发送。在这期间，天线每  $200\text{msec}$  切换一次。虽然多个天线切换的时机与通常存货控制有关，但是由于此次的研究中，读取的数量或出入库频率不能达到一般化的程度，所以在经过一定时间 ( $200\text{msec}$ ) 后，应切换天线。日本经常使用的  $40\text{kbps}$  (包括读写器到标签方向和标签道用户方向) 时，如果有  $200\text{msec}$ ，通过合理控制开口数，可以从 20 个左右的标签中，读取  $96\text{bit}$  的 ID。当读写器发现有空的通道时，将检查所有的通道后，找出干扰最小的通道。这样，可以提高一些频率的使用效率。

[注 1] 摘自三次仁《通过选择通道，防止 RFID 间的分散干扰》，电子情报通信学会 2006 年会，(2006 年)

### (3) 研究结果

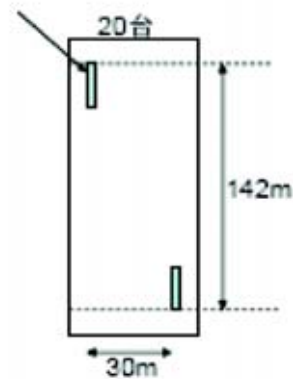
首先，10 - 100 台读写器一起进行载波侦听，发送时频率的使用效率如图表 2-90 所示。频率的使用效率几乎为 1。就是说，在这个区域，频率不能再利用。



■ 图表 2-90. 高密度读写器环境下频率的使用效率

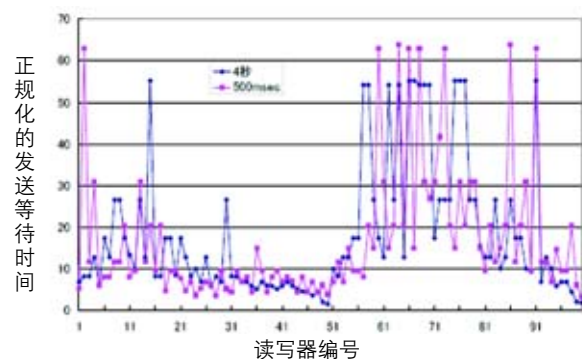
为了确认，将 20 台读写器配置在读取范围的对角线上 (图表 2-91)，计算了频率是否可以再利用，结果，频率的使用效率为 0.99，就是说实质上频率不能再利用。

读写器 10 台



■ 图表 2-91. 通过物流中心的频率再利用

然后，求 100 台读写器要发送时的发送迟延。如果连续发送时间长，绝对等待时间就会变长。所以，这里将发送等待时间除以连续发送时间的商，定义为正规化发送等待时间。一个是将连续发送时间定为 4 秒，按  $1\text{msec}$  的间隔进行了 3 分半钟的模拟，一个是将连续发送时间定为  $500\text{msec}$ ，按  $1\text{msec}$  间隔进行了 30 秒钟的模拟，它们的正规化发送等待时间，见图表 2-92 所示。



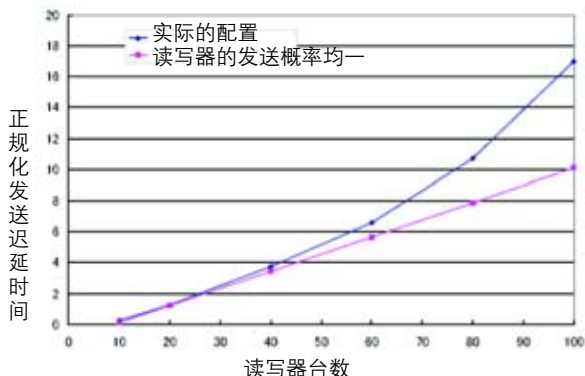
■ 图表 2-92. 正规化发送等待时间的分布

图中，一些大的数值 (等待时间长的)，表示的是在规定的模拟时间中，未获得分配的通道。由于分配通道的运算法则，使得读写器编号 1-50 优先于读写器编号 51-100 获得分配的通道。首先，用正规化发送等待时间，似乎可以不根据发送时间的绝对值即可以评价。另外，在边上的

## 应用案例集—RFID

### 应用指南

读写器（例如 1、50、51、100）干扰只来自单方向，比较容易获得通道。如果将正规化发送等待时间平均，连续发送 4 秒的时候，连续发送时间 18 次 = 72 秒；连续发送 500m 秒的时候，连续发送时间 17 次的迟延 = 8.5 秒。如果读写器可以发送的概率是均一的，正规化的发送等待时间就可以简单地求出。与发送概率均一时相比，此次的模式正规化发送等待时间的关系参见图表 2-93 所示。



■ 图表 2-93. 正规化发送等待时间

台数多，则实际配置的发送等待时间就会变长。如同图表 2-92 所示的实际配置，例如，干扰读写器周围的读写器的发送概率极低，那么，发送等待时间就会变长，这可以认为是平均等待时间降低了的原因。

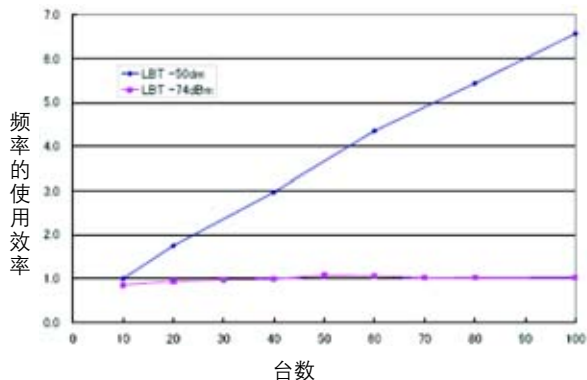
#### (4) 关于与载波侦听强度的关系

此次的门的设定，由于读写器天线与标签之间的距离很近，只有 1.25m，所以即使载波侦听强度没有 -74dBm，-50dBm 也可以实现 CNR15dB (图表 2-94)。

有效全向辐射	36.0	dBm	
功率 (EIRP)			
传送损耗	34.0	dB	无 1.25m @ 953MHz
标签接收	2.0	dB	
标签反射	-7.0	dBm	
读写器天线接收	-40.9	dBm	反射损失 9dB
读写器接收器	-34.9	dBm	
允许干扰	-49.9	dB	无 dBCNR=15dB

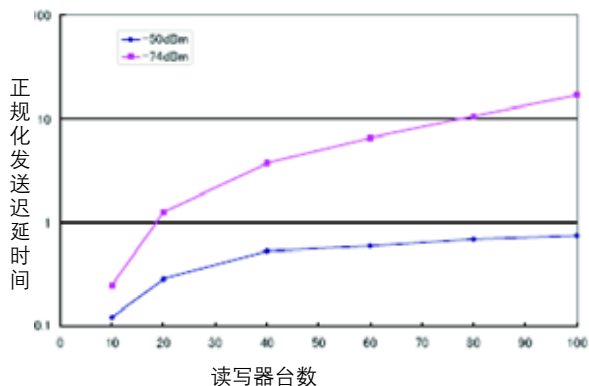
■ 图表 2-94. 标签和读写器之间的距离为 1.25m 时的回线表

这里，看下载波侦听强度在 -50dBm 时频率的使用效率。



■ 图表 2-95. 通过降低载波侦听强度，看频率使用效率的变化

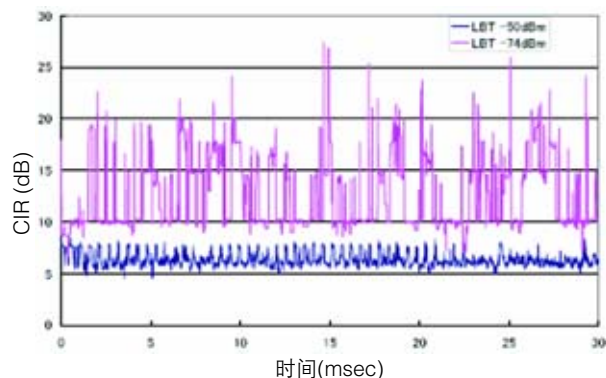
通过降低载波侦听强度，就可以提高频率的使用效率。例如 100 台读写器的频率使用效率为 6.5 左右，基本上 60 个通道可以同时发送。这时的发送延迟时间如图表 2-96 所示，即使是 100 台，也是 0.8 左右。就是说，连续发送时间即使不等待 1 次，也可以发送。当然也要靠 100 台读写器（门）的同时利用率，但是似乎可以认为在实用的范围内。图中 40 台以上和 40 台以下有差别的原因是，安装时，是延伸 1 列还是 2 列之差。不管怎样，比载波侦听强度在 -74dBm 时，可以大幅度改善发送等待时间。



■ 图表 2-96. 载波侦听强度 -50dBm 时的正规化发送延迟时间

### (5) 标签混乱

由于降低载波侦听强度，可以提高读写器发送，所以发生标签混乱的可能性也变大了。图表 2-97 是 100 台读写器发送，-74dBm 与 -50dBm 载波侦听时，最低载波干扰比的变化。

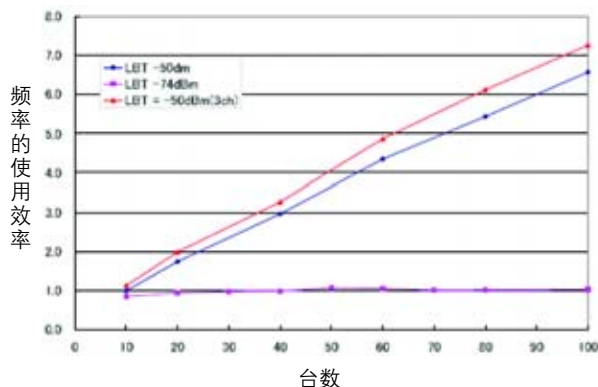


■ 图表 2-97. 最低载波干扰比的变化

载波侦听强度为 -50dBm，频率的使用效率为 6 倍左右，但是载波干扰比的劣化量在 4dB 左右（从 10dB 到 6dB）。只有附近的施加干扰读写器对标签载波干扰比起着支配性的影响。如前面所述，由于通过电波吸收体的遮挡，可以降低 10dB 左右的载波干扰比，所以如果是这种程度的干扰量，就可以在安装时采取措施，避免干扰。

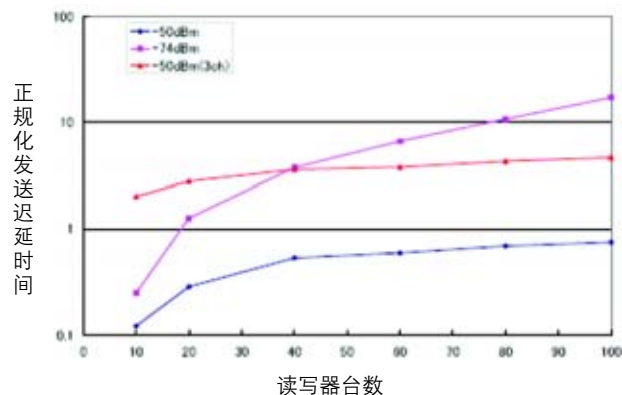
### (6) 有通道数量限制时

(4)中，是降低了所有通道的载波侦听强度，但是在现实当中，这种条件难以实现，只能是降低限定通道的载波侦听强度。这里，即使只有通道 1、5、9 降低了载波侦听强度，但是也做了计算。



■ 图表 2-98. 有通道限制时，频率的使用效率

这时频率的使用效率，是按照 3 个通道的再利用的效率计算的。由于通道可以分离，频率的使用效率比 9 个通道时更高。但是，从等待时间上看（图表 2-99），读写器台数少的时候（40 台以下），比载波侦听强度为 -74dBm 时的发送等待还长。这表示单纯读写器台数少的时候，可以降低载波侦听强度，重复频率，所以，通道数量多时更有利。另外，也是理所当然的事，如果是相同的载波侦听强度（例如 -50dBm），频率的使用效率差，在发送等待时间这种实效性的重要指标中，还是通道数量多的更有效果。



■ 图表 2-99. 有通道限制时的发送等待时间

### 2-4-4 总结

多数的读写器都是安装在 150m × 30m 的门状装置上，安装的密度高。当载波侦听强度为 -74dBm 时，由于几乎不能指望频率再利用，所以如果增加读写器台数，发送等待的时间就会变长。其中也有由于处在众多读写器的中央位置，所以受到了来自各个方向的干扰，等待发送的时间会更长。例如，最繁忙时最多也就是等待一次连续发送时间的话，就很难安装 20 台以上的高频率读写器。

另一方面，即使进行载波侦听，加上读写器与标签之间的距离短，载波侦听强度降低到 -50dBm 的话，即使是 100 台，顶多用 1 次连续发送的等待时间，就可以发送所有的读写器。高密度配置中，还要加上对其它无线系统的影响，如果能够根据这样的安装条件发挥频率的共用条件，是行之有效的。

## 应用案例集—RFID

### ■ 应用指南

## 第3章 UHF 频段电子标签的使用方针

### 3-1 关于颁布UHF频段电子标签使用方针的背景和目的

电子标签设备使用的频率频段,具有各种各样的特点,是较难使用的商品,具有解决方案型的商品特征。所以,从研究系统到引进电子标签设备需要很长时间。特别是UHF频段电子标签系统,比使用其它频率频段的电子标签设备的通信距离长,所以容易受到相互干扰的影响。

这个UHF频段电子标签使用方针的目的是,让最终用户在引进UHF频段电子标签系统时,根据这一方针,尽量排除相互之间的干涉,以便稳定的使用UHF频段电子标签系统。这一方针对于电子标签系统的普及、扩大是十分必要的。

此次UHF频段电子标签的使用方针,以UHF频段电子标签系统的现场中,不同厂家的2006年度的UHF频段电子标签模式为基础,只不过是按照相互干扰的实际验证测试中假设的课题,汇总了一部分措施。现在急需按照2007年度不同厂家的产品环境,进行其他UHF频段电子标签的实际验证测试,或现在正在研究中的有源标签系统和的兼容实际验证测试等。2007年度还要继续对测试结果等采取措施,所以还需要不断完善这个UHF频段电子标签的使用方针,带动相关行业的发展。

### 3-2 UHF 频段电子标签系统的基础知识

#### 3-2-1 UHF 频段电子标签系统

UHF频段电子标签系统,主要由安装在单位特定环境中的高频型UHF频段电子标签系统(以下简称“高频型”),和一般用户可以携带使用的低频型UHF频段电子标签系统(以下简称“低频型”)的两个电子标签系统构成。

##### (1) 高频型 UHF 频段电子标签系统

是许可证型的高频型。其天线输出功率为10mW~1W,在952M~954MHz频段,特别是物流、流通、交通等需要较长距离通信的专业使用。单位通道为200kHz,共配置9个通道,可以集合多个单位通道。另外,为了不对同一频段内的其他系统造成串线或妨碍其他无线局使用,需要载波侦听功能和发送时间控制功能的兼容条件。特

别是高频型,由于需要高速读取多个电子标签,所以在载波侦听、发送时间控制方面,比低频型更能够确保通道。在安装高频型时,需要申请无线局。

##### (2) 低频型 UHF 频段电子标签系统

无需许可证的低频型,天线输出功率为10mW以下,在952M~955MHz的频段,由于通信距离短,主要用于近距离读取贴在各种商品上的电子标签,就是说,可以广泛应用于现在条形码读写器使用的行业。单位通道的频段宽度为200kHz,总共可以使用14个通道,不能集合多个通道。如果已经获得了技术适合性的证明,低频型设备可以无需申请无线局。

#### 3-2-2 兼容条件

为了引进载波侦听方式的兼容条件,需要决定应该进行载波侦听的频段,决定其通道的发送时间和停止时间。

##### (1) 关于单位通道

最低可以确保ISO18000-6定义的40kbps的传送速度,并且,为了有效地使用UHF频段电子标签系统的952M~954MHz的2MHz频段,将单位通道宽度定义为200kHz的频段,规定高频型的单位通道数量为9个通道,低频型为14个通道。

##### (2) 关于载波侦听

载波侦听的目的是,读写器对于要发射电波的通道,在一定时间内,确认其他读写器没有发射出一定以上功率的电波后,自己才发射电波,通过这样的方法,来防止读写器间的干扰。

##### (3) 控制发送时间

UHF频段电子标签系统安装有多个读写器时,希望公平地使用通道。为此,读写器需要考虑一并读取所需的足够发送时间,以及给其他读写器腾出通道所需的时间。

传输时间方面,传送速度为40kbps,电子标签读取速度为50张/秒。规定4秒应读取最多200张电子标签。

停止时间方面,为了发现空闲通道,将不等待载波侦听时间,不停地变更通道,所以1个通道的处理时间不到5ms。载波侦听结束时,为了抓住停止发送的通道,即使在其他通道都占用时,也需要腾空通道的时间。所以,停止时间规定为50msec以上。

### 3-2-3 安装 UHF 频段电子标签系统的注意事项

#### (1) 2005年4月修订的省令中,关于与高频型的相互干扰

2005年4月修订的省令中,许可证型的高频型的规定中,没有涉及兼容条件。这个设备的前提是,管理主体及安装场地都需要在特定的状态下使用。

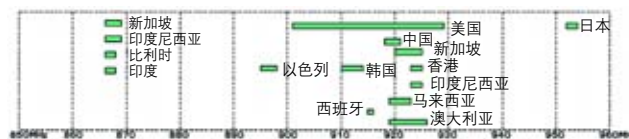
上次实际验证测试中,没有兼容条件的测试,当时确认了兼容条件的必要性。2006年1月省令修订中,提出由于有可能影响UHF频段电子标签设备,为了日本国内频率频段的有效利用,决定从2006年1月起,按照修订的省令,置换成具备兼容技术的UHF频段电子标签设备。这件事虽好,但是供货的大多半都是用于实际验证测试的,经过5年后,恐怕也不能使用了。

#### (2) 读写器密集安装时的相互干扰

在密集安装读写器的地方,将具备兼容条件的UHF频段电子标签设备置于不同厂家环境中,进行实际验证测试的结果,临近配置多个读写器时,有时需要适当地选择发送通道。

#### (3) 开展 UHF 频段电子标签系统的全球性项目

在ISO18000-6中,860MHz~960MHz的UHF频段,有100MHz的频段宽度。UHF频段电子标签系统可以使用的频率和频率频段的宽度,如图表3-1所示,各个国家有所不同。这里,在物流、流通行业,开展全球性项目时,在关注各国的UHF频段电子标签系统的法规缓和的状况的同时,还需要准备适合该国UHF频段电子标签规格的设备。

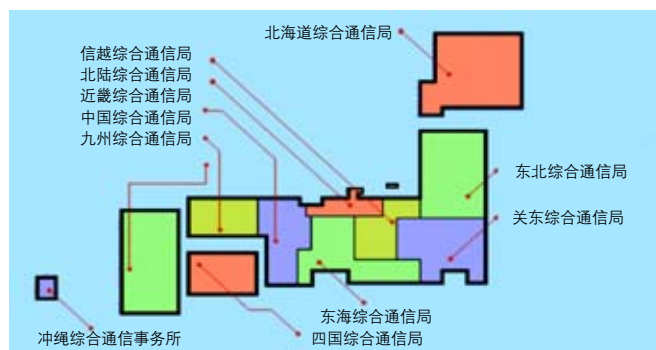


■ 图表 3-1. 世界各国的 UHF 频段的频率分配的现状 & 计划

#### (4) 关于 UHF 频段高频型无线局的申请手续

最终用户安装高频型UHF频段电子标签设备时,需要如图表3-2所示,向全国11处最近的综合通信局申请安装无线局,申请书上UHF频段电子标签设备的技术标准适合证明的认证编号。

另外,最近为了缩短获取许可证的时间,还可以网上申请无线许可证。



■ 图表 3-2. 全国的综合通信局网点图(摘自总务省网站)

#### 3-2-4 现场使用 UHF 频段的注意事项

UHF频段电子标签系统使用860MHz~960MHz频段的电波。UHF频段具有比其他频率频段的通信距离长,抗周围干扰能力强,受水分或金属影响等特点。例如,蔬菜、冷冻品、含水分的商品上贴电子标签时,或读写器和电子标签间的通信途径上有雨、人体存在时,电子标签的读取率就会降低。另外,天线发射的直接波和墙壁等反射的反射波的位相一致时,就会形成互相都强的可以通信的区域,或位相一致互相都弱的不能通信的区域。这两个区域,由于每个安装环境的障碍物的配置不同,安装时需要注意在现场进行调整。

## 应用案例集—RFID

### ■ 应用指南

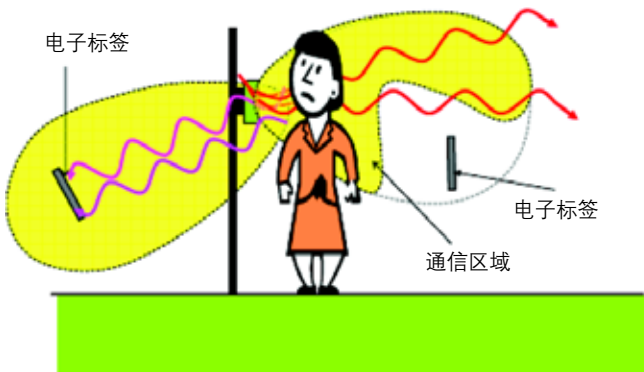
如果 UHF 频段的电子标签设备共享使用时，可能出现如下问题，所以在安装和使用时，需要通过实际设备的实际验证测试，确认其影响。

#### (1) 电子标签贴付物的影响

UHF 频段的电子标签，根据贴电子标签物品的特性，会影响电子标签和读写器之间的通信距离。因此，需要在制定电子标签的规格时，考虑对贴付物的影响，注意电子标签的加工条件。

#### (2) 反射造成的影响

860M ~ 960MHz 的 UHF 频段的电波，在金属等导体面反射。对水，一部分反射，一部分透过后衰减。例如，人或物哪怕仅仅是在天线前面通过，电波也会反射到各个方向。图表 3-3 所示，通信区域受其影响，平常不读取的地方，读取了电子标签，同时，被反射的一侧，平时能够读取的区域，变成不能读取电子标签了。



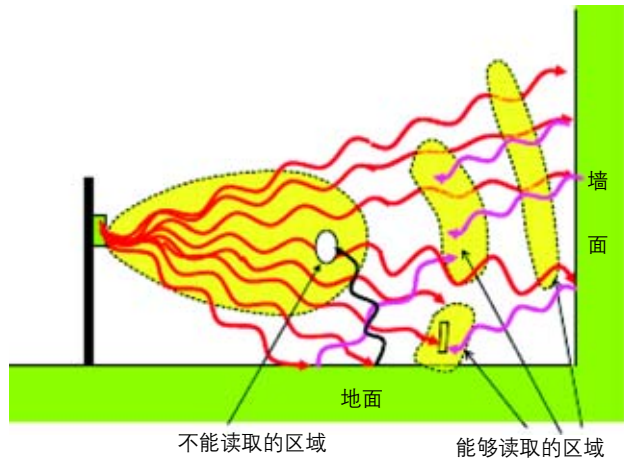
■ 图表 3-3. 反射波的影响

#### (3) 对多途径的影响

UHF 频段的电波如图表 3-4 所示，通过周围环境的墙壁、地面、设备、材料等反射体反射。在这样的环境下，读写器发射的电波如果反射，便产生不能通信的区域。标签直接接收到的天线发射电波，称为直接波，标签接收到的反射的电波称为反射波。

现实的环境中，直接波和反射波在一起，根据标签的位置，有的地方电波变强，有的地方电波明显变弱。由于这样的反射使通信性能发生变化的称为多途径现象。这种现象，由于安装环境的不同，被认为是非常麻烦的课题。

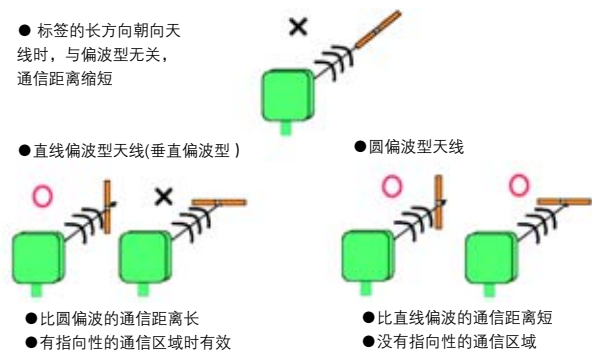
这个现象导致本来可以一次读取完的，变成需要再次读取，增加了读取的次数，降低了读写器的读取性能。所以最终用户，肯定需要安装或使用多个天线来解决，因此需要低价格、可以稳定读取的天线。



■ 图表 3-4. 多途径的现象

#### (4) 天线的偏波方式和标签的指向性

天线发射的电波的方向称为偏波，大致可分为直线偏波和圆偏波。直线偏波又可以分为水平偏波和垂直偏波；圆偏波又可以分为右旋偏波和左旋偏波。直线偏波方式比圆偏波方式，具有在天线和电子标签正对着时，通信的距离长，天线和电子标签不正对着时，通信距离短的特点。图表 3-5 中天线的偏波方式的特点和电子标签的安装位置的关系，可能会造成通信距离不同，所以需要选择最恰当的产品，进行最恰当的安装。



■ 图表 3-5. 天线的偏波方式和电子标签安装位置的关系

### (5) 多次连续读取

利用UHF频段的高速读取功能,进行连续多次读取,将多次读取的各个电子标签的总和,作为读取张数,算出读取率。

### (6) 调整天线朝向

在各个电子标签系统之间,调整天线发射电波的指向性,可以降低系统间的相互干扰。例如,不要让相邻传送频段间安装的天线正对着。

## 3-3 UHF 频段电子标签系统的使用规则

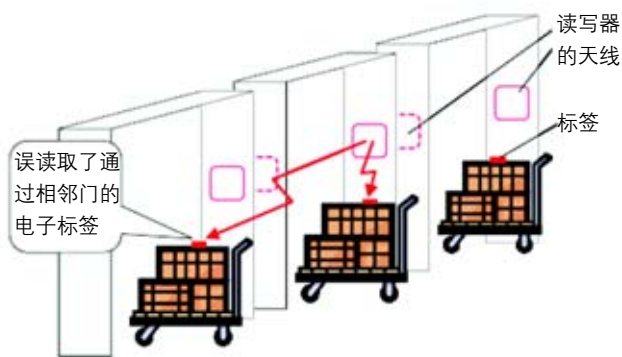
UHF 频段电子标签系统的使用规则有以下两点。

- ① UHF 频段电子标签系统可以使用的最小限度的发送输出
- ② UHF 频段电子标签系统可以使用的最小限度的发送时间

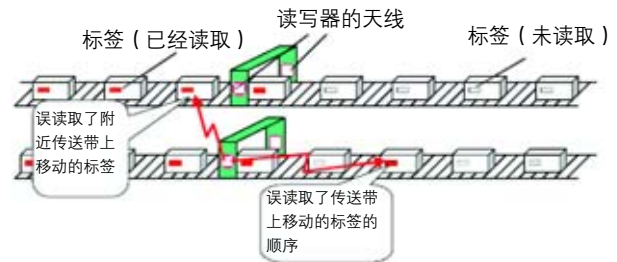
### 3-3-1 UHF 频段电子标签系统可以使用的最小限度的发送输出

门模式和传送带模式的两种模式,在最大发送功率时,读取电子标签的结果,可能会读取通过相邻门的电子标签,或误读取了自己一方传送带上移动的电子标签的顺序。(图表 3-6, 图表 3-7)

为此,最好将UHF频段RFID读写器的发送输出,调整到UHF频段电子标签系统使用的最小限度。



■ 图表 3-6. 通过门的电子标签的误读取举例

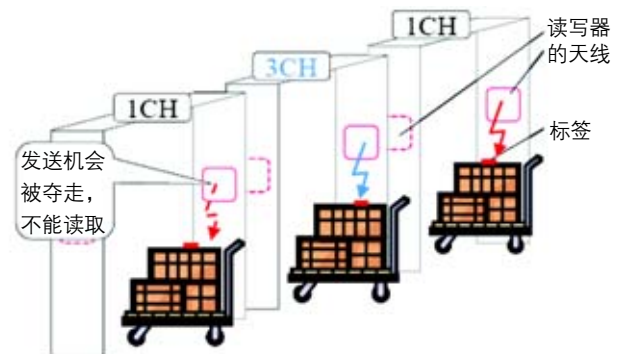


■ 图表 3-7. 在传送带上移动的电子标签的误读取举例

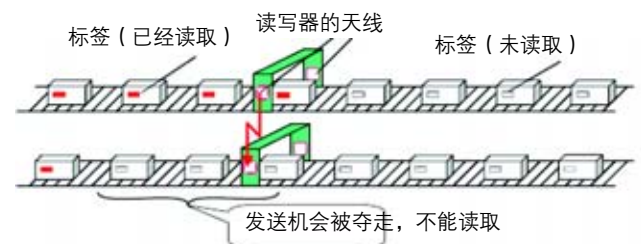
### 3-3-2 UHF 频段电子标签系统可以使用的最小限度的发送时间

如果UHF频段RFID读写器进行不必要的长时间发送,就会对其它UHF频段的RFID读写器造成影响,降低其它读写器的发送机会。特别是需要高度实时性的传送带模式,要求的模式如果被干扰,传送带上移动的电子标签很可能被读错。另外,即使是实时性较低的门模式,如果被干扰,也会在通过门时,读不出电子标签。(图表 3-8, 图表 3-9)

为此,最好与传感器连锁,只在所需要的时间进行读取处理,将UHF频段RFID读写器的发送时间调整到UHF频段电子标签系统可以使用的最小限度。



■ 图表 3-8. 门模式时, 读不到的例子



■ 图表 3-9. 传送带模式时, 读不到的例子

## 应用案例集—RFID

### ■ 应用指南

#### 3-4 UHF 频段电子标签的方针

##### 3-4-1 门模式

###### (1) 防止标签混乱

UHF 频段 RFID 读写器的调频方式为 DSB-ASK 时，防止标签混乱需要约 15dB，PR-ASK 时，需要约 20dB 的载波干扰比。

但是，不同的电子标签，所需要的载波干扰比也不同，所以在选择电子标签时需要注意。

UHF 频段 RFID 读写器的发送输出，施加干扰和被干扰为同一个干扰时，意味着 15dB 天线、电子标签之间距离的 6.6 倍（天线 -- 电子标签 -- 施加干扰天线为一条直线，正对着排列时）以内的 UHF 频段 RFID 读写器是施加干扰源，20dB 是天线、电子标签之间距离的 11 倍（天线 -- 电子标签 -- 施加干扰天线为一条直线，正对着排列时）以内的 UHF 频段 RFID 读写器，是施加干扰源。

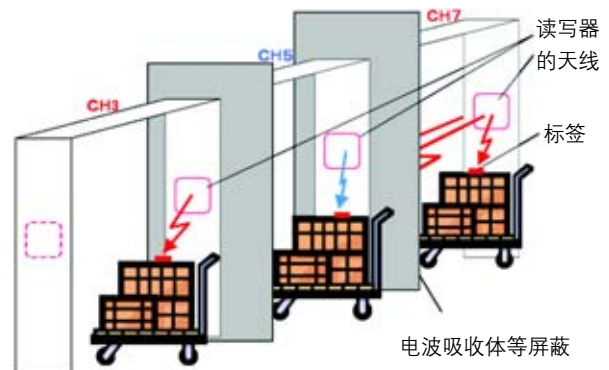
上述的范围内有施加干扰源的天线时，由于可能会发生标签混乱，需要

- 安装电波吸收体等屏蔽（图表 3-10）
- 调整天线的种类、数量、配置、安装角度（图表 3-11）
- 门的数量少时，与施加干扰一侧的 UHF 频段 RFID 读写器的通道隔离（图表 3-12）

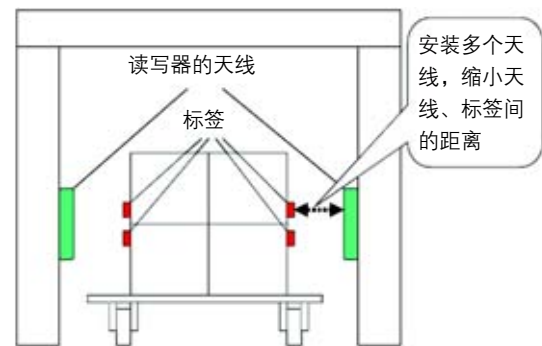
等确保隔离的措施。

另外，如果由于安装环境的原因发生多途径现象，安装、使用时，需要通过在实际环境的实际验证测试，确认电子标签能够稳定读取。

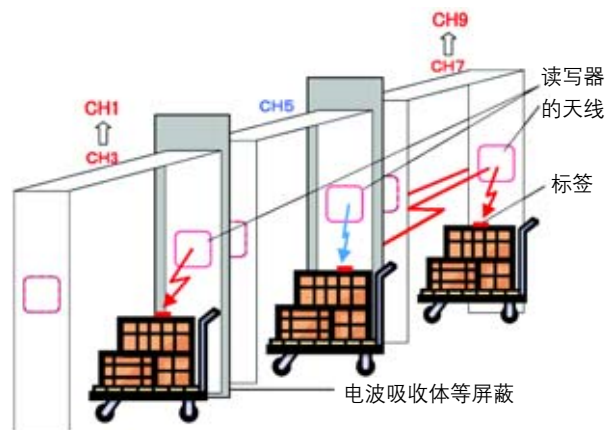
另外，将对面天线的旋转方向设置成相反方向的方法，虽然对于防止标签混乱没有效果，但是在确保与施加干扰 UHF 频段 RFID 读写器的隔离，稳定读取精度的方法上，也是行之有效的。（图表 3-13）



■ 图表 3-10. 安装电波吸收体等屏蔽的例子



■ 图表 3-11. 配置、安装天线的例子



■ 图表 3-12. 隔离通道的例子



## (2) 通道配置

通过开放一侧的测试结果，说明为了不发生标签混乱，确保隔离，最好与邻近的门离开2个通道(400kHz)以上。

单位内无线局的高频型UHF频段RFID读写器，需要以200kHz为单位通道，设为9个通道。为此，如果需要10个以上通道时，每组最多9个通道，组间进行时间分割处理(为此，需要执行使用规则②)。组间的边界，不要让通道离得太近。

UHF频段RFID读写器，有发送通道和接收通道共享的FM0方式，还有发送通道和接收通道分开的次镜载频方式，关于通道的配置，需要注意通信方式。

通道的配置方法，有以下的两个方法。

### 1) 自动通道的配置方法

事先设定多个UHF频段RFID读写器可以使用的通道，开始发送时，自动选择电波环境最好的通道。就是说，载波侦听强度在规定值以下，并且选择附近干扰强度小的通道，就可以将施加干扰源的影响降低到最小。

或者事先设定多个UHF频段RFID读写器可以使用的通道，开始发送时，寻找空闲通道，然后使用可以发送的通道。采用次镜载频方式的UHF频段RFID读写器时，需要限制接收通道不要作为发送通道使用。

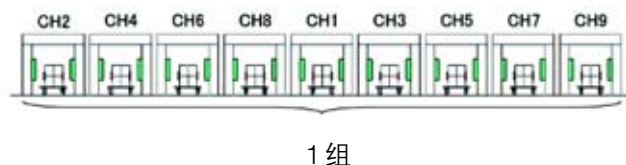
### 2) 固定通道的配置方法

事先固定1个各UHF频段RFID读写器使用的通道。通过手动配置通道。这时，每次增设UHF频段RFID读写器，都需要配置通道。

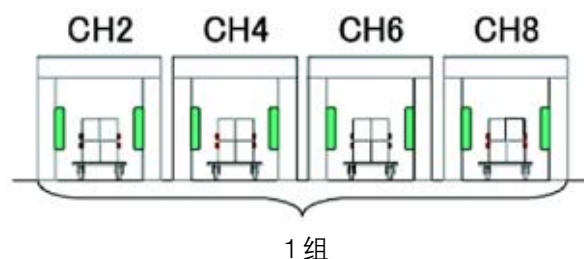
采用次镜载频方式的UHF频段RFID读写器，必须注意不要让接收通道作为发送通道使用。

自动通道配置方法和固定通道配置方法在一起进行通道配置时，需要注意用固定通道配置方法设定的UHF频段RFID读写器，获得通道的机会容易受到影响。另外，包含有采用次镜载频方式的UHF频段RFID读写器时，需要采取保护接收通道的措施，保证在接收通道上不要重叠发送通道等。

使用固定通道配置方法，采用FM0方式的UHF频段RFID读写器的通道配置方案参见图表3-14，采用次镜载频方式，使用UHF频段RFID读写器的通道配置方案，参见图表3-15所示。



■ 图表3-14. 门模式时，FM0方式的通道配置方案



■ 图表3-15. 门模式时，次镜载频方式的通道配置方案

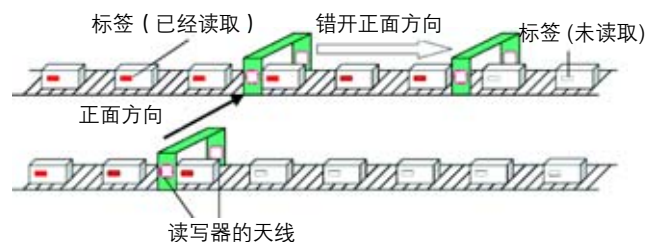
## 3-4-2 传送频段模式

### (1) 防止标签混乱

即使是传送带模式，也需要防止标签混乱。但是，传送带模式比门模式配置天线的自由度高。(门模式由于天线容易正对着，所以基本上门多排成1列)

一般来说，由于天线正面方向大多具有指向性，所以安装天线时，错开施加干扰天线的正面方向，可以防止标签混乱。(图表3-16)

关于天线的指向性，由于每个厂家的不同，在安装、使用时，需要通过实际环境的实际验证测试，确认电子标签能够稳定读取。



■ 图表3-16. 通过移动天线防止标签混乱的例子

## 应用案例集—RFID

### ■ 应用指南

#### (2) 通道配置

UHF 频段 RFID 读写器有发送通道和接收通道共享的 FM0 方式，也有发送通道和接收通道分开的次镜载频方式，配置通道时，需要注意通信方式。

如果是采用 FM0 方式的 UHF 频段 RFID 读写器，标签接收时就不会受到其它 UHF 频段 RFID 读写器的干扰，因此可以实现稳定的、确保实时性的系统。但是，条件是没有任何同一通道的干扰波，所以在使用区域内如果有 10 台以上的 UHF 频段 RFID 读写器时，读取精度就会降低。如果有 10 台以上的 UHF 频段 RFID 读写器时，最多 9 个通道为 1 组，组间进行时间分割处理（为此，需要执行使用规则②）。组间的边界，需要考虑不要让通道靠得太近。

如果是采用次镜载频方式的 UHF 频段 RFID 读写器，其它 UHF 频段 RFID 读写器可能影响接收标签，所以不见得能够确保实时性。为了确保实时性，需要保护接收通道，不要让发送通道重叠到接收通道。

通道的配置方法，有以下两个方法。

##### 1) 自动通道的配置方法

事先设定多个 UHF 频段 RFID 读写器可以使用的通道，开始发送时，自动选择电波环境最好的通道。就是说，载波侦听强度在规定值以下，并且选择附近干扰强度小的通道，就可以将施加干扰源的影响降低到最小。

或者事先设定多个 UHF 频段 RFID 读写器可以使用的通道，开始发送时，寻找空闲通道，然后使用可以发送的通道。采用次镜载频方式的 UHF 频段 RFID 读写器时，需要限制接收通道不要作为发送通道使用。

##### 2) 固定通道的配置方法

事先固定 1 个各 UHF 频段 RFID 读写器使用的通道。通过手动配置通道。这时，每次增设 UHF 频段 RFID 读写器，都需要配置通道。

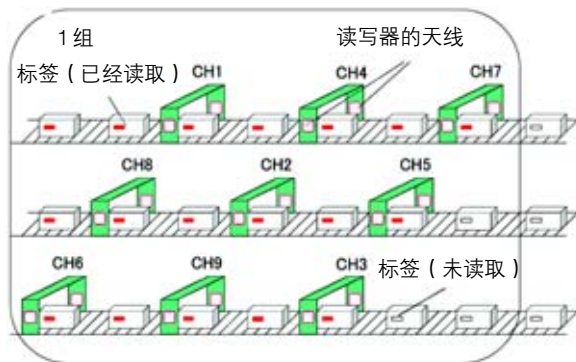
采用次镜载频方式的 UHF 频段 RFID 读写器，必须注意不要让接收通道作为发送通道使用。

自动通道配置方法和固定通道配置方法在一起进行通道配置时，需要注意用固定通道配置方法设定的 UHF 频段

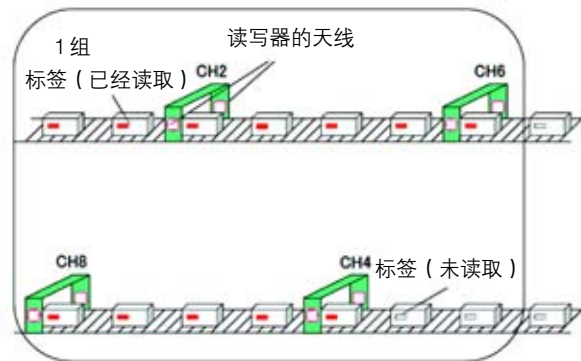
RFID 读写器，获得通道的机会（实时性）容易受到影响。为此，为了确保实时性，最好不要让自动通道配置方法和固定通道配置方法在一起。另外，包含有采用次镜载频方式的 UHF 频段 RFID 读写器时，需要采取保护接收通道的措施，保证在接收通道上不要重叠发送通道等。

使用固定通道配置方法，采用 FM0 方式的 UHF 频段 RFID 读写器的通道配置方案参见图表 3-17，采用次镜载频方式，使用 UHF 频段 RFID 读写器的通道配置方案，参见图表 3-18 所示。

传送带模式的的天线配置较自由，按照天线的实际配置来配置通道。通道配置的基本构思是 2 点：①离开附近的天线（特别是正对着的天线），②远离相邻通道。



■ 图表 3-17. 传送带模式时，FM0 方式的通道配置方案



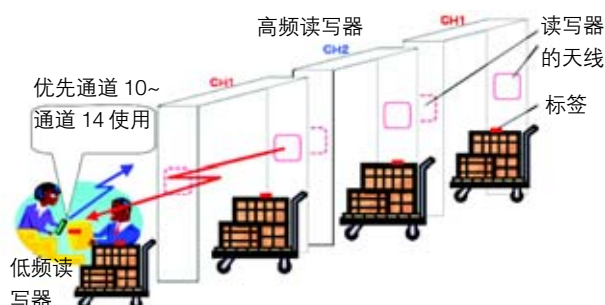
■ 图表 3-18. 传送带模式时，次镜载频方式的通道配置方案

### 3-4-3 低频型 UHF 频段 RFID 读写器

#### (1) 通道配置

如果与高频型 UHF 频段 RFID 读写器使用同一通道，便容易受到干扰，所以优先低频型 UHF 频段 RFID 读写器专用的通道 10~通道 14 使用。(图 3-19)。

另外，如果选择距离干扰源近的通道，有时会发生错误。发生错误时，通过重新选择通道的重试处理，可以恢复正常。

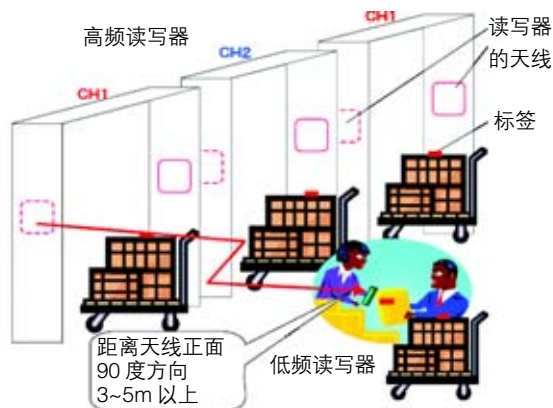


■ 图 3-19. 低频型 UHF 频段 RFID 读写器的通道配置

#### (2) 与高频型 UHF 频段电子标签读写器的距离，根据朝向决定隔离的距离。

与高频型 UHF 频段 RFID 读写器的天线的隔离距离，最好距离天线正面 90 度的方向有 3~5m 以上。(图 3-20)。

另外，高频读写器的天线正面方向，应尽量避免使用低频读写器。由于不得已的原因，在高频读写器天线的正面方向必须要使用低频读写器时，低频读写器的正面方向应不要朝向高频读写器的方向。



■ 图 3-20. 与高频型 UHF 频段 RFID 读写器的距离，根据朝向决定隔离的距离

#### (3) 防止低频型 UHF 频段电子标签读写器之间的干扰打印机互临近安装无特别问题。

手持型读写器互相的视轴方向(天线正面方向)应避免经常处于正对着的方向，如果能保持 50cm 左右间隔，实际应用上不会发生问题。

### 3-5 今后的研究课题

#### 3-5-1 密集安装读写器造成的相互干扰

关于安装高密度读写器，经过模拟等待时间测试的结果，如果只能允许最多等待一次左右连续发送的时间，就很难安装 20 台以上的读写器了。

另外，与日本同样使用窄频段的欧州，只是在特定的通道不采取载波侦听，而是研究提高频率的使用效率。在此次的实际验证测试中，为了提高频率的使用效率，进行了以下的测试和模拟。

##### ① 共享发送通道

在电波暗室，解除兼容技术条件的载波侦听，进行了发送通道共享的测试。发送通道和接收通道分开的次镜载频方式中，只要保护接收通道，就可以实现发送通道的共享，就可以高密度安装 UHF 频段 RFID 读写器。为了模拟发送通道共享，向发送通道输入不发生标签混乱强度的干扰波，测量了读取率。其结果，在次镜载频方式，发送通道共享的可能性明显很高。

##### ② 降低载波侦听强度

通过相互干扰模拟器，评估了降低载波侦听强度时的频率使用效率。其结果，在现有载波侦听强度下，频率使用效率为 1，而降低了载波侦听强度后的频率使用效率提高了。

##### ③ 分析

虽然现在 FMO 和次镜载频方式的两种方式都可以使用，但是从测试结果来看，使用次镜载频方式的地方，FMO 进入时，很可能次镜载频就不能使用了。作为电波的有效利用，可以分离 FMO 和次镜载频频段，这在行业使用规则上可以考虑，但是难以贯彻到国外的所有厂家。另外，还

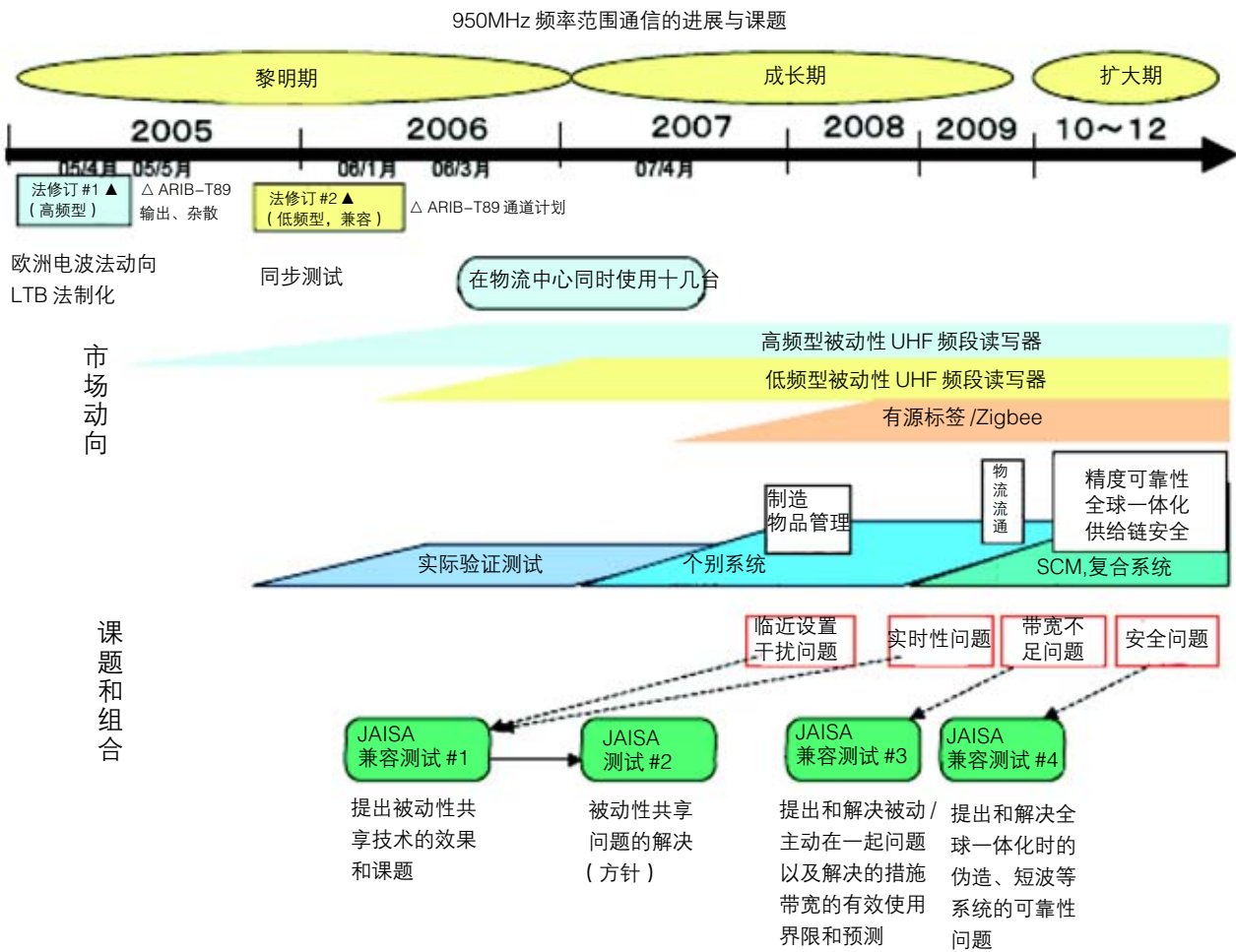
# 应用案例集—RFID

## ■ 应用指南

有FMO使用的频段域减少的问题。所以需要建立一套让各企业的竞争区域能够使用、安装的方法，不必担心干扰问题的法规。所以，在国际战略上，急需扩大频段，修订现行的电波法。

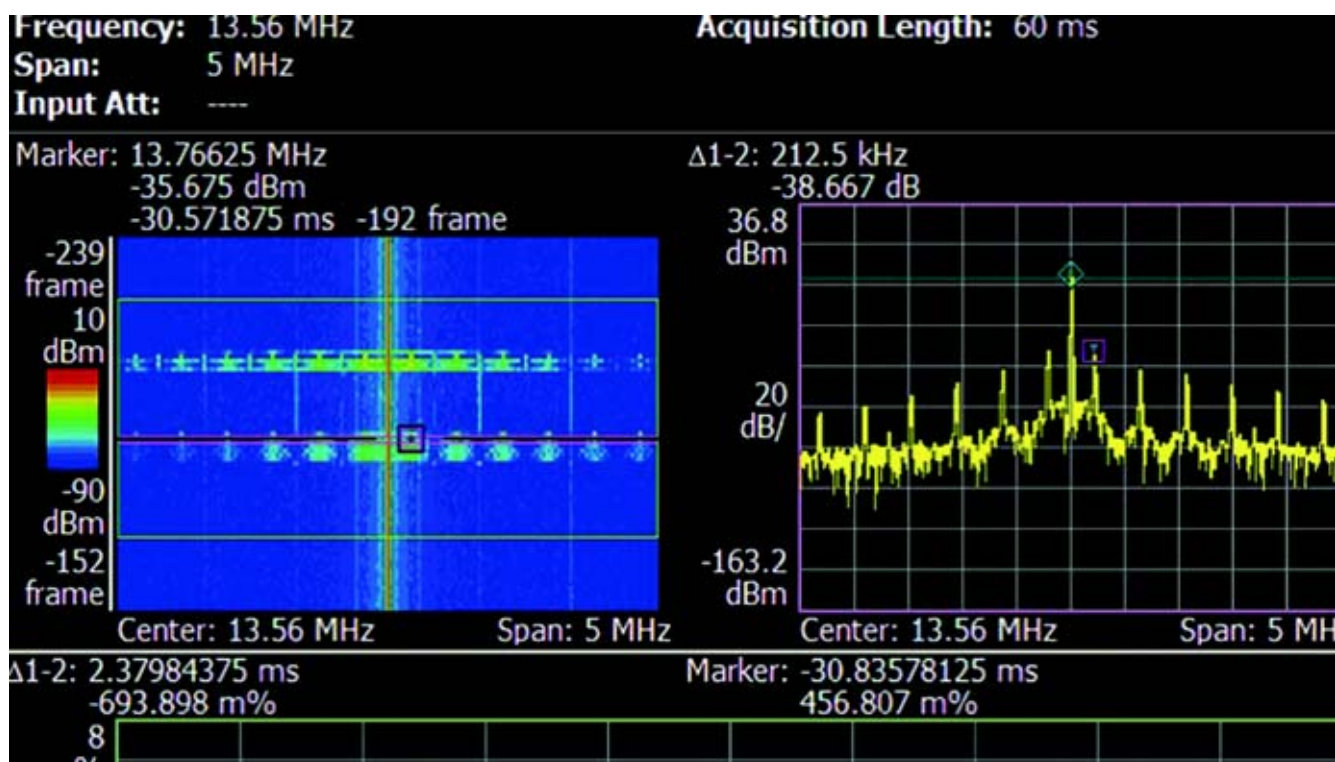
### 3-5-2 继续进行有关相互干扰的实际验证测试

2007年度希望继续在不同厂家环境下，假设现实的UHF利用场地，进行实际验证测试。特别是进行与附近安装的其它UHF频段电子标签系统相互干扰的实际验证测试，或与现在正在研究的有源标签系统的兼容实际验证测试等。



2007年度，希望研究有关降低载波侦听强度、通道配置、扩大频率频段等，更有效地使用频率以及修订电波法令等问题。

## 使用实时频谱分析评估和优化射频识别(RFID)系统



在 RFID 系统部署中，主要技术问题是全球互操作能力和放射辐射是否符合标准。本应用指南的主要目的是演示怎样使用实时频谱分析仪，评估 RFID 系统是否符合 ISO/IEC 标准及与国际发射机有关的政府法规(如 FCC 47 part 15, ARIB STD-T82 和 EN 300 330)。在本应用指南中，我们专门参考了 ISO/IEC 18000-3 标准 (13.56 MHz 时 RFID 空中接口通信参数)，因为其它 RFID 频段的相关法规要求与其非常类似。

## 应用案例集—RFID

### ■ 应用指南

#### RFID 轮询和定时测量

实时频谱分析仪(RSA)允许用户使用空中触发、内存捕获及解调模拟信号和数字信号,查看完整的阅读器与标记交互的时间记录。如果轮询时间延迟,可以分析延迟的原因。



■ 图 1. 使用RSA3303A和近场探头(泰克产品编号: 119-4146-00)测试 RFID 阅读机和标记之间交互情况的设置实例。

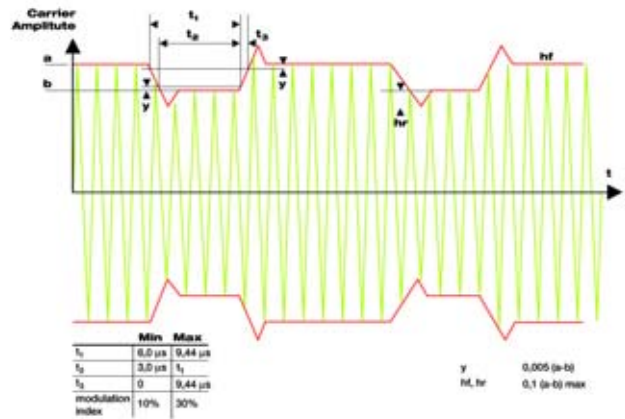
在 RFID 阅读器/询问器搜索标记时,其称为“轮询”。与轮询有关的是各种 RFID 标准中要求的定时指标数量。一个关键定时指标是“周转时间”,包括发送到接收模式及接收到发送模式。简单的增量标尺功能使用 RSA 捕获交互,用来测量从阅读器发送结束到标记响应之间的时间间隔,反之亦然。

其它定时指标包括“驻留时间”或“询问器发送功率上倾斜”、“衰减时间”或“询问器发送功率下倾斜”以及“脉冲暂停”定时。这些指标通常采用图 2 和图 3 所示的模板形式给出。

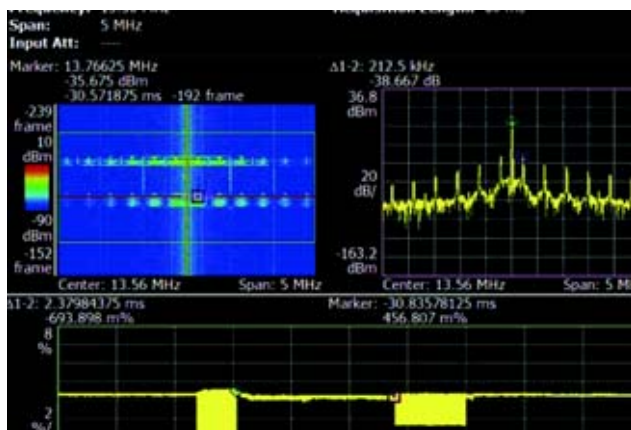
动态范围(垂直分辨率)

示波器是 RFID 应用中非常有用的一种台式工具,而 RSA 则是为优化 RFID 系统及进行一致性测试要求的 RF 测量类型而优化的。

例如,与使用示波器相比,RSA 明显提高了动态范围。这在 RFID 测试中非常重要,因为来自标记的响应频率通常与阅读器相同,但功率电平明显要低得多(约为 -80 dB)。



■ 图 2. 从阅读器到标记的定时模板实例 (参考标准: ISO/IEC 18000-3 和 MIT-AUTOID-TR-011)



■ 图3. 使用泰克 RSA 3308A 进行轮询测量的实例。

图3说明了RFID系统交互的多域视图。在左上方，我们看到的是频谱图，右上方是频域图，屏幕下方是AM解调。

以前，为了在所这些域中查看信号(频谱图、频域图和解调)，要求使用示波器、扫频分析仪和矢量信号分析仪(VSA)。

在触发空中信号，并把它存储到内存中后，我们对信号进行分析。参考光标放在阅读器发出的100% ASK调制信号的末尾，第二个标尺放在标记发出的10% 负荷调制ASK响应上。在使用5 MHz跨度时，RSA提供了156.25 ns的时域分辨率，足以简便地确定是否符合标准，优化系统的响应时间。

### 碰撞管理

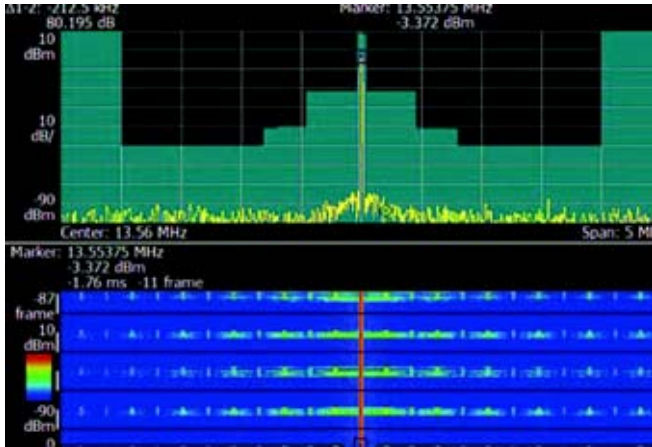
RSA能够把信号存储在内存中，进行捕获后分析。这特别适合测量具有多个标记的交互，以检验碰撞管理。ISO/IEC 18000-3第6.2.7.9节要求在390 ms时间内阅读500个标记，它还要求从静态标记开始930 ms内阅读50个数据字，从活动标记开始944 ms内阅读50个数据字。如果只使用PC在交互上打上时戳，测试一致性，那么没有任何方式知道为什么交互需要这么长的时间，如哪一点发生了碰撞，在哪里存在有问题的某个标记。但是，通过使用RSA、并在轮询过程中监测空中接口，在发生碰撞时可以诊断问题，确定原因(如干扰、标记有问题、跳码型错误等)。

泰克RSA3300A系列实时频谱分析仪允许用户设置几秒、几分钟、甚至几个小时的记录长度，具体取决于频率跨度。在采用跳频时，RSA可以无缝捕获和记录15 MHz的带宽内的信号，通常可以查看和分析所有RFID上连和下连通道。

图4是RSA显示的各种标记/阅读器交互画面。如果用户希望，不必发生任何触发事件；RSA将在“自由运行”模式下，在用户设置的整个时间记录长度内采集数据，而没有任何时间间隔，然后要么重新采集和覆盖数据，要么停止采集、等待用户的进一步输入(存储当前用户、重新采集等)。

## 应用案例集—RFID

### ■ 应用指南

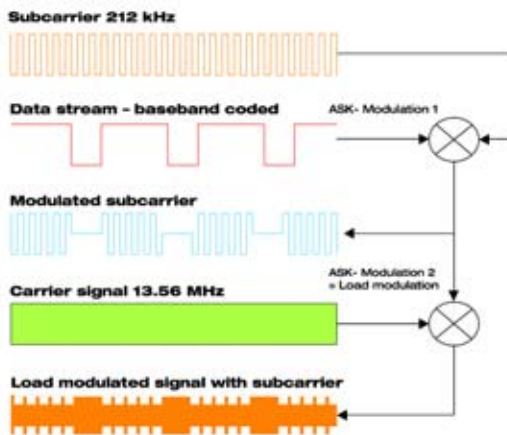


■ 图 4. RSA 捕获多个标记交互。频谱图(画面底部)显示了可以滚动的记录, 允许用户查看整个频率跨度内存在的所有信号。另外还在频域窗口(画面顶部)中显示了相应时点的所有信号。

### 调制速率和质量

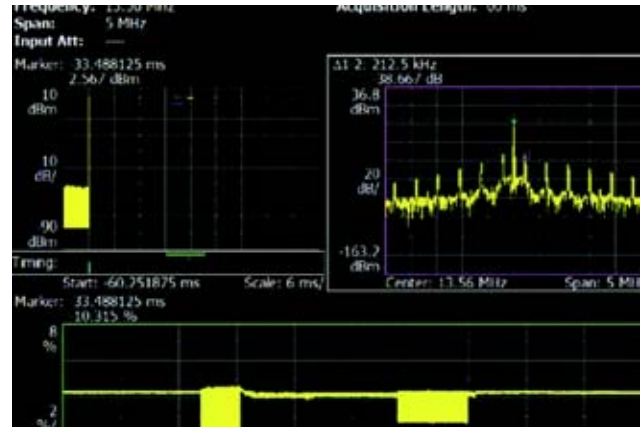
RSA 允许测量和分析询问器和复用/解复用器的调制速率和质量。RFID 中使用的调制(根据 ISO/IEC 18000-3 定义)对下连(从阅读器到标记)一般为 ASK (10% 或 100%), 对上连一般为负荷调制, 速率为载波划分定义的速率。

负荷调制生成副载波, 它采用二进制相移键控(BPSK)调制技术。图 5 是这一方法的示意图。



■ 图 5. 负荷调制示意图。

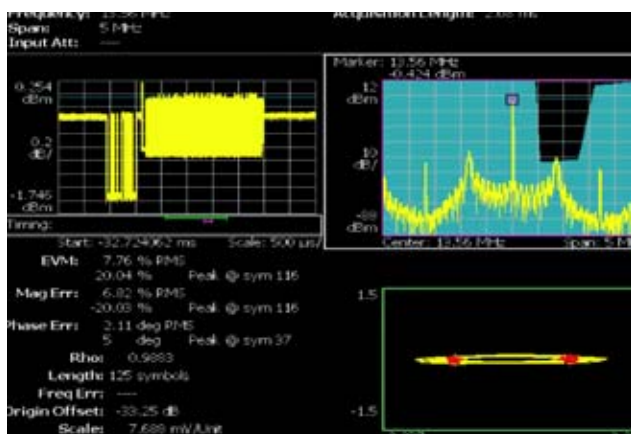
在频域中, 负荷调制表现为副载频距传输频率的边带偏置。图 6 是 212 kHz ( $13.56 \text{ MHz} \div 64$ ) 副载波的负荷调制 10% ASK。在右上方, 我们看到简单的增量标尺功能显示了负荷调制频率。底部画面读数是 10% ASK。左上方显示了功率随时间变化, 可以用来测量传输信号的恒定功率。



■ 图 6. 使用泰克 RSA3308A 进行复用/解复用器调制质量测量的实例。

RFID 的未来发展将包括更加复杂的调制。随着专用短程通信(DSRC)和其它应用中实现软件定义的无线电(SDR)等技术, RSA 的优势将具有更加深远的意义。RSA 能够解调复杂的数字信号, 如 QPSK, GMSK, QAM 等等。另外还提供了基带(I, Q)输入, 包括平均输入和差分输入, 这样 SDR 调制解调器输出可以直接输入到 RSA 中。用户可以同时查看三个域(星座, 频率, 时间或频谱图), 并显示信号质量指标 (EVM, 频率误差等), 如图 7 所示。



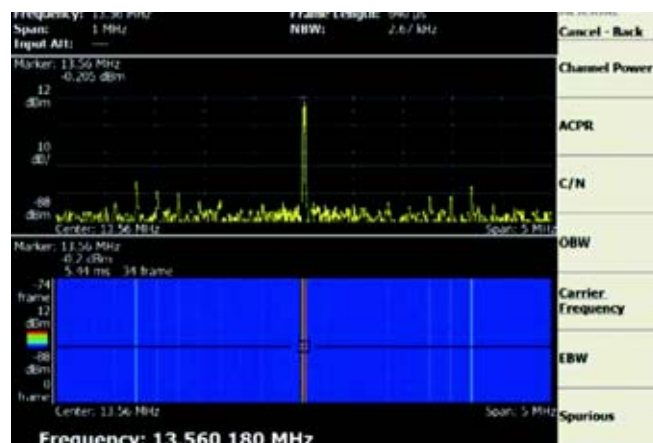


■ 图 7. 解调 BPSK 副载波信号，显示了功率随时间变化、频域图(启用频率模板触发)、星座图和调制质量指标。

### 频率偏差

弯曲标记或把标记放在传导物体和其它标记附近，可以解调标记天线，防止其谐振，进而导致不能运行或明显降低运行范围。结果，频率偏差指标对保证符合各种 RFID 和发射机标准至关重要。

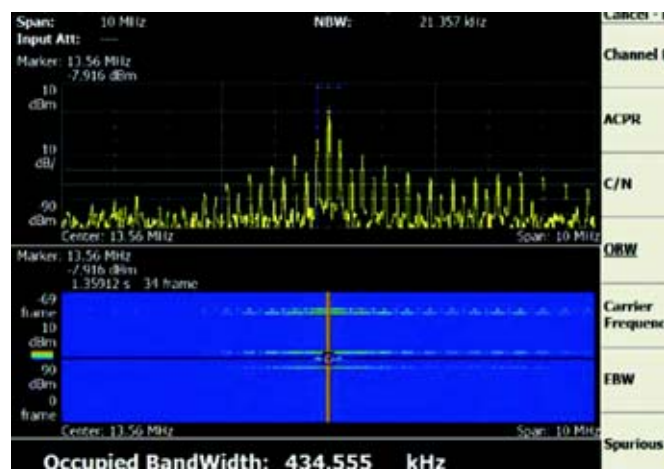
泰克 RSA 可以以 1 Hz 分辨率和杰出的精度进行频率测量。例如，13.56 MHz RFID 询问器的频率精度一般规定在  $\pm 7$  kHz。通过简单地启用 RSA 上的“载频”功能，用户可以滚动通过捕获的阅读器/标记交互，实现  $\pm 4$  Hz 的测量精度。



■ 图 8. 使用泰克 RSA 3308A 进行频率偏差测量实例。

### 占用带宽

与频率偏差指标一样，占用带宽指标保证符合旨在防止干扰其它信号的标准。图 9 说明了测量的符合 ISO/IEC 18000-6 标准的阅读器信号，其对单一副载波调制信号实现了  $423.75$  kHz  $\pm 40$  kHz 的占用带宽。



■ 图 9. 使用泰克 RSA 3308A 进行占用带宽测量的实例。

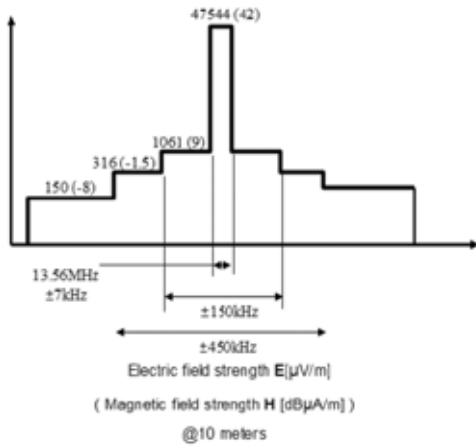
## 应用案例集—RFID

### ■ 应用指南

#### 询问器传输杂散辐射和 EIRP (场强)

RFID 阅读器和标记是“故意”发射机，受到许多地区法规的管制，如美国的 FCC 47 part 15，欧洲的 EN 300 330，日本的 ARIB STDT60/T-82。RFID 正在日益被全球所接受，其将适用最严格的法规。

另外还要详细考察人在位于 RFID 电磁场中时受到的影响，IEEE C.95-1 和 EN50364 等文件对此作出了规定。

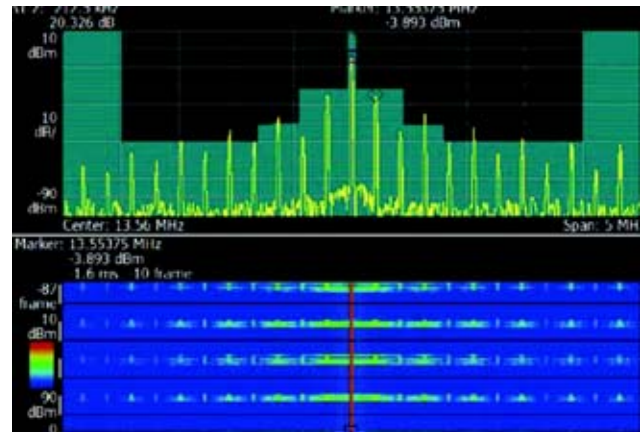


■ 图 10. 放射辐射模板实例。

各种法规将规定不同设备的限制。功率通量密度 S [mW/cm<sup>2</sup>]、电场强度 E [V/m]和磁场强度 H [A/m]可以根据下面的公式进行互换。

$$S = E^2 / 3700 = 37.7 H^2 \quad (1-1)$$

通过使用定向天线(在某些情况下使用前置放大器)，可以测量有效各向同性辐射功率(EIRP)和场强。频率模板触发器允许用户使用鼠标，画出允许的 EIRP 参数，创建合格/不合格模板，如图 11 所示。

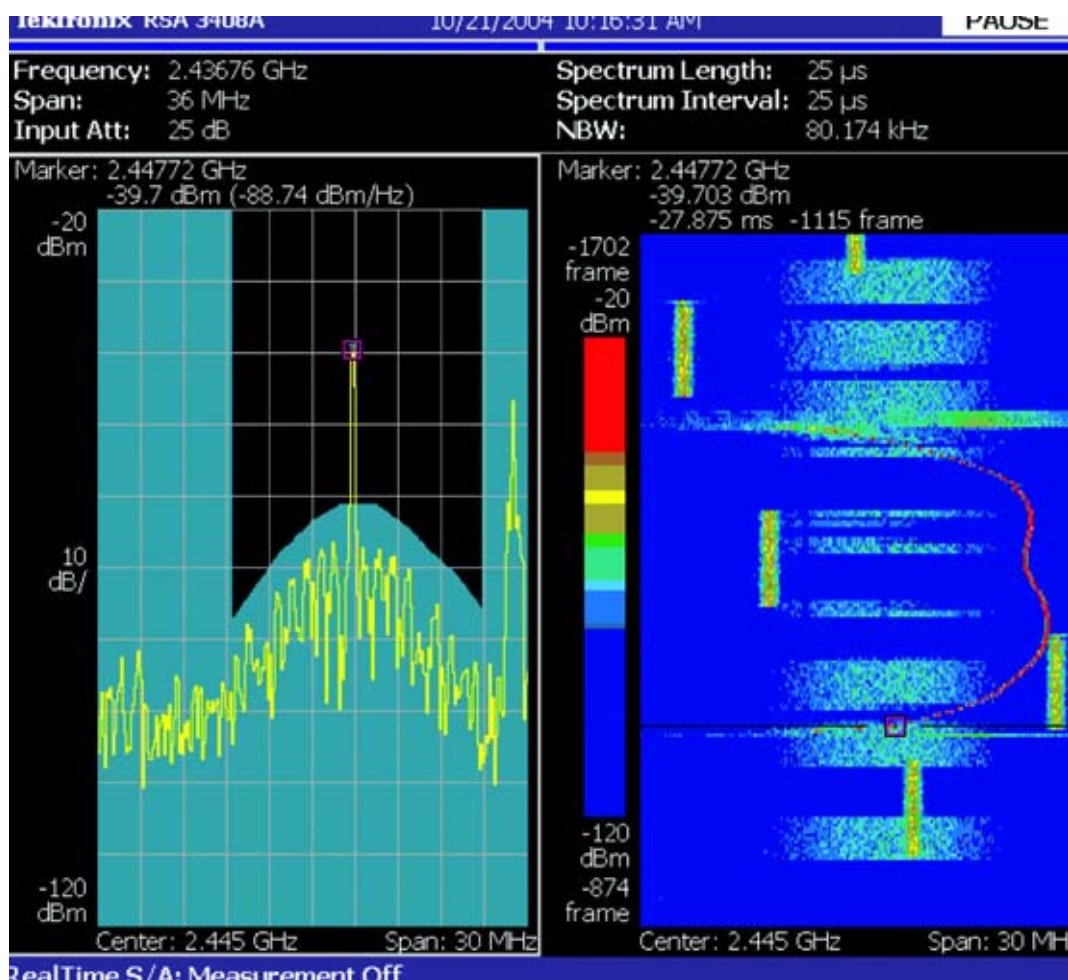


■ 图11. 画出一个频率模板，在超出这个模板时(如这里所示)，将触发 RSA 捕获和存储频谱数据。另外还从 RFSA 触发送出发送 TTL 信号，可以用来触发告警或记录设备。频谱图左边的白条代表触发点，白条顶部是超出模板的时点。同时提供了触发前的数据和触发后的数据，以供分析。

### 小结

泰克实时频谱分析仪(RSA)为处理各类 RFID 信号的设计人员提供了独特的解决方案和优势。只有 RFSA 提供了空中触发、内存存储和分析功能，可以帮助设计人员了解全系列 RFID 询问器和复用/解复用器的行为。RSA 是能够随着 RFID 电路新兴趋势一起发展的解决方案。

## 实时频谱分析在 WLAN 和 Combo 设备中的应用



### 引言

采用多种RF通信协议的无线Combo设备正日益流行,如无线局域网(WLAN)、蓝牙和3G蜂窝标准协议,这些协议增强了无线市场中的连接能力和性能。不管是检验参考电路,还是处理下一代调制格式,Combo设备都给无线工程师带来了一系列极具挑战性的信号测量问题。在

使用传统信号分析仪时,很难或不可能诊断分组信号瞬变、异步分组碰撞和各种自我干扰模式。泰克实时频谱分析仪(RTSA)为迎接各种信号测量难题提供了独特可行的解决方案。

## 应用案例集—民用通信

### ■ 应用指南

本应用指南重点介绍 WLAN 和 Combo 设备的主要测量问题、RTSA 怎样解决这些问题及为什么传统信号分析仪不能充分解决问题。RTSA 其能够灵活地触发 RF 信号, 把这些信号无缝捕获到内存中, 根据各种无线标准进行各种时间相关的多域分析。我们将回顾 RSA3408A 实时频谱分析仪使用的 WLAN 测量分析软件。我们还将考察通过使用 RSA3408A 可以解决的无线 Combo 设备的部分实际问题。我们还将介绍蓝牙和 WLAN 设备之间的分组碰撞、GSM/WLAN 设备滤波差和屏蔽差导致的内部干扰以及 RF 分组和高速数字逻辑电路之间不想要的交互等问题。

### 实时频谱分析仪(RTSA)

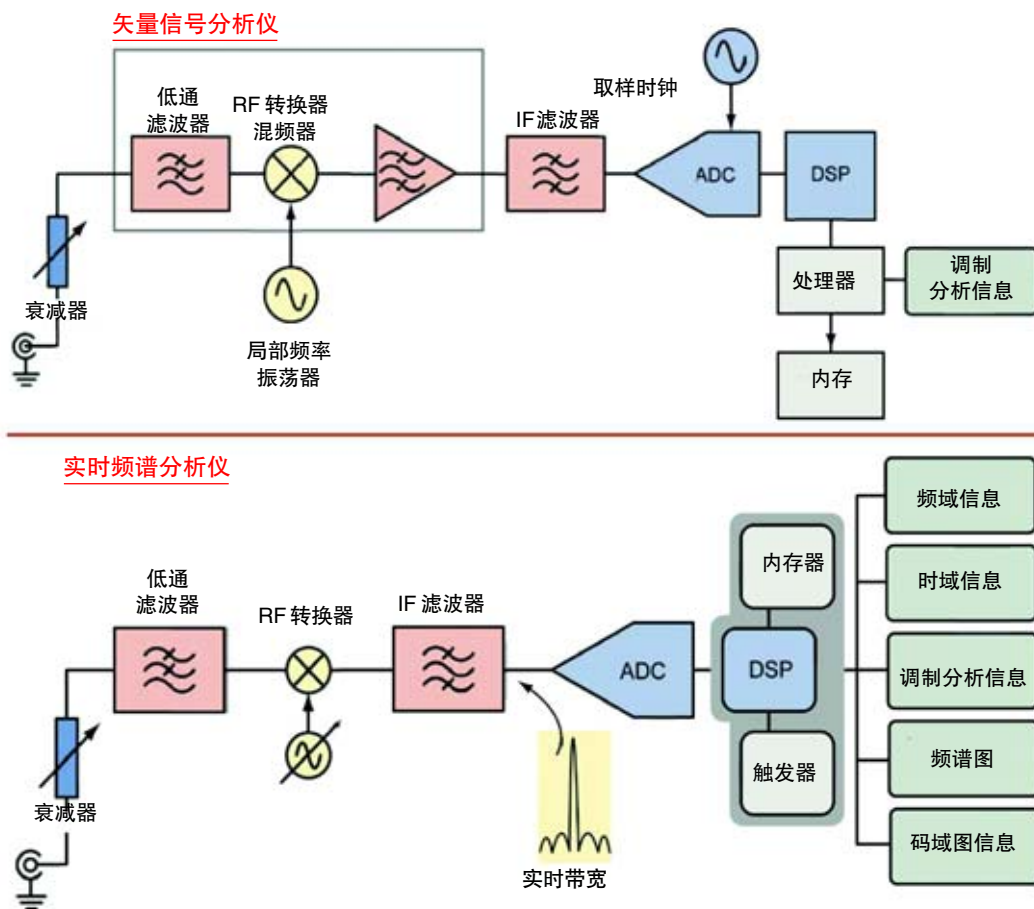
RTSA 旨在迎接动态 RF 信号的相关测量挑战, 如 WLAN 和蓝牙等突发分组传输。实时频谱分析的基本概念是其能够触发 RF 信号, 把时间同步的数据无缝捕获到内存中, 然后在多个域中分析这些信号, 进而可以可靠地检测和检定随时间变化的 RF 信号。

图 1 是 RSA3408A 简化的方框图。RF 前端可以从 DC 调谐到 8 GHz, 输入信号下变频到与 RSA 的最大实时带宽相关的固定 IF。然后信号进行滤波, 由 ADC 进行数字化, 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。这一方框图的许多要素和采集流程都

与图 1 所示的传统矢量信号分析仪(VSA)结构类似, 但是, RTSA 是为提供实时触发、无缝信号捕获和时间相关的多域分析而优化的。此外, ADC 技术进步可以实现高动态范围和低噪声转换, 因此 RSA 能够进行传统的频域测量, 其性能相当于或超过了许多扫频分析仪的基本 RF 性能。

传统 VSA 的前身可以追溯到数字连续波(CW)调制的开发。早期数字调制开发人员寻求各种工具, 希望其在调制域中能够比当时的示波器或矢量分析仪更好地分析矢量信号。这导致了星座分析仪的开发。在开始时, 星座分析仪更多的类似于专用示波器。最近, 星座分析仪的功能已经与频谱分析仪结合在一起, 简化了 RF 信号的下变频工作, 从而导致了今天 VSA 的出现。

与矢量信号分析仪不同, 实时频谱分析仪的前身可以追溯到对信号智能的需求上, 这种需求的出现, 是为了解决扫频分析仪的局限性。扫频分析仪只捕获时间很短的 RF 频谱样点, 而没有考虑扫描之间很长的时间间隔。对智能领域来说, 没有考虑的这段时间间隔代表着重大问题。信号可能会迅速突发出现和关闭, 故意避开侦听。对智能分析人员来说, 漏掉重要的通信侦听可能会导致严重的后果, 是不能接受的。这就需要实时频谱分析仪, 其能够捕获一切信号, 而没有任何时间间隔。泰克早在 20 多年前就开始倡导这一系列测量仪器。



■ 图 1. VSA 和 RTSA 方框图比较，表明了 DSP 差异。

RTSA 为侦听间歇信号提供提供了一种可靠的解决方案。随着信号的复杂程度不断提高，精确的事件触发能力成为一个关键要求。很快，记录和分析长时间内不活动的信号变得不再可行，这就导致了现代 RTSA 中目前使用的完善的实时触发技术的出现。

通过 RTSA 的频率模板触发技术，工程师可以查看在自由运行模式下不可能看到的难以捕捉的瞬变信号。实时触发使得可靠地检测和捕获间歇性 RF 信号成为可能，即使这些间歇性信号是在存在强大得多的相邻信号时发生的。

许多矢量信号分析仪的运行方式是抓拍调制信号的快照，与此不同，RTSA 在进行时域、频域和调制域测量的时域记录中没有小孔或空白。RTSA 提供的真正的时间相关多域分析，允许用户把多个域中的诊断数据精确地关联起来，迅速了解信号的特点。

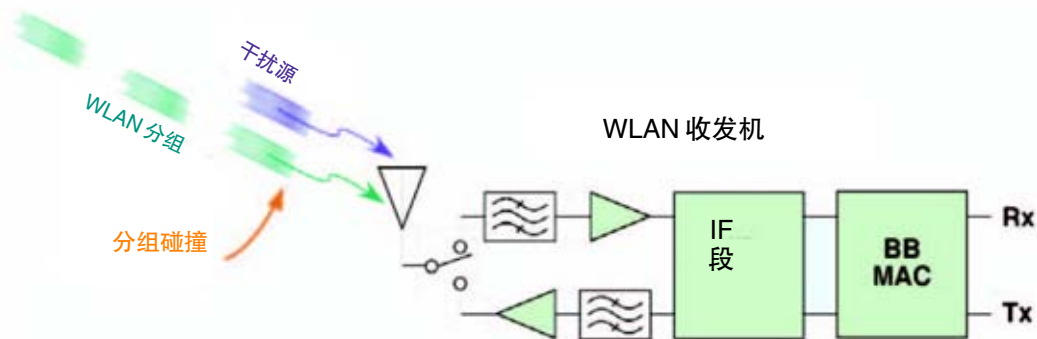
### RTSA 和 WLANCombo 设备

为什么 RTSA 对 WLANCombo 设备工程师非常重要呢？

WLANCombo 设备面临着一系列独特的测量问题，这些问题似乎是未来通信发展方向的核心问题。

## 应用案例集—民用通信

### ■ 应用指南



■ 图 2. 干扰信号突发与想要的信号同时到达天线，导致与 WLAN 分组发生碰撞。

低成本、高速度逻辑设备和错块检测-校正方案的出现，促使通信行业转向通过RF间歇信号突发来传输分组化信息。互联网有效地证明了转向分组化通信的这种强大趋势。WLAN 是互联网的延伸，也是一种基于分组的通信系统。

### 与 WLAN 之类的分组通信系统有关的独特问题是什么呢？

与老式 CW 连续波通信系统不同，分组通信系统使用异步数据传输。分析 WLAN 信号要求能够捕获特定的异步 RF 信号事件，然后在捕获的记录中有效地找到这些事件进行分析。这样，WLAN 分组通信也和监控行业多年来一样面临着同样的问题，而这个问题对 RTSA 演进发挥着核心作用。

尽管许多矢量信号分析仪在一定程度上能够检定 WLAN 信号，但其通常位于高度控制的环境中，与更加复杂的

WLANCombo 设备有关的实际环境异步干扰问题很少。

分组碰撞、间歇信号和启动/关闭瞬变等异步事件，都需要分析仪具有适当的触发能力来捕获这些事件，并具有真正的时间相关多域分析来诊断这些事件。例如，WLANCombo 设备在理想信号条件下丢掉 5% 的 WLAN 分组。工程师怎样确定导致分组丢掉的原因是没有控制的分组碰撞，还是媒体访问控制器(MAC)设置的逻辑问题呢？

使用 MAC 作为 VSA 触发源，不仅需要耗费大量时间进行连接，而且如果 MAC 是要诊断的问题的一部分，那么这种作法本身也有问题。在 VSA 捕获记录中搜索 100 个信号突发，发现 5 个突发有问题，是一种效率低下、耗时巨大的诊断方法。通过使用 RTSA 频率模板触发技术，将捕获这个问题进行分析，而没有复杂的外部触发或耗时的数据搜索。

Combo设备的干扰模式要多于典型收发机。工程师不仅要处理带内和带外辐射法规，还要处理RF辐射对并放接收机、收发机和高速微处理器的影响。

如果没有RTSA的触发功能，由于WLAN分组的间歇性特点，可能需要耗费大量的时间才能识别与干扰相关的问题。异步RF间歇性干扰问题通常会导致项目被推迟，因为工程师需要做大量的工作，才能考察这些无意的零星交互。

### WLAN 专用测量

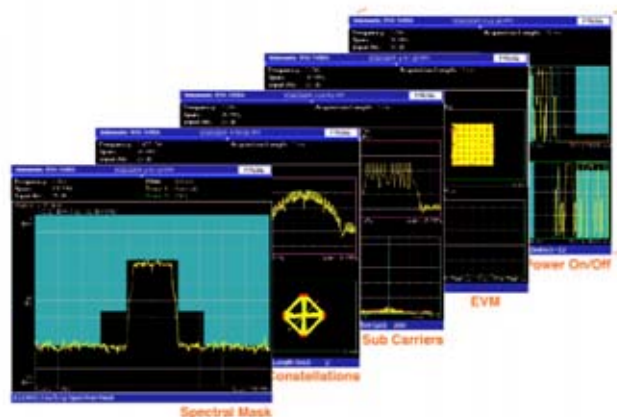
RSA3408A 具有触发及可靠捕获间歇信号的技术能力。为成为有效的Combo设备诊断工具，还必须具有一套完整的WLAN测量。

RSA3408A 提供了可选的全功能WLAN分析软件。分析软件中预置了所有流行的802.11a/b/g测量标准，可以迅速检定信号特点。这一完整的分析软件中还提供了频谱模板、EVM、开关功率瞬变、CCK星座、OFDM星座、副载波星座等功能。

但是，本应用指南的重点主要是介绍RSA3408A独特的测量和分析功能。如需与行业标准测量有关的更多信息，请与泰克代表处联系。



■ 图3. Combo设备干扰模式。



■ 图4. 常用的802.11a/b/g测量。

RSA3408A 提供了多种独特的WLAN分析功能，旨在为工程师提供快速洞察能力和可靠数据。让我们看一下部分WLAN分析功能。

## 应用案例集—民用通信

### ■ 应用指南

#### 时域相关的多域分析

如前所述，RTSA 的 DSP 功能为内存中存储的整个信号提供了真正的时间相关多域分析功能。它可以在时域、频域、调制域、频谱图和码域显示画面之间切换，以最符合逻辑的方式查看信号特点，而不会丢失 RSA3408A 上的定时信息。

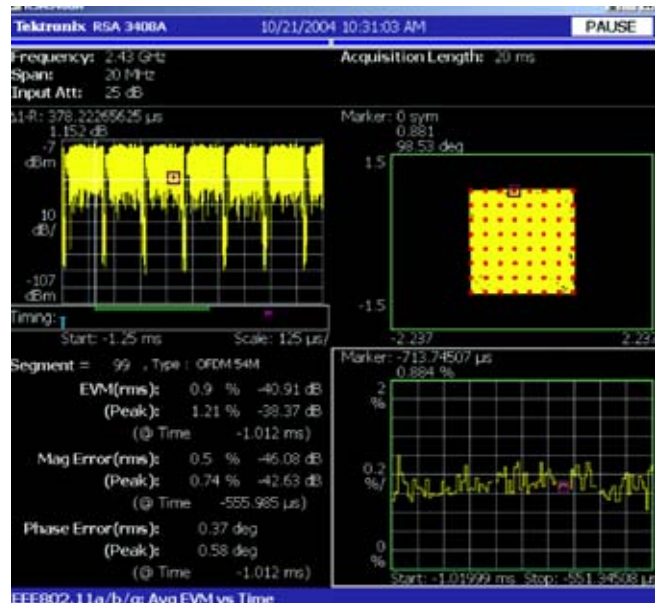
通过 RSA3408A 的无缝信号捕获功能，在频谱图中设置的标尺可以与其它域中的标尺建立精确的时间关联。

完全时间相关的视图可以从最可以理解的角度进行无缝分析。可以在调制域中查看在频谱图或频率模板触发显示画面中捕获的事件，评估其对误码性能的影响。您只需把标尺放在频谱图中的事件上，然后在星座图上查看相应的码。

在一个域中识别异常事件、然后立即在另一个域中评估该时点上的影响的这种能力，是迅速诊断问题的关键组成部分。

我们可以看一下在使用三个不同显示域分析 802.11b 分组突发时，多域分析所具有的优势。

可以一次查看功率随时间变化、频谱和 EVM。在功率随时间变化图中移动标尺，将随着标尺移动自动显示频谱和 EVM。时间相关的标尺移动还可以在频谱图、码星座图及电压随时间变化显示画面中实现。



■ 图 5. 802.11 多域分析。

使用从时间相关的多域分析提供的不同视角，特别适合分析 WLAN 设备，如瞬变频谱功率对 PA 线性度的影响、拐角码点上的频谱输出及频谱图中的信号碰撞，都提供了有用的诊断信息。



### 802.11g 自动检测

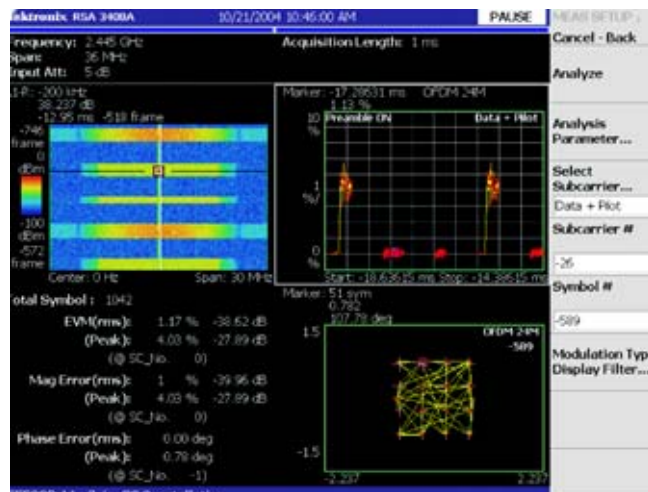
支持 802.11g, 54 MBPS OFDM 的 WLAN 设备要求向下兼容早期的 802.11b 的 11 MBPS CCK 格式。许多设备同时生成这两种信号，这带来了测试问题。

矢量信号分析仪通常必须在分析模式之间切换，以采集信号突发，解调信号，进行调制测量。这可能会非常复杂，因为可以作为同一时间记录的一部分捕获不同的突发。在调制格式和速率之间切换对大多数信号分析仪来说要耗费大量的时间，要求输入格式和速率信息。

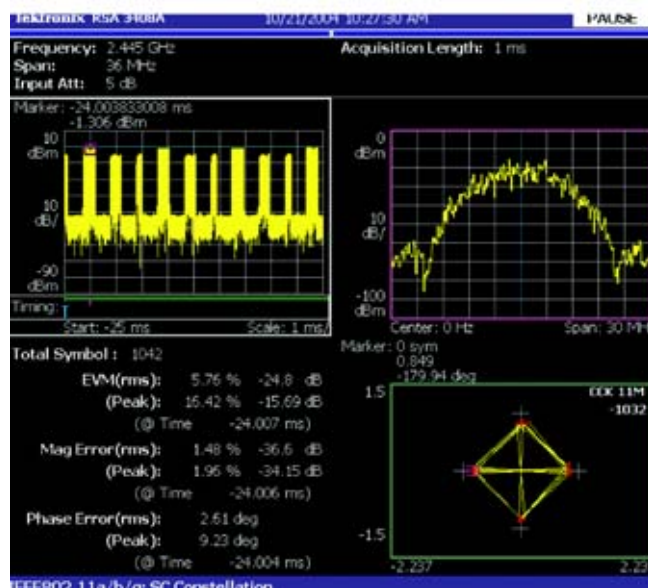
RTSA 可以自动检测 CCK 或 OFDM 调制格式和速率。这对 WLAN 设备非常方便，对许多 Combo 设备至关重要，其复杂的干扰方案在诊断时可能需要混合模式操作。

通过自动检测功能，工程师可以自动放大和分析每个突发，使用仪器选择适当的格式和数据速率。为把分析仪设成自动检测，只需把标尺放在感兴趣的突发上，仪器将完成其它工作。

在评估许多不同的传输分组时，这种关键的泰克功能可以加快诊断周期。通过自动检测功能，工程师可以把精力放在设计上，而不是设置测试设备上。



■ 图 6. 自动检测 24MBPS OFDM。



■ 图 7. 自动检测 11 MBPS CCK。

## 应用案例集—民用通信

### ■ 应用指南

#### OFDM 线性度测量

OFDM信号因高峰值均值功率比而闻名,如果设置不当,可能会给发射机功放器(PA)的线性放大范围带来明显的压力。

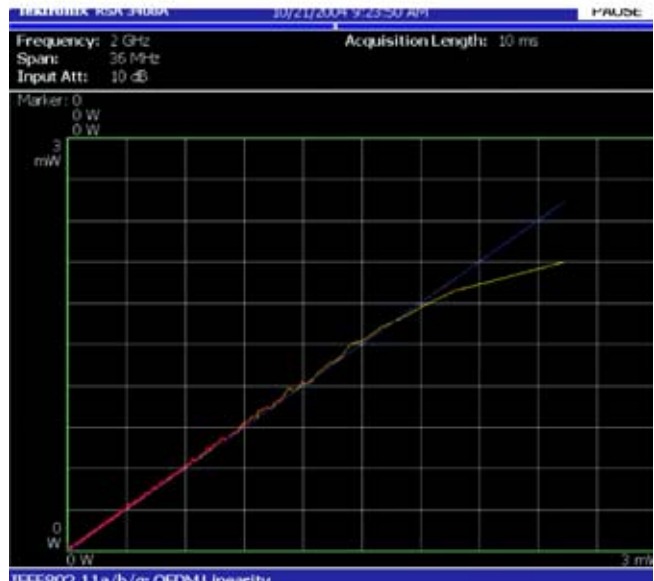
迅速精确地测量功放器的线性度可能是一项困难的任务。矢量网络分析仪(VNA)可以通过 AM/AM 压缩测量,简便地测量功放器线性度。但为此,功放器的输入在检定时不能从设备解耦,使得 VNA 方法并不适合迅速测量线性度。EVM 可能适合判断能够设置最大 PA 功率输出的环境,但由于 EVM 是各种可能的错误来源和确定的错误来源的综合结果,因此很难通过解释 EVM 来确定最大的 PA 输出电平。

RSA3408A 的 WLAN 分析软件提供了杰出的 OFDM 线性度测量显示,旨在迅速显示放大器信号压缩,而不需连接 PA 的输入。与 VNA 的功率输入和功率输出曲线类似,OFDM 线性度测量绘制实际功率输出与预计功率输出图。预计功率输出从收到的码数据中推导得出。

值得一提的是,这一测量的带宽很宽,适合每个 OFDM 载波。VNA 只能分析窄带 AM/AM 压缩测量。OFDM 线性度测量可以应用于实际信号,满足了 PA 的实际带宽和动态范围需求。



■ 图 8. 线性(backed-off)功放器设置正确的 OFDM 线性度测量。



■ 图 9. 采用压缩功放器的 OFDM 线性度测量。

在完美的线性功放器中，预计功率等于实际功率，是45°结果时的一条直线。在功放器输出功率朝着放大器饱和和提高时，直线开始弯曲。实际输出功率达不到预计的信号功率，使直线变弯。

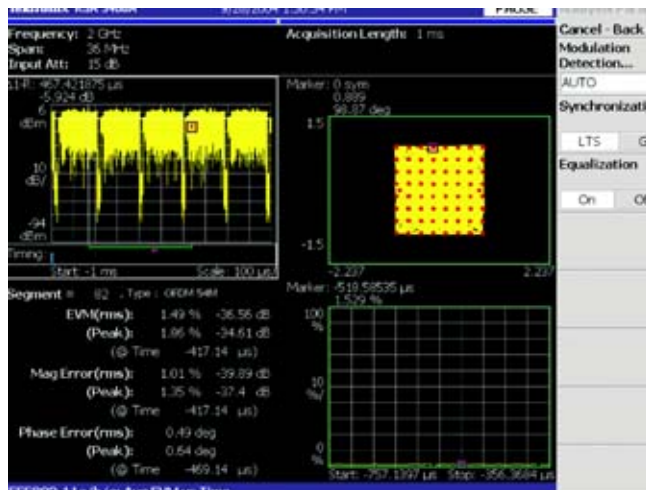
OFDM 线性度测量为迅速确定线性度问题，挑选备选功放器或确立 802.11a/g 发射机的工作电平提供了理想的解决方案。通过简单地进入显示模式，可以简便地获得曲线，分析软件将自动预测预计功率，并显示其差异。OFDM 线性度是迅速启动及正确运行 WLAN 设备的另一个测量手段。

### LTS/GI 同步

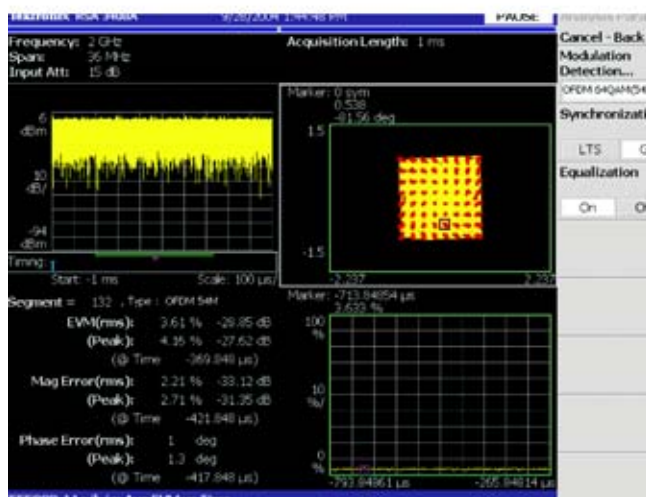
OFDM 载波同步是一个复杂的问题，在各种会议上一直是一个流行的话题。为多个载波精确地确定相位和频率及确立色散通道中的码时钟定时可能会非常困难。

泰克独有的、协助迅速分析 WLAN 信号的另一种功能选择 OFDM 同步方法。分组突发前置码中包含的长串序列(LTS)一般用来同步 WLAN 接收机。分组的初始码提供了已知的数据码型，可以用来估算载频错误和通道色散。

开发环境并不能一直使用 LTS 进行同步。由于平衡器问题、功放器启动瞬变等各种电路问题导致前置码不可用或损坏，可能会阻碍 LTS 同步或致使 LTS 同步质量下降。



■ 图 10. LTS 同步选项，没有显示任何星座相位旋转。



■ 图 11. GI 同步选项，显示了部分星座相位错误。

## 应用案例集—民用通信

### ■ 应用指南

为解决这些问题，泰克不仅提供基于 LTS 的同步，还提供基于保护间隔(GI)码的同步。可以使用放在分组突发中数据段之间的保护间隔码实现同步。操作人员可以通过简单的菜单选项，选择想要使用的同步方法：LTS 或 GI。

LTS 的长度越长，能够提供的同步精度越高，因此如果前置码功能正常，首选使用更长的 LTS。

GI 同步选项可以用来检查 LTS 同步性能。如果 GI 同步表现的性能要优于 LTS，那么 LTS 同步可能出现了问题。同步方法的选择是诊断 OFDM 同步问题的一个重要工具，以便在没有正确工作的前置码时，实现连续开发进程。这些独特的 WLAN 分析工具可以帮助 Combo 设备设计人员和生产经理通过可靠的、揭示问题的测量，快速诊断 WLAN 问题。

#### 实际环境中的 Combo 设备问题

测试设备必须为要测试的 Combo 设备中的每种标准提供“综合”分析测量功能。RSA3408A 能够支持最现代的无线调制标准，包括 802.11a/b/g, GSM/EDGE, W-CDMA, HSDPA, cdma2000, 1xEV-DO, TD-SCDMA 等等。由于 36 MHz 的实时 RF 捕获带宽和超过 78 dB 的动态范围 (TOI)，实时频谱分析仪特别适合测量 Combo 设备，并支持许多流行的 WLAN 配套收发机。

与 WLAN 分析选项一样，它采用强大的多域分析软件来

支持所有无线标准。除时间相关的多域分析能力外，其它分析软件还可以从已获专利的频域触发能力中受益。因此，RSA3408A 为支持的所有调制技术都提供了同样快速的诊断查看周期。

我们已经考察了强大的 RSA3408A DSP 的优势、独特的 WLAN 分析测量软件及各种无线标准选项。下面我们将考察某些实际环境实例，介绍怎样应用这种技术，解决某些常见的 Combo 设备问题。

#### WLAN/ 蓝牙分组碰撞

采用蓝牙个人局域网(PAN)和 802.11b/g WLAN 网络的 Combo 设备拥有一系列独特的 RF 干扰问题，因为它们使用相同的 2.4 GHz 工业 / 科学 / 医疗(ISM)频段。

在宣传中，蓝牙和 WLAN 调制格式通常声称相互兼容及互相补充，但在收发机之间的距离只有几米时，它们会相互干扰，当这些设备必须共存在 Combo 设备中时，这一点表现得尤为明显。

接近问题源于各自的调制格式中缺乏充足的抗干扰(AJ)功能。这两种调制都采用跳频技术。蓝牙采用跳频扩频(FHSS)技术，802.11b/g 采用直序跳频(DSSS)或 OFDM 技术。遗憾的是，在这两种情况下编码增益都很小，几乎没有提供抗干扰保护。

在技术开发前期，干扰问题没有被看作重大问题，因为这些产品被视为独立应用。随着人们日益需要把蓝牙产品与计算机连接起来，高速 WLAN 连接对许多计算机变得至关重要，WLAN/ 蓝牙 Combo 设备干扰问题迅速显现。

### 信号碰撞

由于信号同时到达及后续干扰引起丢包，设备的正常运行会受到影响。以个人电脑(PC)Combo 设备为例，蓝牙鼠标可能会干扰 WLAN 网上下载。鼠标移动会明显降慢上网速度。

蓝牙和 WLAN 标准和设备开发早期都已经想到了这些问题。设备首先侦听信道，然后才进行传输，以保证信道没有使用。它们增加了载波检测多路访问 / 拥塞检测 (CSMA/CD) 协议，以避免干扰蓝牙或 WLAN 传输。

WLAN CSMA 协议使用的通话前侦听方法要求接收机必须在一定的时间间隔内侦听信道中的其它信号，这一时间间隔通常是  $10\ \mu\text{S}$ ，然后允许发射机打开。在检测到信号时，传输被延迟随机数量的时间间隔，通常也是  $10\ \mu\text{S}$ 。这个  $10\ \mu\text{S}$  的粒度留下了一个不确定的周期，在这个周期内，另一台设备可以选择接入信道。

遗憾的是，WLAN/ 蓝牙 Combo 设备仍具有异步传输分组。无干扰信道现在并不能保证从现在起一直是无干扰信道。因此，信号分组仍会偶尔碰撞。



■ 图12. 802.11b/g信号分组与蓝牙信号分组发生碰撞。

### 测量问题

评估 WLAN/ 蓝牙 Combo 设备的分组干扰性能可能会非常困难。需要捕获信号碰撞要求触发技术能够抓住事件。触发蓝牙分组或 WLAN 分组可能会留下一段时间记录，在这段记录中要手动搜索数百个分组，而只有少数分组发生碰撞。只有在信号的幅度相等时，触发功率随时间变化才会可靠地工作，而这种情况非常少见。外部触发是可能的，但在这种情况下，将要求复杂的逻辑和流程，此外还需要电路连接，而这有时很难实现。

可以使用自由运行采集，但可能误导性非常大。异步信号通过高活动周期和低活动周期。自由运行采集还要求广泛的分析时间，以消除无碰撞的数据。

## 应用案例集—民用通信

### ■ 应用指南

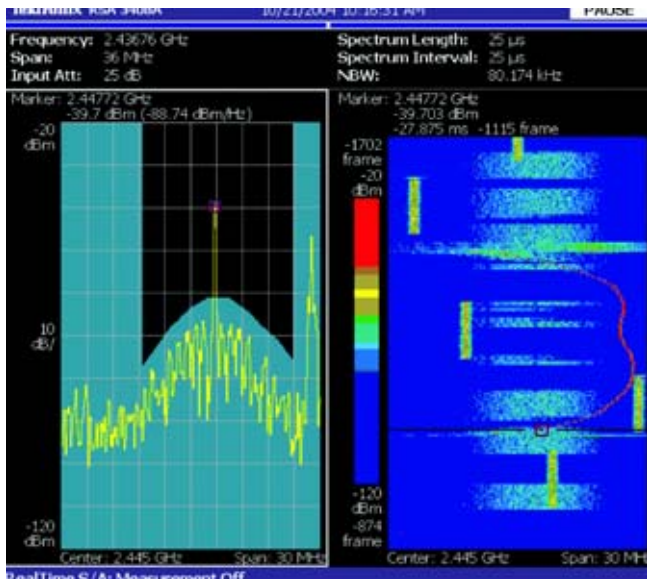
如果没有充足的诊断工具，工程师可能会倾向于仅使用丢包数据。分析丢包数据不能可靠地查看丢包的特点。它是信号碰撞引起的？还是只是功放器设置不当引起的？分析不全面，可能会给项目和生产带来灾难性影响。有些问题可能被看作微小的功放器设置问题，其可能会错误地引导工程师承诺一个时间表，但这些问题没有反映复杂的未知底层问题。而更糟糕的是，如果产品投入到生产中，由于超过元器件容限，出现麻烦的、代价高昂的生产停顿只是时间问题。等到认识到底层问题时，项目可能已经远远滞后于时间表，而且发生了大量的成本。在实际环境设备中，拥有必要的工具、获得清楚的诊断信息至关重要，以便使项目按期完成。您可以看到，捕获 WLAN 和蓝牙分组碰撞的所有这些方法都有缺点，耗时长，或者设置困难。

### 实时触发解决方案

RTSA 可以使用频率模板触发，检测频段中碰撞的信号。这种触发专利技术可以迅速设置测量和捕获异步 WLAN/蓝牙分组碰撞。

为设置频率模板触发，捕获分组碰撞，先捕获一个 802.11b/g 信号分组。捕获的 WLAN 分组应没有蓝牙干扰。在使用频谱图或功率随时间变化图时，把标尺放在 802.11b/g 分组突发的净荷部分。避免使用分组的前置码部分，因为它不包含最宽的频谱包络。

然后，使用 RSA3408A 时间相关的多域分析功能；使用分析仪的 36 MHz 实时带宽，捕获接近的信号，查看 802.11b/g 突发数据净荷部分的相应频谱图。

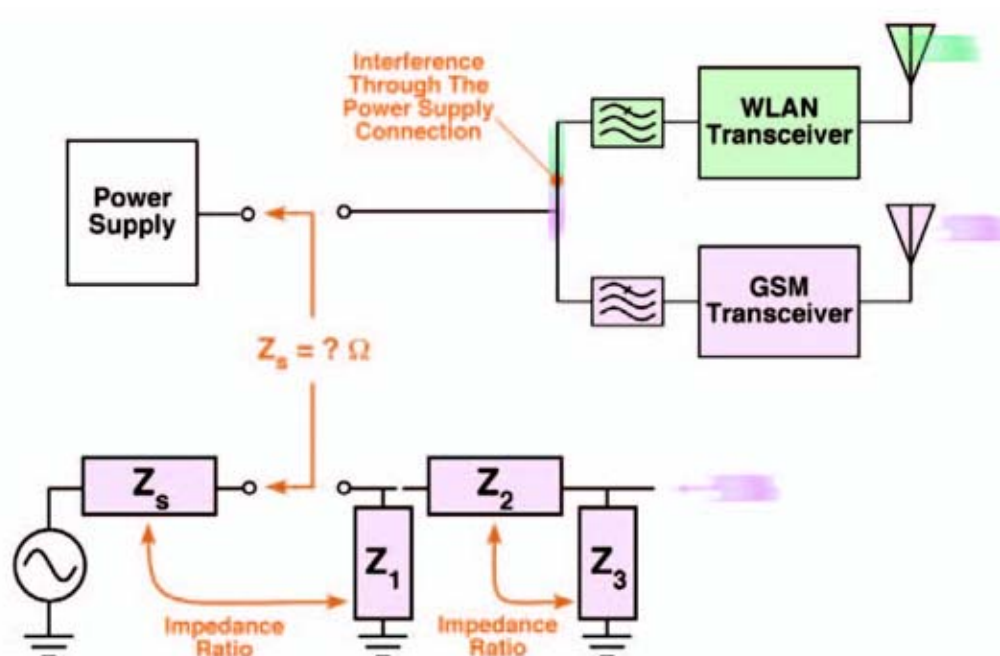


■ 图 13. 频率模板触发捕获，802.11b/g CCK 信号分组与蓝牙 FHSS 信号和微波炉信号碰撞。

然后在 802.11b/g 频谱的外部设置频率触发模板。模板应设置得足够远，使 WLAN 分组突发本身不会触发分析仪。然后分析仪准备触发，然后激活蓝牙收发机。

在蓝牙 FSK FHSS 信号跳过 802.11b/g 分组时，它将突破频率模板，在分组碰撞时触发分析仪。同样，与图 13 一样，微波炉的瞬时干扰会突破频谱模板，触发采集信号数据。

在 VSA 中，它会在详细检查后长时间捕获信号，以找到信号碰撞。与 VSA 方法不同，工程师会发现，非常短的捕获长度在 RSA3408A 通常已经足够了。频率模板触发可以有效地识别碰撞信息，只把感兴趣的分组存储到内存中。这消除了搜索长记录、找到偶尔错误的耗时流程，降低了捕获内存要求。在希望时，可以使用触发前延迟和触发后延迟，保证全面捕获 WLAN/蓝牙突发。



■ 图 14. 通过电源连接耦合到 WLAN 收发机上的 GSM 干扰，表明在低阻抗系统中很难进行滤波。

值得一提的是，不需要执照的 ISM 频段有许多干扰方案可能。医院、股票交易所和制造厂可能会有非常复杂的 ISM 频段 RF 环境。在现场中，传统上一直很难精确地确定干扰来源。由于开发实验室使用上面列明的同一程序，因此现在可以迅速识别现场中的干扰源。

### 检验同步的信号

最近，许多 Combo 系统 802.11b/g 和蓝牙电路开始在 MAC 级同步传输，避免 RF 级的 Combo 设备干扰。

同步的 Combo 设备要求进行检验，以保证正确操作。这在大批量生产环境中可能是一个明显的问题，因为在这些环境中，工程师不希望在物理上探测电路。通过使用频率模板触发技术，可以分析 Combo 设备，同时 RSA3408A 检查规定模板违限及分组碰撞。这为识别失效同步电路中的问题提供了一种快速简便的方式。

RSA3408A 特别适合进行 WLAN/ 蓝牙通信分析，它超越了传统 VSA，使工程师能够查看 Combo 设备在实际环境中的干扰问题。

### GSM/WLAN Combo 设备

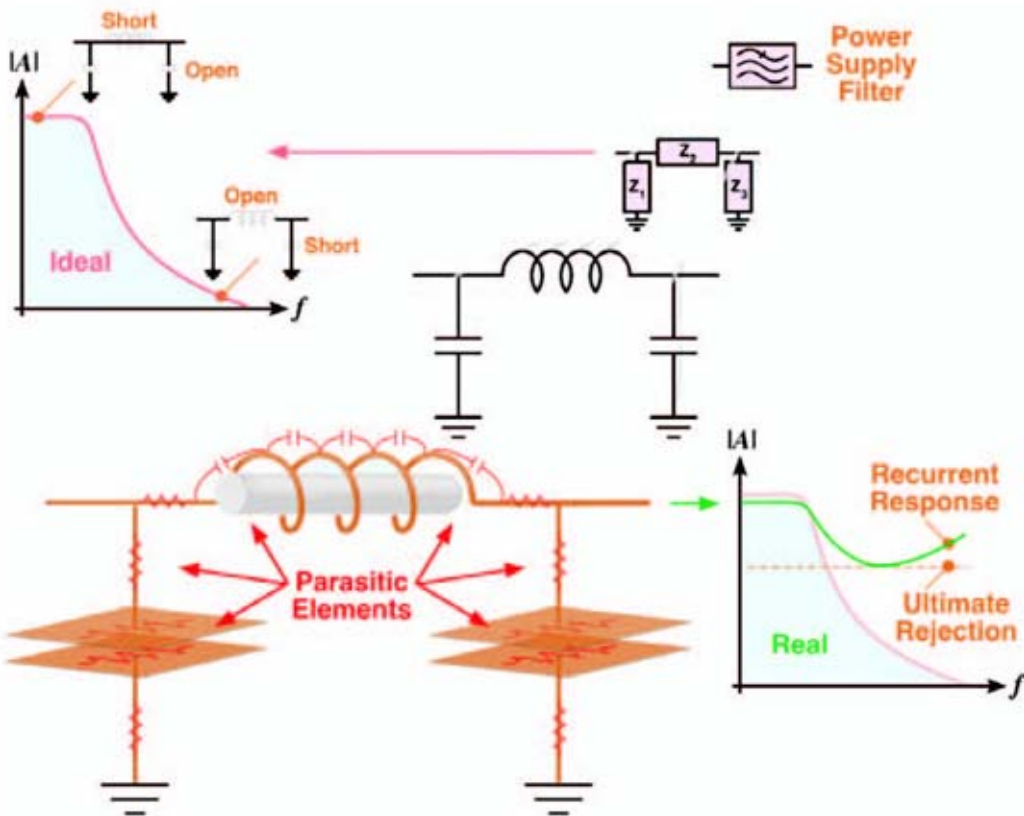
在上面的实例中，我们考察了在同一频段中通过天线相互干扰的两个 RF 信号。下面，我们将考察怎样防止两台 RF 设备通过 Combo 设备内部的连接相互干扰。

### WLAN 对并放的 GSM 设备的影响

WLAN 和 GSM 收发机没有使用同一个无线频段。使用单独的频段消除了两个通信系统之间直接干扰。但是，有许多内部干扰机制，可能会损害在同一块 PC 电路板、同一个封装或同一个产品中工作的两个 RF 收发机的性能。

## 应用案例集—民用通信

### ■ 应用指南



■ 图 15. 滤波器寄生单元对最终抑制和周期响应的影响。

由于电场或磁场耦合，并放的设备发出的瞬变会通过电路板和线缆传送。它们还会通过电源或控制线路传送，产生意外干扰。

与连续出现或在可预测的时间发生的其它干扰来源不同，分组通信设备导致的干扰是零星的、异步的，因此很难找到根本原因及工程设计方案。在时间上把信号分开，一次只允许一台设备通信，可能会消除并放的干扰。但是，它也会降低Combo系统的用处和吞吐量。采用滤波和屏蔽的频谱控制，通常是使两台设备独立运行的常用方法。

在收发机之间增加屏蔽墙可以提供多dB的隔离能力。但是，屏蔽效果取决于进入每个屏蔽空间的电源和控制线路的滤波效果。通常使用馈通滤波器，防止模块之间出

现RF泄漏。馈通滤波器的效果通常会受到寄生效应及腔和轨迹谐振的影响，腔和轨迹谐振会在WLAN和GSM频段中耦合能量。

低通滤波器的抑制功能与串联单元和并联单元之间的阻抗比有关。图15说明了电容器引线的寄生电阻和电感怎样提高其高频阻抗。它还说明了在作为低通滤波器中的并联单元使用时，电感器中线圈间电容怎样降低其阻抗。另一个影响是屏蔽接线箱的行为特点在WLAN频率(2.40 – 2.43 GHz和2.50 – 2.60 GHz)附近通常类似于波导谐振器。即使使用良好的滤波器，谐振效应仍会把能量耦合到电源和控制线路中。



另一个常见效应是电源电路和系统中使用的有源器件引起的。由于其它电路中吸收电流脉冲，稳压器不理想会导致输出电压变化。这就提供了一种机制，其中一个收发机中的功放器吸收的高电流会导致另一台RF设备发生错误。由于在电源和控制线路上缺少最终抑制，在Combo设备内部很难实现充足的内部隔离。这导致许多Combo设备设计人员使用临时隔离，以最大限度地降低内部干扰。时域双工(TDD)系统在低成本无线设备中非常流行，原因有很多。在上连和下连之间存在不对称数据净荷时，如WLAN，TDD系统工作得非常好。TDD系统还使用发送/接收(T/R)开关，它简便地集成到芯片上。因此，TDD方法对芯片上系统(SoC)设计人员极具吸引力。TDD系统的另一个主要优点是消除了昂贵的发送/接收双工滤波器。使用TDD时隙、而不是频段，不再需要使用高Q、高性能双工器。

典型TDD系统(如WLAN)中使用的成本较低的滤波技术使接收机和发射机更容易受到干扰。通过电源轨迹传送的干扰很容易会阻碍接收机，或在发送的信号中增加过多的杂散信号。很难经济地解决这些问题。

RSA3408A 简便地捕获这个干扰，可以有效协助工程师确定防止干扰必需的频谱控制水平。理解所需的频谱控制水平，是经济地防止干扰的基本步骤。尽管通常首选使用频谱控制，但由于成本限制，许多应用可能都不会采用这种方法。

通过使用临时隔离，WLAN和GSM信号可以保持没有内部干扰。在WLAN/GSMCombo设备中使用临时隔离的代价，是其不可能同时实现同步信号操作。这降低了数据吞吐量，即使两个标准在不同的RF频段中工作。它不需使用复杂性高得多的屏蔽、RF滤波和电源滤波。

为使拥有多个发射机和接收机的临时系统或TDD系统的吞吐量达到最大，需要精确的定时信息。开关分组突发所需的时间是使停运时间达到最小的重要组成部分，这时在TDD系统中不传输任何数据。精确地测量从命令发送一个分组到RF分组开始从发射机出现之间的延迟，对设置Combo设备的数字定时非常重要。我们将使用WLAN开机和关机瞬变说明这一点。

## 应用案例集—民用通信

### ■ 应用指南

#### WLAN 开机瞬变和关机瞬变

在传送 WLAN 分组时，存在着开机瞬变和关机瞬变。WLAN 标准要求把这些瞬变保持在最小范围内，以在前置码过程中保证充分的 RF 功率，避免系统等待功放器关闭的周期过长。

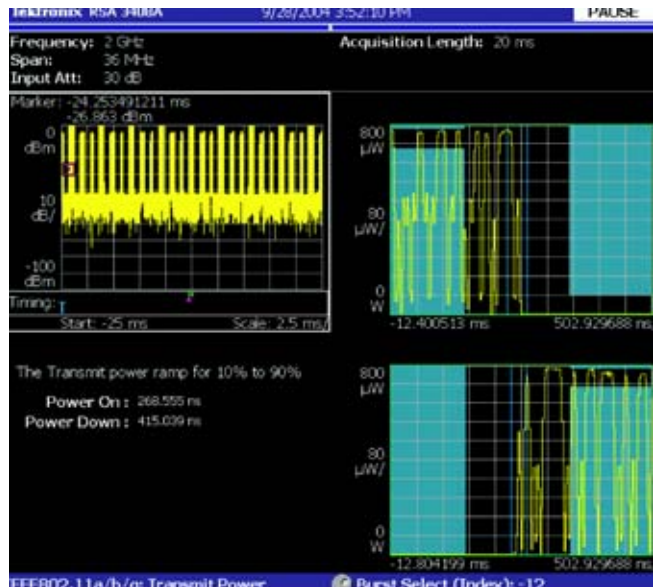
RSA3408A 可以自动测量 WLAN 和 GSM 分组的开机瞬变和关机瞬变。在功率随时间变化图或频谱图中，您只需把标尺放在想要的分组上，然后进入开机/关机测量模式即可。自动检测功能会选择想要的 WLAN 格式和速率。然后，RSA3408A 分析软件会画出相应的无线标准模板，显示测量结果。

RSA3408A 方便地提供了开机时间瞬变和关机时间瞬变。通过使用连接发送分组命令行的外部触发，可以测量命令和实际 RF 脉冲之间的定时。然后再次把标尺放在触发后的第一个分组突上。在显示画面左下角的时间记录中增加开机时间，可以获得发送命令和 RF 分组之间的总时间。

检验通过发射机的延迟，使得工程师能够补偿电路定时，从而可以以最小的空转时间实现连续数据传输。

功率瞬变测量对许多电路都非常重要，因为响应通常取决于功放器，通常是独立于 WLAN 部分的半导体。为功放器提供的电源电流不足或控制线路上的电容过高，可能会降慢系统性能，破坏兼容能力。

工程师必须检验在调制信号实际到达功放器之前，功放器已经启动，并准备进行传输。这种提前定时功能通常



■ 图 16. RSA3408A 上的 WLAN 开机测量和关机测量。

在控制软件中设置。优化这一定时需要实现一个关键平衡，即保证功放器稳定，以进行传输；及使功放器开机时间达到最小，以延长电池使用时间。功放器变化(如模具变化或模具收缩)可能要求复位定时。保证最优定时的最可靠的方式是测量开/关信号瞬变。

#### 可视化问题

通过使用 RSA3408A，可以触发、捕获及迅速分析这些瞬变事件。必需指出，许多 RSA3408A 分析测量提供了与底层电路性能有关的大量信息。

RSA3408A 的深内存和独特的触发功能，可以在一次采集中捕获大量的信息。实时频谱分析仪在 36 MHz 带宽时提供了超过 1 秒的捕获缓冲器，在 5 MHz 带宽时提供了 10 秒的捕获缓冲器，同时提供了触发功能，可以在适当的时间填充缓冲器，在评估复杂的电路问题过程中提供了大量的信息。

工程师将发现，RSA3408A 上的 RF 分析通常是诊断许多问题最快速的方式。在多个域中分析丰富的信息内容，可以从顶层测量中识别详细的电路问题。

在前面的实例中，RSA3408A 不仅提供了与 RF 干扰问题有关的信息，还提供了与数字定时有关的信息。这类测试设备可以最简便的设置能力提供最宽的诊断能力，为工程设计提供了最佳的价值。

### RF 突发和逻辑信号

Combo 设备工程师经常遇到的实际环境问题是高速微处理器逻辑和时钟信号与 RF 信号交互问题。

最近几年，微处理器速度已经接近微波设备。时钟速度为 2.4 GHz 的微处理器并不少见，这一频率正是 802.11b/g WLAN 和蓝牙设备运行的同一频率。

过去，数字逻辑频率通常要远远低于无线工作频率。这明显简化了对不想要的干扰的滤波工作。工程师将使用低通电源滤波器和屏蔽技术，防止灵敏的 RF 接收机中发生数字逻辑干扰。相反，RF 信号很少干扰数字逻辑，因为逻辑电路不够快，不能对 RF 能量作出反应。



■ 图 17. 高速数字逻辑干扰。

由于 RF 数据链路现在集成到拥有上千兆赫时钟的电路板上，防止逻辑干扰 RF 信号及防止 RF 干扰破坏数字逻辑的挑战变得非常之大。现代分组通信和逻辑控制功能带来了干扰，这些干扰一般具有间歇性特点，这使挑战变得更加复杂。

### RF 信号的逻辑干扰

RF 工程师多年来一直担心落在 RF 频段中、降低接收机灵敏度的微处理器时钟谐波。这个问题仍然存在，而且挑战在不断加剧，因为除了谐波以外，干扰现在更可能来自基础频率。

在干扰 WLAN 链路的数字逻辑信号中，最常见的机制是进入非常灵敏的接收机的逻辑信号。接收机中的大量增益使其最容易受到干扰。现在逻辑时钟位于 RF 频率上，Combo 设备设计人员担心这些信号会通过天线、前置放大器或 IF 段进入接收机。

在逻辑信号进入接收链时，它与想要的信号竞争，可能会导致 EVM 提高，最终产生误码。

## 应用案例集—民用通信

### ■ 应用指南

识别把逻辑噪声或时钟信号耦合到RF中的方式，通常通过试错流程实现。怀疑有问题的通路将被删除或滤波，直到EVM达到最小。

### 时钟干扰的类型

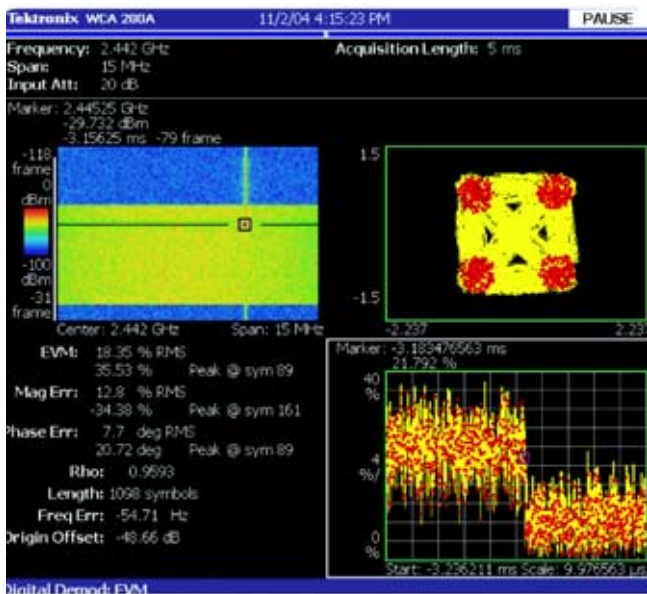
降低接收机灵敏度的数字干扰问题识别起来比较简便，与此不同，逻辑设备的RF分组干扰隔离起来尤为困难。

过去，调试到达高速数字逻辑的RF分组及导致的问题的需求很少。高速时钟、高精度定时和低压逻辑，使逻辑干扰在许多电路中更加常见。Combo设备设计人员面临着一个特别困难的工作，因为通常来说，这些产品的小型便携式特点会严重限制屏蔽和滤波选项。

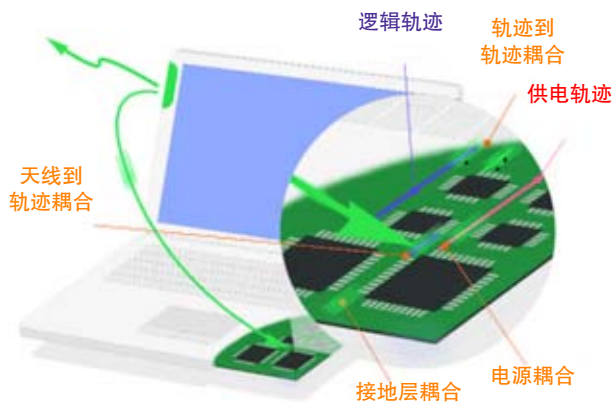
在本节中，我们将重点介绍Combo设备设计人员日益面临的一个问题，即发射机信号干扰数字逻辑的问题。

并放的Combo设备RF发射机会在高速微处理器和时钟和逻辑线路中增加抖动，进而会干扰数字定时，导致数据错误和系统问题。

对到达数字逻辑信号的RF分组，可能会有多种不同的耦合机制。天线辐射的RF可能会耦合到逻辑轨迹上。RF输运线会耦合到逻辑线上。RF分组可以通过电源连接和接地层传输。诊断哪种无意耦合模式导致了逻辑问题在间歇性分组突发中可能会非常困难。



■ 图 18. 间歇性的时钟信号在突发的前半部分导致了较高的EVM。



■ 图 19. WLAN RF 突发和数字逻辑信号。

### 传统测试解决方案的局限性

示波器通常是诊断高速逻辑问题的首选设备。遗憾的是，高速示波器通常缺乏足够的动态范围，显示或触发RF分组突发。高速示波器一般只有8位数字转换器的动态范围，其动态范围小于48 dB。

扫频分析仪的动态范围要比高速示波器大得多。但是,扫频分析仪缺乏实时无缝捕获能力,而这对查看随时间变化的间歇性干扰必不可少。

### RSA3408A 的动态范围

RSA3408A 的动态范围要远远好于典型的高速示波器。由于 14 位模数转换器(ADC), RSA3408A 提供了大于 78 dB 的动态范围(TOI), 因此, 用户可以查看幅度远远低于快速示波器上一般能够查看的信号。

在试图确定不想要的系统相位瞬变的成因时, 查看幅度低得多的信号特别有用。RF 通常会作为相位抖动, 出现在数字时钟和逻辑线路上。

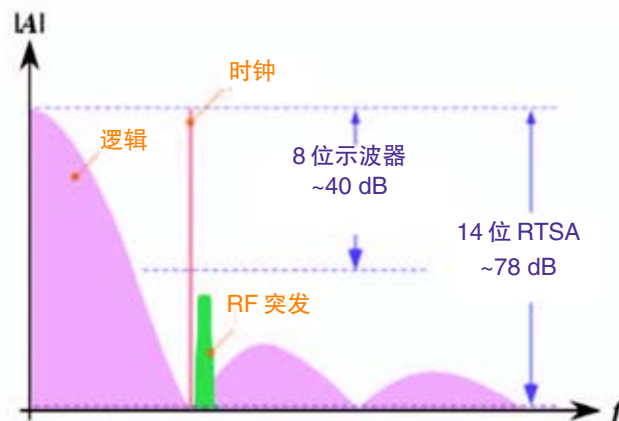
相位抖动过高, 可能会导致定时问题, 引起数据或控制错误。信号分析仪必需能够检出这种抖动, 查看其成因。动态范围是能够全面查看和理解干扰的频谱签名的关键。

### RSA3408A 捕获时钟线路上的瞬变

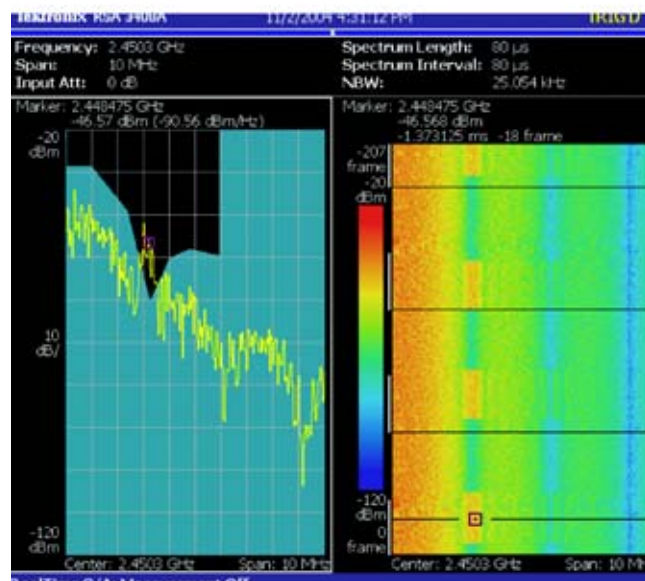
RSA3408A 独特的频率模板触发和高动态范围, 使其能够简便地找到被损坏的逻辑和时钟轨迹。在无线设备关机时, 频率模板触发可以设置成略微超过捕获正常逻辑或时钟频谱图。然后可以在无线设备开机时, 如果分组突发耦合到轨迹上, 频率模板触发将捕获事件。普通示波器看不到的杂散信号会清楚地出现在 RSA3408A 上。

此外, RSA3408A 的宽动态范围可以全面查看杂散信号, 因此其成因将更加清楚。这一点非常重要, 因为逻辑设备的分组干扰要求隔离耦合模式, 确定要修复的无意电路错误。

没有任何其它独立分析仪能够象 RSA3408A 这样, 清楚、可靠地捕获数字逻辑上的 RF 间歇性信号。



■ 图 20. 高速示波器与实时频谱分析仪的动态范围比较。



■ 图 21. 数字逻辑信号上的 RF 突发。

## 应用案例集—民用通信

### ■ 应用指南

#### 小结

WLANCombo 设备带来了一系列独特的测量挑战。异步 RF 信号分组及并发的通信系统之间的各种干扰模式，导致了許多情况下很难触发和捕获关键事件。

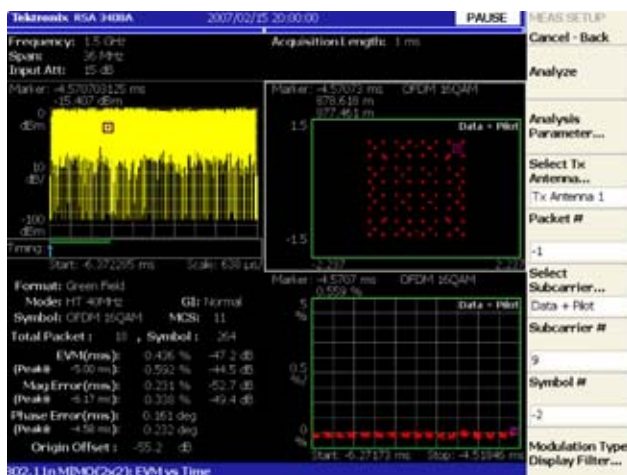
除为 WLAN 提供充足的带宽和足够的动态范围外，信号分析工具还必须提供基于标准的测量功能，以支持 Combo 设备。仪器还必须能够切实有效地处理这些复杂的突发 RF 信号。许多分析仪，如传统的矢量信号分析仪，要求耗时的长时间捕获搜索，而这在当前时间紧迫的环境中是不可行的。

RSA3408A 为 WLANCombo 设备工程师提供了独特的解决方案。由于频率模板触发和无缝信号捕获及时间相关的多域分析能力，该分析仪为设计和调试基于分组的 RF 通信系统提供了许多独特的工具。

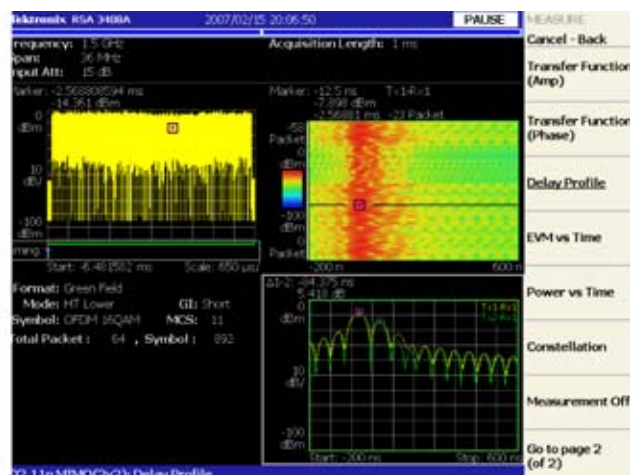
本应用指南指明了当前部分 WLANCombo 设备面临的挑战。在本应用指南范畴之外，还有许多其它的 Combo 设备测量挑战。您可以与泰克代表处联系，获得相关辅助工具和信思。

泰克致力为无线通信行业提供优异的产品，迅速提供诊断信息，帮助您取得成功。

## 草议 IEEE802.11n 测量解决方案和 多输入多输出(MIMO)测量挑战



■ 图1. 主视图显示了EVM随时间变化。读数区中显示了EVM测量摘要，另外还指明了分组格式、MCS及位于总视图标记点的其它信息。在本例中，实时频谱仪显示MIMO信号的EVM测试结果为-47dB。



■ 图2. 子视图是时延图。这是一个三维图，纵轴是分组数，横轴是时延，颜色代表功率。时延图显示了各个分组上的时延分布变化。主视图显示了在总视图标记选中的特定分组上每个信道流的时延分布。

### 草议 IEEE802.11n 标准

市场上一直需要 WLAN 系统提供更高的数据速率，以扩大应用领域，包括热点中的流媒体(HDTV、DVD)、互动游戏和高速数据链路。与现有的IEEE802.11a/b/g系统相比，IEEE802.11n是现有IEEE802.11a/b/g系统的演进，可望实现增强的数据速率、更好的频谱效率、更好的质量及更可靠的系统。IEEE802.11n项目授权请求(PAR)的基本要求包括：

- 定义物理层(PHY)和媒体访问控制层(MAC)改进功能，在MAC业务接入点(SAP)上至少实现100 Mbps的速率
- 频谱效率：最高模式可以达到 > 3 bps/Hz
- 向下兼容.11a和.11g (OFDM库)

业内考察了多个方案，以满足这些要求。通过把子载波数量从802.11a/g系统中使用的54个子载波提高到114个子载波，增强数据速率。但是，这要求的频谱是当前占用频谱的两倍多一点，且不会给可靠性或频谱效率带

来好处。因此，业内决定在IEEE 802.11n标准中采用多输入多输出(MIMO)技术。MIMO是多天线无线传输和接收使用的一系列技术，在相同的占用带宽内可以实现更大的数据吞吐量，改善通信质量并极大提高频谱效率。在明显增强系统性能的同时，它也提高了设计和系统评估以及验证所带来的挑战。因此，必需考虑新的测量项目来测试MIMO系统。

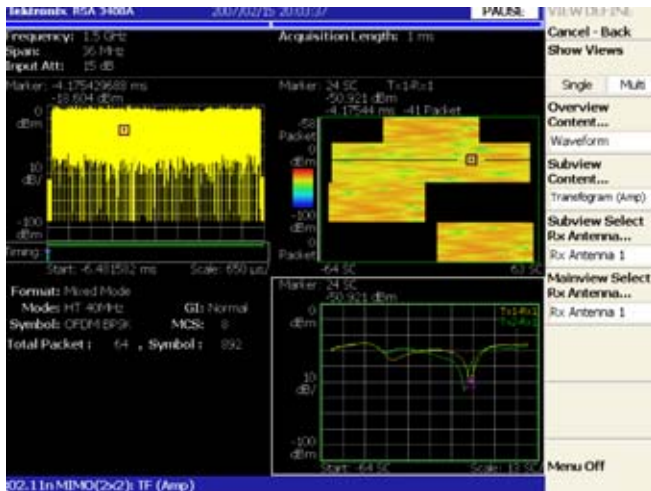
### 泰克基于实时频谱分析仪(RTSA)草议 802.11n 测量解决方案

泰克已经基于RTSA提供了802.11n MIMO测量解决方案。在MIMO系统中，我们必须考虑多路径衰减信道的特点及传输的传播特点，其中包括多路径衰落信道及测量天线连接器上单发射机的性能。

- 同时支持20MHz和40MHz模式
- 支持最多2X2个MIMO测量
- 从MIMO混合信号中识别出TX信号流
- 对最多两条数据流进行EVM分析

## 应用案例集—民用通信

### ■ 应用指南

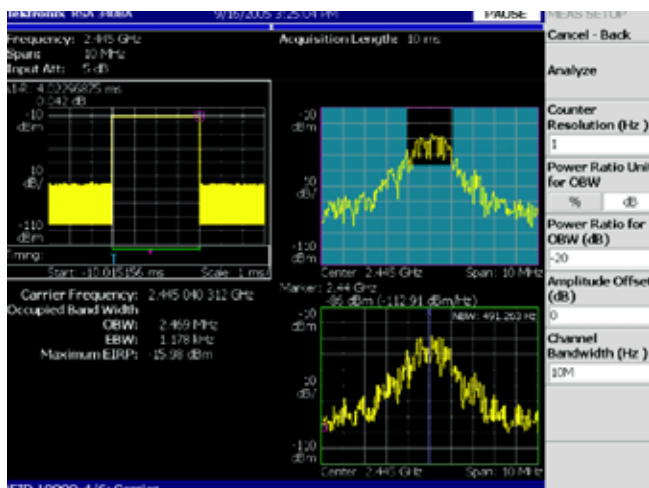


■ 图 3. 子视图是转函数图，这是一个三维图，纵轴是分组数，横轴是子载波频率，颜色代表功率或相位。转函数图显示了各个分组上的转函数变化。主视图显示了总视图标记点选择的具体分组上每个信道流的转函数。

- 需显示信号场内容 – PHY 格式、工作模式、MSC 编号、调制类型、GI 类型
- 自动检测频域中的 PHY 格式和 PHY 工作模式
- 可对 MIMO 传递函数进行幅度和相位分析，从而概括出传输信道环境特性
- 转函数图 – 显示出 MIMO 传递函数随时间变化。用户可以查看因开/关或其它原因而导致的不同信道环境随时间变化情况
- 检定每条数据流的时延分布。在 2x2 MIMO 中，实时频谱仪能显示出 4 种传输信道特点
- 时延图 – MIMO 时延分布随时间变化图，可以显示传输信道在各种环境变化中的特点
- 测量频率误差随时间变化 – 如在互通问题中检查 AP 和 UE 之间的频率误差
- 20MHz 和 40MHz 模式频谱辐射模板(SEM)测试
- 结果摘要在一页中提供多个测量结果
- CSV 文件保存功能，保存多个测量结果



## RTSA 捕获到其它频谱分析仪漏掉的无线突发信号



### RTSA 频率模板触发简便地检测 ZigBee 信号

无线专用区域网(WPAN)设备发射来来往回的标识突发信号，而传统频谱分析仪是捕获不到这些信号的。泰克独有的实时频谱分析仪(RTSA)系列提供了多功能频率模板触发技术，可以简便地捕获 IEEE 802.15.4 和 Zigbee 无线设备发出的复杂的间歇性突发。

RTSA 无缝捕获频谱数据随时间变化，在频域、时域、调制域等多个域中提供时间相关视图。累积的时间记录可以评估触发前和触发后的事件。

时间相关的多域视图在每个视图中使用标尺参考相同的事件或时点，加快了分析速度。例如，可以简单地把频域事件与时域事件关联起来。

### 触发和捕获、然后分析 Burst 信号

#### 检测难检的 IEEE 802.15.4 Burst 信号

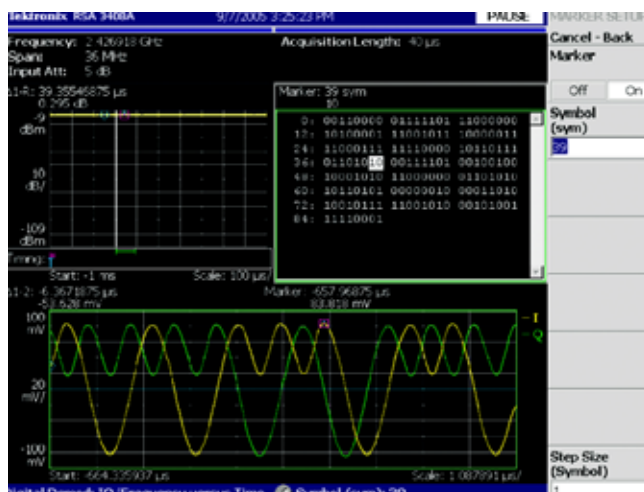
必须检查新兴设计是否符合标准，如 IEEE 802.15.4。这些无线结构依赖信号突发，与其它 Zigbee 设备通信。但

是，使用扫频分析仪一直很难捕获突发信号，因为扫频分析仪是为捕获可以预测的重复信号设计的。RTSA 结构使用频率模板触发功能，克服了这一挑战。这一强大的功能与无缝捕获、多域显示和分析功能相结合，加快了物理层 RF 和调制性能的检验速度。

- 可以把图形频率模板设置成触发采集由频率和幅度(功率)定义的事件
- 不需低速扫描或“Max Hold”功能来捕获 IEEE 802.15.4 和 Zigbee 的 Burst 信号
- 2.45 GHz 专用按钮自动配置符号速率、参考滤波器、调制类型，简化了测量设置
- 自动显示关键 RF 测量结果: 载频, OBW, EBW 和 EIRP

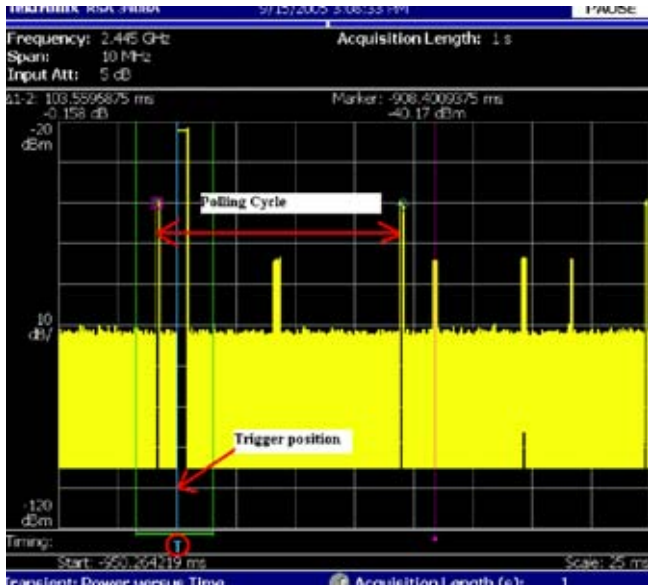
### 调制分析

RTSA 的时间相关多域显示技术提供了频域、时域和调制域的多域视图。可以分析 EVM、频率、I 和 Q 随时间变化、星座图和眼图，而且从同一数据中实现时间相关。



## 应用案例集—民用通信

### ■ 应用指南



- I 和 Q 波形标尺同步，并在解码的符号表中高亮显示，使基带 I 和 Q 调制信号的幅度和相位与符号状态相等。
- 星座图显示 I 和 Q 相位转换和判定点，确认 I 和 Q 调制器从基带到 IF 再到 RF 输出路径保持线性相位和恒定幅度。

### 定时分析

- RTSA 的深内存为长占空比的多个突发信号提供了充足的容量
- 实时无缝捕获可以进行所有定时、频率和调制测量，而不需重新捕获信号或使用多台设备
- 时间相关的标尺，加快 IEEE 802.15.4 和 Zigbee 定时的分析速度，包括周转时间、轮询周期、分组宽度等

## 利用多域分析评估 W-CDMA 系统压缩 模式



### ■ 切换 – 移动通信的关键功能

移动无线系统中最关键的操作之一是切换 – 这种功能要求在用户设备(UE)和基站(BTS)收发机中采用审慎、可靠的设计。收发机设计人员和网络运营商都需要分析这些新系统中的传输特点,检修出现的问题。泰克 RSA3408A 无线通信分析仪为评估 W-CDMA 切换性能及追踪问题根源提供了所需的功能。

#### 简介

W-CDMA系统通过把传输简单地切换到压缩模式来管理切换,其方法在传输的信号中插入间隔,为执行测量和报告功能留出时间。使用传统的扫频频谱分析仪,并不能评估压缩模式信号及其对其余传输部分的影响。收发机设计人员和网络运营商需要一套新的工具来分析这些新系统中的传输性能,检修出现的问题。

本应用指南介绍了在 W-CDMA/UMTS 无线环境中管理切换使用的压缩模式,说明了同时对捕获的信号进行多域分析可以怎样有效地检验收发机设计。它演示了怎样使用泰克 RSA3408A 无线通信分析仪,在长时间内捕获上行信号和下行信号,并在多个域中提供相关结果,这为评估 W-CDMA 切换性能及追踪错误根源提供了一种完善的方法。

## 应用案例集—民用通信

### ■ 应用指南

#### 移动通信系统中的切换

切换功能对最大限度地提高工作区域、同时保持移动系统中的服务质量(QoS)至关重要。切换是无线接入网改变无线发射机、无线接入模式或为UE 提供承载服务使用的无线系统,同时保持规定的 QoS 的过程。

切换执行得不好会破坏呼叫、使 QoS 劣化及降低基站的工作范围。UE 在 W-CDMA 系统和 GSM 或 TDD 系统之间可靠地进行切换的能力尤为重要,因为现有基础设施中正分期建设新的网络,它们可以在不中断服务的情况下继续通话,并通过容量共享最大限度地利用资源。

在 W-CDMA 系统中,切换是非常复杂的异步事件,使得收发机设计和网络性能评估成为极具挑战性的任务。在切换过程中发生的错误是不可预测的,必须无缝地捕获多个超级帧,以分析其特点,追踪错误根源。深入分析压缩模式信号和错误条件要求在频域、时域、调制域和码域中进行相关测量。

在许多情况下都要求从一个基站切换到另一个基站。最常见的情况是 UE 从一个基站覆盖区域移动到另一个基站覆盖区域时。UE 可以在同一个无线系统内部的不同基站之间移动,或移动到另一个无线系统中。W-CDMA 标准支持切换到满足规范的任何 GSM 或 TDD-CDMA 网络频段。

多标准 UE 可以在切换到不同基站过程中改变其频率或无线接入模式。如果请求的服务水平超过当前基站的能力,UE 可能要改变其频率或无线接入模式。如果目标基站不能支持当前服务基站提供的承载服务组合(语音、数据、多媒体等),某些或所有承载服务可能会切换到另一个基站。

对多呼叫或会议连接,如果目标系统是 W-CDMA 网络,目标基站不能在多呼叫模式下支持所有呼叫,那么将根据运营商首选配置选择切换的呼叫。在任何多呼叫情况下,切换事件可以触发改变各个呼叫。如果目标系统是 GSM 网络,那么将按下述顺序选择呼叫:1

1. 电信业务紧急呼叫
2. 电信业务电话
3. 根据运营商的首选配置,任何其它类型的呼叫将释放不能切换的呼叫。

#### 怎样在 W-CDMA 系统中执行切换

与以前的 GPS 同步系统不同,W-CDMA 无线系统使用异步方法,获得基站站点及在基站资源之间进行切换。在 WCDMA 系统内部,切换是“软切换”(频内切换),以最大限度地降低对相邻基站的干扰,允许使用完全相同的载频。在软切换中,UE 从两个基站中同时发送和接收相同的信号,尽可能实现无缝转换。当多标准 UE 在具有不同载频的基站之间移动或移动到不同的网络时,如 GSM,切换要更加复杂,这称为“频间切换”。这两类切换都在 UE 移动台的协助下完成。

多标准 UE 连续监测其它频率的基站及其支持的无线接入系统。在网络感到需要切换时,BTS 测量某些系统参数,命令 UE 测量其它参数,报告结果。主要参数包括载频、系统类型、业务流量和 QoS 等级。

### 压缩模式

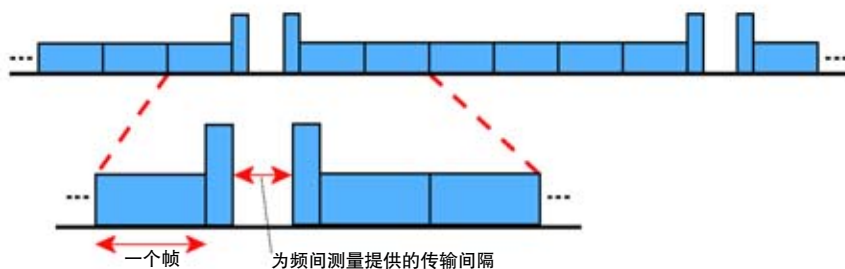
在系统之间需要切换时，BTS 指示 UE 以压缩模式操作，这种方法关闭传输 10 ms 帧的一部分，创建间隔，为 UE 进行测量留出时间。通过降低扩频系数，从数据中去掉多个比特(击穿)，或使用高级调度为用户业务分配更少的时隙，可以实现压缩模式操作。

在压缩的帧中，传输间隔长度(定义为  $N_{first}$  到  $N_{last}$  个时隙)不用于数据传输。在压缩的帧中将提高瞬时发送功率，以在处理增益降低期间保持质量(BER, FER 等)。参见图 1。提高的功率值取决于降低传输时间使用的方法。

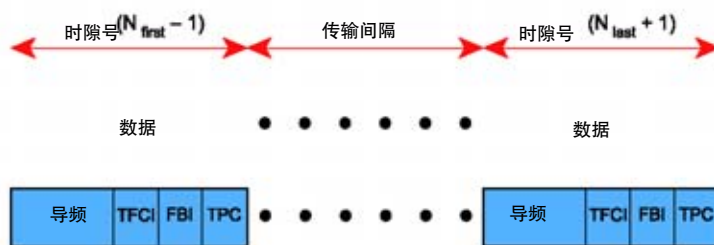
较高的协议层决定着压缩模式中使用的帧数。压缩的帧可以设置为定期发生，如图 2 所示，也可以设置成按需发生。压缩的帧的速率和类型可以变化，取决于环境和测量要求。

必须为上行路径和下行路径及为 UE 支持的每种模式、无线接入技术和频段定义不同的压缩模式信号。在典型应用中，在压缩模式下，上行数据速率提高一倍(使用一半

的帧)，而下行数据速率由更高的协议层设置为两倍以上。图 2 说明了上行操作的压缩模式帧结构的实例。



■ 图 1. 压缩模式传输实例(3GPP TS25.212 V3.11.0)。



■ 图 2. 上行的压缩模式帧结构实例(3GPP TS25.212 V3.10.0)。<sup>2</sup>

## 应用案例集—民用通信

### 应用指南

图 3 说明了 TPC 比特的位置不同的两类下行帧结构。应使用 A 类下行帧结构，为测量提供最大的传输间隔；B 类则用来优化功率。

### 创建传输间隔码型序列

UE 和 BTS 在压缩模式下创建的传输间隔码型序列内部执行规定的一套测量。高层 BTS 协议请求传输间隔码型序列，由 BTS 把参数传送到 UE。UE 只对每种传输间隔码型序列进行一套测量。

图 4 说明了压缩模式的交替传输间隔码型序列。表 1 包含着定义序列使用的一个完整的参数列表。

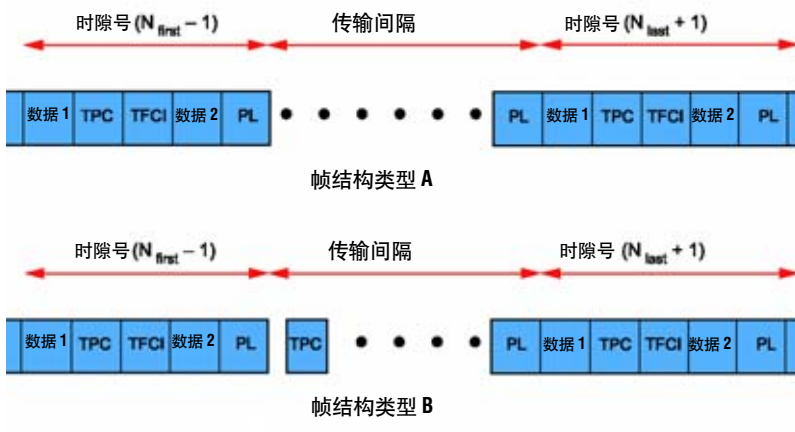


图 3. 下行的压缩模式帧结构的两个实例 (3GPP TS25.212 V3.10.0)。<sup>2</sup>

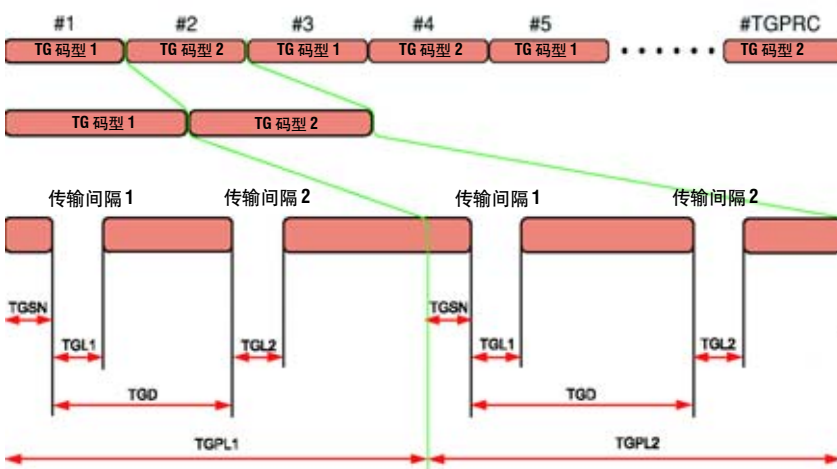


图 4. 压缩模式传输间隔码型实例(3GPP TS25.215 V3.11.0)。<sup>3</sup>

### 在压缩模式过程中 UE 和 BTS 进行的测量

UE 和 BTS 测量第一层协议，确定报告频内切换、频间切换和系统间切换的状态、业务流量和服务质量等级。首先，BTS 向 UE 发送一条“测量控制消息”，包括测量 ID 和要发起的测量类型。在报告完成时，UE 向 BTS 发送一条“测量报告消息”，包括测量 ID 和结果。测量控制消息在空闲模式下在系统信息内部广播。在 UE 监测其它频率、模式和无线接入技术的基站时，BTS 必须指示完成请求的切换所需的具体测量。在 W-CDMA 中，第一层测量报告给更高的协议层。在 GSM 中，测量仅报告给 GSM 终端。

表 2 列明了在压缩模式过程中 UE 和 BTS 进行的测量。

**表 1. 传输间隔码型序列的参数**

参数名称	说明
TGSN (传输间隔开始隙号)	TG 码型第一个无线帧中第一个传输间隔的时隙号
TGL1 (传输间隔长度 1)	TG 码型中第一个传输间隔的时长，用时隙数量表示
TGL2 (传输间隔长度 2)	TG 码型中第二个传输间隔的时长，用时隙数量表示。如果没有设置这个参数，则 TGL1 = TGL2
TGD (传输间隔开始距离)	第一个传输时隙的开始时隙和第二个传输间隔的开始时隙之间的时长
TGPL1 (传输间隔码型长度 1)	TG 码型 1 的时长，用帧数表示
TGPL2 (传输间隔码型长度 2)	TG 码型 2 的时长，用帧数表示
TGPRC (传输间隔码型重复数量)	TG 码型序列中的 TG 码型数量
TGCFN (传输间隔连接帧号)	TG 码型序列中第一个码型 1 的第一个无线帧的连接帧号

**注:** TG 码型从无线帧中开始，无线帧至少包含一个 TG 码型。

**表 2. 压缩模式过程中的 UE 和 BTS 测量**

UE 第一层测量		BTS 第一层测量	
CPICH RSCP	(公共导频通道接收信号功率)	接收的总宽带功率	
TDD 的 PCCPCH RSCP	(主公共控制物理通道)	SIR/SIRerror (信号干扰比)	
UTRA 载波 RSSI	(UMTS 陆地无线接入接收信号强度指示)	发送的载波功率	
GSM 载波 RSSI	(GSM 接收信号强度指示)	传输通道 BER (误码率)	
CPICH Ec/No	(每个码片接收的能量除以频带中的功率密度)	PRACH/PCPCH 传播	
传输通道 BLER	(误码组率)	确认的 PRACH 前置码	
UE 发送功率		检测的 PCPCH 访问前置码	
UE Rx-Tx 时间差			
UE 定位的小区帧的			
UE GPS 定时			

## 应用案例集—民用通信

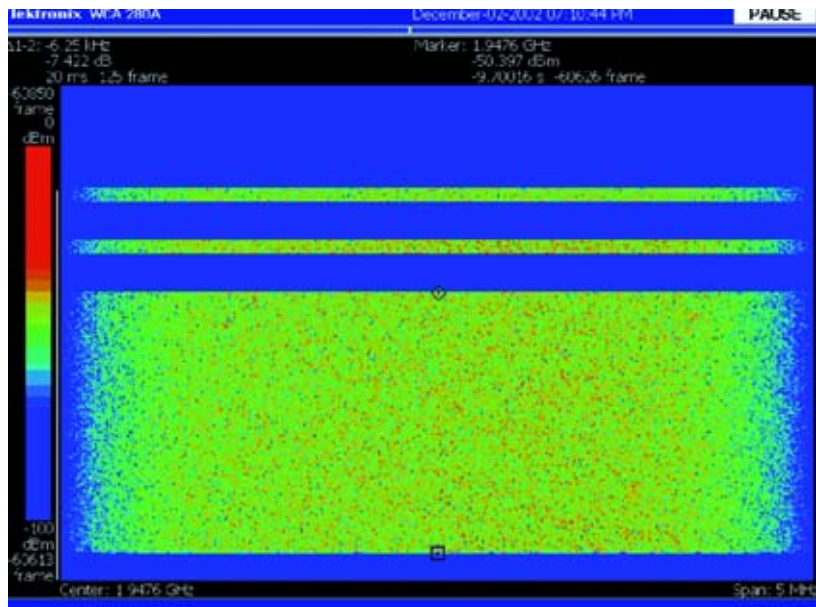
### ■ 应用指南

RSA3408A 解决方案 – 捕获错误条件、分析错误成因在压缩模式切换过程中出现的错误条件可能非常简单、但又不可预测。为保证抓住这些间歇性问题，必须在发生前、发生过程中及发生后监测功率电平、频率和调制信息。必须无缝地捕获数据，以保留信号特点，揭示错误根源。深入分析错误条件通常要求在频域、时域、调制域和码域中把信号状态关联起来。

泰克 RSA3408A 无线通信分析仪采用精制的数字信号处理技术，捕获和分析无线信号。它可以无缝采集并记录复杂信号，并在内部进行处理，显示分析结果，而不需外部计算机。它连续记录幅度与时间关系信息，揭示长记录内部发生的哪怕是最简单的间歇性变化。内部 DSP 电路迅速从存储的数据中获得频率、调制和代码特点。频域图和码域图在频谱和代码与功率关系结果中增加了第三个维度 – 时间。时间信息用来识别测量期间每个频域和码域中的行为变化，连接的光标则把多个事件关联起来，同时在多个域的视图进行分析。

可以使用具有相应内存和软件选项的 RSA3408A，进行检验测试或监测切换过程中的系统性能。RSA3408A 可以无缝地采集切换过程中整整 10 秒的信号，并以多种显示格式分析结果。

频率与时间关系的瀑布图显示了 UE 在模拟的切换过程中在不同频率上的性能，其中用颜色表示功率密度，如图 5 所示。

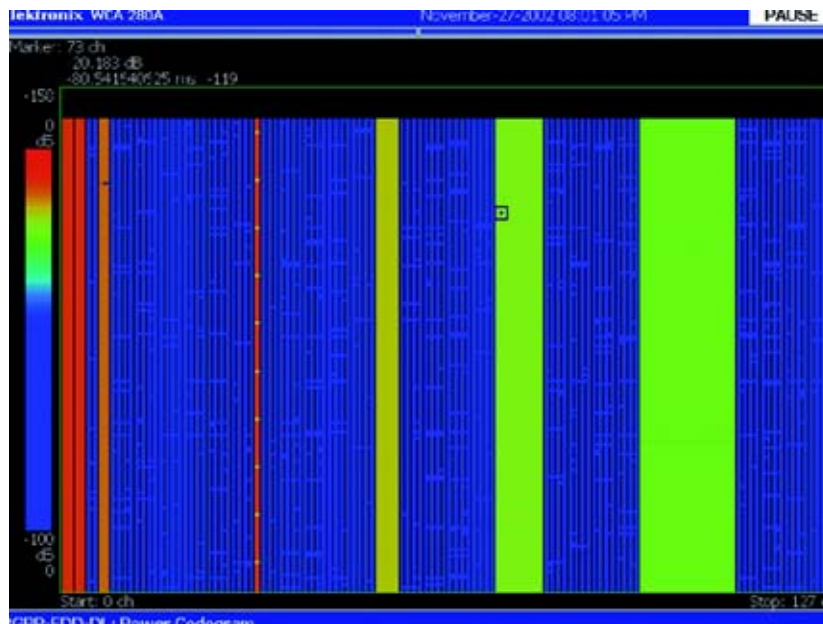


■ 图 5. 瀑布图；纵轴是时间，横轴是频率，功率密度用颜色表示。

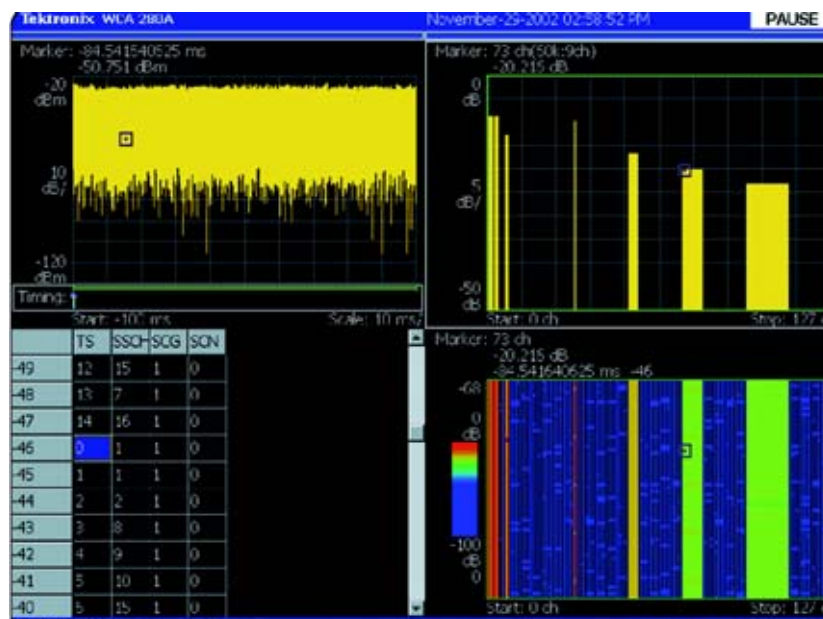


如图6所示,码域图是另一个三维视图, X轴是 OVFSF (正交可变扩频系数)或通道化代码(用于 UE), Y轴是时隙; 每个代码的功率密度用颜色表示。

RSA3408A 能够同时表示最多三个不同视图, 并使用公共光标把它们连接起来, 把事件清楚地与所有测量域中的特点关联起来。参见图7。



■ 图6. W-CDMA 下行信号码域图。码域图的纵轴是时隙, 横轴是颜色。



■ 图7. 三个显示图中连接的光标; 时间与功率关系(左上图)、码域功率(右上图)和码域图(右下图)。光标设置成点亮一个公共时隙和码通道。

## 应用案例集—民用通信

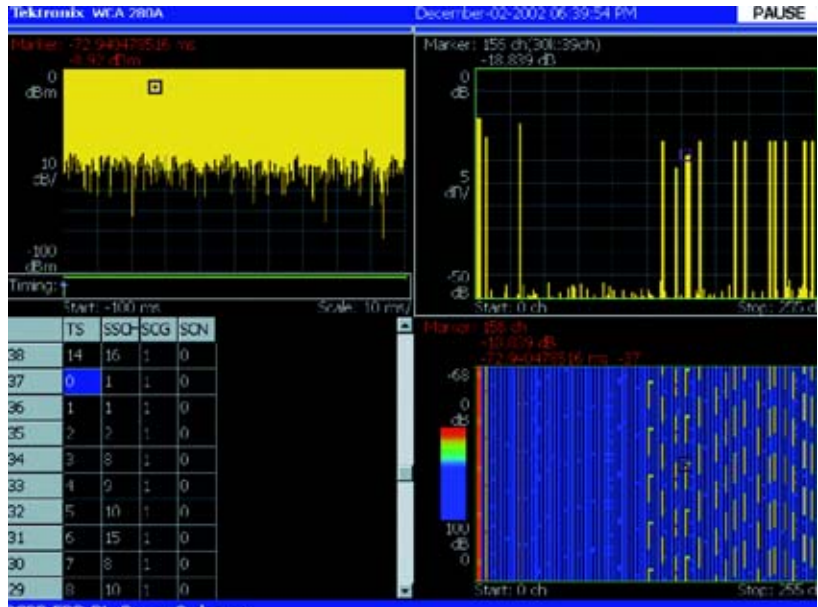
### ■ 应用指南

#### 分析压缩模式信号

RSA3408A 为分析 UE 和 BTS 收发机中的压缩模式信号提供了独一无二的强大工具。图8说明了压缩模式下行信号的合成显示图，其中使用公共光标把时间与功率关系、码域和码域图连接起来。码域图清楚地显示了压缩模式信号的间隔时期和定时，线条变粗表明数据速率高于正常模式。

#### 小结

W-CDMA 压缩模式切换是复杂的间断操作，这给监测和评估带来了真正的挑战。RSA3408A 无线通信分析仪采用专用数字信号处理技术，在无缝的长记录中捕获上行信号和下行信号，并通过强大的三维显示功能分析结果。RSA3408A 在频域、时域、调制域和码域中把结果关联起来，清楚地查看无线网络和 UE/BTS 收发机切换过程中



■ 图 8. 压缩模式下行信号的合成显示图。

的系统质量和/或潜在错误来源。对于在当前迅速演进的移动通信环境中安装和维护无线网络的工程师和技术人员，RSA3408A 提供了完善的一整套新型测量工具。

**参考资料：第三代合作项目(3GPP)标准文件**

1. TS22.129 V3.6.0 "UMTS 和 GSM 或其它无线系统之间的切换要求"。
2. TS25.212 V3.11.0 技术规范小组无线接入网; 多路复用通道编码(FDD) (Release 1999)。
3. TS25.215 V3.10.0 技术规范小组无线接入网; 物理层 - 测量 (FDD) (Release 1999)。

**缩略语**

<b>BER</b>	误码率	<b>ISCP</b>	干扰信号功率
<b>BLER</b>	误码组率	<b>OVSF</b>	正交可变扩频系数(码)
<b>BTS</b>	基站设备	<b>PCCPCH</b>	主公共控制物理通道
<b>CCPCH</b>	公共控制物理通道	<b>PCH</b>	寻呼通道
<b>CCTrCH</b>	编码合成传输通道	<b>PRACH</b>	物理随机访问通道
<b>CFN</b>	连接帧号	<b>RACH</b>	随机访问通道
<b>CPICH</b>	公共导频通道	<b>RSCP</b>	接收的信号功率
<b>DL</b>	下行(前向链路)	<b>RSSI</b>	接收的信号强度指示
<b>DPCCH</b>	专用物理控制通道	<b>RX</b>	接收
<b>DPCH</b>	专用物理通道	<b>SCH</b>	同步通道
<b>DPDCH</b>	专用物理数据通道	<b>SF</b>	扩频系数
<b>DSCH</b>	下行共享通道	<b>SFN</b>	系统帧号
<b>Ec/No</b>	每个码片收到的能量除以频段中的功率密度	<b>SIR</b>	信号干扰比
<b>FDD</b>	频分双工	<b>SNR</b>	信噪比
<b>FER</b>	错帧率	<b>TF</b>	传输格式
		<b>TFC</b>	传输格式组合
		<b>TFCI</b>	传输格式组合指示
		<b>TPC</b>	发送功率控制
		<b>TrCH</b>	传输通道
		<b>TTI</b>	传输时间间隔
		<b>TX</b>	发送
		<b>UE</b>	用户设备
		<b>UL</b>	上行(后向链路)

## 应用案例集—民用通信

### ■ 应用指南



### **RSA3408A 系列**

RSA3408A 系列是为无线元器件和设备的设计人员和制造商设计的，特别适合无线元器件和设备的检定、检修和检验。

## 测试 W-CDMA 上行信号是否符合 3GPP RF Tx 规范



### ■ 利用泰克无线通信分析仪 RSA，从全新角度查看上行信号

分析用户设备(UE)性能是否满足相应的第三代合作伙伴项目(3GPP)技术规范可能是一项要求非常高的任务。上行信号由短的突发编码信息组成，必须在长时间内在无缝的记录中捕获这些信息，以可靠地检测和分析间歇性事件。UE 信号质量和功率控制是要控制的关键参数，特别是在 UE 通过一个小区的覆盖区域和/或切换到另一个覆盖区域时。

必需使用新的方法，真实地捕获链路信号信息，并以容易理解、容易分析的格式显示信息。本应用指南描述了 3GPP 规范对无线接口上的上行信号的测试要求，演示了泰克无线通信分析仪可以怎样同时在多个域中，清楚全面地查看这些复杂的系统。第 11 页提供了本指南中使用的缩略语列表。

W-CDMA 上行信号测试中的挑战 – 短突发，对定时要求高的上行信号是复杂调制的射频信号，其在 W-CDMA 无线接口上承载用户语音和数据业务，为 UE/BTS 交互执行许多关键的协议功能。信号质量和时间关联对建立可靠的网络连接至关重要。

在 W-CDMA 系统中，切换是非常复杂的异步事件，使得收发机设计和网络性能评估成为极具挑战性的任务。在切换过程中发生的错误是不可预测的，必须无缝地捕获多个超级帧，以分析其特点，追踪错误根源。欲深入分

析压缩模式信号和错误条件，必须要求在频域、时域、调制域和码域中进行相关测量。

### 符合 3GPP RF Tx 规范的关键要求

3GPP 技术规范 TS 34.121 中定义了 UE 发射机参数。本应用指南概括了大多数关键要求，包括复制的图形和技术数据。在每个标题后面，用圆括号“(第\_\_节)”显示了参考的 TS 34.121 具体章节。我们还使用另两个基本规范中的标准化信息，支持本指南中的参考资料。

# 应用案例集—民用通信

## ■ 应用指南

### 1) 频率定义

#### a) 频段(第 4.2 节)

UTRA/FDD无线接口是为在三个配套频段中运行而设计的(表 1)。

**表 1: 工作频段**

工作频段	上行频率	下行频率
1	1920 – 1980 MHz	2110 – 2170 MHz
2	1850 – 1910 MHz	1930 – 1990 MHz
3	1710 – 1785 MHz	1805 – 1880 MHz

#### b) 发送 / 接收频率分离(第 4.3 节)

**表 2: 发送 / 接收频段中的频率分离**

工作频段	发送 / 接收频率分离
I	190 MHz
II	80 MHz
III	95 MHz

#### c) 通道间隔 (第 4.4.1 节)

正常通道间隔是 5 MHz。

### 2) 最大输出功率(第 5.2 节)

用来衡量可以发送的最大功率，其带宽至少是无线接入模式的码片速率的倍数(1+)。应在至少一个时隙的时间内测量输出功率。正常的最大输出功率及其容限是根据 UE 的功率等级定义的(参见表 3)。

### 3) 频率误差(第 5.3 节)

UE 发射机跟踪收到的 Node B 下行 RF 载频，并使用相同的频率源生成 RF 频率和码片时钟。频率误差是从 UE 发送的 RF 调制载频与分配的频率之间的差异。这

**表 3: 最大输出功率容限**

工作频段	功率等级 1		功率等级 2		功率等级 3		功率等级 4	
	功率	容限	功率	容限	功率	容限	功率	容限
1	33 dBm	+1/-3 dB	+27 dBm	+1/-3 dB	+24 dBm	+1/-3 dB	+21 dBm	± 2 dB
2					+24 dBm	+1/-3 dB	+21 dBm	± 2 dB
3					+24 dBm	+1/-3 dB	+21 dBm	± 2 dB

些信号由于 Node B 频率误差和实际环境中的多普勒位置而出现外在误差。在后一种情况下，必须在足够的时间内平均 Node B 发出的信号，以允许噪声或干扰导致的误差。与从 Node B 收到的载频相比，在一个时隙期间观察的 UE 调制载频的精度必须位于 ± 百万分之 0.1 范围内。载频误差过高将增加上行通道中传输误码的风险。

**4) 上行中的输出功率动态** UE 开环功率定义为时隙中的平均功率或功率开启动持续时间，以两者中提供的为准。

#### a) 开环功率控制 (第 5.4.1 节)

是 UE 发射机把输出功率设置成指定值的能力。这一功能用于 PRACH 传输，基于从 Node B 中收到的信息及下行收到的 P-CPICH 的信号功率电平。对正常条件，开环功率控制的容限是 ± 9 dB，对极限条件是 ± 12 dB。

#### b) 内环功率控制 (第 5.4.2 节)

定义为原始(参考)时隙的平均功率与目标时隙的平均功率之间的相对功率差，不包括瞬时长。

**表 4: 发射机功率控制步长**

发射机功率控制范围(所有单位均为 dB)

TPC_cmd	1 dB 步进长度		2 dB 步进长度		3 dB 步进长度	
	下限	上限	下限	上限	下限	上限
+1	+0.5	+1.5	+1	+3	+1.5	+4.5
0	-0.5	+0.5	-0.5	+0.5	-0.5	+0.5
-1	-0.5	-1.5	-1	-3	-1.5	-4.5

#### c) 最小输出功率 (第 5.4.3 节)

UE 发射机能够以 1 dB、2 dB 和 3 dB 的步进长度改变其输出功率，以对下行中从 BTS 收到的一条或多条 TPC 命令(TPC\_cmd)作出响应。根据规定，发射机输出功率步长对每个内环功率控制步进长度，必须落在表 4 所示的范围内。由于内环功率控制导致的总输出功率变化应落在表 5 所示的范围内。

根据规定，在设为最小值时 UE 的控制输出功率必须小于 -50 dBm。

表 5: 发射机总功率控制范围

TPC_cmd 群组	在 10 个相等的 TPC-cmd 群组之后的发射机控制范围 (所有单位都是 dB)				在 7 个相等的 TPC-cmd 群组之后的发射机控制范围 (所有单位都是 dB)	
	1 dB 步进长度		2 dB 步进长度		3 dB 步进长度	
	下限	上限	下限	上限	下限	上限
+1	+8	+12	+16	+24	+16	+26
0	-1	+1	-1	+1	-1	+1
-1	-8	-12	-16	-24	-16	-26
0,0,0,0,+1	+6	+14	无	无	无	无
0,0,0,0,-1	-6	-14	无	无	无	无

## d) 输出功率的失步处理(第 5.4.4 节)

UE 监测 DPCCH 质量, 检测第一层上的信号是否丢失。门限  $Q_{out}$  和  $Q_{in}$  分别规定了 UE 应该关闭及打开功率发射的 DPCCH 质量水平。在 UE 估计过去 160 毫秒期间 DPCCH 质量低于门限  $Q_{out}$  时, UE 应在 40 毫秒内关闭功率发射。在 UE 估计过去 160 毫秒期间 DPCCH 质量好于门限  $Q_{in}$  时, UE 应在 40 毫秒内发射功率。规定中没有明确定义这些门限, 而是基于 DPCCH 每个 PN 码片的发送能量与 Node B 天线(SS)连接器上总发送功率门限密度之比, 这一比率称为 "DPCCH\_Ec/Ior"。

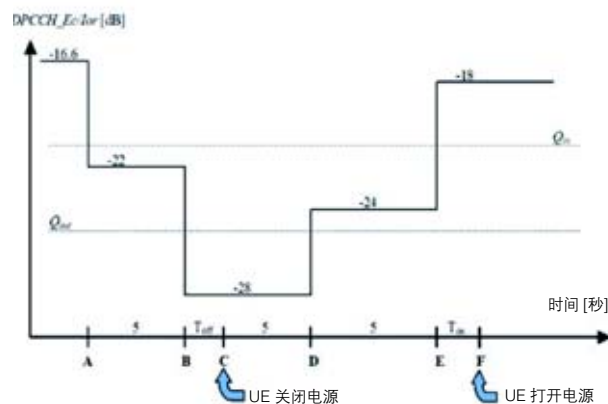
图 1 说明了一个实例, 其中 DPCCH\_Ec/Ior 比率随 DPCH 解调电平而变化。正常条件下, 该电平低于  $Q_{out}$  以下, UE 将关闭功率发射, 恢复到  $Q_{in}$  以上, UE 将再打开功率发射。Toff 和 Ton 发生在规定的 40 毫秒时间窗口内部, UE 将关闭和打开功率发射, 以对前 160 毫秒过程中感应的变化作出响应。表 6 列出了图中每种条件的最低要求。

## 5) 发送 ON/OFF 功率(第 5.5 节)

- 发送 OFF 功率(第 5.5.1 节)** 定义为在关闭功率发射、没有发送信息时升余弦根(RRC)滤波的平均功率。根据规定, 发送 OFF 功率必需低于  $-56$  dBm。在 UL 压缩模式下, 在传输间隔过程中, UE 不视为处于 OFF 状态。
- 发送 ON/OFF 时间模板(第 5.5.2 节)** 定义了 PRACH、CPCH 或上行压缩模式等操作过程中, UE 在发送 OFF 功率和发送 ON 功率之间允许的上升时间。对

表 6: 图 1 中 DPCCH\_Ec/Ior 质量水平最低要求

图 1 中的时段	DPCCH_Ec/Ior
A 之前	-16.6 dB
A 到 B	-21.6 dB
B 到 D	-28.4 dB
D 到 E	-24.4 dB
E 之后	-17.6 dB



■ 图 1. UE 中失步处理实例。

PRACH 前置码, 发送功率电平与时间的关系应满足图 2 中规定的模板, 对所有其它情况, 应满足图 3 中规定的模板。表 7 说明了在 PRACH 前置码上升过程中及最后 PRACH 前置码和 PRACH 消息部分之间的 ON/OFF 步进的规定容限。

# 应用案例集—民用通信

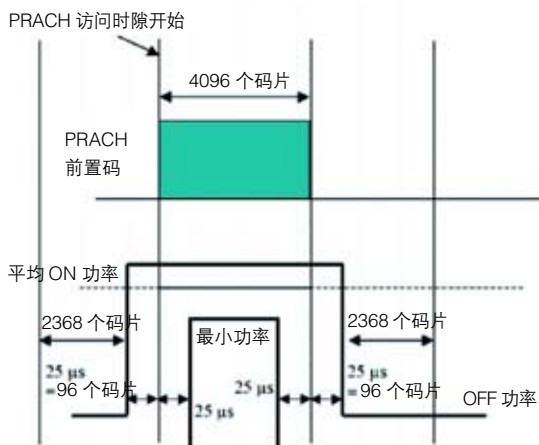
## ■ 应用指南

**表 7: PRACH 前置码斜波及最后 PRACH 前置码和 PRACH 消息部分之间的发射机功率差容限**

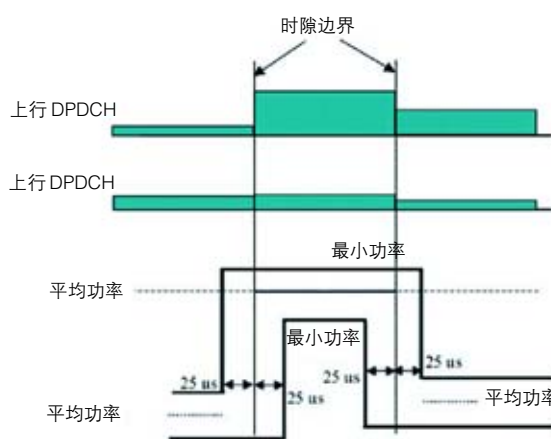
功率差长度(P [dB])	发射机功率差容限[dB]
0	± 1
1	± 1
2	± 1.5
3	± 2
$4 \leq \Delta P \leq 10$	± 2.5
$11 \leq \Delta P \leq 15$	± 3.5
$16 \leq \Delta P \leq 20$	± 4.5
$21 \leq \Delta P$	± 6.5

**表 8: 发射机功率步进容限 – TFC 变化**

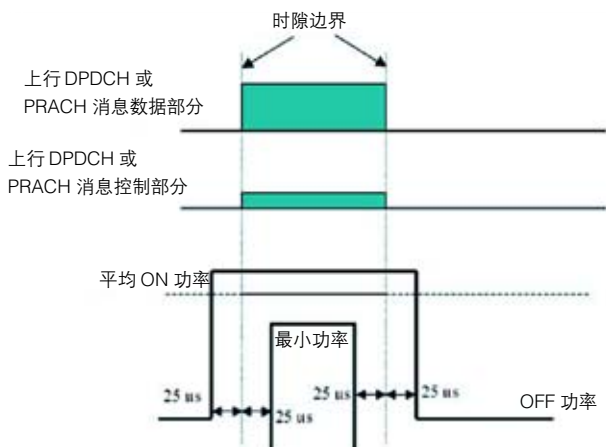
功率控制步进长度 (上或下) (P [dB])	发射机功率步进容限 [dB]
0	± 0.5
1	± 0.5
2	± 1.0
3	± 1.5
$4 \leq \Delta P \leq 10$	± 2.0
$11 \leq \Delta P \leq 15$	± 3.0
$16 \leq \Delta P \leq 20$	± 4.0
$21 \leq \Delta P$	± 6.0



■ 图 2. PRACH 前置码的发送 ON/OFF 模板



■ 图 4. TFC 变化过程中的发送模板



■ 图 3. 所有其它 On/Off 情况的发送 ON/OFF 模板

### 6) 传输格式组合(TFC)变化导致的功率变化(第 5.6 节)

在改变 TFC、进而改变数据速率时，要求改变输出功率。在 UE 中计算由于 TFC 变化导致的功率步进，从

而 DPCCH 上传输的功率将符合内环功率控制。然后将把总传输功率(DPCCH + DPDCH)中的步进值四舍五入成最近的 dB 整数。表 8 中规定了步进长度一定时的功率步进容限。

由于 TFC 变化导致的功率变化定义为原始(参考)时隙的平均功率与目标时隙的平均功率之间的相对功率差，不包括瞬时时长。瞬时时长是指从时隙边界前 25 毫秒到时隙边界后 25 毫秒。图 4 中指明了发送功率电平与时间的关系。

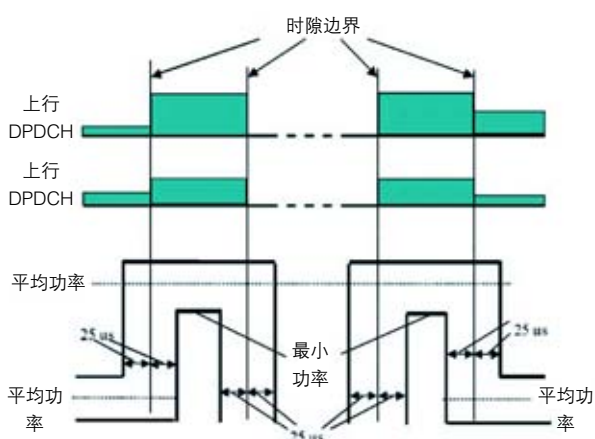
### 7) 上行压缩模式下的功率设置(第 5.7 节)

由于数据传输在较短的间隔内执行，因此在上行压缩帧过程中要求改变输出功率。DPDCH 代码和 DPCCH 代码之间的幅度之比也将有所不同。将在 UE 中计算由于压缩模式导致的功率步进，以使在每个发送的时隙期间导频位上传输的能量符合内环功率控制。



表9: 在最多14个时隙的传输间隔后的发射机功率差容限

功率控制步进长度 (上或下) $\Delta P$ [dB]	一个传输间隔后发射机 功率步进容限 [dB]
$\Delta P \leq 2$	+/- 3
3	+/- 3
$4 \leq \Delta P \leq 10$	+/- 3.5
$11 \leq \Delta P \leq 15$	+/- 4
$16 \leq \Delta P \leq 20$	+/- 4.5
$21 \leq \Delta P$	+/- 6.5



■ 图5. 压缩模式过程中的发送模板

然后将把总传输功率(DPCCH + DPDCH)中的步进值四舍五入成最近的dB整数数值。功率步进定义为在原始时隙和参考时隙都没有位于传输间隔中时,原始(参考)时隙的平均功率与目标时隙的平均功率之间的相对功率差。

瞬时长是指从时隙边界前25毫秒到时隙边界后25毫秒。图4中指明了发送功率电平与时间的关系。表9中指明了在最多14个时隙的传输间隔之后总发送功率(DPCCH + DPDCH)的差异精度,图5中指明了发送功率电平与时间的关系。

**8) 占用带宽 (OBW) (第5.8节)**用来衡量以分析的通道频率为中心、包含发送频谱的总积分功率的99%的带宽。在3.84 M码片/秒的芯片速率基础上,规定占用的通道带宽必需低于5 MHz。

**9) UE 的频谱发射模板(第5.9节)**适用于距UE中心载频2.5 MHz – 12.5 MHz之间的频率。将相对于UE载波的RRC滤波平均功率指定通道外辐射。根据规定,任何UE辐射的功率不得超过表10中规定的水平。

表10: 频谱辐射模板要求

$\Delta f$ ,单位:MHz	最小要求	额外要求	测量带宽
	频段 I、II、III	频段 II	
2.5 – 3.5	$\left\{-35-15 \cdot \left(\frac{\Delta f}{\text{MHz}}-2.5\right)\right\} \text{dBc}$	-15 dBm	30 kHz
3.5 – 7.5	$\left\{-35-1 \cdot \left(\frac{\Delta f}{\text{MHz}}-3.5\right)\right\} \text{dBc}$	-13 dBm	1 MHz
7.5 – 8.5	$\left\{-35-10 \cdot \left(\frac{\Delta f}{\text{MHz}}-7.5\right)\right\} \text{dBc}$	-13 dBm	1 MHz
8.5 – 12.5	-49 dBc	-13 dBm	1 MHz

表11: 按功率等级划分的 ACLR 极限

功率等级	距载波的偏移频率	ACLR 极限
3	+5 MHz 或 -5 MHz	33 dB
3	+10 MHz 或 -10 MHz	43 dB
4	+5 MHz 或 -5 MHz	33 dB
4	+10 MHz 或 -10 MHz	43 dB

表12: 杂散辐射极限

频率带宽	测量带宽	最小要求
$9 \text{ kHz} \leq f < 150 \text{ kHz}$	1 kHz	-36 dBm
$150 \text{ kHz} \leq f < 30 \text{ MHz}$	10 kHz	-36 dBm
$30 \text{ MHz} \leq f < 1000 \text{ MHz}$	100 kHz	-36 dBm
$1 \text{ GHz} \leq f < 12.75 \text{ GHz}$	1 MHz	-30 dBm

**10) 邻道泄漏功率比(ACLR) (第5.10节)**是以分配的通道频率为中心的RRC滤波平均功率与以邻道频率为中心的RRC滤波平均功率之比。表11中说明了规定极限。

**11) 杂散辐射(第5.11节)**是不希望的发射机效应导致的信号,如谐波、寄生信号、互调制产物和频率转换产物等效应,但不包括带外辐射。这些要求只适用于距UE中心载频超过12.5 MHz的频率。表12列明了规定的极限。

**12) 发送互调制(第5.12节)**用来衡量干扰信号与发送信号混合在发射机中,在UE发射机的非线性单元中导致的不想要的信号。表13中列明了在发生这两种信号时允许产生的最大互调制产物。

## 应用案例集—民用通信

### ■ 应用指南

表 13: 发射互调制极限

距载频的 CW 信号偏移	5 MHz	10 MHz
干扰 CW 信号电平	-40 dBc	
互调制产物	-31 dBc	-41 dBc

### 13) 发送调制 (第 5.13 节)

a) **误差矢量幅度 (EVM) (第 5.13.1 节)**用来衡量参考波形与测量的波形之间的差异, 这个参数称为误差矢量。这两种波形都通过带宽为 3.84 MHz、滚降点 = 0.22 的匹配的 RRC 滤波器。然后通过选择频率、绝对相位、绝对幅度和码片时钟定时, 最大限度地降低误差矢量, 进一步修改这两个波形。EVM 结果定义为平均误差矢量功率与平均参考功率之比的平方根, 用百分比表示。对 EVM 测量, 测量间隔是一个时隙, 参考功率是最大功率, 测量的功率是 -20dBm。规范要求在使用表 14 中列明的参数时 EVM 小于 17.5%。

b) **峰值码域误差(第 5.13.2 节)**。通过把误差矢量的功率以规定展宽系数发射到码域上, 来计算峰值码域误差。码域中的每个代码的码域误差定义为投射到该代码上的平均功率与合成参考波形的平均功率之比, 用 dB 表示。峰值码域误差是所有代码的码域误差的最大值, 根据规定, 在使用表 14 中列明的测试参数时, 在展宽系数为 4 时其不得超过 -15 dB。

表 14: EVM 和峰值码域误差测试参数

参数	电平 / 状态
输出功率	≥ 20 dBm
工作条件	正常
功率控制步进长度	1 dB

#### 使用泰克 RSA3408A 进行 RF 发射机一致性测试

扫频频谱分析仪不能满足全系列 W-CDMA 上行测试需求。上行信号非常复杂, 必须全面无缝地捕获这些信号, 以进行分析。在压缩模式切换过程中出现的错误条件可能非常简单、但又不可预测。为保证抓住这些间歇性问题, 必须在发生前、发生过程中及发生后监测功率电平、频率和调制信息。必须无缝地捕获数据, 以保留信号特点, 揭示错误根源。

深入分析错误条件通常要求在频域、时域、调制域和码域中把信号状态关联起来。例如, 为全面评估 PRACH 前

### W-CDMA 上行通道的特点

W-CDMA上行信号具有非常复杂的特点, 它使用两种方法扩展和调制信号, 在定义的物理通道中承载控制和数据。与前几代技术不同, W-CDMA支持动态分配通道资源, 以满足用户服务请求和呼叫格式组合, 这给管理许多新的低级功能使用的信号带来了更高的复杂性。

#### 通道定义

##### 物理通道

物理通道通过载频、扰码、通道化代码、时长、码片速率等定义。在时域中, 10 毫秒无线帧由 15 个时隙组成, 每个时隙包括 2,560 个码片。因此一个完整的帧的有效码片速率是 38,400 个码片, 得到的传输整编是 3.84M 码片 / 秒。

上行专用物理通道分成两种类型: 专用物理数据通道 (DPDCH) 和专用物理控制通道 (DPCCH)。DPDCH 承载用户业务, DPCCH 则由导频位 (通道估算)、发送功率控制 (TPC) 命令、反馈信息 (FBI) 和可选的传输格式组合指示符 (TFI) 组成。DPDCH 和 DPCCH 在每个时段中通过 I/Q 进行复用 (参见 "扩展和调制方法")。

##### 传输通道

传输通道分成两类: 专用通道和公共通道, 具体取决于在空中接口上传输数据的方式和类型。在下行和上行中都使用专用通道 (DCH), 它在整个小区中传送。公共通道分成六种类型: 随机访问通道 (RACH) 和公共分组通道 (CPCH) 是上行传输通道, 广播通道 (BCH)、前向访问通道 (FACH)、寻呼通道 (PCH) 和下行共享通道 (DSCH) 是下行传输通道。

##### 指示通道

指示通道是物理通道上传输的快速低电平信令实体。指示通道分成六类: 采集 (AI)、访问前置码 (API)、通道对准 (CAI)、碰撞检测 (CDI)、寻呼 (PI) 和状态 (SI)。

置码, 我们必须能够实时捕获完整的信号突发, 解调信号, 进行误差矢量幅度 (EVM) 分析。

泰克 RSA3408A 无线通信分析仪采用实时频谱分析技术, 并带有多种选项, 可以直接进行 W-CDMA 信号分析。与传统扫频频谱分析仪不同, 它能够采集很长的复杂信号的无缝记录, 并在内部进行处理, 显示分析结果, 而不需要使用外部计算机。由于高达 256 Mb 的内存深度,

RSA3408A 可以捕获和分析完整的、长 10 秒、宽 5MHz 的 W-CDMA 信号。在配备选项 23 – W-CDMA 上行分析功能时，RSA3408A 为 3GPP TS34.121 (参见表 15) 中规定的大多数上行功能提供了内置解调和直接分析功能。用户只需按一个键，就可以测量及自动计算许多参数，如 ACLR、EVM 和 OBW。

RSA3408A 内存深度足够大，可以在所有域中同时捕获、分析和测量完整的 W-CDMA 呼叫建立过程。它连续记录幅度与时间关系信息，揭示长记录内部发生的哪怕是最简单的间歇性变化及时间。频域图和码域图显示在频谱和代码与功率关系结果中增加了第三个维度 – 时间。时间信息用来识别测量期间每个频域和码域中的行为变化。光标连接多个事件，在多个域同时显示的视图进行分析，清楚地查看无线网络和 UE 及 Node B 中的系统质量和 / 或潜在误差来源。

**表 15: 带有选项 23 的 RSA3408A 进行的 3GPP TS 34.121 测量**

3GPP TS34 121V 3.12.0 规范	RSA3408A, 带有选项 23
最大输出功率 (5.2)	✓
频率误差 (5.3)	✓
上行中的输出功率动态 (5.4.1)	✓
内环功率控制 (5.4.2)	✓
最小输出功率 (5.4.3)	✓
输出功率的失步处理(5.4.4)	DPCCH 功率测量
发送 OFF 功率 (5.5.1)	✓
发送 ON/OFF 时间模板 (5.5.2)	测量 PRACH 消息部分的定时和 DPCCH 和 DPDCH 上的 ON/OFF 定时
TFC 变化(5.6)	✓
上行压缩模式下的功率设置(5.7)	检查压缩模式下的功率变化及时隙中的间隔数量
占用带宽 (OBW) (5.8)	✓
频谱辐射模板(5.9)	不支持模板
邻道泄漏功率比(ACLR) (5.10)	✓
杂散信号测量(5.11)	使用 RSA3408A, 最高支持 8GHz
发送互调制 (5.12)	✓
误差矢量幅度 ( EVM) ( 5.13.1)	✓
峰值码域误差 (5.13.2)	✓

RSA3408A 提供了码域图，这是一种独特强大的工具，用来分析在不同时间动态变化的不可预测的事件，如压缩模式信号，及处理 TFC 变化和失步过程中的输出功率。码域图在 X 轴上显示 OVFSF 或通道化代码(对 UE)，在 Y 轴上显示时隙，每个代码的功率密度用颜色表示。

### 扩展和调制方法

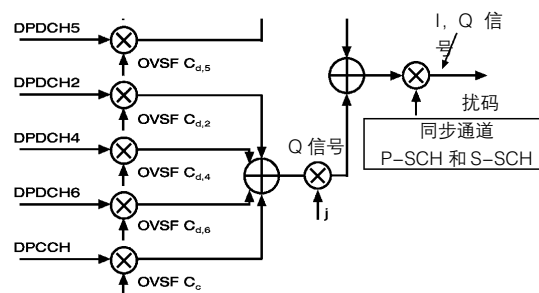
W-CDMA 使用定义的代码，在宽频段上扩展信号。上行信号使用两类扩展方法。为执行通道化，I 信号和 Q 信号通过正交值展宽系数(OVSF)代码独立扩展。通过这种扩展方法，每个数据码中的码片数量成为展宽系数 (SF)，将拓宽信号占用的带宽。在通道化后，扰码通过使用复数值扰频码

扩展 I 和 Q 合成信号实现。

### 上行数据和控制通道

图 S1 说明了在 DPDCH 和 DPCCH 通道中扩展信号的原理。在扩展、并使用增益系数加权平均后，I 和 Q 分支上的实数值码片流加总，变成实数值码片流。复数值码片流通过复数值扰频码加扰，复数值扰频码与无线帧对准。

二进制 DPDCH 和 DPCCH 用实数值序列表示，其中二进制值 "0" 与实数值 "+1" 对应，二进制值 "1" 与实数值 "-1" 对应。DPCCH 通过通道化码  $C_c$  扩展到 3.84 M 码片 / 秒。DPDCH 通道通过通道化码  $C_{d,n}$  扩展到码片速率。上行 DCH 由可以同时传输的一条 DPCCH 通道和最多六条 DPDCH 通道组成。



■ 图 S1. 扩展 DPDCH 和 DPCCH

## 应用案例集—民用通信

### 应用指南

#### PRACH 和 PCPCH 信号

UE 在物理随机访问通道(PRACH)中使用随机访问传输,寻找连接。PRACH 检测和连接 BTS 下行中采集指示通道(AICH)发来的快速采集信号,与小区建立连接。PRACH 信号由一个或多个前置码和消息部分组成,消息部分包含数据和控制信息。信号作为短的突发编码信息从 UE 在上行广播通道上传输。PRACH 消息部分包含在一个或两个连续的无线帧中。

PRACH前置码是前置码扰码和前置码签名的复数值序列。扰码是由 8192 个码片组成的长序列,划分到 512 个代码中,每个代码由 16 个码片组成。前置码签名为 4096 个码片(16 个码片长度重复 256 次),共提供了 16 个签名。

UE 在大量良好定义的时间间隔开始时,在访问时隙中启动随机访问传输。每两个帧有 15 个访问时隙,它们扩展 5120 个码片。扩展的二进制控制使用实数值序列表示,其中二进制值“0”与实数值 +1 对应,二进制“1”与实数值 -1 对应。

图 S2 说明了 PRACH 消息部分扩展和扰频的原理,PRACH 消息部分由数据部分和控制部分组成。控制部分和数据部分通过通道化代码  $C_o$  和  $C_d$  扩展到码片速率。在扩展后, I 分支和 Q 分支上的码片流加总到复数值码片流中,复数值码片流通过复数值扰频码扰频,这是一个与无线帧对准的 10 毫秒序列。

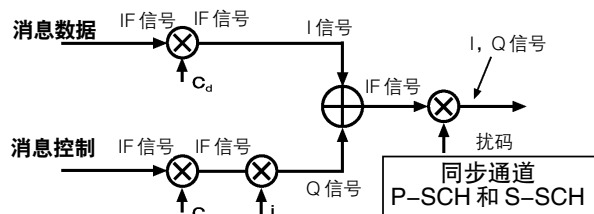


图 S2. 扩展 PRACH/PCPCH

PCPCH 物理公共分组通道用来承载 CPCH, CPCH 用于数据传感多址 - 碰撞检测(DSMA-CD), 并支持快速采集指示。PCPCH 包括由 4096 个码片组成的多个访问前置码、由 4096 个码片组成的一个碰撞检测前置码(CD-P)、0 个或 8 个时隙的一个 DPCCH 功率控制前置码(PC-P)、及一个可变长度消息( $N \times 10$  ms)。

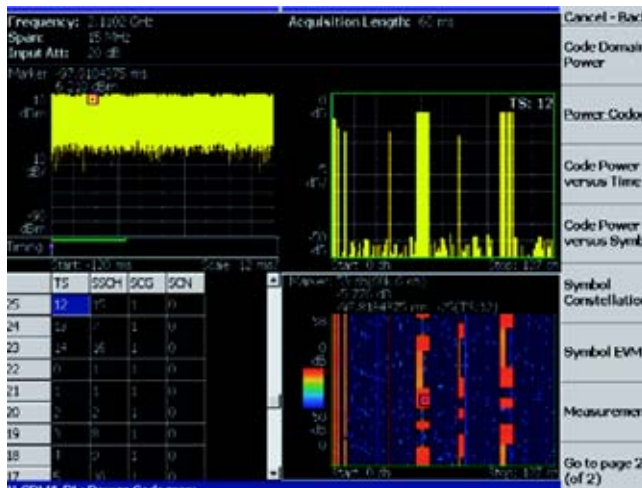


图 6. 压缩模式下行信号的合成显示图。

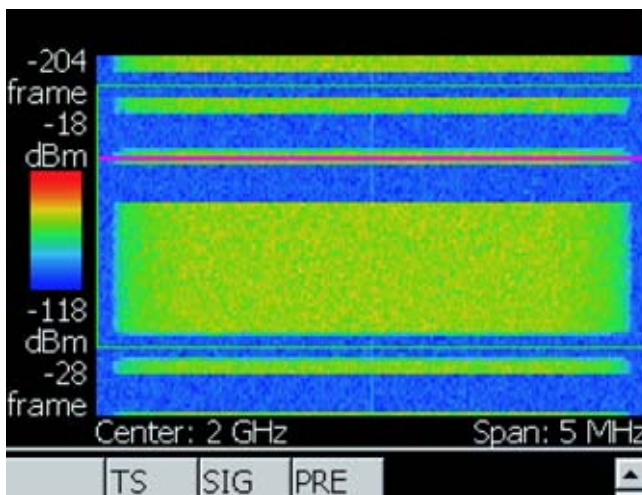
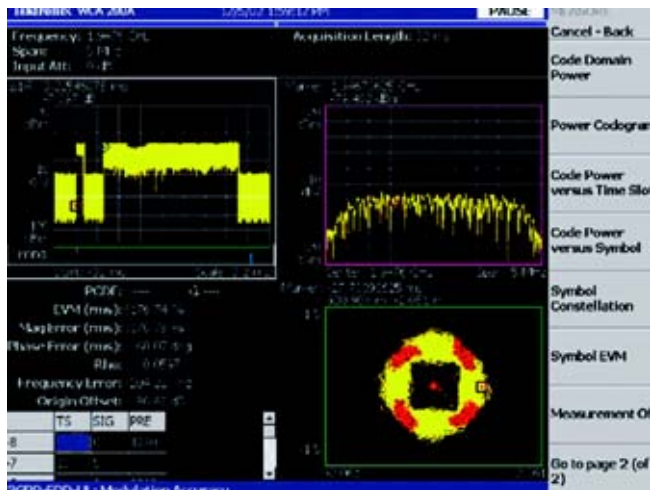


图 7. 频谱图:竖轴是时间, 横轴是频率, 功率密度用颜色表示。

图6显示了压缩模式下行信号的合成显示图,其中用公共光标把时间与功率关系、码域和码域图连接起来。右下方的码域图清楚地显示了压缩模式信号的间隔时间和定时,线条变粗表明数据速率高于正常模式。

频谱图以类似的方式表示频率和幅度变化与时间关系的三维记录,这为动态分析脉冲信号和间歇性信号提供了宝贵的工具。频域图显示频率与时间的关系,使用颜色表示功率密度。图 7 中的频域图显示了 UE 在模拟切换过程中在不同频率上的性能。



■ 图8. 通过直接显示关键参数, 在时域、频域和调制域中全面分析PRACH信号。

通过独特的频率模板触发功能, 分析仪可以触发任何RF信号, 保证可以真实地捕获哪怕是随机的事件。RSA3408A可以设置成定义感兴趣事件(如PRACH前置码)的频谱模板, 只触发落在模板内或落在模板外的事件。

### 调制

在扩频流程中得到的复数值码片序列经过滚降滤波器, 通过正交相移键控(QPSK)调制, 然后进行放大传输。W-CDMA的上行码片速率是3.84 M码片/秒。

RSA3408A可以同时显示四个窗口。图8显示了三个不同、但相关的PRACH信号视图(幅度与时间关系、幅度与频率关系和星座图), 左下方的窗口则显示了PCDE、EVM和相位误差的参数信息和结果。

可以把采集设置成在触发点之前和触发点之后存储事件, 实现全程分析。例如, 在发送的上行信号周围设置触发模板时, RSA3408A可以自动捕获完整的PRACH前置码和消息部分。

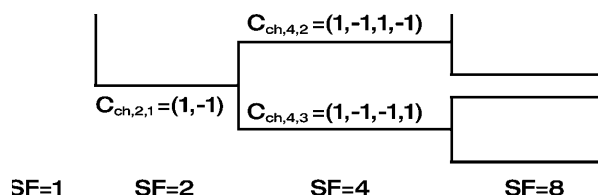
RSA3408A还可以放大信号的任何部分, 对任何特定事件进一步进行分析, 而不需另一次采集。

### 代码生成和分析

上行扰码由UE协议的高层进行分配。

### 通道化代码

通道化代码是代码树中生成的正交有值展宽系数(OVSF), 如图S2所示。这个值在各条物理通道之间保持正交。



■ 图S2. 生成OVSF的代码树。

### DPDCH/DPCCH

DPCCH一直通过代码 $C_c=C_{ch,256,0}$ 进行扩展。在DPDCH是一条通道时, DPDCH<sub>1</sub>通过 $C_{d,1}=C_{ch,SF,k}$ 扩展, SF是DPDCH<sub>1</sub>的展宽系数, 其中 $k=SF/4$ 。在DPDCH是一条以上的通道时, SF设为4, DPDCH<sub>n</sub>通过代码 $C_{d,n}=C_{ch,4,k}$ 扩展。

### PRACH

与签名 $s$ 对应的PRACH前置码签名由重复256次的长度为16的签名 $P_s(n)$ ,  $n=0\dots15$ 组成。签名 $P_s(n)$ 从长度为16的16个Hadamard代码集中获得。控制部分通过通道化代码 $C_c$ 扩展, SF为256。 $C_c=C_{ch,256,m}$ ,  $m=16xs+15$ 。消息部分使用通道化代码 $C_d=C_{ch,SF,m}$ , 其中SF位于32-256之间,  $m=SFxs/16$ 。

### PCPCH消息部分和功率控制前置码

控制部分一直通过代码 $C_c=C_{ch,256,0}$ 进行扩展。数据部分通过 $C_d=C_{ch,SF,k}$ 扩展, 其中SF位于4-256之间,  $k=SF/4$ 。

### 扰码

在通过通道化代码扩展后, 所有上行信号通过扰码扩展。DPCCH/DPDCH使用长代码或短代码扰码。前置码扰码分成512组, 每组16个代码。PRACH消息和PCPCH消息使用长扰码加扰。

## 应用案例集—民用通信

### ■ 应用指南

#### 其它

除满足正式的 3GPP 规范外, RSA3408A 还为检定 W-CDMA 上行信号提供了许多强大的新型工具。

测量所有重要的上行参数:

- 每个时隙中 DPDCH 和 DPCCH 的码域功率
- PRACH 平均功率
- 每条 DPDCH, DPCCH, PCPCH 和 PRACH 通道中的 EVM
- 峰值码域误差
- 合成 EVM
- 邻道泄漏比
- 解调数据位

使用长内存和强大的触发功能, 检修呼叫处理问题:

- 基站和 UE 之间的交互 (使用两台分析仪)
- PRACH - AICH 定时测量

通过三维视图深入查看复杂的信号, 如码域图和频域图:

- 分析压缩模式信号
- 码域功率与时间关系
- 改变 TFC 的所有影响
- 发送功率与时间及频率关系的完整历史

#### 结论

W-CDMA 上行信号是复杂的间断操作, 这给监测和评估带来了真正的挑战。RSA3408A 无线通信分析仪采用专用数字信号处理技术, 在无缝的长记录中捕获上行信号和下行信号, 并通过强大的三维显示功能分析结果。RSA3408A 在频域、时域、调制域和码域中把结果关联起来, 清楚地查看无线网络和 UE 和 Node B 中的系统质量和 / 或潜在错误来源。

对于在当前迅速演进的移动通信环境中安装和维护无线网络的工程师和技术人员, RSA3408A 提供了完善的一整套新型测量工具。

#### 参考资料

1. TS34.121 V3.12.0 (2003-03), 第三代合作项目; 长技术规范小组终端; 终端一致性规范。
2. TS25-213 V5.2.0 (2002-09), 第三代合作项目(3GPP); 技术规范小组(TSG)无线接入网(RAN); 工作小组 1 (WG1); 扩展和调制(FDD)无线传输和接收(FDD) (Release 1999)。
3. 3GPP TS 25.101 V5.4.0 (2002-09), 第三代合作项目; 技术规范小组无线接入网; UE 无线传输和接收(FDD) (Release5)。

## 缩略语

ACLR	邻道泄漏功率比	PCH	寻呼通道
ACS	邻道选择度	P-CPICH	主公共导频通道
AFC	自动频率控制	PDSCH	物理专用共享通道
AICH	采集指示通道	PICH	寻呼指示通道
AP	访问前置码	PPM	百万分之几
ASD	加速频谱密度	PRACH	物理随机访问通道
ATT	衰减器	PSC	主同步代码
BCH	广播控制通道	$Q_{in}$	与检测到 TPC 命令明显比 $Q_{out}$ 输出可靠的 DPCCH 质量水平相对应, 可以在某个 TPC 命令误差比率水平上测量, 如 20%。
BER	误码率	$Q_{out}$	与没有检测到可靠的 TPC 命令的 DPCCH 质量水平相对应, 可以在某个 TPC 命令误差比率水平上测量, 如 30%。
BLER	误码组率	RACH	随机访问通道
BTFD	盲目传输格式检测	RBW	分辨率带宽
BTS	基站设备 - RF小区的本地基站和网络接口	RRC	升余弦根
CCPCH	公共控制物理通道	S-CCPCH	从公共控制物理通道
CD	碰撞检测	SCH	同步通道
CPCH	公共分组通道	S-CPICH	从公共导频通道
CPICH	公共导频通道	SF	展宽系数
CQI	通道质量指示	SIR	信号干扰比
CW	连续波 (未调制信号)	SSC	从同步代码
DCH	专用通道	SSDT	基站选择分集传输
DL	下行 (前向链路)	STTD	空间时间传输分集
DPCCH	专用物理控制通道	TDD	时分双工
DPCH	专用物理通道	TFC	传输格式组合
DPDCH	专用物理数据通道	TFCI	传输格式组合指示
DTX	间断传输	TGCFN	传输间隔连接帧号
EVM	误差矢量幅度	TGD	传输间隔距离
FACH	前向访问通道	TGL	传输间隔长度
FDD	频分双工	TGPL	传输间隔码型长度
HSDPA	高速下行分组访问	TGPRC	传输间隔码型接收数量
HS-DPCCH	HS-DSCH 专用物理控制通道(上行)	TGSN	传输间隔开始时隙号
HS-DSCH	高速下行共享通道	$T_{off}$ UE	发射机针对总功率(-22 dB)关闭特定 DPCCH 电源的时间, 规定的 $T_{off} = 200$ ms。
HS-PDSCH	高速物理下行共享通道	$T_{on}$ UE	发射机针对总功率(-24 dB)打开特定 DPCCH 电源的时间, 规定的 $T_{on} = 200$ ms。
HS-SCCH	HS-DSCH 共享控制物理通道	TPC	发送功率控制
IM	互调制	UE	用户设备
ITP	初始传输功率控制模式	UL	上行(后向链路)
Mcps	每秒兆码片	UMTS	通用移动通信系统
Node B	负责在到 / 从用户设备的一个或多个小区中进行无线发送 / 接收的逻辑节点	UTRA	UMTS 陆地无线接入
OBW	占用带宽		
OVSF	正交可变展宽系数(码)		
PAR	峰值均值比		
P-CCPCH	主公共控制物理通道		
PCDE	峰值码域误差		

## 检修 W-CDMA 网络中的基站和 用户设备交互问题



### ■ 分析基站和日益增长的各种移动设备之间的复杂交互是关键测量任务

第三代通信系统的容量和性能的提高，已经极大地促进了语音、数据和多媒体通信使用的一系列移动用户设备(UE)的增长。UE/BTS<sup>1</sup>设备之间可靠的交互是保证客户满意度及移动网络系统有效地运行的前提条件，因此性能检验非常重要。

为保证在当前实际环境中可靠地连接各种 UE 设备和基站，必需进行现场试验。这些连接由复杂的调制射频信号组成，它们在 W-CDMA 无线接口上传送用户语音和数据业务，为 UE/BTS 交互执行各种关键协议功能。信号质量和时间关联对建立可靠的网络连接至关重要。即使 UE 是根据第三代合作项目(3GPP)规范审慎地设计的，但定时或功率管理略有差别都会影响其连接不同基站的能力。

在 W-CDMA 网络中分析 UE/BTS 连接可能是一种要求非常高的任务。上行信号由短突发编码信息组成，这些信息必须与下行信号实现时间同步，以建立呼叫。必须在长时间内，在无缝的记录中捕获信号，以可靠地检测和分析间歇性事件。

必需使用新的方法，真实地捕获链路信号信息，并以容易理解、容易分析的格式显示信息。本应用指南描述了 W-CDMA 无线接口上的 3GPP 上行和下行信号，演示了泰克无线通信分析仪可以怎样同时在多个域中，清楚全面地查看这些复杂的系统，使其成为检修 UE/BTS 兼容能力和互操作能力问题的首选仪器。

<sup>1</sup> 基站设备。



### 3GPP 链路信号基础 – 短突发、定时要求严格

3GPP 规范定义了 UE 上行信号的物理随机访问通道 (PRACH) 和 BTS 下行信号的采集指示通道 (AICH)。在 UE 收到 AICH 信号, 应答 PRACH 信号时, 将建立通话。

在正确操作时, 基站识别 UE 发出的 PRACH 前置码(图 1), 应答 AICH, 建立一条通信链路(图 2)。UE 还使用 PRACH, 把开环功率控制的设置发送到基站。PRACH 前置码中的数据不正确或信号质量有问题, 可能会导致连接丢失、破坏小区容量或阻碍基站发出响应。

#### PRACH 物理随机访问通道(上行)

PRACH 信号由一个或多个前置码及包含数据和控制信息的消息部分组成(参见图 3)。信号作为上行广播通道上的短突发编码信息从 UE 移动设备发出。一个或两个连续无线帧中包含着 PRACH 消息部分。

PRACH 前置码是前置码扰码和前置码签名的复值序列。扰码是一长串 8192 个码片, 划分到 512 个代码中, 每个代码 16 个码片。前置码签名是 4096 个码片(16 个码片长度重复 256 次), 共提供了 16 种签名。

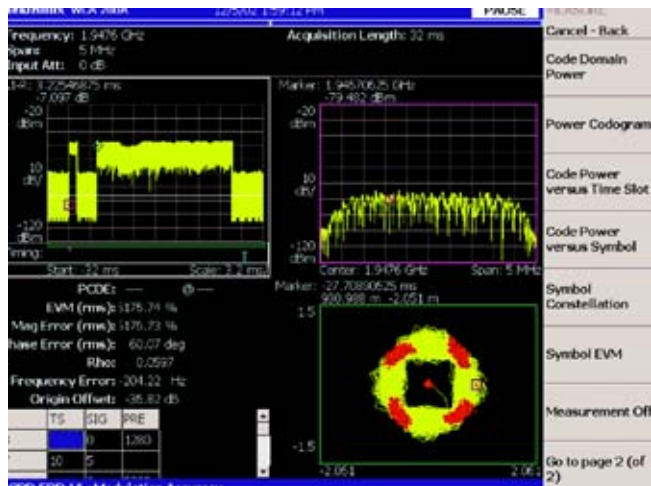
图 4 说明了单帧 PRACH 消息结构。每个无线帧分成 15 个消息时隙。每个消息时隙划分为数据部分和控制部分, 它们在单独的物理通道上并行传输。

#### AICH 采集指示通道(下行)

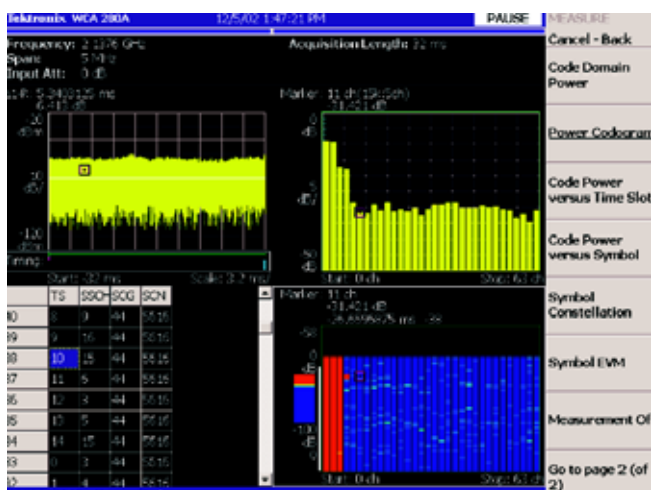
AICH 信号是从基站发出的、在普通码域下行通道上传输的脉冲。AICH 承载着与 PRACH 签名对应的 32 个实数码的采集指示及关闭传输的由 1024 个码片构成的时期(参见图 5)。

#### PRACH-AICH 定时

从 UE 发出的 PRACH 和从 BTS 发出的 AICH 之间的时间关系, 对建立可靠的呼叫连接至关重要。UE/BTS 的处理时间都受到传播时延的影响, 必须精确地确定传播时延, 以防止系统响应劣化。AICH 对准下行访问时隙, PRACH 对准上行访问时隙。图 6 说明了 3GPP 规范中定义的 PRACH 和 AICH 之间的定时关系。

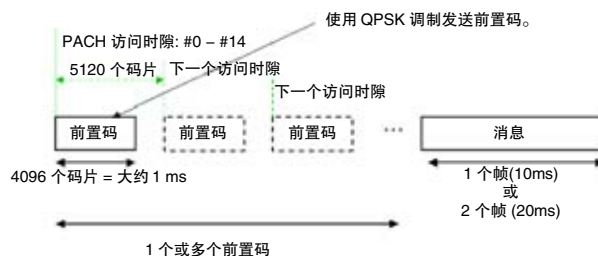


■ 图 1. 分析 PRACH 信号。注意左上方幅度与时间关系图中显示的前置码。



■ 图 2. BTS 发送的、对图 1 中的 PRACH 应答的 AICH 信号。

UE 向 BTS 发送的 PRACH 信号(随机模式), 请求通道, 发送开环功率控制设置。



■ 图 3. PRACH 信号结构。

# 应用案例集—民用通信

## 应用指南

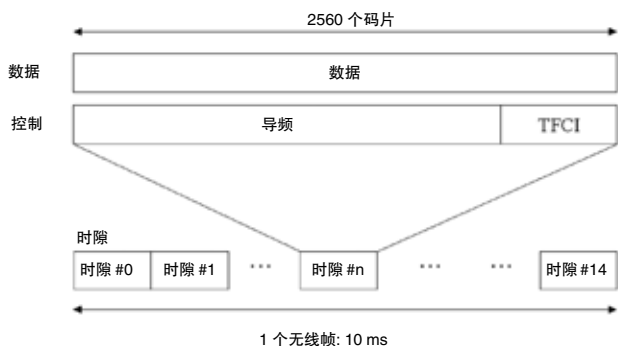


图 4. PRACH 消息结构。

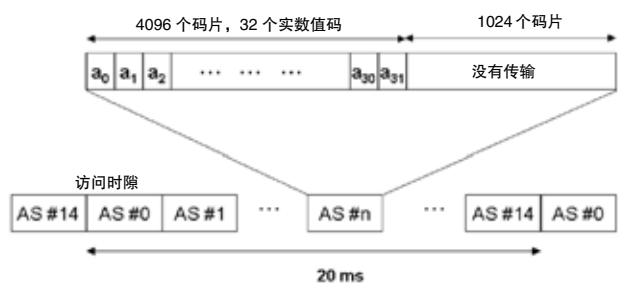


图 5. AICH 信号结构。

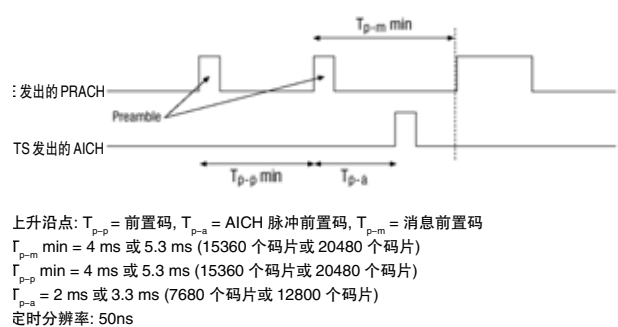


图 6. PRACH-AICH 定时关系。

### 功率控制

从每个 UE 收到的功率保持在相同的水平对 W-CDMA 基站运行至关重要。由于每个 UE 都在该小区共享相同的频率空间,其电平超出其它 UE 的任何 UE 都会成为其余 UE 的干扰源, 将降低小区容量。

W-CDMA 系统中的 UE 使用两类功率控制操作, 在它们传送或遇到其它变化时(如多径效应), 允许 BTS 在上行中从所有 UE 设备中收到的功率电平相同。UE 使用开环控制, 根据从 BTS 中目标小区内收到的信号, 设置初始上行功率, 这一功率约等于相应的功率电平。UE 使用带有闭环控制的内环流程, 根据接收的信号中的 TPC(发送功率控制)位连续维护功率设置。功率校正通过原点时隙(参考时隙)的平均功率和目标时隙的平均功率之间的相对功率差定义, 它提供了非常准确的功率控制功能。

### UE/BTS 连接建立流程

#### 小区搜索程序

在打开 UE 电源或进入小区覆盖区域时, 它会搜索可用的小区, 请求建立连接。在小区搜索过程中, UE 搜索小区, 确定该小区的下行扰码及公共通道帧同步。

#### 1. 时隙同步

在第一步中, UE 确定主同步通道(P-SCH)代码的小区时隙的定时, 以与目标小区同步。UE 通常使用单一匹配的滤波器, 通过检测接收的信号中的滤波响应峰值, 来找到 P-SCH 代码。

#### 2. 帧同步

为找到帧同步, 识别扰码的代码组, UE 检测接收的信号中的从同步通道(S-SCH)代码, 并把它与所有可能的从同步代码序列关联起来。帧同步通过最大的相关值确定。

#### 3. 扰码识别

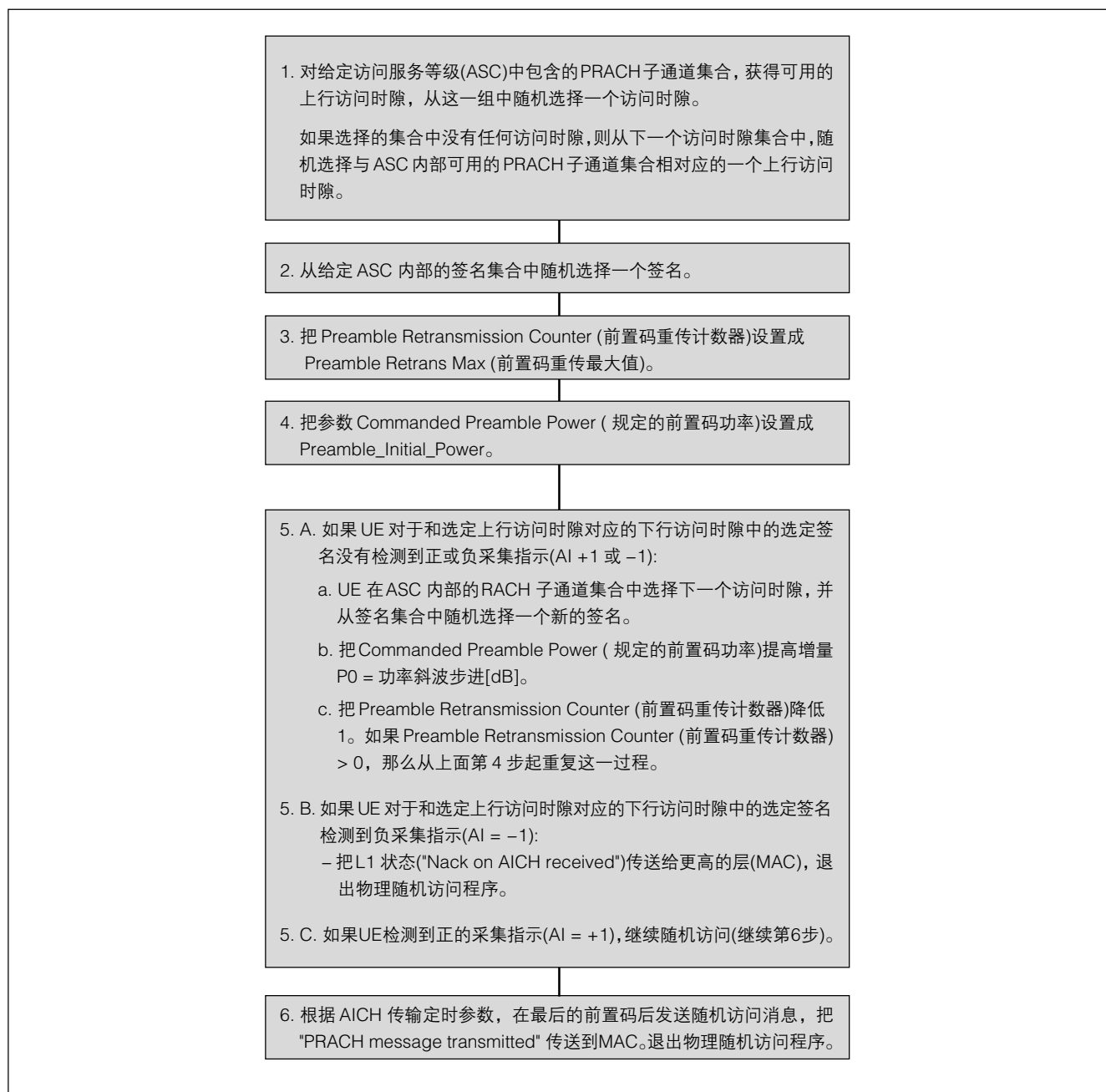
UE 确定目标小区使用的主扰码。一般使用第 2 步发现的代码组内公共导频通道(CPICH)的逐码关联, 来识别代码。一旦识别主扰码, UE 可以检测主公共控制物理通道(PCCPCH), 读取广播通道(BCH)信息。

在小区搜索之后，可以确定所有公共物理通道的无线帧定时。在小区搜索过程中找到P-CCPCH无线帧定时，然后把所有公共物理通道的无线帧定时与该定时关联起来。P-CCPCH是一条速率固定的30 kbps下行物理通道，用来承载广播信息的扩频系数是256。这条通道没有TPC命令和传输格式组合信息(TFCI)，但是，它包含一条256位同步通道(SCH)。

### 随机访问程序

一旦同步后，UE可以使用随机访问程序，发起通过目标小区的呼叫。根据3GPP规范<sup>2</sup>，物理随机访问程序的执行方式如下：

<sup>2</sup> 3GPP TS25.214 物理层程序(FDD), (Release 4)。



## 应用案例集—民用通信

### ■ 应用指南

#### 使用泰克 RSA3408A 进行现场试验测试

在建设 W-CDMA 网络时, 网络运营商及其厂商面临着巨大的新的挑战。在现场试验中, 最常见的问题是 UE/BTS 设备的兼容能力和互操作能力。要求测试的其它主要工作参数包括: 呼叫处理时延、UE/BTS 对功率控制和注册的响应及衰落和干扰等通道效应。

扫频频谱分析仪不能满足全系列 W-CDMA 现场测试需求。上行和下行信号非常复杂, 必须全面无缝地捕获这些信号, 以进行分析。例如, 为全面评估 PRACH 前置码, 我们必须能够实时捕获完整的信号突发, 解调信号, 进行矢量幅度误差(EVM)分析。

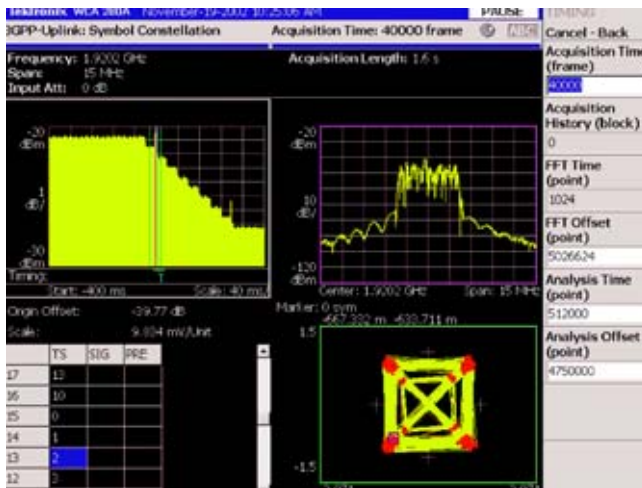
泰克RSA3408A 无线通信分析仪采用实时频谱分析技术, 直接进行W-CDMA信号分析, 实现现场测试。与传统扫频频谱分析仪不同, 它能够采集很长的复杂信号的无缝记录, 并在内部进行处理, 显示分析结果, 而不需使用外部计算机。由于高达 256Mb 的内存深度, RSA3408A 可以捕获和分析完整的、长 10 秒、宽 5MHz 的 W-CDMA 信号。

RSA3408A 可以同时支持四个显示窗口。图 7 显示了 3 个不同的、但具有关联的上行信号视图(幅度与时间关系、幅度与频率关系和星座图), 左下方的窗口则显示了时隙信息。RSA3408A 还能够放大信号的任何部分, 对任何特定事件进行进一步分析, 而不需第二次采集。

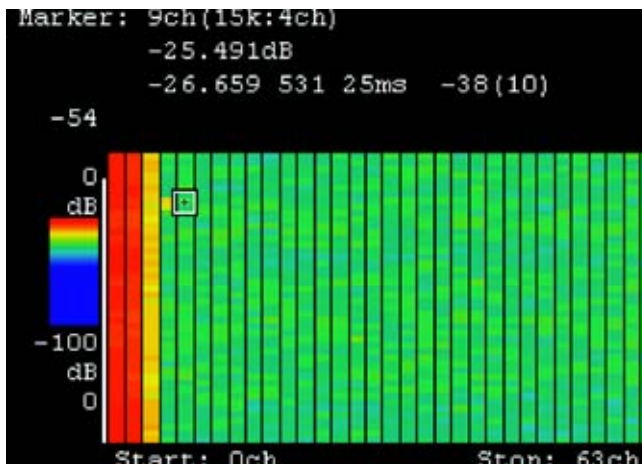
独特的频率模板触发功能, 使得分析仪能够触发任何 RF 信号, 保证可以捕获最随机的事件。其内存深度足够大, 可以捕获完整的 W-CDMA 呼叫建立过程。它连续记录幅度与时间关系信息, 揭示长记录内部发生的哪怕是最简单的间歇性变化及时间。内部 DSP 电路迅速从存储的数据中得到频率、调制和代码特点。

频域图和码域图显示在频谱和代码与功率关系结果中增加了第三个维度 - 时间。参考时间把测量期间每个频域和码域中的行为变化关联起来, 光标连接多个事件, 在多个域同时显示的视图进行分析。

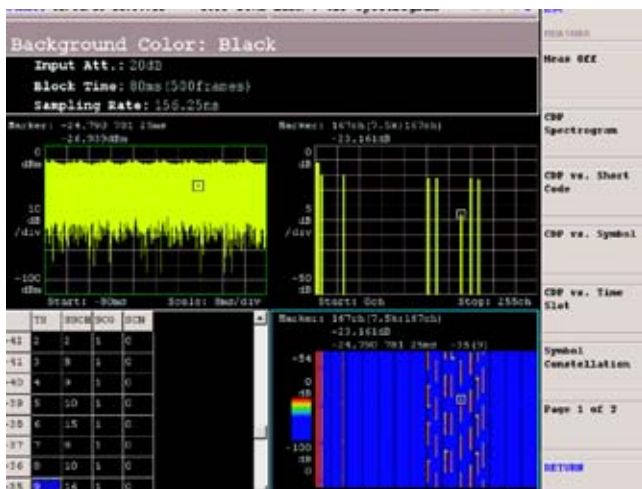
图 8 显示了码域图, 它可以随查识别 AICH 信号。这个“代码功率与时隙关系”显示图显示了时隙中某个码的变化功率, 并连接到另两个显示图, 把所有测量域中的事件与特点关联起来(参见图 9)。



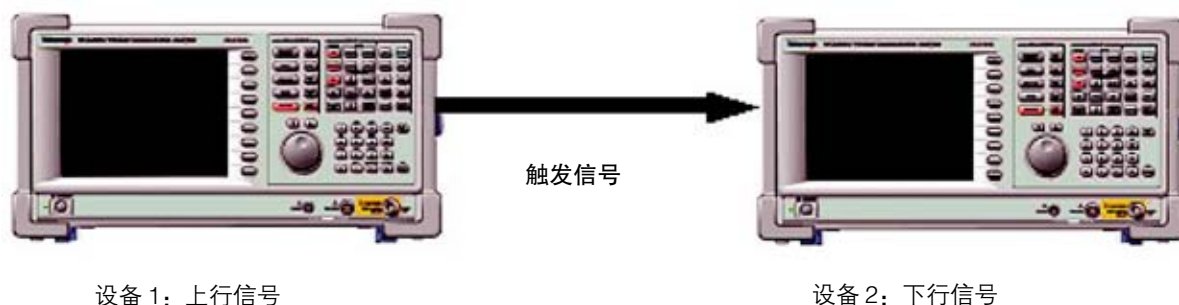
■ 图 7. 在多个域中分析上行信号。



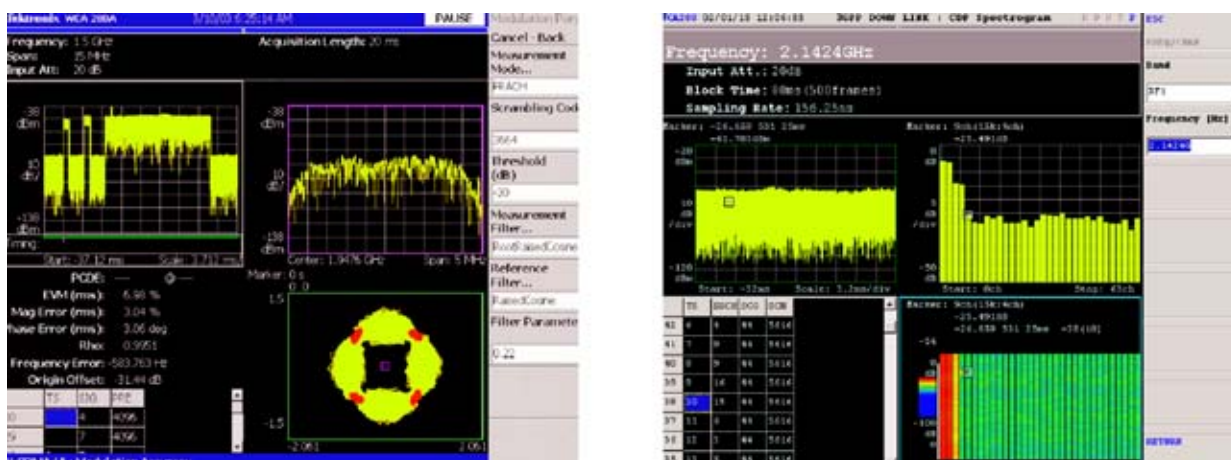
■ 图 8. 码域图。X 轴是 OVSF (正交可变扩频系数)或通道化代码(用于 UE), Y 轴是时隙; 每个代码的功率密度用颜色表示。



■ 图 9. 用光标把三个显示图连接起来: 时间与功率关系(左上图)、码域功率(右上图)和码域图(右下图)。光标设置成点亮一个公共时隙和码通道。信号源是切换过程中压缩模式的下行信号。



■ 图 10. 两个 RSA3408A 设备同时捕获上行和下行信号的配置。



■ 图 11. 来自 UE 的 PRACH 信号(左), 来自 BTS 的 AICH 信号(右)。

频率模板触发功能允许 RSA3408A 定义感兴趣的事件的频谱模板(如突发的 PRACH 签名), 仅触发落在模板外部的事件。可以设置触发点, 以便内存可以同时存储触发点以前和触发点以后的事件, 可以全面进行事前分析和事后分析。连接过程最重要的特点之一是 PRACH 和 AICH 之间的定时。可以使用两个 RSA3408A 分析仪分析 PRACH-AICH 定时, 第一个分析仪使用 PRACH 信号频率模板设置成捕获上行信号, 触发第二个分析仪开始采集信号(图 10)。第二个 RSA3408A 分析仪设置成捕获下行 AICH 信号。触发点存储在内存中, 在功率与时间关系显示图上显示, 从而可以在两台仪器之间关联从 PRACH 到 AICH 的定时。

表 1 列明了 RSA3408A 在 W-CDMA 系统现场试验中进行的的部分最常见的测试。

表 1. RSA3408A 进行的典型现场试验测量

PRACH 签名值
PRACH 前置码号
PRACH 前置码功率变化
PRACH 前置码 EVM
AICH 解调
CPICH 绝对功率
PRACH 和 AICH 之间的定时 (需要两台 RSA3408A)
反扩上行和下行信号
PSCH 和 SSCH 的 EVM 和绝对功率
每个代码的 EVM 和码表
时隙号和组
分析切换过程中的压缩模式信号
增消传播环境

## 应用案例集—民用通信

### ■ 应用指南

#### 小结

W-CDMA连接是复杂的间歇性操作,这给现场试验过程中的监测和评估带来了真正的挑战。RSA3408A 无线通信分析仪采用专用数字信号处理技术,在无缝的长记录中捕获上行信号和下行信号,并通过强大的三维显示功能分析结果。RSA3408A 在频域、时域、调制域和码域中把结果关联起来,清楚地查看无线网络和 UE/BTS 收发机中的系统质量和/或潜在错误来源。对于在当前迅速演进的移动通信环境中安装和维护无线网络的工程师和技术人员,RSA3408A 提供了完善的一整套新型测量工具。

#### 缩略语

ACLR	邻道泄漏功率比
AICH	采集指示通道
AP	访问前置码
BER	误码率
CCPCH	公共控制物理通道
CD	碰撞检测
CPCH	公共分组通道
CPICH	公共导频通道
DCH	专用通道
DL	下行(前向链路)
DPCCH	专用物理控制通道
DPCH	专用物理通道
DPDCH	专用物理数据通道
DTX	中断传输
EVM	误差矢量幅度
FACH	前向访问通道
FDD	频分双工
IM	互调制
ITP	初始传输功率控制模式
Mcps	每秒兆码片
Node B	在一个或多个小区中负责 UE 无线传输 / 接收的一个逻辑节点
OBW	占用带宽
OVSF	正交可变扩频系数(码)

P-CCPCH	主公共控制物理通道
PCH	寻呼通道
P-CPICH	主公共导频通道
PDSCH	物理专用共享通道
PICH	寻呼指示通道
PPM	百万分之几
PRACH	物理随机访问通道
PSC	主同步码
RACH	随机访问通道
RBW	分辨率带宽
RRC	升余弦根
SCH	同步通道
SF	扩频系数
SIR	信号干扰比
TDD	时分双工
TFC	传输格式组合
TFCI	传输格式组合指示
TGCFN	传输间隔连接帧号码
TGD	传输间隔距离
TGL	传输间隔长度
TGPL	传输间隔码型长度
TGPRC	传输间隔码型重复数量
TGSN	传输间隔开始时隙号
TPC	发送功率控制
UE	用户设备
UL	上行(后向链路)
UTRA	UMTS 陆地无线访问

#### 参考资料: 第三代合作项目(3GPP)文件

TS 25.101 V5.4.0 (2002-09), 技术规范小组无线接入网; UE 无线传输和接收(FDD)(Release 5)

TS25-213 V5.2.0 (2002-09), 工作小组 1 (WG1); 扩展和调制(FDD)无线传输和接收(FDD) (Release 1999)

TS 25.214 V4.5.0 (2002-09), 技术规范小组无线接入网; 物理层程序(FDD)(Release 4)

## GSM/EDGE 信号分析

### 介绍一种新的 GSM/EDGE 信号分析解决方案

泰克 RSA3408A 无线通信分析仪为 GSM/EDGE RF 发射机一致性测试提供了预先配置的单键测量功能,同时为在时域、频域和调制域中全面分析复杂信号提供了深入检修工具。这种解调功能与 RSA3408A 全方位检定、检修、检验功能相结合,并辅以高达 8 GHz 的传统 RF 频谱分析能力,为 GSM/EDGE 信号分析提供了一种通用的解决方案。设计 GSM/EDGE 设备的工程师可以利用 RSA3408A 强大独特的功能,如能够在频域中触发瞬时事件,能够无缝地捕获长信号、并保存在内存中进行深入分析,同时进行多域相关分析,等等。

测量	标准	
调制精度	ETSI TS 100 910 – 4.6 调制精度	3GPP TS45.005 – 4.6 调制精度
平均载波功率	ETSI TS 100 910 – 4.1 输出功率	3GPP TS45.005 – 4.1 输出功率
功率与时间关系	ETSI TS 100 910 – 4.5 输出电平动态操作	3GPP TS45.005 – 4.5 输出电平动态操作
调制频谱	ETSI TS 100 910 – 4.2.1 由于调制和宽带噪声 导致的频谱	3GPP TS45.005 – 4.2.1 由于调制和宽带噪声 导致的频谱
开关频谱	ETSI TS 100 910 – 4.2.2 由于开关瞬变导致的 频谱	3GPP TS45.005 – 4.2.2 由于开关瞬变导致的 频谱
传输频带内的 杂散信号	ETSI TS 100 910 – 4.3 杂散辐射(传输频带)	3GPP TS45.005 – 4.3 杂散辐射(传输频带)

### 在多个域中全面分析 GSM/EDGE 信号

多域分析可以在频域、时域和调制域中全面检定信号,而不需多次采集,从而可以有效地查看复杂信号的特点,如多时隙混合 GSM/EDGE 突发、包含多个功率电平的帧及跳频信号。RSA3408A 提供了对这些情况至关重要的所有 GSM/EDGE 解调测量,包括 EVM、频率和相位误差与时间的关系、星座图、眼图、码表等等。它还为进行传统 RF 测量提供了全面的频谱分析功能。

### 在 36MHz 跨度内检定跳频信号

在跳频模式下测量 GSM 发射机的质量是一个非常重要、而又非常困难的任务。RSA3408A 可以无缝捕获一系列跳频信号,分析任何单独的突发。它还可以使用频率模板,在拥挤的频谱环境中选择性地触发特定 GSM 信号,从而可以简便地捕获和分析传统频谱分析仪和矢量分析仪不能查看的事件。

### 使用新的星座图检修 EDGE 信号

半码位移星座图为确定 I/Q 平衡和放大器线性度问题提供了一种新型工具,这对 EDGE 是一个重要问题,而过去对 GMSK 调制则影响不大。

### 捕获和分析最多 2000 个连续的 GSM/EDGE 突发

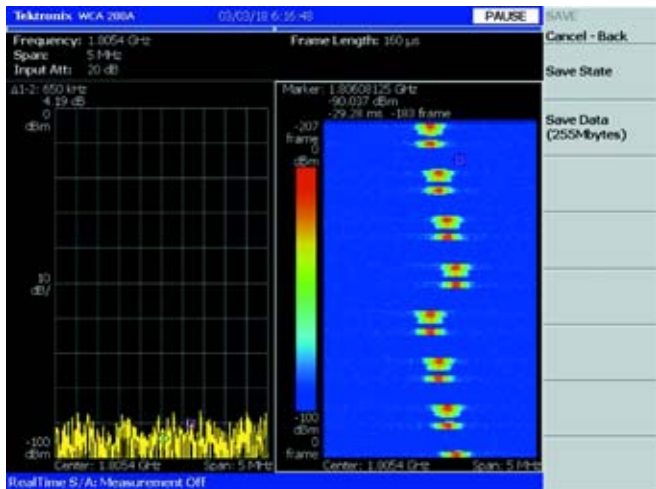
由于拥有同类产品中最深的内存,RSA3408A 可以简便地捕获和分析 GSM/EDGE 标准及其它标准规定的 200 个突发,简便地确定偶尔才发生的问题。

### 根据标准进行“合格 / 不合格”测量

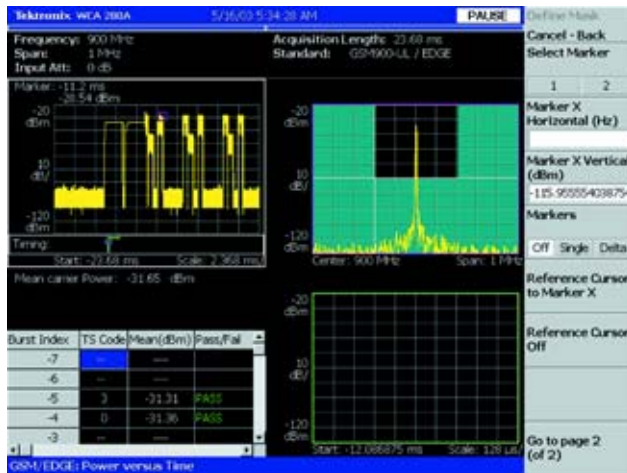
预先配置的基于标准的 RF 一致性测量基于 ETSI TS 100 910 V8.15.0 (2003–04)和 3GPP TS 45.005 V6.2.0 (2003–04)标准,为 GSM/EDGE 发射机测试提供了简单的合格 / 不合格测试结果。

# 应用案例集—民用通信

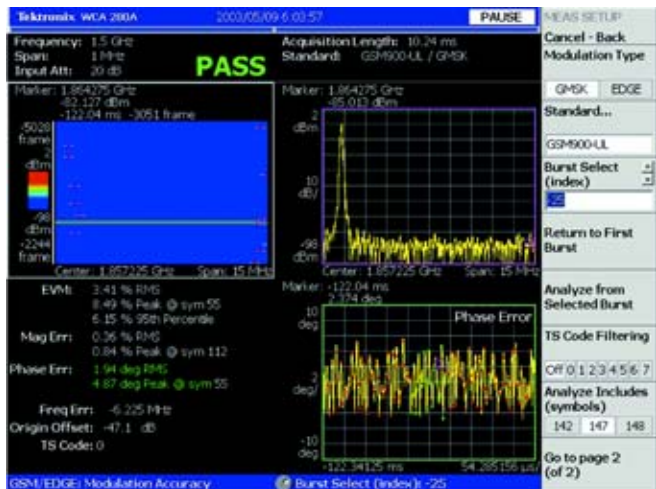
## ■ 应用指南



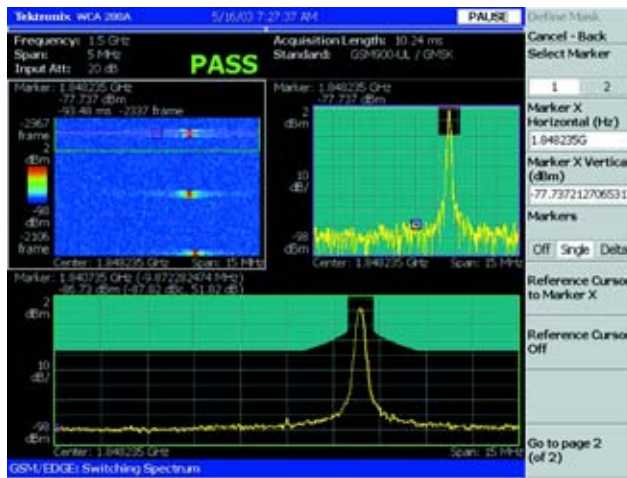
■ 图 1. 跳频。



■ 图 2. 触发模板。



■ 图 3. 宽 36 MHz 跨度的相位误差。



■ 图 4. 宽 36 MHz 跨度的开关频谱。

### 捕获和分析跳频信号

RSA3408A可以在36 MHz实时采集带宽内无缝捕获跳频信号(图 1), 并把这些信号保存在内存中, 工程师可以分析每个突发的调制质量。此外, 可以使用频率模板触发器, 在特定频率上捕获 GSM 信号, 即使是存在其它 RF 信号时。能够触发频域中的任何信号, 保证了可以在所有域中捕获和分析传统频谱分析仪和矢量分析仪漏掉的信号,

全面了解设备的特点。如图 2 所示, 触发模板是在频谱图上创建的用户定义的窗口。在输入信号退出或进入该区域时, 触发会发生。本例说明了一个 EDGE 信号, 其前几个突发中包含未调制的 CW 信号, 在 6 ms 后则打开调制。

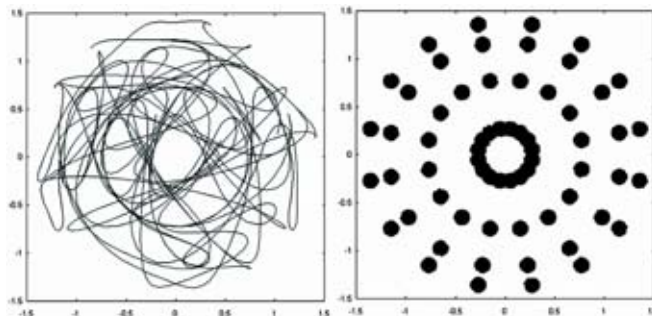


### 新的 EDGE 星座图

RSA3408A 为观察 I/Q 不平衡和放大器非线性度提供了一种新方法，称为半码位移星座图。与 GSM 使用的 GMSK 调制不同，EDGE 信号带有随时间变化的包络，要求放大器的线性度要好得多。但是，传统星座图没有提供简便识别这类损伤的视图。下面介绍的两种传统星座图显示方法没有体现幅度压缩和 AM-PM 失真等非线性度。显示了在反向滤波前的原始数据矢量轨道(图5)。

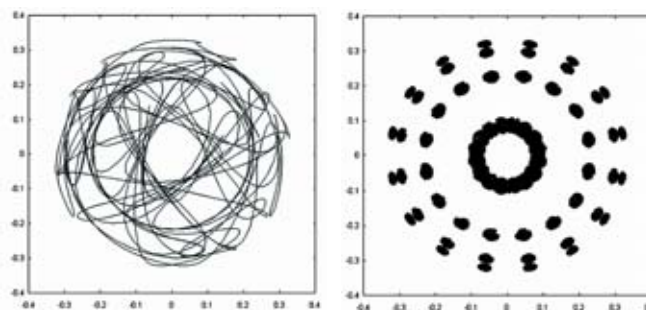
为显示这些损伤，泰克引入了半码位移星座(图6)。星座上的每一簇显示了理想的半位移码。由于这一星座已经局部化簇的位置，而不是扩展到整个 I/Q 层面上，因此与传统方法相比，它可以更有效地确定相位和幅度失真的影响。可以明显看出，图7和图8中显示了幅度压缩，与图5和图6相比，可以使用半码位移星座图，更加简便地观察幅度压缩。

在这种新型显示图中，RSA3408A 画出灰色圆表示所有理想的簇位置，然后用红点绘制实际测得的半位移码(图9)。可以简便地查看和识别非线性度，特别是幅度压缩(图10)和 AM-PM 失真(图11)。



■ 图5. 原始数据矢量轨道。

■ 图6. 半码位移星座图。

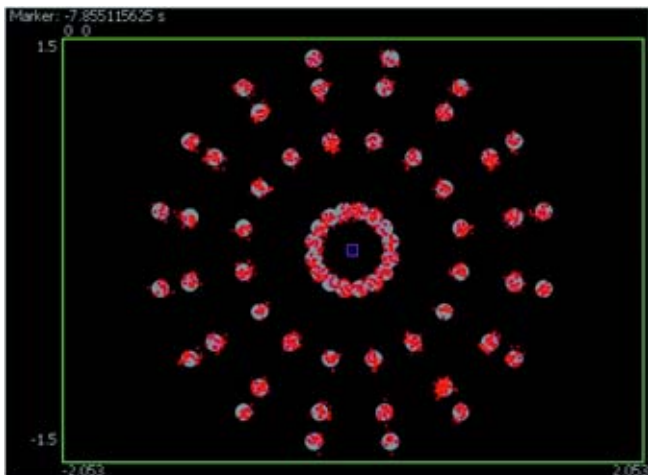


■ 图7. 幅度压缩。

■ 图8. 幅度压缩。

## 应用案例集—民用通信

### ■ 应用指南



■ 图 9. 灰色圆表示理想的簇位置。

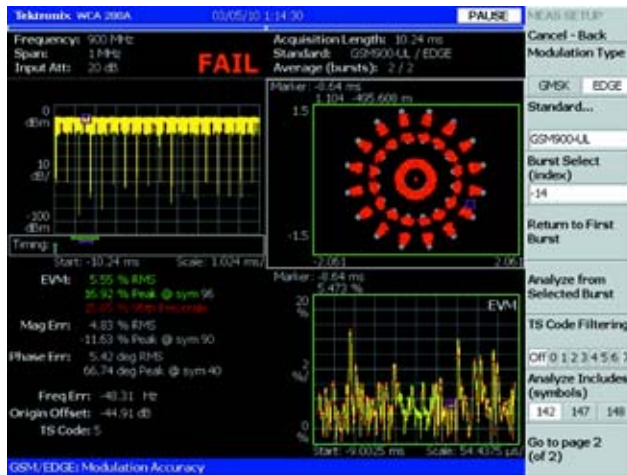
### 调制精度测量

RSA3408A 测量 GSM/EDGE 信号的误差矢量幅度 (EVM)、幅度误差、相位误差、频率误差和原点偏移, 并根据标准为每个指定的时隙提供合格/不合格测试。分析仪还可以找到排列顺序, 使用它确定指定突发部分, 其中包括中央 147 个码, 以进行标准规定的测量。

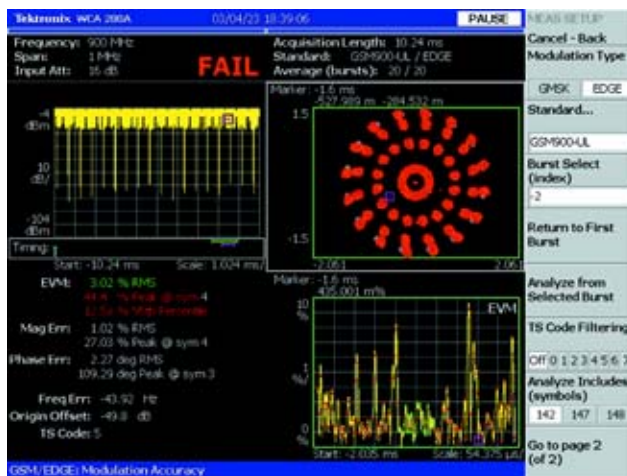
### 平均载波功率测量

RSA3408A 根据 GSM 标准测量载波功率。有多种方式可以测量功率。根据标准, RSA3408A 定位排序顺序, 确定平均功率测量使用的突发部分。下图显示了时隙的数据结构。RSA3408A 测量每个突发位于 TS (排序顺序) 后间隔 E (数据 2) 的功率, 计算测量范围内的功率平均值, 实现最优测量精度。

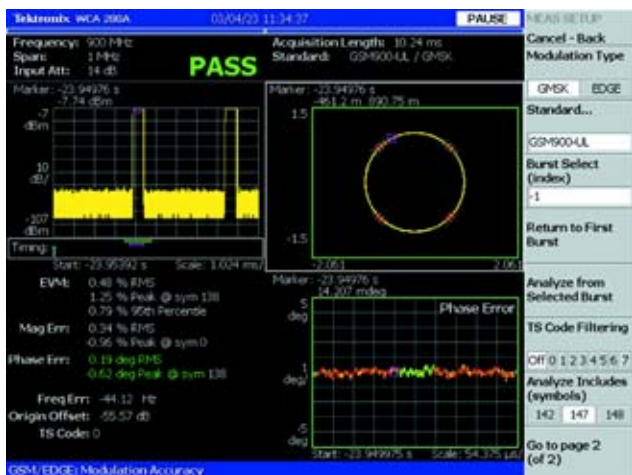
时隙数据结构					
T	E	TS	E	T	G
3 位	58 位	26 位	58 位	3 位	8.25 位
OH	数据 1	0970897H	数据 2	OH	FFH



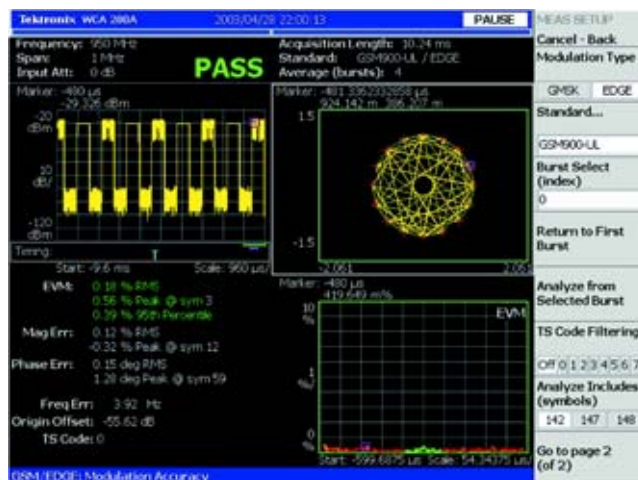
■ 图 10. 幅度压缩。



■ 图 11. AM-PM 失真结果。



■ 图 12. GSM 调制精度测量。



■ 图 13. EDGE 调制精度测量。

### 功率与时间关系测量

RSA3408A 解调指定的突发，并使其与排序顺序同步，从而可以测量每个突发的定时、形状和幅度，并比较测得的频谱和 GSM/EDGE 标准。GSM/EDGE 规定，必须至少在 200 个突发上测量许多参数，远远低于 RSA3408A 可以捕获的 2000 个连续突发。

### 调制频谱测量

RSA3408A 采集输入信号，解调单个突发。从排序顺序中心，在 320 ms 间隔上计算突发的频谱。在载波偏移小于 1.8 MHz 时使用 30 kHz RBW 计算这一频谱，在载波偏移为 1.8 – 6 MHz 时使用 100 kHz RBW 计算这一频谱。最后，RSA3408A 把频谱与 GSM/EDGE 标准模板进行比较，确定测试合格 / 不合格。

### 开关频谱测量

RSA3408A 采集输入信号，使用 30 kHz RBW 转换计算的频谱。分析仪对多个突发使用峰值保持功能，把频谱与 GSM/EDGE 模板进行比较，确定测试合格 / 不合格。



■ 图 14. 平均功率测量。

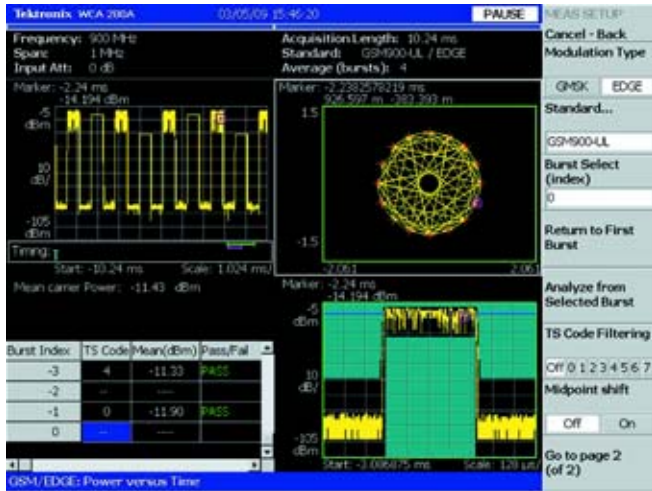
### 带内杂散信号测量

#### 扩展的频谱和标准行

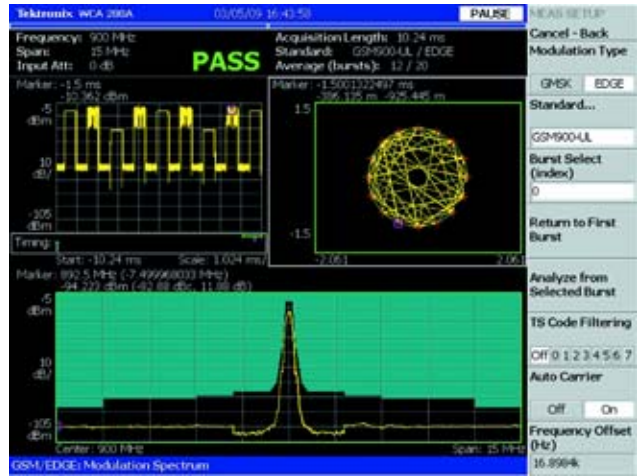
RSA3408A 检测传输频带内存在的杂散信号。为此，它针对载频偏移使用相应的分辨率，计算输入信号的频谱。指定传输频带中的最大峰值视为载波，其它峰值则显示为杂散响应。

# 应用案例集—民用通信

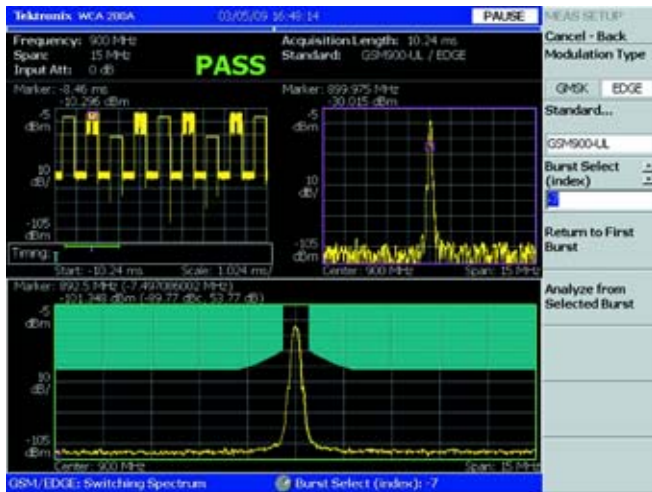
## ■ 应用指南



■ 图 15. 功率与时间关系测量。



■ 图 16. 调制频谱测量。



■ 图 17. 开关频谱测量。



■ 图 18. 带内杂散信号测量。

## CDMA2000 EVDO 前向链路和后向链路测量



码分多址(CDMA)规范为第三代(3G)全球无线通信系统提供了重要的发展道路。当前的 cdma2000 是在第三代合作项目2 (3GPP2) 指导下从cdmaOne 标准演变而来的。cdma2000 技术源于北美, 已经被全球迅速采用, 成为第一个投入部署的第三代移动通信系统。

本应用指南仅涉及cdma2000 1xEV-DO (演进- 数据优化)阶段, 讨论了怎样使用泰克RSA3408A 系列无线通信分析仪进行前向链路和后向链路测量。

# 应用案例集—民用通信

## 应用指南

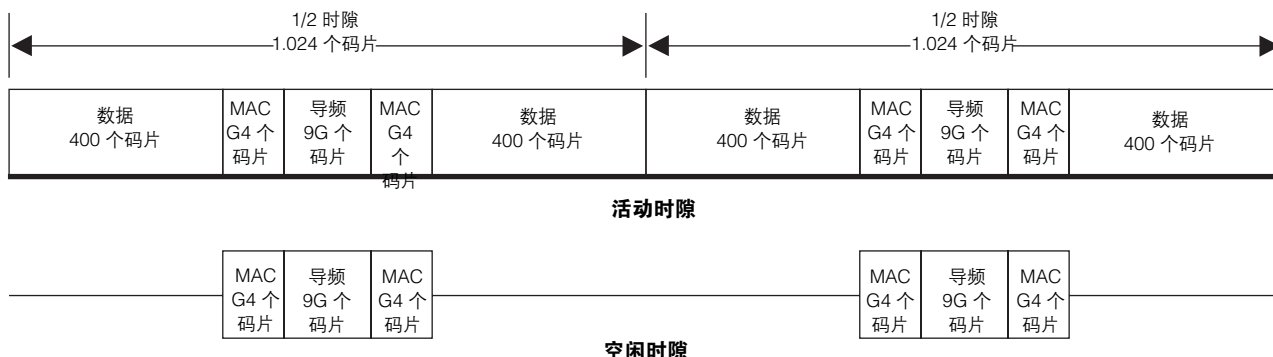


图 1. 前向链路时隙结构。

cdma2000 正分三个阶段引入。第一个阶段(cdma2000 1X)支持 128 个沃尔什码，用于在一个现有的 1.25 MHzcdmaOne载波上进行数据通信。码片速率是 1.2288 Mcps，这一速率与早期的 cdmaOne IS-95 速率完全相同。第二个阶段包括cdma2000 1xEV-DO和 1xEV-DV，其采用额外的时域组件，提高了 1.25 MHz 载波内的数据速率，提供了高速率数据分组服务，满足了高速网络或邮件下载的需求。第三个阶段(CDMA-3X)规定了 256 个沃尔什码，容纳三个相邻的 1.25 MHz 载波(保持向下兼容 cdmaOne)。

注: cdma2000 1xEV-DO 规范对基站称为“接入网络”，对移动终端称为“接入终端”。在本说明中，我们将使用“基站”和“移动终端”。

### 1xEV-DO 前向链路

cdma2000 1xEV-DO 规范使用与cdma2000 1X 相同的频段、通道带宽(1.23MHz)和码片速(1.2288Mcps)，但其它特点有着很大差异。在前向链路中，移动终端以其可以收到的数据速率连续更新基站。通过这些信息，系统可以在任何时点上为单个用户服务。为支持多个用户，它采用时分复用技术(TDM)，搜索请求最高数据速率的移动终端。通过这一数据速率控制功能，基站可以有效地以全部功率发送信号，对良好的覆盖区域内的用户，实现非常高的峰值速率。

TDM 前向链路时隙结构(活动和空闲)如上面的图1 所示。在 cdma2000 1xEV-DO 中，每个前向链路帧为 26.666 ms，由 16 个时隙组成。每个 1.666 ms 时隙分成由 1024

个码片组成的两个半时隙，总共 2048 个码片。每半个时隙内部有 800 个数据码片、128 个介质访问控制(MAC)码片和 96 个导频码片。

数据码片发送前向业务通道或前向控制通道。业务通道承载用户数据分组。控制通道承载控制消息，它还可以承载用户业务。在每个时隙内部，导频、MAC 和业务通道或控制通道使用前置码进行时分复用，根据通道的数据速率，其长度可以在 64 - 1024 个码片之间。每个通道进一步分解为码分复用正交沃尔什通道。调制方案取决于数据速率。

前向链路时隙结构中的MAC码片发送前向MAC通道，前向 MAC 通道由三个子通道组成：

- RPC (后向功率控制) 通道
- DRCLock (数据速率控制锁定) 通道
- RA (后向活动) 通道

RPC使用DRCLock进行时分复用，然后这条复用后的通道进行频分复用，以支持多台移动终端。MAC 采用长64 个码片的沃尔什盖。码号称为"MAC 索引"，可以在 5 - 63 之间选择。

导频码片发送前向导频通道，前向导频通道是频率、相位和码片定时的参考源。

所有码片都通过I/Q 短PN 序列(正交扩展)进行复乘(正交扩展)，然后输入基带滤波器和相位平衡器。滤波器和平衡器与为cdma2000 1X规定的滤波器和平衡器相同，但基站拥有不同的短PN 序列偏移。这个PN 序列偏移值用来识别基站。

### 1xEV-DO 后向链路

与前向链路一样，后向链路帧长 26.666 ms，由 16 个时隙组成。在后向链路中，移动台发送接入通道或业务通道。接入通道由导频通道和数据通道组成。业务通道由导频通道、MAC 通道和数据通道组成。MAC 通道由三条子通道组成：

- 反向速率指示符(RRI)子通道用来指明反向业务通道上是否发送数据通道，如果发送，那么其数据速率是多少。
- 移动终端使用数据速率控制(DRC)子通道，向基站指明可以支持的前向业务通道数据速率及前向HDR 通道上最佳服务扇区。
- 移动终端使用确认(ACK)子通道，通知基站前向业务通道上发送的数据分组是否已经被成功接收。

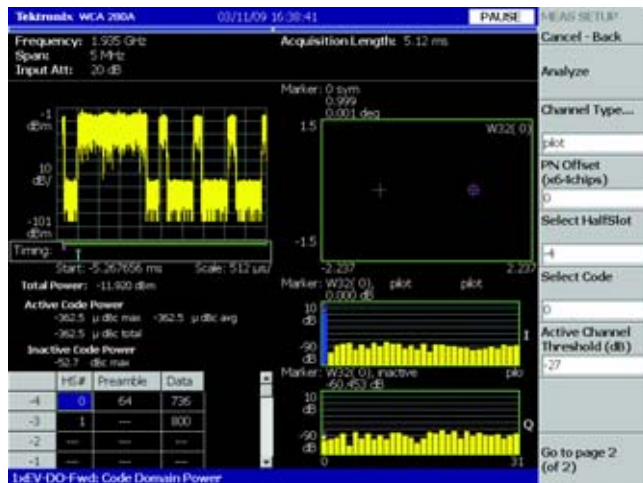
业务通道由沃尔什码进行码域复用，并分隔成 I (同相)和 Q (正交)相位。后向链路使用 HPSK 进行扩展，扩展序列由短 PN 序列和长 PN 序列组成。长 PN 序列在每个帧开始时进行初始化。

导频通道和 RRI 通道在每个时隙上进行时分复用。前 15 个码由 RRI 组成，其余 112 个时隙码是导频。只在一个时隙前半周期中发送 ACK 通道，DRC 从一个时隙的后半个周期开始。下面介绍怎样使用 RSA3408A 系列测量实例测量发射机特点。

### 码域功率

码域功率(CDP)指标用来检验发送的码通道编号、功率及码长度是否正确。基站精确控制各个沃尔什码中的功率的能力是正确处理 RF 损耗变动的多条用户链路及保证无干扰传输的前提条件。功率不足或不平衡可能会导致质量和通道容量下降。

在 cdma2000 1xEV-DO 系统中，所有通道都使用 I/Q 分开，因此必须为每条通道单独测量 CDP。唯一的例外是前向链路的数据通道。前向通道进行时分复用，包括前置码、数据、MAC 和导频，因此必须对每个复用部分测量 CDP。



■ 图 2. 前向链路码域功率测量。

图 2 说明了信号的 CDP 测量结果，包括活动时隙和空闲时隙。用户可以选择希望的半个时隙，包括通道的任意组合。RSA3408A 系列无线通信分析仪可以与 CDP 图表一起显示其它图表。例如，这特别适合与 CDP 图表一起显示星座或 EVM 与码的关系图，以确认码通道误差的成因。

在后向链路测量中使用不同长度的沃尔什码。无线通信分析仪测量每个沃尔什码中的功率与总发送通道功率之比。通过在 CDP 显示中使用倒位顺序，可以简便地识别较短的代码，因为它使用水平箭头显示在相邻竖条中(图 3)。



■ 图 3. 后向链路码域功率测量。

## 应用案例集—民用通信

### ■ 应用指南

在图 4 中比较了 RRI、DRC、ACK 和数据通道中的码域功率与不包括 RRI 通道周期的导频通道功率。

前向链路的数据结构							
<b>前向业务通道</b>	QPSK/8PSK/16QAM	TDM (时隙)	16 个任意沃尔什盖 s	I/Q 通道	数据码片	TDM	TDM
<b>控制通道</b>	QPSK						
<b>前置码</b>	All "0"		偶数 I: $W_{i/2}^{32}$ 奇数 I: $W_{(i-1)/2}^{32}$	I 通道 (Q ch:0)	前置码码片 (TDM, 在数据分组前面的数据码片)		
<b>PRC 通道</b>	RPC 通道增益(i)	TDM (时隙)	偶数 I: $W_{i/2}^{64}$	I 通道	MAC 码片 (每个时隙重复 4 次)		
<b>DRCLock 通道</b>	DRCLock 通道增益(i)		奇数 I: $W_{(i-1)/2}^{64}$	Q 通道			
<b>RA 通道</b>	RA 通道增益		$W_2^{64}$	I 通道			
<b>导频通道</b>	All "0"		沃尔什盖 0	I 通道 (Q ch:0)	导频码片		

i: MAC 索引, RPC: 反向功率控制, DRCLock: 数据速率控制锁定, RA: 反向活动。

反向接入通道				
<b>I 通道</b>	导频通道	128 位 "0"/ 时隙	$W_0^{16}$	(仅前置码上的增益)
<b>Q 通道</b>	数据通道	256 位 / 帧	$W_2^4$	增益

反向业务通道						
<b>I 通道</b>	导频通道	112 位 "0"/ 时隙		TDM	$W_0^{16}$	
	RRI 通道	3 位 / 帧	256 位 / 帧(编码)	16 112		
	ACK 通道	1 位 / 时隙	128 位 / 时隙(重复)	(发送的半个时隙)	$W_4^8$	增益
<b>Q 通道</b>	DRC 通道	4 位 / 时隙	16 位 / 时隙(编码)	$W_i^8$	$W_6^{16}$	增益 (时隙中间开始)
		3 位 / 时隙 DRC 盖码		选择 i		
	数据通道	256 位 / 帧 512 1024 2048 4096	1/4 增强编码 1/4 1/4 1/4 1/2	8 重复 4 2 1 1	$W_2^4$	增益

■ 图 4. 码域功率比较。



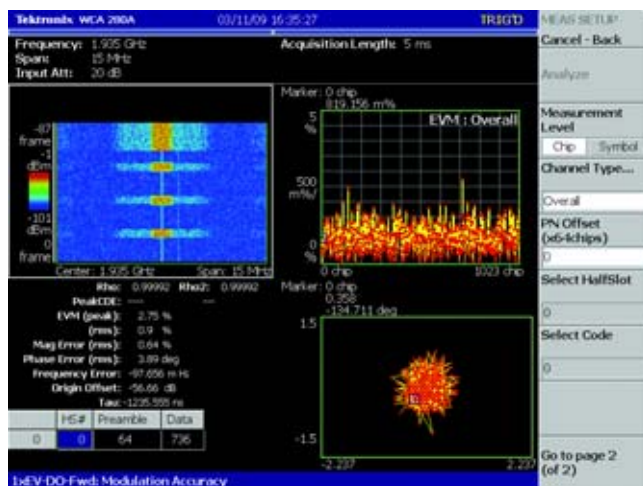
## 调制精度

调制精度指标为判断发送的CDMA 信号的质量提供了一个工具，同时它可以快速查看系统的整体性能。用来确定调制精度的两个主要指标是误差矢量幅度(EVM)和波形质量( $r$ :Rho)。

■ EVM 是一个调制域指标，它通过误差矢量幅度与理想矢量幅度之比确定。

■  $\rho$  是一个时域指标，它通过实际波形和理想波形之间归一化的相关功率确定。

cdma2000 1xEV-DO 规定前向链路中的  $roverall\_1$ 、 $roverall\_2$  和  $rpilot$  将大于 0.912，但应大于 0.97。对后向链路，cdma2000 1xEV-DO 规定  $roverall$  将大于 0.944。 $roverall\_1$  和  $roverall$  是为组成半个时隙的 1024 个码片定义的。 $roverall\_2$  则是为前半半个时隙的 512 个码片外加后半半个时隙的前 512 个码片定义的。当然， $r$  导频是为导频通道定义的。图 5 是调制精度指标实例。



■ 图 5. 调制精度比较。

调制精度是一个码片级指标。但是，它可以用来在码片图表和码级图表之间切换显示画面，特别是在用户认为码级存在波形质量误差时。可以在调制精度测量中显示这些码星座图，而不必转到码域功率测量。

## 应用案例集—民用通信

### ■ 应用指南

#### 杂散辐射模板(SEM)

杂散辐射可能会使信号质量严重下降。因此, cdma2000 1xEV-DO 在前向链路 SEM 测量中规定了 Active slot(活动时隙)模式和 Idle slot(空闲时隙)模式。对空闲时隙, 标准规定将在 MAC 通道和导频通道传输前 5  $\mu$ s 开始、在 MAC 通道和导频通道传输后 15  $\mu$ s 结束的窗口中进行活动测量。

有许多杂散辐射模板, 具体视频段类别及 GSM 等任何通信系统是否共存而定。用户一般通过使用各种余量测试模板或设备检定模板, 来测量杂散辐射。

RSA3408A 系列无线通信分析仪为根据幅度和频率成分检测杂散事件提供了一个频率模板触发器。只有在信号满足选择频率范围内的幅度设置时, 才会触发仪器。可以指定两个触发幅度电平: 一个位于“模板”频率范围内, 另一个则是针对所有其它频段的不同电平。此外, RSA3408A 系列提供了一个极限表格编辑器, 这样用户可以简便地改变极限值。另外它还提供了保存 / 加载功能, 用户可以简便地调用保存的极限, 改变极限值设置。



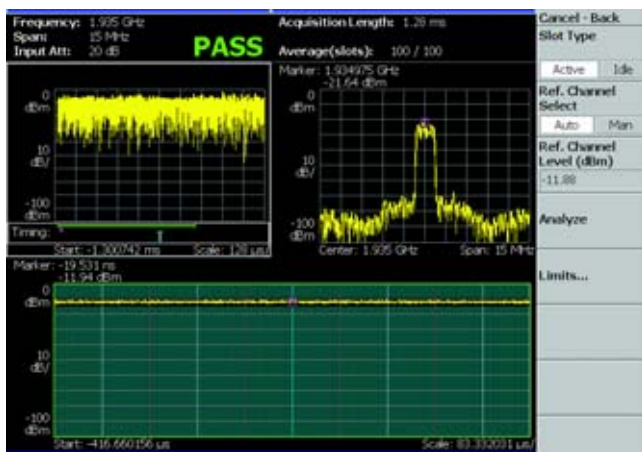
■ 图 6. SEM 测量。



■ 图 7. 极限编辑器。

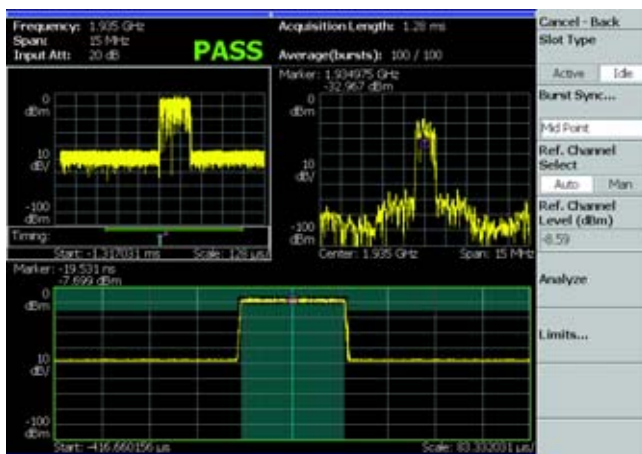
#### 功率随时间变化情况(PvT)

PvT是为前向链路中的活动时隙和空闲时隙定义的。对活动时隙, 总体平均的时间响应将位于图8所示的极限范围内。



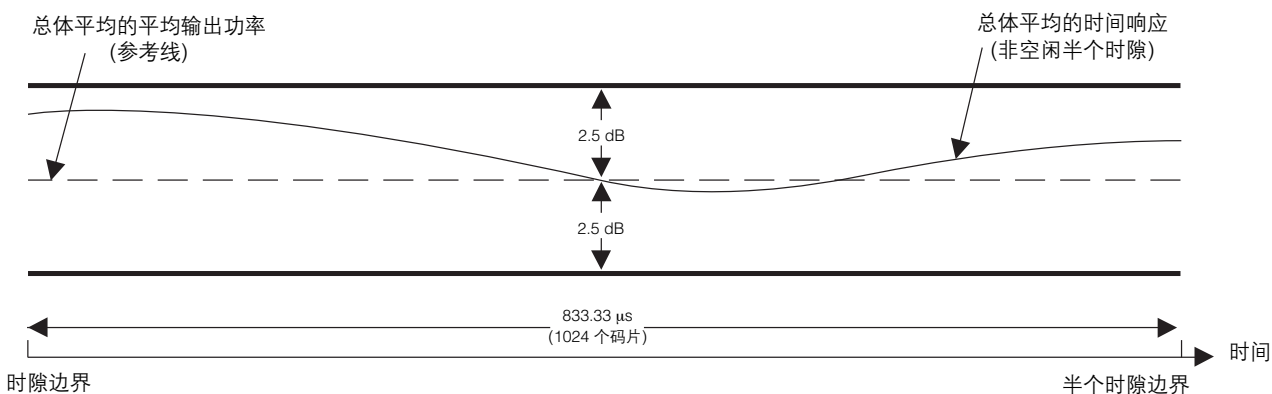
■ 图 8. 前向链路活动时隙 PvT 指标。

对空闲时隙, 总体平均的时间响应将落在图9所示的极限范围内。

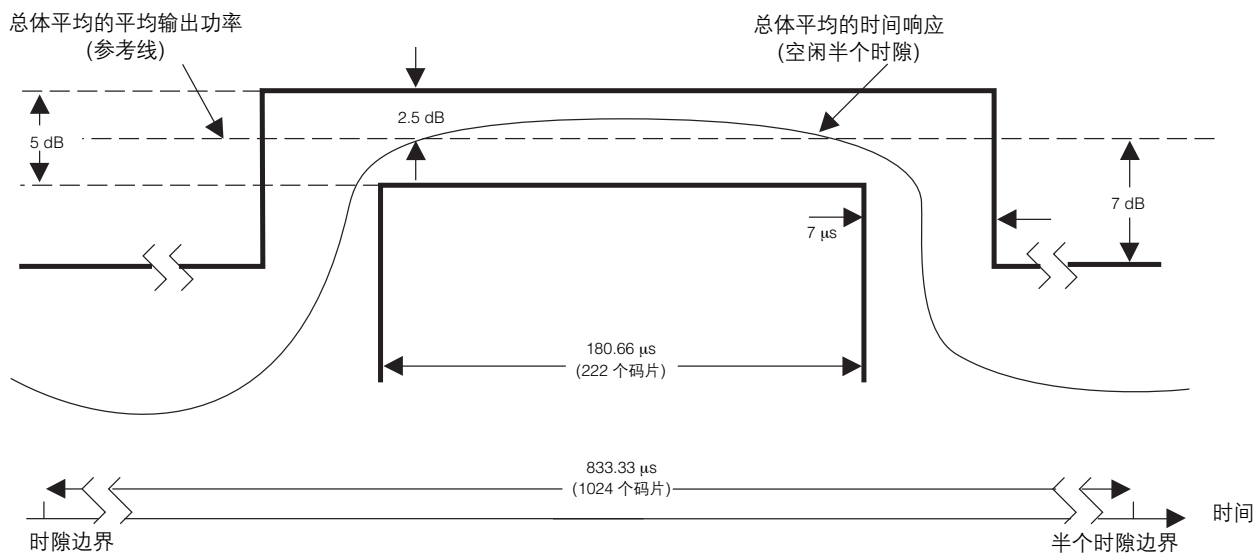


■ 图 9. 前向链路空闲时隙 PvT 指标。

空闲时隙的参考线将设成活动时隙 PVT 测量中获得的值。对空闲时隙，PVT 测量实例如图 10a 和图 10b 所示。



■ 图 10a. 活动时隙的 PVT 模板。

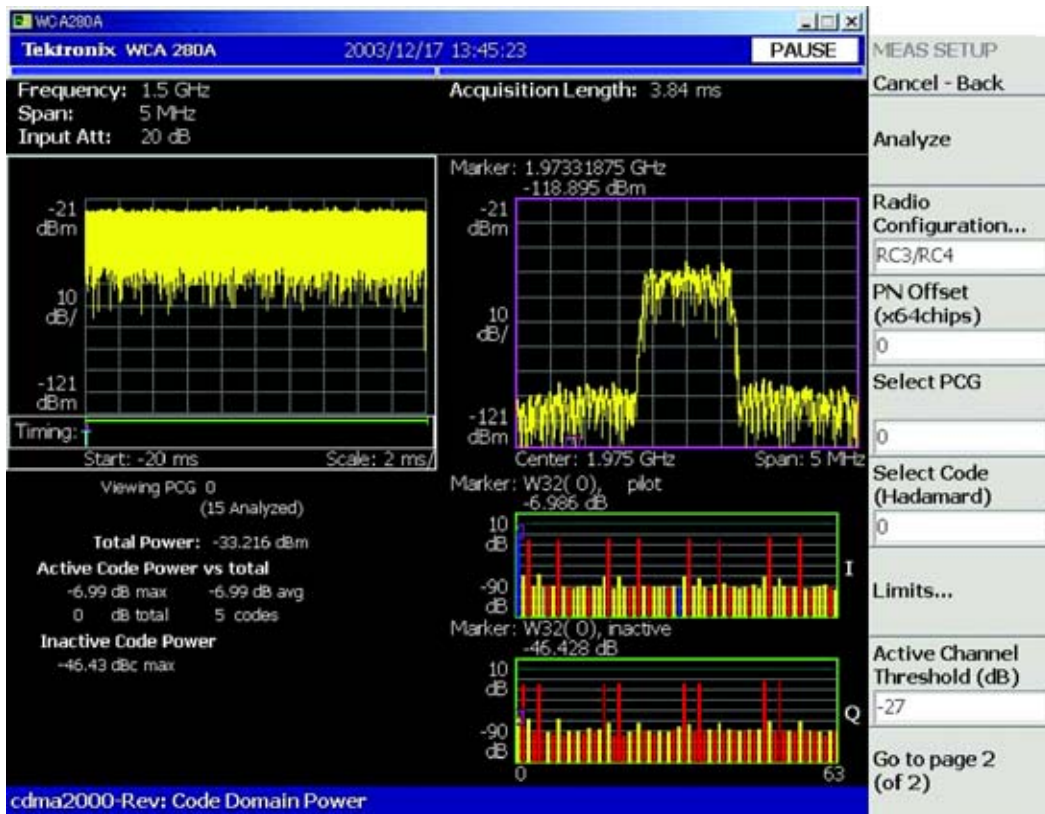


■ 图 10b. 空闲时隙的 PVT 模板。

## 应用案例集—民用通信

### ■ 应用指南

# 使用泰克无线通信分析仪进行cdma2000 RF测量



cdma2000 系统可望为大量的用户群同时提供杰出的传输效率和杰出的声音质量，而且非常经济。但是，这种先进的技术要求传统工具可能不能提供的新型RF测量功能。本应用指南概括介绍了 cdma2000 技术，汇总了规范要求的RF测量，讨论了怎样使用RSA3408A系列无线通信分析仪进行这些测量。

码分多址(CDMA)规范为实现第三代(3G)全球无线通信系统提供了重要的发展道路。cdma2000 系统旨在适应当前无线通信要求的不断提高的用户数量和更快的通信速度，另外它还还为上网服务提供了所需的数据传输功能。规范对语音和主要音乐传输服务及影像传输作出了规定，满足了多媒体服务的要求，为通过互联网实现联网游戏等功能提供了相应的容量。

## 技术概况

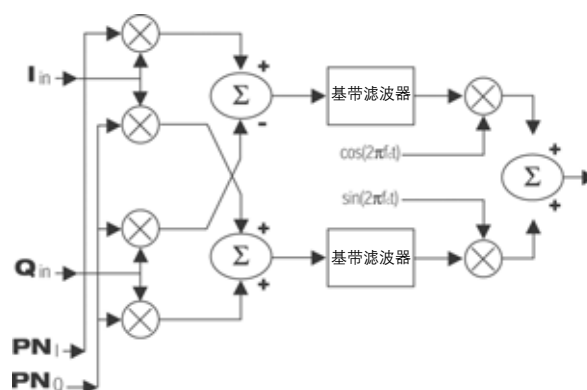
cdma2000 是在第三代合作项目 2 (3GPP2) 的指导下从 cdmaOne 标准演变而来的。cdma2000 技术源于北美，已经被全球广泛采用，是世界上部署的第一种第三代技术。

cdma2000 正分三个阶段引入。第一个阶段(cdma2000 1x)提供了速率为 144 kbps 的数据通信服务，码片速率是 1.2288 Mcps，这与早期的 IS-95 速率完全相同。第二阶段包括 cdma2000 1xEV-DV 和 1xEV-DO，它采用额外的时域成分，提高了 1.25 MHz 载波内部的数据速率，提供了高速率数据分组服务，满足了高速上网或邮件下载的需求。第三阶段(cdma2000 3x)规定了 256 个沃尔什码，容纳三个相邻的 1.25 MHz 载波(以保持向下兼容 cdmaOne)。

## 物理层

cdma2000 和 cdmaOne 设备都可以接入 cdma2000 系统。但是，cdma2000 系统的物理层与 cdmaOne 系统略有差别。cdma2000 系统采用复正交(PN)扩频方法进行信号扩展和调制，如下面图 1 所示。在方框图中，cdmaOne 系统把  $Q_{in}$  固定到 0。复正交扩频可以使数据速率翻一番，同时抑制 RF 信号中的峰值功率与均值功率之比(这个比率称为波峰因数)。结果，可以在保持充足的工作余量的同时降低功耗。

cdma2000 1x 系统在前向链路(从基站到用户设备)和后向链路(从用户设备到基站)上，以 1.2288 Mcps 的码片速率采用直接扩频方法。cdma2000 3x 系统采用三个直接扩展的载波，每个载波在前向链路上的码片速率是 1.2288 Mcps，这种方法称为“多载波方法 MC-CDMA”。在后向链路中，扩展速率是 3.6864 Mcps (1.2288 Mcps X 3)。



■ 图 1. Cdma2000 复正交扩展(PN)方框图。

## 传输速率

cdma2000 系统的数据传输速率是可变的，它使用无线电配置(RC)进行定义。前向链路中有九个 RC，后向链路中有六个 RC。cdma2000 1x 系统支持前向通道 RC1 – RC5 和后向通道 RC1 – RC4。cdma2000 3x 系统支持前向通道 RC6 – RC9 和后向通道 RC5 – RC6。

cdma2000 1x 提供 1.2 kbps – 230 kbps 的数据传输速率，cdma2000 3x 则可以处理 1.2 kbps – 1,036 kbps 的数据速率。相比之下，cdmaOne 系统的数据传输速率是  $1200 \times N$  bps (其中  $N=1, 2, 4$  或  $8$ )，这与 cdma2000 的 RC1 相同。

同样，cdma2000 系统的扩展系数是可变的。cdma2000 1x 和 cdma2000 3x 的最大扩展系数分别是 128 和 256；这两种系统的最小扩展系数都是 8。

## 应用案例集—民用通信

### ■ 应用指南

表 1. cdma2000 1x 和 cdmaOne 比较

		cdma2000 1x	cdmaOne
占用带宽		1.48 MHz	
码片速率		1.2288 Mcps	
重数		正交码：最多 128 个	正交码：最多 64 个
		准正交码：最多 512 个	
调制方法	地面站	数据调制：BPSK 或 QPSK	数据调制：BPSK
		扩展调制：QPSK	扩展调制：QPSK
	移动台	数据调制：第 64 个正交编码调制或 BPSK	数据调制：第 64 个正交编码调制
		扩展调制：OQPSK 或 HPSK	扩展调制：OQPSK
帧长度	5, 10, 20, 40, 80 ms	20 ms	

除数据通道外，cdma2000 反向链路采用 RC3 – RC6 的导频通道，改善了用户设备的信号条件。

在 cdma2000 前向链路中，每条通道可以使用准正交函数(QOF)及沃尔什函数进行扩展。共有三类 QOF，它们把代码的最大数量扩展到 512 个。在前向链路和后向链路中，RC1 和 RC2 模式采用与 cdmaOne 相同的调制和扩展方法。

辅助通道采用 Turbo 码及由于前向纠错(FEC)而产生的重叠码。cdma2000 的前向链路采用传输分集。cdma2000 1x 系统通过正交传输分集 (OTD) 和时空扩展(STS)，改善了衰落环境下的通信性能。

上面的表 1 简要概括了 cdma2000 1x 和 cdmaOne 之间在物理层中的类似之处和差别。如表中所示，cdma2000 改善了频分效率和传输速率。频分效率对用户容量有着最直接的影响，其影响要比 cdmaOne 高出 1.4 – 2.4 倍。此外，数据传输速率翻了一番以上，cdmaOne 的数据速率是 64 kbps，cdma2000 的数据速率则达到 144 kbps。

### cdma2000 的 RF 测量

泰克 RSA3408A 系列无线通信分析仪(图 2)采用实时频谱分析技术，触发、捕获和分析其它分析仪会漏掉的 cdma2000 信号。这些分析仪适合用于无线电实验室、生产线或现场检修，可以一次无缝捕获和存储一个 RF 频率跨度，使用时间相关的 CDMA2000 信号多域图进行深入分析。下面几节将介绍 RSA3408A 系列可以怎样全面分析 CDMA2000 信号的频率、时间、调制和代码特点。



■ 图 2. RSA3408A 无线通信分析仪

**cdma2000 1x 测量**

这些选项为频谱辐射模板和选通输出功率测量提供了预先定义的测量极限。

- 调制精度
- 码域功率
- 通道功率
- OBW (占用带宽)
- ACPR (邻道功率比)
- 频谱辐射模板
- 选通输出功率(仅反向链路)
- 互调制
- CCDF
- 导频到代码通道

**与移动台有关的测量**

世界上的无线电话通信共使用 10 个通信频段，即蜂窝频段、北美 PCS、TACS、JTACS、韩国 PCS、NMT-450、IMT-2000、北美 700MHz 蜂窝频段、1800MHz 和 900MHz。日本在六类频段中使用 IMT-2000，在三类频段中使用 TACS 频段。cdmaOne 目前正在使用 TACS 频段。下面的表格说明了 IMT-2000 移动台和基站(表 2)的通道间隔和配置(中心频率); 与 cdma2000 1x 六类频段相对应的通道编号和频率配置(表 3); cdma2000 3x 中的通道编号和频率(表 4)。

表 2. 与 CDMA 通道编号和六类频段相对应的频率配置

发射机	CDMA 通道编号	中心频率 (MHz)
移动台	$0 \leq N \leq 1199$	$1920.000 + 0.050 N$
基站	$0 \leq N \leq 1199$	$2110.000 + 0.050 N$

表 3: 与 cdma2000 1x 六类频段相对应的 CDMA 通道编号和频率配置

CDMA 通道编号	移动台频率(MHz)	基站频率(MHz)	有效通道
0 - 24	1920.000 - 1921.200	2110.000 - 2111.200	无效
25 - 1175	1921.250 - 1978.750	2111.250 - 2168.750	有效
1176 - 1199	1978.800 - 1979.950	2168.800 - 2169.950	无效

cdma2000 1x 不允许使用六类频段规定的频率范围上下限 1.25 MHz 范围内的频率。

表 4: 与 cdma2000 3x 六类频段相对应的 CDMA 通道编号和频率配置

CDMA 通道编号	移动台频率(MHz)	基站频率(MHz)	有效通道
0 - 24	1920.000 - 1921.200	2110.000 - 2111.200	无效
25 - 1175	1921.250 - 1978.750	2111.250 - 2168.750	有效
1176 - 1199	1978.800 - 1979.950	2168.800 - 2169.950	无效

cdma2000 3x 不允许使用六类频段规定的频率范围上下限 2.5 MHz 范围内的频率。因此，cdma2000 1x 可以分别使用 25, 50, 75... 1125, 1150 和 1175 条通道，cdma2000 3x 可以分别使用 50, 75, 100... 1100, 1125, 1150 条通道。

## 应用案例集—民用通信

### ■ 应用指南

#### 通道间隔和配置

在测量通道间隔和配置时，第一步是检验传输频率位于 cdma2000 标准规定的配置范围内。由于 CDMA 要求宽扩频的信号，不可能通过使用频率计数器或扫频分析仪来准确地测量载频。

必需使用波形质量  $\rho$  仪表或具有  $\rho$  测量功能的频谱分析仪测量载频，如泰克 RSA3408A 系列无线通信分析仪。波形质量  $\rho$  表示理想的 CDMA 信号与发送的信号之间的关联。 $\rho$  越接近 1，发送的信号越接近理想的信号。由于  $\rho$  取决于各种误差因素，如载频误差  $D_f$ 、传输定时误差  $D_t$  和幅度误差，因此在  $\rho$  达到最大时可以使用理想波形的频率误差衡量  $\rho$ 。RSA3408A 系列分析仪将测量 99% 的占用带宽。

#### 最大 RF 输出功率

在只使用接入通道、增强型接入通道、反向公共控制通道或反向基础通道时，移动台必须能够发送最小功率。在移动台请求向基站发送最大输出功率时，它还必须能够发送最小功率。在使用一条或多条反向专用控制通道、反向基础通道、反向辅助通道和反向辅助代码通道时，传输功率会下降。

在任何情况下，移动台都不应超过规定的最大功率中的传输功率。由于 CDMA 系统控制着功率，以便对从基站收到的信号提供统一的信号电平，因此必需一直从准基站中发送 0 功率控制位，以获得最大 RF 输出功率。

最大 RF 输出功率定义为移动台发送的、在移动台天线连接器上测得的最大功率。

通过先设置表 5 中提供的接入参数消息中的参数，可以测量最大 RF 传输功率。

表 5：设置接入参数消息，测量最大 RF 传输功率

参数	值(十进制)
NOM_PWR	7 (7dB)
INIT_PWR	15 (15dB)
PWR_STEP	7 (7dB/步)
NUM_STEP	15 (16 个探头 / 序列)
MAX_REP_SEQ	15 (15 个序列)

把速率集 1 的基础代码通道配置成环回模式，数据速率为 9600 bps，一直发送 0 功率控制位。

另外，如表 6 所示配置准基站信号，以获得最大 RF 传输功率。

表 6：设置准基站信号，以获得最大 RF 传输功率

参数	单位	值
lor	dBm/1.23MHz	-104
导频 $E_c/lor$	DB	-7
业务 $E_c/lor$	DB	-7.4



表 7 说明了根据移动台等级确定的最大 RF 输出功率的上下限。

表 7: 最大输出功率时的有效放射功率

频段类别	移动台类别	放射测量	下限	上限
0, 3 和 9	一类	ERP	1 dBW (1.25 W)	8 dBW (6.3 W)
	二类	ERP	-3 dBW (0.5 W)	4 dBW (2.5 W)
	三类	ERP	-7 dBW (0.2 W)	0 dBW (1.0 W)
1, 4 和 8	一类	EIRP	-2 dBW (0.63 W)	3 dBW (2.0 W)
	二类	EIRP	-7 dBW (0.2 W)	0 dBW (1.0 W)
	三类	EIRP	-12 dBW (63 mW)	-3 dBW (0.5 W)
	四类	EIRP	-17 dBW (20 mW)	-6 dBW (0.25 W)
	五类	EIRP	-22 dBW (6.3 mW)	-9 dBW (0.13 W)
6 (日本国外)	一类	EIRP	-2 dBW (0.63 W)	3 dBW (2.0 W)
	二类	EIRP	-7 dBW (0.2 W)	0 dBW (1.0 W)
	三类	EIRP	-12 dBW (63 mW)	-3 dBW (0.5 W)
	四类	EIRP	-17 dBW (20 mW)	-6 dBW (0.25 W)
	五类	EIRP	-22 dBW (6.3 mW)	-9 dBW (0.13 W)
6 (日本国内)	一类和二类	EIRP	-10 dBW (0.1 W)	-6 dBW (0.25 W)
	三类	EIRP	-12 dBW (63 mW)	-6 dBW (0.25 W)
	四类	EIRP	-17 dBW (20 mW)	-6 dBW (0.25 W)
	五类	EIRP	-22 dBW (6.3 mW)	-9 dBW (0.13 W)
2	二类	ERP	1 dBW (1.25 W)	8 dBW (6.3 W)
	三类	ERP	-3 dBW (0.5 W)	4 dBW (2.5 W)
	四类	ERP	-7 dBW (0.2 W)	0 dBW (1.0 W)
5	一类	ERP	3 dBW (2.0 W)	10 dBW (10 W)
	二类	ERP	-2 dBW (0.63 W)	5 dBW (3.2 W)
	三类	ERP	-7 dBW (0.2 W)	0 dBW (1.0 W)
	四类	ERP	-12 dBW (63 mW)	-5 dBW (320 mW)
7	一类	ERP	-7 dBW (0.2 W)	4 dBW (2.5 W)
	二类	ERP	-3 dBW (0.5 W)	0 dBW (1.0 W)

对六类频段操作，移动台应在开销信息中使用国家代码信息，以确定允许的最大放射功率。

## 应用案例集—民用通信

### ■ 应用指南

#### 最小控制输出功率

在移动台通过闭环和开环功率控制功能请求最低RF传输功率时，在终端的天线上测量移动台的最小控制输出功率。先把速率集1的基础代码通道配置成环回模式，数据速率为9600 bps，同时发送功率控制位1，获得最小RF传输功率，测量最小控制输出功率。准基站信号的配置应如表8所示。

表8：最小控制输出功率的测试参数

参数	单位	值
lor	DBm/1.23MHz	-25
导频 Ec/lor	DB	-7
业务 Ec/lor	DB	-7.4

使用闭环和开环功率控制功能设置最低RF传输功率。移动台末端的平均输出功率必须小于 -50 dBm/1.23 MHz。

#### 选通输出功率

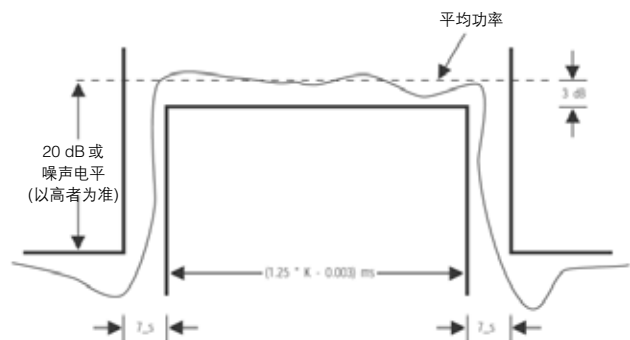
cdma2000 系统使用选通开和选通关功能间歇性地发送传输数据，选通开关功能由数据速率调节，以节约功耗。cdma2000 包括选通开时间和选通关时间电平之比、噪声电平、上升时间和下降时间等指标。

在选通关期间，噪声电平必须小于 -54 dBm/1.23 MHz。移动台必须以功率控制组规定的电平发送信号。在选通开期间，噪声电平必须是小于最新选通开时平均输出功率 20 dB 的值或传输噪声中较高者。应在整体上采集 K 选通开功率控制组，同时保证平均功率及上升时间和下降时间都落在规定范围内。选通关间隔的时长最小为 1.25 ms，最大为 20 ms，由数据速率改动。

应对下述情况执行这一测量：

- 1) 在可调节的数据速率传输模式下操作 RC1 或 2 时；
- 2) 在操作反向导频通道时；
- 3) 在发送增强接入通道前置码时或反向公共控制通道前置码时；
- 4) 在通过 RC3、4 或 5 选通反向基础通道时。

图3说明了选通输出功率的 cdma2000 规范模板。信号必须位于规定的直线范围内。



■ 图3. 传输包络模板(平均选通开功率控制组)。

#### 待机输出功率

如果没有与基站通信，移动台不得发送任何RF和/或瞬时信号。在终端没有传输任何信号时，传输噪声的功率密度必须在所有分配的带宽内都小于 -61 dBm/1 MHz。RSA3408A 系列实时频谱分析仪可以触发其它频谱分析仪漏掉的RF信号，确保可以找到最随机的辐射。

### 控制输出功率

移动台通过三种方式控制输出信号电平。

- 1) 移动台运行的开环
- 2) 移动台和基站建立的闭环
- 3) 在使用 RC3 – RC6 时移动台和基站确定的方法

不管基站和移动台之间的距离是多少、同一服务中是否存在另一台终端、或基站覆盖的区域内移动台的位置如何, 基站上的信号接收电平必须相同。这一要求是 CDMA 系统面临的最具挑战性的技术问题。

### 测量

通过发送功率控制位控制输出功率, 功率控制位控制着到移动台的 RF 输出。然后一旦用户设备收到功率控制位, 它会改变 RF 输出功率电平。使用 RSA3408A 系列的内置实时频谱分析仪, 可以简便地捕获和分析快速变化的、随时间变化的这种信号。

### 反向 CDMA 通道信号的调制特点

如前所述, 六种无线电配置(RC)规定了从移动台到反向通道的传输。移动台一般支持通过 RC1、3 或 5 操作, 但它也可以支持通过 RC2、4 或 6 进行操作。例如, 支持 RC2 的移动台也支持 RC1, 支持 RC4 的移动台也支持 RC3。但是, 不能同时使用 RC3 或 4 和 RC1 或 2。

表 9 和表 10 说明了无线电配置与数据速率之间的关系及前向和反向基础通道的无线电配置之间的关系。

表 9: 移动终端 RC 和数据速率之间的关系

RC	扩展速率	数据速率和数据调制方法
1	1	数据速率 1200/2400/4800/9600 bps, 通过 R=1/3; 64 阶正交编码
2	1	数据速率 1800/3600/7200/14400 bps, 通过 R=1/2; 64 阶正交编码调制
3	1	数据速率 1200/1350/1500/2400/2700/4800/9600/19200/38400/76800/153600 bps, 通过 R=1/4; 数据速率 307200 bps, 通过 R=1/2; BPSK
4	1	数据速率 1800/3600/7200/14400/28800/57600/115200/230400 bps, 通过 R=1/4; 数据速率 307200 bps, 通过 R=1/2; BPSK
5	3	数据速率 1200/1350/1500/2400/2700/4800/9600/19200/38400/76800/153600 bps, 通过 R=1/4; 数据速率 307200/614400 bps, 通过 R=1/3; BPSK
6	3	数据速率 1800/3600/7200/14400/28800/57600/115200/230400/460800 bps, 通过 R=1/4; 数据速率 1036800 bps, 通过 R=1/2; BPSK

对无线电配置 3 和 6, 反向专用控制通道和反向基础通道还支持 9600 bps, 5 ms 格式。R 变成代码速率: 位 / 代码符号。

表 10: 前向基础通道和反向基础通道之间的关系

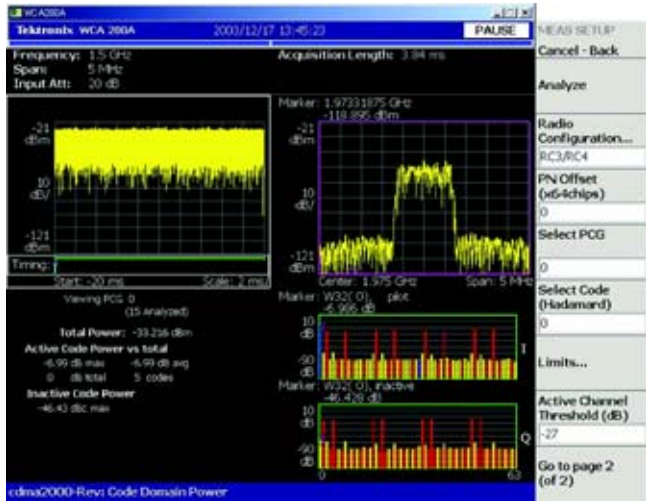
反向基础通道的 RC	前向基础通道的 RC
1	1
2	2
3	3 或 4
4	5
3 或 5	6 或 7
4 或 6	8 或 9

## 应用案例集—民用通信

### ■ 应用指南

#### 扩展速率 1 和扩展速率 3 的信号结构

CDMA 通过多条通道同时发送频率相同的信号。对设备维修、制造和检修，非常重要的一点是分析每条通道的发送数据内容和功率。RSA3408A 系列可以进行码域测量，获得更详细的信息。参见图 4。



■ 图 4. 利用 WCA280A 进行码域测试

表 11 说明了扩展速率 2 和不同通道上反向信号的信号结构。

表 11: 扩展速率 1 和反向 CDMA 的信号结构

通道类型	最大数量
反向导频通道	1
接入通道	1
增强接入通道	1
反向公共控制通道	1
反向专用控制通道	1
反向基础通道	1
反向辅助代码通道 (仅 RC1 和 2)	7
反向辅助通道 (仅 RC3 和 4)	2

表 12 说明了扩展速率 3 和不同通道上反向 CDMA 的信号结构。

表 12: 扩展速率 3 和反向 CDMA 的信号结构

通道类型	最大数量
反向导频通道	1
增强接入通道	1
反向公共控制通道	1
反向专用控制通道	1
反向基础通道	1
反向辅助通道	2

#### 与基站有关的测量

##### 通道间隔和配置

基站的通道间隔和配置与移动台类似。检验发送频率位于 cdma2000 规定的配置范围内，其方式与上面介绍的移动台检验方式相同。

##### 前向 CDMA 通道信号的调制特点

10 种无线电配置规定了通过前向通道从基站进行的 RF 传输。支持 RC1, 3 或 7 的基站可能还支持 RC2, 4, 5, 6, 8 和 9。例如，支持 RC2 的基站还支持 RC1。类似的，支持 RC4 或 5 的基站还支持 RC3；支持 RC6, 8 和 9 的基站还支持 RC7。但是，不能同时使用 RC3, 4 或 5 和 RC1 或 2。

在基站支持 RC1 的反向基础通道时，它还支持 RC1 的前向基础通道。表 13 说明了每种无线电配置与数据速率之间的关系。

表 13: 基站 RC、扩展速率和数据速率之间的关系

RC	扩展速率	数据速率和数据调制
1	1	1200, 2400, 4800 和 9600 bps 数据速率, 且 $R = 1/2$ , BPSK 预先扩展码
2	1	1800, 3600, 7200 和 14400 bps 数据速率, 且 $R=1/2$ ; 64 阶正交编码调制
3	1	1200, 1350, 1500, 2400, 2700, 4800, 9600, 19200, 38400, 76800 和 153600 bps 数据速率, 且 $R=1/4$ ; QPSK 预先扩展码, 支持 TD
4	1	350, 1500, 2400, 2700, 4800, 9600, 19200, 38400, 76800, 153600 和 307200 bps 数据速率, 且 $R = 1/2$ , QPSK 预先扩展码, 支持 TD 和 CCSH
5	1	1800, 3600, 7200, 14400, 28800, 57600, 115200 和 230400 bps 数据速率, 且 $R = 1/4$ , QPSK 预先扩展码, 支持 TD 和 CCSH
6	3	1200, 1350, 1500, 2400, 2700, 4800, 9600, 19200, 38400, 76800, 153600 和 307200 bps 数据速率, 且 $R = 1/6$ , QPSK 预先扩展码
7	3	1200, 1350, 1500, 2400, 2700, 4800, 9600, 19200, 38400, 76800, 153600, 307200 和 614400 bps 数据速率, 且 $R = 1/6$ , QPSK 预先扩展码
8	3	1800, 3600, 7200, 14400, 28800, 57600, 115200, 230400 和 460800 bps 数据速率, 且 $R = 1/4$ , QPSK 预先扩展码
9	3	1800, 3600, 7200, 14400, 28800, 57600, 115200, 230400, 259200, 460800, 518400 和 1036800 bps 数据速率, 且 $R = 1/2$ (20 ms) 或 $1/3$ (5 ms), QPSK 预先扩展码
10	1	81600, 158400, 163200, 312000, 316800, 326400, 465600, 619200, 624000, 633600, 772800, 931200, 1238400, 1248000, 1545600, 1862400, 2476800 和 8-PSK, 或 16-QAM 预先扩展码

对通过 9 实现的无线电配置 3, 前向专用控制通道和前向基础通道还支持 9600 bps, 5 ms 格式。R 变成代码速率: 位 / 代码符号。

### 扩展速率 1 和扩展速率 3 的信号结构

与移动台一样, cdma2000 基站通过多条通道同时发送频率相同的信号。对设备维修和检修, 非常重要的一点是分析每条通道的发送数据内容和功率(码域功率测量)。

表 14: 扩展速率 1 的前向 CDMA 信号的结构

通道类型	最大数量
前向导频通道	1
传输分集导频通道	1
辅助导频通道	没有规定
辅助传输分集导频通道	没有规定
同步通道	1
寻呼通道	7
广播控制通道	8
快速寻呼通道	3
公共功率控制通道	4
公共分配通道	7
前向公共控制通道	7
前向专用控制通道	1
前向基础通道	1
前向辅助代码通道_仅 RC1 和 2_	7
前向辅助通道_仅 RC3 和 4_	2
前向分组数据通道(仅 RC10)	2

## 应用案例集—民用通信

### ■ 应用指南

表 15: 扩展速率 3 的前向 CDMA 信号的结构

通道类型	最大数量
前向导频通道	1
辅助导频通道	没有规定
同步通道	1
广播控制通道	8
快速寻呼通道	3
公共功率控制通道	4
公共分配通道	7
前向公共控制通道	7
前向专用控制通道	1
前向基础通道	1
前向辅助通道	2

### 参考文献

#### **3GPP2 C. S0011-A**

“cdma2000 扩频移动台推荐最低性能标准”

#### **3GPP2 C. S0010-A**

cdma2000 扩频基站推荐最低性能标准

#### **3GPP2 C. S0002-C**

cdma2000 扩频系统物理层标准

## 测量 W-CDMA 系统中的波形质量



### ■ 应该怎样测量新的随时间变化的扩频 W-CDMA 传输中的波形质量？

过去，波形质量仅适用于导频信号，以 Rho 为单位进行表示。随着测量技术的发展，设计人员可以把复杂的信号分隔到各个码元中。

#### 测量挑战：在多个域中分析单独码通道

现在，设计人员可以在各条码通道上执行新的波形质量测量和显示，如谱形、码域功率与时间比较、CCDF 和误差矢量数量(EVM: Error Vector Magnitude)。本文中介绍的测量项目将演示 W-CDMA 信号的特点，阐述其给系统工程师带来的挑战，及其为测量波形质量提供的强大的新途径。

高芯片速率 W-CDMA 传输的扩频突发特点是一个重大的测量挑战。它采用专门设计的仪器，捕获和分析时域、频域、相位和码域中的复杂信号。考虑到信号的伪随机特点，使用传统的频谱或调制分析仪不可能可靠地捕获任何给定的突发信号，而必需在足够长的时期内记录信号，然后运用采集后处理技术，检查频率、振幅、调制和码功率行为，这些远远超出了传统测试设备的能力。

## 应用案例集—民用通信

### ■ 应用指南

长期以来，CDMA 信号给波形质量测量带来了巨大的挑战，这些挑战是伴随着W-CDMA 系统问世而产生和发展的，W-CDMA 具有码通道功率随着时间变化和 OVSF (正交可变扩展系数) 的特点，在W-CDMA 信号中，随着时间变化的码功率特点要求查看各条码通道的功率与时间关系。为了正确评估网络运行，还必需确定从基站发送到移动单元的功率控制序列值。最后，各条码通道上的EVM可以从新的角度全面查看复杂波形内部的失真构成。

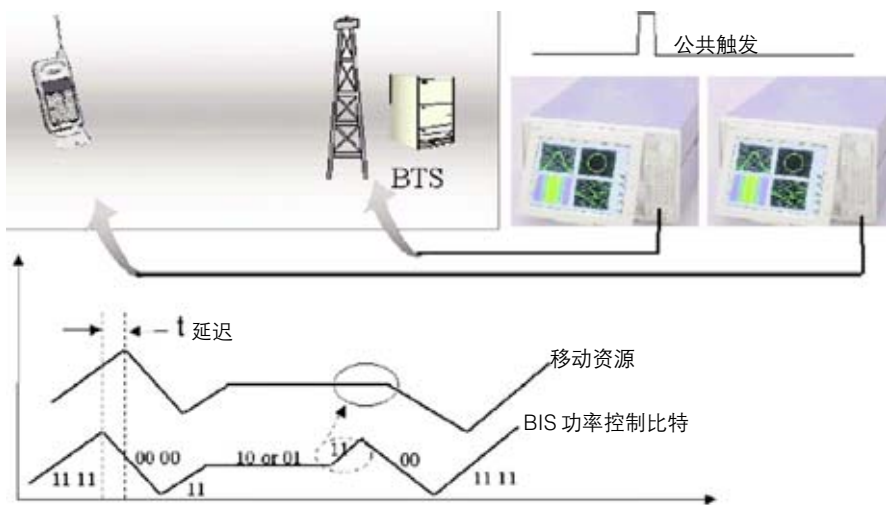
事实证明，与Rho 相比，EVM 可以更灵敏地度量波形质量。特别是，EVM 对热噪声、相位噪声和载波馈通表现出更高的灵敏度。在 20 dB - 30 dB 的信噪比(S/N)范围内，可以看到Rho 大体在0.98-0.99 之间变化，而EVM 则在3%-10% 之间变化，EVM 的测量灵敏度要高得多的。

### 测量解决方案

RSA3408A实时频谱分析仪为W-CDMA信号提供了一个独特的分析解决方案。RSA3408A是为复杂的无线信号专门设计的，它同时实时捕获频域和时域中的信号，存储数据以备后期处理、显示和分析。下面是这种新仪器提供的部分测量实例。

图1 中说明了典型的测试设置。测试指向基站(BTS)，向移动台发送一系列功率控制命令。无线通信分析仪在测试过程中捕获和分析命令、响应和波形质量。通过这种设置，用户可以确定RF 通道的损伤和移动单元功率控制响应时间。

通过对 BTS 信号的相关部分进行基带解码，可以检查功率控制比特。设计人员可以记录和观察电话对基站发出的这些命令的响应。通过比较两台同时触发的分析仪中的波形时间记录，可以确定 BTS 功率控制传输及其导致的移动台响应之间的响应时间。



■ 图 1. W-CDMA 闭环评估测试设置



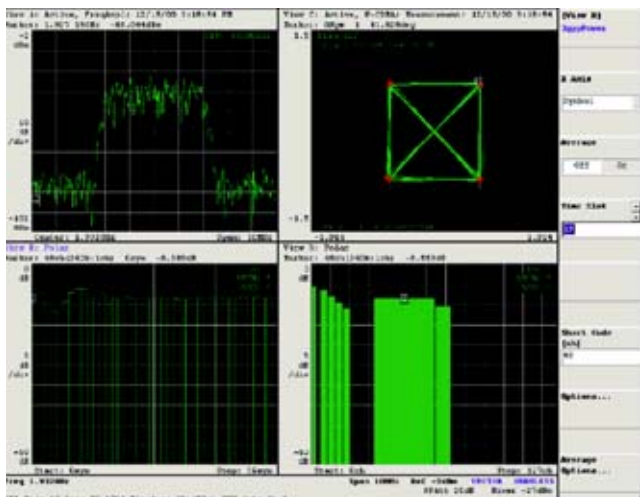
通过对W-CDMA 信号进行后期采集处理,可以实现所有上述测量。为提供有意义的测量结果,必须在无缝捕获的足够长的波长上完成处理,以显示相关的信号细节。例如,为了在一个帧时期上分析一个码的功率偏差,必须捕获10 毫秒的数据( 15 个时隙,每个时隙666.7 ms )。WCA380 包含一个向下变频器,之后跟有一个模数(A/D)转换器用于信号采集。这可以在长达 50 ms 的时间内,无缝地捕获带宽高达 30 MHz 的信号。由于降低了捕获带宽,可以大大延长波形采集的时间。通过信号再生,获得频谱信息、实现 IQ 显示、码域测量及基带解调,可以完成捕获波形的分析。

为了完成码功率相对于时间的测量,RSA3408A先对进

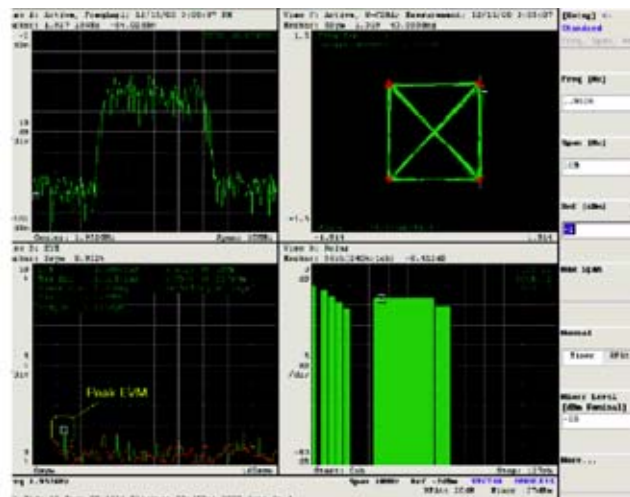
入的信号解扰,然后应用正确的正交码。图2左下方是显示结果,其中 A 轴是用符号表示的一个时隙中的时间,Y 轴是用 dB 表示的功率。也可以逐个时隙进行表示,以检查设备对功率电平控制信号的反应。

另外还提供了反扩散和正交码应用测试,以用于对单码道的 EVM 的测试。从这个处理的波形开始,可以测量和显示 EVM。在图 3 中,左下方的窗口显示了 EVM,其来自于选择的 240 Ksymbol/sec 的码通道 1 (在显示屏的右下方窗口中进行选择)。可以简便地确定这个码通道上的峰值 EVM 是符号 5 上的 8.832%。

这种设置也可以被用于确定通道中的 RF 损伤水平,测量 W-CDMA 网络中采用的功率控制环路是否运行正常。可以使用 EVM 和符号对比显示 (图 3 中的左下方窗口) 测量通道的运行情况。



■ 图 2. 左上方: 频谱显示。右下方: 时隙 0 中的平均码域功率,其中选择了通道 22 提供功率与时间对比和星座图显示。右上方: 从码域显示屏中选择的通道 22 的调制矢量星座图显示。左下方: 256 Ksymbol/sec. 通道的时隙 0 中的码功率与符号对比。



■ 图 3. 左下方的显示中显示了时隙 0 的 EVM 和符号对比,其中在右下方的码域显示中选择了 240 Ksymbol/sec。

## 应用案例集—民用通信

### ■ 应用指南

#### 小结

可靠的系统设计将符合新的 W-CDMA 标准，以最高性能运行，在最短的时间内上市，而尖端测量工具对可靠的系统设计非常关键。泰克 RSA3408A 实时频谱分析仪可以全面清楚地查看复杂的新型电信系统。这些先进的实时测量工具可以如实捕获所有信息，以便于解释和分析的格式显示信息，进而实现最优的设计和更短的开发周期。

泰克致力于提供最先进的测量解决方案。本文是为寻求无线通信测量解决方案的设计人员和测试工程师提供的一系列文件中的一部分。随着技术和标准的不断发展，这一系列文件正在不断发展。泰克网站上提供了补充性的拷贝件及更新资料和相关文件，网址为：

**[www.tektronix.com](http://www.tektronix.com)**。

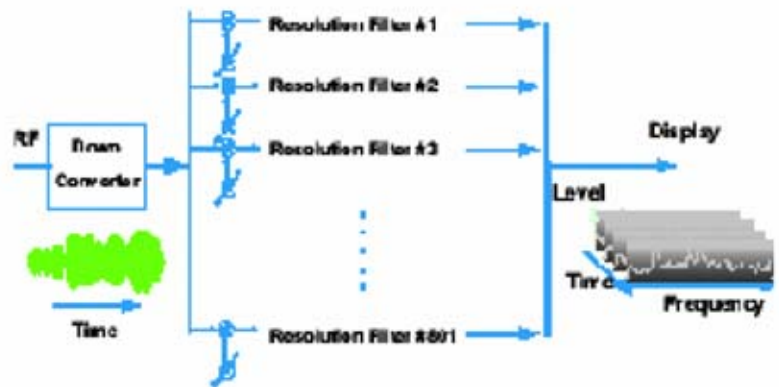
我们热忱欢迎您提出宝贵的意见和建议，以改善这些文件；同时欢迎您提出开发其它工具的想法，以帮助您应付新型无线系统的测量挑战。请就近与泰克联系，或浏览我们的网站。

# RSA3408A

## 实时频谱分析仪

### 在 TD-SCDMA

### 调测中的典型应用



■ 图 1

**项文胜** 大唐移动通信设备有限公司(100083)

**摘要:** 本文介绍了利用 RSA3408A 实时频谱仪测试 TD-SCDMA 中的一些关键信号的方法，特别是利用实时信号分析的功能来捕捉 TD-SCDMA 在接入、切换时的突发 (Burst) 信号，并利用 RSA3408A 提供的灵活的调制分析能力，方便地把仪器设置为 TD-SCDMA 模式，以解调 TD-SCDMA 信号，并分析星座图及 EVM(调制误差矢量)。

**关键词:** TD-SCDMA 实时 信号分析 切换 突发 星座图 EVM

近年来，第三代移动通信一直是人们关注的热点。而 TD-SCDMA 因其独特的优势，被国际电信联盟接纳为第三代移动通信标准之一，并相继有众多厂商参与 TD-SCDMA 的研究开发。但由于 TD-SCDMA 提出相对较晚等原因，针对 TD-SCDMA 的专用测试设备与其他两个标准比较起来相对较不成熟，因而在研发过程中对 TD-SCDMA 信号的测试及分析还不是很方便。

对于测试来讲，TD-SCDMA 信号与 WCDMA 或 CDMA2000 的最大区别在于 TD-SCDMA 是 TDD 模式。TDD 模式是基于时域中周期性重复的 TDMA 帧结构实现的。这个帧结构被分为几个上下行时隙，每个时隙工作在突发 (Burst) 状态，可以方便地实现上下行链路之间的灵活切换，尤其适合于 3G 的非对称业务。

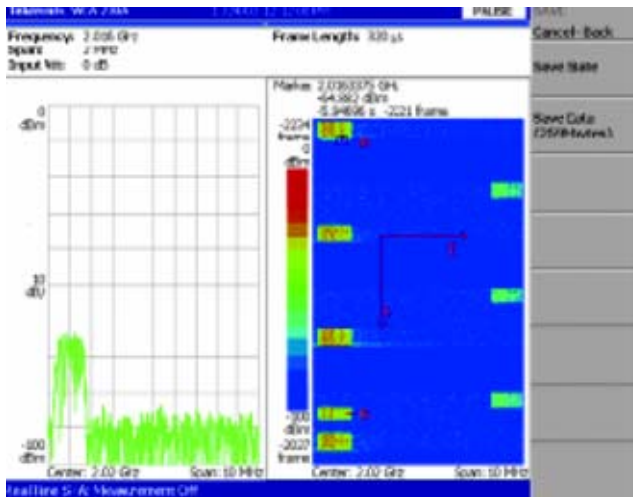
TEK RSA3408A 实时频谱仪为一款结合频谱分析功能、调制域分析、时域分析及码域分析功能的多功能无线通信测试仪表，整台仪表采用 FFT 工作模式，弥补了传统扫频式频谱仪实时性差的缺点，加强了对突发信号的研究，仪表采用大容量的存储器弥补了在测量范围较宽时 FFT 工作模式用时较长的缺点，便于对信号进行长达 10 秒的实时分析，这一功能对于研发及测试阶段的问题的排查极为有利。另外，多种通用的调制功能及可选择的滤波器，可以分析非标准信号，为 TD-SCDMA 信号的分析提供了方便。

#### 实时信号的分析

与传统扫频式频谱仪有所不同的是，扫频式频谱仪只有一个分辨带宽滤波器 (Resolution Filter)，而 RSA3408A 的实时频谱分析相当于具有几百个分辨带宽滤波器同时工作，被测带宽内几百个滤波器同时进行滤波的结果使得显示出来的信号是实时的，如图 1 所示。因此用户可以设定一个时间窗，在此时间窗内的所有信号将会被无缝地显示出来。

## 应用案例集—民用通信

### ■ 应用指南



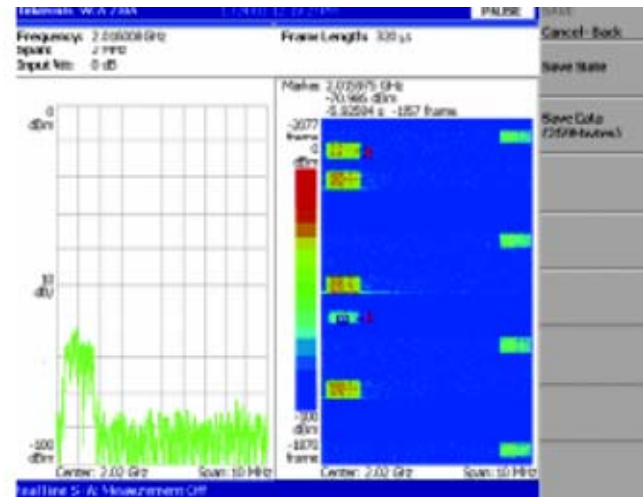
■ 图 2

典型的应用是TD-SCDMA的接入或切换过程。如图2所示，在实时信号的三维图谱中，水平方向为频率，垂直方向为时间轴，而信号的颜色则代表功率。从图中可以看出，在A点时刻，终端发射上行同步信号SYNC1，而隔帧后基站在第5时隙B点上回复应答消息F-PACH。我们可以设定足够长的时间窗（例如1秒），用来显示整个的终端接入或切换过程。

图中左侧为右侧三维图谱中Mark点的频谱图，改变时间轴可以显示不同时间点的频谱特性。

滚动时间轴(frame)，将会找到接入或切换过程的其他信号，如图2所示。在A点终端收到F-PACH后隔帧在B点发起接入请求信号RACH。

同样我们可以看到最终业务时隙被指配到三载波中另一个载波的情况，图4中，链路建立在副载波的1、4时隙(A、B点)。



■ 图 3

### 实时信号的捕捉

能够正确地触发被测信号是实时信号分析的前提。我们可以至少使用三种触发方式。

#### 1. 外部触发

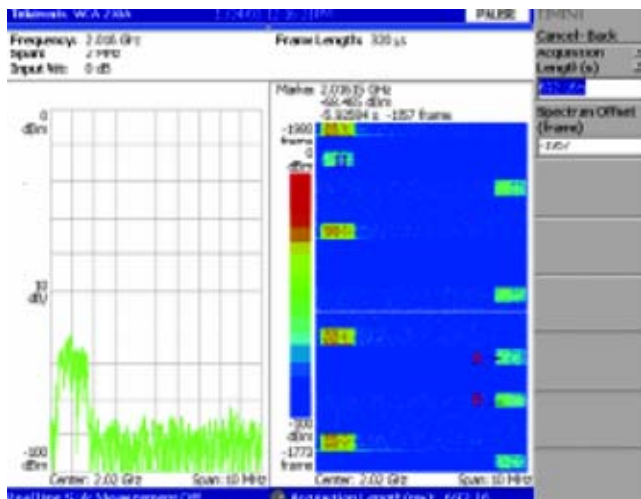
这时需要终端给出触发信号，例如DSP在发送SYNC1之前置位一个输出，产生一个上升或下降沿，用来触发仪表开始采集信号。

#### 2. 功率触发

如在终端侧测试，则一般来讲到达仪器的终端发射功率大于接收功率，因此可以设置一个稍高于接收电平的触发信号电平，当终端开始发射时，将触发采集。

#### 3. 频率模板触发

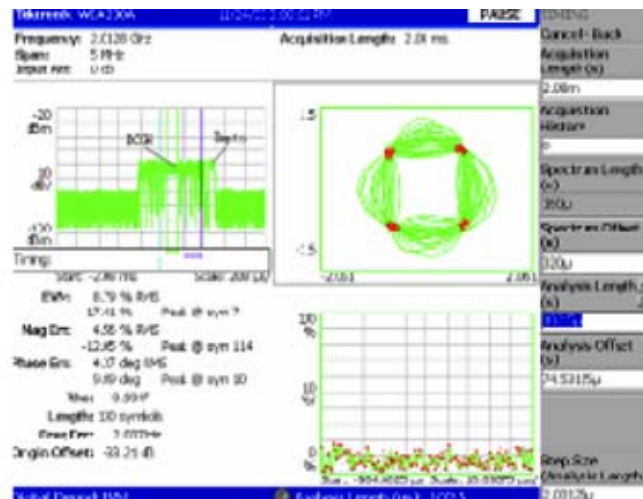
RSA3408A提供一个频率模板触发功能，这使得我们可以利用带外的信号触发采集。例如图4中，当业务时隙被支配到副载波时，设置适当的频率模板可以触发此过程。



■ 图 4

需要特别指出的是，由于可以连续实时采集信号，RSA3408A的触发位置并非开始采集的位置，而是采集长度的百分比位置。例如设置采集长度为 1 秒 (Acquisition Length = 1S)，触发位置为 80% (Position % = 80) 时，将采集触发前的 200ms 及触发后的 800ms 信号，而不会把触发前的信号漏掉。这一点在捕获不可触发的信号时特别有用。

同样，利用频率模板触发可以捕获和分析传统频谱分析仪和矢量信号分析仪中漏掉的信号，例如图 2 中的 A 点出，在基站发射机的关闭时刻，将出现很大的频谱泄漏，这也是 TDD 系统的应该小心的地方，在连续信号测试时没有问题，而在真正 TDD 工作时候问题就会暴露，并且问题总是最后才被发现，造成研发的风险。



■ 图 5

### 信号的调制域分析

RSA3408A的调制域分析的设置非常灵活，因而可以分析非标准信号。作为 TD-SCDMA 的调制域分析时，参数设置如下：

- Digital Demod
  - Modulation Type (QPSK)
  - Modulation Parameters
    - Symbol Rate (1.28MHz)
    - Measurement Filter (Root Raised Cosine)
    - Reference Filter (Raised Cosine)
    - Filter Parameter (0.22)

这里测量滤波器设为根升余弦的原因是由于我们把测量仪器作为一端，而另一端的终端或基站还有一个根升余弦，整个链路成为升余弦。而参考滤波器内部与之匹配需通过两次根升余弦滤波器而变成升余弦。

由于一次采集便可以在频域、时域及调制域进行信号分析，因此可以找到频域上实时信号的特殊的时间点，然后进行调制域分析。图 5 显示了 BCCH (广播信道) 的时域信号、星座图，以及 EVM 在时域中的分布图形。

图中左上角是时域中 TD-SCDMA 信号的总揽图，分析时可以设置调制域或频域分析的位置及长度 (Spectrum Length/Spectrum Offset, Analysis Length/Analysis Offset)。在调制域分析中，BCCH 的 Midamble 部分及 DwPTS 部分为一个码道，因此星座图为标准星座图，而 BCCH 数据部分则为两个码道，因此显示出的星座图两个码道的组合星座图。

此外，还可以观测时域中的 I/Q 信号以及眼图等。

## 应用案例集—民用通信

### ■ 应用指南

#### 差分 I/Q 输入矢量信号分析

通过差分 I/Q 输入直接测量差分 I/Q 输入是 3G 终端设计人员常见的要求,而提供此功能的矢量分析仪非常少见。通过差分 I/Q 输入使得我们可以在基带板与射频板联调以前分开来测试相应部分,同时也可以在有射频板时,通过对比从仪器射频输入解调的信号与终端射频板解调出的 I/Q 信号而发现终端射频板存在的问题。

I/Q 信号的分析与直接在仪器中从射频解调的矢量信号完全一样,可以进行时域及调制域的分析。

RSA3408A 的 I/Q 信号的输入阻抗为 50 欧姆,而一般终端基带的输出阻抗一般较高(后级要接 A/D, A/D 的输入阻抗很高),因此一般需要在终端的基带板上进行阻抗变换,这需要在设计基带板时加以考虑。

#### 结束语

RSA3408A 实时频谱仪的实时信号分析功能给突发信号的测试带来方便,可以方便地记录较长时间的数据并加以分析,对研发各个阶段的问题的侦测提供了重要的手段,在实际运营中为在室外衰落环境下对功率控制,测量,切换的调测提供了方便。

#### 参考文献

[1] Tektronix, RSA3408A 用户手册

## RSA3408A 在 TD-SCDMA 三载频调测中的应用

**廖雄斌** 普天信息技术研究院

**廖国威** 北京邮电大学

**摘要:** 本文介绍了利用 RSA3408A 实时频谱仪测试 TD-SCDMA 中三载波的方法,特别是利用实时信号分析的功能来观测 TD-SCDMA 三载波信号,并利用 RSA3408A 实时频谱仪提供的灵活的频域、调制域、码域分析能力,方便地把仪器设置为 TD-SCDMA 模式,以解调 TD-SCDMA 三载波信号,完成 3GPP 提出的射频指标在三载波情况下的测试。

**关键词:** TD-SCDMA 三载波 信号分析 星座图 EVM ACLR 信道功率 占用带宽

随着第三代移动通信的发展,TD-SCDMA 因其独特的优势,被国际电信联盟接纳为第三代移动通信标准之一,并相继有众多厂商参与 TD-SCDMA 的研究开发。TD-SCDMA 的专用测试设备也逐渐成熟起来。对于测试来讲,TD-SCDMA 单载波的测试方法较为成熟,能进行 TD-SCDMA 单载波测试的工具也较多,目前较为成熟的仪表有 Agilent 的 E4440+VSA89600,RS 公司的 FS 系列 +FS-K76,TEK 公司的 RSA3408A。但在三载波信号的调测中,RSA3408A 与其他工具相比,具有较大的优势。

TEK RSA3408A 实时频谱仪为一款结合频谱分析功能、调制域分析、时域分析及码域分析功能的多功能无线通信测试仪表,它的实时功能弥补了传统扫频式频谱仪实时性差的缺点,加强了对突发信号的研究,仪表采用大容量的存储器弥补了在测量范围较宽时 FFT 工作模式用时较长的缺点,便于对信号进行长达 10 秒的实时分析,这一功能对于三载波信号的调试与观测极为有利。另外,RSA3408A 的 TD-SCDMA 测试模板中用户可以根据自己的需要来修改测试模板,这样可以进行不同载波的独立测试和组合测试,可以按照协议来测试信道功率、占用带宽、ACLR 等指标。

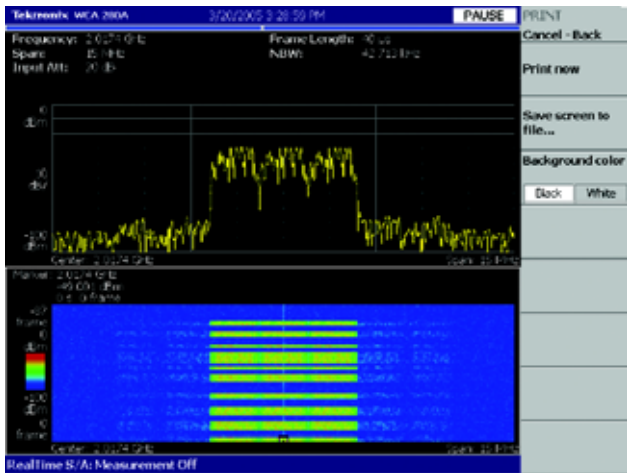
### 三载波实时信号的分析

RSA3408A 具有实时频谱分析的功能,此功能相当于具有几百个分辨带宽滤波器同时工作,被测带宽内几百个滤波器同时进行滤波的结果使得显示出来的信号是实时的,用户可以设定一个时间窗,在此时间窗内的所有信号将会被无缝地显示出来。此功能在 TD-SCDMA 系统三载波的调测中具有非常重要的作用。

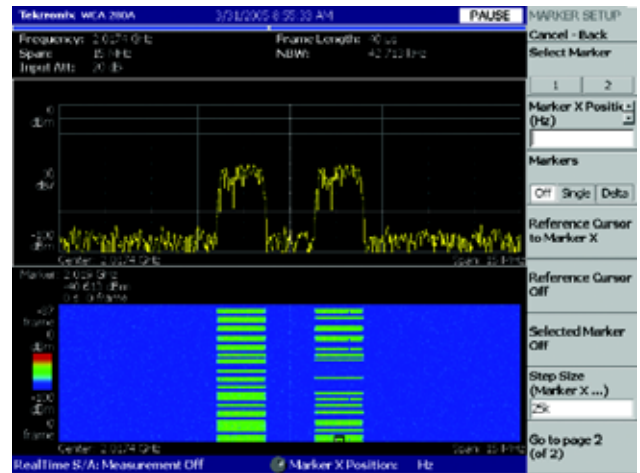
如图 1 所示,图中的上部为频谱图,下部为实时的瀑布图。从频谱图中可以看出连续三载频的频谱,在 TD-SCDMA 系统中,连续三载频的带宽小于 5MHz,单载频的带宽小于 1.6MHz,相邻载频间有很小的频率保护带,这些在频谱图中都很清楚。瀑布图是实时信号的三维图谱,水平方向为频率,垂直方向为时间轴,而信号的颜色则代表功率。从图中可以看出各个载波的功率随时间的变化过程,在瀑布图中颜色浅的线条表示功率较低,颜色深的线条表示功率较高,从颜色的深浅变化可以看出此三载频的功率是逐渐增大的,当增大到最大值后,功率又逐渐减小,这符合 TDD 收发时分的特点;在瀑布图中也可以看出在两个相邻的载频间有一小段颜色较浅的线条,这表示两载频间的频率保护带。

## 应用案例集—民用通信

### ■ 应用指南



■ 图 1. 连续三载频的瀑布图

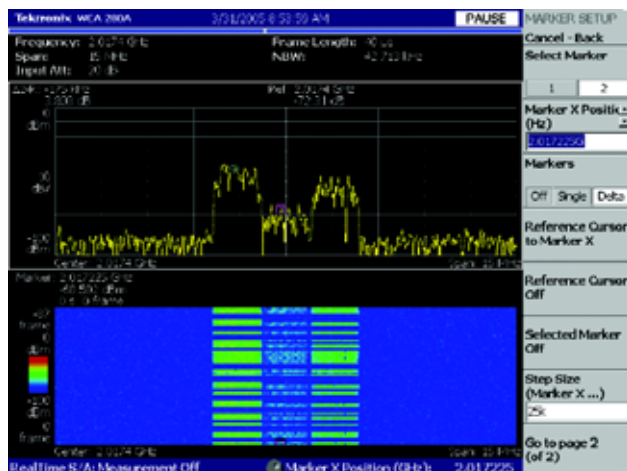


■ 图 2. 关闭中间载频的瀑布图

在三载波调试过程中，如果关闭某个载频，通过瀑布图可以清楚的看到此过程，如图2所示，中间载频的信号被关闭了。

同样，相应的改变各载波的输出功率，从瀑布图上也可以清楚的看出其变化过程，如图3所示，第一载频的功率较强，它的颜色较深，中间载频的功率较低，它的颜色较浅。





■ 图 3. 功率调整的三载频瀑布图

使用 RSA3408A 的实时频谱功能，可以直观的观测三载频的工作过程，这在 NodeB 的三载频联调中是非常有用的工具。

### 三载波信道功率与占用带宽的测试

使用 RSA3408A 可以方便的进行连续三载波的信道功率和占用带宽的测试。在进行测试时，可以将【FREQUENCY/CHANNEL】设置为三载频的中心频点，将【SPAN】设置为 15MHz，将【AMPLITUDE】设置为 Auto Level，将 Sync-DL 设置为与基带信号源一致，



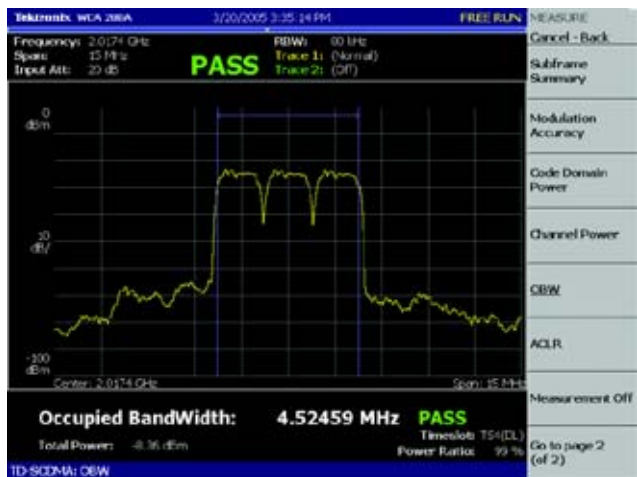
■ 图 4. 连续三载频的信道功率

将 Scrambling Code 设置为与基带信号源一致，设置好收发切换点，将 Measurement Filter Shape 设置为 RootRaisedCosine，将【TRIG】源设置为【Power( Span BW)】，在【MEAS SETUP】中将 Channel Bandwidth 设置为 4.8MHz，进行三载波测试。

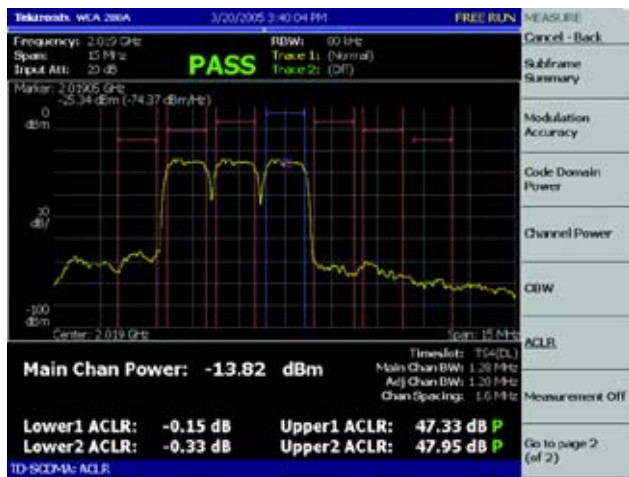
使用 RSA3408A 的 TD-SCDMA 测试模板，就可以进行 TD-SCDMA 信号的连续三载波信道功率和占用带宽的测试，测试结果如图 3 和图 4 所示。

## 应用案例集—民用通信

### ■ 应用指南



■ 图 5. 连续三载频的占用带宽



■ 图 6. 连续三载频右邻道的 ACLR

### TD-SCDMA 三载波信号的 ACLR 测试

RSA3408A 的 TD-SCDMA 测试模板可以进行 ACLR 测试,在系统默认的配置下,可以进行单载频的 ACLR 测试。由于 RSA3408A 为用户提供了测试参数配置模板,所以在进行三载频的 ACLR 测试中,用户可以根据需要适当的修改模板,以满足测试需要。TD-SCDMA 的连续三载波信号的 ACLR 定义为有用信号对邻道信号的比值,第一邻道为边缘载频的中心频率往阻带的方向频偏 1.6MHz,第二邻道为边缘载频的中心频率往阻带的方向频偏 3.2MHz,因此在进行三载频测试时,将测试参数模板进行相应修改。具体的测试过程为:

1. 将测试频率设置为中心频率的右边载频的中心频点。
2. 进入 TD-SCDMA 测试模板,进行 ACLR 测试。
3. 进入【MEAS SETUP】,修改测试参数模板【Limits...】。
4. 修改测试参数,将 ACLR 1st Lower Channel 的 Enable 修改为 No; 将 ACLR 2st Lower Channel 的 Enable 修改为 No。
5. 进行 ACLR 测试,测试结果如图 6 所示。
6. 将测试频率设置为中心频率的左边载频的中心频点。



■ 图 7. 连续三载频左邻道的 ACLR

7. 进入 TD-SCDMA 测试模板,进行 ACLR 测试。
8. 进入【MEAS SETUP】,修改测试参数模板【Limits...】。
9. 修改测试参数,将 ACLR 1st Upper Channel 的 Enable 修改为 No; 将 ACLR 2st Upper Channel 的 Enable 修改为 No。
10. 进行 ACLR 测试,测试结果如图 7 所示。



■ 图 8. 第一载频的调制域测试



■ 图 9. 第二载频的调制域测试

### TD-SCDMA 三载波信号的调制域测试

RSA3408A可以进行TD-SCDMA连续三载频的调制域分析,可以测试EVM与星座图。进行调制域测试时,可以先在三载波的频谱图中读出每个载频的中心频率,然后在进行调制域测试时,将测试的中心频率设置为各载频的中心频点分别进行测试。

将测试频率设置为第一载频的中心频点,测试的EVM与星座图如图8所示。

将测试频率设置为第二载频的中心频点,测试的EVM与星座图如图9所示。

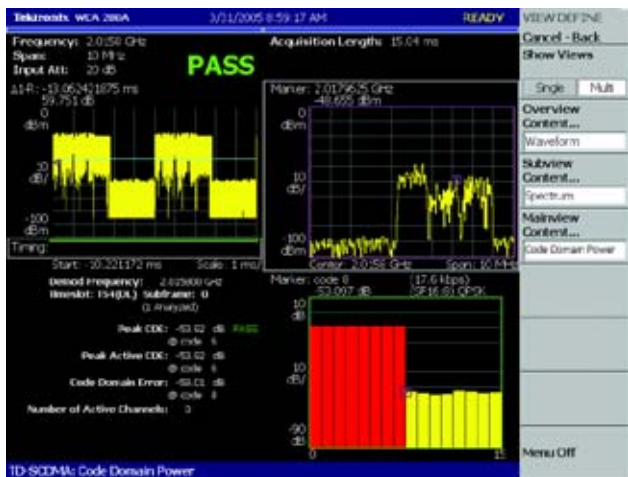
将测试频率设置为第三载频的中心频点,测试的EVM与星座图如图10所示。



■ 图 10. 第三载频的调制域测试

## 应用案例集—民用通信

### ■ 应用指南



■ 图 11. 第一载频的码域测试



■ 图 12. 第二载频的码域测试

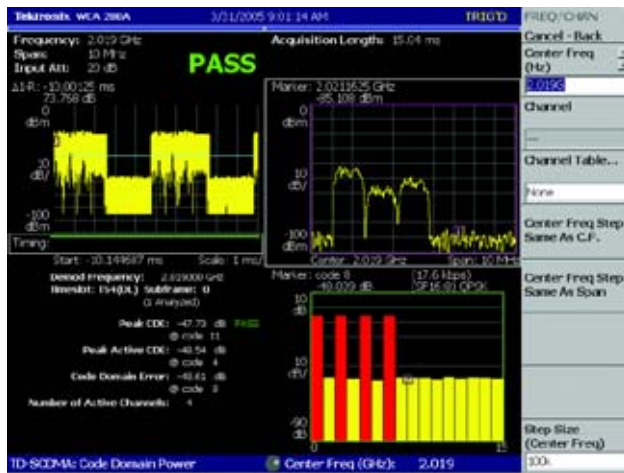
### TD-SCDMA 三载波信号的码域分析

RSA3408A 可以进行 TD-SCDMA 连续三载频的码域分析，可以测试各码道的码道功率和峰值码域误差。进行联调时，可以直观的观测各载波的码道配置情况，这对基带与射频的联调是非常重要的工具。进行码域测试时，可以先在三载波的频谱图中读出每个载频的中心频率，然后在进行码域测试时，将测试的中心频率设置为各载频的中心频点分别进行测试。

将测试频率设置为第一载频的中心频点，测试的 PCDE 与码道配置如图 11 所示。

将测试频率设置为第二载频的中心频点，测试的 PCDE 与码道配置如图 12 所示。

将测试频率设置为第三载频的中心频点，测试的 PCDE 与码道配置如图 13 所示。



■ 图 13. 第三载频的码域测试

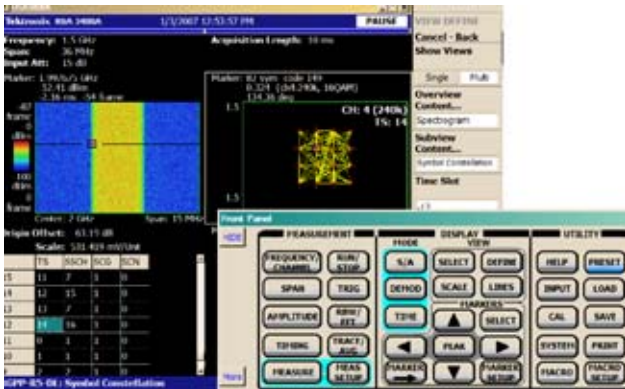
### 结束语

RSA3408A 实时频谱仪的实时信号分析功能给三载波信号的调试带来方便，可以方便地观测三载波信号的过程，为集成调试提供了重要的手段。RSA3408A 可以测试三载波的信道功率、占用带宽、ACLR、PCDE、EVM，方便的完成 TD-SCDMA 三载频信号的集成测试，这是 TD-SCDMA 三载频无线指标测试的较成熟的工具。

### 参考文献

[1] Tektronix, RSA3408A 用户手册

## RSA6000 和 RSA3000 系列 RSAVu 离线分析软件



### 概述

RSAVu 软件可以在个人 PC 上离线分析泰克实时频谱分析仪 (RTSA) 捕获的数据, 该软件为用户提供了 RSA3408A 软件选件中同样的解调和分析功能。从 3G 无线标准到最新 RFID 制式, 设计人员可以使用 RSAVu 软件分析信号, 而无需连接 RTSA 硬件。该软件支持并可分析从 RSA6106A、RSA6114A、RSA3408A、RSA3308A 和 RSA3303A 实时频谱分析仪上捕获并保存的数据文件。

该软件还支持一个远程接口, 可以在自动测试环境中执行数据分析。用户可以以编程方式加载 RSA 数据文件, 提取解调参数, 最大限度地减少一致性测试和应力测试所需的时间。

### 主要特点和优点

#### 编程接口

- 集成测试执行程序, 自动进行一致性和应力测试
- 通过 GPIB/LAN 存取测量结果
- 批处理数据文件, 而无需连接采集硬件

#### 离线信号分析

- 分析频率、幅度和调制随时间变化
- 通用 3G 测量能力, 支持 W-CDMA、cdma2000、1xEVDO、HSUPA、HSDPA、射频信号及调制分析
- 通用数字调制分析
- 802.11a/b/g/n 测量套件

- 多域分析, 支持在频域、时域、码域和调制域中全面分析信号
- 码域图为分析各个代码功率随时间变化提供了简单的图形方式
- 增益比为分析上行中的 Beta 比率提供了简单的图形方式(需要选件 27、选件 23 和选件 40)
- W-CDMA 压缩模式, 分析 W-CDMA 和 GSM 之间的切换
- 空中接口关键信令分析, 检查基站和终端设备之间的交互
- HSDPA 上行 ACK/NACK 和 CQI 分析(需要选件 27 和选件 23)
- HSUPA 上行 DPCCH、HS-DPCCH、E-DPCCH 信令分析(需要选件 27、选件 23 和选件 40)
- Release 6 下行 E-RGCH、E-HICH 和 E-AGCH 信令分析(需要选件 27、选件 23 和选件 40)
- 轻松捕获并分析 RFID 读写器查询和标签响应信号
- 信号源分析测量选件简化相噪、抖动和频率稳定测量
- 简便地配置和分析 IEEE 802.15.4 (Zigbee) 信号
- Project 25 一致性测量 C4FM 调制分析<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 仅在 RSA3000 系列上提供

### 应用

- W-CDMA
- HSUPA
- HSDPA
- GSM/EDGE
- CDMA2000 1x
- CDMA2000 1xEV-DO
- RFID
- 相噪
- 抖动
- IEEE 802.11 a/b/g/n WLAN
- IEEE 802.15.4 OQPSK (Zigbee)
- P25 (C4FM 信号分析)
- 数字调制分析

## 应用案例集—民用通信

### ■ 应用指南

#### 订货信息

##### **RSAVu**

它是实时频谱分析仪系列的离线分析软件。基本版的RSAVu软件在泰克网站上免费提供([www.tektronix.com](http://www.tektronix.com)), 其能够执行各种时间和频率测量及在保存的数据文件上进行I/Q时间测量。基本版还包括对AM、FM和PM调制信号的模拟解调功能。

用户可以额外购买基于无线标准开发的数字解调功能的选件。

##### **选件**

- 选件 21 – 离线调制分析 – 高级测量套件
- 选件 23 – 离线调制分析 – W-CDMA 上行分析
- 选件 24 – 离线调制分析 – GSM/EDGE
- 选件 25 – 离线调制分析 – CDMA2000/1X
- 选件 26 – 离线调制分析 – 1x EVDO
- 选件 27 – 离线调制分析 – HSDPA 3GPP Release 5
- 选件 29 – 离线调制分析 – IEEE 802.11a/b/g/n
- 选件 40 – 离线调制分析 – HSUPA 3GPP Release 6

##### **RSAVuUP**

它是RSAVu软件的升级版。在升级以前购买的硬件密钥时, 至少要订购下面一个选件。

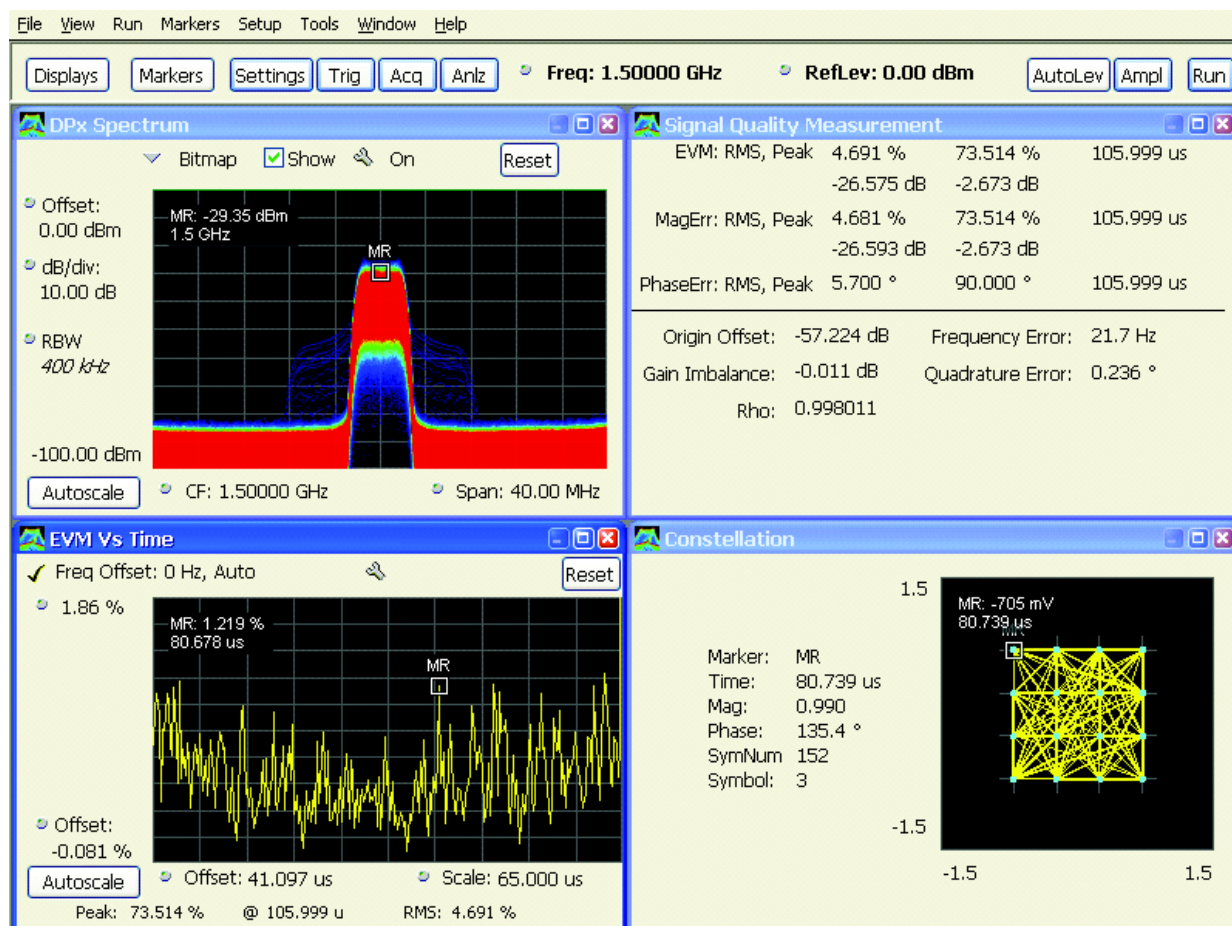
#### 升级选件

- 选件21 – 对USB硬件密钥重新编程, 增加选件21– 高级测量套件
- 选件23 – 对USB硬件密钥重新编程, 增加选件23– W-CDMA 上行分析
- 选件 24 – 对 USB 硬件密钥重新编程, 增加选件 24 – GSM/EDGE
- 选件 25 – 对 USB 硬件密钥重新编程, 增加选件 25– CDMA2000/1X
- 选件26 – 对USB硬件密钥重新编程, 增加选件26– 1x EVDO
- 选件 27 – 对 USB 硬件密钥重新编程, 增加选件 27– HSDPA 3GPP Release 5
- 选件 29 – 对 USB 硬件密钥重新编程, 增加选件 29– IEEE 802.11a/b/g/n
- 选件 40 – 对 USB 硬件密钥重新编程, 增加选件 40– HSUPA 3GPP Release 6

#### PC 推荐配置

- 兼容 Pentium 的处理器 – >2.4GHz 和>500 MB RAM
- Microsoft Windows XP
- 100 MB 空闲硬盘空间
- 提供 USB 接口— 用于硬件许可密钥

## 使用实时信号分析技术进行软件定义的无线电测试



### 引言

软件定义的无线电(SDR)正在推动数字信号处理(DSP)和射频(RF)功能相集成。这种集成允许软件动态控制各种通信参数,如使用的频段、滤波、调制类型、数据速率和跳频方案。军事应用和政府应用及商用网络部署中使用的无线设备内都可以看到 SDR 技术。

与传统 RF 收发机技术相比,SDR 拥有独特的优势,因为它提供了更高的灵活性。SDR 可以在空中重新配置

关键系统性能和功能。

但是,软件无线电引入了传统无线设计中没有的一系列新问题。本应用指南进一步介绍了泰克应用指南:“**软件定义的无线电:设计软件通信结构(SCA)标准无线电的一种综合测试方法**”中介绍的基本原理。我们将考察与常见的发射机设计问题及怎样使用实时频谱分析仪(RTSA)简便地识别和诊断这些问题有关的具体实例。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南

#### 什么是 SDR?

SDR 是其操作由软件控制的一种通信设备。其对物理层最明显的影响之一是，强健的 SDR 设计中的硬件要求在广泛的工作参数上实现全面的灵活性和高性能，以满足软件需求。

越来越多的 RF 设备设计成由软件控制，这改变了设计要求，需要新的测试方法。除通过网络控制工作频率外，更加先进的 SDR 可以动态控制调制方案、跳频模式、功率电平、滤波、编码方案和数据速率。这种提高的复杂性不仅带来了 RF 设计挑战，也改变了 RF 测试的特点。软件现在定义了模拟/RF 性能测试，除物理层测试性能外，软件回归测试中也必须考虑进行连续的模拟 RF 测试。例如，传统发射机测试作为固态数量测量功率、调制、频谱占用和干扰。RF 测试必须是 SDR 测试不可分割的组成部分。

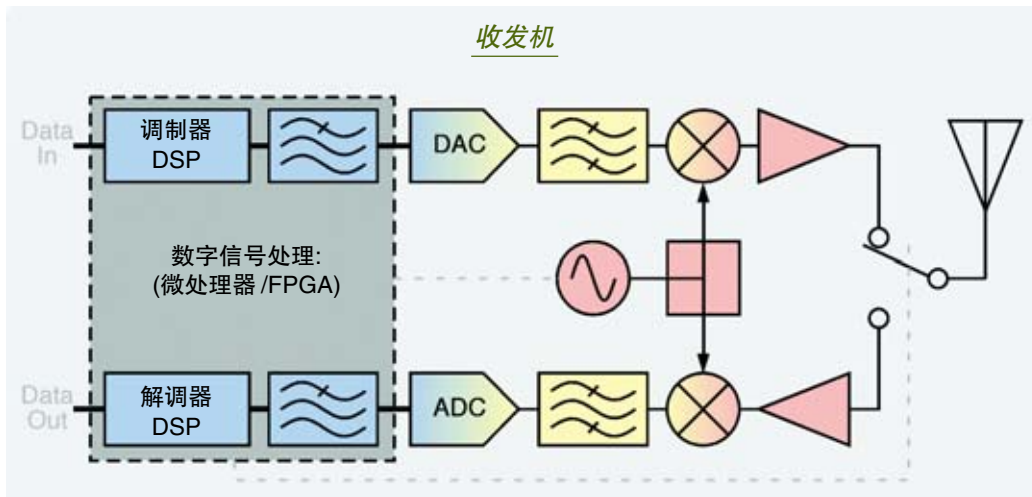
SDR 设计人员必须设计适应性强得多的器件。这一目标及生成财务上可行的器件的需求相结合，正在迫使设计人员使用不同的方法。这些环境导致了“数字 RF”的出现，其设计在很大程度上通过全面采用 DSP 在软件中实现。此外，设计人员正在使用数字校正技术，简化设计。许多技术如从数模转换器(DAC)输出直接上变频到 RF，允许集成多得多的模拟硬件，提供了更大的灵活性和适应能力。

通过 DSP 动态生成 RF 波形及数字电路和 RF 电路相集成(通常在同一 IC 上)，产生了传统 RF 收发机设计中看不到

的问题。此外，必须使用超出传统 RF 发射机一致性测试的测量功能，检验 SDR 发射机的性能，包括软件回归测试。仅仅通过一致性测试并不能保证器件正确工作；必须认真全面地观察系统行为，因为软件正在持续改变系统参数。这些软件控制的变动通常会导致毛刺、间歇性干扰、脉冲畸变、数字到 RF 耦合及软件相关的相位误差。

为真正解决这一系列新的瞬变和问题，SDR 系统设计人员必须全面分析和检定自己的系统。在系统参数随着时间变化时，必需执行选频触发，确定瞬变事件发生的时点。瞬变信号事件可能包括没有对准的滤波或增益变化、软件中的竞争条件等等，其会导致频谱异常事件。必须执行多域时间相关分析，确定每个问题的具体成因。此外，把整个事件无缝捕获到存储器中对后续深入分析具有重要意义，因为很难重建发生触发的条件。这些检验信号性能随时间变化的高级调试方法与传统静态一致性测试相结合，对有效执行 SDR 测试至关重要。





■ 图 1. 典型 SDR 收发机实现方案的功能方框图。

### 收发机测试

如前所述，有许多方式实现 SDR。为最大限度地降低 SDR 的复杂度，设计人员将选择实现要求的功能所需的最低数量的元件。以 SDR 收发机为例，发射元件可能包括：

- 功放器
- 混频器
- DAC
- 频率振荡器
- DSP 电路

在接收机一侧，要进行类似的折衷，以最大限度地降低复杂性，同时仍实现要求的功能。元件可能包括：

- 低噪声放大器
- 混频器
- ADC
- 频率振荡器
- DSP 电路

图1是收发机简化的功能方框图，其中没有数字中间频率(IF)或数字RF。注意，这个图中的每个方框既可以通过软件控制，也可以完全在软件中实现。

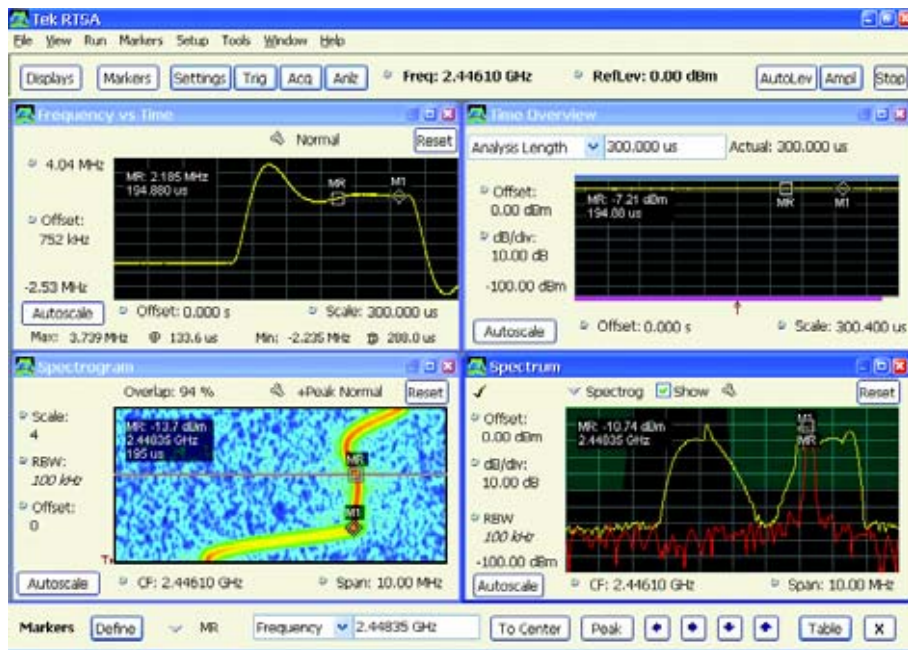
检验典型 SDR 收发机的性能要求采用综合测试战略，把沿着发送/接收链不同点上进行的测量关联起来。例如，可以通过 RTSA 的频率模板触发(FMT)捕获间歇性信号。RTSA 可以使用与频率模板违规的事件作触发条件，然后同时可以输出一个触发信号触发逻辑分析仪和示波器，允许用户查看相关信号的数字特点和模拟特点。通过使用这种方法，设计人员可以确定逻辑电路或模拟控制电压中是否发生与频域违规相关的某个事件。除通过高级触发弥补数字/RF 鸿沟外，RTSA 可以在相关的时域、频域和调制域中分析和显示信号。

### 超越固态一致性测试

SDR测试本身包括传统发射机测试。无线电每种不同的可能配置都必须符合传统规范，如占用带宽、通道功率和邻道功率。对采用时分双工或时分复用的系统，存在着定时要求，如上升时间和下降时间。与传统发射机不同，SDR 器件必须在更加广泛的工作模式下通过这些测试，这提高了一致性测试的复杂性。可以在空中配置软件则增加了新的测试内容。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南



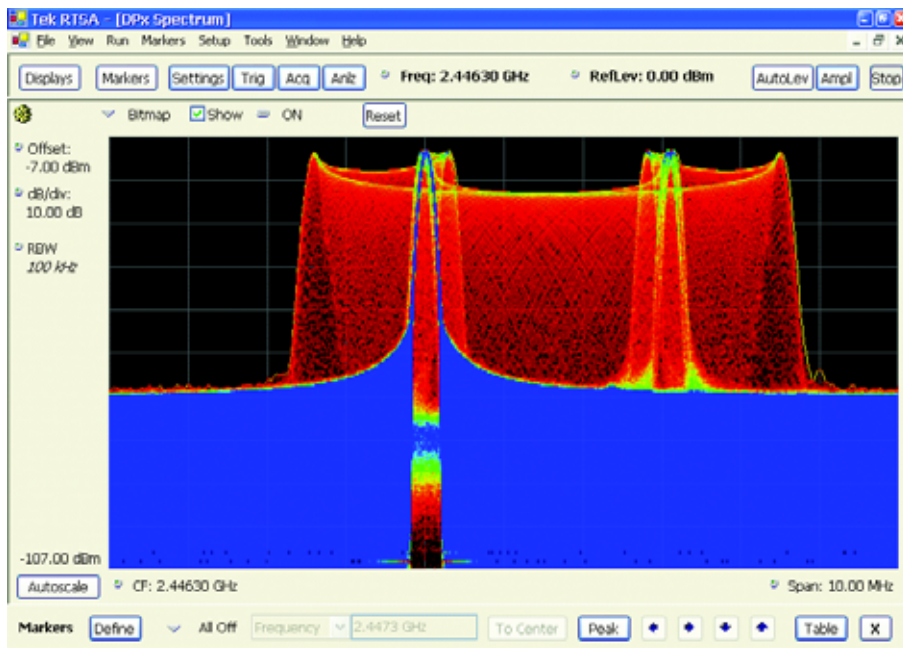
■ 图 2.使用泰克 RSA6100A 系列 RTSA 测得的 PLL 的频率稳定时间。在启动光标时，所有测量在所有域中自动相关。

调制质量测量也是一致性测试的重要组成部分。对数字调制的信号,其通常包括矢量幅度误差(EVM)或相关功率(RHO)测量。此外,支持模拟模式的 SDR 设计必须通过一致性测试。调制质量既是一致性测量指标,也是系统性能问题。EVM 差会降低数据速率、语音传输清晰度和发送范围。EVM 指标还可以洞察潜在的发射机问题。基于这些原因, EVM 是调试 SDR 时首先要考虑的指标之一。

遗憾的是,单纯的一致性测试并不足以保证 SDR 正常工作。为实现网络灵活性,每个 SDR 器件必须随时间变化来改变重要的工作参数,以跟上网络需求。当然,所有这些变化都由软件控制的收发机硬件实现。因此,帮助捕获

可能的 RF 毛刺、瞬变和其它异常事件的工具至关重要。确定哪个元件导致了问题也是一个重大任务,要求采用全面的调试战略。为使器件和网络正常运行,必需考虑新的测试方法,帮助检定和分析 SDR RF 链路怎样随时间变化。

RTSA 为 SDR 调试提供了强大的功能。首先,必需发现物理层中存在的问题。这些瞬变事件发生得可能非常快,在其随时间变化时,设计人员必需能够在频域中观察到这些事件。如图 2 中的实例所示,可以使用 RTSA 的频率随时间变化的测量结果,直观地观察锁相环(PLL)的稳定时间。在发现问题之后,RTSA 允许用户在



■ 图 3. RSA6100A 上的 DPX 显示屏显示相同的 PLL 稳定时间测量结果。由于 DPX 显示统计信息,因此可以查看信号特定的随时间变化的特点。与任何其它频谱分析仪不同, RSA6100A 通过 DPX 非常清晰地显示了这种信号之间的关系。

时间相关的多个域中触发、捕获和分析相关信号。这种超越纯粹一致性测试的能力对检定和调试动态信号必不可少。

### 发现

传统上一直用于高级示波器的 DPX™ 数字荧光显示技术已经应用到 RF 领域中,泰克 RSA6100A 系列 RTSA 现在已经采用了这种技术。DPX 第一次允许用户查看“实地 RF”信号,为查看 RF 信号行为提供了无可比拟的能力。

在图 3 中,采用 DPX 的 RTSA 显示了每隔 1.28 秒发生

一次跳频。这个信号在新频率上的驻留时间约为 200  $\mu$ s。在跳频后,信号返回原始频率。在 DPX 显示屏中可以清楚地看到跳频、过冲和振铃。这种信号洞察力在传统频谱分析仪中几乎是不可能的,因为传统频谱分析仪没有任何方式可靠地捕获这部分信号进行分析。信号功率电平变化太小,使用传统频谱分析仪不能可靠地触发信号,而在 DPX 显示屏上则可以直接看到这些信号。在 SDR 领域,DPX 为迅速评估信号的“RF 健康状况”提供了一种全新的方式,帮助保证优质设计和器件可靠运行。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南



■ 图 4. 可以任意绘制 FMT，捕获发生频次低的事件。在本例中，可以以一致的方式触发发生频次低的跳频。这种独特的功能特别有助于调试间歇性问题。

### 触发

一旦使用 DPX 识别了毛刺或瞬变，RTSA 的 FMT 可以可靠地捕获信号进行深入分析。如图 4 所示，用户可以定义频率模板，可以绘制频率模板，最好地捕获信号。在发生频次低的跳频实例中，用户可以定义模板，触发频率漂移，而不是企图触发功率变化，因为在发生这个毛刺期间

功率并没有变化。DPX 显示屏演示了信号跳到约比感兴趣的信号高 3 MHz 的频率上。频率模板定义为这个信号周围的包络，一旦信号进入频率模板区域，仪器会触发。

## 捕获

在上面的实例中，为分析捕获的数据记录长度是900 $\mu$ s。RTSA的最大实时带宽是110 MHz，其最大捕获时间约为1.7秒。这为捕获SDR中遇到的大多数信号毛刺和瞬变提供了足够的时间。可以多次重用捕获的文件，由多个用户进行分析，支持变化的测量设置，而不必重新采集数据。

## 分析

如果只是报告测量失败，那么仪器的用途有限。而能够确定为什么报告失败尤为重要。在某个时点深入分析信号数据对确定当时发生的其它情况至关重要。能够确定当时在哪里发生了异常事件是多域相关分析的一个明显优势。RTSA提供了这种能力，因为它捕获长时间记录，涵盖了很宽的频率带宽。例如，如果对数字调制的信号观察到很高的EVM值，那么用户还可以进入频域，确定是否有意想不到的漂移，其可能源自PLL稳定时间太长。由于SDR器件拥有那么多通过软件控制的可能模

式变化，因此必须以足够的强健性设计RF硬件，保证其在所有条件下正确运行。通过多域分析，RTSA为测量硬件强健性提供了一种手段，允许开发人员确定某个时点的信号问题，关联测量结果。

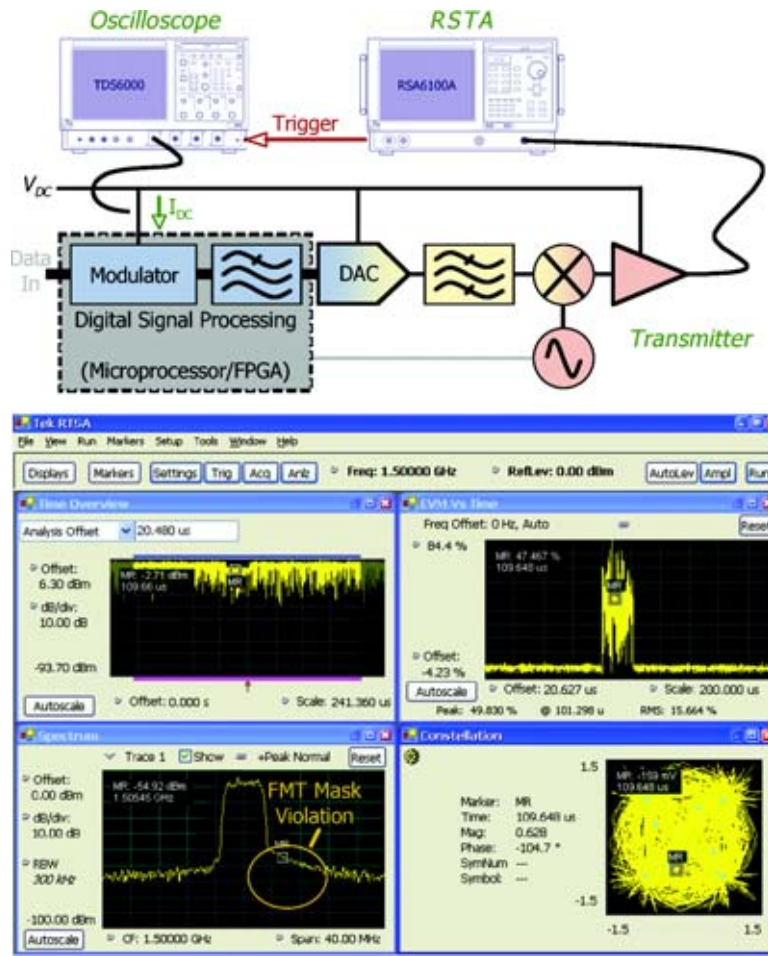
## 应用实例

### 影响RF输出的电源衰落

DSP行为导致的电源衰落可能会影响RF输出。SDR设计通常包括一个中央处理单元(CPU)和一个FPGA。数字元件消耗的电流数量与执行的代码有关。结果，某些代码段可能会对CPU提出很高的需求，导致瞬时电源波动。此外，能够同时发送(Tx)和接收(Rx)的收发机通常会执行复杂的DSP操作，这些操作取决于收到的信号内容。这可能会影响模拟RF发射机链的偏置电压，特别是在电池供电的器件中，其源于信号质量异步瞬时丢失。因此，设计人员希望查看发射机输出怎样随时间变化，同时监测各种电源电压，并把结果关联起来。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南



■ 图 5. (上) 文本设置，显示了在示波器上捕获信号的 RTSA FMT 输出。(下) 捕获记录的多域视图，显示了(从左上方屏幕顺时针方向)功率对时间、EVM 对时间、星座图怎样相关以及与 FMT 一起显示的频谱。在本例中，可以看到在电源电压暂降时，EVM 提高。

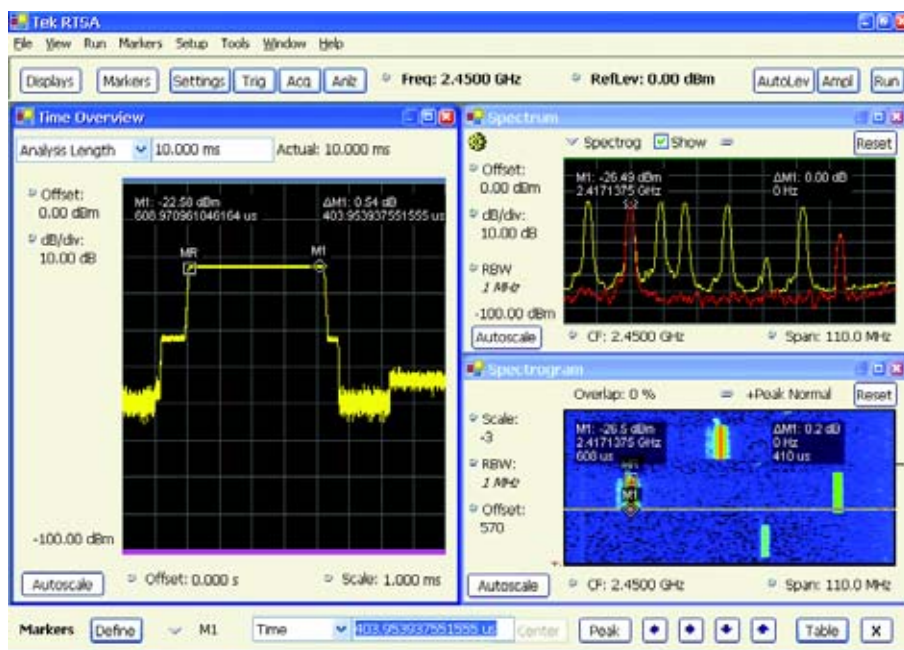
一种方法是使用示波器触发电流波动，使用触发输出发起 RTSA 或 VSA 信号捕获，观察发射机输出。这种方法的缺点是电流波动可能会、也可能不会实际导致 RF 问题，因此会出现许多误触发。RTSA 使用 FMT 提供了另一种可能更有用的方法。把频率模板触发设置在发送频谱附近，可以捕获瞬时频谱再生跳动，触发 RTSA 和并利用示波器捕获。由于电源衰落会给频谱再生带来负面影响，因此只捕获改变发送频谱的事件进行分析，消除了误触发。同时可以查看时间相关的 RTSA 功能，如 EVM 对时间、频率对时间、相位对时间、功率电平对时间、CCDF、ACLR 或频谱图，确定 RF 输出变化与 DSP 供电要求和信号质量

的关系。在这个屏幕图中，我们看到电源衰落导致 EVM 明显提高。独特的 FMT 功能和时间相关多域分析可以轻松找到异步 DSP 导致的事件。

### 跳频和发射机测试

许多系统中都使用跳频，包括软件定义的系统。使用跳频的主要原因有三个：

- 避免检测
- 避免拥堵和干扰
- 改善拥有多路径和衰落的环境中的性能



■ 图6. 蓝牙®跳序列, 包括(从左面顺时针方向)时间概况、频谱图中某个时点的频谱轨迹及频谱图画面。这可以在跳序列期间进行特定测量, 并为用户提供了一种方式, 可以通过DPX在多个域中使用时间和/或频率自动相关的标尺迅速识别问题。

跳频与编码结合使用, 在广泛的频率上扩展信息。这提高了系统的强健性, 因为数据在多个频率上冗余发送。如果某个频率发生拥堵, 系统可能只会丢失在该频率上发送的信息, 而不是整条数据流。可以使用纠错解码, 恢复在拥堵的跳过程中丢失的数据。

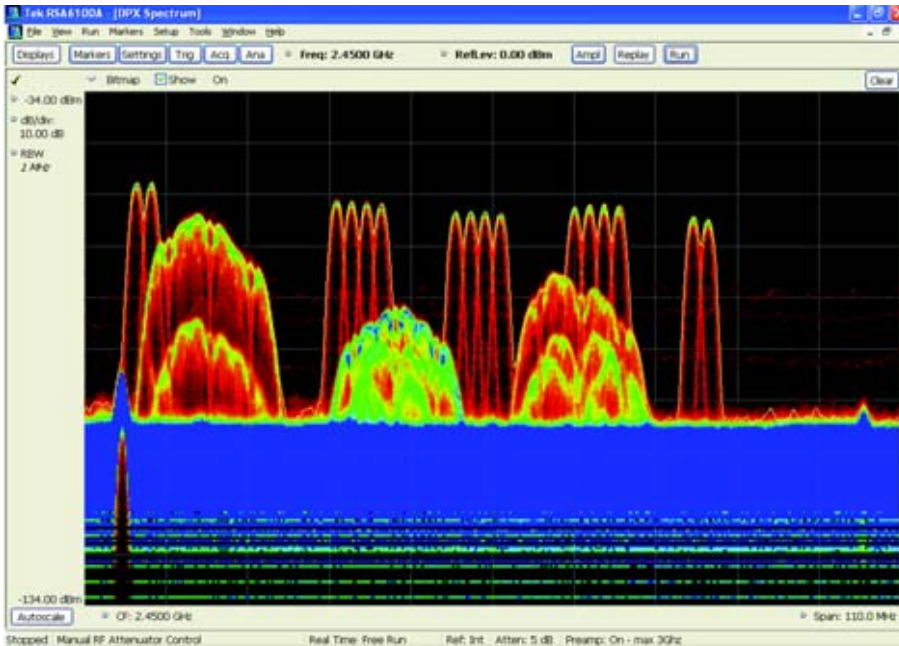
除常见的跳频时间、频率稳定时间和幅度稳定时间测量外, RTSA还可以执行多种其它测量, 调试跳频无线电。跳频涉及频域、时域和调制域交互。能够以相关的

方式显示这三个域在调试SDR器件中提供了宝贵的工具。

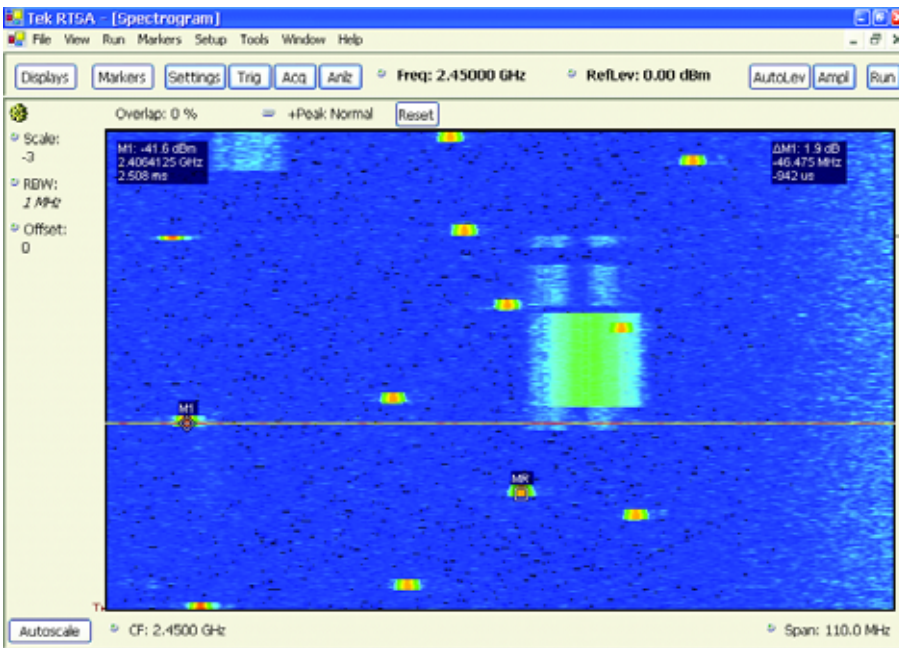
在图6中, 显示了一个蓝牙®信号。RTSA的频谱图(右下方)显示了频率行为随时间变化情况。可以看出, 在这些跳周围有很高的频谱能量。在这种情况下, 在发生跳频时, 发射机可能会干扰相邻器件。捕获跳频使用的仪器必需有足够宽的实时带宽, 以捕获大部分跳序列带宽及其周围发生的频率散射。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南



■ 图 7. 110 MHz 跨度的 DPX™，显示了 2.4 GHz ISM 频段。这里的信号与图 7 中显示的信号类似。现在使用 DPX™ 显示信号，可以看到真正信号行为的实地 RF 表示。

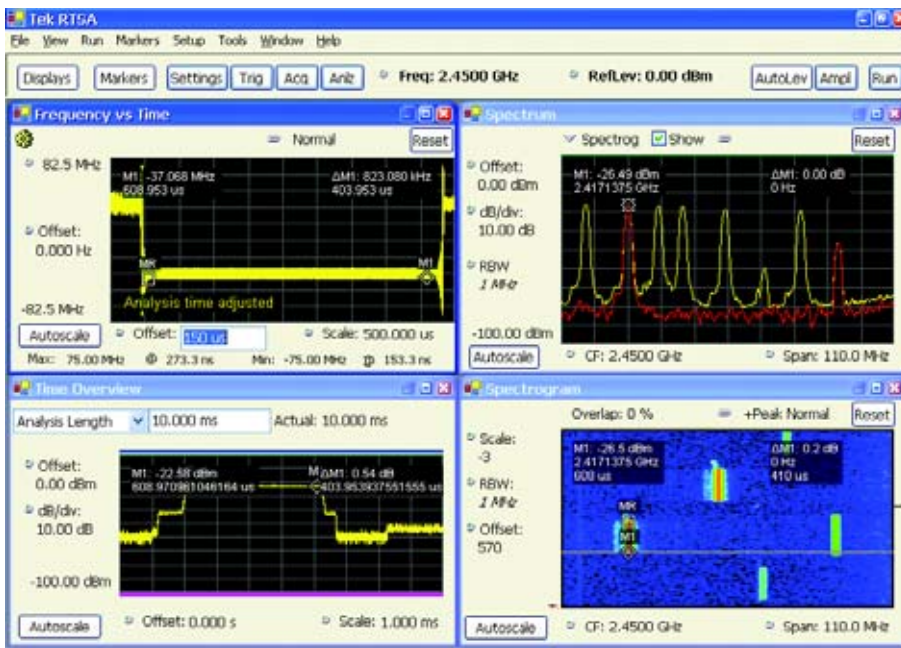


■ 图 8. 110 MHz 跨度的频谱图，显示了 2.4 GHz ISM 频段。在本例中，可以看到蓝牙器件跳频，标尺设置成测量跳之间的时间间隔。此外，在显示屏中间，存在一个 20 MHz WLAN 信号。需要指出的是，在 WLAN 信号期间发生蓝牙跳频；WLAN 信号的干扰可能会使其不能识别。



尽管蓝牙不一定使用软件无线电实现,但它可以很好地说明在试图实现跳频系统时面临的挑战。对大多数跳频系统来说,能够测量每个跳频十分重要。例如,蓝牙规范要求79个跳频中的每个跳频(1 MHz 通道间隔)位于特定值的75 KHz 范围内。这保证不同制造商的器件之间正确互操作。对这一测量,用来测量跳序列的仪器必须涵盖整个跳频范围。在2.4 GHz ISM 频段中,RSA6100A的110 MHz实时带宽足以涵盖整个83 MHz 频段,同时还会检查带外干扰。图7是在存在20 MHz WLAN信号时蓝牙器件的DPX™画面。图8是蓝牙器件跳频的频谱图。图9是蓝牙信号在某个时间间隔内的跳

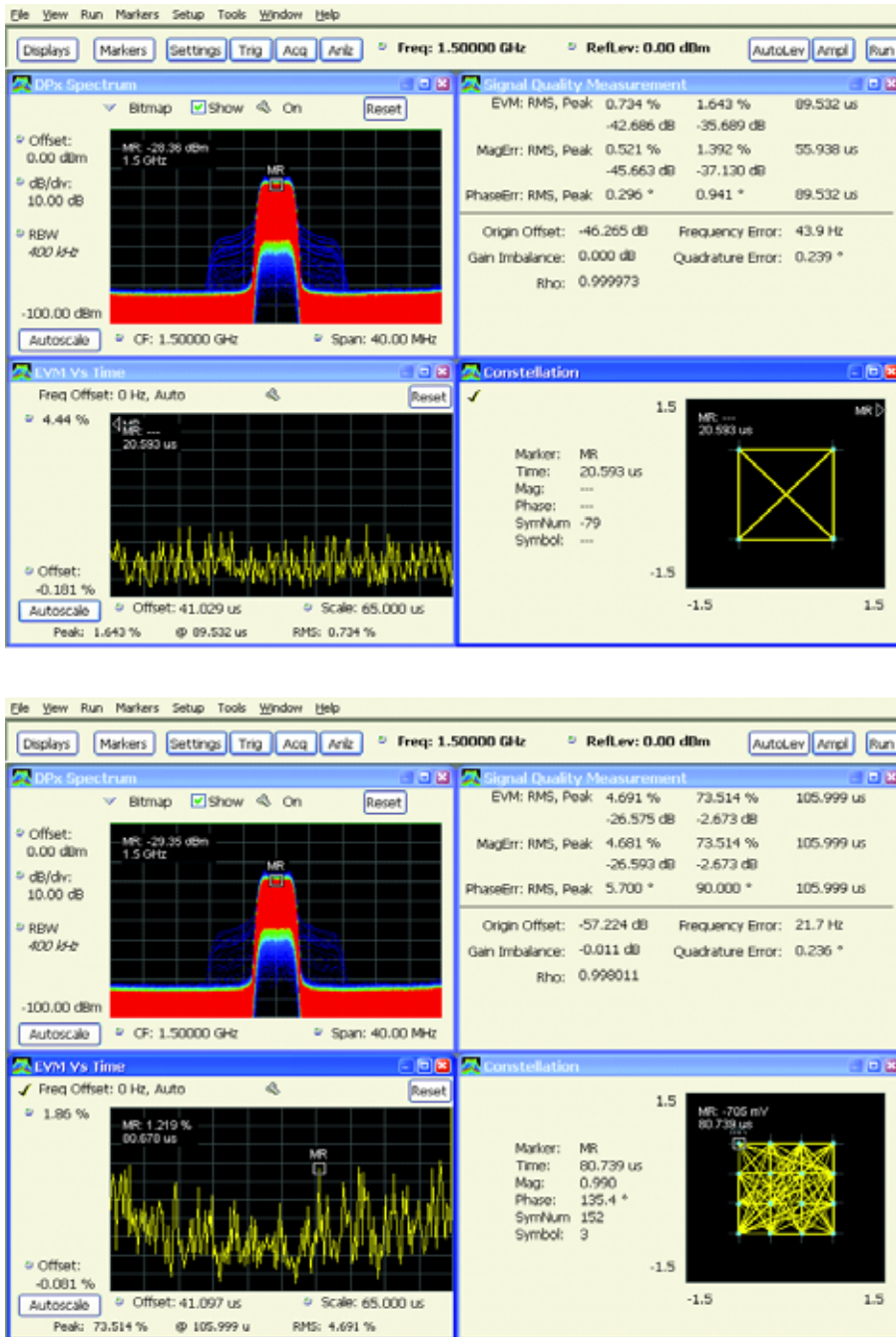
序列。现在是多域视图,测量特定的信号交互。图9中的频谱图显示了蓝牙和WLAN信号交互的定时信息。由于RSA6100A的高性能带宽,它可以分析跳序列,在每个跳频上执行频率稳定时间测量(110 MHz 实时带宽时定时分辨率为6 ns),支持最低60 ns 的稳定时间。在进行频率稳定时间测量时,在仪器的时间分辨率和频率分辨率之间存在矛盾。对非常宽的频率跨度,可以改善定时分辨率,但会降低频率对时间显示画面的频率分辨率。



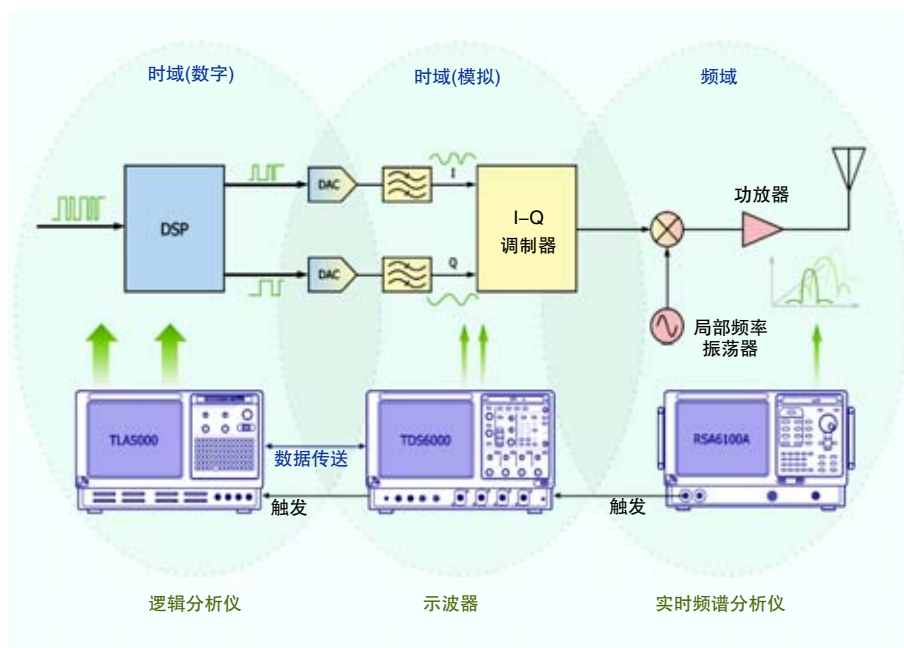
■ 图9. 蓝牙跳序列, 包括(从左上方顺时针方向) 110 MHz 跳序列的频率对时间、包括某个时点上红色频谱图轨迹的频谱、功率对时间概况和频谱图。

# 应用案例集—综合应用

## ■ 应用指南



■ 图 10. 同一信号内部的两中调制方案。对每个画面，都可以看到 EVM 对时间和信号质量。RSA6100A 在一次捕获中，可以分析采用的每个调制方案。DPX 很好地表明了存在瞬变。在有毛刺或瞬变事件(如调制变化)时，将看到更高的邻道本底噪声。



■ 图 11. 从数字比特级到 RF 元件级交叉触发多部仪器和端到端分析的典型设置。可以触发多部仪器，显示每个不同域中信号参数变化带来的影响。

### 调制变化导致的瞬变

许多现代通信系统中使用自适应调制和编码方案。例如，在 3GPP HSDPA 中，系统的协议根据衰落环境和网络负荷决定着是使用 16-QAM 还是使用 QPSK。这些调制方案可能会逐帧变化。在图 10 中，显示了信号从 QPSK 变成 16-QAM 的影响。在本例中，左上方的 DPX 显示屏持续监测信号，信号在 QPSK 和 16-QAM 之间来回变化。DPX 显示屏蓝色的肩部表明邻道性能在哪里明显劣化。在此期间，可能存在着邻道功率指标违规。这里，DPX™ 显示了由于调制格式变化(在 EVM 中表现为偏差)而导致存在一个毛刺。

### 电路板上的其它器件导致的串扰

RF 设计正演进到硅片实现方式，以提高集成程度。这降低了成本，缩小了 RF 收发机尺寸。在某些情况下，大

多数 RF 设计在数字域中实现，最后直接转换成 IF，以最大限度地降低对昂贵的模拟 RF 硬件的需求。这迫使高速数字元件距 RF 元件的距离进一步拉近。在计算机、CPU 和总线中，工作频率和谐波正接近 RF 发送和接收频率。例如，许多 CPU 在 ISM 频段中部署的许多消费电子使用的 2.4 GHz 频率上或其附近工作，包括计算机自己的集成无线局域网和蓝牙器件。如果隔离不当，那么在这些系统之间可能会出现串扰或干扰。为隔离这些问题，跟踪通过感兴趣的 RF 接收和发送路径的信号非常重要，以识别哪里发生干扰。RTSA 可以捕获信号路径的 RF 部分和 IF 部分的信号，逻辑分析仪则可以捕获数字基带信号，并把它与 RTSA 生成的符号表进行比较。图 11 显示了这类分析的典型测试设置，为典型 SDR 收发机链提供了综合端到端测试解决方案。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南

#### 瞬变失真效应

大多数 SDR 工作的核心目标是改善功耗和降低成本。许多设计人员转向以数字方式增强的 RF 功放器(PAs)，以改善效率，降低成本。与过去常用的线性功放器不同，面向 SDR 的许多功放器高度非线性，依靠 DSP 满足性能要求。目前使用的技术有几种，这些技术既可以单独使用，也可以结合使用：

- 降低波峰系数的技术 – 在数模转换器前分析以上变频为目的的数字 IQ 流。可以识别峰值，故意使信号失真，降低峰值均值比。通过少量提高发送的 EVM，就可以大幅度提高波峰系数。
- 数字预失真 – 作为工厂校准的一部分，学习功放器的非线性特点。然后使用这些特点，在数模转换之前使数字 IQ 流预失真，以便使功放器提供正确输出。
- 数字反馈线性化 – 抑制数字线性化功放器的输出频谱是 RF 设计人员面临的最棘手的难题之一。

一种成功的技术是测量发射机的频谱，使用 DSP 以反馈方式改变非线性预失真系数。这种技术一般需把信号下变频到 IF 或基带，使用优质模数转换器反馈高速 DSP 处理器。连续测量 DSP 处理器输出的频谱，把它与输入 IQ 流的频谱进行对比，调节非线性校正器，使差异达到最小。

瞬变失真效应表现为瞬间频谱模板违规，以对发送的 RF 电平变化作出响应。之所以发生这种情况，是因为放大器的非线性行为与温度高度相关。输入信号变化会改变功放器中使用的半导体器件的功率和温度。这些瞬变失真效应的稳定速度一般要比发送的数据慢得多，对数字反馈线性化又太快了。这些瞬变效应与环境条件高度相关，在工厂校准时很难预测。对固态工作温度正确的预失真系数可能在温度瞬变中很不正确。瞬变失真效应的稳定时间一般从几十微秒到几毫秒，具体视特定器件和使用的功率电平而定。

可以使用 RSA6100A 系列诊断这些瞬变失真效应。可以使用 DPX “发现” 这些事件，以前所未有的方式洞察信号行为随时间变化情况，显示 “实地 RF” 信号画面。瞬变本身会导致触发事件使用用户定义的 FMT 捕获信号不稳定性。可以把整个事件捕获到深内存中。由于 RSA 的结构，可以捕获信号不稳定性之前和之后的信息。可以全面分析频域、时域和调制域，而不必重新捕获事件。

### 功率倾斜过程中的非线性效应和毛刺

传统收发机和 SDR 器件的输出功率电平都可能会随时间变化。这些功率电平可以提高到一定程度，使信号链中的放大器偶尔被驱动到饱和状态。很明显，在放大器被驱动到饱和状态时，将有整体失真，而在放大器在饱和程度附近工作时，还可能会有不希望的效应。这些效应比较细微，包括放大器的峰值均值比(PAR)提高。结果，放大器可能会比希望的频率更频繁地被驱动到压缩状态，可能会导致邻道泄漏比(ACLR)瞬间提高。这可能会给相邻信号带来干扰，但不一定是更高的 EVM。

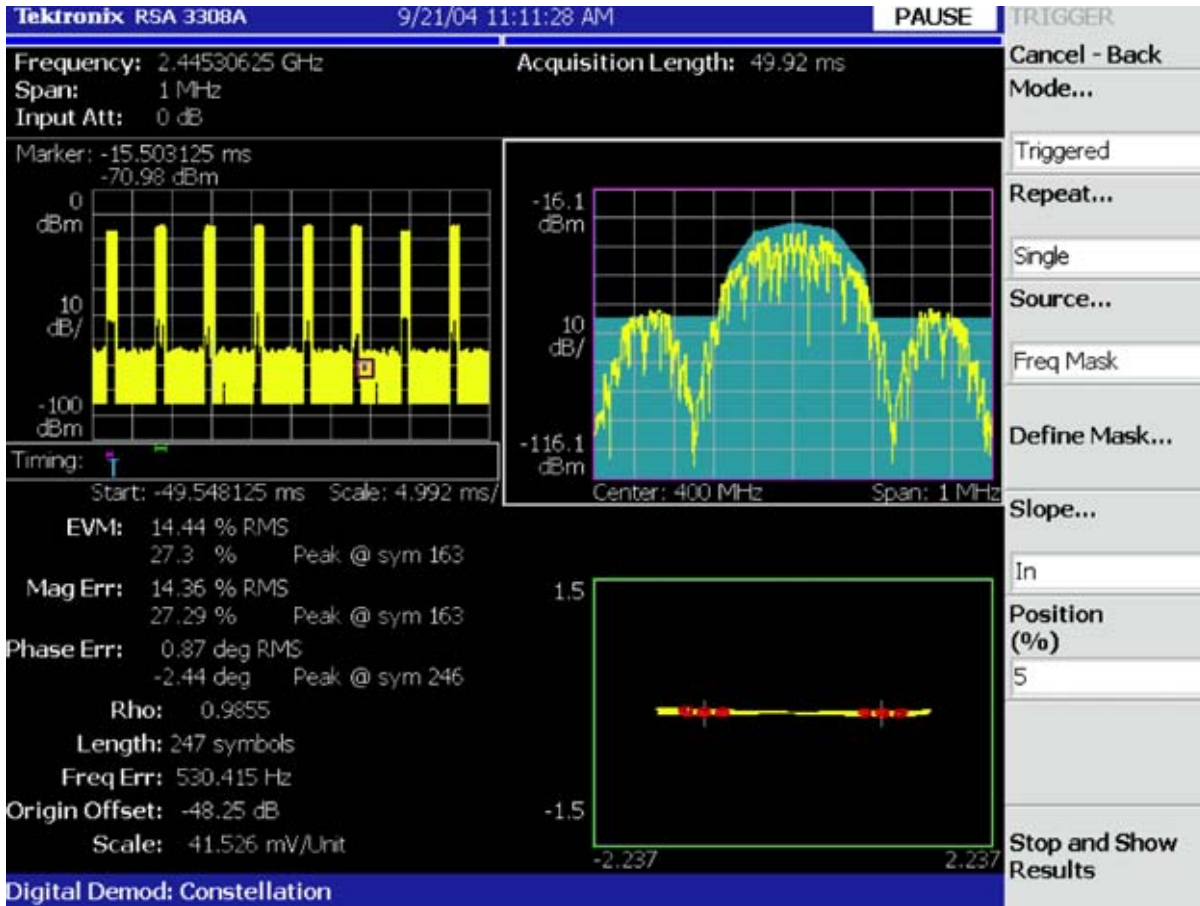
通过使用 DPX 功能，可以通过 RSA6100A 系列观察这类失真的影响，它显示了发生的事件的实地 RF 信号图。该分析仪还可以触发这些事件，它使用 FMT 进行选频

触发，捕获整个非线性事件，显示与频谱图相关的互补累积失真函数(CCDF)和 ACLR 测量。在这种情况下，能够查看信号行为随时间变化情况，并把描述功率上升或下降时影响信号方式的不同测量数据关联起来至关重要。如需更详细的讨论，请参阅泰克应用指南：“使用实时频谱分析仪检定和调试宽带失真”。

### 小结

SDR 是 RF 收发机的一种新兴实现方案，对 RF 硬件提出了额外的要求。为处理软件无线电研发中出现的复杂性，可以全面使用 RTSA，测试多种工作模式随时间变化的要求。这些独特的仪器具有 DPX 显示、频率模板触发和时间相关多域分析功能，在设计和检定 SDR 器件时提供了完美的调试工具。

# 软件定义的无线电：设计 SCA (软件通信架构) 标准无线电系统所使用的综合测试方法



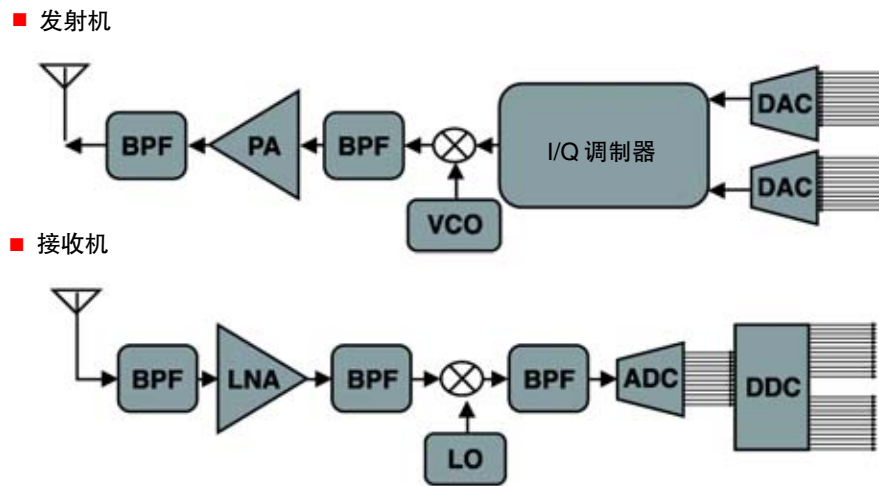
■ RSA3308A 的频率模板触发功能可以捕获有问题的 RF 突发信号。

## 简介

由于多种标准和各种设备的出现,当前的无线通信行业正在迅速扩大。新型无线技术正在以迅速提高的步伐问世。软件定义的无线电(SDR)为支持多频多模无线电、全球漫游、运行时重新配置能力及空中编程提供了一个架构,可望消除部署新型通信标准出现的问题。SDR还具有其它优势,如改善频谱利用率,进一步提高了该技术的价值。通过这些功能,SDR为令人激动的、前景光明的、新型的通信系统提供了实现技术,如美国国防部联合战术无线电系统(JTRS)<sup>[1]</sup>、国防部高级研究项目局(DARPA)下一代(XG)通信项目<sup>[2]</sup>及联邦通信委员会(FCC)感知无线技术学报<sup>[3]</sup>预想的技术。

SDR 是一种通信设备,它主要使用软件规定物理层到高级协议层的操作。通过改变设备处理硬件中的软件代码,SDR可以灵活地改变无线电的操作能力。这样的设备结构基于高级信号处理子系统,高级信号处理子系统

控制着模数转换器(ADC)和数模转换器(DAC)。ADC 和 DAC 把数字处理硬件和软件连接到设备的物理层基带电子器件上。ADC 和 DAC 还连接设备的 RF 前端。



■ 图 1. SDR RF 前端。

图 1 是 SDR RF 前端的方框图。传统模拟无线电具有复杂的多阶段 RF 电路，如晶体、电感器、电容器和谐振器等元器件。这可能会导致操作限制，如频率覆盖范围、体积和功耗。SDR 利用数字信号处理技术，试图最大限度地降低信号在模拟域中的时间。在理想情况下，SDR 会在天线上数字化信号。在实际环境中，SDR 目前包括一个 RF 前端，把输入信号转换成中间频率，数字转换和调制在中间频率上进行。IF 数字化消除了传统电路中的问题，即频率偏置和影像要求的复杂的处理工作。

SDR 开发人员在测试和检验电路时面临着特定的挑战。SDR 可以灵活地支持各种技术和标准，给 SDR 电路检验和成品检验带来了前所未有的挑战。在大量不同模块交互在一起时，很难测试 SDR。如果没有灵活的测试环境，元器件组合数量使得很难检验各个集合的正确性能。SDR 不仅能够多个频段中运行，还可以使用可重新配置的硬件/软件平台支持多个标准。为实现高效设计和迅速开发产品，必需为开发人员提供至少和被测的 SDR 一样灵活的测试工具。

可以简便地利用泰克测试设备，为 SDR 测试和检验提供

综合解决方案。通过把泰克测试设备集成到 SDR 运行管理使用的同一个架构中，测试设备成为嵌入资源，可以分析和检验未来软件无线电的操作是否正确。这种方法不仅为检验 SDR 操作提供了简便灵活的方式，还支持模块化设计战略，可以与最终 SDR 产品无缝集成在一起。

SDR 通过提供公共的无线电架构，实现了支持所有不同标准和技术的目标。软件通信架构(SCA)<sup>[1]</sup>再辅以 JTRS 程序，已经成为军事通信系统的标准软件无线电架构。SCA 将影响商用无线电通信领域，因为商用架构必然会采用 SCA 中已经考虑的大多数功能。因此，商用实现方案中也将遇到现在正在克服的 SCA 实现方案所面临的问题和挑战。SCA 扩展到商用领域中的一个实例是，SCA 现在已经构成 SDR 论坛软件无线电架构 (SRA)<sup>[4]</sup>的基础。

# 应用案例集—综合应用

## 应用指南

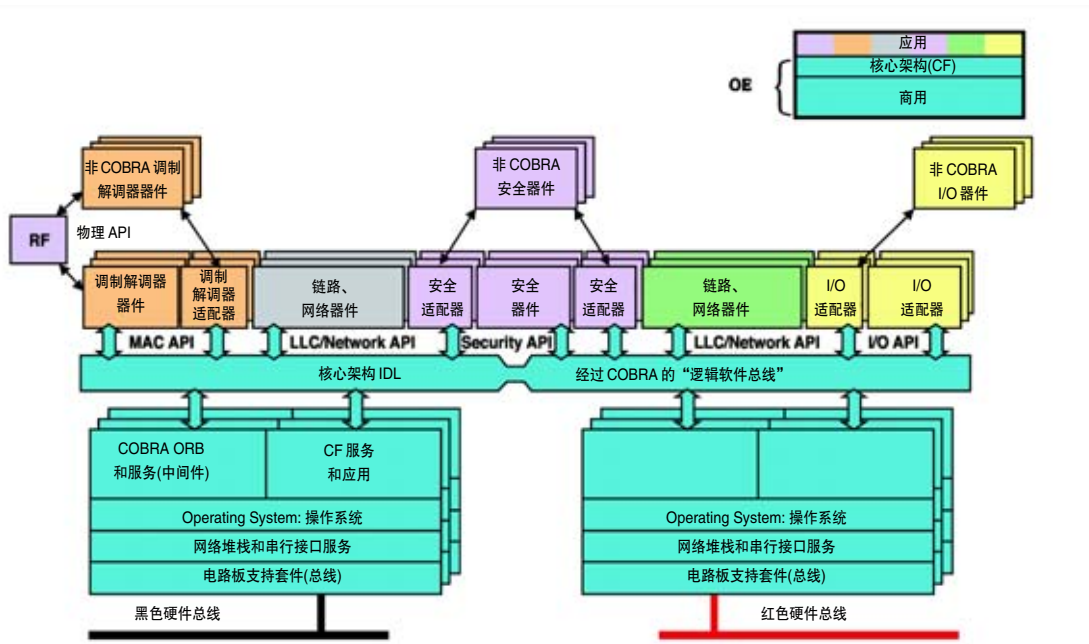
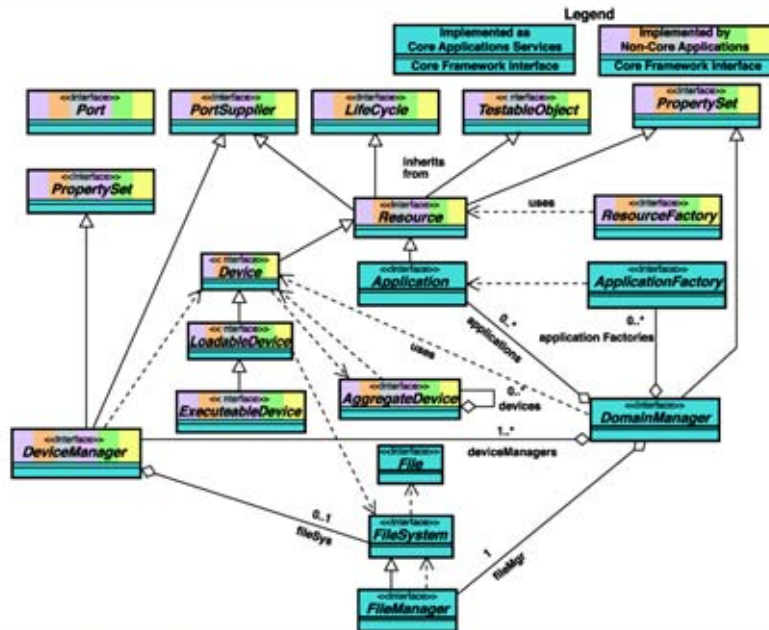


图 2. SCA 软件结构。

SCA 是一种开放架构，保证了软件和硬件器件的移植能力、可重用性和扩充能力及其在指导原则下开发的产品互操作能力。SCA 采用商用技术和协议，为无线电系统提供了操作环境(OE)。这个 OE 把一套核心架构(CF)服务、接口、电路板支持套件、操作系统和中间件服务结合在一起，支持 SCA 应用。图 2 是 SCA 的软件结构。

当前的 SCA 规范 3.0 版依靠两种方法执行模块间通信，即公共对象请求代理结构(CORBA) (中间件)及嵌入式硬件之间高需求通信使用的硬件抽象层(HAL)。CORBA 接口使用接口定义语言 (IDL) 定义。IDL 独立于编程语言，可以汇编到 C++ 等语言中。





■ 图3. 核心架构 IDL 关系。

CF是为软件应用设计人员抽象底层软件层和硬件层提供了所需的一套基本接口和服务。图3是CF结构图。根据其功能，CF可以分成四组：

- 基本应用接口(端口, 可测试对象, 生命周期, 属性集, 端口供应商, 资源), 可供所有应用软件使用
- 架构控制接口(应用, 应用工厂, 域管理器, 设备, 设备管理器), 提供了管理和控制功能
- 架构服务接口(文件, 文件系统, 文件管理器), 支持核心应用和非核心应用
- 域档案, 描述硬件和软件器件的属性和配置特点

一般来说,域管理器(DomainManager)负责应用软件、应用工厂、设备及构成该域的设备管理器。CF中的基本类

别是“Resource”(资源),它是应用和所有不同设备(Device, LoadableDevice, ExecutableDevice)的母类别。应用是一种专门的资源类别,可以由一个或多个资源构成。设备也是一种专门的资源类别,是物理硬件器件的逻辑表示。附录一中简要介绍了每种CF器件的预计行为。

SCA的最终目标是实现和执行波形提供一个操作环境\*。在SDR中,典型波形包含着从用户输入到RF输出发生的整套无线电功能(反之亦然)。换句话说,波形是不同组件、其特点及引导SDR以某种方式操作的互连的组合。在SDA指导原则下开发时,这些波形作为可以重用、可以移植、可以执行的应用软件实现,其独立于平台的操作系统和硬件。

\* 无线通信界使用“波形”一词描述系统的不同方面。在SCA中,波形是应用到空中发送的信息的一套变换集及把收到的信号转换回信息内容的相应的一套变换集。但在本应用指南中,“波形”也采用传统上下文,表示不同时间电磁波的特点形状。因此,波形根据其使用的上下文会有不同的含义。

## 应用案例集—综合应用

### 应用指南

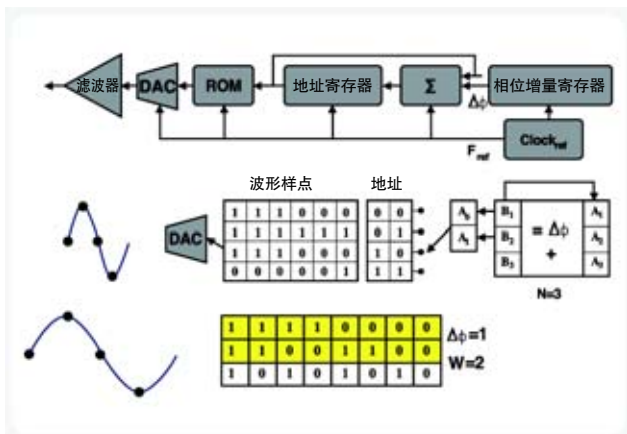


图 4. ROM LUT 设计。

### 调试杂散辐射

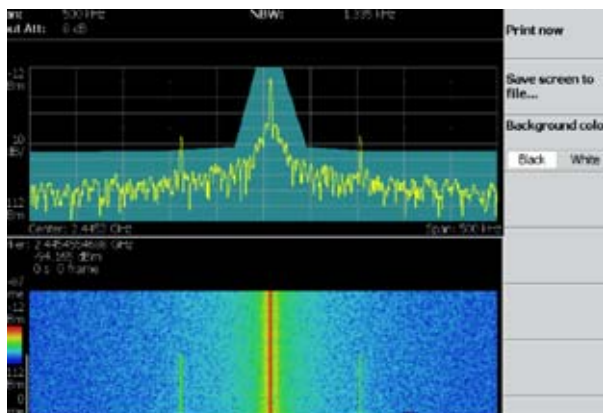
直接数字合成是在时域中直接生成信号使用的技术。DDS 广泛用于软件定义的无线电发射机中。其实现和电路集成通常会导致无线电发射机产生发散频率辐射。在跳频或突发信号格式中，可能很难使用传统频域测试工具捕获和分析这些杂散信号。

在 DDS 系统中，信号的幅度特点在内存位置中作为数字值存储(如 ROM)。这些值使用时钟定时数字电路调用，支持离散时间配置。这样一个流程可以精确控制幅度、频率和相位，从而能够产生任何任意波形。DDS 较模拟技术的优势是切换时间快，DDS 不使用 PLL，因为环路稳定时间 PLL 的频率切换速度有限。此外，数字实现方案节约了布局空间。

常用的 DDS 方法是 ROM 查找表格(LUT)<sup>[5]</sup>。图 4 是 ROM LUT 设计的方框图。在 ROM LUT 设计中，信号的取样值位于 ROM 中的唯一位置。这些值使用参考时钟，从 ROM 时钟递增输出到 DAC 上。它使用由加法器和地址寄存器组成的累加器，在每个时钟周期上递增地址值。增量称为相位增量( $\Delta\phi$ )，决定着波形的周期( $T_{wfm}$ )。加法器以增量  $\Delta\phi$  递增初始地址值( $A_1, A_2, A_3$ )。加法器的输出( $B_1, B_2, B_3$ )存储在地址寄存器，其值映射到 ROM 内存位置( $A_0, A_1$ )。在本例中，累加器的字长度是 3 位( $N=3$ )。ROM 地址长度是 2 位，因此发生了 1 位截短，以优化 ROM 内存尺寸。

在这种方法中，输出信号的频率( $F_{wfm}$ )由参考时钟频率( $F_{ref}$ )、 $\Delta\phi$  和  $N$  确定。最小的  $F_{wfm}$  是  $F_{ref}$  除以  $2N$ 。最大的输出频率是  $F_{ref}$  的一半或 Nyquist 极限。但是，DAC 后滤波的实际实现方案限制着最大波形频率，其位于  $F_{ref}$  的 20% - 40% 范围内。下面的公式对此进行了概括。

$$\frac{F_{ref}}{2} \geq \left( F_{wfm} = \frac{\Delta\phi F_{ref}}{2^N} \right) \geq \frac{F_{ref}}{2^N}$$



■ 图5. 使用实时频谱分析仪频率模板触发器捕获杂散辐射。

多个设计因素限制着 ROM 的内存尺寸。在截短累加器的输出时,可能会限制内存尺寸,这称为相位截短。例如,考虑一下累加器尺寸为  $N=3$ ,  $\Delta\phi$  为 1,累加器输出截短 1 位,达到 2 位的输出字长度( $W=2$ )。我们只需 4 ( $2^2$ )个地址,而不是 8 ( $2^3$ )个内存位置。累加器会递增,如图 5 中 3x8 表格所示;但是,只有 2 个最有效的位映射到 ROM 中的地址上。其结果是,它使用 8 个时钟周期循环通过 ROM 内存,但只有 4 个唯一的地址位置。

相位截短在信号输出中导致杂散辐射。在  $N$ 、 $W$  和  $\Delta\phi$  一定时,发射机输出将包含  $F_{spur}$  频率上的杂散辐射,其与  $F_{ref}$  的关系使用下述公式中的整数  $k$  确定。

$$F_{spur} = \frac{F_{ref} \Delta\phi}{2^{N-W}} - kF_{ref}$$

我们可以用  $F_{wfm}$  代替上面公式中的  $F_{ref}$ , 预测由于

$$F_{spur} = F_{wfm} \left( 2^W - \frac{k2^N}{\Delta\phi} \right)$$

DDS 系统中的相位截短而导致在哪儿发生相对于输出信号的杂散辐射。

除由于相位截短导致的杂散辐射外, DDS 系统将显示由于周期抖动而导致的杂散辐射。周期抖动是由于  $\Delta\phi$  不均匀地划分到  $N$  中而产生的不规则的波形周期导致的。不均匀的划分会导致通过 ROM 内存的累加器输出循环时间不等。这一关系可以用下面的公式表示:

$$F_{spur} = \frac{T_{ref} 2^N}{\gcd(\Delta\phi, 2^N)}$$

通过实时频谱分析仪的频率模板触发器,可以简便地在频域中触发杂散辐射。频率模板触发器是用户可以定义的一个门限,它带有可变的频率和幅度值。可以根据杂散辐射行为,选择频率模板触发条件。在图 5 中,实时频谱分析仪已经捕获了杂散辐射,频谱图画面的时域中捕获了杂散辐射的外观。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南

#### 把泰克测试设备集成到 SCA 中去

随着软件定义的无线电开始实现运行时重新配置能力及可以预见的空中编程能力,预计将有越来越多的模块在单个波形内交互。当前的 SDR 实现方案具有足够的灵活性,只需改变配置文件的内容,就可以改变应用波形。大量的不同软件模块可以结合在一起,在任何时点上交互,这给设计人员和制造商带来了测试和检验挑战。

在完成系统级模拟,并检验了软件模块功能之后,可以在实际硬件上部署。有许多错误来源,会影响特定设备的正确性能。特别是可能会出现硬件缺陷、软件漏洞和设计计算错误,在 SDR 开发周期的多个阶段中必需找到这些问题。更加实际的测试可以实现更加可靠的 SDR 操作。

泰克仪器、特别是面向无线通信应用的仪器,可以作为设计人员测试未来软件无线电系统的成套工具中的一部分。SCA 可以用泰克测试仪器代替表示硬件资源的组件。这样,通过在其周围创建 SCA 包装,可以把泰克测试设备集成到基于 SCA 的 SDR 实现方案中。这种方法可以测试和检验整体设计,支持与最终 SDR 产品无缝集成的模块化设计战略。

把泰克测试设备集成到 SCA 中的另一个优势是,这一架构为系统中的不同器件创建了抽象表示。这种抽象方法使得不同元器件能够交互,而不管元器件采用何种基础实现方案。如果能够在逻辑扩展中利用 SDR 开发工作,那么应该使用模拟版本的组件、甚至使用捕获和提供与其余模块的性能有关的重要信息的复杂测试设备代替实现方案中的特定组件。因此,它可以从模拟环境无缝转换到采用泰克设备的调试测试床,直到部署使用的最终实现方案。

此外,通过把泰克测试设备集成到 SCA 中,可以利用架构中的“TestableObject”接口。TestableObject 类别为把内置测试集成到 SDR 中提供了一种手段。在应用波形执行自检,通过泰克仪器模块连接到架构的用户或可扩展标志语言(XML)文件引导执行过程时,其为内置测试提供了一种新的方式。这种扩展使应用可以扩展自检范围,可望更加可靠地诊断系统的整体状况。

### 综合的 SCA 接收机测试

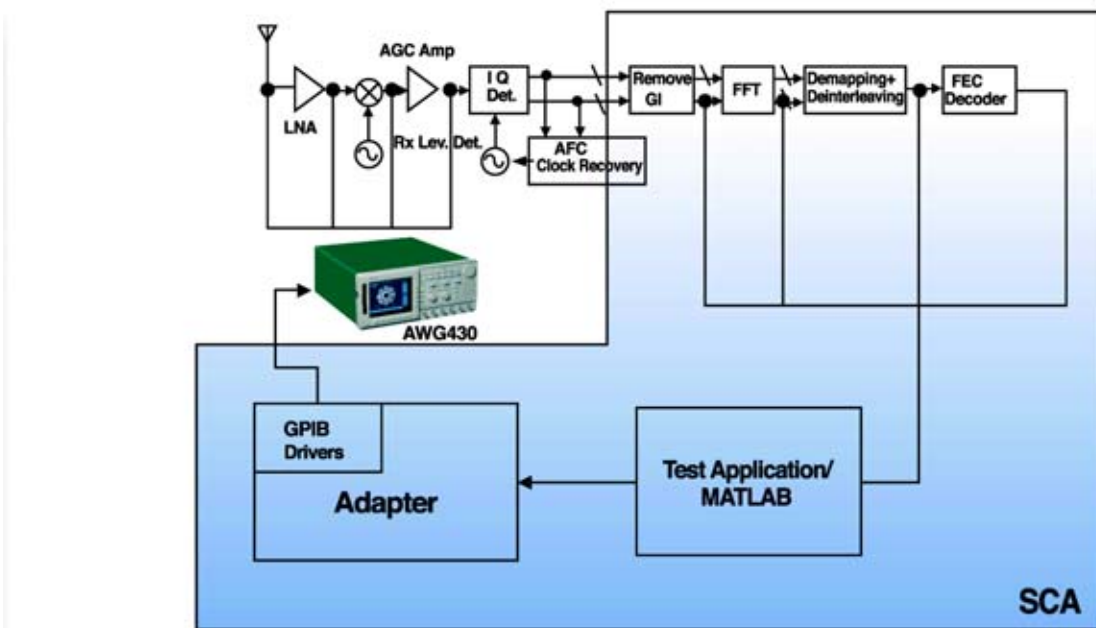
例如，泰克 AWG400 系列任意波形发生器使测试功能距实际空中操作环境更近一步，它为 SDR 接收机测试提供了模拟信号源和数字信号源以及噪声和调制功能。可以使用 AWG 的数字输出，模拟数字电路，或模拟 ADC 的性能。在 AWG400 集成到 SDR 的应用波形中时，可以获得进一步优势。这种集成使得核心架构能够以控制任何其它软件组件或设备的相同方式，控制 AWG400。通过这种方式，可以通过只改动 XML 文件，把 AWG 包括到应用波形中。结果，可以开发专用应用，测试任何给定的一套组件。这样，在把一套新的组件组合起来构成某个应用时，可以使用包括测试模块(如AWG400)的改进版本的同一波形，测试和检验原始模块的性能。此外，用户只需把传统代码的核心功能复制到新的测试模块中，就可以几乎无缝地重用以前测试床使用的传统代码。

为把任意波形发生器(如 AWG430)集成到根据 SCA 指导原则开发的应用波形中，必需实例化作为 AWG 之间适配器使用的代理组件，它没有中间件接口、核心架构和波形成分。这个适配器从 S C A 规定的“LoadableDevice”类别继承而来。这种继承不仅使适配器或包装能够分配和解除分配特定功能，还为把预先定义的波形装载和卸载到发生器的波形内存中提供了接口。这些功能代表着 AWG 的物理特点，即波形内存、标尺内存、总数据存储容量、标尺数量等等，并在实例化时进行配置。XML 文件描述了这些配置能力。

包装需要自己的 IDL 接口，以与其它器件交互。这个接口为要求的所有功能调用提供了进入点，可以包含数据顺序，在需要时作为端口接收或发送数据的属性使用。包装通过核心架构中的“Device Manager”实例化。一旦实体化，包装器会等待并对应用进行的任何调用作出响应。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南



■ 图 6. 把 AWG430 集成到 SCA 中，以测试和检验应用波形(接收机方框图摘自 IEEE 802.11a PHY 层)。

一旦包装实例化和初始化，应用波形会分配请求的容量，装载要求的波形，实现必要的组件间连接，启动所有组件，包括 AWG。分配的具体容量在表示 AWG 的组件的软件套件描述符 (SPD) 文件中定义。可以使用 AWG 的内置波形编辑工具，甚至使用其它专用工具 (如 MATLAB)，创建装载到波形内存中的波形文件。为把 AWG 集成到现有的波形中，必须改变应用的软件汇编描述符 (SAD) 文件，作为组件包括包装，并描述必要的连接。如图 6 所示，可以在接收机通路的不同阶段连接 AWG，更好地隔离某个测试模块或多个测试模块。

在创建应用波形时，它执行设备初始化和配置及检验应用的正确性能要求的所有测试功能。应用本身负责在预计组件或一套组件上进行测试。应用提供测试数据，把它传送到 AWG 中，然后 AWG 把数据发送给被测组件。应用监测被测组件，检验其行为是否正确。在发生故障时，应用可以触发告警，记录日志。记录的信息及了解故障来源，可以更精确地调试系统。维吉尼亚工艺学院和维吉尼亚州立大学移动和便携式无线电研究部 (MPRG) 网站提供了这样的设置实现实例，

网址：<http://www.mprg.org/research/ossie/>

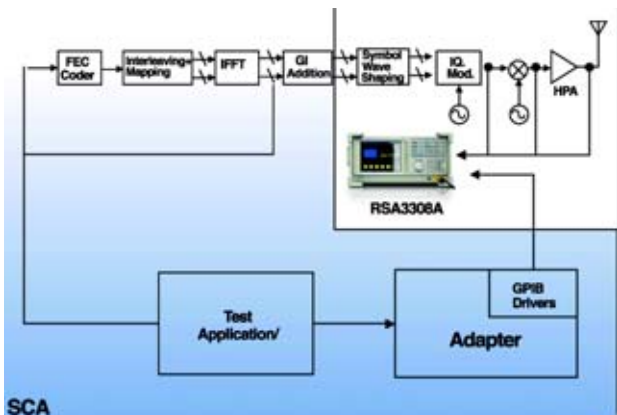
### 综合的 SCA 发射机测试

泰克实时频谱分析仪为测试和检验无线电发射机提供了理想的解决方案。由于 FCC 规定了频谱利用率，SDR 波形检验已经成为开发周期的关键组成部分。与任何数字无线电一样，可能会有很多运行错误来源，如从功放器非线性度导出的杂散成分、DAC 上的信号削波、相位截短和周期抖动(参见第 5 页“调试杂散辐射”插页)等等。在 SDR 中，问题进一步扩大，因为必须检验构成应用波形的每套不同的软件组件。由于 SDR 开始实现更多的波形和标准，其可能会占用不同的频段，检验过程变得越来越复杂，需要测试设备提供更高的灵活性。考虑到 SDR 开发中的预计发展趋势，随着技术发展，环境只会变得更加苛刻。实现认知无线电功能的不同技术，如 XG 程序[2]，要求严格地、适应性地检验系统，因为不符合法规可能会给涉及的系统导致严重的性能问题。

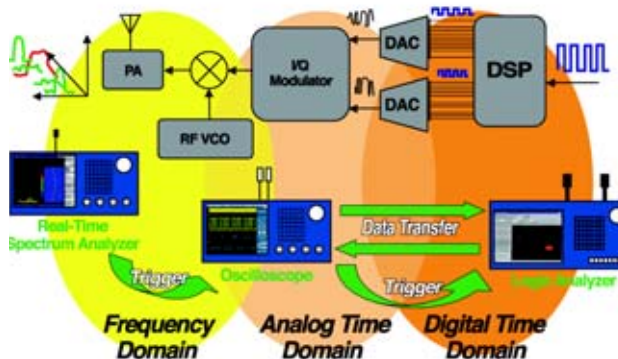
与 AWG 类似，泰克实时频谱分析仪要求一个适配器，作为设备和其余波形成分之间的接口使用。这个适配器还要求 IDL 接口，作为处理中间件调用的入口点。适配器或包装可以从“LoadableDevice”类别中继承而来。尽管测试设备中一般没有定义任何软件负荷容量，但包装器本身可以阅读配置文件，然后把这个配置“装载”到仪器中，如 RSA3308A 实时频谱分析仪。这种可装载行为简化了 RSA 配置程序，为集成到 SCA 架构中提供了足够的移植能力和灵活性。配置文件的内容和格式与应用有关。为支持传统测试代码，配置文件的内容可以是以前测试床使用的配置脚本。通过使用这种可装载方法，每次在实例化应用波形时，可以装载相应的配置文件，使用正确的采集模式、中心频率、频率跨度及可能有关的任何其它属性设置 RSA。与任何其它 SCA 设备一样，RSA 包装要求有一套在运行时分配和解除解配的运行容量。对 RSA，分配容量可以简单到单个属性，表明分析仪是否可用，或是否已经用于另一个波形操作。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南



■ 图 7. 把 RSA 集成到 SCA 中，测试和检验应用波形 (发射机方框图摘自 IEEE 802.11a PHY 层)。



■ 图 8. 利用交叉触发，实现时间相关子系统视图。

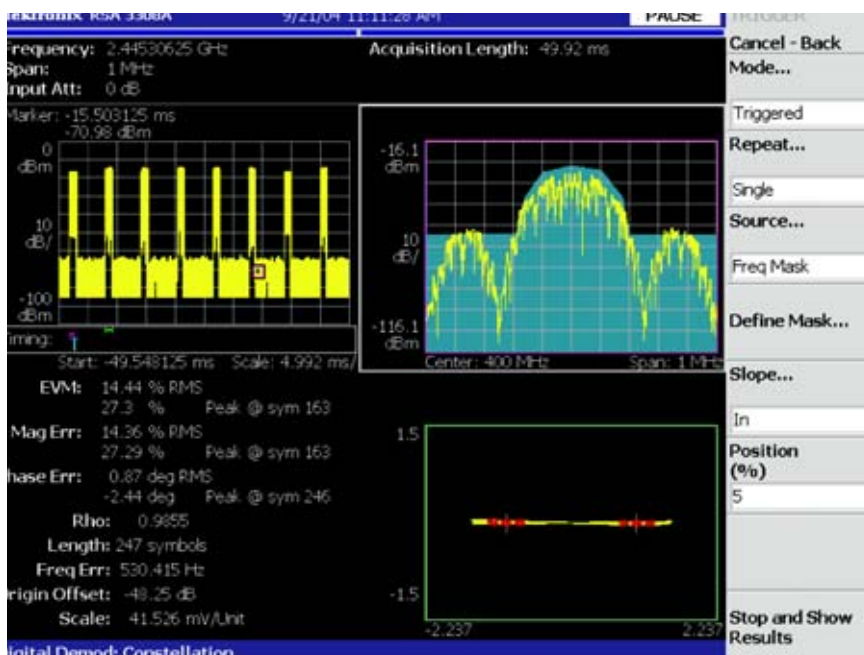
域管理器负责实例化和配置 RSA 包装的初始容量，应用工厂则负责分配容量，装载配置文件。为把 RSA 集成到给定波形中，只需修改描述该应用的 SAD 文件。修改的 SAD 必须包括 RSA 包装器，作为应用波形的另一个组件，描述涉及新组件的相应连接。在最简单的方案中，要求的唯一连接位于 RSA 包装和应用资源或汇编组件之间。RSA 可以物理连接到发射机通路中的不同阶段，以更好地隔离希望的某个组件或一套组件，如图 7 所示。

维吉尼亚工艺学院和维吉尼亚州立大学移动和便携式无线电研究部(MPRG)网站提供了这样的设置实现实例，网址：<http://www.mprg.org/research/ossie/>。

### 利用测试工具在 SDR 中进行多域分析

在把 AWG430 和 RSA3308A 集成到 SCA 中，在物理层和各种软件层执行多个测试程序时，还应了解 SDR 子系统在频域和时域中的复杂交互，特别是突发信号或跳频信号。这要求使用额外的测试设备，如 TDS7000B 系列数字荧光示波器和 TLA700 系列逻辑分析仪。RSA 的频率模板触发器可以作为重要工具，隔离无线电输出的域频中的错误，然后触发示波器和逻辑分析仪，获得子系统性能和交互的时间相关视图，如图 8 所示。





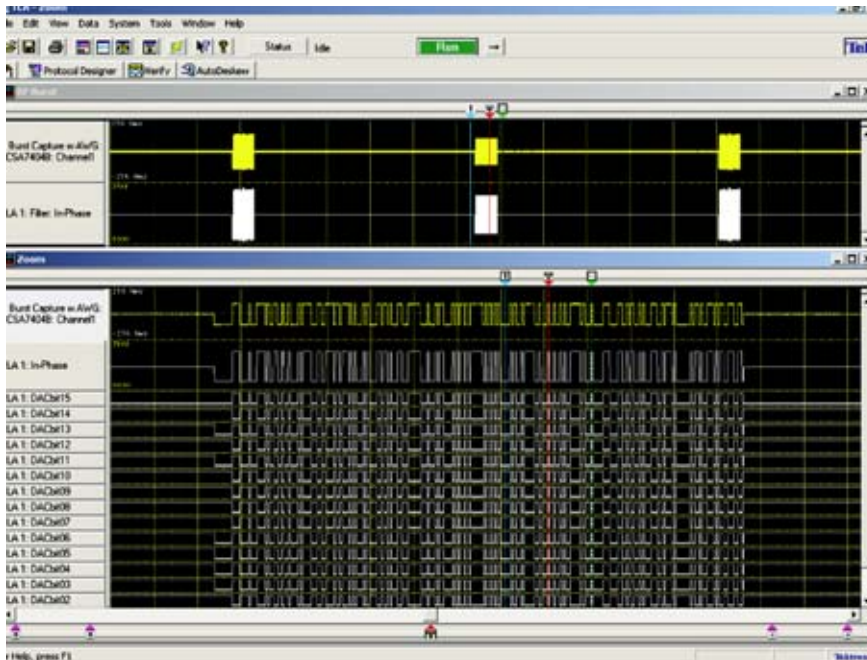
■ 图 9. RSA3308A 的频率模板触发器可以捕获错误的 RF 突发。

例如，考虑一下突发波形，其中 SDR 间歇发送基带处理不正确的突发，由于占用带宽过高而导致频谱容器超限。RSA3308A 使用频率模板触发器，简便地捕获及无缝捕获间歇性突发错误。它还显示时域突发顺序，逐个突发解调信号，计算误差矢量幅度及其它重要调制指标，如图 9

所示。在 RSA 使用频率模板触发器时，它向 TDS 示波器发送一个 TTL 触发输出信号，TDS 示波器测量 DDS 子系统中 DAC 发出的同样的基带波形和正交波形。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南



■ 图 10. TDS 示波器和 TLA 逻辑分析仪上捕获的 DAC 输入和输出的时间相关显示。

TDS 在外部触发，因此与 RF 上的错误突发同时捕获基带突发。通过泰克称为 iView 的专有接口，可以从 TDS 的触发输出信号上触发 TLA。iView 把捕获的 TDS 数据通过 GPIB 总线自动传送到 TLA 上，并把数据显示与时

间相关视图集成在一起。TLA 测量到 DAC 的数字位输入，这样得到的综合画面就可以显示 DAC 输入和输出的时间相关视图。考察相关显示后发现，触发的突发没有使用根升余弦滤波，如图 10 所示。

## 小结

SDR 电路带来了前所未有的测试挑战, 要求一种灵活的集成及子系统检验方法。通过利用 SCA 固有的功能, 综合测试方法便于实现从设计到部署的无缝流程。在测试设置周围及在定义 SDR 应用波形时创建软件包装, 促进和加快了 SDR 通信设备的这一过程。

通过把分析、测量和探头设备集成到 SCA 架构中, 泰克 RF 和无线测试设备在为 SDR 领域提供解决方案中居于领导地位。如需这一方法的参考实现方案, 请访问: <http://www.mprg.org/research/ossie/> 或 [www.Tektronix.com](http://www.Tektronix.com)。

## 附录一 SCA 核心架构各个组件概述

### 资源 (Resource)

资源为控制和配置软件组件提供了一个公共接口。它是 SCA 应用的中心单元。Resource (资源) 接口继承了 Lifecycle, PropertySet, TestableObject 和 PortSupplier 接口。资源接口为配置、查询、启动、停止、初始化、测试和连接继承的组件提供了一种常用方法。应用由多个资源组件中的一个组件组成。TestableObject 接口则为某个组件执行内置测试 (BIT) 提供了一种手段。测试数量、特点和种类取决于应用。

### 域管理器 (DomainManager)

域管理器是维护无线电整体状态的 CF 组件。在启动时, 域管理器设置无线电的命名上下文, 本身在 CORBA 命名服务中注册。域管理器负责安装/反安装应用程序, 注册/

反注册设备管理器对象, 注册/反注册设备对象, 管理控制通道, 及建立可能必需的任何其它通道(通过事件服务)。域管理器还建立和保持一个域 FileSystem (文件系统)。

### 设备 (Device)

设备是资源的一种特定类型, 它是物理设备的逻辑表示, 如硬件单元。这个接口定义了域内物理设备的所有功能和属性。这些功能是操作可以使用的一整套容量。设备负责分配和解除分配容量, 及管理物理抽象的维护、使用和运行状态。设备有两个推导得出的接口: LoadableDevice 和 ExecutableDevice。

LoadableDevice 扩展了设备的功能, 允许装载和卸载软件单元。LoadableDevice 一直保持着设备上装载的文件或功能以及每个单元装载次数的参考数据。根据系统中的这一功能, 共有四种装载类型: 内核模块、驱动器、共享程序库和可执行文件。

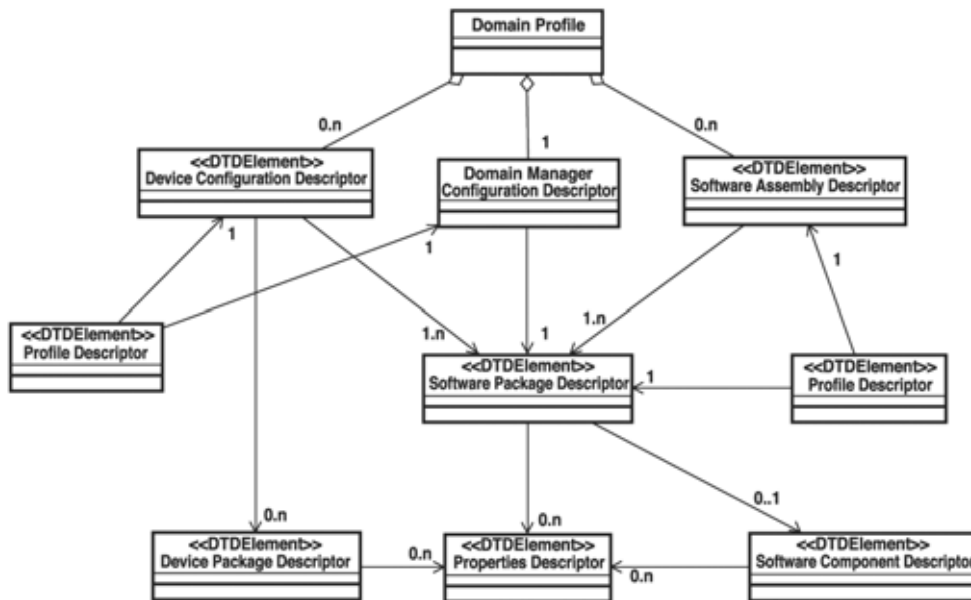
ExecutableDevice 从 LoadableDevice 中推导得出, 它为执行端接以前装载的软件单元提供了一种机制, 扩展了给定设备的范围。

### 设备管理器 (DeviceManager)

设备管理器负责管理域内包含的一套逻辑设备和服务。设备管理器负责实例化所有设备及启动域档案中描述的所有服务。在注册后, 设备管理器通过设置设备容量, 初始化和配置注册的所有设备。在实例化时, 设备管理器需要在域管理器中注册。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南



■ 图 11. 域档案 XML 文件类型的关系。

构成 SCA 域的所有硬件设备和软件组件可以通过一套文件描述，这套文件总称为域档案。这些文件描述了域内部每个硬件设备和软件组件的标识、功能、属性、相互关系和位置。所有描述都以 XML 文件的形式提供。图 11 以可视方式说明了域档案描述符之间的关系。

在域档案的所有描述符中，有三种描述符与本应用指南关系密切，即软件汇编描述符(SAD)、设备配置描述符(DCD)和软件套件描述符(SPD)。

SAD 包含着与构成应用的组件有关的信息。SAD 描述创建给定应用所需的全部组件和连接。ApplicationFactory 在创建应用时使用这些信息。DCD 为各自的 DeviceManager 提供与其包含的设备和与服务有关的信息、每台设备的配置属性及怎样获得 DomainManager

参考数据。最后，SPD 标识软件组件。域中的每个组件都必须有一个表示的 SPD。SPD 包含着与组件有关的整体信息，如名称、作者、属性、实现参考和相关性。

CF 的顶部是应用类别，它为控制、配置和确定域中实例化应用状态提供了接口。应用实例可以包含资源组件和/或非 CORBA 组件。它从资源中继承而来，通过 Application Factory 中的创建功能实例化。ApplicationFactory 接口为在域中请求创建特定类型的应用提供了一个接口。ApplicationFactory 接口根据应用的 SAD 和配套 XML 文件设置应用。它分配容量，在要求时在各自设备上装载和执行软件组件。ApplicationFactory 负责初始化和配置与应用有关的资源。它还根据 SAD 在应用组件(设备或资源)之间建立连接。

### 参考资料

1. JTRS 方案: <http://jtrs.army.mil/>
2. XG 方案: <http://www.darpa.mil/ato/programs/XG/>
3. FCC 认知无线电技术学报 (CRTP) <http://www.fcc.gov/oet/cognitiveradio/>
4. SDR 论坛: <http://www.sdrforum.org/>
5. Reed, J. 软件无线电: 现代无线电工程设计方法 (Prentice Hall, 2002)

# 实时频谱分析仪在激光器应用中的优势

这是一本简短的与使用实时频谱分析仪(RTSA)进行激光器测量有关的白皮书。激光器、化学和物理学实验室中的研究人员一般使用RF扫频分析仪。在这些领域中,泰克RSA3300A和RSA3408A系列实时频谱分析仪可以进行非常好的测量。下面的应用指南也非常适合此类应用:。

**光学频谱分析仪(OSA):** 这些仪器(如 Agilent 8614xB 系列)不同于RF频谱分析仪。例如,86146B拥有光学行宽分辨率,实现了5 – 60 GHz的RF分辨率带宽范围。1550 nm 波长上主要的相关频率约为 193 THz (193,000 GHz)。因此,这一产品的测量信号频率约比泰克实时频谱分析仪的 8 GHz 频率极限高 24,000 倍。光学频谱分析仪用来测量激光器的光学频谱。但是,目前为通信目的应用到激光器的几乎所有调制都不能使用OSA查看—因为其分辨率带宽为5 GHz及更宽,OSA不能解析当前调制系统中大多数频率成分生成的边带。激光器的大部分稳定性和噪声问题发生在低得多的频率上,更加相关的频率范围是 DC – 20 MHz 的范围,如下所述。

**RIN (相对强度噪声)测量:** RF 频谱分析仪用来测量激光器的闭合稳定性、噪声和杂散信号。激光器通常不仅有想要的主光学输出波长,还有附近的杂散信号。这些"拍频信号"通常距主信号的距离<8 GHz。这些杂散信号将相互混合,得到主激光器光学输出的调幅。激光器的光学输出使用宽带光学功率检波器测量,它把光学强度变

化转换成可以使用 RF 频谱分析仪测量的波形。然后, RF 频谱分析仪可以测量这些拍频、杂散信号和噪声信号。其中一个实例是测量 RIN (相对强度噪声),这是许多激光器的一项重要测量(特别是二极管通信激光器)。

**漂移和稳定性测量:** 激光器可以调节,或可能由于各种变化条件而漂移,包括改变激光器驱动电流和物理变化(温度,长度或压力)。在这些参数变化时,宽带噪声和窄带杂散拍频信号将变化。在随着时间变化时,RTSA 上的频谱图测量可以简便地查看这些变化。对许多应用,某些拍频信号的相位抖动或FM调制可能非常重要。RTSA上的相位和FM随时间变化测量可以以非常高的精度简便地进行这些稳定性测量。此外,RTSA可以触发幅度或频率变化,进行单次测量,显示频率和幅度随时间变化。而使用传统(扫频)频谱分析仪则不可能进行这些测量。

**低频测量:** 被测的噪声和杂散信号通常会扩展到非常低的频率—基本上达到DC。普通RF扫频分析仪拥有低频率限制(通常是 9 kHz 或 20 Hz)。它们还有本底噪声,在低频(低于 1 MHz)时会迅速提高到非常高的值。RSA3408A 可以测量直到DC的信号,在低于 40 MHz时,这些RTSA (实时频谱分析仪)仪器直接对信号取样,而不使用扫频分析仪采用的混合下变频器。为此,RTSA 拥有非常低的本底噪声,直到DC基本上是平坦的。对低频RIN测量,RTSA 拥有巨大的优势。

**使用实时频谱分析仪进行长期稳定性测量:** 泰克 RTSA 还可以在深内存中捕获大的时间跨度。这可以测量快速抖动、低速漂移或其它稳定性问题。例如,在稳定性测量使用的窄 10 kHz 跨度上,这个 RTSA 可以无缝捕获 256 MB 的数据,技术数据如下:

- 10 kHz 测量跨度(在直到 8 GHz 的任何中心频率上--例如, DC - 10 kHz, 或 5.000 GHz - 5.000010 GHz:

- 超过 1 小时(68 分钟)的无缝信号捕获

- 在 68 分钟内捕获 64,000 个频谱(每个频谱 1024 点)

- 每秒约捕获 15 个频谱,有效分辨变化的信号

- 对功率随时间变化支持直到 62.5 us 的时间分辨率,对频率或相位随时间变化支持直到 125 us 的时间分辨率

- 31 Hz 分辨率带宽,超低本底噪声,有效分辨被测信号中的频率漂移

- 频域触发功能,触发采集频域中变化的信号。例如,可以设置频率触发模板,如果距额定频率的漂移超过

+/- 500 Hz,那么被测的拍频会引起触发。还可以实现可设置的预触发,从而查看信号漂离触发模板边沿之前和之后发生的情况。因此,您可以在周末运行激光器,在周一早上查看是否漂移到容许范围之外。如果触发采集,那么在 50% 预触发设置下,可以捕获信号漂离模板边沿前 34 分钟的信号,及捕获触发时间后 34 分钟的信号。此外,在超出频率模板时,将生成 TTL 触发输出信号,这个输出可以触发告警或其它外部测试设备,执行某些其它测量。

- 宽 10 kHz 的跨度只是一个实例。跨度可以比它宽 1000 倍(10 MHz),时间会缩短约 1000 倍。也可以让跨

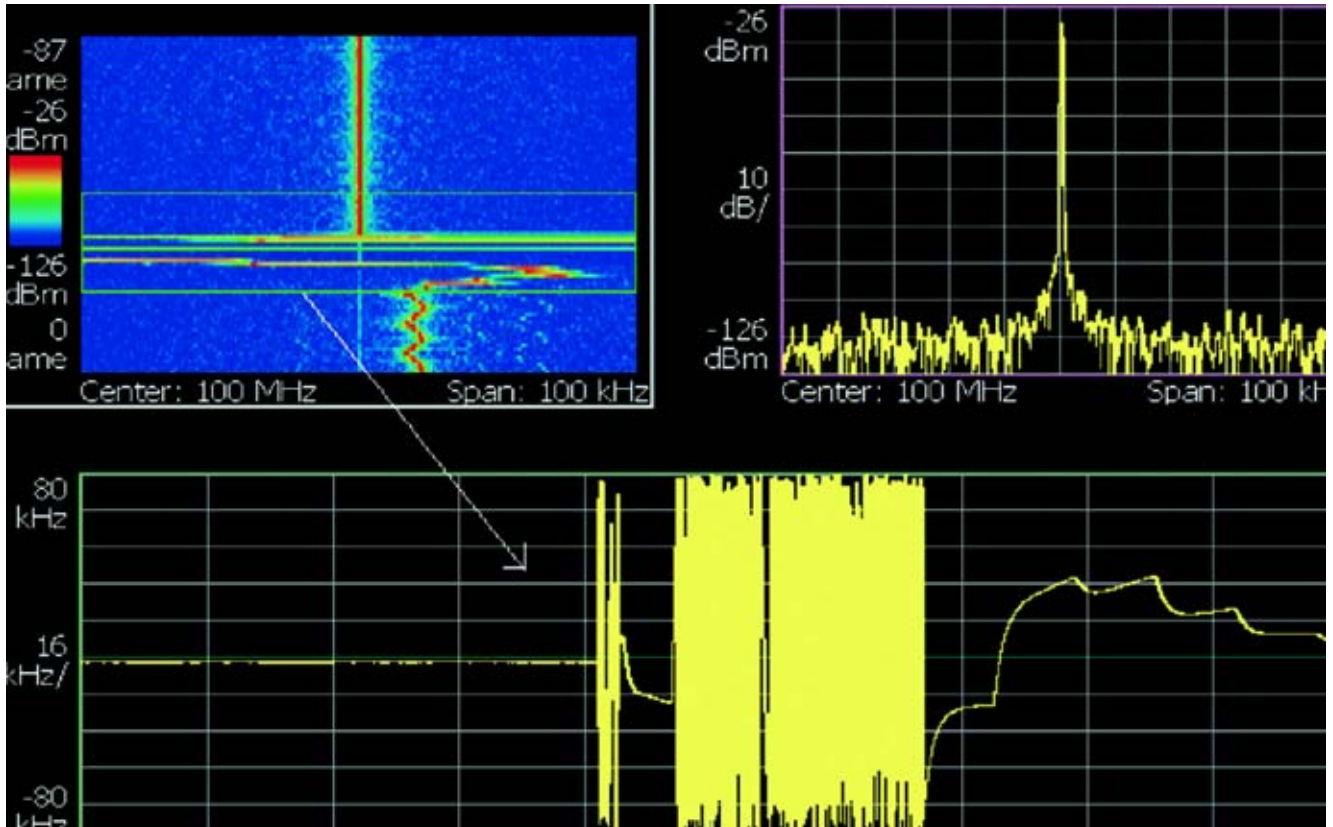
度窄 100 倍(100 Hz),时间会延长 100 倍。另外还支持其间的许多其它跨度(以 1/2/5/10 步进)。RF 信号的最大跨度是 15 MHz (或 DC-20 MHz 基带),最小跨度是 100 Hz。

**实时频谱分析仪可以代替多部仪器:** 大多数激光器实验室使用 RF 频谱分析仪,对这些实验室中进行的几乎所有类型的测量,RTSA 产品都功能卓越。这些激光器实验室可以把 RTSA 看作为一种综合仪器,包括低频分析仪、RF 频谱分析仪、内存非常深的 RF 取样功率表、相位(抖动)分析仪、AM/FM/PM 调制分析仪、矢量信号分析仪、基于快速 DSP 的音频和 RF 频率计数器、频谱图记录器(类似于频谱使用的图表记录器)及在噪声电平或拍频超过某些极限时触发采集的监测系统。他们可能会一直使用多部仪器完成这些功能,包括使用 PC 捕获和分析测量。RTSA 可以在一部仪器中完成所有这些功能(包括大部分分析)。

**使用外部 PC 和软件进一步进行分析:** 采集获得的二进制数据文件可能会相当大,可以保存到内置硬驱上。数据文件可以使用 U 盘、LAN 或软盘复制到外部 PC 上。这些二进制数据可以使用我们提供的程序转换成 ASCII,导入到外部 PC 上运行的 Matlab 或其它分析软件包中。还可以把二进制数据文件发送给其它 RTSA 用户,通过把数据文件调入仪器的分析部分,用户可以在希望时在仪器上分析这些数据。

**触发-捕获-分析:触发和捕获一个事件,**通过多种方式分析事件。由于可以一次性触发和捕获信号,然后以各种方式分析捕获的这个信号,而不需重新采集,因此可以获得多部仪器的全部优势,在激光器上进行并行测量。如果激光器实验室在激光器上执行多种公共测量,RTSA 可以同时捕获和测量这些数据(使用我们的多域相关测量功能),这是一个巨大的优势。如果激光器开始操作,通过触发采集问题症状,并在时间上向回查看信号,确定哪里出了问题,可以查看实际发生的情况。

## 实时频谱分析仪在高能物理应用中的优势



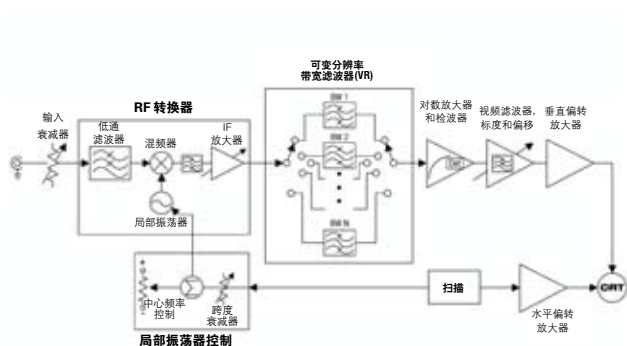
### 引言

在高能物理(HEP)应用中，操作人员和科研人员面临的基本挑战是在粒子加速器中保持最大的电子束功率和一致的电子束稳定性。为实现这些目标，操作人员必需能够在电子束提升时及在各种试验期间，收集与粒立束的频谱行为有关的信息。

在本应用指南中，我们将考察电子束不稳定和“放大”(电子束电流突然整体丢失或部分丢失)。我们将讨论与使用扫频分析(SSA)技术相比，使用实时频谱分析技术分析和

解决电子束丢失和不稳定问题的优势。我们将说明怎样使用泰克实时频谱分析仪(RTSA)在高能物理领域收集、分析和表示数据。





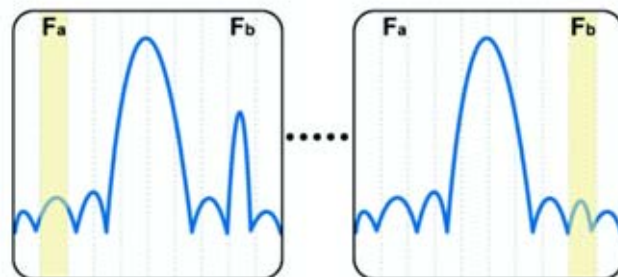
■ 图1. 扫频频谱分析仪方框图。

### 电子束不稳定和“放大”的原因

在储存环中，粒子(质子、电子或离子)注入到稳定的轨道中，可以循环几个小时。这个粒子轨道称为“电子束”。电子束以特定速度保持在储存环中，直到它被“逐出”到线性加速器(LINAC)。在储存期间，将使用磁铁和RF场监测和调节电子束的速度、路径、相干性和色品。正是在电子束生命周期的这一部分，最容易发生错误和问题。

储存环中的电子束轨迹拥有称为水平、垂直和纵向“调谐”频率的设计值，这些值与电子束在环中的位置直接相关。储存环周围的聚焦磁铁和RF腔的电子特点决定着这些值。

一般来说，粒子会以较低能量水平注入到环中，然后“提升”到较高的水平。在提升过程中，重要的一点是水平和垂直调谐频率不能发生位移，以免碰撞谐振组合，导致电子束不稳定或储存环电子束电流突然整体丢失(电子束放大)。许多因素都可能会导致电子束不稳定。独立控制器件的非线性度和/或不同响应时间，如电子束位置监



■ 图2. 扫频分析仪步进通过一系列频率段，通常会漏掉当前扫描频段之外发生的重要瞬态事件。

测(BPM)电缆和电路、引导磁铁和电子束聚集、Klystrons或Teetrodes (为把能量转运到电子束的RF腔供电)及真空泵和监测仪等，都可能会导致电子束不稳定。振动和缺乏正确屏蔽也可能导致电子束不稳定。

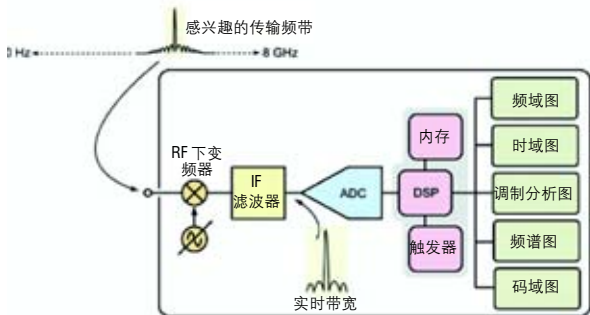
操作人员和科研人员面临的挑战是正确识别导致电子束不稳定和放大的因素，这样就不会中断昂贵的加速器时间，损害试验结果。在粒子加速器应用中，识别问题最常用的仪器是频谱分析仪。在下一节中，我们将讨论与扫频分析仪相比，实时频谱分析仪在HEP应用中的优势。

### 使用频谱分析仪 – 扫频分析仪和实时频谱分析仪比较

在扫频分析仪中作为频率的函数监测信号，如果不能说丢失所有临时(相对时间)信息的话，这种方法丢失了大多数临时(相对时间)信息。实时频谱分析仪使得用户能够查看输入信号的频谱的每个部分与时间的关系。在HEP应用中，它们之间的差异如下：

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南



■ 图3. 实时频谱分析仪结构。仪器一次捕获频率的全部传输频带，DSP支持灵活的触发和分析功能。

### 扫频频谱分析仪

图1是扫频频谱分析仪结构简化的方框图。电压受控局部振荡器连续扫描一个频率范围，这些频率在混频器阶段与输入信号组合在一起(这一过程称为外差作用)。

混频器是一种非线性设备，它生成两个信号之和、之差及其原件和谐波。得到的信号成分通过分辨率滤波器传送，分辨率滤波器提取希望的混合产物。然后将检测这个信号产物，发送到显示器的Y轴(幅度)。同时，将处理电压受控振荡器信号，并发送到显示器，生成X轴扫描(频率)。

传统扫频分析仪通过在感兴趣的频率上扫描分辨率带宽(RBW)滤波器，并记录每个频率点的幅度，来测量幅度与频率关系。尽管这种方法提供了很大的动态范围，但其缺点在于，它一次只记录一个频率上的幅度数量。在频率跨度上扫描RBW滤波器需要很长时间，在某些情况下需要几秒钟，因此它要求相对稳定、不变的输入信号。

如果信号迅速变化，那么从统计学上看可能会漏掉变化。如图2所示，扫描查看的是频段Fa，而瞬时畸变发生在Fb上。在扫描到达频段Fb时，误码已经消失，而没有检测到误码。它没有任何方式触发定义的信号特点，也没有任何方式积累长期信号行为记录。

分辨率滤波器的响应或稳定时间限制着分析仪的扫描速率。此外，扫描速率与带宽的平方成比例，分辨率带宽越窄，扫描速率越慢。如果分析仪扫描速度太快，显示的幅度将低于实际幅度，表现频率将向右位移。

从理论上讲，扫描速率应无穷慢，但这是不现实的，因此必须规定一定数量的可接受误差。扫描时间提高要求输入信号在更长的时间内保持稳定，这通常会使得扫频分析仪不能测量间歇性信号或周期性信号。

从传统上看，扫频分析仪较实时仪器的主要优势一直是其动态范围和频率范围。但是，高速模数(A/D)转换器技术的最新发展已经缩小了这些优势，因为新的实时分析仪具有70 dB或更大的动态范围及DC - 8 GHz的频率范围，足以适应大多数HEP应用。

### 实时频谱分析仪：存储和分析频率和时间

随着随时间变化的信号在HEP应用中越来越普遍，用户越来越迫切地需要一种替代方案进行RF采集和分析。实时频谱分析仪的出现解决了这个棘手的测量问题。仅就频谱分析仪结构而言，RTSA可以触发频域事件，然后捕获和分析落在实时带宽内的任何传输频带信号。

图3说明了RTSA结构。集成式下变频器在任何传输频带上定位实时带宽，直到分析仪的上限。在滤波后，下变频信号通过ADC，ADC对信号进行数字转换，允许一次触发、捕获和分析信号。

由于基本流程并不是扫描RF输入信号及从串行采集的频率步进中构建图像，RTSA的数字IF结构可以连续捕获称为帧的“快照”。这些帧作为无缝连续时间记录累积在内存中。

内存支持各种显示和分析工具，包括频谱图，它绘制整个一系列帧，揭示信号随时间变化的情况。因此，RTSA是唯一为生成三维视图而优化的RF信号分析仪，这三个维度是：频率、功率(幅度)和时间。

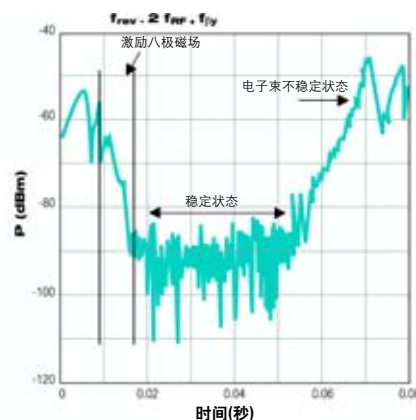
如果感兴趣的传输频带超过RTSA的实时带宽，RTSA可以步进通过一系列频段，这一点与扫频分析仪非常类似。为此，每次扫描都捕获等于RTSA实时带宽的一段频率。然后仪器会把这些频段级联起来，提供一个传统的频域显示图。

### RTSA 测量在粒子加速器应用中的使用

泰克RSA3000和RSA6000系列实时频谱分析仪用于粒子加速器应用中，监测电子粒提升，在提升过程中测量水平和垂直调谐频率；测量色品；监测调幅、调频和调相。此外，RSA可以显示功率随时间变化信息，为监测电子束稳定性提供了一个频率模板触发器。

### 监测电子束提升

在下面的实例中，我们将监测典型时长为160 ms的电子束提升，并把它与电子束可能会以1秒的速率提升的调试阶段进行比较。我们还将考察多个常见频率跨度设置：20 KHz, 50 KHz, 100 KHz 和 200 KHz。



■ 图4. 这个功率随时间变化显示图用来测量 $2f_{rev} - f_{rf} + f(y)$ 时的垂直不稳定性。它从 $t=8\text{ms}$ 到 $12.8\text{ms}$ 、以100A激励脉冲八极磁铁(用来抑制不稳定性)<sup>[2]</sup>。

在典型的160 ms提升时间中(在1秒提升时间中为156 ms)，RSA能够在频域中捕获和存储最多25个频谱波形。可以在传统频域显示图中(在扫频分析仪上看到的视图)或以频谱图模式查看这些波形。在频谱图模式下，X轴是频率、Y轴是时间，功率用颜色表示。

RSA能够调用这些数据，在时间上以6.4 ms间隔向回步进通过捕获的波形。

表1说明了频率跨度、帧速率、时间分辨率和频率分辨率及记录长度(RSA中可以存储的事件长度)之间的关系。时间分辨率是构成帧的每1024个样点之间的间隔。

RSA还可以以功率随时间变化格式显示信息，其时间分辨率可以达到40ns，其动态范围要优于示波器(参见图4)。

频率和时间分辨率与频谱分析仪(SSA)频率分辨率相比如何呢？假设在SSA显示画面上的分辨率为典型的501个数据点，结果如表2所示。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南

跨度	帧速	分辨率 时间	频率 分辨率	记录长度 RSA3300A (64 MB)	记录长度 RSA2200A (2 MB)
200 KHz	3.2 ms	3.125 us	312.5 Hz	51.2 s	1.6 s
100 KHz	6.4 ms	6.25 us	156.25 Hz	102.4 s	3.2 s
50 KHz	12.8 ms	12.5 us	78.125 Hz	204.8 s	6.4 s
20 KHz	32 ms	31.25 us	31.25 Hz	512.0 s	16.0 s

■ 表 1. 跨度、帧时间、时间分辨率、频率分辨率和记录长度之间的关系。

扫描时间呢？这里，我们看到某些分析仪提供的模拟和 FFT 模式与泰克 RSA 仪器在较窄的分辨率带宽(RBW)设置时的结果比较。

在扫频分析仪中，将观察不到其扫描时使用的 200 ms 之间在某个频率上发生的任何事件。这同样适用于表 3 FFT 仪器实例中 <15ms 时发生的任何事件。而泰克 RSA 系列的实时功能则允许用户以 6.4 ms 时间段查看整个跨度。

此外，RSA 允许用户存储和调用这些信号，以进行捕获后分析，而扫频分析仪中是不提供这种功能的。用户可以在“频率随时间变化”模式或“功率随时间变化”模式下以好得多的时间分辨率(6.25us)调用这些信号。因此，我们看到，泰克 RSA3300A 系列分析仪中的独特结构和方法在测量瞬时信号时提供了巨大的优势，而且通常会改善频率分辨率。由于快速帧速率，泰克实时频谱分析仪可以更加动态地测量色品和色品校正的应用情况。

频率 跨度	扫频分析仪 (501 个数据点)	RSA (实时模式)
100 KHz	200 Hz	156 Hz
20 KHz	40 Hz	31 Hz

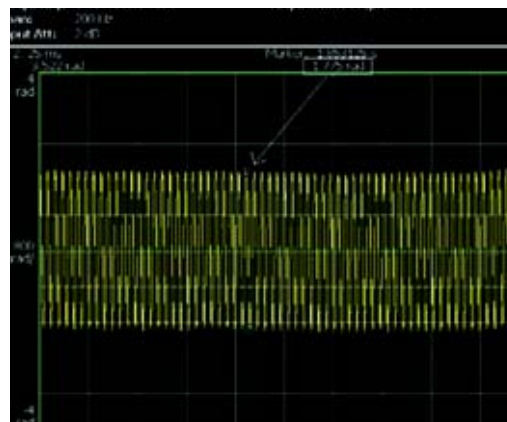
■ 表 2. 扫频分析仪和 RSA 频率分辨率在 100 KHz 和 20 KHz 分辨率带宽设置时比较，假设在扫频分析仪上的分辨率为 501 个数据点。

分析仪类型	扫频	FFT	实时
RBW (默认值)	1 KHz	1 KHz	266.96 Hz
扫描时间 (耦合模式)/ 时间分辨率	0.2 s	15 ms	6.4 ms (帧时间) 6.25 us (时间分辨率)

■ 表 3. 100 KHz 频率跨度时模拟扫频分析仪、采用 FFT 模式的仪器(某些分析仪中以较窄的分辨率带宽(RBW)设置提供)和采用实时技术的 RSA 分辨率比较。注意使用 RSA 时默认的 RBW 设置大大改善。



■ 图 5(a). 拥有以 20 Hz 调制的 1.5 GHz 载波及调相幅度为 1.75 弧度的调相信号的频谱。



■ 图 5(b). 图 5a 中显示的频谱的解调图。注意现在可以使用标尺功能，直接读取调相和速率。

## 色品测量

色品描述了电子感应加速器谐振频率(调谐)的变化与电子束动力的关系。高能储存环中要求色品补偿，以避免由于头尾(H-T)效应导致的不稳定。我们把磁聚焦结构的色品定义为  $Q' = dQ/dd$ ，其中  $Q$  是电子感应加速器调谐， $d$  是较额定动力的部分偏差。

一种方法是使用快速先驱震激电子束，然后在RTSA上观察电子束位置监测信号的响应，测量相干阻尼率。分析仪以对数方式显示阻尼包络，在减去不相干的辐射阻尼比之后，可以确定相干的阻尼率。

在具有多个波长相近的波束的正电子或质子储存环中，电子束可能会由于光电效应或二级放射而积聚在真空腔中。然后可能会出现这一电子束驱动的单束双流不稳定性。根据电子束与电子交互的强度、色品和同步加速器振荡频率，不稳定性要么类似于直线加速器电子束畸变，要么类似于头尾不稳定。

储存环中大多数调谐测量是在加速周期中单一时间上进行的。但是，如果在整个加速周期测量调谐(扫频分析仪要求这样做)，那么这一流程要求许多电子束周期，使得数据采集工作耗费大量的人力，甚至会导致HEP试验中断。RTSA可以在一个电子束周期中对整个加速周期采集和检索调谐数据。它还可以利用调相RF，测量色品[3, 4]。RSA产品可以直接进行调相(PM)测量，更快速、更精确地计算色品(参见图 5(a)和图 5(b))。

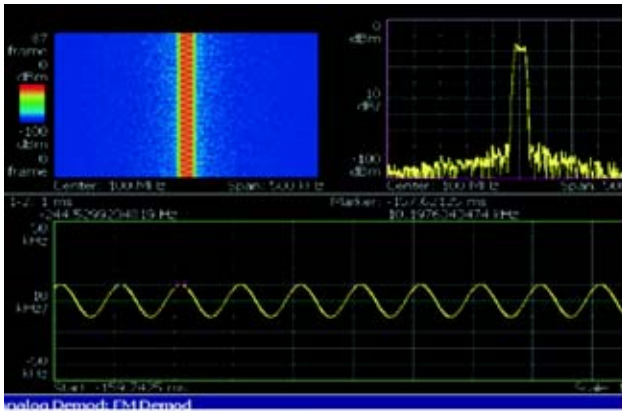
## 模拟解调，支持多域显示图

RSA在多域显示图中提供了幅度、频率和相位解调功能。通过使用标尺功能，RSA可以简便地在显示屏上直接读出调制结果(参见图 6)。

FM解调适用于各种HEP应用。例如，在电子束不稳定时，可以以很高的频率和时间分辨率分析变化量(参见图 7)。它还可以用来监测电子感应加速器信号，并适用于把数量已知的外部FM注入RF系统的情况。

## 应用案例集—综合应用

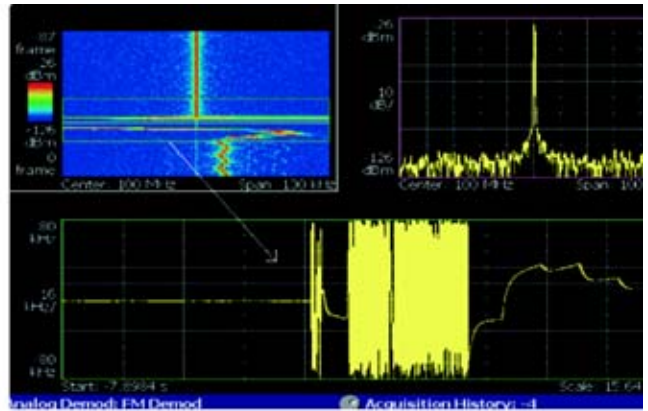
### ■ 应用指南



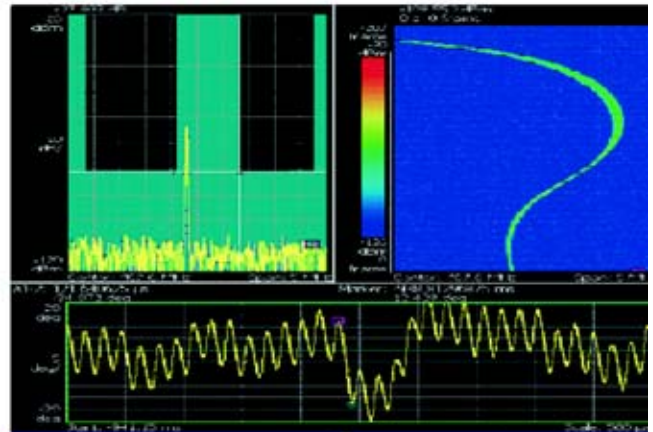
■ 图6. 直接读出FM信号。使用峰值标尺读出峰值FM变化(大约10 kHz), 使用增量标尺读出FM比率(1 ms或1 kHz)。在频谱图模式下(左上), X轴是频率, Y轴是时间, 颜色标度表示功率。

在图7中, 我们在多模式图中看到信号严重不稳定。回忆一下表1, 在跨度为100 kHz时, 频谱图(左上)和频域图(右上)提供了6.4 ms的时间分辨率和156.25 Hz的频率分辨率。通过使用FM解调模式(底部), 可以把时间分辨率(X轴)设成6.25 us, 把频率分辨率(Y轴)设成每格16 mHz, 从而可以观察异常瞬时频率变化和小的频率变化。

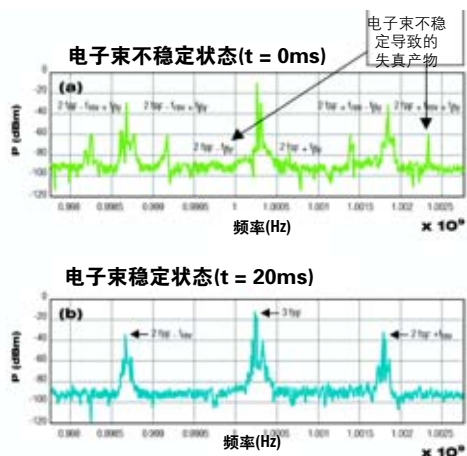
调相特别适合监测电子束的相位稳定性, 分析和调节典型储存环中常见的多个锁相环(PLL), 及计算色品(参见图8)。调相则可以用于同步加速器测量。



■ 图7. 信号不稳定的多模式图。



■ 图8. PLL 响应, 左上图是频域(启动了频率模板触发), 右上图是频谱图, 可以清楚地看见频率摆幅和稳定时间。在底部可以看见相位随时间变化的情况(PM 解调)。



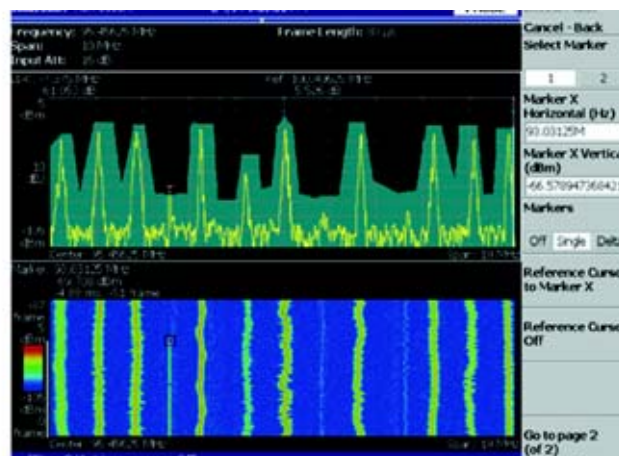
■ 图 9. 电子束不稳定表现为瞬时失真产物。不稳定的电子束(顶部)与稳定的电子束(底部)比较。注意在不稳定时失真产物的外观。

### 使用频率模板触发器监测电子束稳定性

电子束不稳定作为频偏信号或作为失真产物显示在频域中(参见图 9)。

通过使用这种独特的频率模板触发器(图 10), 泰克 RSA 可以设置成在发生任何事件时触发系统。可以使用鼠标在显示屏上“画”一个模板, 支持 1 个像素及 0.1 dB 的分辨率。

一旦触发 RSA, 它可以开始记录数据, 以用于日后分析, 它还把触发输出到外部设备, 如警报。此外, RSA 提供了触发前设置, 因此可以调用和分析触发事件之前的数据。



■ 图 10. 使用频率模板触发器。

与扫频分析仪中的传统触发相比, 这是一个重大优势, 因为扫频分析仪仅限于 TTL 输入或 IF 电平触发。扫频分析仪监测 IF 传输频带中所有信号的功率电平, 结果会一直触发信号, 而不管是否有失真产物。RSA3300A 提供了这些传统触发输入及独特的新增频率模板触发选项。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南

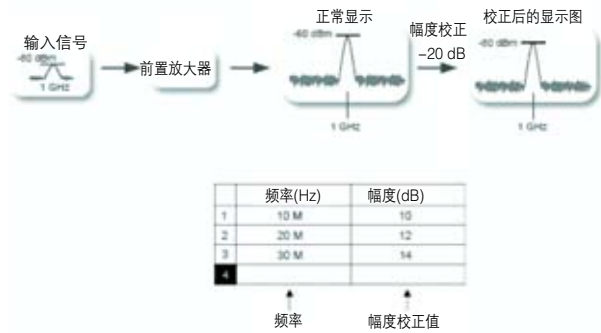
### 其它功能和应用

#### 幅度校正

可以用于HEP应用中的其它RSA功能包括: RSA能够输入高达3000点频响数据的幅度校正文件(参见图11),这可以用来校正RTSA输入前的BPM电缆损耗或其它损耗。

#### 振动分析

可以使用RSA测量低频振动(到DC),实现优异的频率分辨率,其更新显示速率要远远好于传统扫频分析仪。在同步加速器辐射源的储存环发射度较小时,振动问题的重要程度进一步提高。储存环的垂直发射度会非常小,以致振动对电子束的影响不能小视。空调、制冷和真空泵操作可能会导致磁铁振动,进而影响电子束稳定性。可以使用加速计分析这些振动,其输出可以放大,然后输入RSA进行FFT处理。此外,可以使用RSA的实时功能,可靠地捕获间歇性振动峰值。



■ 图 11. 幅度校正。



### 小结

通过在一台仪器中提供扫频分析仪中没有提供的多种功能，泰克实时频谱分析仪在 HEP 应用领域中持续居于领导地位。

- 频率模板触发和触发输出，允许用户在其变得不稳定时触发调谐频率，同时向其它仪器(如报警设备)发送 TTL 信号，捕获触发前数据。
- 捕获无缝数据的长记录(包括触发前数据)。
- 多域视图，可以同时显示任何三种模式：频谱图、功率随时间变化、频域或解调数据(AM, FM, PM)。
- 以更好的频率分辨率更新显示频谱。
- 调用数据，进行后期处理和详细分析。

泰克 RSA3000A 系列实时频谱分析仪为高能物理领域中的操作人员和科研人员提供了独特的解决方案和优势。只有泰克实时频谱分析仪提供了所需的触发、捕获和分析功能，可以揭示粒子加速器异常事件的实际特点。RSA 是可以满足苛刻的粒子研究要求的解决方案。

如需更多信息，请与当地泰克代表处联系，或安排仪器演示。

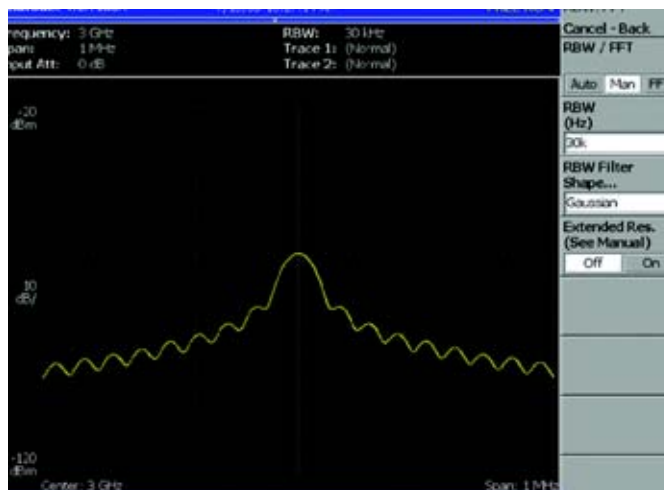
## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南

#### 参考资料:

1. “Elettra 增强器快速调谐测量系统”, S. Bassanese, M. Ferianis, F. Lazzourene, DIPAC 2003 会议记录 – GSI, 德国美因兹
2. “光子工厂储存环中的脉冲八极磁铁系统”, Tsukasa Miyajima., Yukinori Kobayashi 和 Shinya Nagahashi。
3. PBAR 指南 656 “使用调相 RF 进行色品测量”, Dave McGinnis – Fermi 国家实验室。
4. “通过 RF 调相进行色品测量”, BI 论坛, 2/26/2002, Oliver Bruning – CERN。
5. “Spring-8 储存环的振动测量”, 2001 年粒子加速器会议记录, 芝加哥, K. Tsumaki, N. Kumagai, Spring-8, Hyogo, 日本。
6. “时间问题”, 泰克技术简介, 资料编号: 37W-17252-0。

## 泰克实时频谱仪 在“高能加速器” 测试方面的应用



**曹建社** 中科院高能物理研究所(100039)

**摘要** 在加速器的运行、调束和机器研究过程中，需要经常对束流振荡频率进行测量。另外在加速器物理实验以及在研究各种束流不稳定性的机器研究过程中，都需要频谱测量和频谱分析。泰克时频谱分析仪(RSA)在频谱测量以及多域(时域、频域、相位等)分析方面较传统的扫频频谱分析仪和示波器能给我们提供许多优势。

**关键词** 束流振荡频率频谱储存环直线加速器。

### 1. 引言

加速器即带电粒子加速器是人类探索微观世界的重要设备和手段,随着加速器理论以及和加速器相关的科学技术的飞速发展,目前加速器已变成许多学科都必不可少的实验装置,像医学、材料学、化学、生物学等等。加速器的种类很多,根据应用划分,目前的高能加速器主要应用于粒子对撞和同步辐射。另外,还可以根据其加速的内容和方式,对加速器进行分类。北京正负电子对撞机(BEPC)即是我国自行建造的第一台高能加速器,它有电子直线加速器(Linac)、正负电子输运线(Transport line)以及储存环(Storage Ring)组成。储存环可以提供正、负电子对撞束流,用于高能物理实验和兼容模式的同步辐射研究,或者提供电子束流专门用于同步辐射研究。通常在高能加速器中,电子枪发出的电子束通过直线加速器加速到预先确定的能量,然后通过输运线或增强器(Booster)环注入到储存环。储存环有许多用于带电粒子束偏转的电磁铁以及用于加速和聚束电荷粒子的高频腔。每次在粒子束通过高频腔时,粒子束将被聚束和加速,获得更多的能量。电磁铁则用来调节粒子束的闭轨,这样可以使得粒子束在理论设计的磁聚焦结构(Lattice)中保持沿平衡轨道作圆周运动。

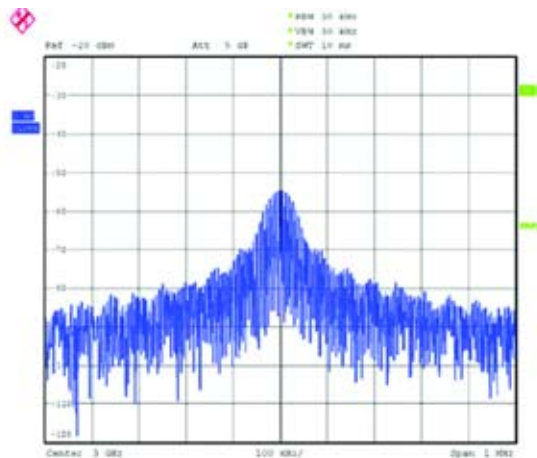
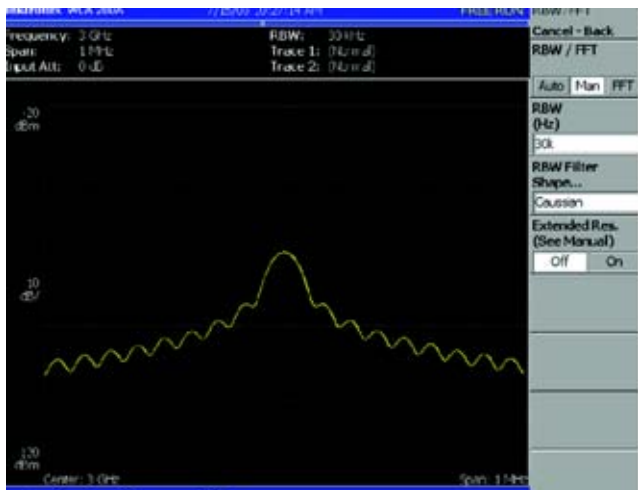
束流在储存环中运动时,有时在横向和纵向会沿平衡轨道作相干振荡,束团沿环运动一圈所作振荡的周期数,通常被称为储存环的TUNE值。束流的横向(水平或垂直)振荡称为自由振荡,纵向振荡则称为同步振荡或是相振荡。TUNE值是储存环的重要参数之一,它的选取对束流的性能影响极大,如果TUNE值的选择不合适,就会造成束流寿命的下降甚至束流的丢失。另外,加速器的其它一些重要参数,如包络函数(b function)、色品(Chromaticity),也要借助于TUNE值测量的数据,通过计算求出。因此,在加速器运行和机器研究过程中,TUNE值测量有着十分重要的意义。

另外在高能加速器储存环中,在某些时刻由于一些问题容易产生不稳定的振荡。造成束流不稳定的原因很多,除了磁铁电源的波动、局部真空度的变化等硬件设备的故障外,更多的还是束束作用以及束流尾场和真空壁阻抗引起的束流不稳定性,这些不稳定性严重制约了束流流强的提高以及束流性能的提高。

以上所述参数的测量以及问题的寻找,通常都要依赖于频谱测量一类的仪器设备或分析方法。通常TUNE值的测量是采用频谱仪设备或者是对束流位置信号进行高速A/D转

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南



■ 图一: RSA3000 (左)和扫频分析仪(右)之间的边带分辨率差异

换后,再进行FFT分析。然而,常规的扫频频谱仪不能进行实时的测量,采用高速A/D也多是离线进行FFT分析。尤其是在以上所述问题的查找时,实时的测量以及多域(频域、时域等)的测量,能极大的简化和快速地查找问题和分析问题。泰克WCA200A系列实时频谱分析仪(RSA)在以上所述参数的测量以及问题的寻找方面,能给我们以极大地帮助。

### 2. 泰克实时频谱分析仪(RSA)的应用和优势

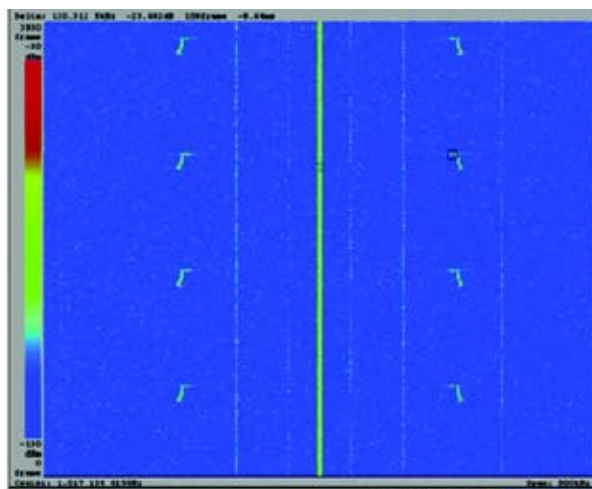
泰克 RSA3000 系列仪器具有内置实时频谱分析仪(RSA)模式。这种模式较传统的扫频频谱分析仪和示波器提供了许多优势。让我们看一下RSA 模式为粒子加速器用户/操作人员提供优势的这些应用。

在加速器运行、调束以及机器研究过程中,我们主要使用频谱分析仪来观察束流振荡。频谱分析仪作为调幅(AM)显示b(Betatron)振荡,同步振荡则作为调频(FM)显示。根据测量分析结果,我们才能优化机器性能,才能确定怎样有效地抑制振荡。对RSA模式,一个主要显著的特点是用户可以使用频谱图模式,实时迅速地观察振荡变化,包括在储存环能量快速 Ramping 过程中束流振荡过程的记录。对于传统的扫频频谱仪是无法记录下这个过程的。

RSA3000系列仪器具备的大动态范围以及很好的信噪比使得细节的测量变得更加容易。我们曾经比较了传统扫频频谱仪和RSA3000在测量同一信号时的相对信噪比,即测量信号峰值和噪声基线平均值之间功率电平的差值,比较的结果显示RSA3000的优势是明显的。在这一应用中,另一个关键指标是脉冲的谱形。一般来说,用户希望在频域测量中谱形要清晰明显。因此,在传统的扫频频谱仪测量时,我们经常要调节频谱仪的分辨率滤波器带宽、视频滤波器带宽以及参考电平,否则可能引起较大的测量误差。如下图所示,RSA3000系列仪器相比扫频频谱仪可提供非常好的边带分辨率。

从图二中可以看到RSA3000和扫频分析仪在测量同一个 $18\mu\text{s}$ 宽度、 $68\mu\text{s}$ 周期脉冲信号时边带分辨率的明显差异。

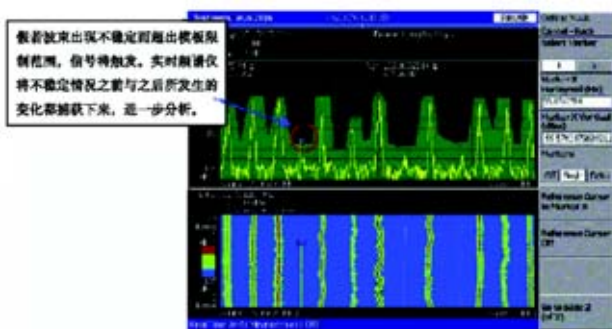
束流不稳定常常伴随着谐波边带的产生,表现为瞬时FM或畸变,可以使用频谱图模式简便地观察和测量束流不稳定。



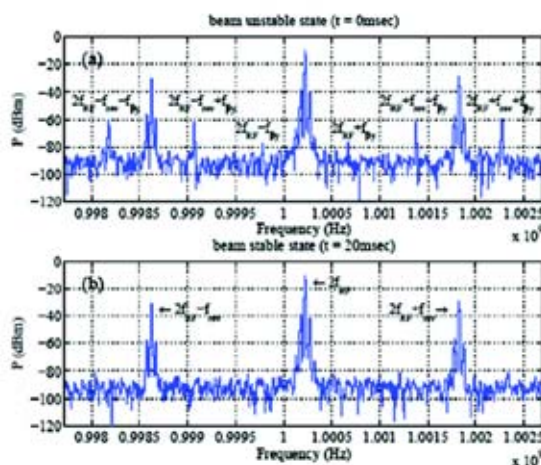
■ 图二：使用频谱图模式观察和测量束流不稳定

图三中左图为三维的频谱图，其横坐标为频率刻度，纵坐标为时间刻度，不同的颜色代表信号功率电平的大小。右图显示了不稳定的束流(上图)与稳定的束流(下图)的对比情况。另外还可利用 RSA3000 的 256 MB 内存记录这种不稳定性，以后再进行播放，以进一步进行分析。

RSA3000 系列所提供的功能之中，最独特的一项是频率模板触发(Frequency Mask Trigger)。这种特殊的触发功能同时具有可个别设定的频率与振幅参数，只有在所选择的频率范围之内，出现符合频率设定值的信号时，此仪器才会进行触发。此功能可有力地帮助我们寻找问题的所在。当出现束流不稳定性时，此时会经常出现束流寿命下降或束流突然丢失。通过使用 WCA 的频率模板触发功能以及预触发设置，我们可以观察这些事件前束流的情况。特别是，我们可以检测束流是否有横向振荡或纵向振荡。



■ 图三：频率模板触发器的使用



在加速器中(包括直线加速器的相控系统 and 定时系统)通常还有大量的锁相环(PLL)。泰克 RSA3000 可以使用频率对应时间的读出功能，迅速分析锁相环。RSA3000 还提供通常只有在高端(成本也更高的)矢量信号分析仪(VSA)中才提供的解调功能。因此，通过使用这种功能，可以简便地测量束流中 AM、FM 或相位不稳定的数量(作为调相显示)，而不必使用涉及鉴相器的复杂设置。

RSA3000 在 高能加速器的另一个应用是分析加速器设施中使用的真空泵、压缩器或冷却供水系统的机械振动。大多数旋转机械问题会产生谐波丰富的波形。谐波数量及其相对幅度通常与问题的严重程度成正比。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南

### 3. 泰克实时频谱分析仪(RSA)的特点总结

泰克 RSA3000 系列实时频谱分析仪能提供的新功能包括: 同时多域分析如快速全面地分析频域、时域和调制域中的信号; 频率模板触发可根据振幅和频率内容检测已知或杂散事件, 简便地捕获其它频谱分析仪不能捕获的细节; 配备的长内存捕获最高可达 256MB, 可以以 15MHz 或 36MHz 的带宽内进行实时频谱分析。三维图形显示为用户提供了非常有用的图形表示, 如频域图使用户能够全面了解被测信号的详细情况。

#### 参考文献

- [1] 马力, 曹建社, 汪林, BEPC 储存环束流振荡频率测量, 《高能物理与核物理》, 1999.7
- [2] 泰克 RSA 系列仪器宣传资料

## 使用实时频谱分析仪进行电源测试

泰克实时频谱分析仪可以在开关电源上进行传统扫频分析仪不能进行的许多测量。本应用简介说明了使用泰克 RSA3300A 系列实时频谱分析仪对 Radio Shack 273-1680 型号小型 3-12V 1000 mA 电源进行的部分测试。

在所示的所有实例中，电源设置成 3V 输出，在电源输出和分析仪输入之间有一部 50 欧姆 20 dB 功率衰减器。对下面所示的所有测试，电源插入开关电源板中，这样可以简便地开关输入线路电压。我们发现，基础开关频率约为 80 kHz。

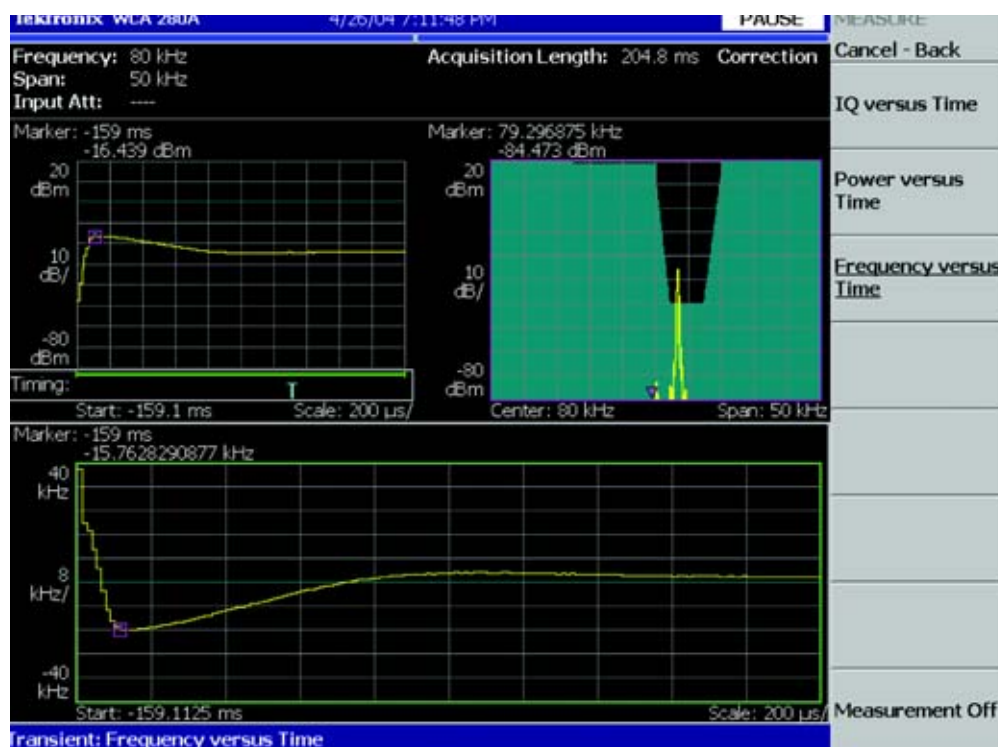


图 1. 频率模板触发器用来在电源启动时触发采集。在信号进入模板的黑色区域时(以正确的幅度和频率)，分析仪触发采集(使用用户指定的预触发数据量)。

- 左上方窗口显示了 80 kHz 中心频率周围 50 kHz 跨度的功率随时间变化。这个窗口进行定标(在采集后)，从而显示 2 ms，窗口左边边沿显示出现了开关频率的上升沿。
- 底部窗口显示了类似的时间标度，但测量的是频率随时间变化(在 80 kHz 中心频率周围 50 kHz 跨度内使用频率鉴别器)。底部窗口上显示一个标尺，显示最小开关频率约比 80 kHz 中心频率低 15.76 kHz。这个标尺链连到左上方窗口的功率标尺中(在同一时点上显示的功率约为 -16.4 dBm)。在开机后大约 1 ms，幅度和频率稳定得相当好。
- 右上方窗口显示了在略微超过其它(时域)窗口的右边边沿的时点上开关信号的频谱。图中显示了频率模板。在 80 kHz 附近的开关信号第一次进入黑色区域时，分析仪触发采集。我们使用预触发器，因此将同时采集在开关信号激活模板触发器之前和之后的数据。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南

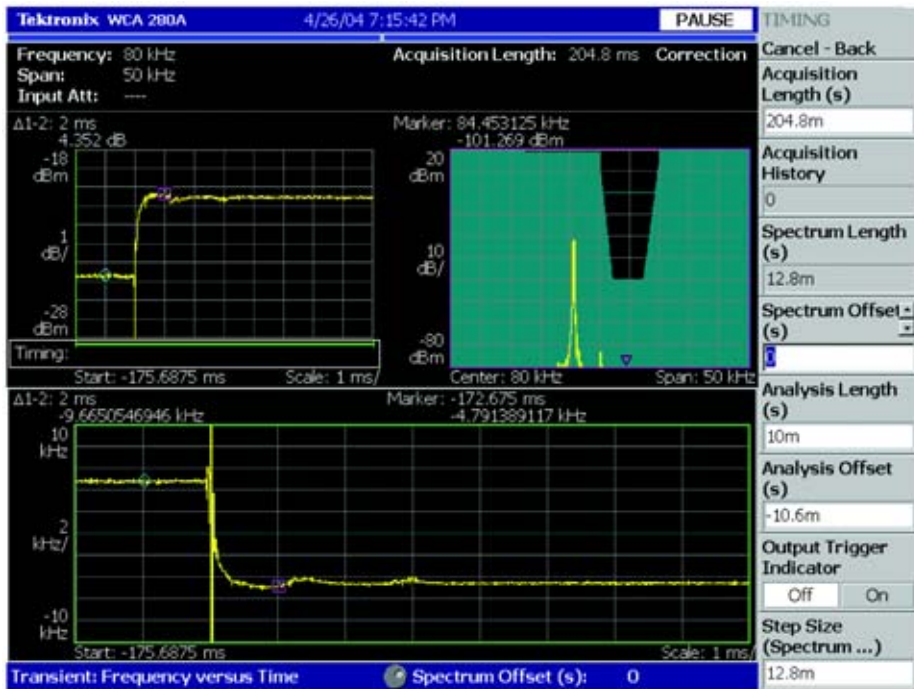


图2. 与图1类似的显示画面(但使用不同的标度系数)。现在, 频率模板触发器设置成在信号退出模板时激活。负荷电流提高一倍, 导致开关频率降低(大约9.7 kHz), 开关波纹的幅度提高(大约4.3 dB)。

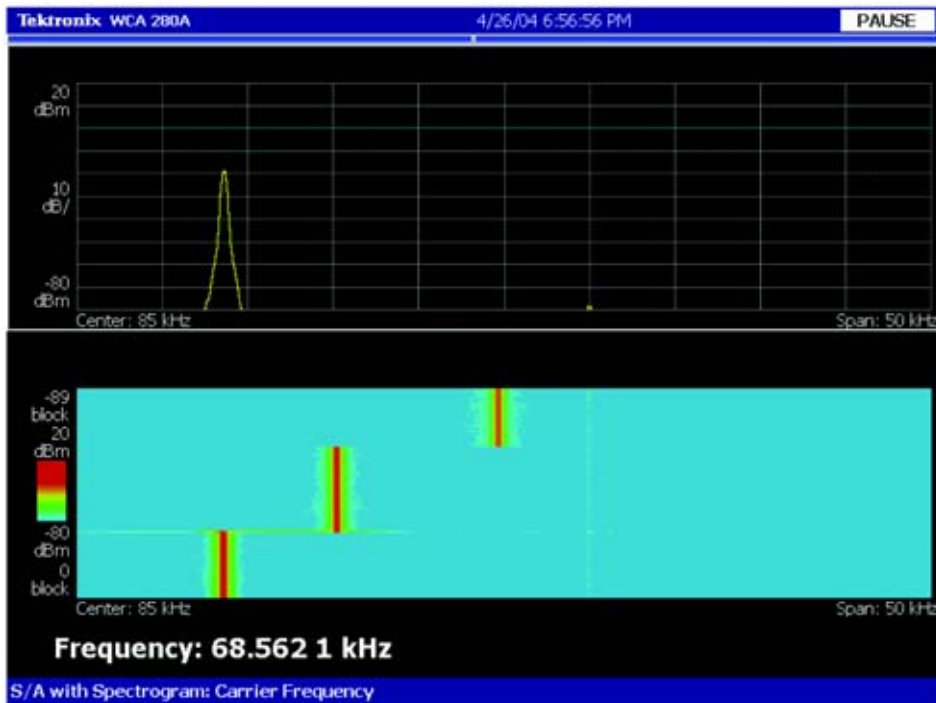


图3. 这是在负荷变成三个值时开关频率的实地(连续更新)显示画面。下方窗口中的频谱图画面提供了频谱的时间历史(在本例中, 在电源中应用三个负荷时, 显示了大约5秒的信号)。基于DSP的频率计数器异常快速地显示了50 kHz跨度内部最强的瞬时信号。



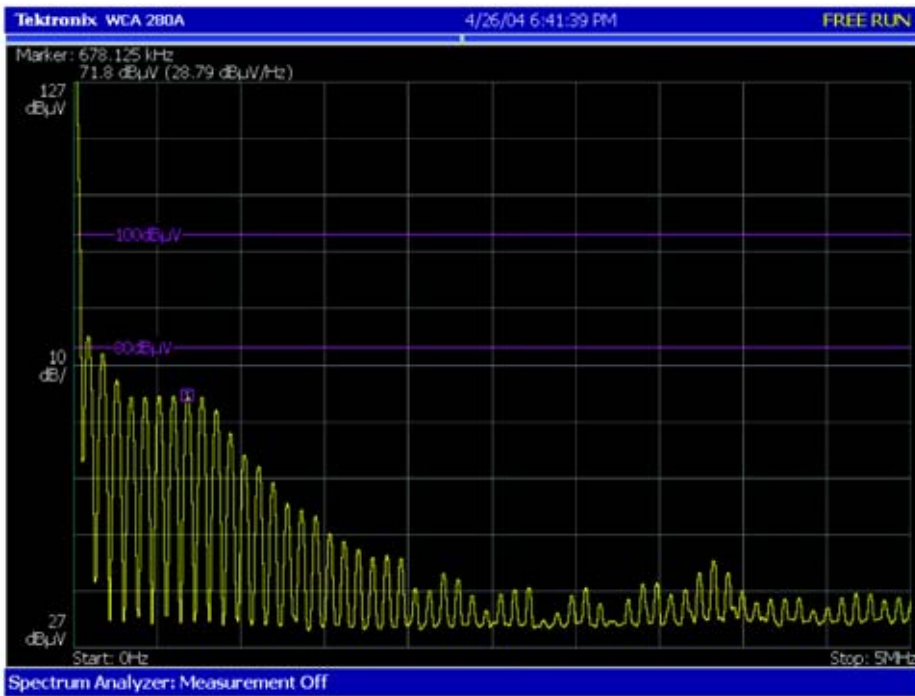


图4. EMI应用：显示了直到5 MHz的开关频率谐波。显示了80 dBuV和100 dBuV上的用户线。

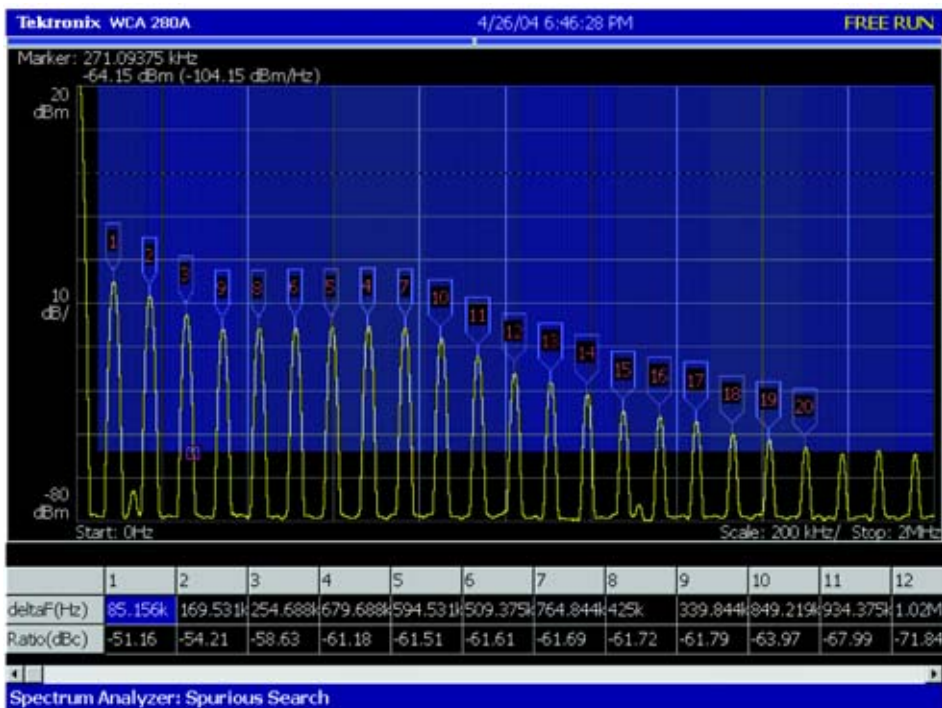


图5. EMI应用：显示了直到2 MHz的开关频率谐波。分析仪杂散测量功能显示了门限以上每个杂散信号的电平和相对频率(在蓝色区域中)。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南

#### 结合使用 P5200 高压探头和实时频谱分析仪

在使用实时频谱分析仪时，通常需要测量高阻抗信号。泰克 P5200 差分探头从 DC 到 25 MHz 提供高阻抗到 50 欧姆转换。这特别适合泰克 RSA3300A 系列频谱分析仪的 DC–20 MHz 基带输入范围。

使用这个探头上的频谱分析仪 50 欧姆端子(带有一个 BNC 到 N 适配器)会导致额外的两倍电压标度系数，因为活动的探头输出阻抗为 50 欧姆。提供了两个差分输入电压范围(带有指明的幅度偏置系数)：

- 1/50 (–40 dB 至 50 欧姆) – 最大 130 V (DC + 峰值 AC)
- 1/500 (–60 dB 至 50 欧姆) – 最大 1300 V (DC + 峰值 AC)

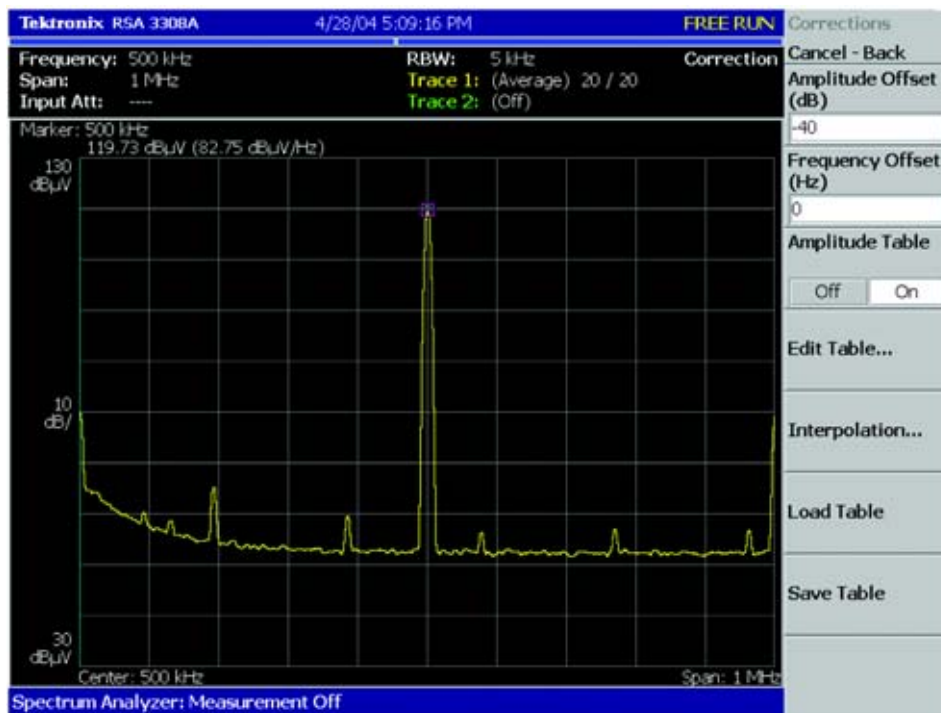


图 6. RSA3308A 实时频谱分析仪显示的 P5200 差分高压探头上 1/50 范围的本底噪声(130 V 最大)。标尺位于 RF 信号发生器(正确端接)生成的 500 kHz 1 V 信号(120 dBuV)上。显示的 dBuV 和 dBuV/Hz 画面可以用于 EMI 分析。还可以使用天线系数校正表。

P5200 可以与实时频谱分析仪相结合，用于从 DC 到 20 MHz 的各种应用。但是，P5200 的本底噪声和杂散信号大约比上面列出的分析仪型号高 20 dB，因此这是测量小信号的限制因素。您应该一直对小信号使用 1/50 范围(只要峰值电压低于 130 V)，因为 1/50 范围的探头损耗比 1/500 范围低 20 dB。探头损耗提高了测量系统的噪声系数。例如，图 7 是使用 RSA3308A 实时频谱分析仪时 P5200 探头上 1/50 范围的本底噪声。图 8 显示了 P5200 上 1/500 范围的本底噪声。

从 90 kHz 到 200 kHz，杂散信号超过了探头本底噪声。图 9 显示了 1/50 范围的 DC – 200 kHz 本底噪声和杂散信号，图 10 则显示了 1/500 范围的数据。P5200 探头和实时频谱分析仪在低得多的频率上性能仍非常好。图 11 显示了 1/50 范围时 DC – 20 kHz 音频跨度，图 12 显示了 1/500 范围。在非常低的频率上，从 P5200 9 V 电源和其它来源捡拾的残余噪声生成了 100 Hz 或 120 Hz 的杂散信号(是市电路频率的两倍)。图 13 显示了 1/50 范围时 DC – 200 Hz 跨度的数值(采用线性电压标度)，图 14 显示了 1/500 范围的数值(采用对数功率标度)。



图 7. RSA3308A 实时频谱分析仪显示的 P5200 差分高压探头上 1/50 范围的本底噪声 (130 V 最大)。在 500 kHz – 20 MHz 时系统本底噪声 (参考探头输入) 低于大约 -90 dBm/Hz。分析仪本底噪声约为 -154 dBm/Hz (在分析仪输入上)。在探头中校正 40 dB 损耗时, 分析仪本底噪声约为 -114 dBm (参考探头输入)。因此, 探头噪声要高出 20 dB 以上。但是, 高输入阻抗和高压功能可以使用 P5200 测量广泛的电源信号。

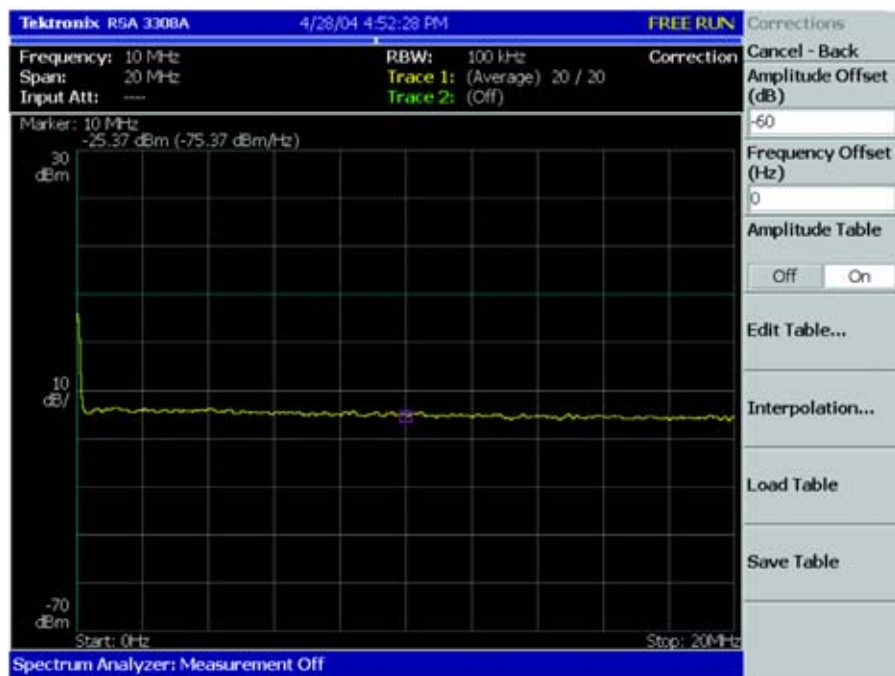


图 8. RSA3308A 实时频谱分析仪显示的 P5200 差分高压探头上 1/500 范围的本底噪声 (1300 V 最大)。500 kHz – 20 MHz 时的系统本底噪声 (参考探头输入) 低于 -73 dBm/Hz。探头本底噪声再次比分析仪噪声高 20 dB。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南

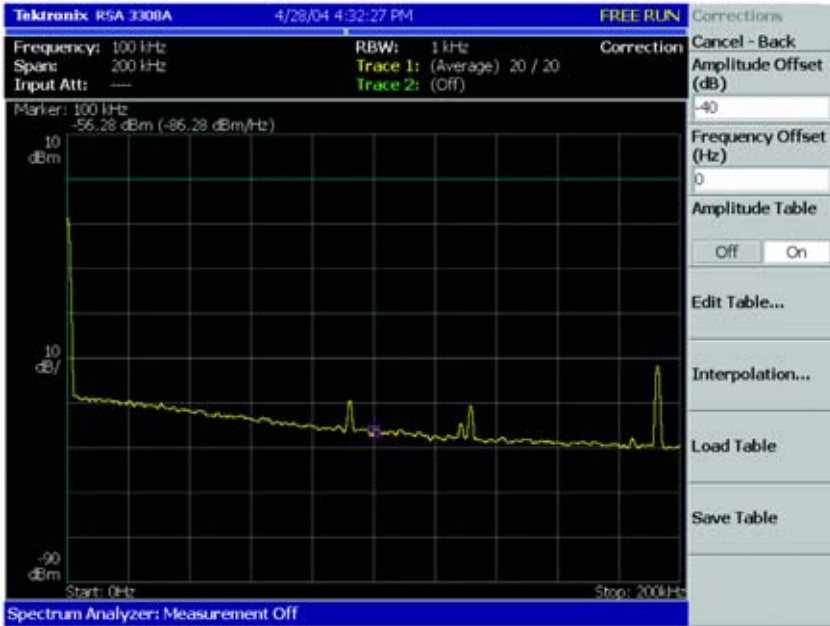


图 9. RSA3308A 实时频谱分析仪显示的 P5200 差分高压探头上 1/50 范围的本底噪声(130 V 最大)。在这些较低的频率上，可以看到 1/f 低频噪声及多个杂散信号。

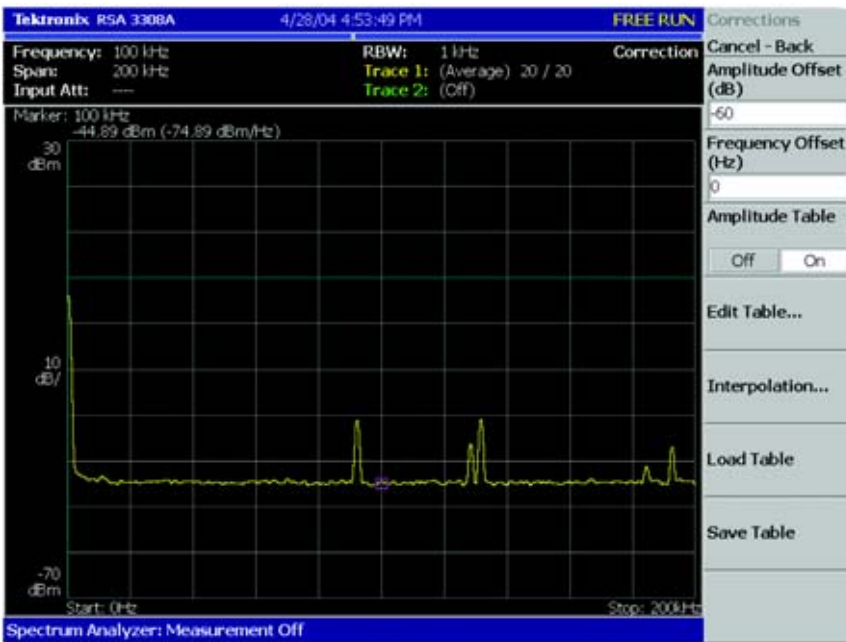


图 10. RSA3308A 实时频谱分析仪显示的 P5200 差分高压探头上 1/500 范围的本底噪声(1300 V 最大)。1/f 噪声在这个范围内不是问题，但仍存在杂散信号。



图 11. RSA3308A 实时频谱分析仪在音频 DC – 20 kHz 跨度时显示的 P5200 差分高压探头上 1/50 范围的本底噪声(130 V 最大)。



图 12. RSA3308A 实时频谱分析仪在音频 DC – 20 kHz 跨度时显示的 P5200 差分高压探头上 1/500 范围的本底噪声(1300 V 最大)。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南

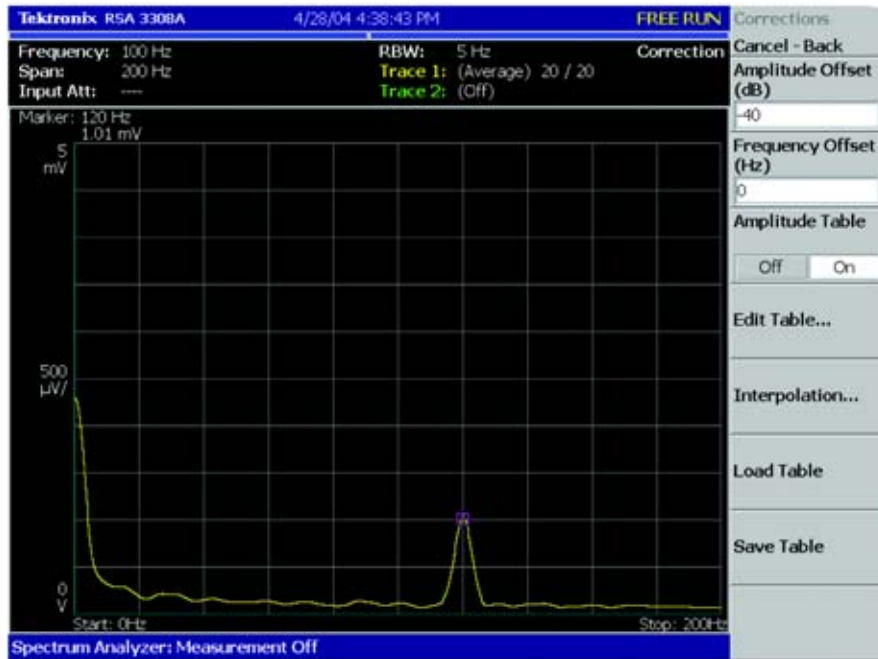


图 13. RSA3308A 实时频谱分析仪在 DC – 200 Hz 跨度时显示的 P5200 差分高压探头上 1/50 范围的本底噪声(130 V 最大)。图中显示了线性电压标度。

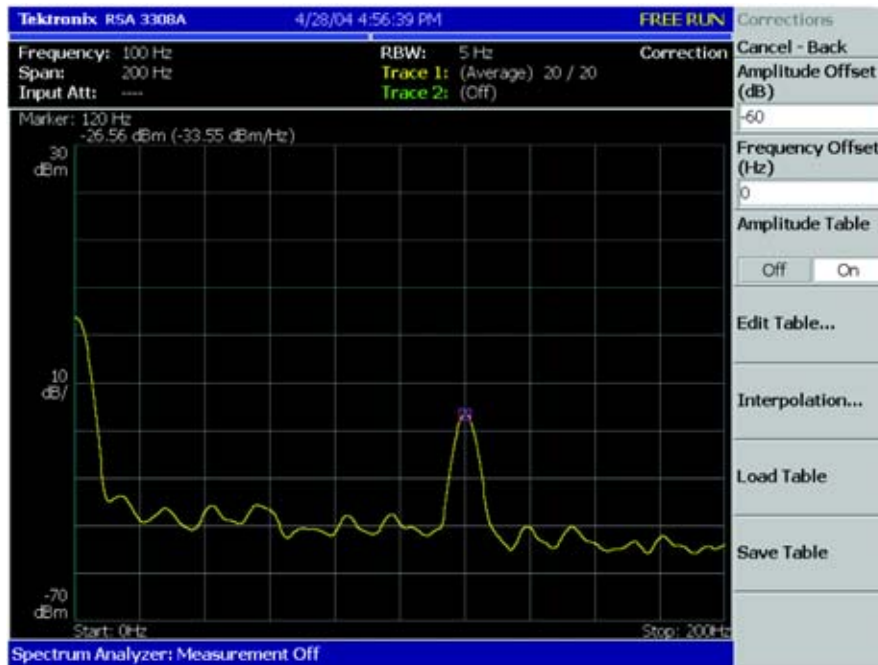
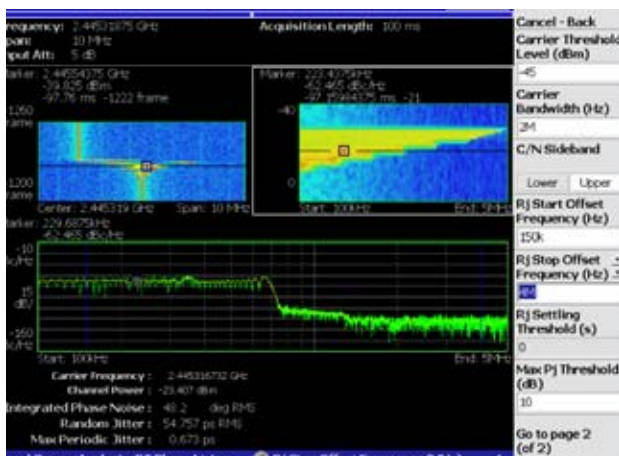


图 14. RSA3308A 实时频谱分析仪在 DC – 200 Hz 跨度时显示的 P5200 差分高压探头上 1/500 范围的本底噪声(1300 V 最大)。图中显示了 dBm 功率标度。

## 信号源分析工具加快相噪测量速度



### RTSA 时间相关多域分析和显示技术揭示了相噪和 RF 信号行为的细节。

泰克系列实时频谱分析仪(RTSA)拥有精良的配置,可以处理棘手的相噪及其它测量。一系列新的综合信号源分析工具提供了新的显示图,可以全面分析相噪,包括噪声图、相噪随偏置频率变化、积分相噪随时间变化及载波噪声比随时间变化。

RTSA 无缝捕获频谱数据随时间变化情况,在多个域中提供时间同步视图,包括频域、时域、调制域等。

RTSA 的频率模板触发器是频谱分析仪中的独有功能,它触发采集频率切换瞬变,包括FHSS系统、PLL和VCO的信号中的频率切换瞬变。它为触发瞬变信号突发、捕获不同 RF 事件、深入进行分析提供了一种快速方便的方式。

### 信号源分析工具节约时间

#### 相噪测量

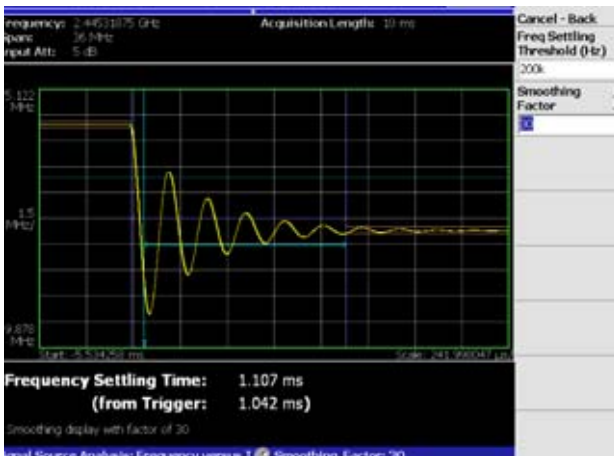
信号源分析软件可以快速评估相噪参数。

噪声图(本页显示的多域画面的右上角)显示相噪随时间变化。它揭示了频率变化后 PLL 稳定的速度有多快或多慢。现在,您可以分析 PLL 相噪性能随时间变化,在频率切换或跳频过程中隔离瞬时异常事件。此外,您可以确定 PLL 环路增益和带宽是否优化,以在频率瞬变条件下实现最大性能。噪声图简化了各项任务,如检定频率切换瞬变和 FHSS 信号的相噪性能。

- 自动显示载频、通道功率和积分相噪
- 噪声图显示功能可以简便地检定瞬变信号的相噪性能随时间变化
- 独特的实时功能支持载波噪声比和积分相噪随时间变化等测量
- 支持广泛的载波偏置频率: 10 Hz – 100 MHz

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南



### 测量稳定时间

在测量 VCO 和 PLL 的频率稳定时间时，RTSA 的信号源分析工具节约了时间。为测量频率稳定特点，您只需在 RTSA 前面板上按该功能的专用按钮即可。

- 自动测量，简便检定 VCO 和 PLL 的稳定时间，确认符合设计规范
- 灵活地设置用户定义的门限，支持各种稳定时间规范极限
- 平滑因数降低了高频噪声成分，精确地进行分析

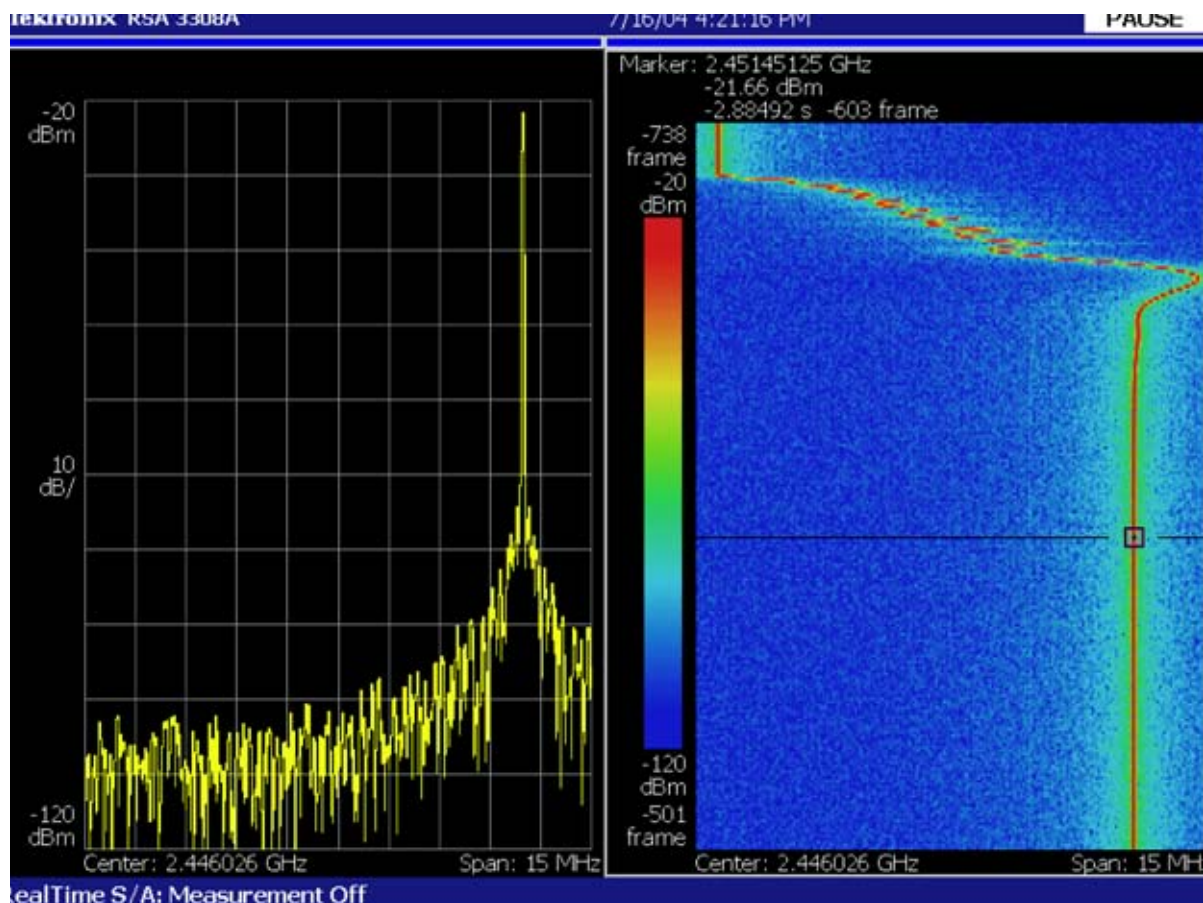
### TekConnect™ 适配器为 RTSA 提供了探头

在许多新兴 RF 设计中，您需要探头考察固定测试点之外的测试点。现在，泰克为 RTSA 新推出的 TekConnect 探头适配器可以使用 TekConnect 高速示波器探头，在组件级调试问题。

- 经过验证的高速探头(差分探头或单端探头)为 RTSA 提供了干净的 RF 信号
- 找到问题根源—参考时钟, VCO, PLL, 电源，而不只是固定测试点



## 使用泰克实时频谱分析仪检定锁相环



### 引言

锁相环已经成为电子器件中最通用的元件之一。它们位于电路和系统的核心，包括数据通信中的时钟恢复模块及手机中普遍采用的局部振荡器。使输出频率成为参考频率的倍数，这一特点使得锁相环(PLL)成为频率合成器、对准同步系统中的各种时钟及混合应用中的首选电路，如跟踪卫星多普勒位移及在工控接近式传感器中传感瞬间电抗变化。

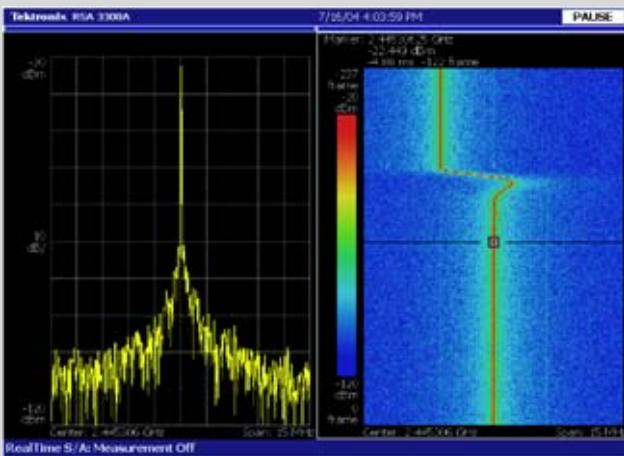
业内已经做了大量的工作，根据其功能把PLL描述为线性反馈控制系统。线性稳定状态近似值精确地描述了PLL操作，可以确定与稳定锁定状态有关的很小的变化。线性对描述小信号效应已经足够了，如PLL对小信号调制的响应、相噪或杂散辐射。线性分析主要在频域中完成，它使用传统频谱分析仪和网络分析仪进行性能测量。但是，在远离锁定、在切换瞬变过程中及在对大的信号

输入作出响应时，PLL的行为方式与线性模型有着很大的差别。非线性操作通常主导关键参数，如稳定时间、切换速度和捕获范围。了解线性操作和非线性操作对满足频率捷变通信系统中的辐射要求也至关重要，这些系统采用PLL，作为跳频振荡器的一部分。非线性分析通常在时域中完成，使用在线探头和示波器进行性能测量。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南

#### 实时频谱分析仪



■ 泰克实时频谱分析仪: 频谱和频谱图, 显示了 PLL 切换瞬变。

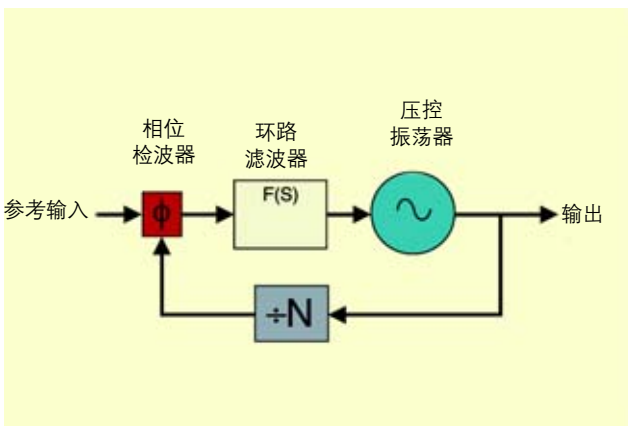
#### 频率域和时域

泰克实时频谱分析仪能够在时域或频域中触发瞬时信号, 捕获信号的无缝时间记录, 在频域、时域、调制域和码域中分析捕获的信号。能够在多个域中操作, 使得泰克实时频谱分析仪成为测量锁相环线性性能和非线性性能的理想仪器。

#### PLL 基础知识

锁相环基本上是一种控制系统, 它采用反馈技术, 使输出信号的相位与参考信号的相位保持一致。更具体地说, 在锁定时, PLL 控制输出信号的相位, 使其是参考信号的相位的  $N$  倍, 如图 1 所示。类似的, 输出信号的频率也是参考频率的  $N$  倍。与所有线性反馈控制系统一样, PLL 具有动态行为特点, 通常使用 Fourier 或 Laplace 技术描述, 会得到  $S$  或  $j\omega$  的转函。转函方法描述的线性行为可以用来分析锁定附近的环路操作。非线性效应是没有锁定条件下 PLL 行为的主要特点, 如在改变分频比率, 以在很大范围内切换频率时。

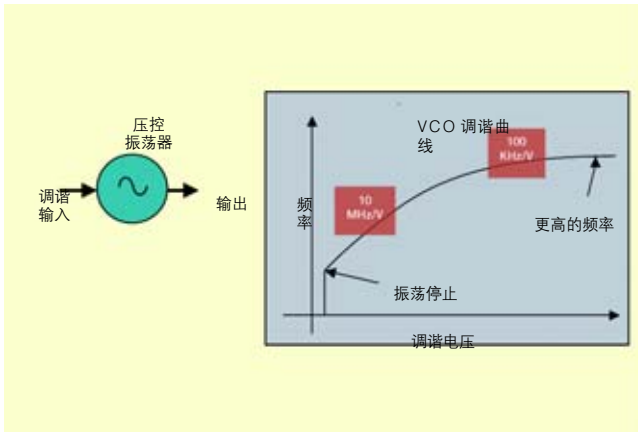
大多数锁相环共用的组件是相位检波器、环路滤波器、压控振荡器或 VCO 及分频器。每个组件都具有线性和非线性操作特点。



■ 图 1: 锁相环的组件图。

大规模混合信号集成电路的出现, 把大部分 PLL 电路推到单片集成电路上, 使得探测所需的信号变得不再可行。这就要求只使用通常可用的 PLL 输出信号, 在时域中测量频率和相位。

本文概括介绍了锁相环操作, 包括线性效应和非线性效应。它还介绍了怎样使用泰克实时频谱分析仪在时域和频域中测量这些效应。



■ 图2. 压控振荡器及其非线性调谐曲线。

### 压控振荡器(VCO)

压控振荡器或VCO通过调谐信号来控制输出频率，如图2所示。顾名思义，这个调谐信号一般是一个电压，但也可以是另一个变量，如可以实现流振振荡器、数字控制振荡器、甚至机械控制振荡器。

VCO的调谐灵敏度KV是线性分析中最重要的参数。VCO通常是非线性的，调谐灵敏度在调谐范围内变化很大。采用VCO、且调谐灵敏度变化很大的PLL通常要求增益补偿，以保持一致的性能。VCO还具有其它需要考虑的非线性行为，包括最小和最大调谐频率，以及振荡停止或生成不想要的频率成分的调谐电压。

### VCO 线性近似值

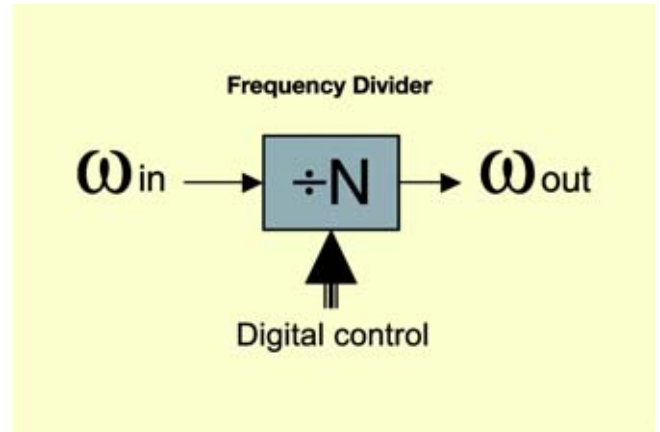
$$\omega_{out}(t) = K_V V_{in}(t) + \omega_0$$

$$\phi_{out}(t) = K_V \int V_{in}(t) dt + \omega_0 t$$

其中  $\phi_{out}(t)$  和  $\omega_{out}(t)$  表示 VCO 输出信号的相位和频率。VCO 相位和频率还可以表示为复合频率的函数。

$$\frac{\omega_{out}(s)}{V_{in}(s)} = K_V$$

$$\frac{\phi_{out}(s)}{V_{in}(s)} = \frac{K_V}{S}$$



■ 图3.

### 分频器

频率合成中使用的锁相环通常采用分频器，如图3所示。这通常是一个数字计数器，它为N个输入脉冲生成一个输出脉冲。相位和频率都按比率N进行放大。N通常是一个整数。还存在着分数N技术，提供不是整数的比率。

### 分频器线性近似值

$$\omega_{out} = \frac{\omega_{in}}{N}$$

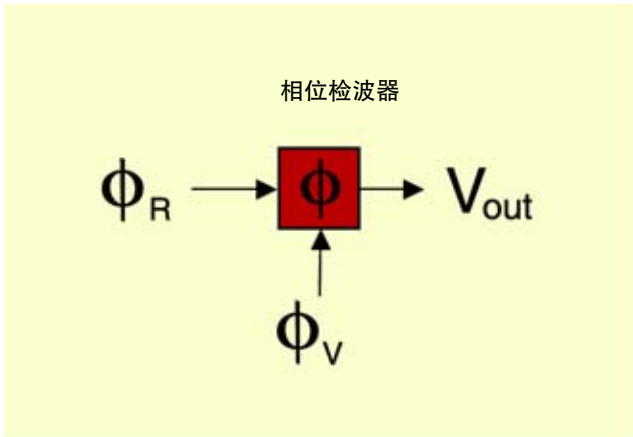
$$\phi_{out} = \frac{\phi_{in}}{N}$$

其中  $\omega_{out}$  和  $\phi_{out}$  是输出频率和相位， $\omega_{in}$  和  $\phi_{in}$  是输入频率和相位，N是分频比率。

整数N分频器以线性方式在指定除数和频率范围内工作，在这些范围内，它们使用恒定值扩大信号的相位。分数N分频器通过交替使用多个整数值，实现非整数的比率。这种非线性操作通常会生成要求滤波、校正或同时进行滤波和校正的杂散信号。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南



■ 图 4. 理想的相位检波器。

### 相位检波器

如图所示，相位检波器是生成与两个输入信号相位差成比例的输出信号的电路。

### 相位检波器线性近似值

$$V_{out}(t) = K_{\phi} [\phi_V(t) - \phi_R(t)]$$

其中  $K_{\phi}$  是相位检波器增益， $\phi_V(t)$  是来自 VCO 的信号相位， $\phi_R(t)$  是参考信号的相位。它有时可以用来独立考察两个信号的响应。

$$V_{out}(s) = K_{\phi} \phi_V(s)$$

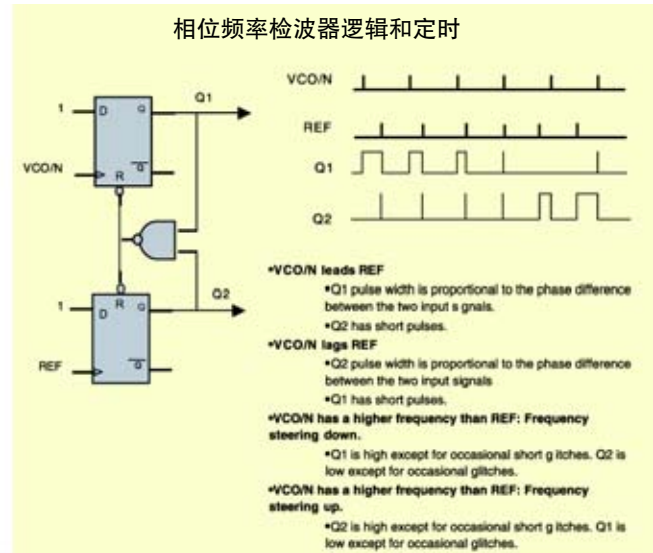
或

$$V_{out}(s) = -K_{\phi} \phi_R(s)$$

### 相位频率检波器

相位频率检波器是最流行的相位检波器之一。它使用非常频繁，因为它采用低廉的数字逻辑实现，在嵌入的 PLL 解锁时，它本身具有频率操纵能力。图 5 说明了基本相位频率检波器的逻辑和定时。

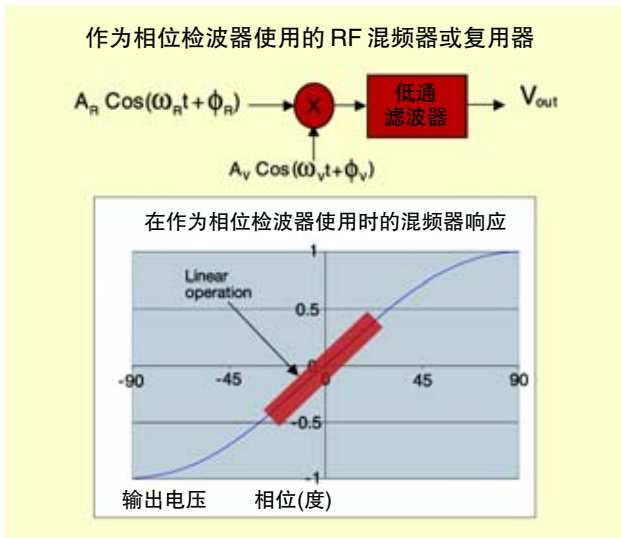
相位频率检波器具有弧度为  $\pm 2\pi$  的线性工作范围，通常带有电流和电压源，其通过触发式逻辑状态选通开关。在



■ 图 5. 相位频率检波器操作。

超过线性范围时，频率操纵操作以锁定方向推动环路。某些相位频率检波器在零相位差附近还有小的“盲区”非线性度，要求相位偏置，强制静止锁定偏离零。

在输入上存在的两个信号之间的相位差超过  $2\pi$  弧度时，相位频率检波器输出会复位。后续复位只能由解锁条件引起，把相位频率检波器置于频率操纵模式下。在这种模式下，相位频率检波器提供了一个脉冲式信号，在锁定的正确方向上推动 VCO。在频率操纵过程中，PLL 有效开路。在频率操纵模式下，PLL 的瞬时性能不会表现出线性反馈控制系统预计的稳定波形。一旦输出频率接近锁定频率，相位频率检波器会返回相位检波模式。



■ 图 6. RF 混频器及其作为相位检波器操作。

### 混频器相位检波器

倍频器或混频器也可以作为相位检波器使用。如图 6 所示，可以看出混频器的输出与两个输入之间的相位差的正弦成正比。

$$V_{out} = K_{det} A_R A_V \cos(\phi_R - \phi_V)$$

$$\text{Let } \phi_R, \phi_V = \frac{\pi}{2} - \Delta\phi$$

其中  $A_R$  和  $A_V$  是幅度， $\phi_R$  和  $\phi_V$  是两个相位检波器输入信号的相位， $K_{det}$  是混频器转换增益。

对接近正交的小相位差：

$$V_{out} = K_{det} A_R A_V \sin(\Delta\phi) \approx K_{det} A_R A_V (\Delta\phi)$$

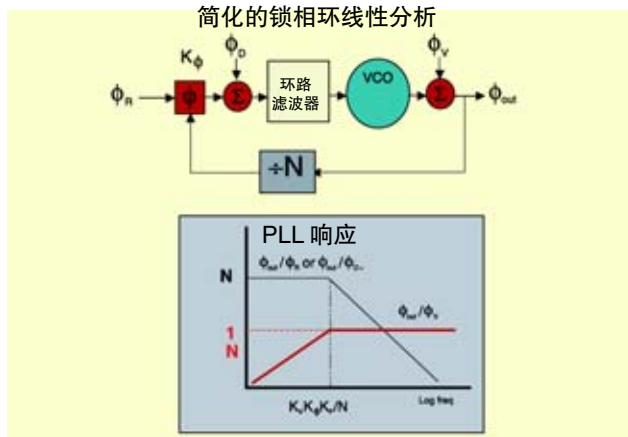
线性近似值对正交附近的信号有效。对相位差大的行为，非线性操作是其主要特点。可以看出，在频率误差很小，且环路位于捕获范围内时，混频器的正弦曲线特点将把 PLL 驱动到锁定中。采用混频器型相位检波器的 PLL 通常使用外部预先调谐或频率操纵机制，使两个频率落在捕获范围内。

### 环路滤波器

环路滤波器用来剪裁 PLL 响应，以优化其带宽、切换速度、稳定时间、杂散电平或其它电路参数。环路滤波器通常包括积分器，其受到构成积分器电路的有源器件的线性特点影响。例如，在接近供电电压时，由于输出电压削波，对向放大器会变成非线性。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南



■ 图 7. PLL 线性分析。

### PLL 线性操作

通过使用为反馈控制系统开发的技术，生成 S 转函，可以简便地描述锁定附近的 PLL 操作。S 是 Laplace 变换中使用的复合频率参数。

通过使用传统技术，可以找到到各种可能激励点的转函。这里介绍了对参考信号相位波动的响应、对 VCO 相位波动的响应及对相位检波器输出上注入的信号相位波动的响应。

$$\frac{\phi_{out}(s)}{\phi_R(s)} = \frac{K_v K_\phi F(s)}{S + \frac{K_v K_\phi F(s)}{N}}$$

Let  $F(s) = K_f$ .

$$\frac{\phi_{out}(s)}{\phi_R(s)} = \frac{K_v K_\phi K_f}{S + \frac{K_v K_\phi K_f}{N}}$$

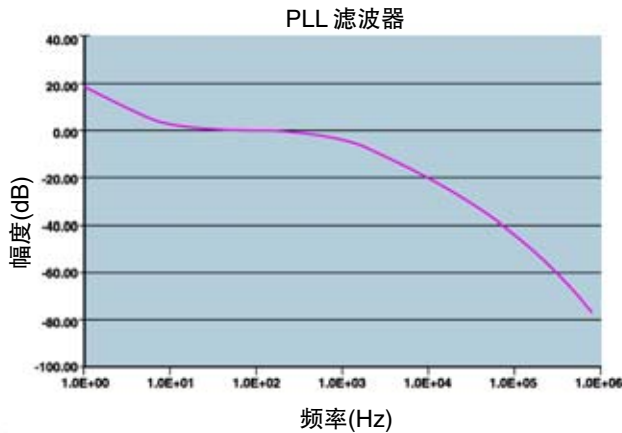
通过类似操作，可以获得对相位检波器输出上加总的信号的响应。

$$\frac{\phi_{out}(s)}{\phi_D(s)} = \frac{K_v K_f}{S + \frac{K_v K_\phi K_f}{N}}$$

以及对 VCO 相位波动的响应。

$$\frac{\phi_{out}(s)}{\phi_V(s)} = \frac{S}{S + \frac{K_v K_\phi K_f}{N}}$$

PLL 转函描述了对参考相位波动的响应，其具有低通形状。如图 7 所示，对低于 PLL 带宽的频率成分，输出相位为参考相位波动乘以 N。对高于 PLL 带宽的相位成分，输出相位独立于参考相位。对在相位检波器上增加的信号，响应具有类似的低通形状。描述对 VCO 相位波动的 PLL 响应的转函具有高通形状。对高于环路带宽的波动成分，PLL 对 VCO 相位没有影响，但它会衰减位于环路带宽内部的低频成分。PLL 的这种特点通常用来改善振荡器的相位稳定性，其中使用相噪很低的参考信号改善高频 VCO 的相噪。参考信号的相噪和相位检波器噪声乘以 N 在低频中占主导地位，VCO 的相噪则在高频中占主导地位。PLL 以类似的方式影响其它相位调制源(噪声、杂散信号等)。为简单起见，这里只考虑了 VCO、参考和相位检波器噪声。



■ 图 8. PLL 滤波器幅度响应。

**实际环路滤波器**

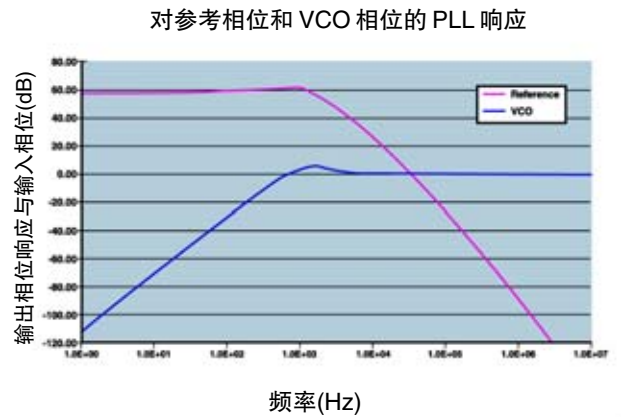
实际PLL滤波器包含一个积分器、一个电极、一个对PLL响应整形的零极以及滤除参考频率馈通杂散信号的另一个电极。如图8所示，在环路滤波器中包含积分器的PLL称为二类锁相环。

$$F(s) = K_i \frac{bc}{a} \frac{(s+a)}{s(s+b)(s+c)}$$

然后，PLL响应变成四阶函数。如图9所示，PLL对参考相位中相位波动的响应及对相位检波器上加总的信号响应是低通函数，公式如下：

$$\frac{\phi_{out}(s)}{\phi_R(s)} = \frac{K_v K_\phi K_i \frac{bc}{a} (s+a)}{s^4 + (b+c)s^3 + bcs^2 + \frac{K_v K_\phi K_i bc}{N} s + \frac{K_v K_\phi K_i}{N} bc}$$

$$\frac{\phi_{out}(s)}{\phi_V(s)} = \frac{K_v K_i \frac{bc}{a} (s+a)}{s^4 + (b+c)s^3 + bcs^2 + \frac{K_v K_\phi K_i bc}{N} s + \frac{K_v K_\phi K_i}{N} bc}$$



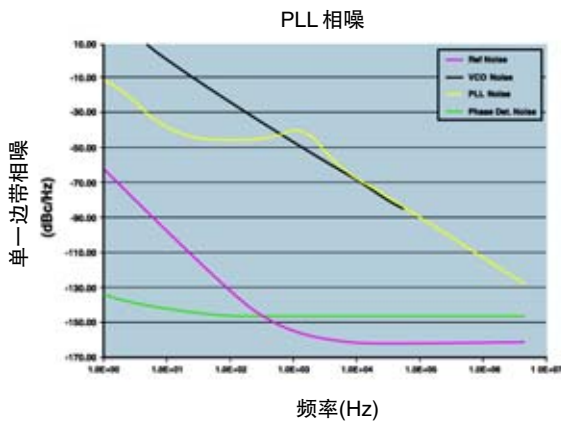
■ 图 9. 与参考相位和 VCO 相位中的波动对应的四阶 PLL 的相位转函。

PLL对VCO相位波动的响应是一个高通函数，公式如下：

$$\frac{\phi_{out}(s)}{\phi_R(s)} = \frac{s^4 + (b+c)s^3 + bcs^2}{s^4 + (b+c)s^3 + bcs^2 + \frac{K_v K_\phi K_i bc}{N} s + \frac{K_v K_\phi K_i}{N} bc}$$

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南

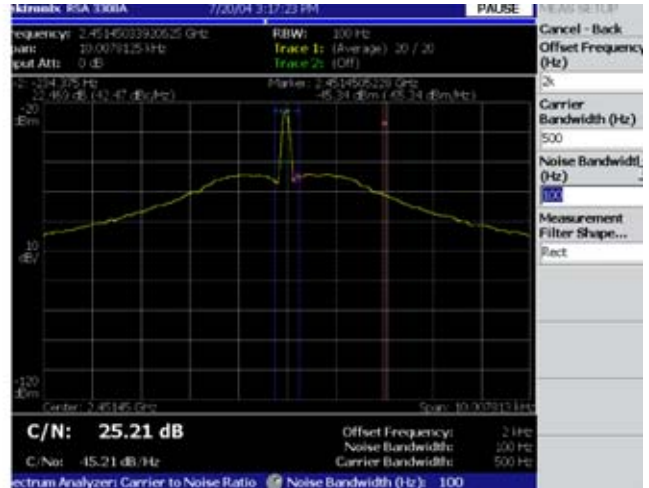


■ 图10. PLL相噪、未校正的VCO相噪、参考噪声和相位检波器噪声。

### 线性分析实例：PLL 响应对相噪性能的影响

#### 相噪在振荡器中

所有振荡器都存在着相位波动。这些波动可以解释为每个过零确切时间的不规律性，称为抖动。波动还可以视为随机相位调制，称为相噪。相噪通常用1 Hz带宽中的边带功率与信号功率之比表示，单位为dBc/Hz。图10是低噪声晶体振荡器中典型参考信号的相噪、2.4 GHz VCO噪声及相位检波器导致的噪声曲线。图中还显示了PLL输出上的合成噪声。注意，输出噪声明显要低于低频偏置时没有锁定的VCO噪声，只在接近环路带宽附近的很窄区域中超过了VCO噪声。通过进一步优化环路滤波器及改善相位检波器的噪声性能，可以改善系统相噪，超过这里所示的性能。



■ 图11. 测量载波噪声比(C/N)和1 Hz带宽中的载波噪声比, C/No。

#### 测量相噪

泰克实时频谱分析仪可以使用载波噪声比指标(C/N)直接测量相噪。可以使用直接读数测量这一指标，它提供了指定带宽中的C/N及1 Hz带宽中的C/N (C/No)。另一种方法是使用标尺读数，其提供了给定分辨率带宽时的标尺功率读数以及归一到1 Hz带宽的功率。

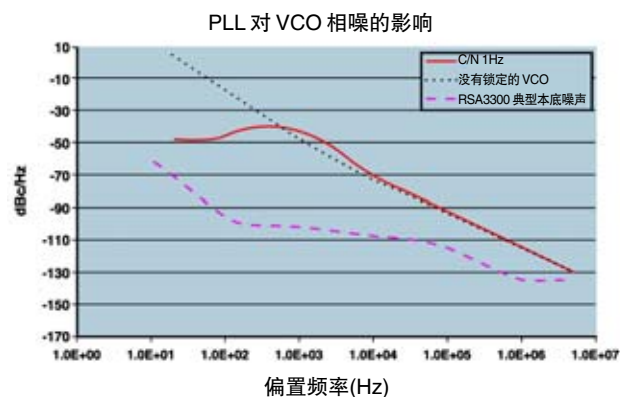
图11是C/N测量屏幕。在这种情况下，以距载波中心频率2 Hz的偏置测量C/N。100 Hz指定噪声带宽的C/N是25.21 dB，C/No是45.21 dB，如屏幕左下角所示。



表1是在各种偏置时进行的测量。根据使用的跨度及希望的噪声平均数量，测量带宽会有所变化。

偏置频率 (Hz)	测量带宽 (9Hz)	C/No (dBc/Hz)
20	10	-49
50	10	-48.5
100	10	-46.4
200	50	-43.3
300	50	-42.2
500	100	-42
700	100	-41.7
1000	100	-42.7
1500	100	-44.8
2000	100	-48.8
3000	100	-54.8
5000	200	-62
7000	200	-66.3
10000	200	-70.6
30000	1000	-81.5
100000	10000	-93.7
300000	100000	-104.4
1000000	100000	-114.8
5.00E+06	100000	-128.8

■ 表 1. 各种偏置时的 C/N 指标。

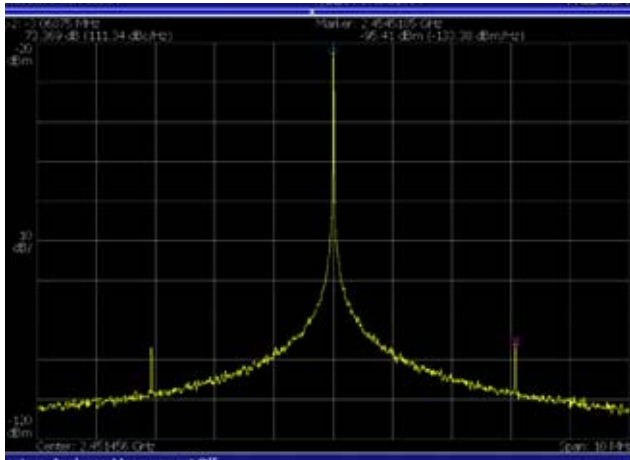


■ 图 12. PLL 输出相噪、没有锁定的 VCO 噪声和 RSA 系列典型测量本底噪声。

图 12 是在上面测得的 PLL 相噪叠加在没有锁定的 VCO 相噪图。另外还显示了泰克 RSA 系列实时频谱分析仪典型的本底噪声。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南



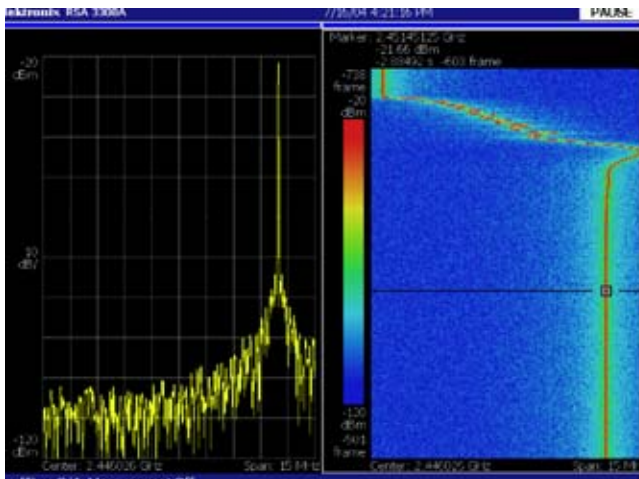
■ 图 13. 测量参考杂散信号。

### 测量杂散信号

许多杂散信号源可能会影响锁相环的输出，如驱动数字电路的时钟、电源开关频率、附近转换阶段的局部振荡器及各种频率中的互调制产物。在 PLL 中普遍存在的一个杂散信号来源是参考信号。相位检波器输出通常由参考频率上发生的脉冲组成，它以参考频率倍数生成频率成分。环路滤波器中通常设计了参考频率抑制功能，以降低与参考信号有关的杂散信号电平。预测参考杂散信号电平的分析方法并不理想。在设计过程中通常必需进行测量，在检验中也需要进行测量。

测量杂散信号通常在频域中进行。可以选择分辨率带宽 (RBW)，把想要的杂散信号从存在的任何噪声中解析出来，并使用轨迹平均功能，滤掉显示的任何额外噪声。标尺增量为识别杂散信号频率及其相对于 PLL 输出频率的幅度提供了一种方便的方式。

图 13 显示了 PLL 中参考杂散信号的标尺增量测量结果，其中显示了低于载波 73.4 dB 的电平、3.07 MHz 的频率偏置及 PLL 参考频率时的杂散信号。



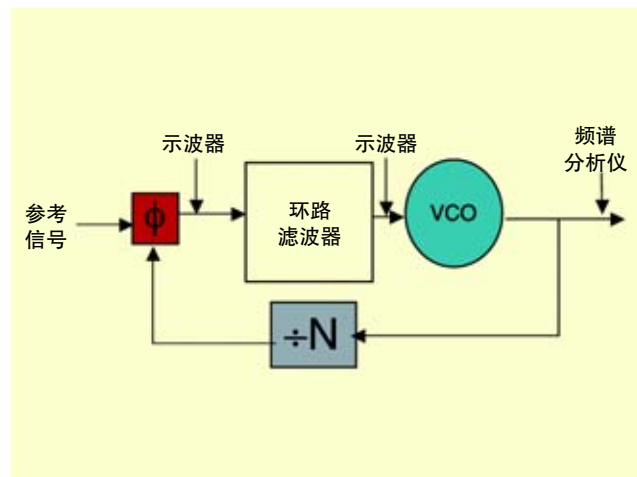
■ 图 14. 频谱图，显示了 PLL 切换瞬变的频率操纵部分。频率从 2439.17 MHz 切换到 2451.46 MHz。

### 非线性操作：测量瞬时特点

图 14 画出了在从 2439.17 MHz 切换到 2451.46 MHz 时 PLL 合成器的频率输出。相位频率检波器的非线性频率操纵操作占用了很大一部分稳定时间。线性操作在 550 微秒以后开始，这时相位检波器位于工作范围内，环路关闭。线性分析可以预测超过这一点时的行为。时域建模通常使用 Z 变换技术完成，必需对切换瞬变的非线性部分进行直接测量。

### 传统测量方法

在传统上，锁相环一直使用离散器件实现，探测和测量会使用上面讨论的每个部件。图 15 显示了可以怎样测量这类系统中的瞬时行为，其方式是探测 VCO 调谐线、相位检波器输出和 VCO 输出，以直接观察瞬时行为。这种探测 PLL 信号通路中关键点的方法特别适合能够使用要求的探测点的情况。



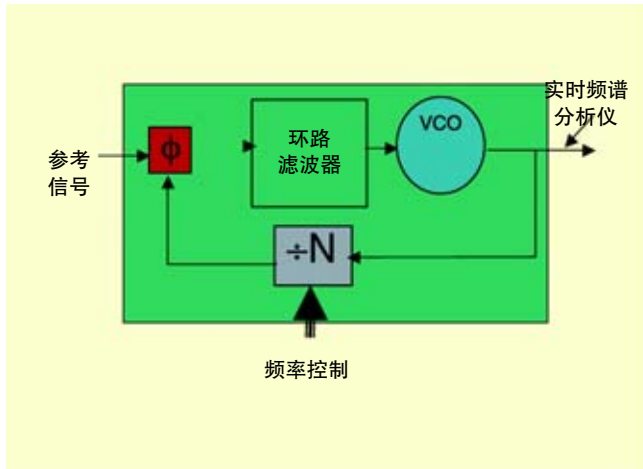
■ 图 15. 通过探测相位检波器输出和 VCO 控制信号，测量瞬时响应。

### PLL 集成到多功能集成电路中

蜂窝电话、无线网卡、串行数据通信等正日益作为单芯片子系统实现。整个 PLL 通常是集成电路的一部分，集成电路中还包含许多其它部件。一旦集成电路被封装，探测将不再可行，即使能够在集成电路引脚上提供任何信号，也几乎不能进行探测。必须只使用提供的信号进行 PLL 检定。自然的信号是输出频率、参考频率和任何控制输入。如果不能说是全部的话，起码大部分所需信息可以通过在实时频谱分析仪上观察 PLL 输出的频率轨迹来获得，如图 16 所示。RTSA 可以使用频率模板触发器在外部触发(如使用来自控制总线的信号)或在内部触发。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南

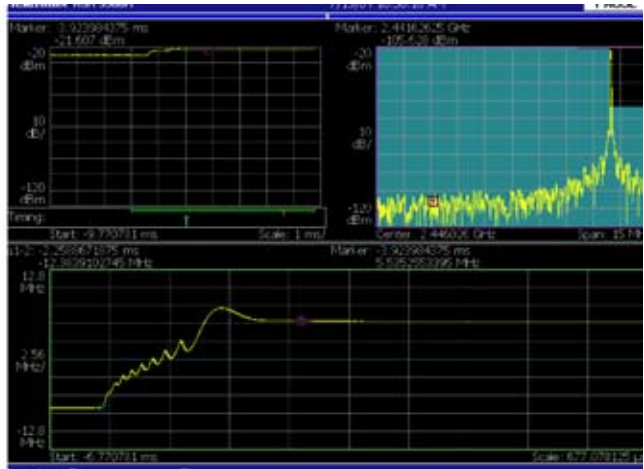


■ 图 16. 集成 PLL 中提供的信号。

### 频率模板触发器

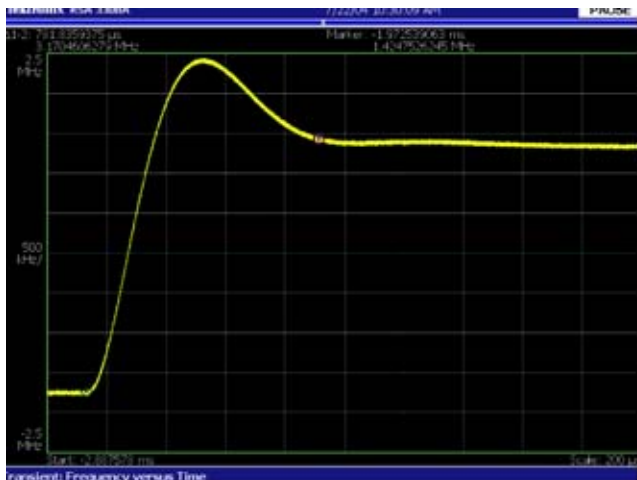
可以设置频率模板触发器，在频谱越过预定模板的瞬间触发采集。在上面所示的实例中，模板设置成在振荡器频率越过目的频率(2.45146 GHz)的瞬间触发采集，如图 17 右上方的曲线所示。触发发生的瞬间在左上方曲线中用蓝色的 T 标出。

通过查看左上方曲线中绿条表明触发前数据和触发后数据，可以分析导致频率切换的频率轨迹，以及在下方曲线显示之后的轨迹。可以在右上方曲线中显示给定时点的频谱，其在左上方曲线中用红条表示。增量标尺显示了稳定到最终频率 100 KHz 范围内的切换时间是 2.259 mSec。频率操纵占用了前面 1.3 mSec 的切换时间，其余部分被闭环稳定所占用。



■ 图 17. 使用频率模板触发器测量切换速度。注意线性区域和非线性区域。

通过以较小的步进切换同一个 PLL 的频率，可以显示 PLL 线性操作和非线性操作之间的差异。图 18 显示了在从 2.44838 GHz 切换到 2.45146 GHz、步进为 3.072 MHz 时的 PLL 频率轨迹。稳定到最终频率 100 KHz 范围内的输出频率稳定时间现在是 781.8  $\mu$ S。瞬变形状显示了适度过冲时闭环系统的预计步进响应，在测量更大的步进时，PLL 没有显示非线性操纵行为。

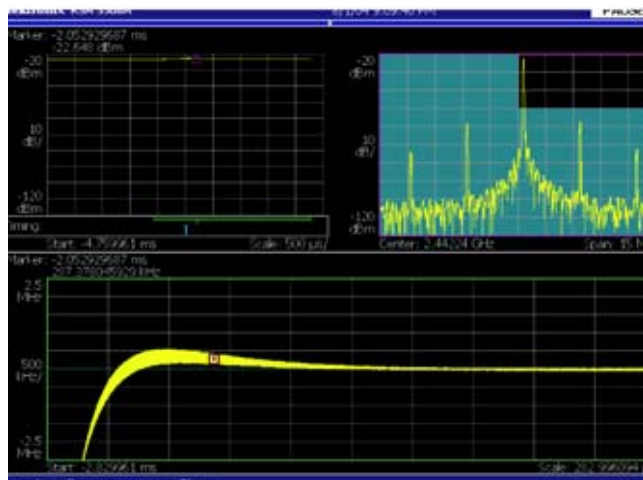


■ 图 18. 小的频率步进的切换速度测量。PLL 仍处于线性和锁定模式。

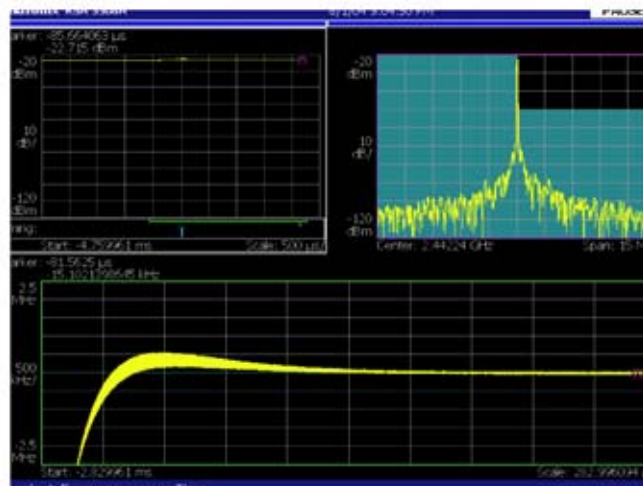
### 时间相关频谱分析

信号的频谱成分通常是通信系统设计人员关注的一个重要问题。必须认真对待在正常操作过程中切换频率的系统，不仅要满足全面频率稳定之后的频谱模板要求，还要满足频率转换过程中的频谱模板要求。切换过程中 PLL 输出的频率成分可能与所有瞬变稳定后的频率成分有着明显差别。瞬变的频谱成分可能是干扰的重要来源。

图 19 和图 20 比较了切换瞬变过程中 PLL 输出的频谱与稳定完成后的频谱。上面的曲线显示了瞬变接近稳定时(如标尺位置所示)PLL 输出的频谱。在距载波 3 MHz 和 6 MHz 的偏置上, 有大量的与参考信号相关的杂散信号。下面的曲线显示了进行足够稳定之后的频谱。注意, 与参考信号有关的杂散信号消失了。另外在占用带宽和噪声电平及中心频率方面也可能存在明显差异。



■ 图 19



■ 图 19 和图 20. 在频率切换瞬变过程中及稳定后 PLL 输出的频谱。

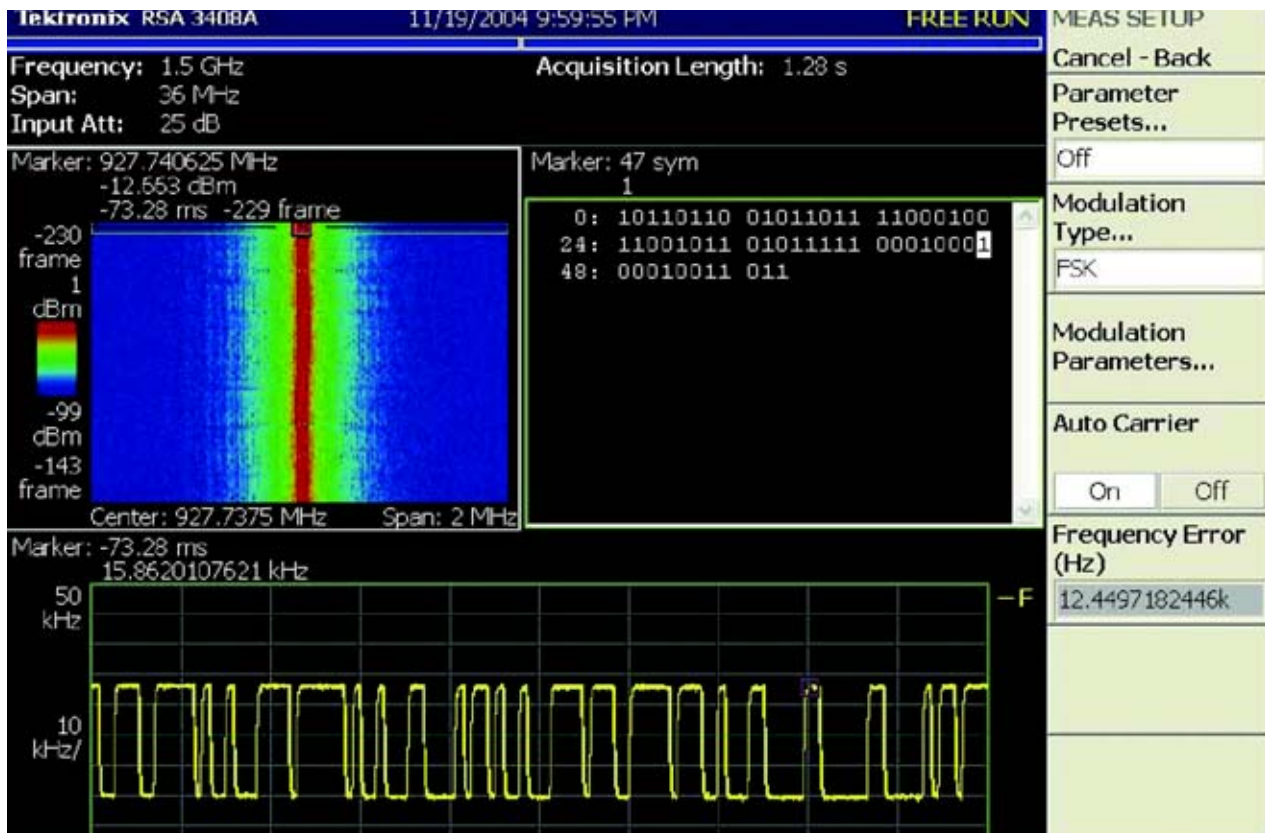
## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南

#### 小结

PLL 已经成为各种通信系统不可或缺的组成部分。集成程度的提高使得模拟和分析变得至关重要，要求了解构成 PLL 的电路单元的线性行为和非线性行为。集成还带来了信号通路，要求在 IC 封装内部不能访问的地方测试这些信号通路。实时频谱分析技术为在时域、频域和调制域中检定、测量和查看 PLL 的行为特点提供了一种重要方式，为揭示以前隐藏的瞬时特点敞开了大门。

## 使用实时频谱分析仪灵活地进行调制分析

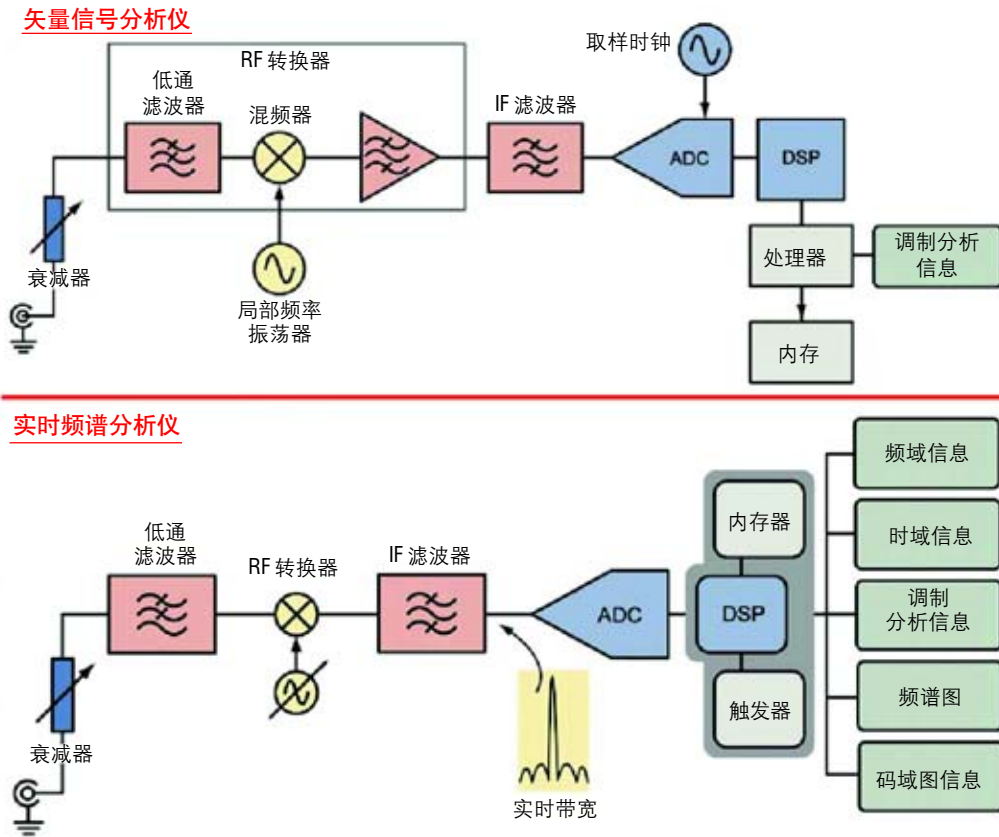


实时频谱分析仪(RTSA)为 AM、FM、QPSK 和 QAM 等传统调制提供了广泛的信号分析功能。

灵活的分析软件和宽分析带宽使得该仪器适合许多通信产品。FSK 符号解码、频率模板触发和时间相关多域分析等 RTSA 功能可以进一步协助工程师开发专用数据链路。本应用指南考察了与传统调制一起使用的常用数据链路测量，以了解 RTSA 的通用灵活性及其独特优势。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南



■ 图 1. VSA 和 RTSA 方框图比较表明了 DSP 差异。

我们先简要概括介绍一下 RTSA，说明其通用调制分析功能。然后，我们从调制器开始，沿着无线链路直到接收机，考察可以怎样使用 RTSA 检查经常遇到的各种无线链路调制问题。

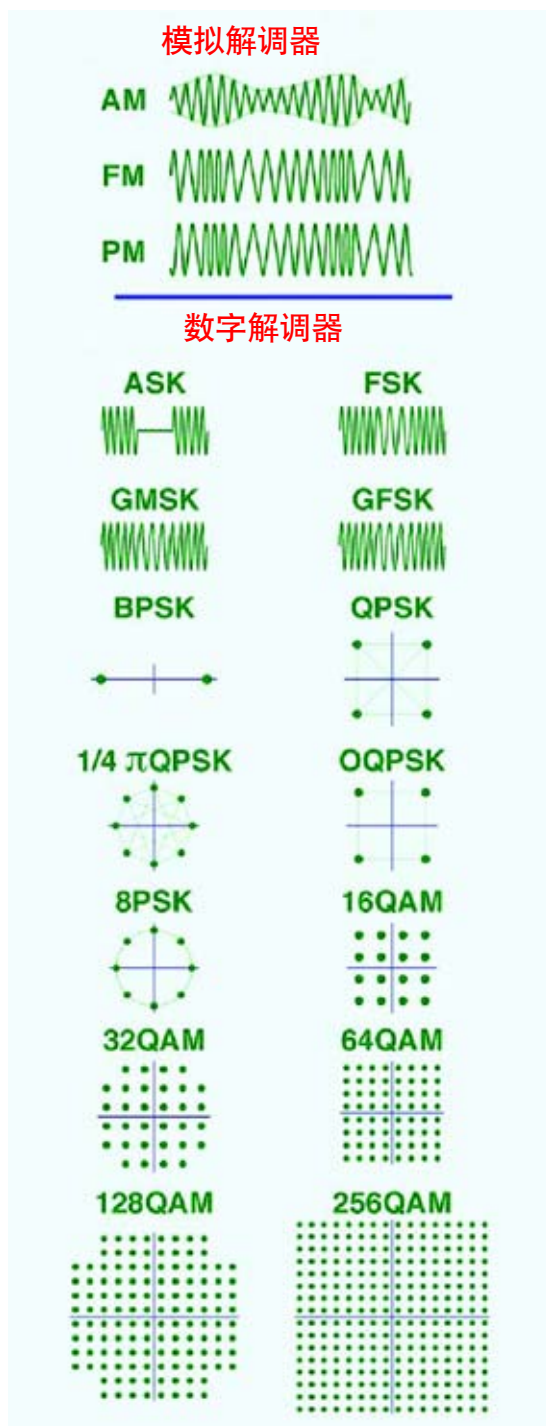
### RTSA 概述

RTSA 是为迎接与动态 RF 信号有关的测量挑战而设计的。实时频谱分析的基础概念是能够实时触发 RF 信号频谱，把它无缝地捕获到内存中，在多个域中对其进行分析。这样就可以可靠地检测和检定随时间变化的 RF 信号。

图 1 是 RSA3408A 简化的方框图。RF 前端可以从 DC 调

谐到 8 GHz，输入信号下变频到与 RSA 的最大实时带宽相关的固定 IF。然后信号进行滤波，由 ADC 进行数字化，然后传送到 DSP 引擎，DSP 引擎管理着仪器的触发、内存和和分析功能。这一方框图的许多要素和采集流程都与图 1 所示的传统矢量信号分析仪(VSA)结构类似，但是，RTSA 是为提供实时触发、无缝信号捕获和时间相关的多域分析而优化的。此外，ADC 技术进步可以实现高动态范围和低噪声转换，因此 RSA 能够进行传统的频域测量，其性能相当于或超过了许多扫频分析仪的基本 RF 性能。





■ 图 2. RSA3408A 支持的调制技术。

RTSA的动态信号分析能力使其成为基于标准的设计和开发的流行之选，如蜂窝应用、无线局域网应用和蓝牙应用。但是，与许多专用矢量信号分析仪不同，RTSA的灵活分析能力使其同样适合解决大多数通用调制分析问题。由于支持广泛的调制类型和数据速率，RTSA为各种各样的通信应用提供了理想的解决方案。

RSA3408A 拥有 36 MHz 的分析带宽和  $-78$  dBc 的三阶互调动态范围。这种组合使得该仪器能够以极高的灵敏度捕获广泛的 RF 信号。它甚至可以完全在分析仪 IF 内部捕获许多扩频信号，而不需扫描或步进调谐。

RTSA的调制分析软件采用专门设计，在测量设置方面为用户提供了最大的灵活性。该仪器支持一系列众所周知的模拟和数字调制类型，为几乎任何 RF 通信实验室提供了有益的补充。每种调制类型进一步允许用户控制符号时钟速率、基带滤波类型和滤波形状(alpha)。

许多矢量信号分析仪重点解决基于标准的大众市场调制，而撇下了缺少有效分析工具的专有调制工程师。RTSA可以灵活地满足许多专有调制开发人员的需求。该仪器适合各种数据链路应用，如空中业务控制通信、卫星智能采集、商用无线广播、点到点电信设施、RFIF 终端和许多其它应用。

让我们看一下怎样使用RTSA解决构建数据链路时遇到的某些常见的实际环境问题。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南

#### 实际环境中的调制分析问题

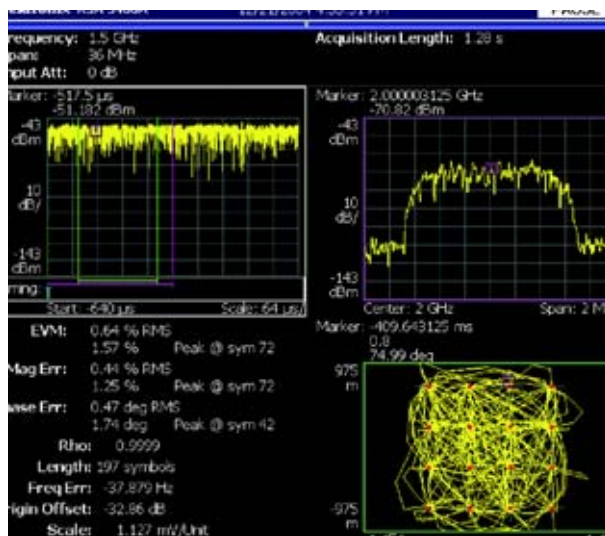
本章考察了启动和运行RF数据链路必需的部分关键实际环境测量。选择的实例是工程师可能会感到棘手的常见问题。RTSA可以大大简化获得诊断信息所需的测量，以进一步解决这些问题。

#### 调试调制器

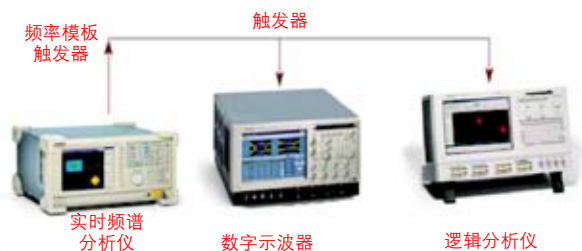
找到调制器设计中的问题可能是一个特别困难的挑战。大多数现代调制器涉及四个专业技术领域：DSP软件、高速数字逻辑、模拟电路和RF设计。确定问题的挑战源于很难理解从差异巨大的测试仪器中得出的各种诊断数据。

怎样区分实时现场可编程门阵列(FPGA)的定时问题与数模转换器(DAC)的线性度问题呢？许多DSP汇编人员选择在一致的DSP功能模具映射上进行最高效的信元选路。这会导致FPGA定时问题和相应的调制问题。类似的，具有非单调'固定'位响应线性度问题的DAC也会导致调制问题。在RF频率上，这些问题通过各种方式表现出来。可以对这些问题应用RTSA的时间相关多域分析，提供大量的诊断信息。DSP定时问题和线性度不足都会导致频谱异常、高误差矢量幅度(EVM)和符号错误。RTSA简便地测量这些损伤。通过把标尺放在峰值EVM上，可以看到相应的星座符号点。如果一直只是影响某一个符号，那么就可以揭示可能的原因。如果符号表现为受到随机影响，那么则需要额外的诊断测试。遗憾的是，这些测量并不能一直有效地识别是定时问题还是线性度问题。但是，当前许多微型设计的脆弱性使得在维修前有效识别问题变得至关重要。为消除因猜测导致的不必要的器件更换，工程师需要进一步的测试数据。

在FPGA中，工作软件模拟可能并不能成功地转换成独立式实时硬件。在设计中增加门时，自动路由功能会选择新的内部总线配置，实际上撤销了以前已经确立的定时。



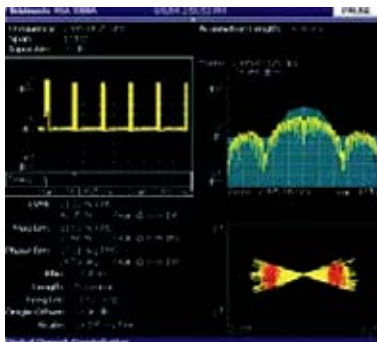
■ 图 3. 时间相关多域分析，在EVM随时间变化与星座符号图之间使用成对标尺。



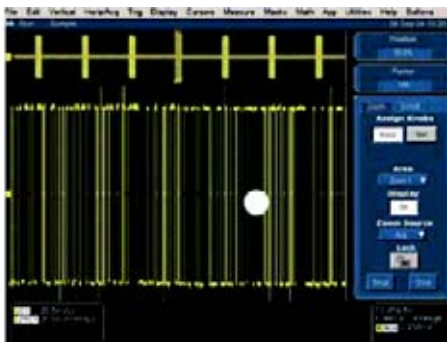
■ 图 4. 使用频率模板触发器，与其它仪器建立时间关联。

对遇到这个问题的工程师，其特别容易引起混乱，因为长期来检验的DSP单元似乎没有任何原因就不能用了。在FPGA填满时，问题变得更加糟糕。我们使用逻辑分析仪，检验FPGA定时已经变化。逻辑分析仪必须与观察的RF异常现象同步，以有效识别FPGA问题是不是真正原因。

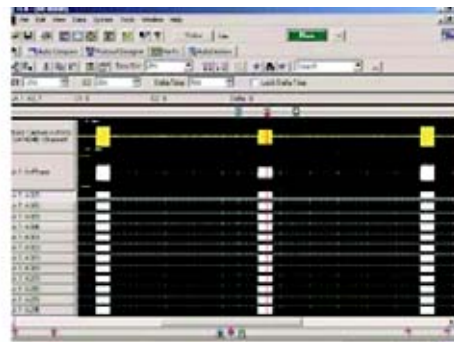
实时频谱分析仪



数字示波器



逻辑分析仪



■ 图 5. 实时频谱分析仪、数字示波器和逻辑分析仪的屏幕图。

在 DAC 的线性度中，位输入没有与相应的模拟电压输出对应。我们再次发现，为可靠地诊断问题，观察到的 RF 异常必需与 DAC 数字逻辑输入和电压输出时间相关。

这两个现代问题诊断起来可能会非常困难。为什么呢？尽管可以在 RF 频率上简便地检测到这些问题，但工程师只能使用确认的基带示波器或逻辑分析仪测量进行有效诊断。必须就在 RF 频率上观察到异常事件的同一时间点上证实测量。传统上，对这些测量实现时间相关一直非常困难。

RTSA 中的专利频率模板触发器提供了一个触发输出，可以用来启动其它分析仪的数据捕获。这就可以对 RTSA 外部捕获的多域事件建立精确的时间相关。通过把示波器和逻辑分析仪捕获的信号与频率异常发生的瞬间的 RTSA 多域显示进行比较，工程师可以识别问题的根本原因。

频率模板触发技术为把其它分析仪与复杂的微波信号瞬变建立时间相关提供了一种手段。通过这种扩展的多域概念，用户可以把来自其它分析仪中有着巨大差异的域的数据关联起来，有效诊断问题。

#### 多域分析 ASK 和 FSK

许多通信数据链路中广泛使用幅移键控(ASK)调制和频移键控(FSK)调制。其吸引力在于生成这些调制非常简单，而且 FSK 的功率包络保持不变。

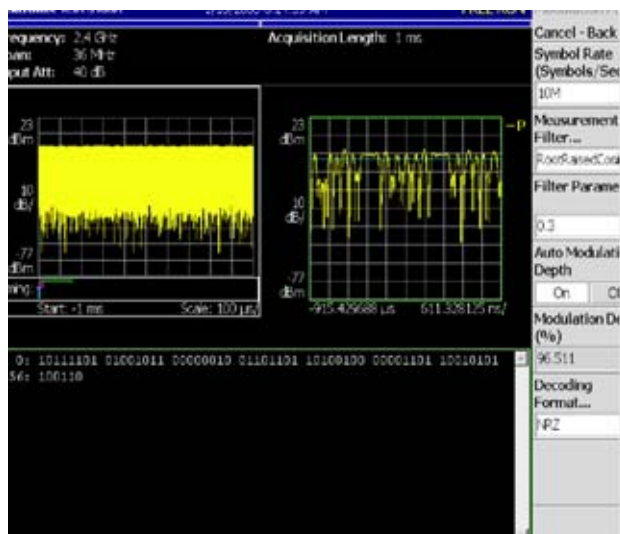
RF 标签(RFID)应用日益流行，也进一步促进了这些调制技术的广泛使用。ASK需要的电路复杂程度较低，特别适合用于许多低廉的一次性 RFID 终端。

令人吃惊的是，检定 ASK 和 FSK 信号的分析工具过去一直受到限制。RSA3408A 改变了这种局面，把真正的时间相关多域分析功能带入这些调制中。

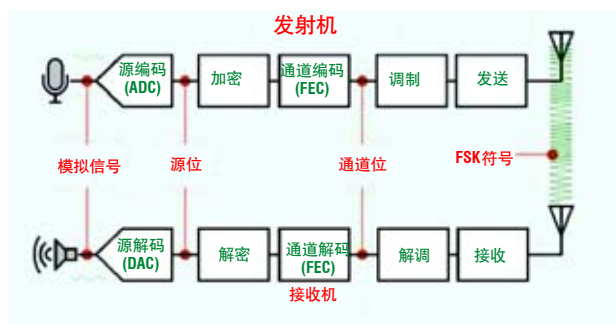
RSA3408A 不仅解调模拟 AM 和 FM 传输，还解调数字 ASK 和 FSK，恢复通道位。这一重要的数据恢复步骤超越了简单地显示波形，可以简便地考察发送的位。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南



■ 图 6. 使用 RTSA ASK 解调器读取 RFID 终端，显示 8 位字。



■ 图 7. 源位没有加密，没有纠错编码。通道位传送到调制器，在解调器中恢复。符号是通道位的调制表示。

此外，与实时频谱分析仪上的所有分析一样，这些画面进行时间相关。

时间相关多域分析在许多旧测量项目中增加了新的辅助工具。能够把标尺放在频谱图上，精确查看幅度突变与哪个位对应，可以成为有益的 RFID 诊断工具。在测量显示画面之间使用时间相关功能可以比使用不相关的示波器和频谱分析仪提供多得多的电路信息。

使用符号表迅速方便地分析从 ASK 和 FSK 调制中恢复的通道位，进一步增强了 RSA3408A 的优势，而许多仪器只限于模拟 AM 和 FM 调制。

这时您可能会想使用哪种解码算法从 ASK 或 FSK 信号中恢复数据位呢。下一节将考察测量设置选项，以解码位，在功能上检验发射机。

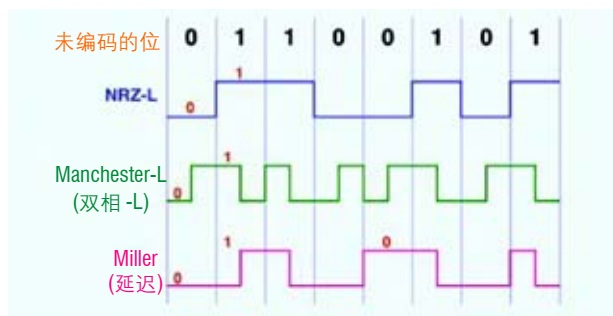
### 发送正确位？

使用 RTSA 检验发射机的信号可以简化开发和调试工作。RTSA 可以作为已知良好的测试接收机，这可以在没有整条数据链路的情况下评估许多发射机特点。它还可以在调试接收机之前调试发射机，简化诊断过程。

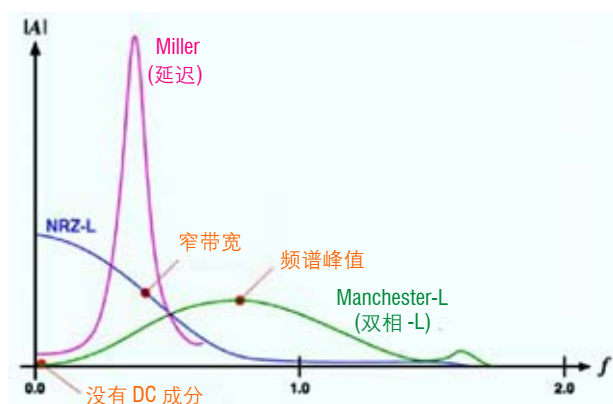
评估任何数字无线发射机的关键部分是回答这样一个问题：“所有位都正确发送了吗？”解调的波形必需解码成位信息，以便与发送的位进行比较。

数字逻辑数据 1 和 0 转换成脉冲编码调制 (PCM) 波形，以便与 ASK 或 FSK 调制一起传输。后面我们将看到，把数据编码成 PCM 波形具有各种优势。存在着许多不同类型的 PCM 编码方案，每种方案都有独特的优势。RSA3408A 能够对三种最流行的编码方案解码：即非归零 - 电平 (NRZ-L)；Manchester-L，也称为双相 -L；Miller，也称为延迟。这种独特的解码功能使得 RTSA 特别适合测试各种通用 ASK 和 FSK 发射机。

NRZ-L 简单地把位的串行电平编码成 PCM 波形。低电平为 0，高电平为 1。Manchester-L 或双相电平编码基于在前半部分位时间中的脉冲电平。在符号时间前半部分中的低电平是 0，符号时间前半部分中的高电平是 1。Miller 或延迟调制在数据间隔的中点上使用转换指明 1。这种转换可以是正，也可以是负。在 Miller 编码中，0 通过后面跟着一个 1 的没有转换表示，或通过后面跟着一个 0 的数据间隔末尾的转换表示。

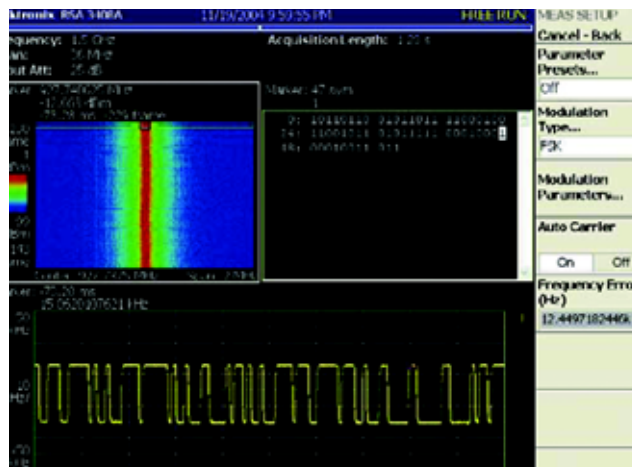


■ 图 8. NRZ-L 和 Manchester-L PCM 编码方案。



■ 图 9. NRZ-L 和 Manchester-L PCM 编码频谱比较。

不同编码有着不同的基带属性。NRZ-L 的频谱相对较窄，抗噪声干扰能力要优于 PCM 编码。Manchester 编码的频谱较宽，在 DC 上没有能量，可以方便地实现 AC 耦合。Manchester 的转换与每个位相关。这就可以方便地恢复符号时钟，因为频谱具有规定的频率峰值，可以使用锁相环简便地锁定频率峰值。Miller 编码既具有窄频谱，又有规定的频谱峰值，但在 DC 上有一定的能量。



■ 图 10. RSA3408A 从 FSK 调制的 927 MHz 无绳电话信号中解码 NRZ-L 通道位。时间相关的多域标尺在频谱图、解调的 FM 电平和 FSK 位上显示了相应的标尺。

一旦选择了编码及调制了发送信号，RSA3408A 可以简便地恢复解码的位。用户选择数字解调测量，在测量设置菜单下指明调制类型和符号速率和解码等参数。这可以全面解码调制，在符号表中显示各个位。然后可以把 RSA3408A 中解码的位与发送的位进行比较，简便地检验发射机。检查发送的位可以保证电路正确运行。

下面我们将考察怎样超越基本功能位测试，优化 16 正交幅度调制 (QAM) 的性能。

### 测量 EVM 性能

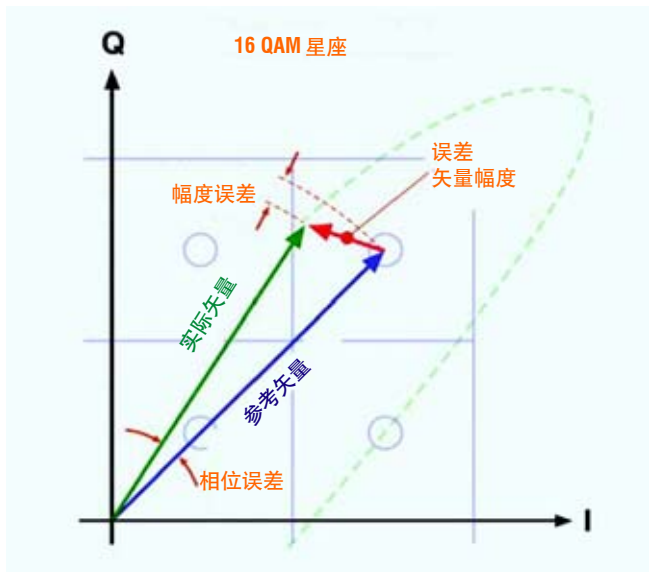
在把希望的位调制到 RF 载波上之后，怎样才能测试模拟信号的质量呢？可以用来评估信号质量的测试之一是误差矢量幅度 (EVM)。

什么是 EVM？EVM 是参考调制矢量和实际调制矢量之差。

RTSA 解调收到的信号，恢复符号点。然后该分析仪通过数学运算从输入分析仪的基带滤波信息和恢复的符号点中推导出参考信号。推导出的参考信号有效实现无噪声及无失真损伤。然后把这个参考信号矢量与实际信号矢量进行比较，其差即误差矢量。这个误差矢量的幅度或 EVM 为判断实际信号中包含的损伤程度提供了一种标量手段。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南



■ 图11. 误差矢量幅度表示参考矢量和实际收到的矢量之差。

实际矢量的噪声和失真导致的相位和幅度误差会提高EVM。信号中包含的损伤越多，EVM越大，因此设计人员希望获得低EVM。

EVM测试精度对中低损伤的信号最高。对损伤严重的信号，测量接收机可能不能正确确定预计的符号，会构建错误的参考信号。这给测量能力带来了限制，要求符号误差率很小，以避免构建错误的参考信号。

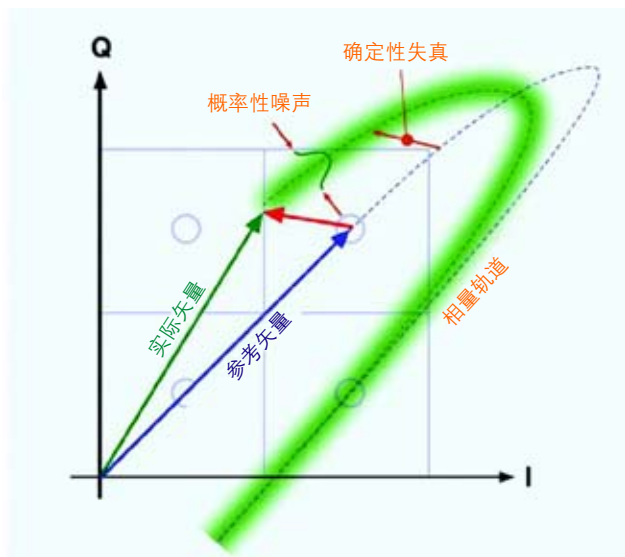
评估EVM结果比较复杂，要求与信号中包含的损伤有关的基本假设。幸运的是，在大多数情况下，可以简便地作出必要的假设，简化诊断结论，而出错的可能性非常小。

误码率(BER)通常是所有数字数据链路的关键测试。遗憾的是，作为一种调制诊断工具，误码率测试几乎没有直接表明信号质量或在哪里丧失了性能。BER是一种端到端系统测试，从整体上评估整个数据链路、发射机和接收机。

但是，可以使用EVM评估在没有噪声和失真的参考信号上发生的信号损伤量。可以在调制器和解调器之间的各个中点上EVM测量，揭示每个中点产生的损伤程度。

那么EVM与BER有什么关系呢？回答这个问题实际上相当复杂，但如果进行一些假设，那么答案会很简单。让我们看一下原因是什么……

EVM由两类根本不同的信号损伤构成，即噪声和失真。这两种损伤影响着每个符号点的实际矢量轨道和位置。如果符号点落在错误的符号边界内，那么将发生错误。在数学运算中，这两种信号损伤以不同方式处理。失真以确定方式累加(同一输入一直生成同一错误，其可以以算术方式累加到其它失真源中)，噪声则以概率方式累加(某种程度的噪声可能会引起错误以几何方式累加噪声源)。在估计从EVM测量中可以获得的BER时，通常必需假设噪声在测量中占主导地位或失真在测量中占主导地位。这就可以对这种情况应用统一的数学公式，工程师可以进行最后的诊断判断。

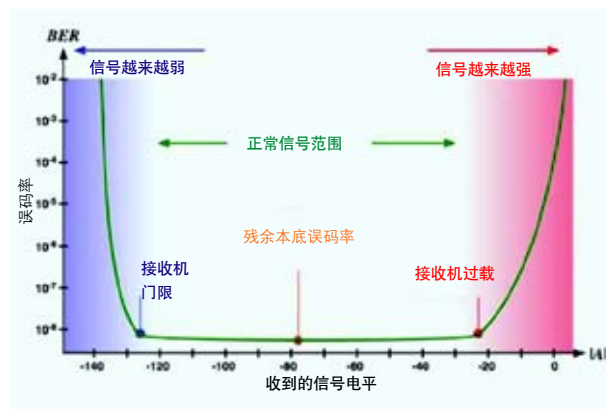


■ 图12. 矢量轨道误差由以不同方式累加的确定性失真和概率性噪声组成。

幸运的是，对大多数EVM应用，有可能假设一种损伤占主导地位。例如，可以评估若干个放大器，通过更换设备、比较EVM，找到线性度最高的放大器。如果所有其它因素保持不变，那么只有失真变化在测量中占主导地位。EVM最低的放大器还会产生最低的链路BER。类似的，可以比较多个不同局部频率振荡器(LO)的相噪效应。在所有其它因素保持不变时，使EVM达到最小的LO也会产生最低的BER。

在接收机的信噪比门限上，有可能假设噪声在EVM测量中占主导地位。然后EVM测量变成门限BER的准确预报器。在接收功率高时，接收机过载失真在EVM测量中占主导地位，BER再次可以与EVM紧密相关。

在残余本底误差中，EVM测量会相对于BER产生相互抵触的结果。这是因为残余误差率在正常信号电平时与发射机和接收机相关。用优质测试仪器代替普通接收



■ 图13. 与收到的信号幅度相关的典型误码率曲线。

机，可以禁止绝对链路比较。由于经济原因，噪声成分和失真成分在残余本底误差中一般都很明显，因此使情况进一步复杂化。由于EVM不能区分误差来源，因此在噪声成分和失真成分都很明显时，不可能累加或把EVM与BER关联起来。这样EVM测量很难洞察正常信号水平下绝对的链路BER性能。线性度和相噪测量为预测残余BER提供了更好的方式。RTSA还提供了线性度测量功能，帮助检定残余本底BER。本应用指南后面将讨论这一功能。

但是，EVM特别适合使用单一变量评估调制器、评估发射机及进行相对性能比较。EVM还适合预测载波噪声比(C/N)性能较理论值的劣化程度。作为一种诊断工具，由于这些能力，EVM已经得到广泛普及。

使用RSA3408A测量EVM的过程非常简明。把希望测量的信号放到分析仪的显示屏中心，调节跨度，使其适合频谱。然后在测量设置菜单下，输入相应的数字调制类型、符号速率和基带滤波。最后，从测量菜单中选择EVM，显示屏上将显示EVM随时间变化情况。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南

#### 需要多低的 EVM?

在许多基于标准的信号中,监管委员会都围绕一定的百分比规定了容许的最大 EVM。在专有或专用调制中,要由工程师决定相应的 EVM 水平。发送的 EVM 较低意味着调制器实现方案不理想将不会妨碍关键链路功率预算。在设计数据链路时,信号传输工程师通常依赖接近理论值的 C/N 性能。实现接近理想值的 C/N 性能要求使调制矢量误差达到最小。因此调制器设计人员需要努力尽可能经济地获得最低 EVM,以保证调制器不理想不会成为重大的数据链路问题。

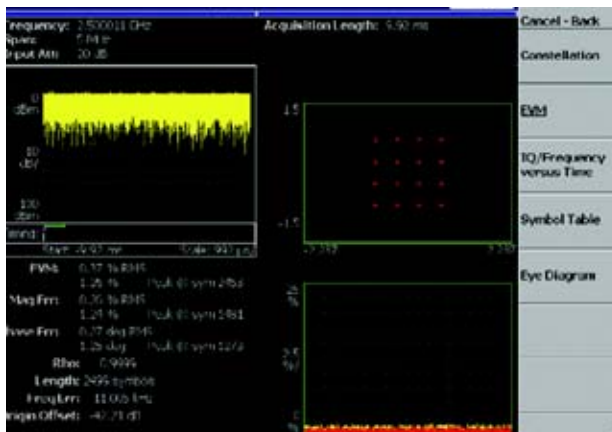
#### 载波噪声比测量

可以使用 RSA3408A 简便地进行载波噪声比。这些重要测量为确定发送的信号接收范围提供了所需的关键信息。

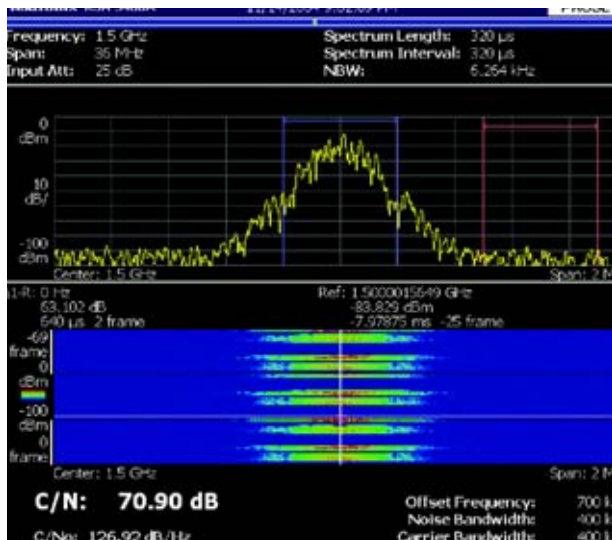
为在任何频谱画面中进行测量,从测量菜单中选择 C/N。按测量设置键,输入相应的带宽。这将调节一对频段功率标尺,涵盖信号的占用带宽(OBW)。如果 OBW 未知,从测量菜单中选择 OBW,分析仪将为您测量 OBW。

在 C/N 测量中,在默认情况下,将在本底噪声上被调制的信号一侧放置一套带宽相等的标尺。信号功率与标尺间噪声功率之比将使用分贝度和显示。用户可以从测量设置菜单中,调节从载波到噪声带宽标尺的偏置、载波带宽、噪声带宽、测量滤波类型和滚降比。数字数据链路误码率通常用某个 C/N 比率或同等的每位能量与噪声能量( $E_b/N_o$ )之比表示。数据链路信号的功率会衰减,直到接收机误码率开始上升到不可接受的水平的程度。这时测量 C/N 比。

在这些衰落测量过程中使用 RSA3408A 监测 C/N 比,为测量实现特定误码率所需的 C/N 提供了一种简便的方式。C/N 比非常重要,因为它是决定无线链路范围的因素之一。因此 C/N 影响着对昂贵的发射机功放器(PA)和系统天线的要求,功放器和系统天线也帮助决定无线链路的范围。



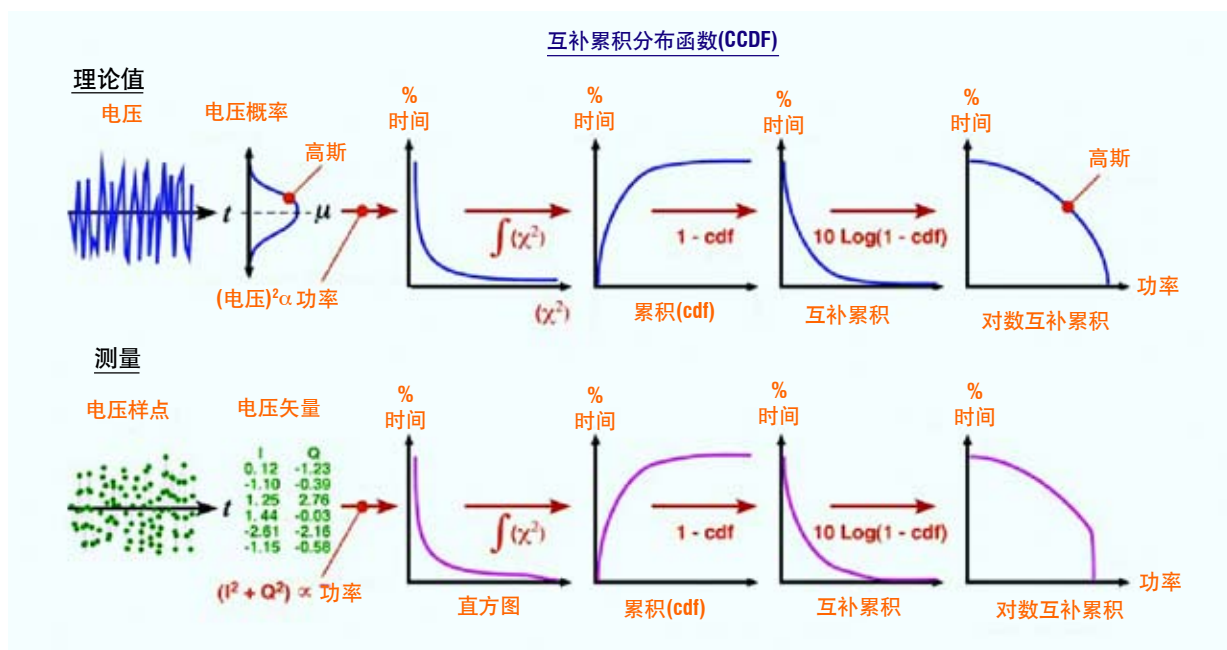
■ 图 14. 良好的低 EVM 16 QAM 调制器信号。



■ 图 15. RSA3408A 上测得的 C/N。

对大多数应用,工程师并不能理解使用低 EVM 信号实现接近理论 C/N 性能的重要意义。试图使用更大的发射机功放器或天线来补偿调制实现差的问题几乎总是不经济的。





■ 图 16. 怎样从时间取样波形中推导得出 CCDF。

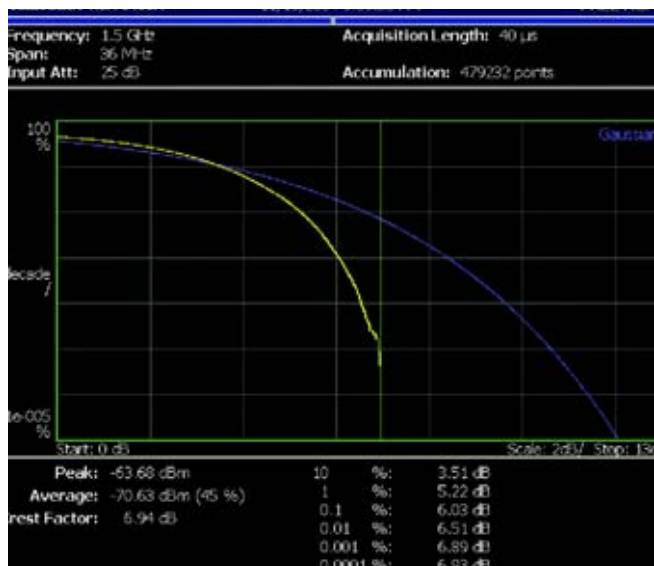
### 识别线性度损伤

在生成和上变频良好的低 EVM 调制信号后，必需把信号放大到很强的水平，以透过无线通路传输。大多数调制格式没有 FSK 这样恒定的信号包络，要求线性放大。因此功放器(PA)的线性度变成测试问题。我们将看到，互补累积分布函数(CCDF)、调幅到调幅转换(AM/AM)和调幅到调相转换(AM/PM)都在功放器检定和残余BER性能预测中发挥着重要作用。我们先考察一下 CCDF。什么是 CCDF 测量？它怎样使用呢？

CCDF从随时间变化的电压信号中推导得出，如伪随机调制信号。为说明CCDF背后的理论，假设一个高斯随机噪声信号。连续的随时间变化的电压有一定的与每个电压电平相关的概率。为检定功放器，主要问题是输出功率，而不是电压。必需使用电压概率密度的平方函数，获得与功率成比例的显示画面。在使用高斯分布完成时，可以得到(2)概率密度函数。可以对(2)积分，推导得出累积分布函数(CDF)或相对于功率电平的总概率。从1中减去CDF，可以得到互补累积分布函数或CCDF。可以非常方便地使用对数表示CCDF，在CCDF显示画面上提供熟悉的蓝线或高斯参考信号。这条线为比较伪随机调制真正的随机程度提供了方便的参考标准。

## 应用案例集—综合应用

### 应用指南

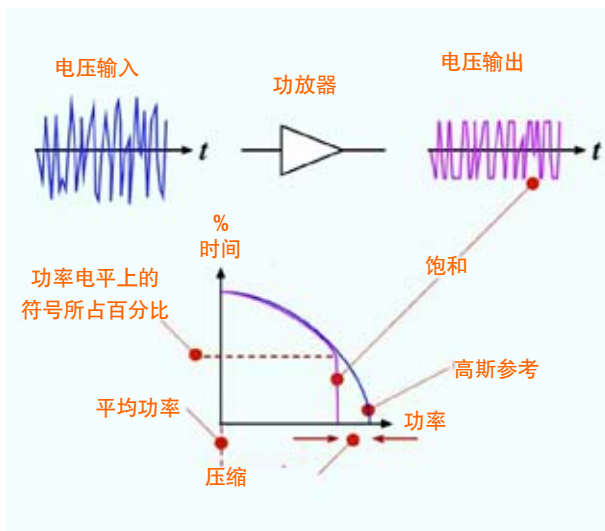


■ 图 17. 使用 RSA3408A 测得的 CCDF。

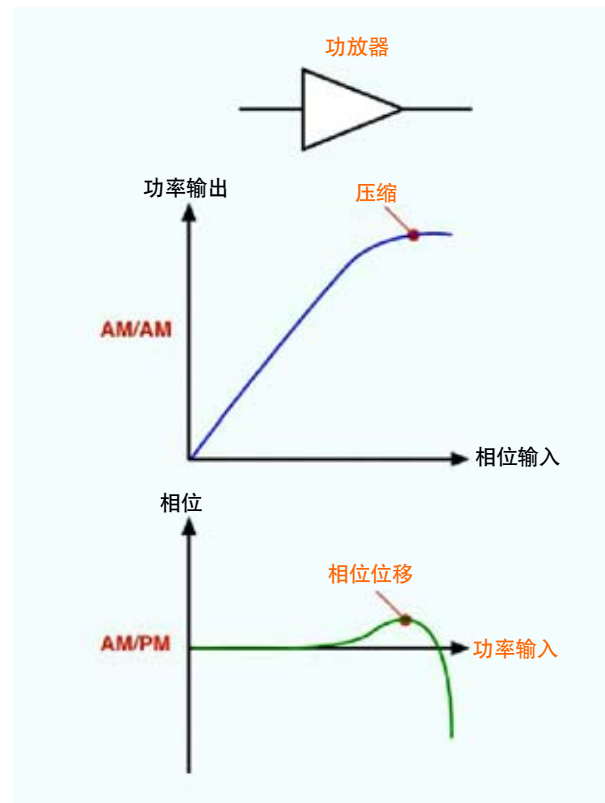
实际 CCDF 测量使用的术语和流程与上面的描述略有不同。与连续的随时间变化的电压不同，RTSA 对伪随机信号抽取 I 和 Q 电压样点。通过对 I 和 Q 求平方和，计算得出矢量功率，这在很大程度上与对连续高斯电压分布进行平方类似。然后按发生频率绘制矢量功率图，其结果在技术上称为直方图，而不是(2分布，因为它是从一个样点集中推导得出的，而这个样点集不一定呈高斯分布。然后对直方图求积分，从 1 中减去所得值，放在对数标度上，显示被测信号的 CCDF。

互补累积分布函数回答了这样一个问题：“信号高于平均功率电平的时间在整个时间中占多大比重？”知道信号超过平均功率电平的时间在总时间中所占的比重对功放定型帮助很大，以使其保持在线性范围内。

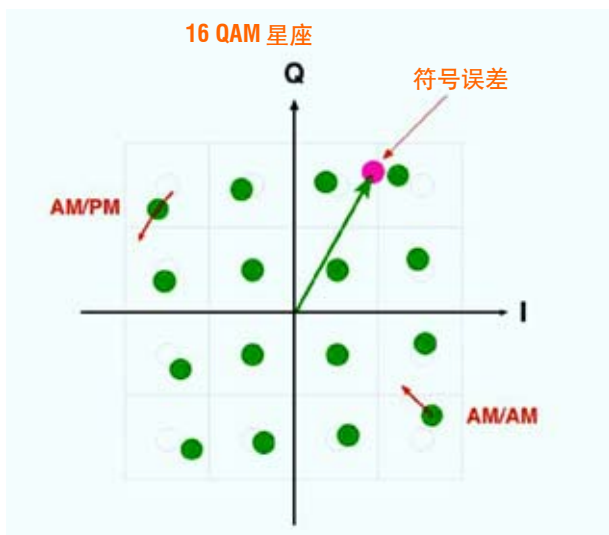
CCDF 可以简便地表明有多少个符号点正在进行非线性压缩。简单地测量来自调制器的低 EVM 信号的 CCDF 函数，然后把它与功放器输出上测得的 CCDF 进行比较。在功放器开始饱和时，信号高于该功率电平的概率为零。



■ 图 18. CCDF 可以同时显示放大器线性度和受到饱和放大器影响的符号所占的百分比。可以把放大器输入上的高斯噪声与削波的输出信号进行比较。



■ 图 19. 与放大器功率输出相关的 AM/AM 和 AM/PM 调制。



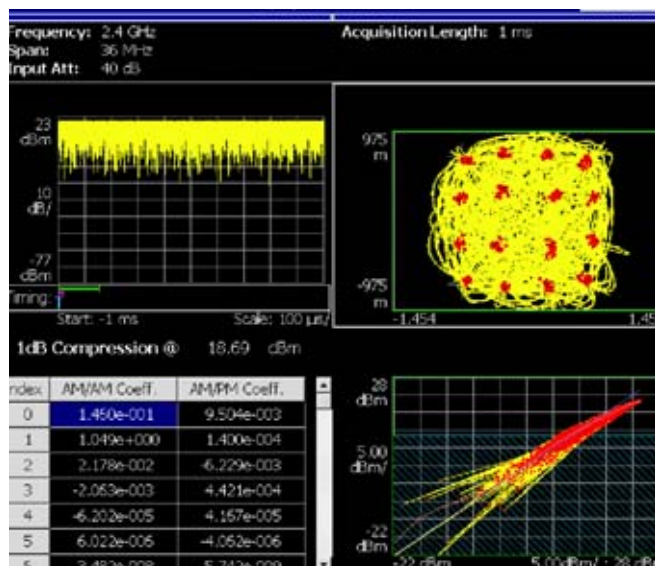
■ 图 20. 16 QAM 星座，包括来自非线性功放器的 AM/AM 和 AM/PM 失真。

信号超过发生失真的幅度电平的时间占总时间的比重还表明了将发生失真的符号的百分比。这在为数字无线系统设计一定的服务质量(QoS)时非常重要。即使在理想的接收机信号电平下，所有数字无线系统仍会偶尔出现误码，这称为残余BER。CCDF显示画面向我们显示了峰值功率及其发生的频次或有多少个符号要求这些功率电平。

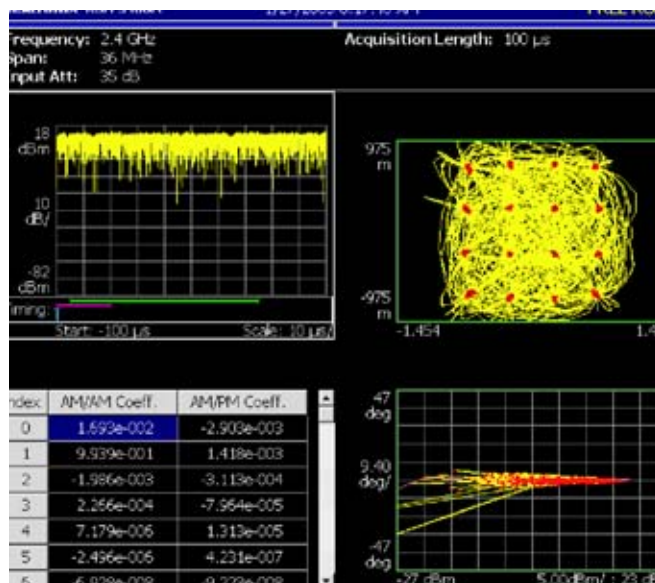
在知道发送的符号数量一定的峰值功率与均值功率比时，我们可以选择AM/AM和AM/PM响应，避免不可接受的误码率。怎样实现这一点呢？

在放大器接近饱和时，其增益开始变化。这种与输出功率相关的增益损失即AM/AM调制。类似的，在放大器接近饱和时，放大器中的相位位移开始变化。这种相位位移变化即AM/PM调制。AM/AM和AM/PM非线性效应会导致调制符号错误和相应的误码。

例如，16 QAM星座会因AM/AM和AM/PM非线性度而变得失真。外部符号会被挤压，并相对于这些功放非线性度的中心符号旋转。如果越过符号边界旋转外部符号点，将会发生符号错误。



■ 图 21. RSA3408A 上测得的 16 QAM 信号的 AM/AM 失真。



■ 图 22. RSA3408A 上测得的 16 QAM 信号的 AM/PM 失真。

测量AM/AM和AM/PM失真是预测必要的残余BER的重要组成部分，以便为数据链路设计想要的QoS。

RSA3408A能够测量这些失真。它采用算法预测符号点应该相对于实际值的位置，可以估计信号已经出现的AM/AM和AM/PM失真。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南

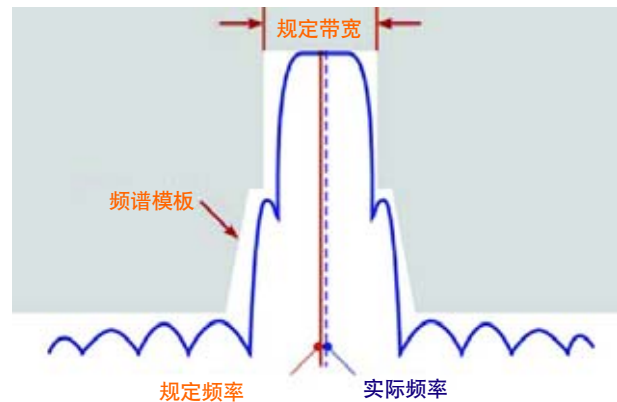
可以使用星座图、AM/AM、AM/PM和相噪测量预测无线链路的残余本底误差。预测残余本底误差超出了本应用指南的讨论范畴。但是，这些测量对许多无线链路非常重要。控制相噪的功放器和振荡器的成本可能在数据链路总成本占很大比重。因此必须认真权衡允许的功放器AM/PM相位误差与允许的系统相噪误差。这特别强调要优化及紧密控制这些参数。

### 符合法规机构要求 – 检测频谱模板超限

创建没有明显损伤的调制为建立强健的数据链路提供了良好的开端。但是，资深现代设计人员都知道挑战不会止于没有差错的数据链路。无线信号共享相同的无线频谱，必须抑制调制器中生成的带外杂散信号，以防止无意中干扰其它无线设备。

创建任何无线传输的重要组成部分是满足为防止无线干扰设计的法规要求。联合国(UN)成员国根据国际条约同意遵守联合国委任机构提出的频谱使用建议，国际电信联盟(ITU)是提供这些建议的机构。然后成员国会规定频谱使用情况，实施由政府机构或学会规定的国家法律。所有无线传输必须满足这些法律规定的要求，以防止不想要的信号干扰。

为保证被调制信号符合法律要求，一个关键部分是进行频谱模板测量，有时称为频谱辐射模板(SEM)测试。频谱模板测试设置相邻无线通道允许的干扰极限。频谱模板接受这样一个事实，即无线信号频谱并不是完美的矩形，一定数量的邻道干扰是不可避免的。



■ 图 23. 以规定频率为中心的规定频谱模板。

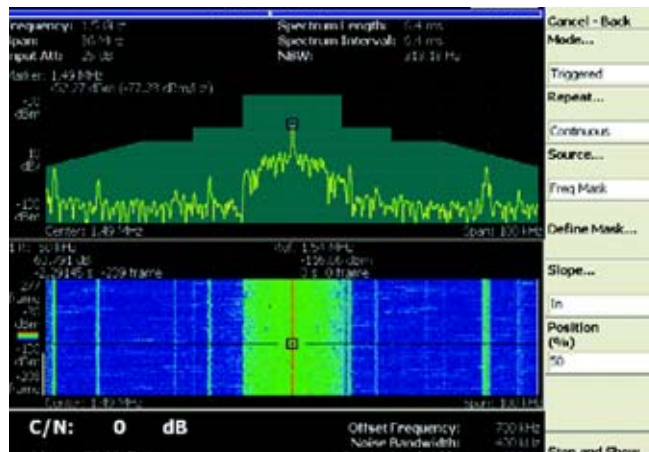
在设计使干扰达到最小的频谱模板时，法规机构考虑了许多因素。复杂的传输多维空间要求频谱模板根据无线服务类型、提供的滤波技术和发送的功率电平变化。对每种无线服务和频段都存在着不同的频谱模板。模板的频谱发射极限规定了距规定通道一定的频率偏置上可以接受的相对功率电平。这一频率偏置通常用规定辐射带宽的百分比表示。

为精确地检定频谱形状，必须以一定的分析仪分辨率带宽(RBW)进行频谱发射测量。通常这个RBW很窄，要求长时间的低速扫描。某些测量进一步规定要在一段时间内保持最大幅度，这是为了保证捕获瞬时频谱发射，且不会超过频谱模板。扫频分析仪只能捕获任意时点上显示屏较窄的部分。多次扫描、并在每个取样频率上保持最大功率，有助于防止漏掉这些重要的间歇干扰源。有意思的是，法规中并没有一直规定扫描速率或扫描总数。

为保证发射机满足频谱模板要求, RSA3408A的频谱模板触发器特别适合迅速捕获难以捕捉的渗透到禁止模板区域中的间歇性频谱事件。由于实时FFT功能, 该分析仪捕获间歇性正弦曲线干扰源的速度要比扫频调谐式分析仪'最大保持'方法要快许多倍。通过这种方法迅速筛选杂散信号问题在开发过程中节约了宝贵的时间。在正常情况下, 在扫频分析仪中需要几分钟才能完成的测试, 在实时频谱分析仪模式下几乎可以瞬间完成。

为在实时模式下找到间歇性正弦曲线杂散信号, 可以把分析仪设成触发频谱模板。把分析仪的跨度设成同时覆盖希望的信号和邻道。然后调节频率模板触发器, 涵盖规定模板。可以简便地把非标准规定模板直接输入分析仪中, 然后准备触发器, 捕捉杂散信号事件。如果触发测量, 那么表明已经突破模板, 被测设备要求维修。如果没有触发测量, 操作人员可能希望查看模板内部的频谱。可以在触发菜单下简单地按下'stop and show results' (停止和显示结果)软键来查看频谱。

触发器的实时速度不需以窄RBW在长时间内进行'最大保持'捕获, 以便尝试和检测瞬间模板超限。这对在串行外设接口(SPI)总线上运行微处理器控制、偶尔导致RF频谱问题的无线电系统特别有益。一旦发现和抑制间歇杂散信号, 必需满足法律测量要求。由于大多数法规是围绕传统扫频分析仪制定的, 因此必需从实时模式切换到频谱分析仪(SA)模式, 使得分析仪能够仿真传统扫频分析仪。



■ 图 24. 使用 RSA3408A 的频率模板触发器检测和捕获超出以规定频率为中心的规定频谱模板的信号。

在 SA 模式下, RTSA 的数字结构较传统扫频调谐分析仪提供了多种优势。

在 SA 模式下使用 RSA3408A 进行 SEM 测量的一个关键优势是使用快速傅立叶变换(FFT), 把时域数据转换成频谱。强大的 FFT 几乎可以直接设置任何规定的 RBW。老式模拟扫频分析仪在传统上只以 1, 2, 3, 5 & 10 增量提供 RBW。这通常要求手动带宽校正系数符合流行的法定 RBW, 如 4.0 kHz。

一旦设置了相应的 RBW, 必需在发射机频谱顶部校准载波电平。一般来说, 为实现最高的精度, 可以使用功率计测量发送功率, 把没有调制的载波功率放在模板的顶部。伪噪声频谱要求把载波功率调节到相应的测量 RBW。把占用带宽(OBW)的对数乘以 10, 再除以测得的 RBW, 可以得到相应的功率电平调节系数。

## 应用案例集—综合应用

### 应用指南

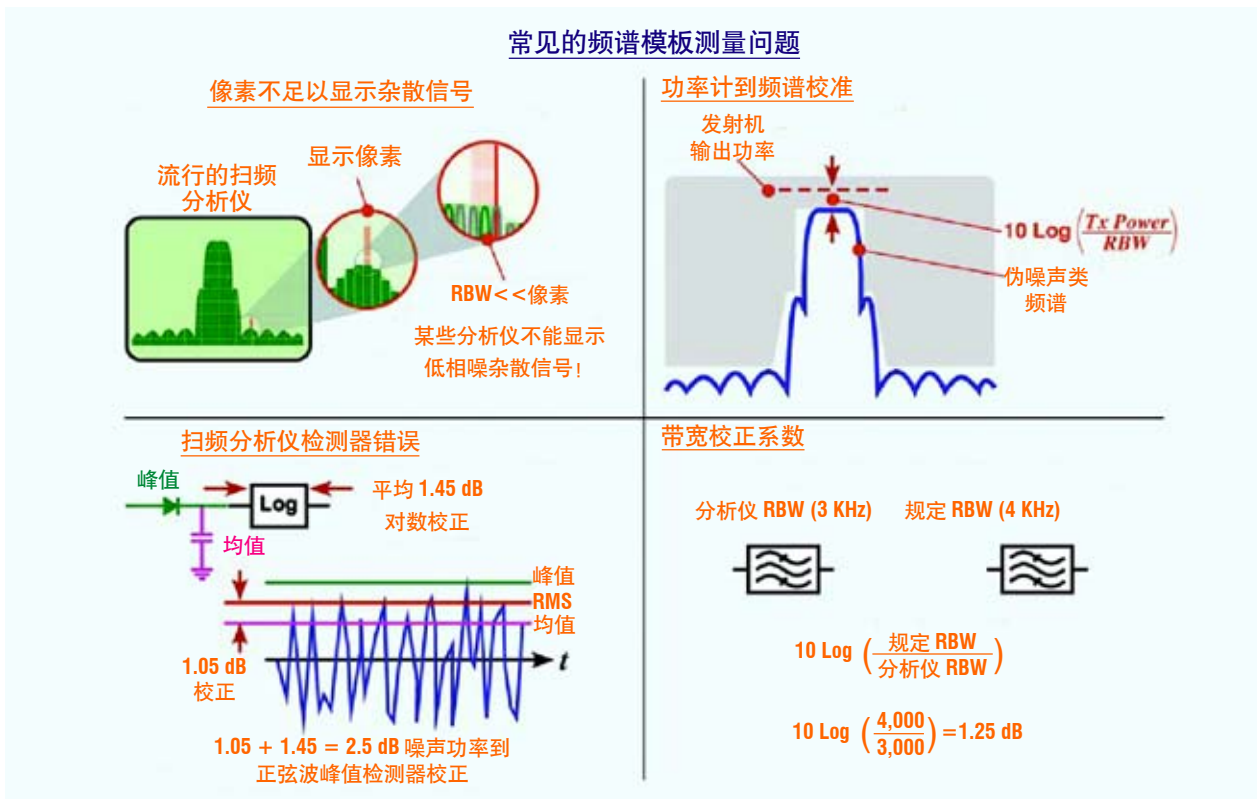


图 25. 频谱模板测量考虑因素。

使用RSA3408A进行模板测量的另一个优势是显示屏提供了精确的RMS功率检测器，而不需要老式模拟扫频分析仪要求的峰值检测器幅度校正系数。

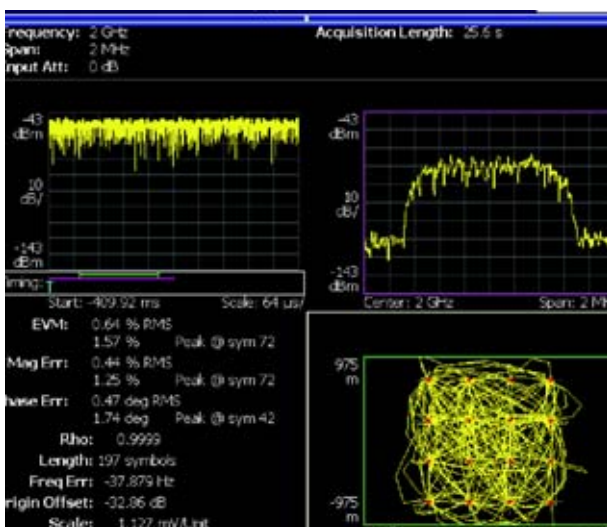
因此，RTSA为迅速找到并从发送的信号中消除杂散信号提供了一种非常高效的方式。其仿真功能还使其能够比传统扫频调谐分析仪更好地遵守传统法规要求。

在对非标准信号进行SEM测量时，需要注意的最后一点是要符合规定。在全球范围内规定的SEM要求差异很大，因此对不符合标准的处罚也各异。在设置测量时，最好认真阅读法律条款。要特别注意RBW滤波器和检测器要求，以保证设置相应的测试。最后，如果可能，应使用预先编程的SEM选项保证符合规定。

### 接收机同步

我们合法的、具有足够C/N的低EVM信号到达准备解调的接收机。工程师面临的另一个挑战是把解调器中的载波和符号恢复时钟与进入信号同步。

同步通常要求负的反馈控制环路，如锁相环，来采集和锁定载波或符号时钟。这些锁相环可能会采用非常复杂的形式，其调制已经抑制载波，如QAM。在抑制载波调制中，对数据恢复至关重要的载波信号会故意抑制幅度。可以有效地从信号中去掉载波，因此很难检测和恢复。Costas环路、再生器和定向判定反馈等拓扑都可以用来恢复抑制的载波信号。

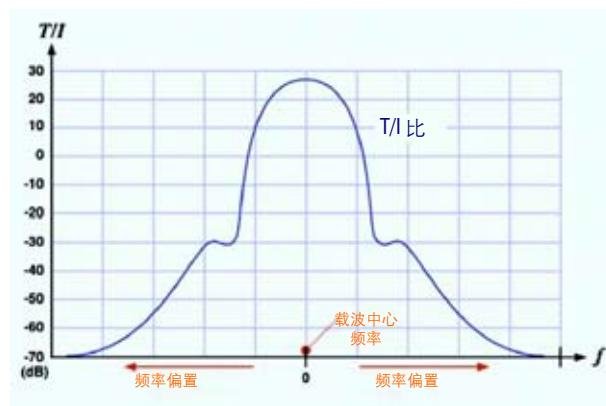


■ 图 26. 显示的 16 QAM 信号的载频误差。

在这些载波和符号恢复设计中,许多设计在非常有限的频率范围内工作。窄环路带宽、压控晶体振荡器(VCXO)和相噪考虑因素可能会要求非常精确的发射机载频,以使抑制载波接收机采集和锁定进入信号。测量发射的抑制载波可能会给工程师带来问题。

### 工程师怎样确定抑制载波调制的载频呢?

如果没有有效的载波能量,频率计数器没有任何价值。可以把频谱分析仪设成非常窄的 RBW (几赫兹)进行测量,查找无意的载波泄漏;这在一定程度上与在频谱中海捞针类似,耗费时间非常大。通过认真累积测得的发射机 LO 信息,可以确定发射机频率。通过这种方式计算发射机频率也是一个耗时巨大的过程,必需进行多个 LO 频率测量。



■ 图 27. 优质接收机的 T/I 比显示了某种干扰源在不影响无线电门限的情况下可以容忍的最大干扰。这一示意图适用于窄带正弦曲线之类的干扰源。

RTSA 为迅速确定实际发射机频率提供了更加可行的方式。该仪器中使用的强健的载波跟踪算法可以迅速锁定发射信号。作为调制分析能力的一部分,该仪器将提供载波距分析仪中心频率的频率误差。工程师只需在仪器的中心频率中增加频率误差,确定实际发射机载频。

迅速确定解调器需要采集的实际载频有助于诊断载波恢复问题和解调器设置。

### 在现场找到干扰

一旦数据链路正常工作,它将在现场投入使用,这里它可能会遇到来自各种来源的干扰信号。特别是在新产品中,可能很难确定为什么无线电在现场发生错误。工程师通常会怀疑干扰是实验室环境中没有遇到的其它无线信号导致的。色散衰落导致的信号多径、路径余量不足和器件故障都和干扰问题类似。

## 应用案例集—综合应用

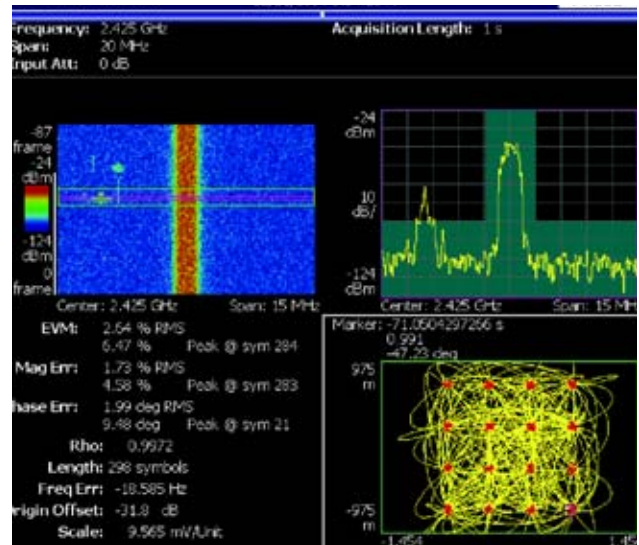
### ■ 应用指南

为有效识别干扰问题,通常必需以导致问题的功率电平和频率偏置捕获干扰信号的频谱。无线电接收机容易受到干扰的程度取决于其滤波、动态范围和调制特点。传输工程师采用门限与干扰比(T/I)图,预测某个数字接收机在存在干扰时的行为方式。T/I 数据告诉我们在距希望信号的载波的偏置一定时可以接受的信号电平是多少。

在现场找到T/I不可接受的干扰源可能是一项艰巨的任务。遗憾的是,许多干扰源具有间歇特点。分组无线传输、来自多普勒雷达的谐波和低频大气信号输送管道都是瞬时干扰。诊断间歇性信号要求能够捕获瞬态事件。RTSA 的频率模板触发器专利技术为捕获间歇性干扰等频谱瞬变提供了理想的解决方案。这种独特的仪器功能特别适合迅速诊断干扰问题。

为找到干扰问题,频率模板触发器被编程为拟合接收机T/I曲线的形状。然后触发器准备捕获过高的干扰。如果任何信号突破频率模板,将捕获其频谱,然后可以有效地确定无线数据误差导致的干扰。

在前期产品部署过程中,这可以给成本高昂的工程团队节约大量的时间。有时,工程师不得不亲临现场,诊断似乎有问题的无线器件,但在进行几个小时的测试后却发现实际上是不可能的异常来源导致的间歇干扰问题。当客户在



■ 图28. 频率模板触发器设为可以接受的信号电平,发现间歇干扰源。

现场发现间歇问题,需要迅速评估、以防止超长时间的诊断时,频率模板触发器成为必不可少的一项测试资源。RTSA 的频率模板触发器可以大大降低在现场确定接收机问题所需的时间。



### 小结

RTSA 可以灵活测量及全面支持最流行的调制类型，使其成为各种无线链路应用中的杰出选择。该仪器的频率模板触发器、ASK 解调器、FSK 解调器和位解码软件在许多通用调制中具有广泛的应用。

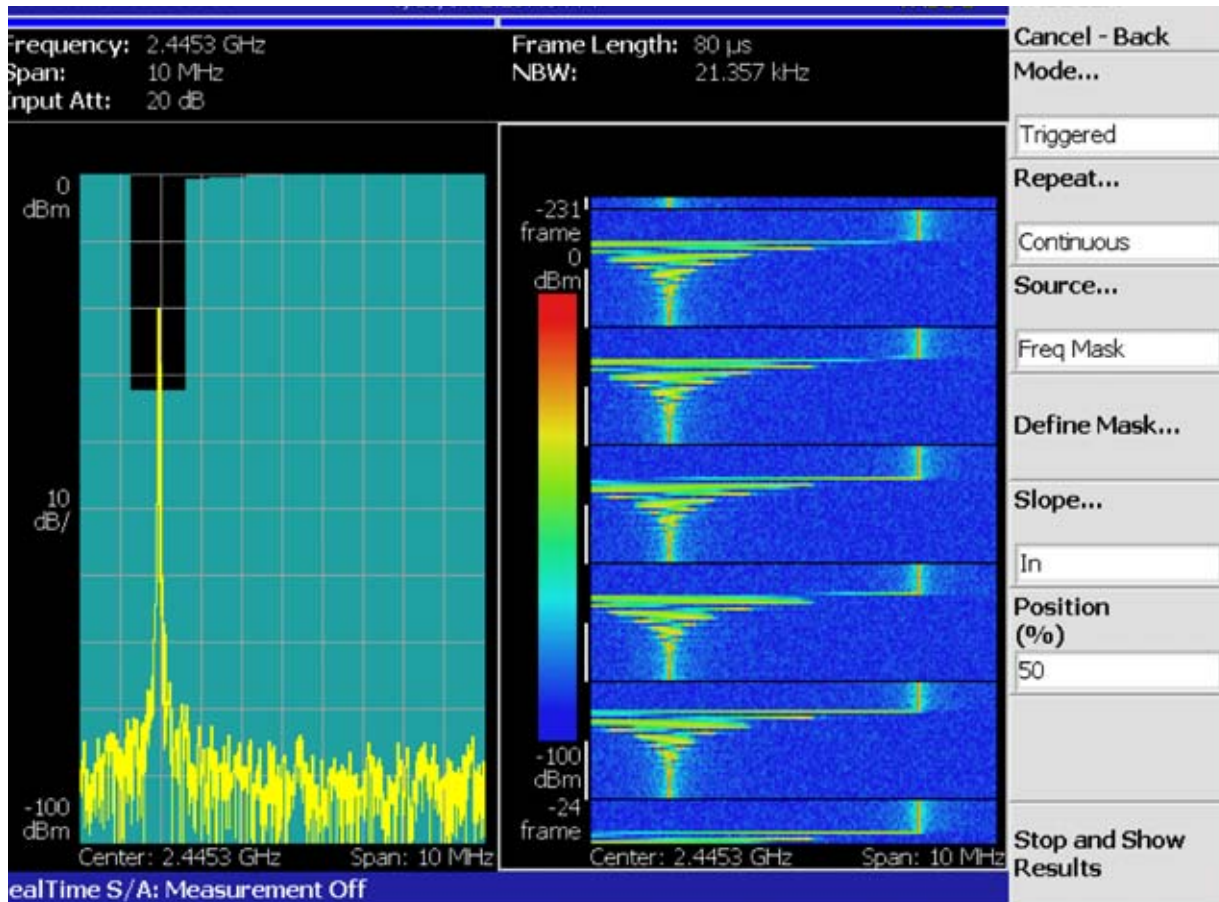
与单纯为对大众市场蜂窝无线标准进行调制分析设计的许多矢量信号分析仪不同，RTSA 特别适合非标准或专有的调制应用。该分析仪为这一行业提供了真正的时间相关多域分析的优势。这可以以更高的结论可靠性提供更迅速的诊断能力，节约时间，减少错误。

我们希望本应用指南中的实例演示了可以怎样利用 RTSA 解决各种通用调制分析问题。泰克代表可以帮助您演示怎样使用 RTSA 解决特定的调制分析问题，我们真诚地希望帮助您取得成功。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南

# 使用实时频谱分析技术，迅速识别间歇性信号和干扰信号



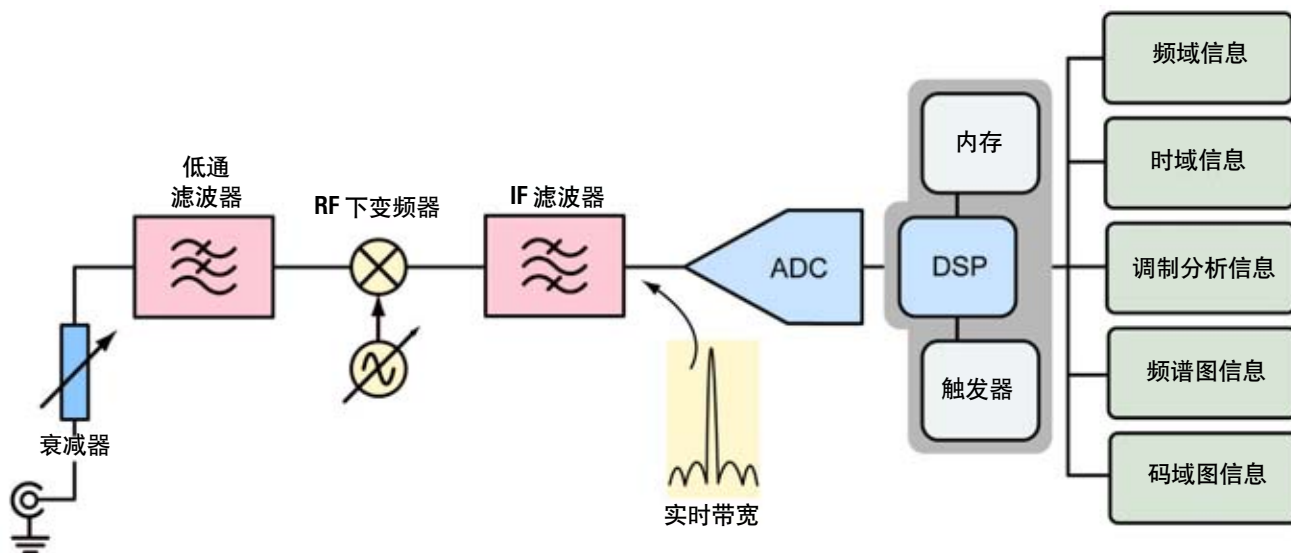
### 当前拥挤的 RF 频谱面临的测量挑战

RF 频谱正变得越来越拥挤，越来越繁忙，这就给系统和信号相互干扰带来了更大的可能。今天，RF 信号数量不仅越来越多，而且这些 RF 信号一般具有更大的瞬变和复杂特点，使得 RF 工程师很难在工作环境中识别干扰信号的来源。

当前采用跳频、脉冲和数字调制等技术的许多 RF 系统中，找到、记录和识别干扰来源正变得更加困难，因为

“问题信号”可能只存在非常短的时间，可能会迅速改变频率，甚至可能会与预计的传输结合在一起，导致服务质量劣化。

在分析这些信号时，传统扫频分析仪很难为工程师和技术人员提供全面识别信号所需的全部信息。工程师需要显示画面，显示频域、时域和调制域的时间相关信息，使其能够迅速、全面、精确地分析信号。



■ 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。

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。

## 应用案例集—综合应用

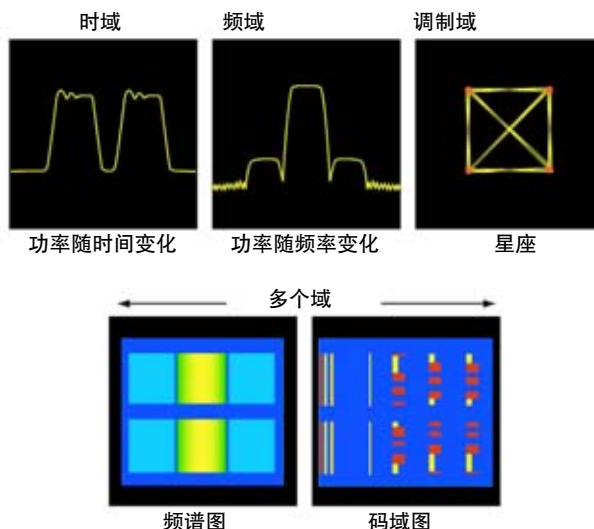
### ■ 应用指南

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。

### 在拥挤的频谱中找到信号

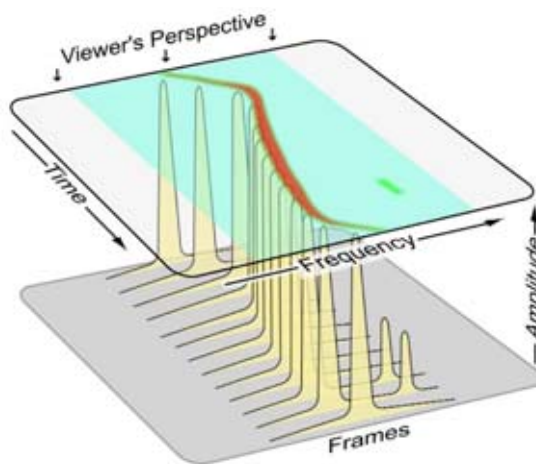
迅速识别干扰信号来源的其中一个关键，是能够在其出现时捕获想要的信号。如果想要的信号是间歇性的、不稳定的或位于 RF 频谱拥挤部分，那么这会变得尤为困难。找到间歇性信号的主要困难是由其不可预测引起的。在事件发生前，可能已经经过了几秒、几分钟或几个小时的时间。在事件发生时，它在很长时间内都不可能再次发生，因此用户必需保证频谱分析仪已经准备就绪，能够捕获这些信号。由于采用扫描结构、缺乏完善



■ 图 2. RSA 上提供的部分时间相关测量实例。

的触发器，使用传统扫频分析仪捕获间歇性信号特别困难。

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 3 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，本文后面对此进行了介绍。



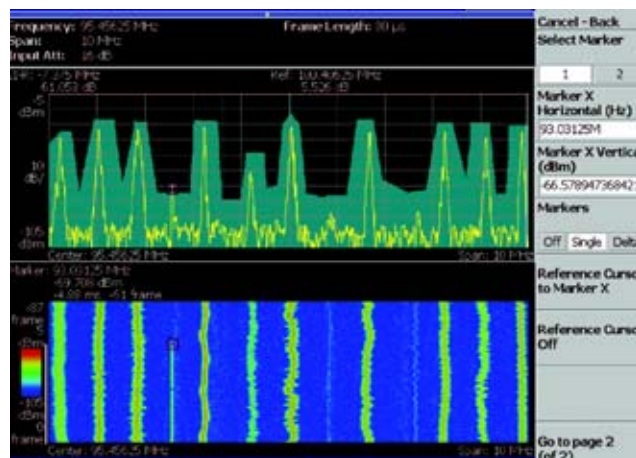
■ 图3. 传统频域测量提供的瞬时RF信号相关信息非常少。

为解决这个问题，泰克 RSA 采用频域触发功能，保证一旦干扰信号出现在频谱中，它们将尽快开始无缝记录整个感兴趣的频段。这种无缝捕获功能保证了在时间记录中没有断点，从而可以全面精确地分析测量期间的频谱。

频率模板可以内置在频域中，选择性地排除不感兴趣的特定区域，或可能包含大的现有传输的区域。模板的用途是查找“突入”或“突出”模板区域的信号。这种触发功能保证了只把“预计不到”的信号捕获到内存中，而忽略较大的已知信号。所有这些都可以在不需使用外部滤波器的情况下实现。

在图 4 所示的实例中，正在监测 FM 无线电频段中的 10 MHz 段，因为它存在间歇性小干扰信号问题。这个频段中挤满了许多大的信号，很难找到任何干扰信号。但是，通过使用频率模板触发器，可以屏蔽掉所有已知的 FM 广播，而由 RSA 自己找到干扰信号。看一下图 4 上方的频域图，跨入屏幕黑色区域的任何 RF 信号都将触发分析仪，导致其把整个 10 MHz 频谱的无缝时间记录捕获到内存中。

除图 4 中的频域图外，还有一个频谱图画面，显示了功率和频率随时间变化情况。这两个视图相互关联，在频谱图中选择任何一点都会导致频域图更新，显示该时点上的频率随功率变化响应结果。在这种情况下，RSA 会显示干扰信号突入模板区域、触发仪器的确切时间。



■ 图 4. 频谱图显示了功率和频率随时间变化情况，频域图则可以详细查看干扰信号出现的时刻。

扫频分析仪中常用的纯电平触发器比较适合干净的频谱或想要的信号拥有最高功率电平的频段。在当前拥挤的频谱中，间歇性信号位于频谱干净段，或间歇性信号是任何频段中主导信号的可能性非常小。由于纯电平触发功能只感应电平，不能选择频率，因此它不能可靠地检测某个频率上的事件。如果想要的间歇性信号与较大的附近连续传输相比很弱，纯电平触发器将不能检测到信号的存在。

纯电平触发器和扫频分析仪结构的进一步局限性在于，在满足触发条件以前，它没有任何方式捕获事件，因此只能在事件发生后进行分析。在当前的 RF 环境中，纯电平触发器等传统触发功能已经不再适合需要频谱监测的大多数应用。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南

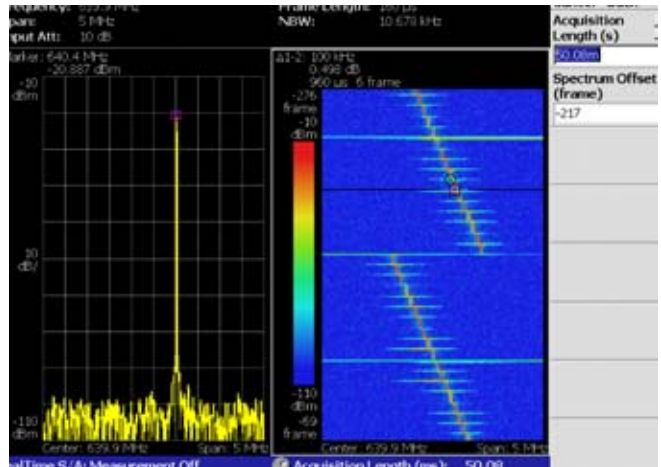
通过无缝实时捕获和多域分析功能,工程师可以迅速简便地提取与感兴趣的信号有关的信息。在频谱图中能够有效查看功率和频率随时间变化情况,保证了工程师可以全面理解感兴趣的信号。

对频谱图进行分析后显示,这个信号在 93.03125 MHz 上打开,功率电平为  $-69.7$  dBm。其没有功率锯齿,信号拥有良好的频率稳定性(表示这个干扰信号的绿色直线没有水平移动)。但是,有意思的是,信号简短地停止发送,直线中的小缺口表明了这一点。这可能表明干扰信号是脉冲式信号,信号源具有一定的启动功率不稳定性。

### 检定跳频发射机

检定频率捷变或跳频发射机可能是一件极具挑战性的任务,特别是在发射机没有采用简单的重复模式的发射机中。在这种情况下,精确理解功率参数、频率参数和定时参数之间的相互影响非常关键。传统扫频分析仪不能提供定时信息,因此使用一台测试设备检定频率捷变或跳频发射机异常困难。但是,RSA可以使用一台频谱分析仪在一个传输上进行相关的多域分析,从而降低整体测试时间和测量不确定性。

在下面的实例中,一部 640 MHz 频率捷变发射机在 2 MHz 跨度内进行阶跃扫描。通过图 5 中的频谱图,可以简便地识别发射机的码型;但这只能说明部分问题。必须分析信号质量,即除了传统 RF 指标外,还必须测量随时间变化的效应,如开关瞬变、频谱邻道干扰和稳定



■ 图 5. 右侧图: 640 MHz 频率捷变跳频发射机的频谱图。可以清楚地看到其间带有频谱邻道干扰离散阶跃的跳频码型。左侧图显示了与标尺放在右侧频谱图的同一时间相关的信号频谱。

时间。RSA 能够捕获 RF 频率跨度的无缝记录,使工程师能够在任何时点上分析信号。在本例中,频谱图清楚地显示了在扫描中间段上生成的频谱邻道干扰。通过查看频率和功率随时间变化之间的关系,工程师可以迅速识别潜在问题或干扰来源。

在发射机从一个频率变换到另一个频率时,最重要的特点之一是频率稳定时间。从运行角度看,它会导致质量问题;从监测角度看,它可以揭示独特的特点,进而识别单个发射机。通过 RSA 中的多域功能,可以分析任何跳的频率稳定时间,而不必重新捕获另一个信号,或使用第二台测试设备。

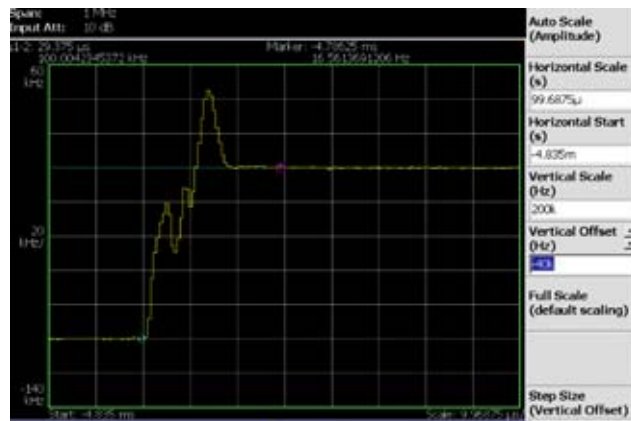
变为RSA时域模式可以分析某个跳的开关瞬变(频率随时间变化)。图6中的频率随时间变化图显示了频率变化并不是平滑的线性变化,而事实上,发射机频率在短期内表现出减幅振荡。这可能是由于发射机内部PLL在跳频过程中“锁定”丢失而导致的。左上方画面的增量标尺测得的稳定时间为  $30\ \mu\text{s}$ , 频率变化为  $100\ \text{kHz}$ 。

真正的多域分析仪能够从单次捕获的信号中获得与跳频模式、RF性能、频谱邻道干扰和稳定时间有关的所有这些信息,并无缝地把频率跨度的时间记录捕获到内存中,这在必须检定随时间变化的RF信号的环境中异常宝贵。

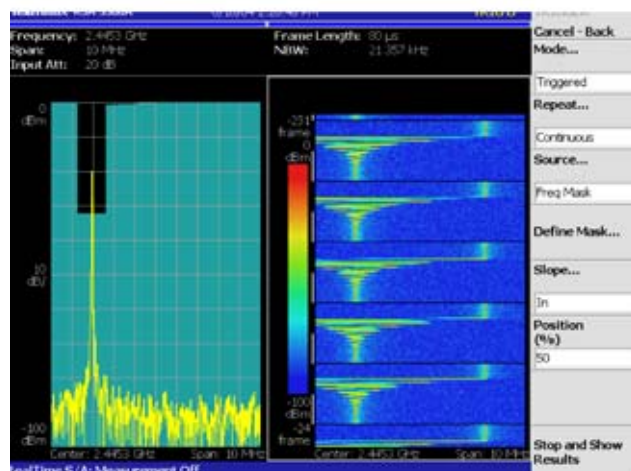
### 检测和捕获间歇性信号

在检定未知的瞬时信号时,一般需要回答的部分问题是:“这个信号出现的频次是什么?”,“每次出现时信号看起来一样吗?”信号可能每小时出现一次、甚至每天出现一次,因此怎样确保检测到这个信号?真正回答这个问题的唯一方式,是连续监测感兴趣的频谱,把每个事件都捕获到内存中。传统上,这使用连续记录频谱的专用高端监测设备实现。这种方法成本很高,但效率不高,因为绝大部分记录的数据包含的是没用的信息。

RSA大大提高了这一任务的经济性和效率。通过采用连续触发模式,可以把RSA触发器设置成每次在满足“触发”条件时捕获信号。一旦触发,分析仪将捕获很短时间内的频谱活动(由操作人员确定),然后重新准备分析仪,等待下一次触发。下次在感兴趣的信号出现时,RSA再次触发和捕获,但这次它会把信息追加到内存中,并打上下时戳。这种功能可以有效利用RSA中的捕获内存,保证它只装有相关信息。



■ 图6. 图5所示的跳频发射机的开关瞬变(频率随时间变化)。标尺显示了在  $30\ \mu\text{s}$  内稳定的瞬变的  $100\ \text{kHz}$  频率阶跃。



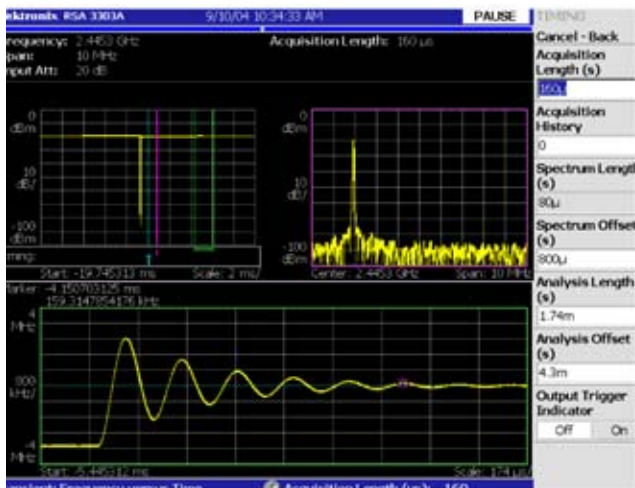
■ 图7. 一系列频率跳被捕获到内存中,可以独立分析每个跳。

图7中的信号显示了一个跳到  $2442.24\ \text{MHz}$  的  $2448.38\ \text{MHz}$  信号。我们只对检定跳感兴趣。我们想知道每一跳是否相同及这些跳发生的频次。图7的右侧显示了一个频谱图,其中包含在很长时间内捕获的发生5次的跳<sup>1</sup>。仪器可以无人值守,捕获这些信号,工程师和操作人员则可以把精力放在更紧迫的问题上。

<sup>1</sup> 水平黑色直线显示了内存捕获中的断点。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南

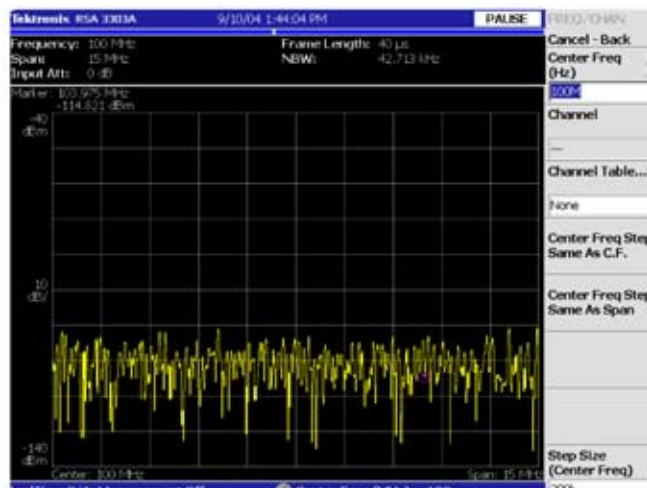


■ 图 8. 详细的时间相关多域信息可以深入分析每个跳频。

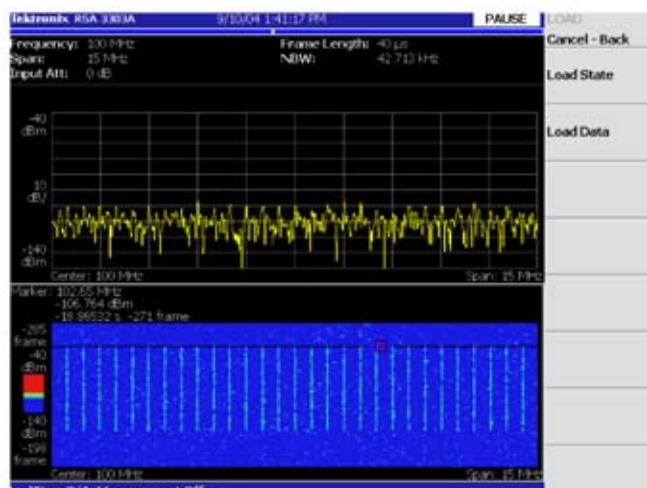
一旦内存中存储了足够的信息，可以独立分析每个事件，从而可以检定频率的所有方面。实时频谱分析仪能够显示时间相关的多域信息，可以全面分析功率和频率的变化情况。图 8 显示了一个跳的多域信息，包括功率随时间变化(左上)、功率随频率变化(右上)和频率随时间变化(下半部分)。

### 识别小的扩频信号

在许多情况下，问题信号的速度非常慢，以致会消失在本底噪声中，找到这些信号变得异常困难，需要耗费大量的时间。在传统扫频分析仪中，在迅速扫描宽频率跨度时，不可能实现低本底噪声，使得找到小信号变得非常棘手。此外，没有任何方式查看信号随时间变化情况。RSA 的独特功能可以简便地识别嵌入在本底噪声中的信号。图 9 显示了 15 MHz 频谱跨度的传统频域图。但似乎不存在任何信号，而在激活频谱图时，则可以明显看到存在扩频信号(图 10)。实时无缝捕



■ 图 9. 在传统频域图中，频谱中似乎没有任何感兴趣的东西。



■ 图 10. 在频谱图中，可以清楚地看到扩频信号。

获频率跨度，使得分析仪能够迅速精确地捕获小信号的时间记录，多域信息则可以异常迅速简便地识别信号和信号码型。



#### 小结

在工程师进行“不占空”测量、以识别和检定干扰信号或流浪发射机的运行环境中,只有实时频谱分析仪提供了触发、捕获和分析功能,可以简便地识别干扰信号。独特的触发功能保证了可以捕获频谱中的任何变化。实时无缝捕获功能把信号单次事件存储到内存中,可以全面分析信号,而不需重新捕获事件。多域分析功能则可以有效地查看时域、频域和调制域之间的复杂关系。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南

# 使用泰克实时频谱分析仪进行 EMI 测量

泰克实时频谱分析仪(RTSA)可以明显加快在宽频率跨度上搜索小杂散信号的速度。在某些情况下,测量速度可以提高 100 倍。这一速度的提高,源于 RTSA 较扫频分析仪采用快得多的采集方法。扫频分析仪必须在每个测量频率上,测量分辨率带宽(RBW)滤波器中的功率,这一般要求至少 1/RBW 秒的时间。然后,扫频分析仪必须跳到下一个测量频率,其通常不到 RBW 的一半,然后进行下一个测量。

对采用高斯 RBW 滤波器的传统扫频分析仪,可以通过下述公式,计算近似的扫描时间:

$$T = (k) (\text{跨度}) / (\text{RBW})^2 \quad (\text{参考资料 2})$$

其中: T = 扫描时间, k = 某个分析仪型号和模式的常数值, 跨度 = 频率跨度 (结束频率 - 开始频率), RBW = 分辨率带宽。

在 RBW 值降低 10 倍时,扫描时间会提高 100 倍,因为滤波稳定时间下降了 10 倍,测量点提高了 10 倍。对大多数传统扫频分析仪来说,将使用数字滤波器生成窄 RBW 值,较宽的 RBW 值则使用模拟滤波器。在跨度与 RBW 相比非常宽时,扫描速度会非常慢。

实时频谱分析仪(RTSA)仪器使用宽 FFT (快速傅立叶变换)技术,使频域分析速度改善了几个量级(参考资料 1)。采集速度仍受到物理因素的限制(解析一定 RBW 要求的时间),但在这个时间中,可以采集高达 36 MHz 的频率。因此,分析仪只须在大“块”频率之间移动,而不是以小于 RBW 的步进跳频。例如,在 100 MHz 跨度设置下, RSA3408A 可以使用 20 kHz RBW 在五个 20 MHz 跨度

中采集跨度。扫频分析仪必需使用至少 2,000 个跳频和采集,才能进行同一测量。

即使在使用理论上最好的前置放大器时,频谱分析仪仍受到热本底噪声的限制。在 50 欧姆阻抗环境的室温中,这个本底噪声是 -174 dBm/Hz。可以使用基本物理原理导出这个值。这样的系统中的噪声功率可以使用下述公式计算得出:

$$P = kTB$$

其中: P = 带宽 B 中测得的噪声, k = Boltzman 常数(1.38x10<sup>-23</sup>J/K), T = 开氏温度。

在 290K 室温在 1 Hz 带宽时,噪声功率为:

$$P = (1.3806 \times 10^{-23} \text{J/K}) (290\text{K}) (1 \text{ Hz}) = 4.0037 \times 10^{-21} \\ W = -173.98 \text{ dBm}$$

这个值通常会四舍五入为 -174 dBm/Hz。泰克 RTSA 产品的本底噪声约比这个理论上完美的本底噪声高 20 dB,得到大约 20 dB 的噪声系数。在使用外部低噪声前置放大器时,这可以精简为接受希望的 -174 dBm 热本底噪声。

dBm/Hz 本底噪声测量单位源于随机噪声及展宽 RF 信号的整体频谱特点(如宽带 QPSK 或 QAM 调制信号)。对这些展宽信号,信号功率均匀分布到一个频率范围内,测试设备测得的功率与测量带宽线性相关。因此,对物理本底噪声极限,我们可以在 1 Hz 带宽时测得 -174 dBm,在 10 Hz 带宽时测得 -164 dBm,在 1 MHz 带宽时测得 -114 dBm,等等。

泰克提供了多种不同型号的实时频谱分析仪(RTSA)，如下表所示：

型号	最大 RF 跨度	RF 频率范围 (N 正面输入)	基带频率范围 (N 正面输入)
<b>RSA3408A</b>	36 MHz	30 MHz – 8 GHz	DC – 40 MHz
<b>RSA3308A</b>	15 MHz	20MHz – 8 GHz	DC – 20 MHz
<b>RSA3303A</b>	15 MHz	20 MHz – 3 GHz	DC – 20 MHz
<b>WCA280A</b>	15 MHz	20 MHz – 8 GHz	DC – 20 MHz
<b>WCA230A</b>	15 MHz	20 MHz – 3 GHz	DC – 20 MHz
<b>RSA2208A</b>	10 MHz	10 MHz – 8 GHz	(选项 05) DC – 20 MHz
<b>RSA2203A</b>	10 MHz	10 MHz – 3 GHz	(选项 05) DC – 20 MHz

本文其余部分将描述在普通频谱分析仪模式下使用RSA3408A RTSA进行的测量。这种模式可以实现更宽的跨度或窄跨度及常用的频谱分析仪数据精简方法。

RTSA采用FFT技术，降低使用窄分辨率带宽(RBW)或噪声带宽(NBW)测量大跨度所要求的时间。下面是采用不同跨度和RBW(或NBW)的部分采集时间实例。FFT点值表明了每个FFT中的点数(对非基带跨度，其宽度不超过20MHz)。在使用FFT设置时，测量带宽作为噪声带宽(NBW)给出，这是FFT滤波器测量噪声时的有效带宽。

开始频率	结束频率	跨度	RBW	NBW	FFT 点数	轨迹长度	时间
DC	40 MHz	40 MHz	20 kHz	*	*	6,401	50 ms
DC	40 MHz	40 MHz	10 kHz	*	*	51,201	640 ms
DC	40 MHz	40 MHz	*	12.527 kHz	8192	6,401	50 ms
DC	40 MHz	40 MHz	*	3.132 kHz	32768	25,601	250ms
30 MHz	3.03 GHz	3 GHz	10 MHz	*	*	7,501	4500 ms
30 MHz	3.03 GHz	3 GHz	100 kHz	*	*	480,001	5000ms
30 MHz	3.03 GHz	3 GHz	*	50.109 kHz	1024	120,001	4200ms
2.44531 GHz	2.44532 GHz	10 kHz	*	0.391475 Hz	65536	51,201	5700 ms
2.4453 GHz	2.4454 GHz	100 kHz	*	3.915 Hz	65536	51,201	1100ms
2.445 GHz	2.446GHz	1 MHz	*	39.148 Hz	65536	51,201	625ms
2.44 GHz	2.46 GHz	20 MHz	*	782.95 Hz	65536	51,201	625ms
2.43 GHz	2.47 GHz	40 MHz	*	1.566 kHz	32768	51,201	750 ms
2.4 GHz	2.5 GHz	100 MHz	10kHz	*	*	128,001	1250 ms
2.4 GHz	2.5 GHz	100 MHz	*	3.132 kHz	16384	64,001	400ms

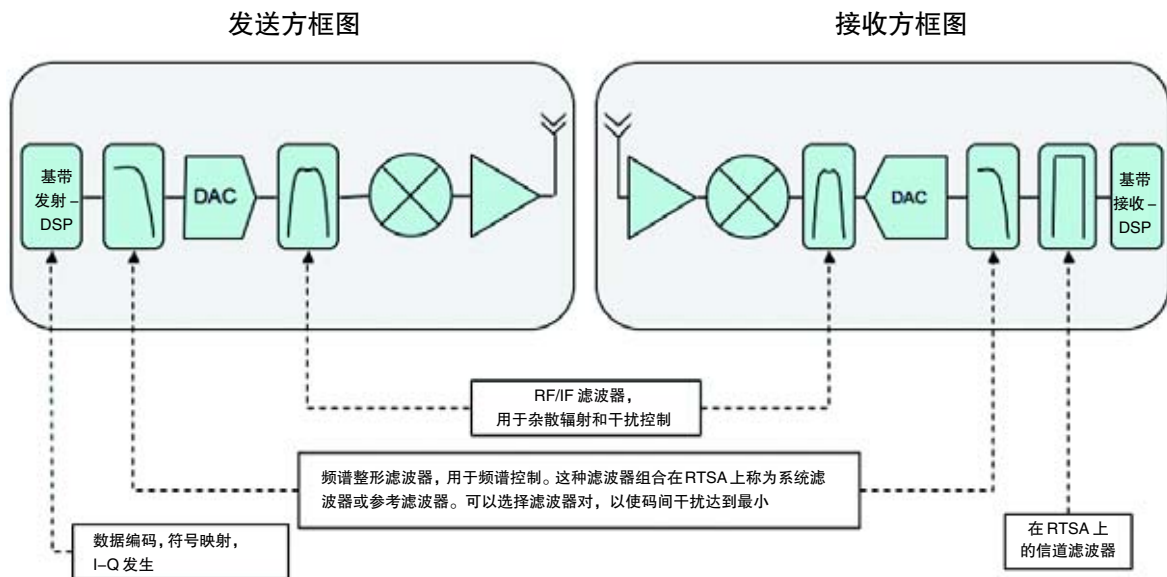
# 使用实时频谱分析仪调试和检定宽带 RF 系统



## 引言

无线设备的迅猛增长及人们对更高数据速率的无限需求给射频(RF)频谱带来了重大的压力。随着对 RF 器件和系统的带宽要求不断提高,可利用的频谱已经成为一个严峻的挑战。系统设计和操作人员必须尽可能高效地利用每赫兹的 RF 频谱,同时还必须特别注意,避免干扰比以前距离更近、更流行的信号。当然,所有这些都必须尽快、以最低的资本开支实现,这给工程设计带来了典型的两难困境。

这些相互矛盾的要求正推动着射频 RF 通信领域进行重大创新。数字信号处理的最新发展与模数转换(ADC)和数模转换(DAC)技术进步相结合,产生了新一代的网络和系统。现在,可以使用数字控制环路控制 RF 频谱失真,其频谱性能和效率与模拟技术相比要高得多。在技术允许的情况下,沿着 RF 链向上推进数字电路,实现了成本优势,提高了制造效率。昨天的窄带、单载波、三重转换系统正被数字信号处理(DSP)和 DAC 实现的宽带多载波发射机所代替,这些技术为 RF 放大器生成直接 IF、甚至生成直接 RF 输出。现在,波形已经以数字方式进行预失真,以实现最大效率和严格的频谱控制。



■ 图 1. 在测量矢量信号参数时，RTSA 必须在 Tx/Rx 对中作为接收机使用。

尽管其优点有目共睹，但这些新型 RF 系统和技术也给调试和检验系统的设计工程师和系统操作人员带来了新的挑战。调试 RF 设计现在要求能够从 DSP 生成的基带到宽带数字调制 RF 输出跟踪信号。这些数字生成的 RF 信号产生了新的瞬变问题，而前几代 RF 测试设备是不能发现、触发和测量这些瞬变问题的。此外，优化宽带系统、特别是在发送链中使用数字预失真(DPD)的系统，要求创建预失真的波形。这就要求信号分析仪不仅能够以矢量方式捕获发送带宽，还要实现高保真度捕获，其是发送带宽的 3-5 倍。

本应用指南考察了现代 RF 系统的特点，演示了怎样使用泰克 RSA6100A 系列实时频谱分析仪(RTSAs)调试和检定这些系统。我们将介绍发射机的基本矢量和频谱测量、调试高带宽系统及检定宽带 DPD 系统。

### 检定数字调制信号：常用测量和测量相关 矢量测量

在使用 RTSA 测量被调制信号的矢量参数时，测试设备作为发送/接收(Tx/Rx)对中的接收机操作。图 1 说明了通用 Tx/Rx 链的组成部分及 RTSA 代替 Rx 功能所发挥的作用。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南

接收链从调节到接收频率的低噪声 RF 放大器开始。对许多实验室测量来说，RTSA 中并不需要放大器，因为发射机直接连接到测试仪器上，信号并不通过空中传输。在空中测量中，RSA6100A 系列提供了一个内置前置放大器，为直到 3 GHz 的小信号提供 30 dB 的增益。在图 1 中，接收机的混频器和 ADC 被代以 RTSA 的混频器链和 ADC。尽管 RTSA 包含一个用于杂散辐射和干扰信号控制的中频 (IF) 滤波器，但其带宽就是仪器的捕获带宽，可能包含测量中不想要的信号。

“系统滤波器”或“参考滤波器”是 Tx/Rx 链中的频谱整形滤波器组合(参见表 1)。它代表着整个链条的理想频谱形状，但它可以在发射机和接收机之间分开。例如，升余弦系统滤波器可以分成在发射机和接收机中都使用根升余弦(RRC)。这使得发射机能够实现希望的频谱形状，同时为接收机提供某种抑制杂散辐射信号的手段。通过使用奈奎斯特滤波器，如一对根升余弦 ( RRC ) 滤波器，在系统中就不会产生码间干扰(ISI)。

系统 (参考滤波器)	发送滤波器	接收滤波器 (测量)
升余弦	升余弦	无
(3GPP), 升余弦	升余弦根	升余弦根
(3GPP2), IS-95 定义	IS-95 发送滤波器	IS-95 接收滤波器(同等)
(GSM), 高斯	高斯	无

■ 表 1. 常用的系统滤波器及其组成部分。RTSA 的参考滤波器与 Tx-Rx 对的系统滤波器类似，RTSA 的测量滤波器设置成等于系统的 Rx 滤波器。

对数字调制信号进行矢量测量要求传输完全相同的数据流，也就是说，必须把进入信号与相同调制类型的理想信号进行比较。为此，信号分析仪必需知道、并能够复现信号的调制参数，包括：

- 频率
- 符号速率
- 调制类型
- 发送 / 接收滤波器
- 发送的符号值

测量指标	定义
频率误差	信号测得的载波频率与用户设置的分析仪中心频率之间的频率差
矢量幅度误差(EVM)	测得的信号与分析长度上理想的参考信号之间的误差矢量归一化的RMS值。EVM通常在符号或码片上测得，可以用百分比或dB为单位表示。EVM通常在频率误差最佳拟合估算后测得，其中已经去掉了固定的相位偏置。其在分析长度上进行这些估算
幅度误差	测得信号与参考信号幅度之间的 RMS 幅度差
相位误差	测得的信号与理想的参考信号之间的 RMS 相位差
原点偏置	在符号时间上测得的信号的 DC 偏置的幅度。它表明了载波馈通信号的幅度
增益失衡	信号生成路径中 I 通道和 Q 通道之间的增益差。增益失衡的星座图会显示宽度与高度不同的图形
正交误差	I 通道和 Q 通道之间的正交误差。这一误差显示了 I 通道 Q 通道之间偏离完美 I/Q 调制预计理想 90 度的相位差。具有正交误差的星座图会显示 I 部分泄漏到 Q 中，反之亦然
Rho ( $\rho$ )	测得信号与理想参考信号归一化后的相关功率。与 EVM 一样，Rho 是衡量调制质量的指标。在实践中，Rho 的值小于 1；在理想接收机中的理想信号测得值等于 1

■ 表 2. 矢量测量指标定义摘要

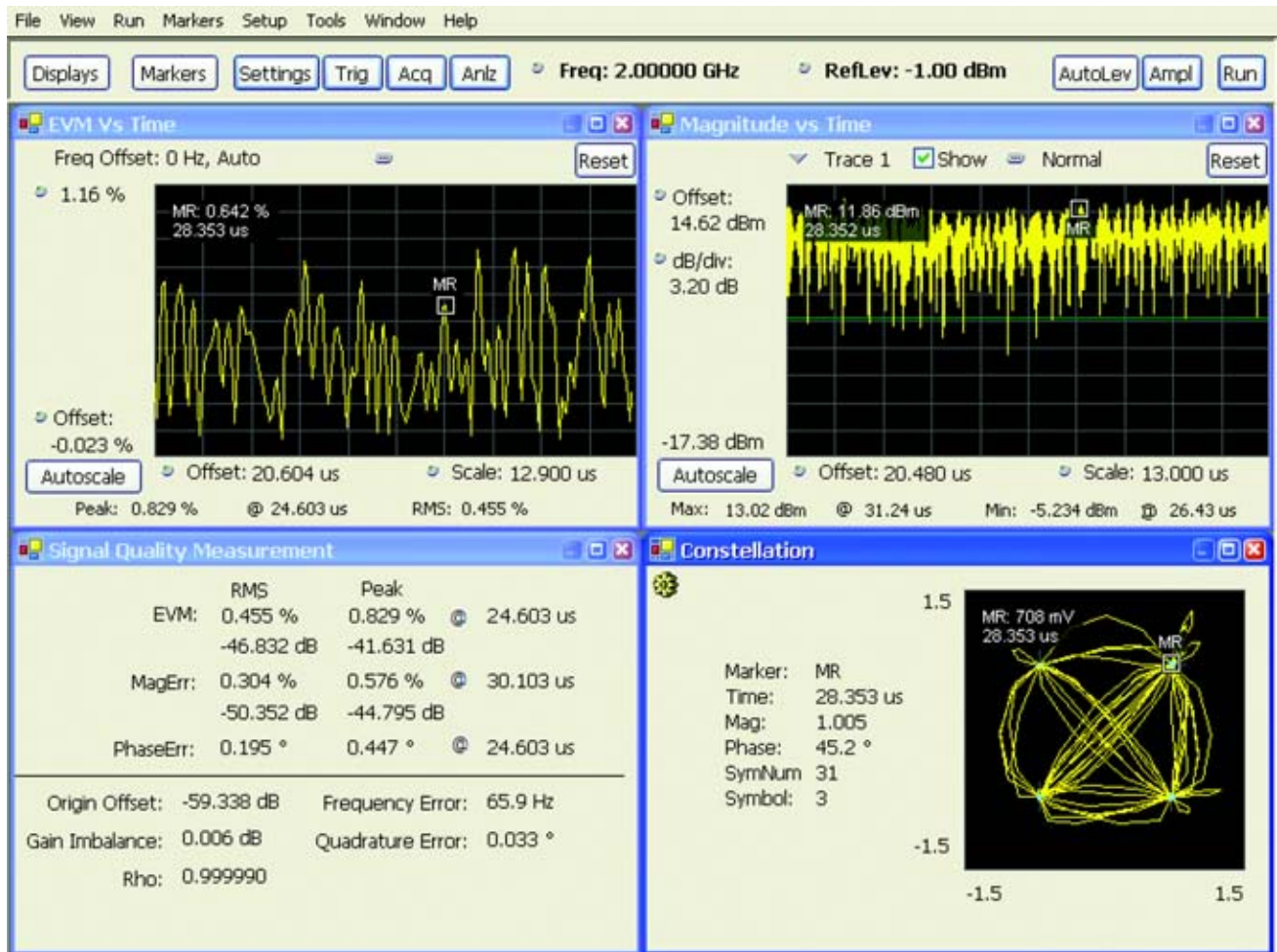
## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南

信号分析仪必须构建理想信号或参考信号,以便把测量的信号与其比较,确定误差。可以使用两种方法创建参考信号。第一种方法是测量仪器在捕获和解调信号前已知发送的数据,其优点是对任何重建数据都不依赖信号,但在发送的数据未知时不能使用这种方法。由于在解调前很难知道发送的数据,因此大多数分析仪使用第二种方法,从要分析的信号中提取发送的数据,然后根据解调的数据符号创建参考信号。第二种方法的优点是

只要知道基本调制参考,那么就可以评估具有随机数据或未知数据的信号;然而,如果进入的信号包含极高的失真,构建参考信号中恢复和使用的数据符号会损坏,导致符号表误差及低估矢量误差。

一旦已经解调信号,并构建了参考信号,就可以执行矢量测量。表 2 和图 2 分别定义和显示了这些测量指标。



■ 图2. RSA6100A系列进行的矢量测量实例,包括EVM,幅度误差,相位误差,原点偏置,增益失衡和rho。其它面板显示了幅度随时间变化、EVM随时间变化及相同时间周期的星座图。



### 峰值均值比和互补累积分布函数

现代发射机使用完善的技术,限制放大器信号的峰值均值比(PAR),以优化输出失真和放大器效率。但是,使用的测量方法对测量结果有着明显影响。

PAR是在规定时间内信号的峰值功率与平均功率之比。互补累积分布函数(CCDF)是一个统计特性值,它在图形的X轴上绘制功率电平,在Y轴上绘制概率。CCDF曲线上的每个点都显示信号在一定功率电平或在一定功率电平之上的时间所占的百分比。功率电平用相对于平均信号功率电平的dB表示(参见图3)。

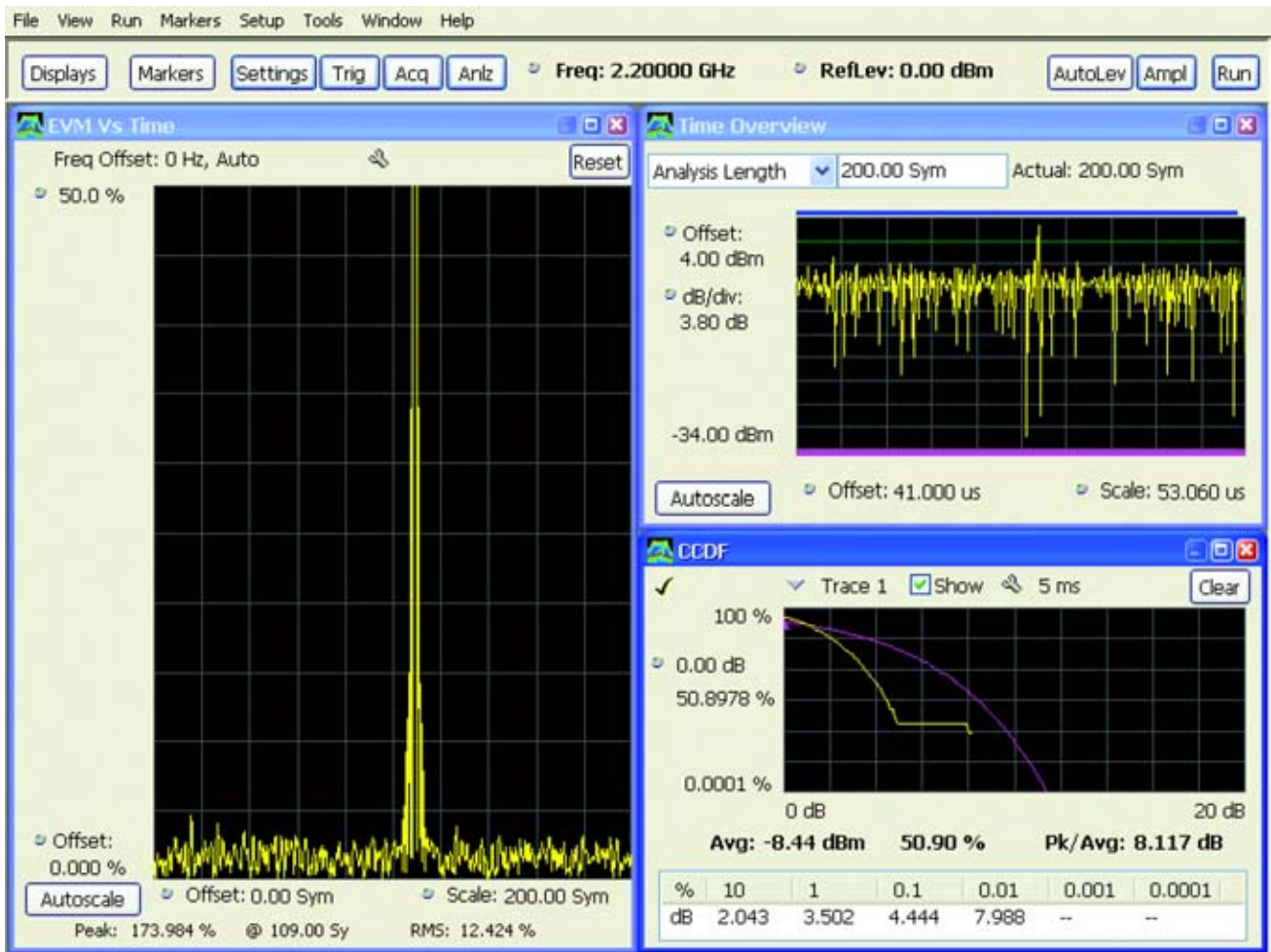
RSA6100A系列和某些其它信号分析仪中采用的技术是在一段时间中执行PAR和CCDF测量。这种方法的优点是它提供了与其它测量相关的结果,最适合确定信号PAR对被测器件(DUT)的其它信号质量的影响。

上述方法不同于大多数传统频谱分析仪采用的方法,传统频谱分析仪通过在零跨度中对波形取样来进行测量。测量数据在取样前通过传统频谱分析仪的中频滤波器分辨率带宽。当取样时间足够长时,能够获得所有波形峰均值,这种方法在统计上是有效的。它还有一个优点,是能够在无限大的时间周期内监测信号。由于频谱分析仪在进行CCDF测量时必须处于零跨度,因此这些仪器进行的CCDF测量与用户可能希望的任何其它测量无关。

RTSA同时提供了上面两种分析方法。图3是相关方法,其中执行了CCDF测量,显示了一个“外露的”幅度瞬变。从时间对幅度及EVM对时间图中都可以看到,这个信号在每10,000个符号中出现一次这个峰值,并以0.01%概率与CCDF图中的异常峰值相关。这个瞬变代表着数字系统计算溢出导致的幅度峰值类型。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南



■ 图 3. 从幅度对时间、EVM 对时间和 CCDF 图中可以看，幅度峰值以 0.01% 概率发生。CCDF 图上的洋红色轨迹(右下方)是一条高斯参考曲线，黄色 CCDF 是从捕获的波形中测得的。

### 邻道功率比和邻道泄漏比

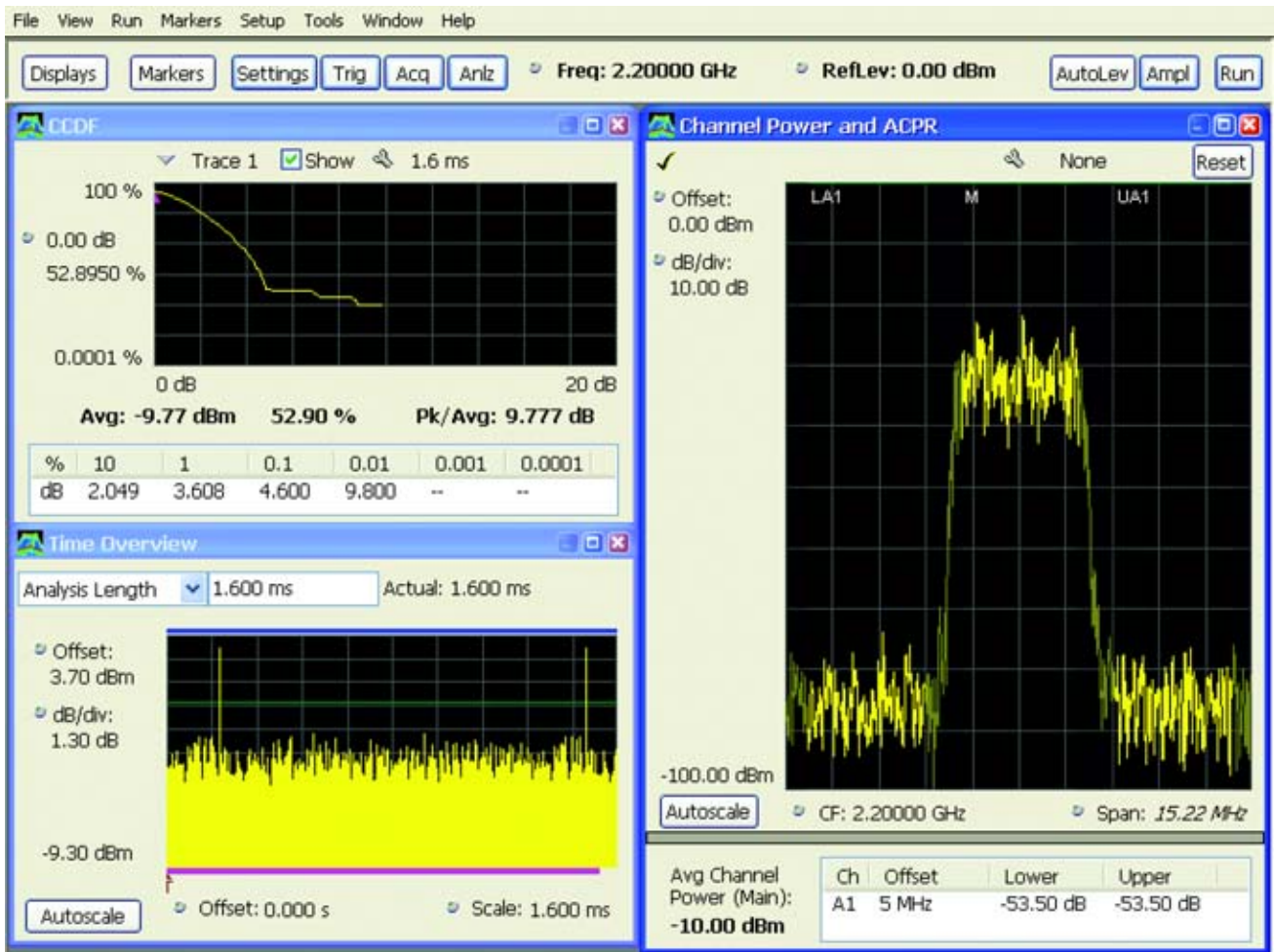
邻道功率比(ACPR)和邻道泄漏比(ACLR)一般可以互换使用,它们之间的差异很小。ACPR用来描述与发送通道相邻的通道中的功率电平,而不考虑相关通信系统中可能使用的任何接收滤波器。ACLR是一个比较新的术语,它考虑了相关系统中使用的接收机滤波器。ACPR一般用于3GPP2系统中,其在通道带宽和邻道带宽上对功率同等积分。在3GPP系统中,使用 $\alpha=0.22$ 的RRC接收滤波器,计算通道功率和邻道功率。在本应用指南中,我们将使用ACLR的一般惯例,因为接收滤波器形状可能是矩形,产生了传统的ACPR值。

### 实时 ACLR

RSA6100A系列ACLR测量方法不同于扫描技术。最大捕获带宽是110 MHz,在连续时间内对所有信道进行计算。在信号数字化后,以数学方式执行分辨率带宽、通道带宽和接收机滤波。RTSA中的ACLR测量与其它域中的测量没有差别,它只是在捕获的信号上进行另一次数学计算。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南

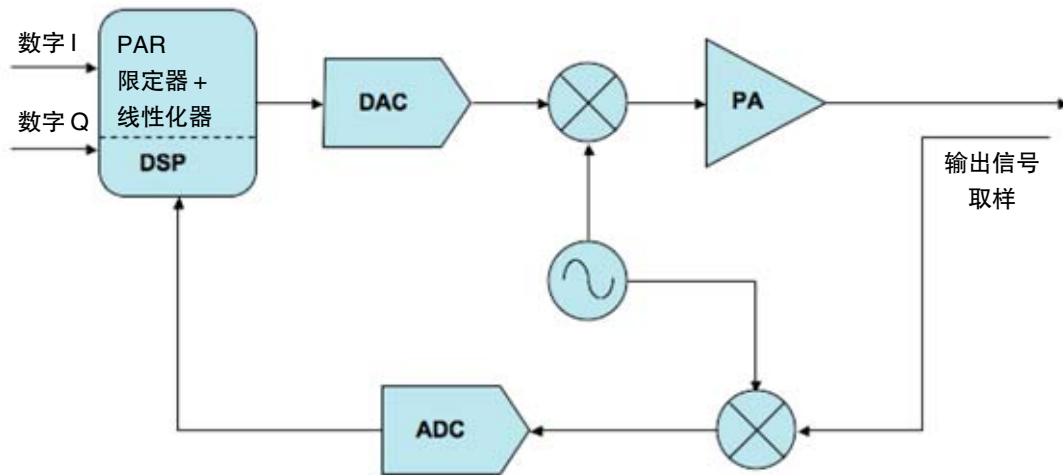


■ 图 4. CCDF、ACLR 和时域相关。

### ACLR 测量及与其它域相关

RTSA 的 ACLR 测量与其它域和测量相关，从而可以直接比较 ACLR 与其它指标，如 CCDF 或峰值均值比。执行这些测量的传统技术要求在分开单独采集或多次采集数据，因此比较结果的准确性较差。

图4是使用RTSA进行多域分析的实例。它使用与ACLR测量相同的数据计算信号的CCDF和PAR，其在时间域中显示了分析周期。在本例中，时域中看到的幅度尖峰生成了CCDF图中的低概率、高PAR，导致了ACLR测量中看到的小频域瞬变。



■ 图 5. 具有数字预失真的代表性发射机。

## 数字预失真检定

### 现代发射机方框图

不管是高功率卫星地面站、还是多载波蜂窝基站、甚至是低功率移动系统，现代发射机都采用各种预失真技术，降低通道外干扰，优化运行效率。降低失真最流行的方法是适应性数字预失真。这种方法使用发射机输出取样，计算误差矢量，生成校正系数，然后使用校正系数使进入信号预失真。为降低模拟电路失真，链条中的信号要在尽可能长的时间内保持数字格式。

图5显示了从输出耦合、下变频及数字化的小信号。然后使用这个数字化的样点，馈送到数字信号处理电路中，数字信号处理电路分析信号中存在的非线性度。然后使用这些非线性系数，改变进入发送链的同相(I)和正交(Q)信号。从发送链中可以看出，这个信号现在已经预失真、并应用了PAR缩减，在由DAC转回到模拟信号后馈送到放大器。得到的输出信号降低了频谱失真，其ACLR低于没有采用预失真技术的信号。

## 应用案例集—综合应用

### 应用指南

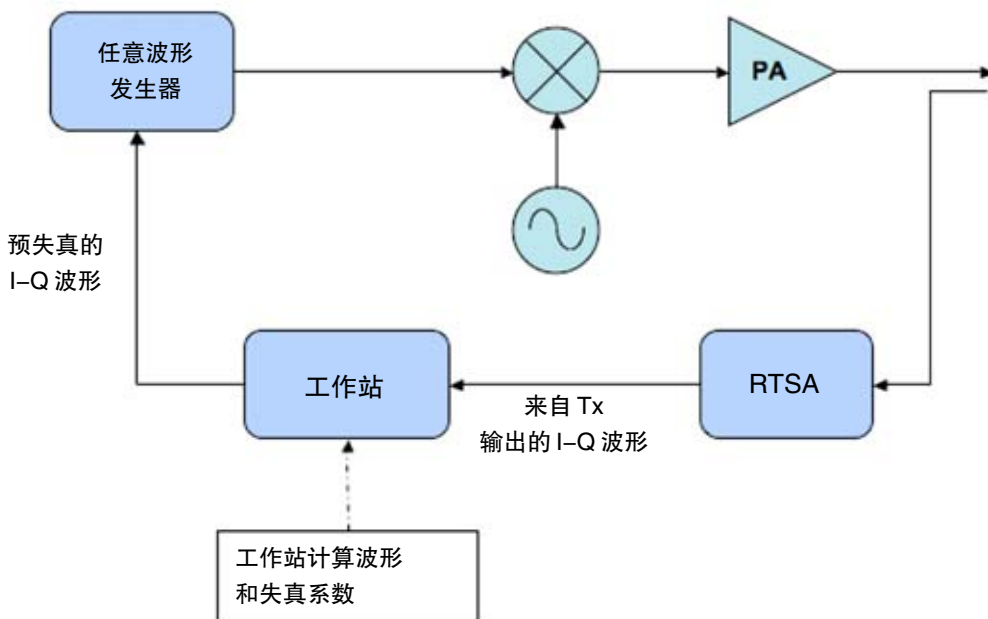


图 6. 数字预失真开发系统。

### 调试和检定挑战

上述场景产生了传统模拟系统中没有见过的各种调试挑战。ADC 和 DAC、或发送路径中模拟转换之前在信号上执行的 DSP，可能会给发送链引入数字假信号。这些假信号往往具有瞬变特点，使用传统频谱分析仪很难或不可能捕获这些假信号。它们可能很少发生，可能会在邻道和间隔通道中引起频域响应。有效调试瞬时频域信号不仅要求发现问题，还要求能够触发问题进行分析。

检定这些系统也带来了新的挑战。在开发阶段，可以在信号发射之前，测试和优化各种预失真和降低 PAR 的方法。

通常必须使用测试设备，捕获反馈路径中的信号，在提供完成的硬件(ASIC 或 FPGA)之前在脱机软件中计算新的非线性失真系数。然后对初始 I 和 Q 信号应用这些系数，把结果输入到任意波形发生器(AWG)中，测试其性能。

图 6 显示了这类开发系统的常用配置。AWG 代替了 I 和 Q 信号和 DAC，校正环路下变频器和 ADC 被代以 RTSA。然后，来自 RTSA 的 I 和 Q 矢量被发送到脱机处理器中，在脱机处理器中则应用预失真和 PAR 降低技术。

系统类型	单载波	载波数量, 通道带宽间隔	多载波 发送带宽	三阶 DPO 检定带宽	五阶 DPO 检定带宽
3GPP2 cdma2000	1.2288 MHz	12, 1.25 MHz	15 MHz	45	75 MHz
3GPP W-CDMA	3.84 MHz	4, 5 MHz	20 MHz	60 MHz	100 MHz
宽带卫星	85 MHz	1, 不适用	85 MHz	255 MHz	420 MHz
建议的 4G 系统	98–105 MHz	1, 不适用	高达 105 MHz	305 MHz	高达 525 MHz

■ 表 3. 宽带系统类型和特点

采用的AWG必须拥有充足的分辨率、带宽和内存深度，代替发送链中使用的数字系统。泰克生产各种AWG，满足了一系列要求。

采用的RTSA必须为应用提供充足的频率范围、捕获带宽、捕获保真度和内存深度。捕获带宽必须能够数字化至少三倍的发送带宽，保证捕获三阶失真产物。许多系统现在使用五阶失真产物计算预失真系数，在这种情况下，RTSA的捕获带宽必须足以采集这些产物。表3列出了部分系统的带宽要求。

在捕获失真产物时，测试仪器在幅度和相位的信号保真度都至关重要。对所有泰克实时频谱分析仪，可以在各自的产品资料中找到其幅度-相位线性度和失真特点，以便与您的要求进行比较。

在开发过程中捕获的信号可能包含非常长的一串专用数据，以期通过创建最坏情况操作场景，测试放大器极限。这些序列可以长1秒或1秒以上，具体视设计要求而定。在110 MHz的最大捕获带宽时，RSA6100A系列能够捕获最长1.7秒的I和Q数据。在降低捕获带宽时，可以实现更长的捕获时间。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南

捕获长记录长度允许用户考察设备对实际环境信号的响应性能。能够捕获许多数据包非常有用，特别是在其与 PAR 变化相关时，包括变化的调制类型、激活信道数量及变化的功率电平。

一旦捕获了数据，必须把数据从 RTSA 传送到分析和校正使用的计算机上。RSA6100A 系列采用 1 Gb/s 以太网连接传送数据，可以通过以太网连接直接发送 GPIB 命令。用户也可以把数据存储在 RSA6100A 系列的内置 DVD ± RW 中，进行存档和“人工后备网”数据传送。可以使用逗号分隔的变量(CSV)格式导出数据，简便地导入到脱机分析软件包中，如 Matlab™ 和 Excel™。

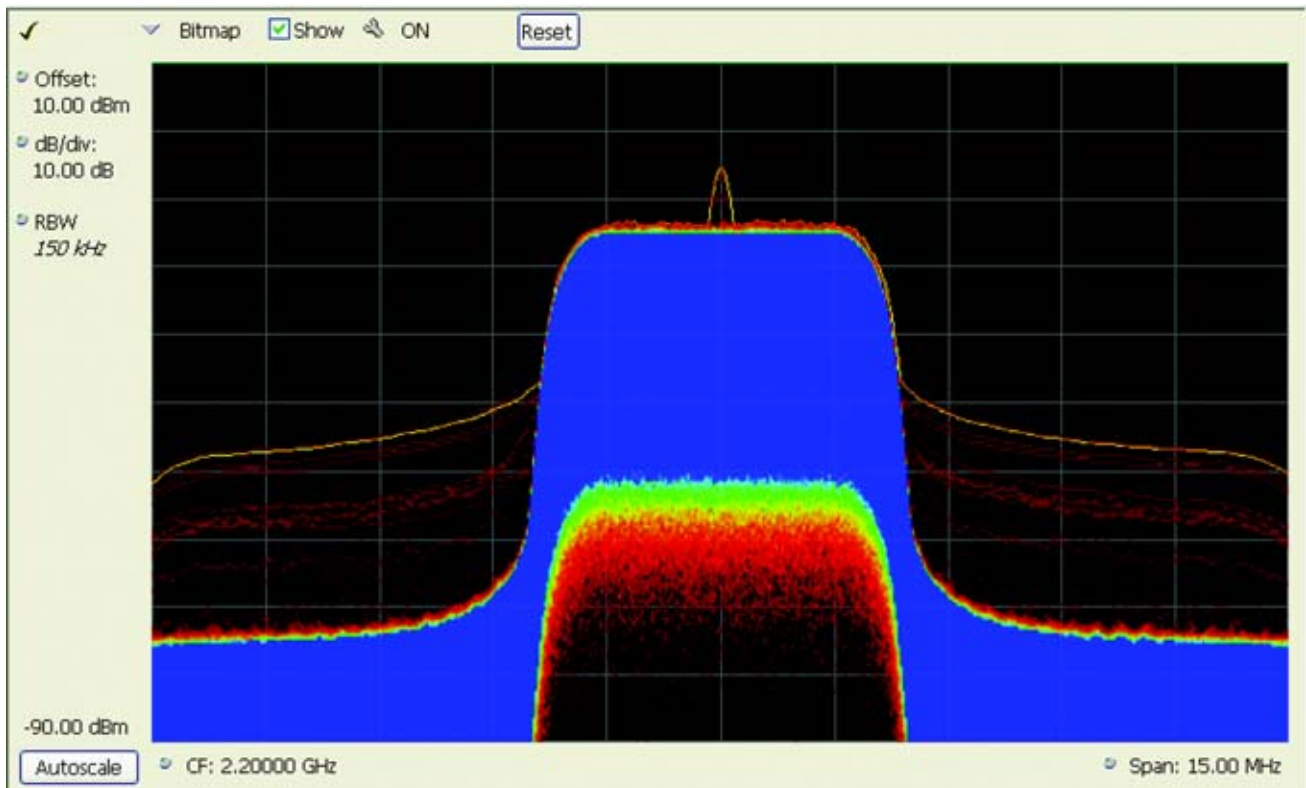
### 调试

找到问题的过程由三个步骤组成：

1. 发现问题
2. 触发和捕获错误信号
3. 跟踪问题，找到问题来源

其中一个实例是在时域中有一个瞬变信号(使用AWG模拟)导致发射频谱扩展，这可能是由于任意数字电路模块中的问题引起的，可能是反馈数字化器、DSP 代码、上变频电路中的 ADC，或是 RF 电路中看到的信号延迟和加热效应。这些瞬变发生频次低，并且似乎与系统中的任何时钟异步。





■ 图 7. 3.84 MSymbols/s、每秒重复发生问题两次的 QPSK 信号的 DPX™ 频谱图。这些数据是在 5 秒周期中采集的。

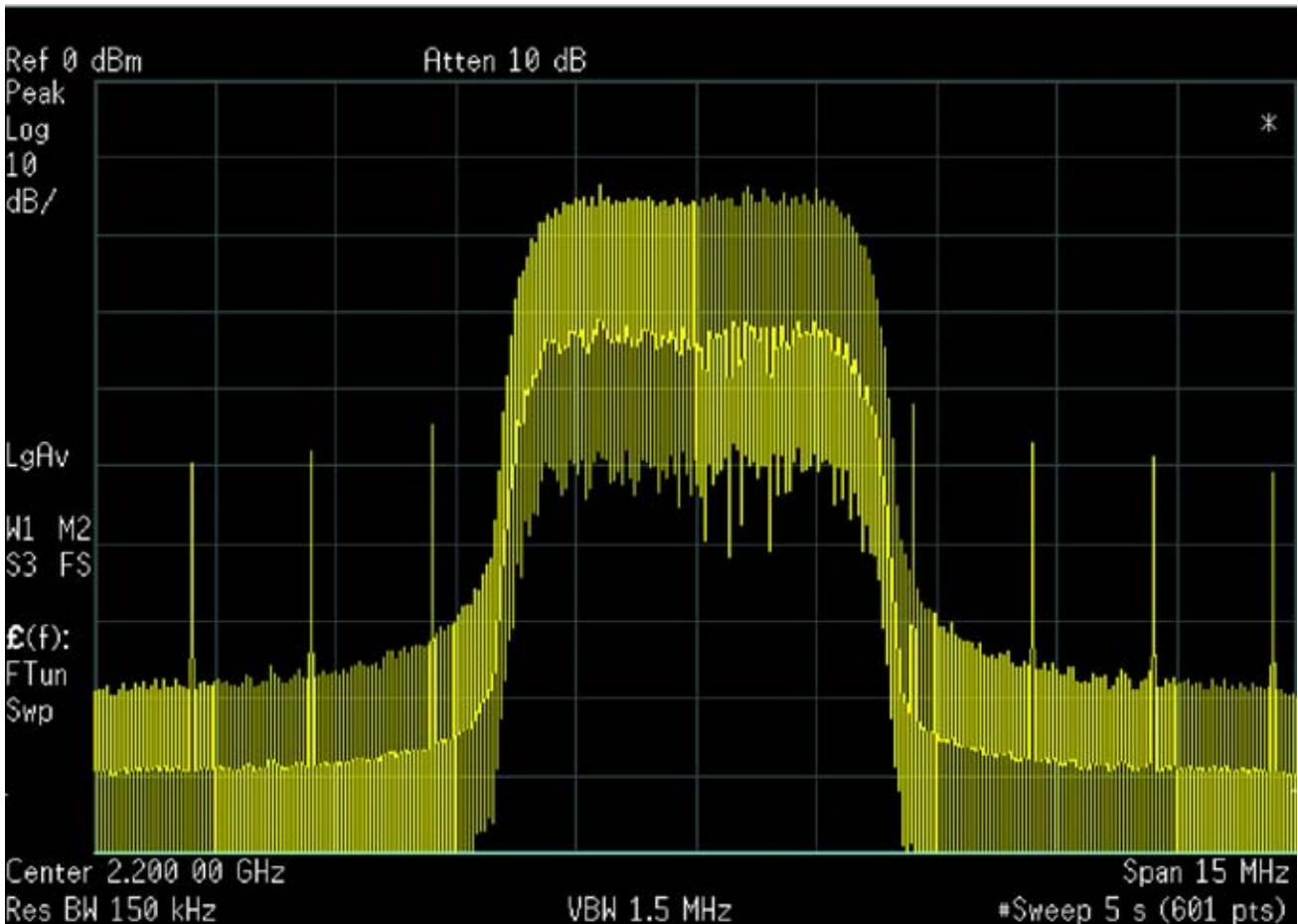
## 发现

发现问题可能是一个棘手的挑战。RSA6100A 系列拥有 DPX™ 频谱处理技术，特别适合完成这一任务。这个频域窗口可以以 100% 的捕获概率，分析最短 24 us 的任何信号时长，保证在屏幕上分析瞬变信号。依赖扫描技

术的传统频谱分析仪要求的最低信号时长要比 DPX 频谱处理技术高 1000 倍，要么不可能识别问题，要么会耗费非常长的时间。

## 应用案例集—综合应用

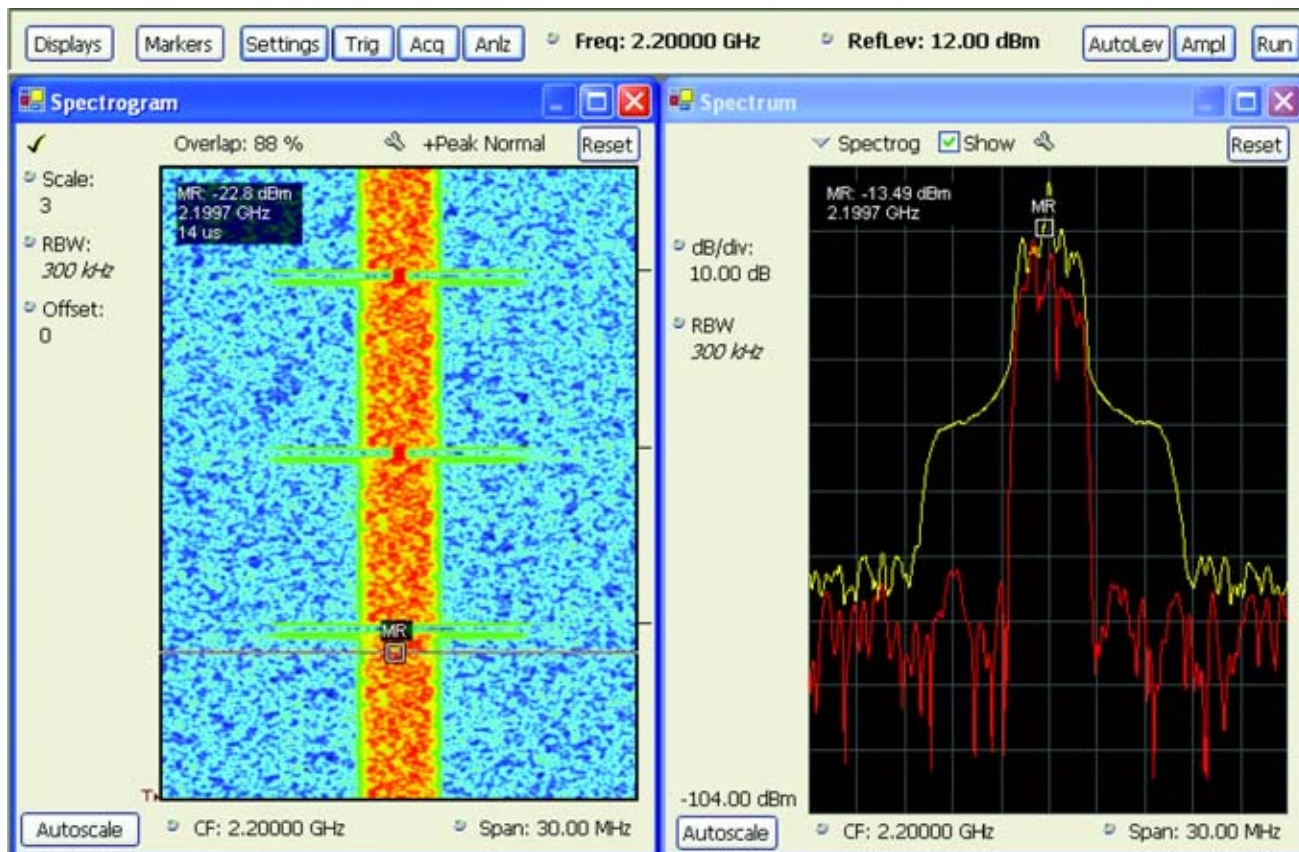
### ■ 应用指南



■ 图 8. 扫频分析仪，在分析 5 秒的信号之后，捕获概率最优设置下的图形。

图 7 和图 8 说明了 DPX 频谱处理和传统扫频分析之间的差别。这里，在输出波形中出现了时长为 30 us 的问题，每秒发生两次。在 DPX™ 显示屏上，可以很容易识别这个问题，在 5 秒的时长上，每次发生问题时都显示在屏幕上。相比之下，扫频分析仪(图 8)的扫描速度最

快，捕获概率最优设置下的图形。我们使用 Max-hold 在屏幕上显示信号，允许仪器扫描 5 秒钟的时间。很难确定信号是边带还是单个瞬变。使用 DPX™ 频谱画面(图 7)则可以查看每个信号瞬间。



■ 图9. 频率模板触发捕获每个出现的有问题信号。左边面板中的频谱图显示了三次触发的捕获。在右边面板中，显示了整个事件的峰值检测频谱。红色的频谱是捕获正常调制部分过程中的频谱能量。黄色频谱是一个完整的捕获中的峰值检测结果，包括了导致频谱扩散的瞬变干扰信号

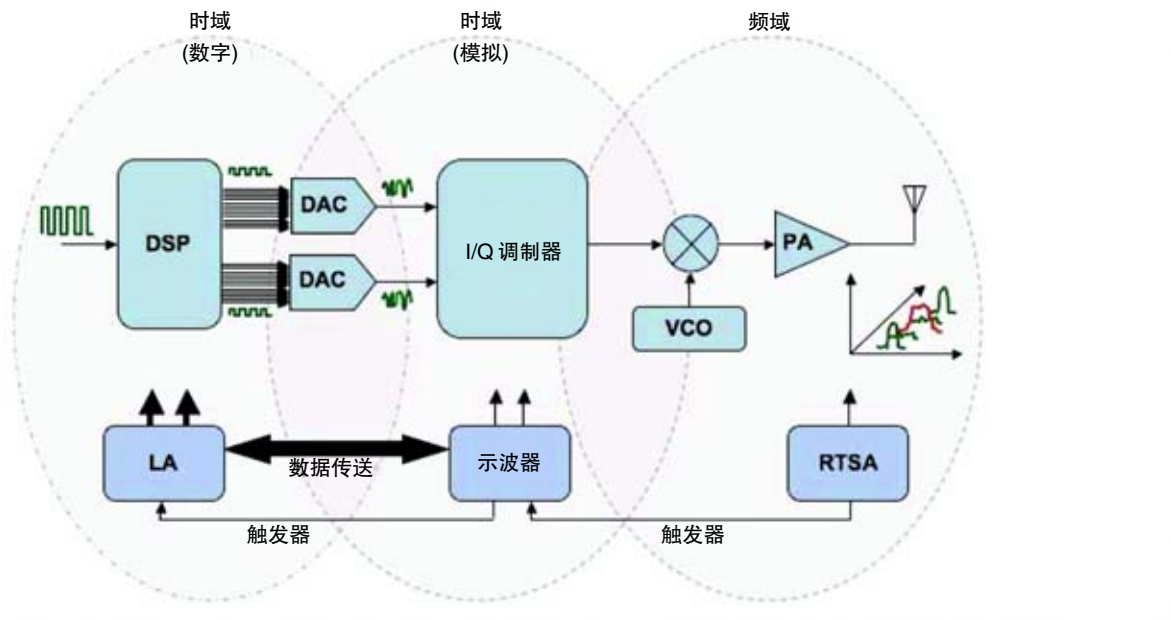
### 触发和捕获

一旦已经识别问题、了解其特点，用户可以设置频率模板触发(FMT)，捕获信号，全面进行分析。通过查看DPX™显示屏，确定想要的信号所在的位置，并画一个模板，触发在这个区域外面的任何信号，可以简便地实现这一点。现在使用频率模板触发捕获图7中看到的信号实例，如图9所示。

在设置FMT时，用户可以选择捕获数据的时长及触发时刻点。用户还可以定义触发数量。在本例中，FMT设置成触发五次，在每次发生时捕获1 ms的数据，它把触时刻点放在每个采集的波形开头附近。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南



■ 图 10. 信号路径中使用示波器、逻辑分析仪和 RTSA 查找问题。

### 跟踪问题

现在我们已经确定问题发生在 RF 输出上，这时可以在电路的基带和 IF 部分使用逻辑分析仪和示波器，跟踪问题，直到问题来源。可以使用 FMT 的触发输出，触发

任何其它测试设备，帮助定位问题。其它泰克应用指南中更加全面地解释了这些混合信号调试技术。

#### 小结

由于其宽捕获带宽、长内存和固有的相关测量功能，RTSA 为分析和调试宽带 RF 通信系统提供了理想的工具。可以在高达 110 MHz 的带宽上，以很高的动态范围和低残余 EVM 进行频谱和矢量测量。所有测量域都是相关的，大大改善了调试能力。新型信号处理结构 DPX™ 可以在频域中立即分析最短 24 us 的瞬变，改善了发现瞬时频谱现象的能力。可以使用频率模板触发，可靠地触发频率瞬变，降低调试时间。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南

# 泰克实时频谱分析仪基带测量

泰克实时频谱分析仪(RTSA)在直到DC的频率上提供了很低的本底噪声。这是因为其在低于一定频率时直接对信号进行A/D取样,消除了下变频LO(局部频率振荡器)馈通导致的零频率杂散信号及DC附近的噪声。DC上的小信号仍然存在(由于DC输入偏置和I/Q中心偏置),通过使用内部校准功能,可以降低这个残余信号。在没有

下变频时,可以测量的频率范围是RTSA的基带范围。这一范围从DC一直扩展到前面板RF(N)输入连接器使用的最大基带频率。在使用选项03提供的后面板(BNC)模拟基带差分I/Q输入时,最大I/Q跨度将与基带跨度相同,但这一跨度将以零频率为中心。RSA2200A系列要求选项05进行基带采集,不支持选项03 I/Q输入。

型号	最大 RF 跨度	RF 频率范围 (N 正面输入)	基带频率范围 (N 正面输入)	I/Q 频率范围 (BNC 差分背面输入)
<b>RSA3408A</b>	36 MHz	40 MHz – 8 GHz	DC – 40 MHz	(选项 03) –20 MHz 到 +20 MHz
<b>RSA3308A</b>	15 MHz	20 MHz – 8 GHz	DC – 20 MHz	(选项 03) –10 MHz 到 +10 MHz
<b>RSA3303A</b>	15 MHz	20MHz – 3 GHz	DC – 20 MHz	(选项 03) –10 MHz 到 +10MHz

下面几页介绍了使用最低可设置频谱分析仪模式 RBW (高斯滤波器)和最小可设置参考电平的典型 RSA3408A 基带和 I/Q 屏幕图。在这些设置上(其生成了低本底噪声),在输入端接阻抗是 50 欧姆时,可以看到少量杂散信号。这可能是由于内部生成的输入放大器电流噪声及非常低的放大器电压噪声导致的。穿过输入电路的低频 AC 磁场可以产生这些影响。另外要注意,内部校准菜单可以自动降低中心杂散信号和 DC 输入杂散信号,但由于相对于温度的偏置漂移、非常低的频率残余 FM 和其它效应,永远不能完全减少这些信号。

如果激活了 FFT RBW,那么可以在频谱分析仪模式下设置小得多的 RBW 值。在实时频谱分析仪模式下,使用脉冲频谱分析功能(在模拟解调模式下)可以生成高达 256K 点的 FFT 频谱,这也可以明显降低有效的 RBW 或 NBW。

每个捕获屏幕中激活一个标尺。标尺值(在屏幕左上方显示)显示了标尺频率、标尺功率(在指明 RBW 中的单位是 dBm)、噪声频谱密度(单位是 dBm/Hz)。注意, RBW (仪器分辨率带宽)在三个跨度中是不同的,因此在没有额外校正的情况下,只能直接比较频谱功率密度(dBm/Hz)。基带 DC– 2kHz 标尺发生在窄带杂散信号上,这把标尺值提高到周围本底噪声以上约 4 dB。

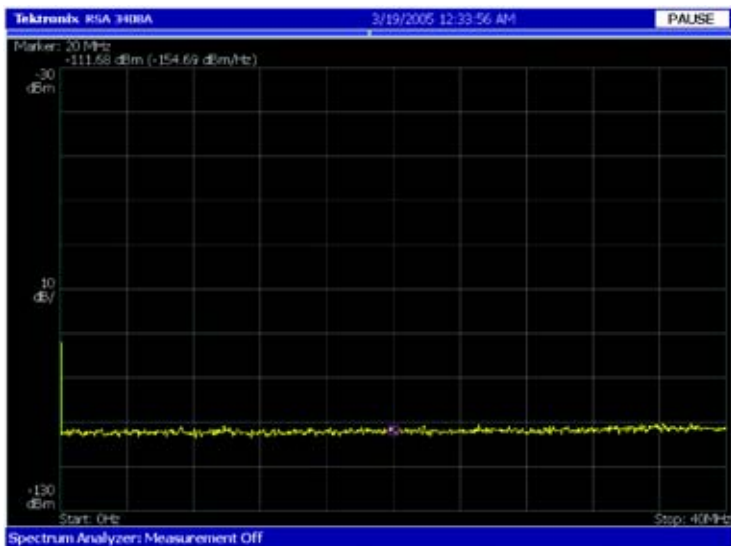
这些屏幕图显示了 RSA3408A 典型的输入基带本底噪声拥有下述特点:

- 基带(前面板)本底噪声从 40 MHz 最大频率直到大约 2 kHz 基本上是平坦的。在 50 Hz 时,低频率 1/f 噪声只提高了大约 10 dB。

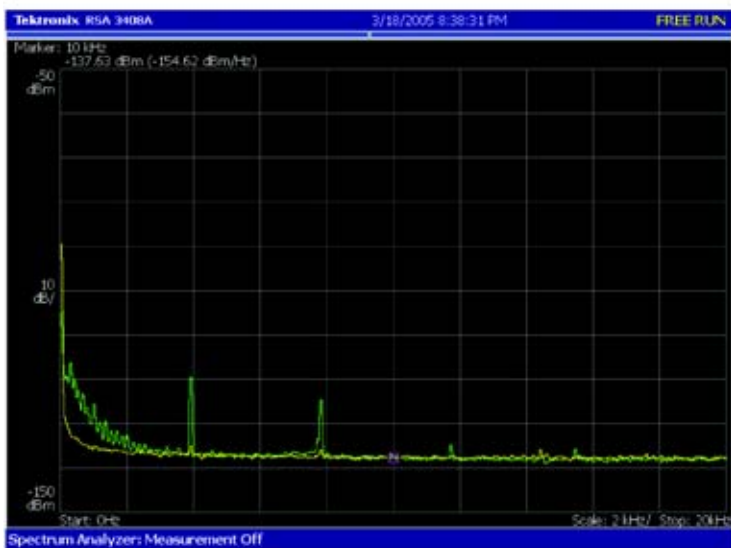
- I/Q 输入(后面板)本底噪声从  $\pm 20$  MHz 最大频率直到大约  $\pm 5$  kHz 基本上平坦的。在  $\pm 600$  Hz 时, 本底噪声提高了大约 10 dB, 在  $\pm 50$  Hz 时总共提高了大约 20 dB。
- 在低频时这些低本底噪声值可以比普通扫频分析仪进行

多得多的灵敏测量。与扫频分析仪相比, 采集速度也明显提高。

基带前面板输入: RSA3408A 频谱只有正频率成分。黄色轨迹: 输入连接器开路 • 绿色轨迹: 50 欧姆输入端子



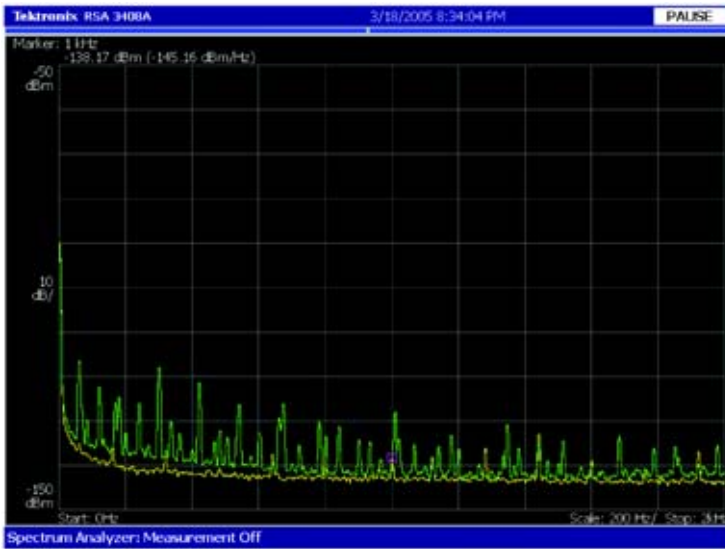
基带 DC – 40 MHz (RBW=20 kHz)



基带 DC – 20 kHz (RBW=50Hz)

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南



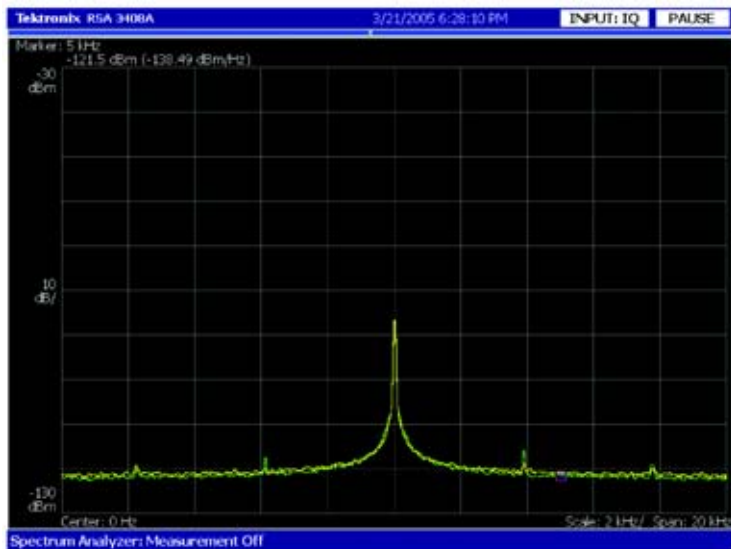
基带 DC – 2 kHz (RBW=5Hz)

I/Q 差分输入：RSA3408A 选项 03 频谱拥有正频率成分和负频率成分。黄色轨迹：差分输入连接器开路 ● 绿色轨迹：所有差分输入上 50 欧姆输入端子

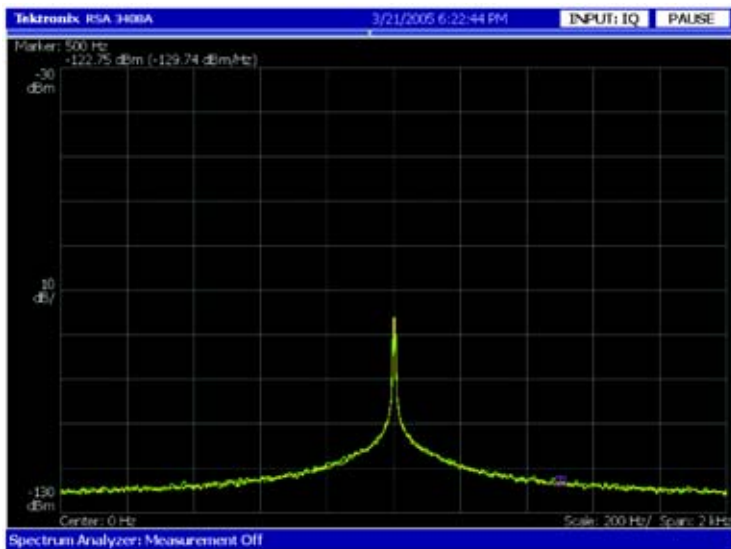


I/Q +/- 20 MHz (RBW=20kHz)





I/Q +/- 10 kHz (RBW=50Hz)



I/Q +/- 1 kHz (RBW=5Hz)

# 本底噪声附近的频谱分析仪测量

下面的图表显示了使用频谱分析仪可以怎样很好地查看本底噪声以上的信号。由于线性关系特点，这些图表有不同的垂直标度和用途。不相关的信号功率以简单的线性方式增加本底噪声，因此不相关的噪声源功率会增加本底噪声，窄带或 CW 信号功能也会增加本底噪声。问题在于如何在对数(dB)测量领域中处理线性信号功率的增加。

下面显示了两类图表，因为“信号”和“本底噪声”是以类似方式增加的两种功率，因此第二种图表类型只是第一个图表的倒数。

– (S+N)/N 相对于 S/N 显示的高于本底噪声的电平：这说明了增加想要的信号功率会给本底噪声带来多大的影响。

– (S+N)/S 相对于 S/N 显示的信号功率误差：这说明了增加本底噪声功率会给想要的信号带来多大的影响。

对每种图表，又给出了两个图表：第一个图表显示了本底噪声以下的信号值，第二个图表显示了本底噪声以上的信号值。

#### 实例：

1. 信号功率比噪声功率低6 dB (在分析仪RBW中测得)。第一个图表“显示的高于本底噪声的电平 – 对本底

噪声以下的信号”说明显示的电平将比本底噪声高 1 dB。第二个图表“显示的信号电平误差 – 对本底噪声以下的信号”说明了显示的信号误差是 7 dB。这通过另一种方式说明，相对于本底噪声，显示的信号将是  $(-6) + (7) = +1$  dB。

2. 信号功率等于噪声功率 (在分析仪 RBW 中测得)，也就是说  $S/N = 0$  dB。所有四个图表说明显示数据将比本

底噪声高 3 dB，这也比实际信号高 3 dB。

3. 信号功率比噪声功率高 10 dB (在分析仪 RBW 中

测得)，得到 S/N 或 10 dB。显示数据将比本底噪声高 10.41

dB (第二个图表)，这也比实际信号电平高 0.41 dB (第四个图表)。这符合下面的经验法则：“在正确结果大约一半dB范围内，希望的信号至少要比本底噪声高 10 dB，才能获得良好的测量结果。”

**信噪比：** S/N (图表中的横轴)是信号功率与背景本底噪声功率之比(在分析仪分辨率带宽中测得)。在使用完美的前置放大器时(系统噪声系数为 0 dB)，本底噪声将是  $-174$  dBm/Hz 乘以用 Hz 表示的分辨率滤波器噪声带宽 (NBW) (在室温下)。

**信号加噪声与噪声比：** (S+N)/N 是显示的电平(S+N)与背景噪声功率之比(在分析仪分辨率带宽滤波器中测得)。因此(S+N)/N说明了显示的电平比平均后的本底噪声高出多少。

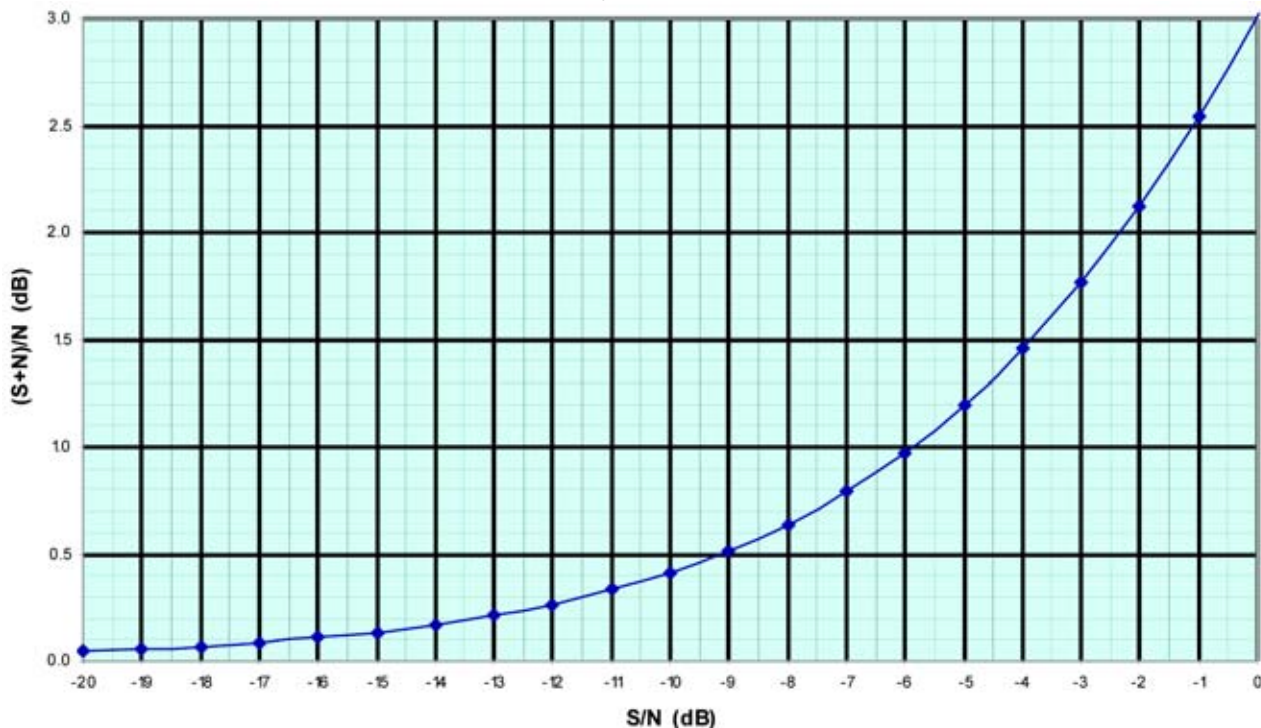
**信号加噪声与信号比：** (S+N)/S 是显示的电平(S+N)与信号功率之比(在分析仪分辨率带宽滤波器测得)。因此(S+N)/S说明了显示的电平比实际信号电平高出多少，并说明了显示中的“误差”。本底噪声的噪声增加一直会使显示画面偏移到比被测实际信号高的电平上。

通过降低分析仪分辨率带宽(RBW)，可以降低噪声带宽(NBW)，改善窄带信号的 S/N。只有在想要的信号带宽低于分析仪RBW时，才有可能实现这种改善。因此降低RBW有助于测量 CW 信号，但不能改善宽带噪声信号测量。如果信号被调制或频率不稳定，那么 RBW 的使用方式会受到限制。

实时频谱分析仪(如泰克 RSA3408A, RSA3300A 系列, WCA200A 系列和 RSA2200A 系列)有两种主要操作模式。在这两种模式下，有几种方式改变分析仪RBW，对窄带信号实现更好的 S/N：

- **传统频谱捕获:** 在这种(默认)模式下, 分析仪跨度可以设置成非常宽或非常窄的值。如果设置的跨度比仪器的实时带宽宽, 分析仪会跳到中心频率, 在一次捕获中采集频率段(对 RSA3408A 是 20 MHz), 然后跳到下一个中心频率(在 RSA3408A 中高 20 MHz), 采集下一个段, 等等。用户可以在某个范围内为每个频率段设置 RBW。也可以把每个频率段中分析的 FFT 点数设置成很小的值(如 64 点)或很大的值(在某些情况下高达 65,536 点)。如果跨度处于实时带宽范围内, FFT 长度很大, 那么频谱中的数据点数可以是几十万点。
- **实时频谱捕获:** 在这种模式下, 分析仪跨度受限于实时带宽。但是分析仪可以在长时间周期内采集数据。在 RSA3408A 分析仪中, 实时跨度可以设置为 100 Hz – 36 MHz, 可以捕获高达 64M I/Q 样点(64K 个频谱, 每个频谱长 1K)。脉冲频谱分析功能(在模拟解调菜单中)允许用户为频谱分析选择一个分析区域(在时域中)。在这种模式下, 最大 FFT 长度是 256K 点, 噪声带宽 (NBW) 降低到默认的 1K FFT 值的 1/256。这将把本底噪声最多降低 24.1 dB, 同时窄带信号不受影响。

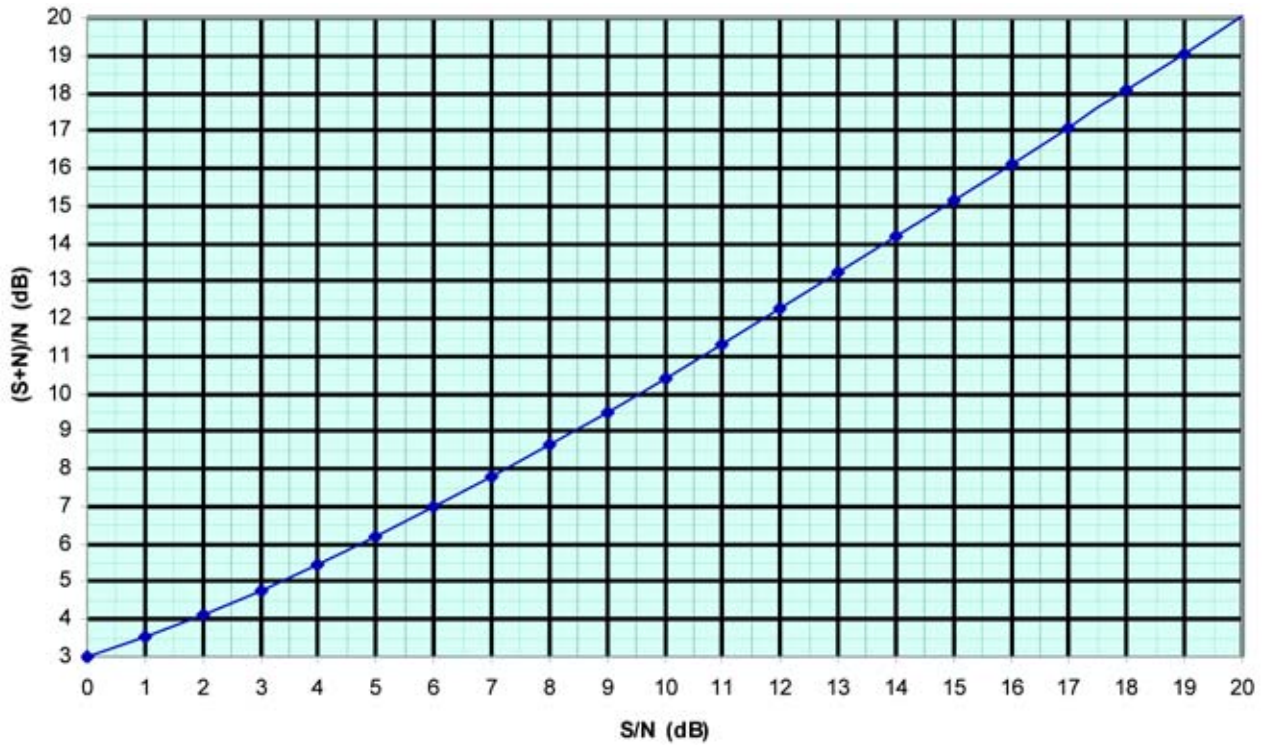
S/N < 0 时的(S+N)/N  
对低于本底噪声的信号  
显示的高于本底噪声的电平



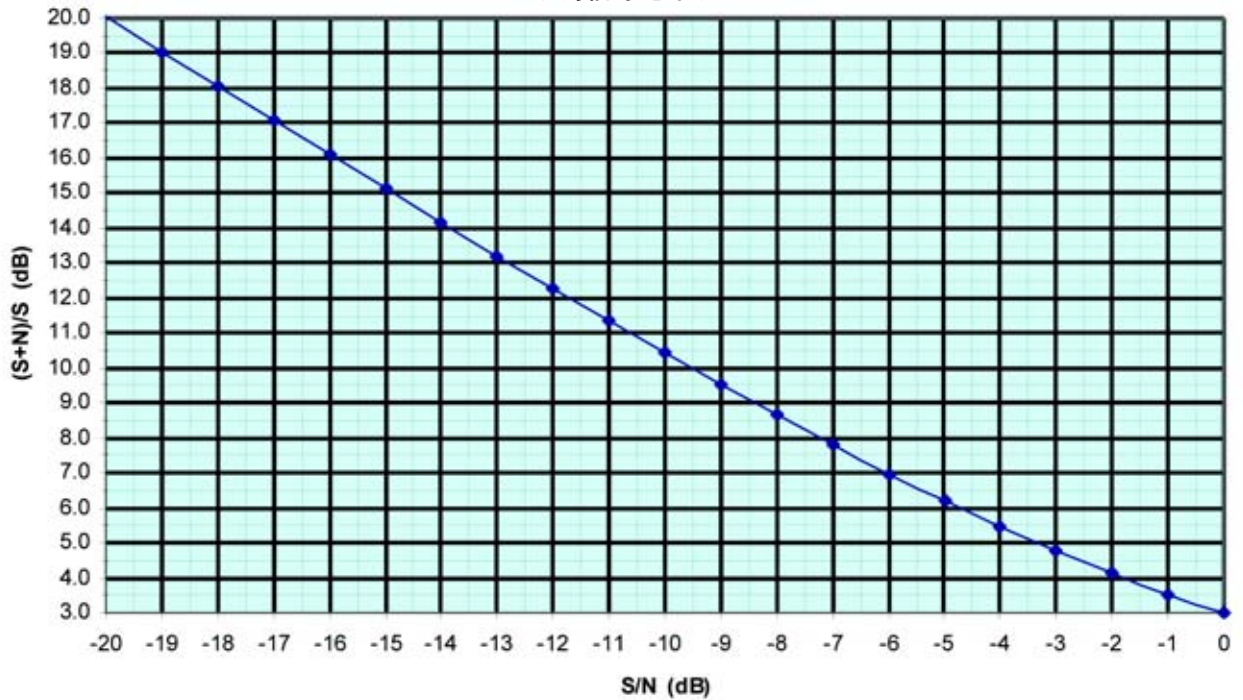
## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南

$S/N > 0$  时的  $(S+N)/N$   
对高于本底噪声的信号  
显示的高于本底噪声的电平



$S/N < 0$  时的  $(S+N)/S$   
对低于本底噪声的信号  
显示的信号电平误差

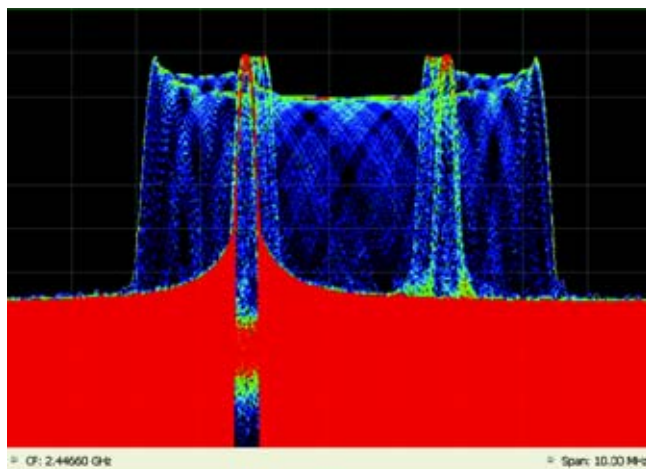


## RSA6100A 系列 6.2 GHz 和 14 GHz 实时频谱分析仪



### 全面检定随时间变化的 RF 信号

RSA6100A 系列可以帮助您简单地发现其它信号分析仪可能会漏掉的设计问题。革命性的 DPX 数字荧光技术可以用颜色生动直观地显示频域中瞬变信号随时间变化情况，在设计稳定性方面提供直接的信心，或者立即显示发生的问题。其它信号分析仪是不可能提供这种生动的瞬变显示的。一旦使用 DPX 发现了问题，RSA6100A 系列实时频谱分析仪(RTSA)可以触发事件，捕获变化的 RF 事件的连续时间记录，在所有域中进行时间相关分析。您可以在一台仪器中，同时获得宽带矢量信号分析仪、频谱分析仪和实时频谱分析仪独有的触发 - 捕获 - 分析功能。



- 革命性的 DPX™ 数字荧光技术揭示了瞬变信号行为，帮助您发现不稳定性、毛刺和干扰。不频繁发生的瞬变在这里可以被详细的查看到。发生频次用颜色等级表示，不频繁发生的瞬变事件用蓝色表示，噪声背景用红色表示。

### ■ 主要特点和优点

#### 发现

- DPX® 数字荧光技术，使用基于发生频次的颜色等级画面，直观地理解随时间变化的 RF 信号
- 革命性的 DPX® 技术，以 100% 的侦听概率显示最短 24 μs 的瞬变

#### 触发

- 泰克独有的 40 MHz 和 110 MHz 频率模板触发(FMT)技术，触发并采集在频域中发生任何变化的事件，根据设定事件条件简便地捕获瞬变的 RF 信号

#### 捕获

- 可以把宽达 110 MHz 跨度内的所有信号捕获到存储器中
- 在 110 MHz 带宽时长达 1.7 s 的采集长度，可以全面分析测量期间的数据，而不需进行多次采集
- 提供了 6.2 GHz 和 14 GHz 两种型号

#### 分析

- 全面的时间相关多域显示，把时域、频域、相位和幅度方面的问题关联起来，在调试时更迅速地了解原因和影响
- 功率测量和信号统计，帮助您检定器件和系统: ACLR, 多载波 ACLR, 功率随时间变化, CCDF
- 高级测量套件(选项 20)– 脉冲测量包括上升时间、脉宽和脉冲到脉冲相位，深入考察脉冲串行为
- 通用数字调制分析(选项 21)，提供了矢量信号分析仪功能
- 泰克 OpenChoice® 把数据简便地传送到各种分析程序中

### ■ 应用

- 检定雷达和脉冲式 RF 信号
- 捕获多载波 3G 和 4G 系统的矢量信号参数，进行离线分析
- 分析认知无线电系统和软件定义的无线电系统随时间变化的行为
- 在频谱监测和监控中找到干扰和未知信号
- 调试 RF 器件、模块或系统

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南

#### 发现

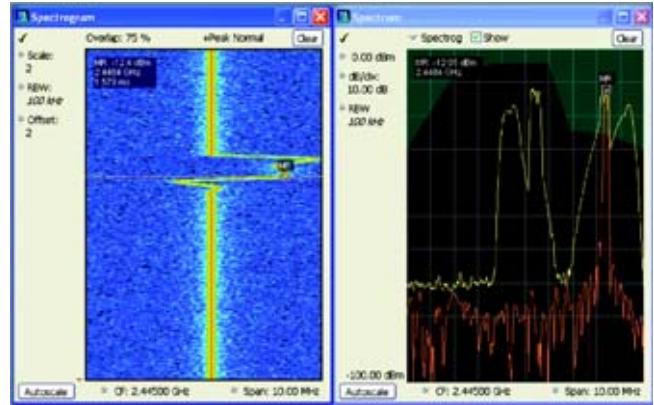
通过采用DPX®数字荧光技术,频谱分析仪可以实地分析瞬变事件。由于可以执行每秒>48,000个频率变换,因此在频域中可以显示最短24 μs的瞬变信号。这较扫描分析技术改进了1000倍。可以在位图显示中用不同的颜色等级表示事件发生的频度,以无可比拟的方式查看瞬变信号行为。

#### 触发

泰克频率模板触发(FMT)专利技术选项02可以在高达110 MHz带宽中简便地捕获瞬变信号。可以简单地配置FMT,监测捕获带宽内频率占用的所有变化。功率触发在时域及任何捕获带宽内工作,可以监测越过用户设置的功率门限的瞬间时点。分辨率带宽可以与功率触发一起使用,限制频带,降低噪声。它为同步测试系统事件提供了两种外部触发。

#### 捕获

可以捕获一次,然后进行多次测量,而不需重新捕获。捕获带宽中的所有信息将记录到RSA6100A系列的深存储器中。记录长度视选择的捕获带宽而变化,在配备FMT/深存储选项02的情况下,在带宽为110 MHz时记录长度是1.7秒,带宽为1 MHz时记录长度是102秒,带宽为10 kHz时记录长度是2.1小时。在110 MHz捕获带宽时提供了73 dB的无杂散动态范围SFDR(选项110),当存在大信号的环境中可以实时捕获小信号。



- **触发和捕获:** 频率模板触发功能监测域频变化,把任何超限捕获到存储器中。三维频谱图画面(左面的面板)显示了频率和幅度随时间变化情况。通过在三维频谱图中选择频谱超限触发FMT的时点,频域视图(右面的面板)会自动更新,在该时点上显示详细的频谱视图。

#### 分析

RSA6100A系列引入了多种分析功能,对处理元器件或RF系统设计、集成和性能检验的工程师或处理网络或频谱管理的运营工程师,提高了他们的生产效率。三维频谱图同时显示频率和幅度随时间变化情况。可以在频域、相位域、幅度域和调制域中进行时间相关测量。这特别适合包括跳频、脉冲特性、调制切换、稳定时间、带宽变化和间歇性信号的信号分析工作。

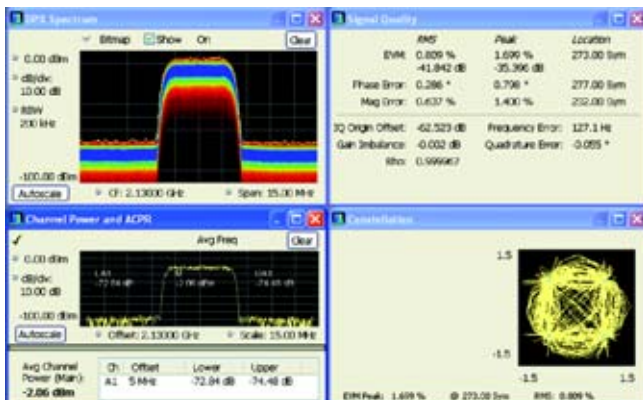
Windows XP环境提供数量不限的分析窗口,所有窗口都在时间上相关,使得多域分析变得更加简便,并可以更深入地查看信号行为。满足用户偏好(键盘、前面板、触摸屏和鼠标)的用户界面,使得新用户和资深用户都能轻松学习RSA6100A系列。

### 多种选项，可以针对具体应用订制 RSA

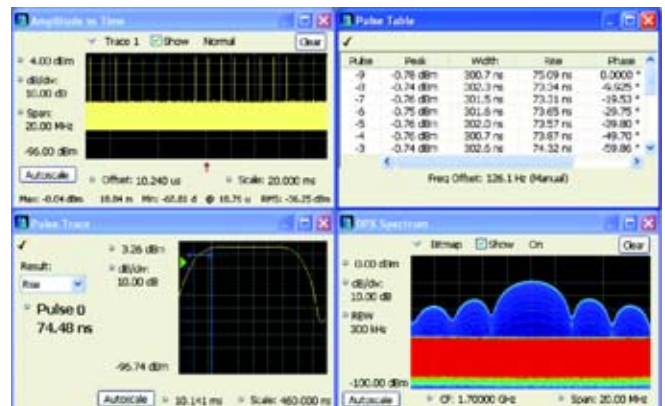
无论是雷达检定、通信系统设计、认知无线电或软件定义的无线电研究、还是频谱管理，RSA6100A 系列提供了多种选项，可以满足您的具体应用需求，

#### ■ 受益于 RSA6100A 系列主要标配功能和选项的应用实例

分析功能	SDR 和 认知无线电	蜂窝, WLAN, 通用通信	雷达, 脉冲式信号	频谱管理
DPX® 频谱处理	X	X	X	X
频率模板触发(选项 02)	X	X	X	X
110 MHz 捕获带宽(选项 110)	X	X	X	X
三维频谱图	X	X	X	X
多域相关	X	X	X	X
内部前置放大器(选项 01)	X	X	X	X
数字 IQ 和模拟 IF 输出(选项 05)	X	X	X	X
可移动硬盘(选项 06)			X	X
通用数字调制分析(选项 21)	X	X	X	X
高级(脉冲式)信号分析(选项 20)			X	X



■ 时间相关的多域视图可以以全新的方式查看传统分析解决方案不可能查看的设计或操作问题。这里在一个采集上执行 ACLR 和矢量调制质量(选项 21)测量，并结合使用 DPX 数字荧光技术的连续监测功能。



■ 高级信号分析套件(选项 20)中提供的脉冲测量功能：可以看到一个脉冲串(左上方)，并提供峰值功率、脉宽、上升时间和脉冲到脉冲相位等测量数据(右上方)。左下方是脉冲上升时间的详细视图，DPX 画面在右下方监视着频谱。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南

### ■ 特点

#### 触发相关特点

采集模式—单次采集或连续采集,自由运行模式或触发模式。

触发事件来源—触发器1(前面),触发器2/选通(背面),线路。

触发类型—电平或频率模板。

触发设置—触发位置可以设置在总采集长度的0–100%

触发组合逻辑—Trig 1和Trig 2/Gate可以定义为一个触发事件。

触发延迟—范围:20 ns–60 s

分辨率:20 ns

不确定性:±20 ns

#### 功率电平触发

电平范围—从参考电平0 dB到–100 dB。

精度—(对本底噪声以上>30 dB的触发电平,10%–90%的信号电平)。

±0.5 dB(距参考电平≥–50 dB)。

±1.5 dB(–50 dB≥跨参考电平≥–70 dB)。

触发带宽范围—(在最大采集带宽时)

4 kHz–20 MHz+全波段(标配)。

11 kHz–60 MHz+全波段(选项110)。

触发位置定时不确定性—40 MHz采集带宽,20 MHz带宽:

不确定性=±10 ns。

110 MHz采集带宽,60 MHz带宽(选项110):

不确定性=±3.3 ns。

#### 频率模板触发(选项02)

模板形状态—用户定义。

最小水平模板设置分辨率—<0.2%的跨度。

电平范围—距参考电平0 dB到–80 dB。

电平精度<sup>\*1</sup>—±(IF频响+1.0 dB),距参考电平0到–50 dB。

±(IF频响+2.5 dB),距参考电平–50到–70 dB。

跨度范围—100 Hz–40 MHz(选项02)。

100 Hz–110 MHz(选项02+选项110)。

100%触发概率的

最小事件时长—(在最大采集带宽时)

30.7 μSec(10.3 μSec,选项02+选项110)。

持续时间低于最小事件时长指标的事件会导致频率模板触发精度下降。

触发位置不确定性—

跨度=40 MHz:±12.8 μs。

跨度=110 MHz:±5.12 μs(选项02+选项110)。

#### 外部触发器1

门限电压—–2.5 V到+2.5 V。

门限电压设置分辨率—0.01 V。

触发位置定时不确定性

(50 Ω输入阻抗)—40 MHz采集带宽,40 MHz跨度:

不确定性=±20 ns。

110 MHz采集带宽,110 MHz跨度(选项110):

不确定性=±12 ns。

输入阻抗—可以选择50 Ω/5 kΩ阻抗。

<sup>\*1</sup>对超过本底噪声>30 dB的模板。

#### 外部触发器2

门限电压—固定,TTL。

输入阻抗—10 kΩ(标称值)。

触发状态选择—高,低。

#### 触发输出

电压(输出电流<1 mA)—高:>2.0 V;低:<0.4 V(LVTTL)。

#### 捕获相关特点

实时捕获带宽—40 MHz(110 MHz,选项110)。

模数转换器—100 MS/s,14位(额外300 MS/s,12位,选项110)。

采集内存容量—256 MB(1 GB,选项02)。

最小采集长度—2个样点。

采集长度设置分辨率—1个样点。



## ■ 内存深度(时间)和最小时域分辨率

采集带宽	取样速率 (对 I 和 Q)	采集时间	采集时间 (选项 02)	最小时间 分辨率
110 MHz (选项 110)	150 MS/s	0.426 s	1.706 s	6.6667 ns
60 MHz (选项 110)	75 MS/s	0.852 s	3.413 s	13.33 ns
40 MHz	50 MS/s	1.28 s	5.12 s	20 ns
20 MHz	25 MS/s	2.56 s	10.2 s	40 ns
10 MHz	12.5 MS/s	5.12 s	20.5 s	80 ns
5 MHz	6.25 MS/s	10.2 s	41.0 s	160 ns
2 MHz <sup>2</sup>	3.125 MS/s	10.2 s	41.0 s	320 ns
1 MHz	1.56 MS/s	20.5 s	81.9 s	640 ns
500 kHz	781 kS/s	41.0 s	164 s	1.28 μs
200 kHz	390 kS/s	81.9 s	328 s	2.56 μs
100 kHz	195 kS/s	164 s	655 s	5.12 μs
50 kHz	97.6 kS/s	328 s	1310 s	10.24 μs
20 kHz	48.8 kS/s	655 s	2620 s	20.48 μs
10 kHz	24.4 kS/s	1310 s	5240 s	40.96 μs
5 kHz	12.2 kS/s	2620 s	10500 s	81.92 μs
2 kHz	3.05 kS/s	10500 s	41900 s	328 μs
1 kHz	1.52 kS/s	21000 s	83900 s	655 μs
500 Hz	762 S/s	41900 s	168000 s	1.31 ms
200 Hz	381 S/s	83900 s	336000 s	2.62 ms
100 Hz	190 S/s	168300 s	671000 s	5.24 ms

<sup>2</sup> 在 ≤ 2 MHz 的跨度中，会存储分辨率更高的数据，但会减少采集时间。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南

#### ■ 分析相关特点

测量功能	测量项目
功率和频域测量	通道功率, 邻道功率, 多载波邻道功率泄漏比, dBm/Hz 标尺, dBc/Hz 标尺
时域和统计测量	RF I/Q 随时间变化, 功率随时间变化, 频率随时间变化, 相位随时间变化, CCDF, 峰值均值比
高级测量套件(选项 20)	上升时间, 下降时间, 脉宽, 脉冲峰值功率, 平均功率, 脉冲纹波波动, 脉冲重复间隔, 占空比, 脉冲到脉冲相位频率偏差, 衰落, 趋势, 趋势的 FFT 变换
通用数字调制分析(选项 21)	EVM (RMS, 峰值, EVM 对时间), 幅度误差(RMS, 峰值, 幅度误差对时间), 相位误差(RMS, 峰值, 相位误差对时间), 原点偏置, 频率误差, 增益失衡, 正交误差, Rho, 星座图, 符号表
按域划分的视图	视图
频率	频谱(幅度与频率) DPX® 频谱画面(实地 RF 颜色等级频谱) 三维频谱图(幅度对测量期间频率)
时间和统计	时间对频率 幅度对时间 相位对时间 RF I&Q 对时间 时间概况 CCDF 峰值均值比
高级测量套件(选项 20)	脉冲参数测量结果表 脉冲轨迹(按脉冲序列号选择) 脉冲统计(脉冲参数测量结果趋势和趋势 FFT 变换)
数字解调(选项 21)	星座图 EVM 随时间变化 符号表(二进制或十六进制)

#### 频谱画面轨迹、检波器和功能

轨迹 – 频谱画面中有三条轨迹 + 1 个数学运算波形。

检波器 – 峰值, – 峰值, 均值。

轨迹功能 – 正常, 平均, 最大保持, 最小保持。

频谱轨迹长度 – 801, 2401, 4001, 8001 或 10401 点。

#### RF 性能

##### 频率

频率范围 –9 kHz–6.2/14 GHz

(RSA6106A/RSA6114A)。

初始中心频率设置精度 –10 分钟预热后  $10^{-7}$  范围内。

中心频率设置分辨率 – 0.1 Hz。

频率光标读数精度 –  $\pm (RE \times MF + 0.001 \times \text{跨度} + 2)$  Hz。

RE: 参考频率误差。

MF: 光标频率 (Hz)。

跨度精度 –  $\pm 0.3\%$  (自动模式)。

参考频率 – 在校准时初始精度 –  $1 \times 10^{-7}$

(在 10 分钟预热后)。

每天老化 –  $1 \times 10^{-9}$  (在运行 30 天后)。

每年老化 –  $3 \times 10^{-7}$  (在运行 10 年后)。

温度漂移 –  $2 \times 10^{-8}$  (0 – 50°C)。

总频率误差 –  $4 \times 10^{-7}$

(校准后 10 年内, 典型值)。

累积误差(温度 + 老化) –  $4 \times 10^{-7}$

(在校准后 10 年内, 典型值)。

参考输出电平 - >0 dBm

(已经选择内部参考源)。

参考输出电平(环通) - 从 Ext Ref In 到 Ref Output 为 0 dB 标称增益, +15 dBm 最大输出。

外部参考输入频率 - 1 - 25 MHz (1 MHz 步进) + 1.2288 MHz, 4.8 MHz 和 19.6608 MHz。

外部参考输入频率要求 - 必须位于声称频率输入的  $\pm 3 \times 10^{-7}$  范围内。  
杂散辐射在 100 kHz 偏置范围内 < -80 dBc。  
输入电平范围: -10 dBm 到 +6 dBm。

### 分辨率带宽

分辨率带宽范围

(频谱分析) - 1 Hz - 5 MHz (1, 2, 3, 5 序列, 自动耦合)或用户选择(任意)。

分辨率带宽形状 - 1 Hz-5 MHz - 近似于高斯分布, 形状系数 4.1:1 (60:3 dB)  $\pm 10\%$ , 典型值。

分辨率带宽精度 - 1 Hz-5 MHz  $\pm 1\%$  (自动耦合 RBW 模式)。

### 时域带宽

时域带宽范围 - 至少 1/10 - 1/10,000 的采集带宽, 最小 1 Hz。

时域带宽形状 -  $\leq 10$  MHz, 近似于高斯分布, 形状系数 4.1:1 (60:3 dB)  $\pm 10\%$ , 典型值。  
20 MHz (60 MHz, 选项 110), 形状系数 < 2.5:1 (60:3 dB), 典型值。

时域带宽精度 - 1 Hz - 20 MHz 和 (>20 MHz - 60 MHz, 选项 110),  $\pm 10\%$ 。

### 可以设置的最小频谱分析 RBW 对跨度

频率跨度	RBW
>10MHz	100Hz
>1MHz - 10MHz	10Hz
$\leq 1$ MHz	1Hz

### DPX® 数字荧光频谱处理

频谱处理速率 - >48,828/s。

轨迹处理 - 颜色等级位图, + 峰值, - 峰值, 均值。

100% 检测概率最小信号时长(Max-hold On) - 31  $\mu$ s (24  $\mu$ s, 选项 110)。

跨度范围 - 100 Hz - 40 MHz (110 MHz, 选项 110)。

分辨率带宽精度 - 7%。

### ■ 分辨率带宽范围对跨度 (DPX)

跨度	RBW(最小值)
110 MHz	600 kHz
55 MHz	300 kHz
40 MHz	200 kHz
20 MHz	100 kHz
10 MHz	50 kHz
5 MHz	25 kHz
2 MHz	13 kHz
1 MHz	7 kHz
500 kHz	4 kHz
200 kHz	2 kHz
100 kHz	800 Hz
50 kHz	400 Hz
20 kHz	200 Hz
10 kHz	100 Hz
5 kHz	50 Hz
2 kHz	13 Hz
1 kHz	7 Hz
500 Hz	4 Hz
200 Hz	2 Hz
100 Hz	1 Hz

## 应用案例集—综合应用

### ► 应用指南

# 实时频谱测试的时代到来了

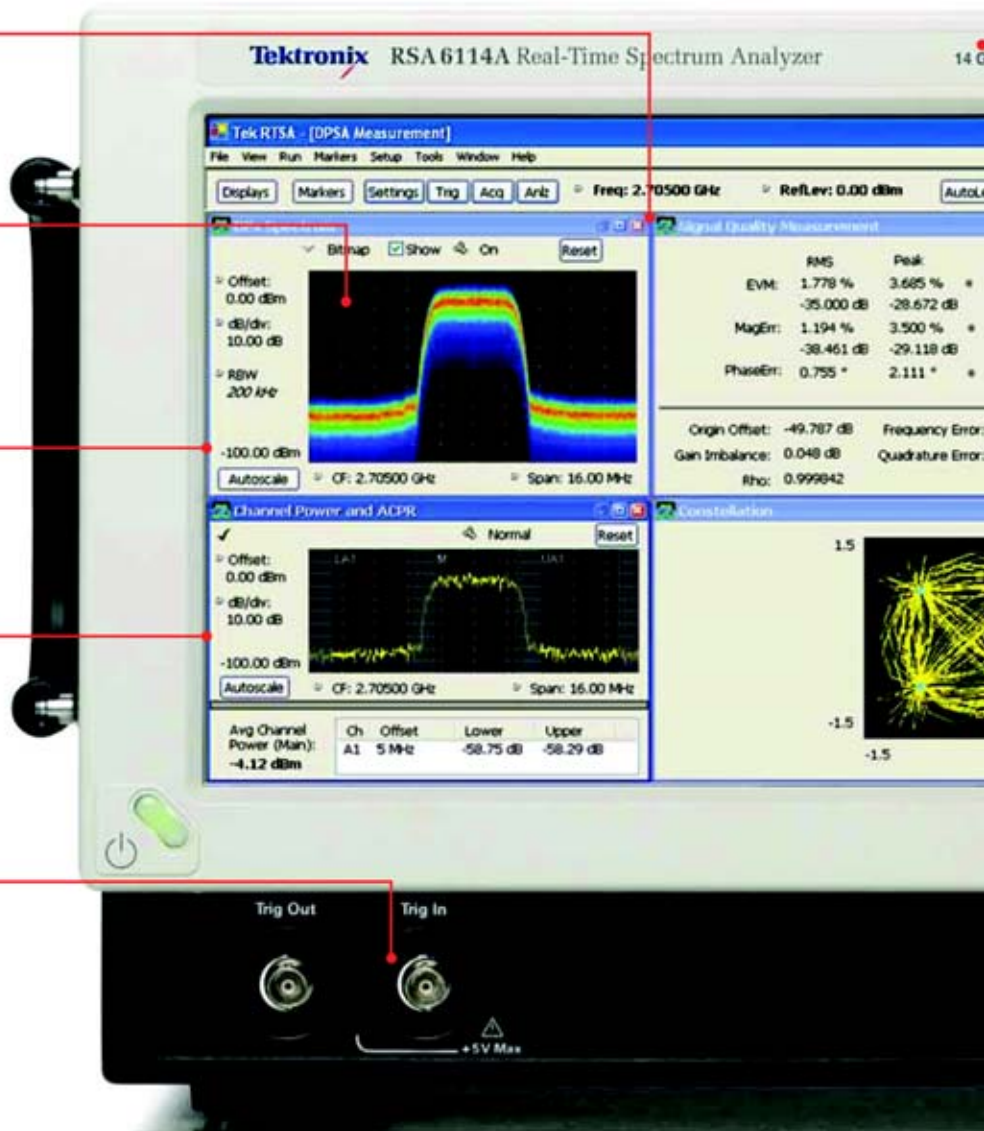
多域相关视图(频域、时域、幅度域、相位域、调制域), 直观的用户界面

革命性 DPX® 数字荧光技术, 无可比拟的调试和实地瞬变信号分析能力。

触摸屏、鼠标和前面板控制功能, 在视图中直接调节设置。

Windows XP 操作系统及泰克 OpenChoice®, 简便地操作文件、打印、通过以太网和 GPIB 进行控制、远程连接等等。

两个外部触发器, 捕获关键事件信息(1 个在正面, 1 个在背面)。



# 全面检定随时间变化的 RF 信号



# 应用案例集—综合应用

## ■ 应用指南

### ■ 指定中心频率(CF)上的相噪边带, dBc/Hz

偏置	CF = 1 GHz		CF = 2 GHz	CF = 6 GHz	CF = 10 GHz (RSA6114A)
	指标	典型值	典型值	典型值	典型值
100 Hz	-80	-86	-80	-70	-64
1 kHz	-100	-106	-106	-96	-91
10 kHz	-106	-110	-110	-107	-106
100 kHz	-107	-113	-111	-107	-106
1 MHz	-128	-134	-133	-132	-132
6 MHz	-134	-142	-142	-142	-142
10 MHz	-134	-142	-142	-142	-142

#### 稳定性

##### 残余 FM –

1秒钟内 $<2\text{Hz}_{\text{pk-pk}}$ (95%置信度, 典型值)。

#### 幅度

(技术数据中不包括不匹配误差)

##### 测量范围 –

显示平均噪声电平到最大可测量输入。

输入衰减器范围 – 0 dB – 75 dB, 5 dB 步进。

##### 最大安全输入电平 –

普通连续(RF ATT  $\geq$  10 dB): +30 dBm。  
脉冲式 RF (RF ATT  $\geq$  30 dB, PW  $<$  10  $\mu\text{s}$ , 1% 占空比) – 75 W。

##### 最大可测量输入电平 –

普通连续(RF ATT: Auto): +30 dBm。  
脉冲式 RF (RF ATT: Auto, PW  $<$  10  $\mu\text{s}$ , 1% 占空比): 75 W。

最大 DC 电压 –  $\pm$  40 V。

对数显示范围 – 0.1 dB/div到20 dB/div。

线对显示标度 – 10 格。

##### 显示单位 –

dBm, Volts, Watts, Hz为频率测量的单位; 相位测量的单位为度。

光标读数分辨率, dB 单位 – 0.01 dB。

光标读数分辨率, V单位 – 依靠参考标准, 最小 0.001  $\mu\text{V}$ 。

##### 参考电平设置范围 –

0.1 dB 步进, -170 dBm到 +50 dBm (中心频率 $<$ 80 MHz 时最小参考电平 -50 dBm)。

##### 显示范围内的电平线性度 –

$\pm$  0.1 dB (从参考电平 0 到 -70 dB)。

## ■ 频响

18 °C – 28 °C, 衰减 = 10 dB, 前置放大器 Off

10 MHz – 3 GHz	± 0.5 dB
>3 GHz – 6.2 GHz	± 0.8 dB
> 6.2 GHz – 14 GHz (RSA6114A)	± 1.0 dB

0 °C – 50°C, 所有衰减器设置 (典型值)

9 kHz – 3 GHz	± 0.7 dB
>3 GHz – 6.2 GHz	± 0.8 dB
> 6.2 GHz – 14 GHz (RSA6114A)	± 2.0 dB

前置放大器(选项 01) On (衰减 = 10 dB)

10 MHz – 3 GHz	± 0.7 dB
----------------	----------

校准点上的绝对幅度精度(100 MHz, -20 dBm信号, 10 dB ATT, 18°C – 28°C) – ± 0.31 dB。

输入衰减器开关不确定性 – ± 0.2 dB。

中心频率上的绝对幅度精度, 95% 置信度<sup>3</sup> (典型值)–

10 MHz – 3 GHz: ± 0.5 dB。

3 GHz – 6.2 GHz: ± 0.8 dB。

6.2 GHz – 14 GHz: ± 1.5 dB。

<sup>3</sup> 18°C–28°C, 参考电平 ≤ -15 dBm, 衰减器自动耦合, 信号电平 -15 dBm 到 -50 dBm。10 Hz ≤ RBW ≤ 1 MHz, 在执行对准后。

VSWR –

(衰减 = 10 dB, 前置放大器 OFF, CF 设置在 VSWR 测试频率的 200 MHz 范围内)

10 MHz – 4 GHz: &lt;1.6:1。

4 GHz – 6.2 GHz: &lt;1.8:1。

6.2 GHz – 14 GHz (仅 RSA6114A): &lt;1.9:1。

采用前置放大器时的 VSWR –

(衰减 = 10 dB, 前置放大器 ON, CF 设置在 VSWR 测试频率的 200 MHz 范围内)

10 MHz – 3 GHz: &lt;1.9:1。

## 噪声和失真

■ 三阶交调失真<sup>4</sup>

频率	三阶交调失真	三阶截止点	三阶截止(典型值)
2.130 GHz	<-80 dBc	+15 dBm	+17 dBm

<sup>4</sup> 每个信号电平 -25 dBm, 参考电平 -20 dBm, 衰减器 = 0 dB, 1 MHz 音调隔离。

三阶侦听点从三阶互调制性能中计算得出。

■ 二次谐波失真<sup>5</sup>

频率	二次谐波失真, 典型值
10 MHz – 3.1 GHz	<-80 dBc
>3.1 GHz – 7 GHz (仅 RSA6114)	<-80 dBc

<sup>5</sup> RF 输入上 -40 dBm, 衰减器 = 0, 前置放大器 Off, 典型值。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南

#### ■ 显示平均噪声电平,\*<sup>6</sup> 前置放大器 Off

频率	技术数据	典型值
9 kHz – 10 MHz	-97 dBm/Hz	-100 dBm/Hz
>10 MHz – 100 MHz	-147 dBm/Hz	-149 dBm/Hz
>100 MHz – 2.3 GHz	-149 dBm/Hz	-151 dBm/Hz
>2.3 GHz – 4 GHz	-147 dBm/Hz	-149 dBm/Hz
>4 GHz – 6.2 GHz	-143 dBm/Hz	-145 dBm/Hz
仅 RSA6114A		
4 GHz – 7 GHz	-143 dBm/Hz	-145 dBm/Hz
>7 GHz – 14 GHz	-135 dBm/Hz	-137 dBm/Hz

<sup>6</sup> 使用 1 kHz RBW, 100 kHz 跨度, 100 次平均, 最小噪声模式, 输入端接测得。

#### ■ 显示平均噪声电平,\*<sup>6</sup> 前置放大器 On (选项 01)

频率	技术数据	典型值
10 MHz – 80 MHz	-160 dBm/Hz	-170 dBm/Hz
>80 MHz – 1 GHz	-165 dBm/Hz	-170 dBm/Hz
1 GHz – 2 GHz	-166 dBm/Hz	-170 dBm/Hz
2 GHz – 3 GHz	-164 dBm/Hz	-170 dBm/Hz

#### ■ 残余响应\*<sup>7</sup>

频率	技术数据
40 MHz – 200 MHz	-90 dBm
>200 MHz – 6.2 GHz	-95 dBm
>6.2 GHz – 14 GHz (RSA6114A)	-95 dBm (typical)

<sup>7</sup> 输入端接, RBW = 1 kHz, Atten = 0 dB。

#### ■ 镜像响应\*<sup>8</sup>

频率	技术数据
9 kHz – 6.2 GHz	<-80 dBc
6.2 GHz – 8 GHz (RSA6114A)	<-80 dBc
>8 GHz – 14 GHz (RSA6114A)	<-76 dBc

<sup>8</sup> 参考电平 = -30 dBm, 衰减 = 10 dB, RF 输入电平 = -30 dBm, RBW = 10 Hz



■ 带信号的杂散响应<sup>\*9</sup>

频率	跨度 ≤ 40MHz, 扫描跨度 > 40 MHz		选项 110 40 MHz < 跨度 ≤ 110 MHz	
	技术数据	典型值	技术数据	典型值
10 MHz – 6.2GHz	-73 dBc	-78dBc	-73 dBc	-75 dBc
≥ 6.2 GHz – 14 GHz (RSA6114A)	-70 dBc	-75 dBc	-70 dBc	-75 dBc

<sup>\*9</sup> RF 输入电平, -15 dBm, 衰减 = 10 dB, 偏置 ≥ 400 kHz, 模式: Auto

4.75 GHz 时信号的杂散响应 –

< -57 dBc (RF 输入电平, -30 dBm)。

■ 邻道泄漏比动态范围<sup>\*10</sup>

信号类型, 测量模式	ACLR, 典型值	
	相邻	迂回
3GPP 下行, 1 DPCH		
未校正	-70 dB	-70 dB
已校正噪声	-79 dB	-79 dB
3GPP TM1 64 通道		
未校正	-69 dB	-69 dB
已校正噪声	-78 dB	-78 dB

<sup>\*10</sup> 使用为最佳性能调节的测试信号幅度测得。(CF = 2.13 GHz)

■ IF 频响和相位线性度<sup>\*11</sup>

频率范围	技术数据		典型值(RMS)
	采集带宽	技术数据	幅度 / 相位
0.01 – 3.0 <sup>*12</sup>	≤ 300 kHz	± 0.20 dB	0.05 dB/0.5°
0.03 – 3.0	≤ 40 MHz	± 0.50 dB	0.18 dB/1.0°
>3 – 6.2 <sup>*12</sup>	≤ 300 kHz	± 0.20 Db	0.05 dB/0.5°
>3 – 6.2	≤ 40 MHz	± 0.50 dB	0.26 dB/1.0°
>6.2 – 14 (RSA6114A)	≤ 300 kHz	± 0.20 dB	0.05 dB/1.0°
>6.2 – 14 (RSA6114A)	≤ 40 MHz	± 0.80 dB	0.40 dB/1.0°
<b>选项 110</b>			
0.07 – 3.0	≤ 80 MHz	± 0.90 dB	0.40 dB/1.5°
0.07 – 3.0	≤ 110 MHz	± 0.90 dB	0.60 dB/1.5°
>3 – 6.2	≤ 80 MHz	± 0.90 dB	0.60 dB/2.0°
>3 – 6.2	≤ 110 MHz	± 0.90 dB	0.40 dB/2.0°
>6.2 – 14 (RSA6114A)	≤ 80 MHz	± 1.5 dB	0.70 dB/1.5°
>6.2 – 14 (RSA6114A)	≤ 110 MHz	± 1.5 dB	1.0 dB/2.0°

<sup>\*11</sup> 在捕获带宽上的幅度平坦度和相位变化, 包括 RF 频响。衰减器设置: 10 dB。

<sup>\*12</sup> 选择了高动态范围模式。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南

#### 高级测量套件(选项 20)

##### 测量 –

上升时间, 下降时间, 脉宽, 峰值功率, 平均功率, 脉冲纹波波动, 脉冲重复间隔, 占空比, 脉冲到脉冲相位, 频率偏差, 衰落, 趋势, 趋势的 FFT。

##### 最小检测脉宽 –

150 ns (标配), 50 ns (选项 110)。

##### 系统上升时间(典型值) –

<20 ns (标配), <8 ns (选项 110)。

##### 脉冲测量精度 –

信号条件: 除另行指明外, 脉宽>450 ns (150 ns, 选项 110), 信噪比 $\geq$  30 dB, 占空比 0.5 – 0.001, 温度 18°C–28°C。

测量	精度(典型值)
平均 ON 功率 <sup>*13</sup>	$\pm 0.3$ dB + 绝对幅度精度
平均发送功率 <sup>*13</sup>	$\pm 0.4$ dB + 绝对幅度精度
峰值功率 <sup>*13</sup>	$\pm 0.4$ dB + 绝对幅度精度
脉宽	$\pm 3\%$ 的读数
占空比	$\pm 3\%$ 的读数

指定频率和测量带宽时的 脉冲到脉冲相位 <sup>*14</sup>	在 10 GHz 时	在 2 GHz 时
带宽: 20 MHz	$\pm 1.7^\circ$	$\pm 3.2^\circ$
带宽: 40 MHz	$\pm 1.7^\circ$	$\pm 3.7^\circ$
带宽: 60 MHz (选项 110)	$\pm 1.9^\circ$	$\pm 4^\circ$
带宽: 110 MHz (选项 110)	$\pm 2^\circ$	$\pm 5^\circ$

<sup>\*13</sup> 脉宽 >300 ns (100 ns, 选项 110)。

<sup>\*14</sup> 脉冲 ON 功率  $\geq -20$  dBm, 参考电平上的信号峰值, 衰减器 = Auto,  $t_{\text{meas}} - t_{\text{reference}} \leq 10$  ms, 频率估算: Manual, CW (非啁啾)脉冲。  
测量时间位置不包括从 50% 的  $T_{\text{上升}}$  或  $T_{\text{下降}}$  中测得的时间 = (10/ 测量 BW) 内扩展的脉冲开头和结尾。

#### 数字调制分析(选项 21)

##### 调制格式 –

BPSK, QPSK, 8PSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM, GMSK,  $\pi/4$  DQPSK, DQPSK, D8PSK。

分析周期 – 最多 8,000 个符号。

##### 滤波器类型 –

测量滤波器: 升余弦平方根, 升余弦, 高斯, 矩形, IS-95, IS-95 EQ, 无。

参考滤波器: 升余弦, 高斯, 矩形, IS-95, 无。

Alpha/B\*T 范围 – 0.001 – 1, 0.001 步进。

##### 符号速率范围 –

1 kSymbols/s – 100 MSymbols/s (调制的信号必须完全包含在 RSA6100A 的采集带宽内)。

##### 调制精度

#### 数字调制(选项 21)

#### QPSK 残余 EVM (典型值)<sup>\*15</sup>

符号速率	残余 EVM
100 kSymbols/s	<0.6%
1 MSymbol/s	<0.7%
10 MSymbol/s	<1.0%
30 MSymbol/s	<3.0%
80 MSymbols/s (选项 110)	<3.0%

<sup>\*15</sup> CF = 2 GHz, 测量滤波器 = 根升余弦, 参考滤波器 = 升余弦, 分析长度 = 200 个符号。

#### 256 QAM 残余 EVM(典型值)<sup>\*16</sup>

符号速率	残余 EVM
10 MSymbol/s	<1.0%
30 MSymbol/s	<3.0%
80 MSymbols/s (选项 110)	<3.0%

<sup>\*16</sup> CF = 2 GHz, 测量滤波器 = 升余弦根, 参考滤波器 = 升余弦, 分析长度 = 400 个符号。

**输入和输出****前面板**

RF 输入连接器 – N 型, 50Ω。

触发输出 – BNC, 高: >2.0 V, 低: <0.4 V,  
输出电流 1 mA(LVTTL)。

触发输入 – BNC, 50Ω/5KΩ(标称值), ± 5 V 最大输入, –  
2.5 V 到 +2.5 V 触发电平。

USB 端口 – 1 个 USB 2.0 端口, 1 个 USB 1.1 端口。

音频 – 扬声器端口。

**后面板**

模拟 IF 和数字 IQ 输出 (选项 05)

模拟 IF 输出 (选项 05)

频率 – 500 MHz

(根据选择的中心频率变化 ± 1 MHz)。

输出电平 – 对 RF 混频器上 –20 dBm 的峰值信号电平为  
0 到 –10 dBm(典型值)。

滤波器控制: 全波段(矩形)或 60 MHz 高斯。

带宽(全波段): >150 MHz(典型值)。

带宽(高斯): 60 MHz, 高斯直到 –12 dB。

数字 IQ 输出 (选项 5) –

连接器类型 – MDR (3M) 50 针脚 x 2。

数据输出 – 根据幅度和相位响应实时校正数据。

I 数据: 16 位 LVDS; Q 数据: 16 位 LVDS。

控制输出 – 时钟: LVDS, MAX 50 MHz

(150 MHz, 选项 110)。

DV (数据有效), MSW (最有用字)指示灯,  
LVDS。

控制输入 – 启用 IQ 数据输出, 连接 GND 可以输出 IQ 数据。

时钟上升沿到数据转换时间(保持时间) –

8.4 ns (典型值, 标配), 1.58 ns (典型值, 选项 110)。

数据转换到时钟上升沿(建立时间) –

8.2 ns (典型值, 标配), 1.54 ns (典型值, 选项 110)。

10 MHz REF OUT – 50Ω, BNC, >0 dBm。

外部 TRIG IN – 50Ω, BNC, –10 dBm – +6 dBm, 1 MHz  
– 25 MHz, 1 MHz 步进, 外加 1.2288  
MHz, 4.8 MHz 和 19.6608 MHz。

外部 REF IN –

要求的外部参考输入频率精度 – ≤ ± 0.3 ppm。

TRIG 2/Gate IN – BNC, 高: 1.6 – 5.0 V, 低: 0 – 0.5 V。

GPIO 接口 – IEEE 488.2。

LAN 以太网接口 – RJ45, 10/100/1000 Base-T。

USB 端口 – USB 2.0, 两个端口。

VGA 输出 – 兼容 VGA, 15 D-sub。

音频输出 – 3.5 mm 耳机插孔。

噪声源驱动器 – BNC, +28 V, 140 mA (标称值)。

**整体特点**

温度范围 – 工作温度: +5°C 到 +50°C 在使用 DVD (RW 时  
+5°C 到 +40°C)。

非工作温度: –20°C 到 +60°C。

预热时间 – 20 分钟。

工作高度 – 工作高度: 最高 3000 米(10,000 英尺)。

非工作高度: 最高 12,190 米(40,000 英尺)。

相对湿度 – 工作相对湿度和非工作相对湿度: 30°C 时 90%  
相对湿度(无冷凝, 最大湿球, 29°C)。(在使用  
DVD 时最大相对湿度 80%)。

振动 – 工作振动: 0.27 G<sub>RMS</sub>, 5 Hz – 500 Hz (在刻录 DVD  
及使用选项 06 可移动硬盘时除外)。

非工作振动: 2.28 G<sub>RMS</sub>, 5 Hz – 500 Hz。

震动 – 工作震动: 15 G, 半正弦, 11 ms 时长。(在刻录 DVD 及  
选项 06 可移动硬盘时最大 1 G)。

非工作震动: 30 G, 半正弦, 11 ms 时长。

安全 – UL 61010-1:2004。

CSA C22.2 No.61010-1-04。

电磁兼容能力 – 符合下述标准:

EC Council EMC Directive 89/336/EEC, 附录 93/68/EEC。

EN61326 Class A。

AS/NZS CISPR II, Class A (澳大利亚)。

功率要求 – 90 VAC–240 VAC, 50 Hz–60 Hz。

90 VAC–132 VAC, 400 Hz。

功耗 – 最大 600 VA。

数据存储 – 内置硬驱, USB 端口, DVD (RW (选项 07), 可  
移动硬盘(选项 06))。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南

校准间隔 – 1 年。

保修 – 1 年。

GPIB – 兼容 SCPI, 符合 IEEE 488.2 标准。

### 物理特点

重量	公斤	磅
带所有选项时	26.4	58
外观尺寸	毫米	英寸
高	282	11.1
宽	473	18.6
厚	513	20.9

注：物理特点，带支脚，不包括配件包。

### ■ 订货信息

#### RSA6106A

实时频谱分析仪, 9 kHz – 6.2 GHz。

#### RSA6114A

实时频谱分析仪, 9 kHz – 14 GHz。

这两款均包括: 快速入门手册(印刷), 用户手册, 编程人员手册(光盘), 电源线, BNC-N适配器, USB 键盘, USB 鼠标, 包, 前面保护罩。在订货时请指明电源插头和语言选项。

### 选项

选项 01 – 内部前置放大器, 10 MHz–3 GHz, 30 dB 增益, 2 GHz 时 4 dB 的噪声系数, 典型值。

选项 02 – 1 GB 内存, 频率模板触发。

选项 05 – 数字 IQ 输出和 500 MHz 模拟 IF 输出。

选项 06 – 可移动硬盘。

选项 07 – DVD-RW, 必带的选件, 免费(不兼容选项 06)。

选项 08 – 可移动固态硬盘。

选项 20 – 高级信号分析(包括脉冲测量)。

选项 21 – 通用调制分析。

选项 110 – 110 MHz 实时捕获带宽。

选项 1R – 机架安装套件。

### 配件

RSA61RHD – 额外的可移动硬盘, 用于选项 06 (预装 Windows XP 和仪器软件)。

065-0765-00 – 额外的可移动硬盘, 用于选项 08 (预装 Windows XP 和仪器软件)。

手提箱 – 016-1963-00。

机架安装翻新配件 – 016-1962-00。

额外的快速入门手册(纸面) – 071-1909-xx。

额外的用户手册(光盘) – 063-3930-xx。

维护手册(纸面) – 071-1914-xx。

### 国际电源插头选项

选项 A0 – 北美电源插头。

选项 A1 – 通用欧洲电源插头。

选项 A2 – 英国电源插头。

选项 A3 – 澳大利亚电源插头。

选项 A4 – 北美 240 V 电源插头。

选项 A5 – 瑞士插头电源插头

选项 A6 – 日本电源插头。

选项 10 – 中国电源插头。

选项 A11 – 印度电源插头。

选项 A99 – 不带电源线或交流适配器。

### 服务选项

选项 C3 – 三年校准服务。

选项 C5 – 五年校准服务。

选项 D1 – 校准数据报告。

选项 D3 – 三年校准数据报告(要求选项 C3)。

选项 D5 – 五年校准数据报告(要求选项 C5)。

选项 R3 – 三年维修服务。

选项 R5 – 五年维修服务。

选项 CA1 – 提供一次校准服务或在指定校准间隔时校准, 以先到者为准。

### 升级

#### RSA61UP

选项 01 – 内部前置放大器, 10 MHz – 3 GHz, 30 dB 增益, 2 GHz 时 4 dB 的噪声系数, 典型值。

选项 02 – 1 GB 内存, 频率模板触发。

选项 05 – 数字 IQ 输出和 500 MHz 模拟 IF 输出。

选项 06 – 可移动硬盘。

选项 20 – 高级信号分析(包括脉冲测量)。

选项 21 – 通用调制分析。

选项 110 – 110 MHz 实时捕获带宽。

选项 IF – 安装服务。

选项 IFC – 安装服务 + 校准。

### 语言

选项 L0 – 英语手册。

选项 L5 – 日语手册。

选项 L7 – 简体中文手册。

选项 L10 – 俄语手册。

## 实时频谱分析仪 RSA3300A 系列



### 触发、捕获和分析 RF 信号

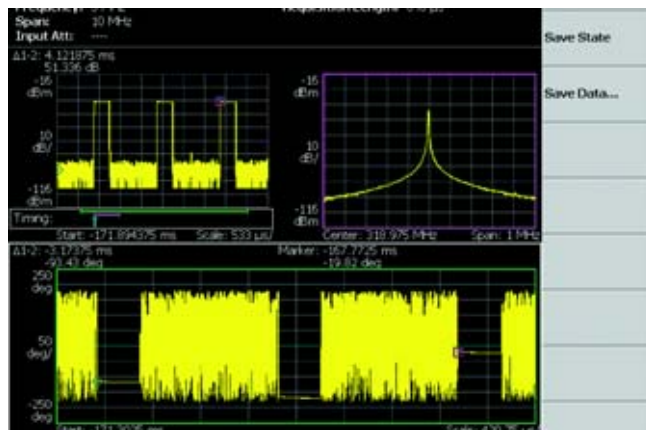
#### 通过全面检定随时间变化的 RF 信号和瞬态信号，迅速解决设计、生产或运行问题

与以前的扫频分析仪相比，您可以更全面、更迅速地检定设备、系统或信号，更快地确定问题和解决问题。泰克 RSA3300A 系列实时频谱分析仪可以通过一次无缝捕获和存储一段射频信号来获取很多在扫频分析仪上看不到的信号<sup>1</sup>。一旦捕获了信号，可以在时间相关的频域、时域和调制域中同时查看和分析信号。RSA 系列仪器不仅包括实时频谱分析仪快速信号捕获、存储和调制分析功能，还包括扫频分析仪的功能和操作能力，可以在一个集成式、便于携带的设备中，查看非常宽的带宽。



■ RSA 系列频谱图以独一无二的方式显示随时间变化的信号行为，包括频率变化 / 稳定性、频谱占用、脉冲式信号定时、功率变化等等。本图示范例显示了发射设备的频率建立特性。

<sup>1</sup> 参见泰克实时频谱分析(RSA)技术简介(资料号37W-17252)，该简介解释了 RTSA 的工作方式及其独特功能：[http://www.tek.com/Masurement/App\\_Notes/37\\_17252/eng/](http://www.tek.com/Masurement/App_Notes/37_17252/eng/)



■ 时间相关多域视图提供了一个新的层面来解决设计或运行的问题并提供可能的解决方案。本图示范例显示是一个脉内调幅信号在调制域中测得脉冲到脉冲的相位变化，并在频域、时域与调制域内同时观察显示。

#### ■ 主要特点和优点

实时频谱分析，可以无缝地捕获扫频分析仪不可能捕获的随时间变化的、瞬态或周期的 RF 信号

深达 65.536Ms(256 MB)的内存，无需多次测量便可以全面分析测量期间的信号

时间相关并同时查看时域、频域和调制域提供了更好地、独一无二的信号理解方式

时频图展现了一个扫频式频谱仪无法提供的 RF 信号在时间上频率与幅度变化的画面

只有泰克才提供的频率模板触发功能，可以简便地捕获扫频频谱仪会漏掉的快速的、瞬态或间歇性信号

普通频谱模式，对更宽的带宽进行分析

内置解调功能，增强了对 AM、ASK、FM、FSK 和 PM 信号的分析能力

数字解调器提供了经济的矢量信号分析功能

杰出的 DC-20 MHz 动态范围和低相噪，可以进行高性能的弱信号测量和相噪测量

#### ■ 应用

模拟和数字调制信号质量分析

对频率和频谱占用度的了解

无用信号、未知信号或干扰信号的捕获和检定

测量设备 / 系统设计或运行诊断测量

解决难以捕捉的 EMI 问题

VCO/合成器设计、RFID 设备检定、通用数字调制矢量信号分析、频谱监测、雷达测量

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南

#### 触发、捕获、分析

##### 您可以简便地捕捉难以捕捉的 RF 信号，方便地进行分析

灵敏快速的 RSA 系列实时频谱分析仪触发功能可以简便地捕获未知信号、周期信号或间歇性信号。通过使用泰克独有的频率模板触发功能，您可以配置自定义频域模板，包括信号临界带宽和电平，然后在限定的特殊频率或频率范围内进行事件触发。在捕获信号时，它们会自动保存到

RSA 内存中，可以在频域、时域和调制域中简便地进行深入的时间相关分析，而无需外部计算机！快速设置 IF 电平和功率(测量带宽)触发功能可以在各种应用中非常方便地捕获信号，如两个设备之间的载波相互窜扰或者突发脉冲信号。连续触发模式可以确保多次事件顺序的自动的捕获并存储，您所捕获的是事件而非时间之间的时间，这样可以保证最大的存储效率与最小的分析时间。

### ■ 性能价格比选择：RSA3300A 系列实时频谱分析仪

RSA 型号	频率范围	内存深度	调制分析	实时捕获带宽	触发模式
3303A	DC – 3 GHz	16.384 M 样点 65.536 M 样点 (选项 02)	AM, FM (ASK, FSK), PM, 通用数字调制分析 (选项 21)	15 MHz	IF 电平, 频率模板 触发和功率 (测量带宽) (选项 02)
3308A	DC – 8 GHz	16.384 M 样点 65.536 M 样点 (选项 02)	AM, FM (ASK, FSK), PM, 通用数字调制分析 (选项 21)	15 MHz	IF 电平, 频率模板 触发和功率 (测量带宽)(选项 02)

### ■ 特点

#### ■ 指标

	RSA3303A	RSA3308A
频率范围	DC – 3 GHz	DC – 8 GHz
频率老化率	$\pm 1 \times 10^{-7}$ /年	$\pm 1 \times 10^{-7}$ /年
频率稳定度	$1 \times 10^{-7}$ (10°C– 40°C) 选项 10: $1 \times 10^{-7}$ (10°C– 40°C)	$1 \times 10^{-7}$ (10°C – 40°C) 选项 10: $1 \times 10^{-7}$ (10°C – 40°C)
整体参考频率误差	$2 \times 10^{-7}$	$2 \times 10^{-7}$

标记频率读数精度 –  $\pm(\text{RE} \times \text{MF} + 0.001 \times \text{跨度}(\text{SPAN}) + \text{RFM}) \text{ Hz}$ 。

RE = 参考频率误差

MF = 标记频率 [Hz]

RFM = 剩余 FM [Hz]

载频测量精度 – RSA3303A 和 RSA3308A

对 RSA3300A, 在跨度 (SPAN)  $\leq 15 \text{ MHz}$  时, 分析周期和跨度中必须包含信号的所有频率成分。

载频测量灵敏度 – 载波功率,  $> -40 \text{ dbfs}$  (典型值)

(dBfs = 低于全屏参考电平的 dB)

精度 –  $\text{RE} \times \text{CF} \times \text{RFM}$ 。分辨率设置 =

1 mHz – 1 MHz。

在 2 GHz 时,  $\pm 202 \text{ Hz}$ 。

在 5 GHz 时,  $\pm 502 \text{ Hz}$ 。

在 7 GHz 时,  $\pm 702 \text{ Hz}$ 。

频率跨度

范围 – RSA3303A 和 RSA3308A

普通频谱分析仪模式:

50 Hz–3 GHz, (起始频率  $\geq 20 \text{ MHz}$ )。

50 Hz–20 MHz, (停止频率  $< 20 \text{ MHz}$ )。

实时频谱分析仪模式:

100 Hz–10 MHz, 15 MHz (RF);

20 MHz (基带)。

时域和解调模式:

跨度 (Span) = 0 Hz (在第二个分析窗口中同时支持 50 Hz – 15 MHz 跨度 (Span))。

分辨率 – 小于跨度的 0.2% (跨度 = 100 Hz – 10 MHz, 15 MHz, RSA3303A 和 RSA3308A)。

精度 –  $\pm$  跨度 (Span) 的 0.1%。

分辨率带宽

范围 – Hz–10 MHz, 自动选择或用户自定义。

精度 –  $6.0 \pm 0.1\%$  范围内。

形状特点 – 高斯,  $< 5:1$  形状系数

(3:60dB); 还可以选择矩形、Nyquist、Root Nyquist 形状。

FFT 性能

每帧采样点数 – 64–8192

(65536 个样点 / 帧, 扩展分辨率)。

窗口类型 – 矩形, Parzen, Welch, Sine-Lobe, Hanning, Sine-Cubed, Sine-To-The-4th, Hamming, Blackman, Rosenfield, Blackman-Harris 3A, Blackman-Harris 3B, Blackman-Harris 4A, Blackman-Harris 4B, FlatTopn。

稳定性

## ■ 边带噪声, dBc/Hz

偏置	RSA3303A, RSA3308A				RSA3308A	
	在 1 GHz CF 时		在 2 GHz CF 时		在 6 GHz CF 时	
	规范值	典型值	规范值	典型值	规范值	典型值
1 kHz	$\leq -100$	$\leq -103$	$\leq -96$	$\leq -99$	$\leq -87$	$\leq -90$
10 kHz	$\leq -105$	$\leq -108$	$\leq -104$	$\leq -107$	$\leq -104$	$\leq -107$
20 kHz	$\leq -105$	$\leq -108$	$\leq -105$	$\leq -108$	$\leq -105$	$\leq -108$
30 kHz	$\leq -105$	$\leq -108$	$\leq -105$	$\leq -108$	$\leq -105$	$\leq -108$
100 kHz	$\leq -112$	$\leq -115$	$\leq -112$	$\leq -115$	$\leq -112$	$\leq -115$
1 MHz	$\leq -132$	$\leq -135$	$\leq -132$	$\leq -135$	$\leq -128$	$\leq -131$
5 MHz	$\leq -135$	$\leq -138$	$\leq -135$	$\leq -138$	$\leq -130$	$\leq -133$
7 MHz	$\leq -135$	$\leq -138$	$\leq -135$	$\leq -138$	$\leq -130$	$\leq -133$

在 1 kHz RBW 时的剩余调频 –

RSA3303A 和 RSA3308A :  $2 \text{ Hz}_{P-P}$ 。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南

#### 时域

测试轨迹点数范围—跨度>50 Hz, 64 – 240001 (RBW 模式), 18– 240001 (FFT 模式)。  
跨度 = 0Hz (时间和解调模式)。  
RS3303A 和 RSA3308A – IQ 数据对: 1024 – 16384000, 1– 65536000 (选项02); 功率与时间关系: 1–512000。

触发—RS3303A 和 RSA3308A: 自由运行, 单次触发, 外部触发, IF 电平触发(15 MHz 带宽)。  
选项02: 增加功率触发(跨度带宽, 跨度<15 MHz) 和频率模板触发。

频率模板触发(实时频谱分析模式), RSA3303A 和 RSA3308A, 带有选项02

带— 15 MHz 以下: 起始频率 ≥ 20 MHz。

20 MHz 以下: 起始频率<20 MHz., 和基带 IQ 输入模式。

事件检测带宽— ≤ 5 MHz (100% 侦听概率, 信号至少占用一个完整的 ≥ 160 μs 的帧长度)。  
10 MHz (50% 侦听概率, 信号至少占用一个完整的 80 μs 的帧长度) (典型值)。  
15/20 MHz (25% 侦听概率, 信号至少占用一个完整的 40 μs 的帧长度) (典型值)。

频率模板范围—从参考电平起 0 – -6 格, 10 dB/ 格。  
模板形状— 用户自定义。

最小水平模板设置分辨率—小于跨度的 0.2%。

不确定性— ± 2 帧。

#### 幅度指标

量程— 显示的平均噪声电平到 MAX 安全输入。

输入衰减器范围— RSA3303A:

0–50 dB, 2 dB 步进, DC–3.0 GHz。

RSA3308A:

0–50 dB, 2 dB 步进, DC–3.0 GHz。

0–50 dB, 10 dB 步进, 3.5–8.0 GHz。

#### ■ 显示平均噪声电平(DANL)

频率 RSA3303A, RSA3308A, RSA3303A, RSA3308A  
规范值, dBm 典型值, dBm,  
带有前置放大器

频率	规范值, dBm	典型值, dBm
1 kHz – 10 kHz	-144	N/A
10 kHz – 10 MHz	-151	N/A
10 MHz – 100 MHz	-151	N/A
100 MHz – 1 GHz	-151	-164
1 GHz – 2 GHz	-150	-164
2 GHz – 3 GHz	-150	-158
3 GHz – 5 GHz	-142 <sup>3</sup>	N/A
5 GHz – 8 GHz	-142 <sup>3</sup>	N/A

对数显示范围— 10 μdB/ 格 – 10 dB/ 格。

线性显示标度— 10 格。

线性显示单位— 对 FM 解调为 dBm, dBμV, V, W + Hz; 对 PM 解调为度。

标记读出分辨率, 对数— 0.01 dB。

标记读出分辨率, 线性— 0.001 μV。

#### 频率响应

##### ■ RSA3303A, RSA3308A

频率范围	规范值, dB	典型值, dB
100 Hz – 20 MHz	± 0.5	± 0.3
15 MHz – 3 GHz	± 1.2	± 0.5
3 GHz – 3.5 GHz <sup>3</sup>	± 1.7	± 0.5
3.5 GHz – 6.5 GHz <sup>3</sup>	± 1.7	± 1.0
5 GHz – 8 GHz <sup>3</sup>	± 1.7	± 1.0

<sup>3</sup> 仅 RSA3308A。

最大安全输入电平—平均连续输入电平:

+30 dBm (RF ATT ≥ 10 dB)。

峰值脉冲功率:

+30 dBm (RF ATT ≥ 10 dB)。

直流:

RSA3303A, RSA3308A:

± 0.2V (CF ≥ 20 MHz);

± 5V DC – 20 MHz。



**输入衰减切换不确定度(在 50 MHz 时)—**

对所有衰减值 < 0.5 dB。

**IQ 输入衰减器范围— RSA3303A 选项 03 和 RSA3308A**

选项 03: 0–30 dB, 10 dB 步进。

**IQ 输入衰减器切换不确定度— RSA3303A 选项 03 和**

RSA3308A 选项 03; 对所有衰减值 < 0.5 dB。

**绝对幅度不确定性— 在参考设置上: 在 50 MHz CF, –20**

dBm 信号, 0 dB ATT, 20°C–30°C 时 ± 0.5 dB (RF); 在 10 MHz CF, –20 dBm 信号, 0 dB ATT, 20°C–30°C 时 ± 0.3 dB (基带)。整体幅度精度: ± 0.7 dB (RF) + 频响。

**■ RF 输入 VSWR**

**频率范围**            **VSWR, 在 10 dB RF 衰减时, 典型值**

300 kHz – 10 MHz <sup>*4</sup>	< 1.4
10 MHz – 3 GHz	< 1.3
3 GHz – 8 GHz <sup>*4</sup>	< 1.4

<sup>\*4</sup> RSA3308A 和 RSA3308A。

**杂散响应****三阶互调失真—****100 MHz – 3 GHz:**

RSA3303A, RSA3308A:

<–74 dBc (参考电平 = +5 dBm, RF 衰减 = 20 dB, 总信号功率 = –7 dBm, 信号隔离 300 kHz)。

**3 GHz – 8 GHz:**

RSA3308A:

<–72 dBc (参考电平 = +5 dBm, RF 衰减 = 20 dB, 总信号功率 = –7 dBm, 信号隔离 300 kHz)。

**其它输入相关杂散信号—**

>30 kHz 偏移 – 70 dBc (跨度 = 2 MHz, 参考电平 = 0 dBm, RBW = 50 kHz, 信号电平 = –5 dBm, 任意中心频率)。

**非输入相关杂散信号—**

(参考电平 = –30 dBm, RBW = 100 kHz, 跨度 = 3 GHz)

RSA3303A – 1 MHz – 20 MHz : –93 dBm。

20 MHz – 3 GHz : –90 dBm。

RSA3308A – 1 MHz – 20 MHz : –93 dBm。

20 MHz – 3.5 GHz : –90 dBm。

3.5 GHz – 8 GHz : –85 dBm。

**1 dB 增益压缩**

RSA3303A, RSA3308A – +2 dBm (RF ATT = 0 dB, 2 GHz)。

分辨率带宽切换不稳定性 – 1 Hz–10 MHz: ± 0.05 dB。

参考电平 – 范围: –51 到 +30 dBm。

分辨率: 1 dB。

精度: 在 50 MHz 时 ± 0.2 dB

(–10 dBm 到 –50 dBm)。

显示标度保真度 – 对数标度(最大累积), >0 dB– 50 dB:

< ± 0.2 dB; < ± 0.12 dB, 在 0 dBm

参考电平时的典型值。

线性标度: 参考电平的 ± 0.2%。

线性标度到对数标度切换不确定性: 0.05%。

幅度参考输出: –20 dBm, 50 MHz, 内部切换到输入。

**无缝捕获和处理**

内存深度(样点)— RSA3303A 和 RSA3308A: 16.384 M

样点, 65.536 M 样点(选项 02)。

**实时捕获带宽(无缝数据捕获)—**

RSA3303A 和 RSA3308A: 15 MHz (rf); 20 MHz, DC–20 MHz (基带); 10 MHz, IQ 输入(选项 03)。

每个帧的数据样点数量 (实时 S/A 模式)— 1024。

块长度 (帧数)— RSA3303A 和 RSA3308A: 1–16000;

1–64000 (选项 02)。

最大 A/D 取样速率和分辨率 – 51.2 M 样点 / 秒, 14 位。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南

#### ■ 内存深度(时间) – RSA3303A 和 RSA3308A

跨度	采样率	记录长度	记录长度	频谱帧时间 (选项 02)
20 MHz (基带)	25.6 MS/s	0.64 s	2.56 s	40 $\mu$ s
15 MHz	25.6 MS/s	0.64 s	2.56 s	40 $\mu$ s
10 MHz	12.8 MS/s	1.28 s	5.12 s	80 $\mu$ s
5 MHz	6.4 MS/s	2.56 s	10.24 s	160 $\mu$ s
2 MHz	3.2 MS/s	5.12 s	20.48 s	320 $\mu$ s
1 MHz	1.6 MS/s	10.24 s	40.96 s	640 $\mu$ s
500 kHz	800 MS/s	20.48 s	81.92 s	1.280 ms
200 kHz	320 MS/s	51.20 s	200.48 s	3.2 ms
100 kHz	160 ksps	102.40 s	409.60 s	6.4 ms
50 kHz	80 ksps	204.80 s	819.20 s	12.8 ms
20 kHz	32 ksps	512 s	2048 s	32 ms
10 kHz	16 ksps	1024 s	4096 s	64 ms
5 kHz	8 ksps	2048 s	8192 s	128 ms
2 kHz	3.2 ksps	5120 s	20480 s	320 ms
1 kHz	1.6 ksps	10240 s	40960 s	640 ms
500 Hz	800 sps	20480 s	81920 s	1.28 s
200 Hz	320 sps	51200 s	204800 s	2.56 s
100 Hz	160 sps	102400 s	409600 s	5.12 s

#### 测量速度

屏幕刷新率— 38/秒, (SA 模式, 2 MHz 跨度(Span), 128 点 FFT)。

35/秒, (SA 模式, 2 MHz 跨度(Span), 1024 点 FFT)。

远程测量速率和 GPIB 传送速率—

在 2 MHz 跨度自动 RBW 频谱数据上时, 7000 样点/秒。

以太网传送速率— 2.6 Mb/s (256 MB IQT 文件传送)。

RF 中心频率切换时间— 对 10 MHz 频率范围 < 10 ms; 对 3 GHz 频率范围 < 500 ms。

#### 轨迹、画面显示、检波器

轨迹— 2 条轨迹, 普通频谱分析仪模式。

显示— 最多 3 个时间相关的显示, 用户可以从下面进行选择: 频谱, 时频图, 幅度与时间关系, 频率与时间关系, 相位与时间关系, IQ 与时间关系。

RSA3303A 选项 21 和 RSA3308A 选项 21 增加: 星座图, EVS 与时间关系, 符号表, 眼图。

检波器— RMS (均方根值检波)。

轨迹类型— 正常(RMS), 均值, 最大保持, 最小保持。

显示检测— 最大, 最小, 最大/最小。

#### 输入和输出

前面板

输入— 50 欧姆, N 型。

前置放大器电源— 标准 RSA3303A 和 RSA3308 标配:

LEMO 6 针连接器— 针脚 1, NC; 针脚 2, ID1; 针脚 3, ID2; 针脚 4, -12 V; 针脚 5, GND; 针脚 6, +12V。

后面板—

10 MHz 参考输出— 50 欧姆, BNC, > -3 dBm。

10 MHz 参考输入— 50 欧姆, BNC, -10 dBm 到 +6 dBm。

-I, +I, -Q, +Q 输入— RSA3303A 带有选项 03, RSA3308A 带有选项 03。

外部触发输入— 外部触发 BNC, 高: 1.6 – 5.0 V, 低: 0 – 0.5 V。

GPIB 接口— IEEE 488。

触发输出— 50 欧姆, BNC, 高: > 2.0 V, 低: < 0.4 V (输出电流 1 mA)。

侧面板

局域网接口(以太网)— 10/100Base-T (标配)。

串行接口— USB 1.1, 2 端口。

VGA 输出— 兼容 VGA, 15 针 D-Sub 连接器。

#### 自动测量

自动测量— 信道功率, ACPR(临道功率比), 载波噪声比, 占用带宽, 载波频率, 辐射带宽, 杂散信号搜索, CCDF, dB/Hz 标记, dBc/Hz 标记。

#### 前置放大器

(RSA3300A 系列选项 1A, 外置)

频率范围— 100 MHz– 3 GHz。

增益— 20 dB。

噪声系数— 在 2 GHz 时 6.5 dB。

**调制分析****FM (可以用来评估 FSK 信号)**

最小输入电平 – -40 dBfs<sup>5</sup>, 典型值。

范围 – 0.8 Hz– 12.8 MHz。

精度 – 跨度的 ± 1%(位于中心屏幕的信号, 输入电平 – 10 dBfs<sup>5</sup>)。

**AM (可以用来评估 ASK 信号)**

最小输入电平 – -40 dBfs<sup>5</sup>, 典型值。

精度 – ± 2% (位于中心屏幕的信号, 输入电平 – 10 dBfs<sup>5</sup>, 10% – 60% 的调制深度)。

**PM**

最小输入电平 – -40 dBfs<sup>5</sup>, 典型值。

精度 – ± 3° (位于中心屏幕的信号, -10 dBfs<sup>5</sup>)。

PM 标度, 最大, 最小 – ± 180°。

<sup>5</sup> dBfs = 相对于全屏参考电平的 dB 值。

**数字解调精度**

下表说明了典型的数字解调精度实例:

**■ EVM (%), 典型值**

码速率, 每秒	100 k			1 M			4 M			10 M		
	QPSK	$\pi/4$ DQPSK	16QAM	QPSK	$\pi/4$ DQPSK	16QAM	QPSK	$\pi/4$ DQPSK	16QAM	QPSK	$\pi/4$ DQPSK	16QAM
CF = 1 GHz	0.5	0.6	0.9	0.5	0.6	0.5	1.2	1.2	1.2	2.7	2.7	2.2
CF = 2 GHz	0.5	0.6	0.9	0.5	0.6	0.5	1.2	1.2	1.2	2.7	2.7	2.2
CF = 3 GHz	0.7	0.7	0.9	0.7	0.7	0.5	1.5	1.5	1.2	2.9	2.9	2.5
CF = 5 GHz <sup>3</sup>	0.7	0.7	0.9	0.7	0.7	0.5	1.5	1.5	1.2	3.0	3.0	2.5

<sup>3</sup> 仅 RSA3308A。

**数字调制****(RSA3303A 选项 21,****RSA3308A 选项 21)**

调制格式 – BPSK, QPSK,  $\pi/4$  DQPSK, 8PSK, 16QAM, 32QAM, 64QAM, 256QAM, GMSK, GFSK。

分析周期 – 最多 7680 个样点。

滤波器类型 – 测量滤波器: 升余弦平方根, 无。

参考滤波器: 升余弦, 高斯, 无。

Alpha/B\*T 范围 – 0.0001–1, 步进 0.0001。

最大码率 – 12.8 M 个码 / 秒。

最小码率 – 100 个码 / 秒(典型值)。

**矢量显示格式****极性 –**

星座 – 在码时间上显示数据。

矢量 – 在码之间显示 X 点到 Y 点。

**IQ 与时间关系 –**

I, Q – 分析窗口上连续 IQ 与时间关系。

格子图 – 可以调节, 1–16 个码。

眼图 – 可以调节, 1–16 个码。

误差测量与时间关系 – EVM, 幅度误差, 相位误差。

误差测量 – 波形质量(p), 频率误差测量, 原点偏移测量。

码表 – 二进制, 十进制, 十六进制。

**通用指标**

温度范围 – 工作温度: +10°C 到 +40°C。

储藏温度: -20°C 到 +60°C。

预热时间 – 20 分钟。

安全和电磁兼容能力 –

UL61010-1; CSA C22.2. No. 1010.1。

欧共体低压法规(LVD)73/23/EEC, 附录 93/68/EEC。

欧共体 EMC 法规 89/336/EEC, 附录 93/68/EEC。

功率要求 – 100 VAC–240 VAC, 47 Hz–63 Hz。

功耗 – 最大 350 VA。

数据存储 – 内置硬驱(20 GB) + USB 端口 + 软驱。

重量, 没有选件时 – 19 公斤。

外观尺寸 –

不带保险杠和支脚: 215 毫米(高) X 425 毫米(厚) X 425 毫米(宽)。

带保险杠和支脚: 238 毫米(高) X 470 毫米(厚) X 445 毫米(宽)。

校准间隔 – 1 年。

保修 – 1 年。

## 应用案例集—综合应用

### ■ 应用指南

### ■ 订货信息

#### **RSA3303A**

实时频谱分析仪，DC– 3 GHz。

#### **RSA3308A**

实时频谱分析仪，DC – 8 GHz。

#### **标准配件**

用户手册，编程人员手册，电源线，USB 键盘，USB 鼠标，BNC–N 适配器。

#### **选件**

选件 1R — 机架安装。

选件 1A — 外置前置放大器，20 dB 增益，3 GHz。

选件 02 — 256 MB 数据存储器，带有频率模板触发与功率触发。

选件 03 — 差分 IQ 输入。

选件 21 — 通用数字调制分析。

#### **升级**

选项 RSA3UP 21 — 通用数字调制分析升级 (可以由客户安装)。

选项 RSA3UP IF — RSA3UP 21 安装使用。

### **国际电源插头选项**

选项 A0 — 北美电源插头。

选项 A1 — 通用欧洲电源插头。

选项 A2 — 英国电源插头。

选项 A3 — 澳大利亚电源插头。

选项 A4 — 北美 240 V 电源插头。

选项 A5 — 瑞士插头电源插头

选项 A6 — 日本电源插头。

选项 10 — 中国电源插头。

选项 A99 — 不带电源线或交流适配器。

### **语言选项**

选项 L0 — 英语用户 / 编程人员手册。

选项 L5 — 日语用户 / 编程人员手册。

### **服务选项**

选项 C3 — 三年校准服务

选项 C3 — 五年校准服务

选项 D1 — 校准数据报告

选项 D3 — 三年校准数据报告

(要求选项 C3)

选项 D5 — 五年校准数据报告

(要求选项 C5)

选项 R3 — 三年修理服务

选项 R5 — 五年修理服务

**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**  
武汉市武昌区武珞路558号  
中南花园饭店将军楼4201室  
邮编: 430070  
电话: (86 27) 8781 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