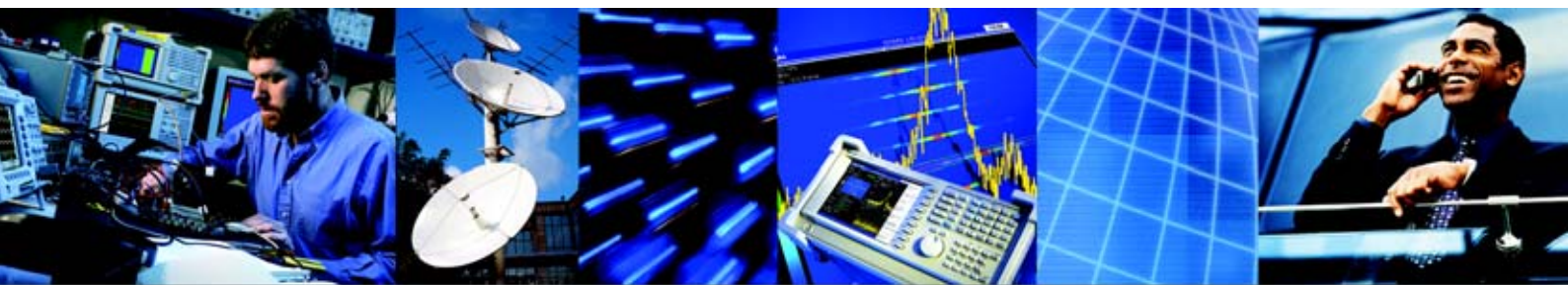


# 实时频谱分析

## 基础知识



目录

第一章：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.....4

实时频谱分析仪的主要概念.....5

    样点、帧和块.....5

    实时触发.....6

    无缝捕获和频谱图.....7

    时间相关的多域分析.....7

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

第3章：实时频谱分析仪测量.....22

频域测量.....22

    实时频谱分析仪.....22

    标准频谱分析仪模式.....23

    带频谱图的频谱分析仪模式.....23

时域测量.....23

    频率随时间变化.....23

    功率随时间变化.....25

    互补累积分布函数.....25

    I/Q 随时间变化.....26

调制域测量.....26

    模拟调制分析.....26

    数字调制分析.....27

    基于标准的调制分析.....28

    码域图显示.....28

第4章：常见问题.....30

第5章 词汇表.....36

    参考缩略语.....38

# 实时频谱分析基础知识

## ► 应用指南

### 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

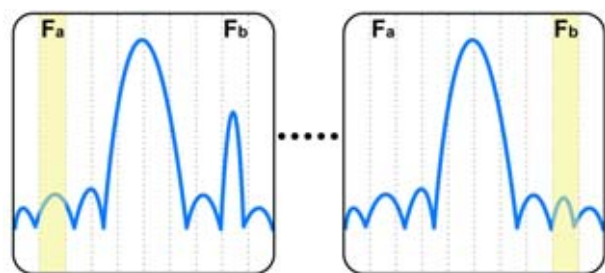
送到相邻频率通道中，对在不同传输模式之间切换、并保持同步链接不同网元的复杂多标准设备来说，这一点尤其具有挑战性。在无需执照的频段中工作的比较简单的设备，也必须设计成在存在干扰信号时能够正确运行，政府法规通常规定，这些设备只允许以低功率在短脉冲中传输信号。

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时事件，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

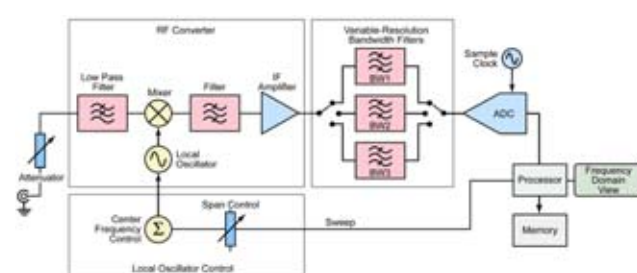
每种测量都涉及随时间变化的RF信号，这些信号通常是不可预测的。为有效检定这些信号的特点，工程师需要一种工具，这种工具要能够触发已知事件或不可预测的事件，无缝捕获信号，把信号存储在内存中，分析频率、幅度和调制参数在不同时间上的特点。

## 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

扫描调试的超外差频谱仪是几十年前第一个使工程师能够进行频域测量的传统结构。扫频频谱分析仪最初是使用纯模拟器件构建的，之后一直随着其服务的应用不断发展。当前一代扫频频谱分析仪包括各种数字单元，如ADC、DSP和微处理器。但是，基本扫描方法在很大程度



**图1-2：**典型的扫频分析仪结构。

上保持不变，其最适合观测受控的静态信号。

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。尽管这种方法可以提供很高的动态范围，但其缺点在于，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。

如果信号迅速变化，那么在统计上可能会漏掉变化。如图1-1所示，扫描查看频段 $F_a$ ，而在 $F_b$  (左图)上发生了一个瞬时频谱事件。在扫描到达频段 $F_b$ 时，事件已经消失，没有检测到事件(右图)。频谱分析仪没有提供触发这个瞬时信号的方式，也不能存储全面的信号在不同时间上的行为记录。

图1-2说明了典型的现代扫描频谱分析仪结构。它采用数字技术替换较窄的滤波器，而不用继承下来的模拟分辨率带宽(RBW)滤波器。对 $BW_1$ 、 $BW_2$ 或 $BW_3$ 范围内的带宽，ADC之前的滤波、混频和放大都是模拟处理。在需要窄于“BW3”的滤波器时，将在模数转换之后的步骤中通过数字信号处理(DSP)进行滤波。

## 实时频谱分析基础知识

### ► 应用指南

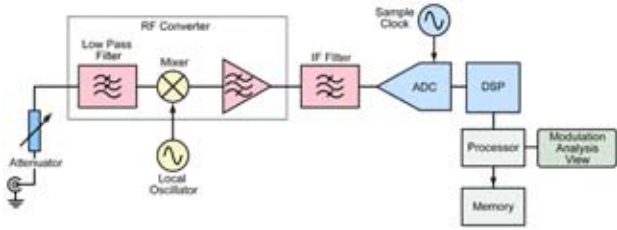


图 1-3: 典型的矢量信号分析仪结构。

ADC和DSP的工作要更加苛刻。ADC中的非线性度和噪声是一个挑战，尽管其可以消除纯模拟频谱分析仪中可能发生的某些类型的错误。

### 矢量信号分析仪：数字调制分析

传统扫频分析进行标量测量，只提供与输入信号的幅度有关的信息。分析承载数字调制的信号要求同时提供幅度和相位信息的矢量测量。矢量信号分析仪是为进行数字调制分析专门设计的工具。图1-3是简化的VSA方框图。

VSA是为进行调制测量而优化的。与下一节中介绍的实时频谱分析仪一样，VSA对仪器传输频带中的所有RF能量进行数字化，以提取测量数字调制要求的幅度和相位信息。但是，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，因此很难或不可能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，触发功能一般局限于IF电平触发器和外部触发器。

在VSA内部，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的线性度和动态范围对仪器的性能至关重要。同样重要的是，还必须有足够的DSP处理能力，以能够进行快速测量。

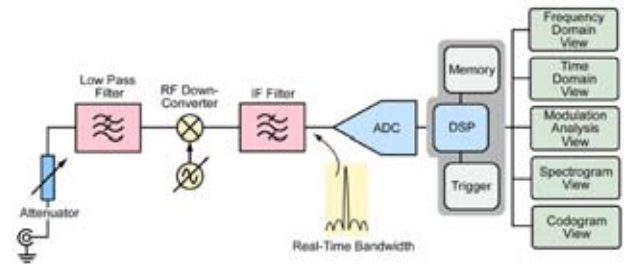


图 1-4: 典型的实时频谱分析仪结构。

VSA测量矢量幅度误差 (EVM)等调制参数，提供星座图等其它显示。通常使用独立式VSA完善传统扫频频谱分析仪的功能。此外，许多现代仪器采用的结构可以同时实现扫频分析仪和VSA功能，在一个产品中提供不相关的频域测量和调制域测量。

### 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。

图1-4说明了RTSA结构简化的方框图。(第二章中提供了更详细的示意图和电路说明。)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到固定IF，固定IF与RTSA的最大实时带宽有关。然后ADC对信号进行滤波、数字化，然后传送到DSP引擎上，DSP引擎负责管理仪器的触发、内存和分析功能。尽管这个方框图的各个要素和采集过程与VSA结构类似，但RTSA经过专门优化，提供了实时触发、无缝信号捕获和时间相关多域分析功能。此外，ADC的技术进步可以实现高动态范围和低噪声转换，使RTSA的性能相当于或超过许多扫频频谱分析仪的基本RF性能。

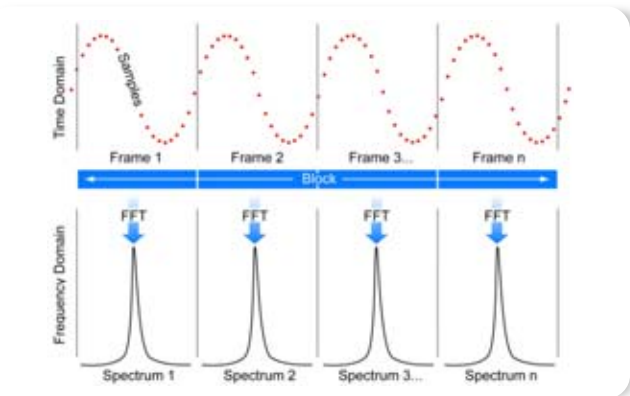


图 1-5：样点、帧和块：RSA 的内存层级。

对小于等于实时带宽的测量跨度,通过数字化RF信号,并把时间连续的样点存储在内存中,RTSA结构能够无缝地捕获没有时间间隔的输入信号。这较扫频频谱分析仪的采集过程有多种优势,因为扫频频谱分析仪通过连续扫描频率跨度,构建频域图像。本文其余部分将详细讨论这些优势。

## 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

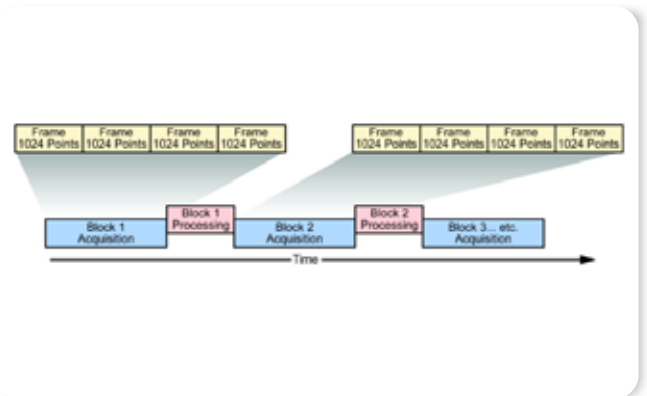


图 1-6：实时频谱分析仪块采集和处理。

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



## 实时频谱分析基础知识

### ► 应用指南

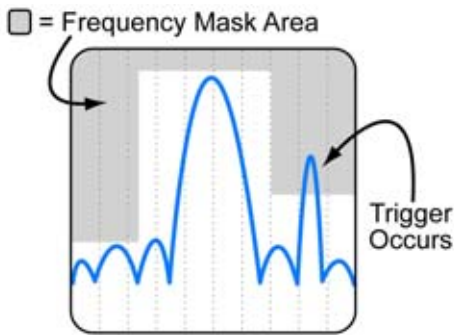


图1-7：采用频率模板的实时频域触发。

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，因此块包含整数帧数。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。

### 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。

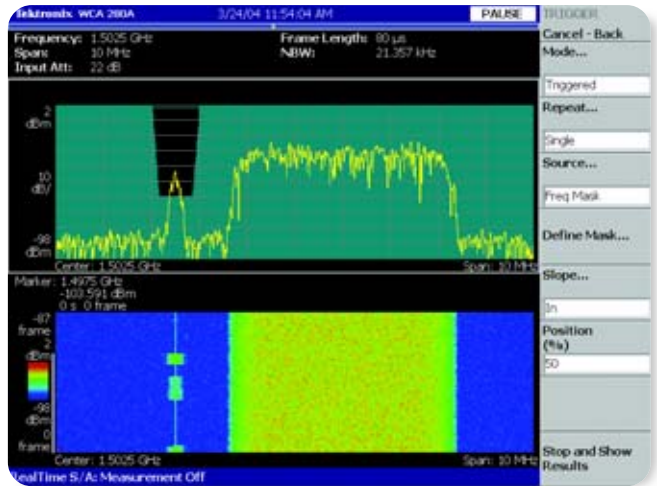


图1-8：使用频率模板，在存在大的信号时触发低电平脉冲。

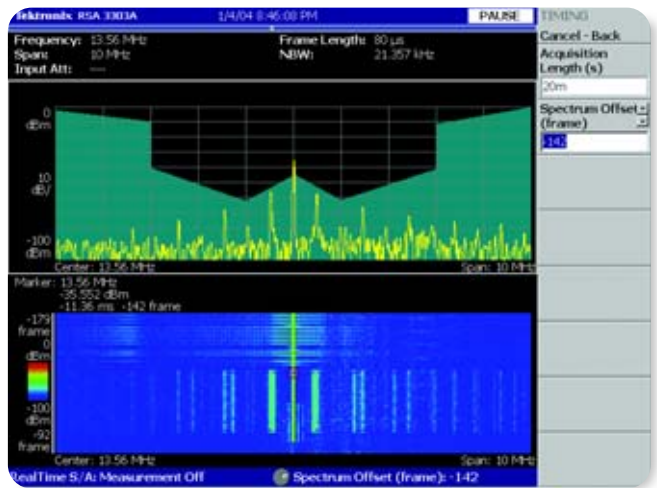


图1-9：使用频率模板，在拥挤的频谱环境中触发特定信号。

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(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)。

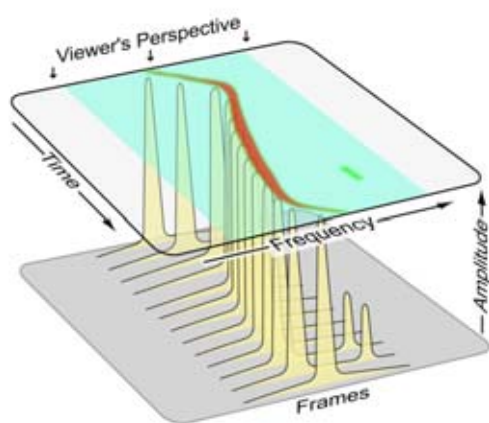


图 1-10：频谱图显示。

### 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。

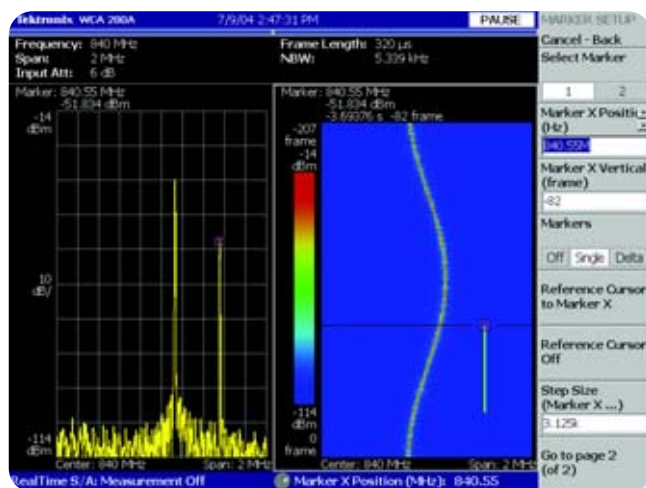


图 1-11：时间相关的多个视图：功率与频率关系图(左)和频谱图(右)。

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。



## 实时频谱分析基础知识

### ► 应用指南

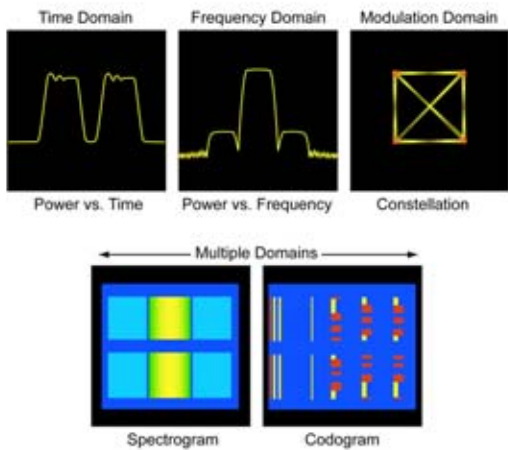


图 1-12: RTSA 上提供的多个时间相关测量项目图。

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频谱图。图 1-11 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 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。

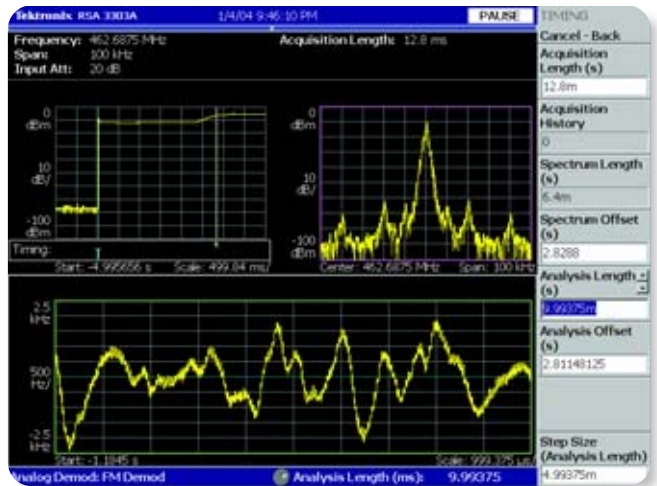


图 1-13: 显示功率随时间变化、功率与频率关系及 FM 解调的多域图。



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。



## 实时频谱分析基础知识

### ► 应用指南

## 第2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。

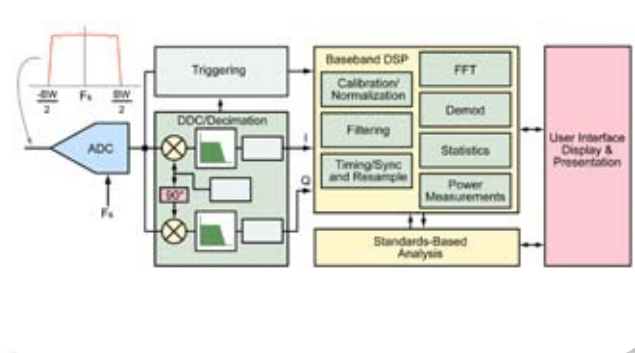


图2-1：实时频谱分析仪数字信号处理方框图。

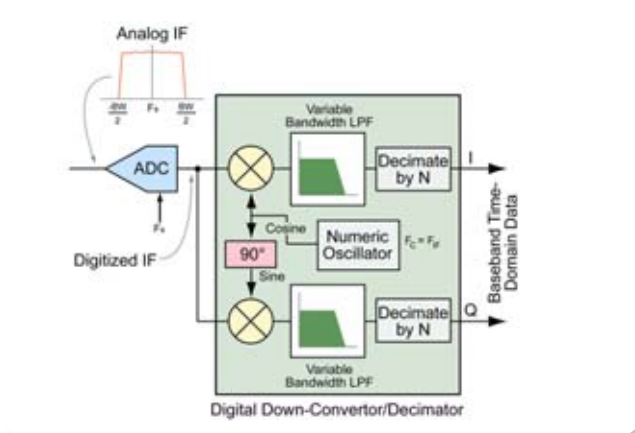


图2-2：数字下变频器方框图。

## 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。

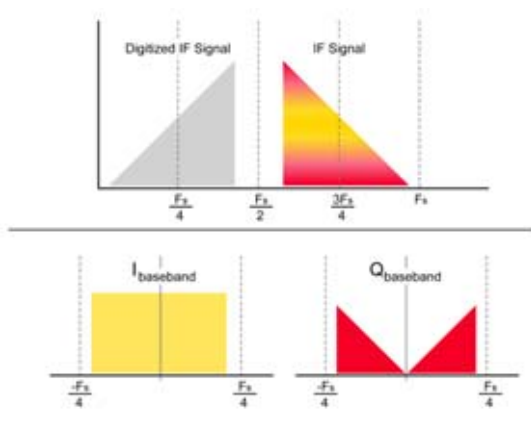


图2-3: 即使只是取样速率的一半, I 和 Q 仍保持传输频带信息。

## 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，在原点两边对称。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。

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

表 2-1: 选择的跨度、采样和有效取样速率。  
(泰克 RSA3300A 系列和 WCA200A 系列)

## 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 章的常见问答中更详细地进行了讨论，并提供了更多的实例。

# 实时频谱分析基础知识

## ► 应用指南

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
对时域的影响		
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
对频域的影响		
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

表 2-2：改变跨度设置对时域和频域的影响比较。(泰克 RSA3300A 系列和 WCA200A 系列)

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。

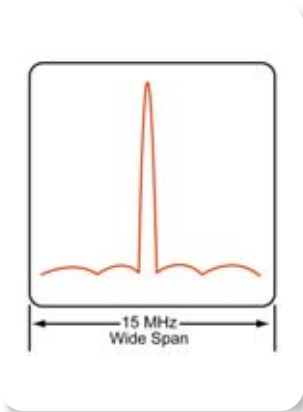


图 2-4：宽捕获带宽实例。

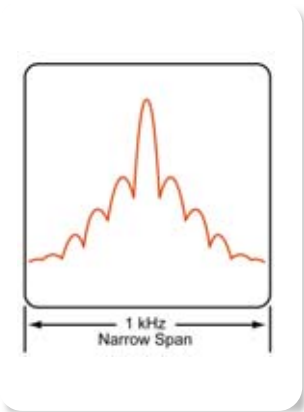


图 2-5：窄捕获带宽实例。

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。



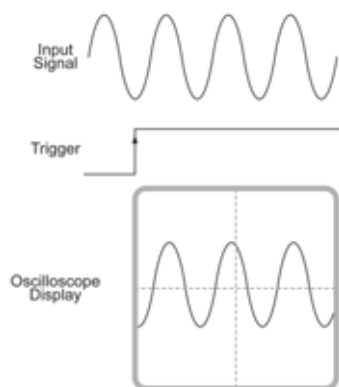


图 2-6：传统示波器触发。

### 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。

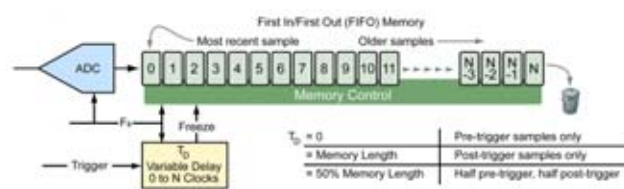


图 2-7：数字采集系统中的触发技术。

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。

实时频谱分析基础知识

► 应用指南

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

表 2-3: RSA 触发源比较。

**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。

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

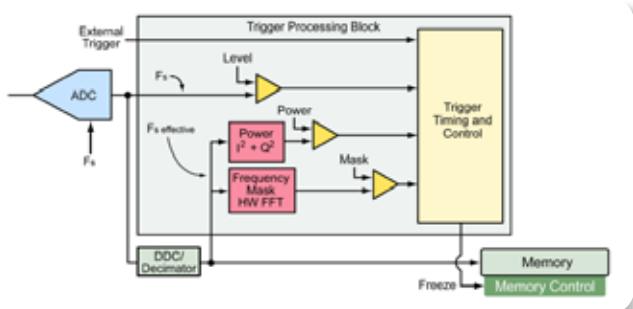


图 2-8：实时频谱分析仪触发处理。

间分辨率大约是一个 FFT 帧，或有效取样速率的 1024 个样点。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。可以设成在模板边界外面的信号“突入”边界时触发，也可以设置成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。

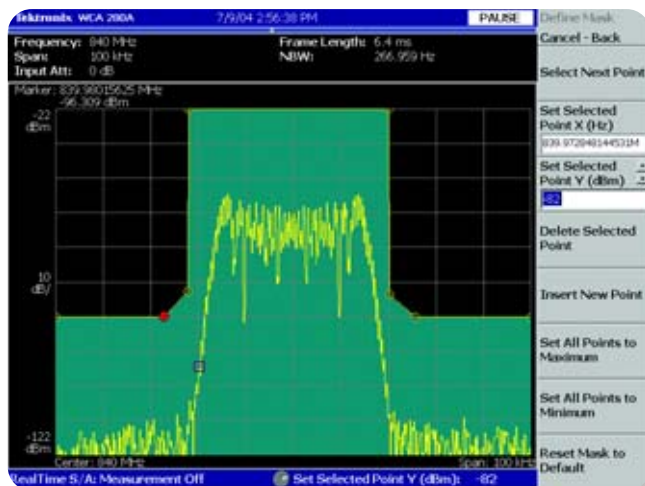


图 2-9：频率模板定义。

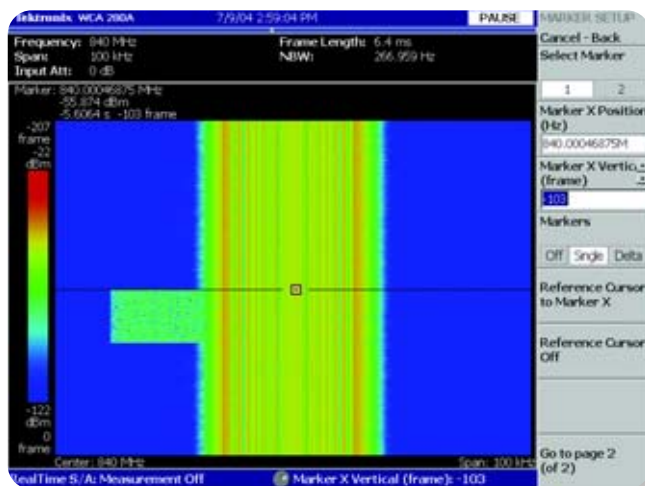


图 2-10：显示了与载波相邻的瞬时信号的频谱图。光标设在触发点上，因此光标线以上显示的是触发前的数据，光标线以下显示的是触发后的数据。蓝色区域左边的窄白线表明了触发后的数据。

## 实时频谱分析基础知识

### ► 应用指南

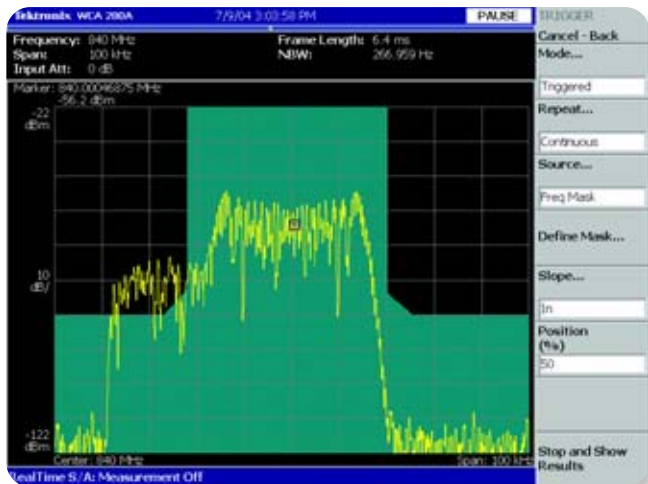


图2-11: 频谱图的一个帧, 显示了瞬时信号越过频率模板边界的瞬时事件。

### 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。

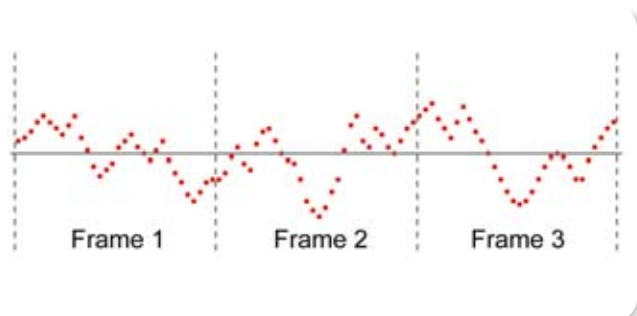


图2-12：取样的时域信号的两个帧。

### 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，把时域信号变换成频域频谱。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

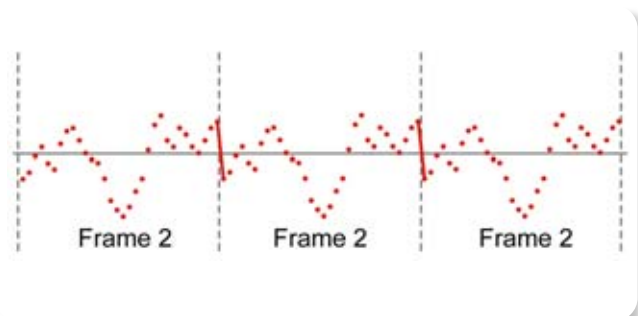


图2-13：单个帧中样点的周期扩展引起的不连续点。

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。



## 实时频谱分析基础知识

### ► 应用指南

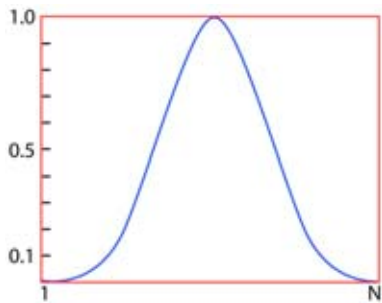


图 2-14：Blackman-Harris 4B (BH4B) 窗口轮廓。

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。

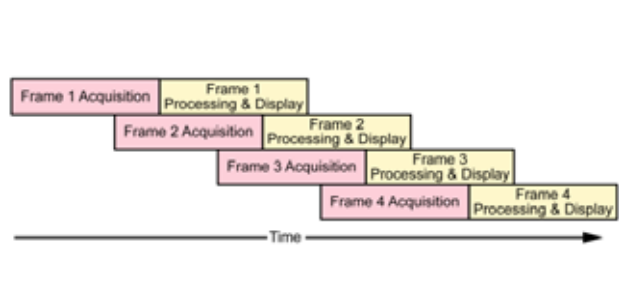


图 2-15：使用重叠帧采集、处理和显示信号。

### 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。

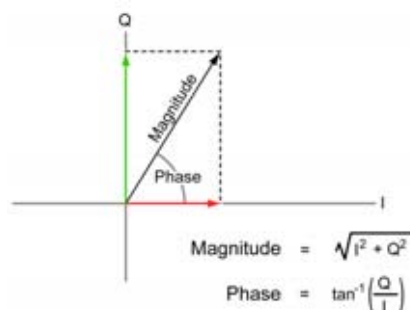


图 2-16：幅度和相位的矢量表示。

## 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。

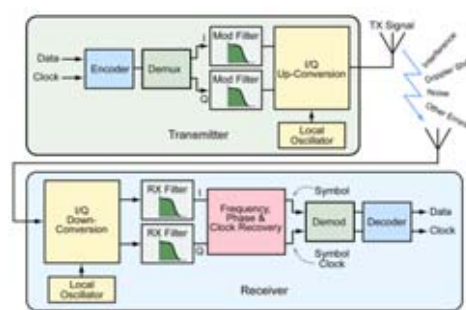


图 2-17：典型的数字通信系统。

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。

## 实时频谱分析基础知识

### ► 应用指南

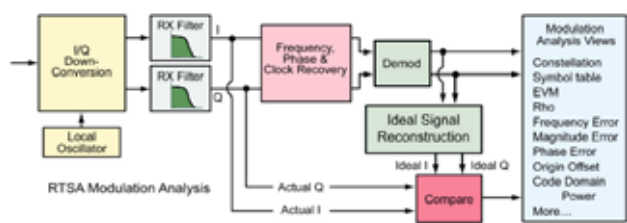


图 2-18：RSA 调制分析方框图。

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

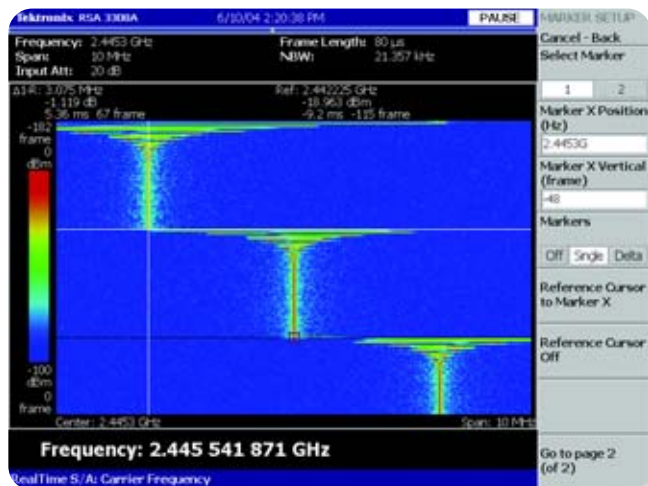
泰克 RSA 可以在频域和时域中进行功率测量。通过在规定时间内对频谱中的功率求积分，可以进行频域测量。可以使用许多基于标准的测量要求的通道滤波器，获得相应的通道功率。另外还可以使用校准和归一化参数，在所有规定条件下保持精度。

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。

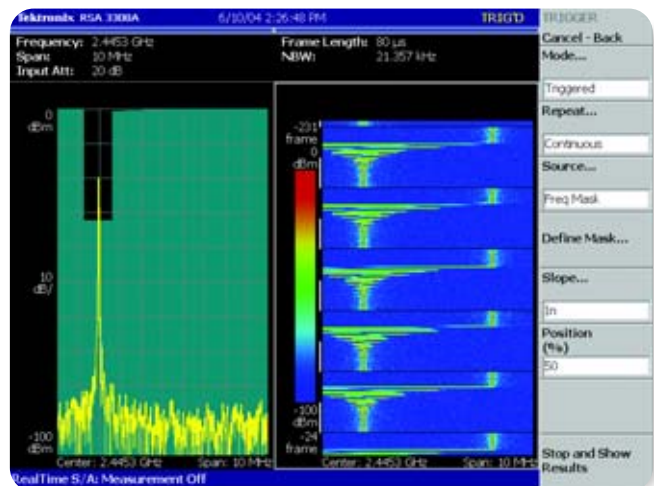


## 实时频谱分析基础知识

## ► 应用指南



**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。

### 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 系列和 WCA200A 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。



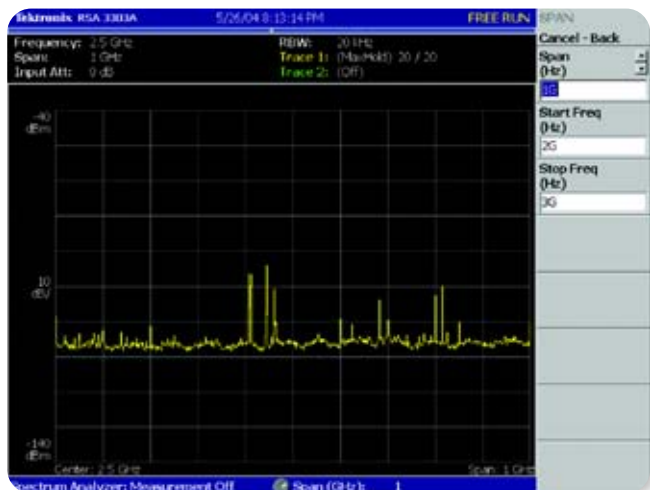


图3-3: 标准频谱分析仪模式, 显示了使用最大保持功能在1 GHz 频率跨度上进行的停播测量。

## 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

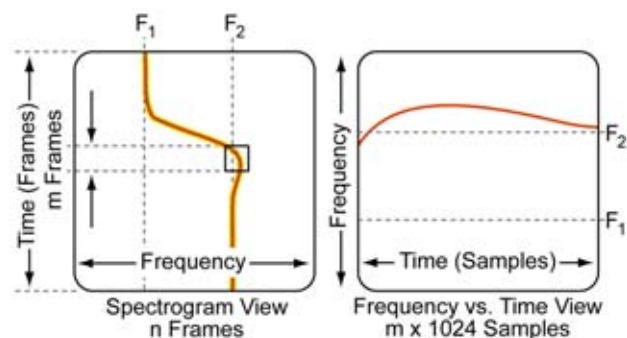


图3-4: 频谱图与频率随时间变化图比较。

别。第一, 频率随时间变化图的时域分辨率要远远好于频谱图, 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。

## 实时频谱分析基础知识

### ► 应用指南

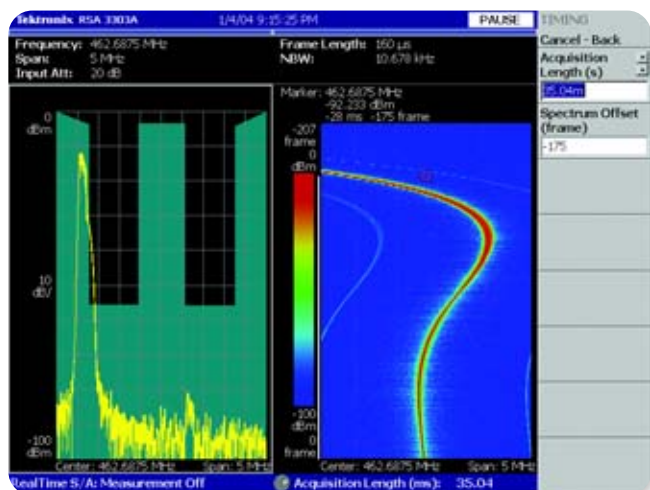


图 3-5：5 MHz 频率和 35 ms 时间上频率稳定的频谱图。

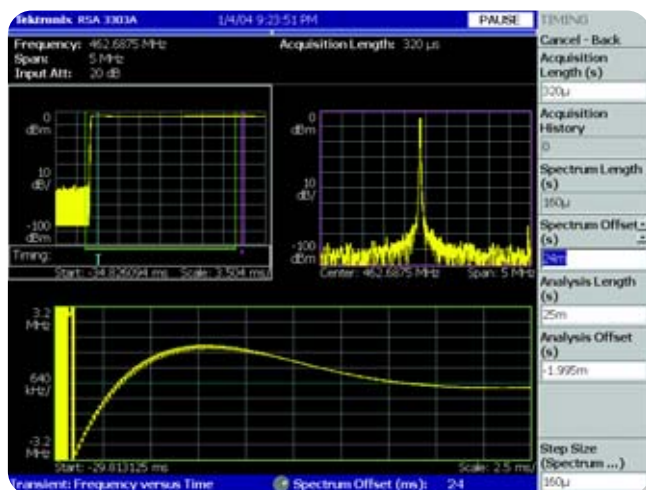


图 3-6：5 MHz 频率和 25 ms 时间上频率稳定的频率随时间变化图。

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。

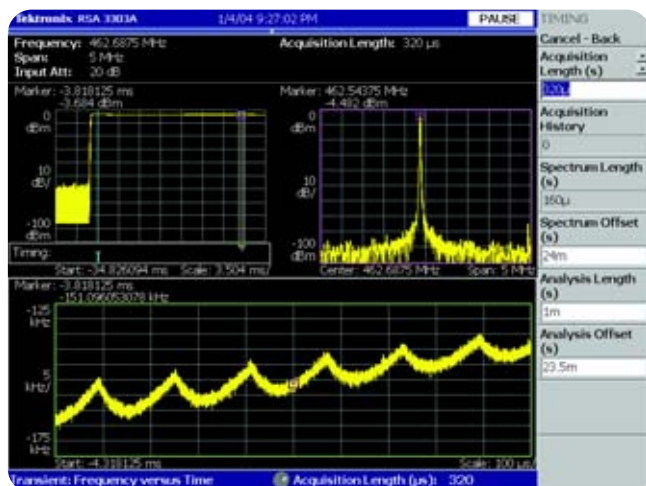


图 3-7：放大查看 50 kHz 频率和 1 ms 时间上的频率稳定情况。

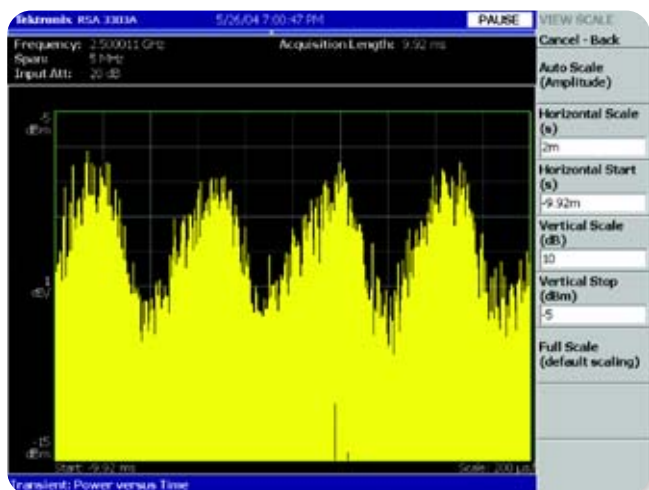


图 3-8：功率随时间变化显示。

## 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。

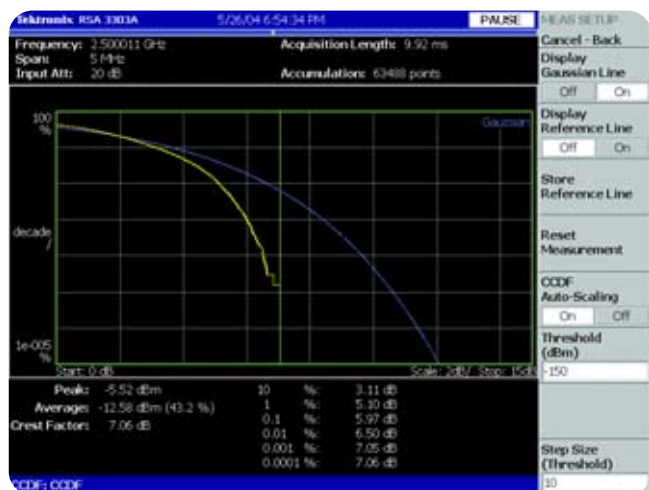


图 3-9：CCDF 测量。

## 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。

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 中所显示的 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。



## 实时频谱分析基础知识

### ► 应用指南

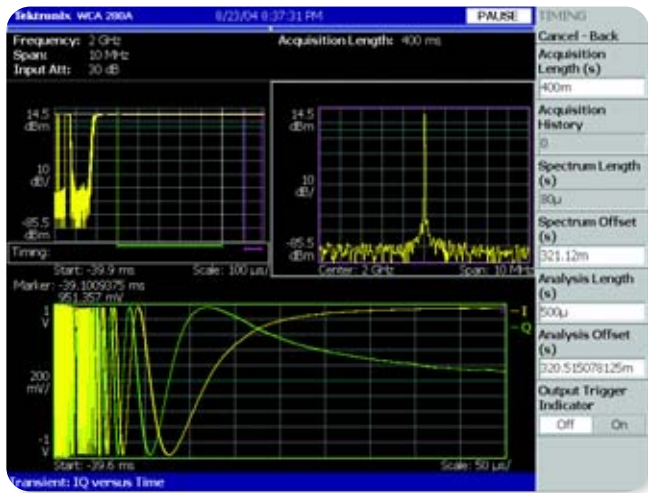


图3-10：稳定瞬变的I/Q随时间变化测量结果。

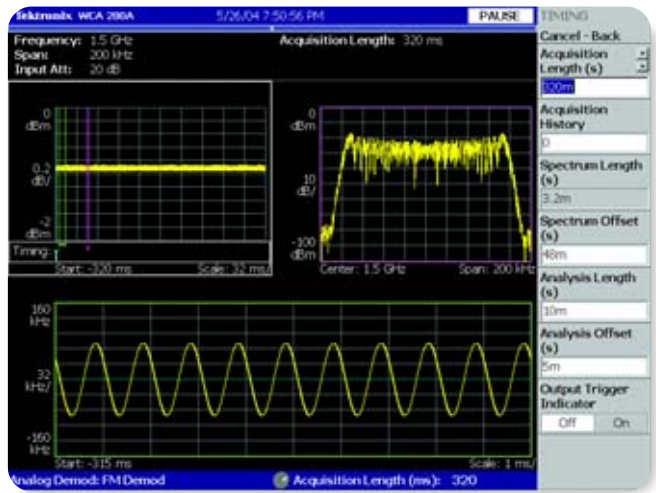


图3-12：正弦波调制的信号的FM解调分析。

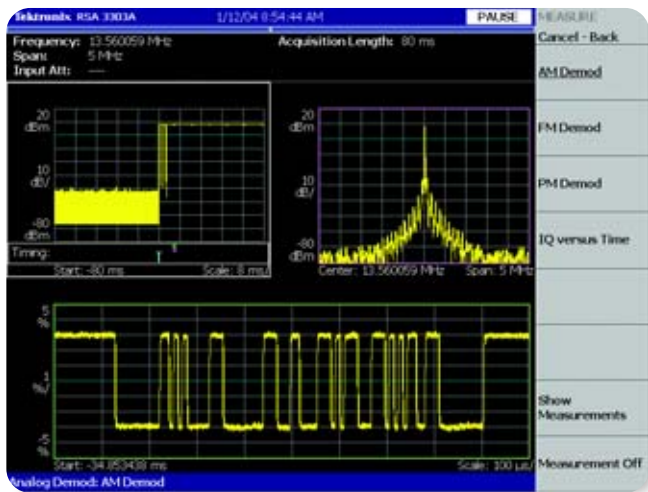


图3-11：使用幅度位移键控进行数据编码的脉冲式信号的AM解调分析。

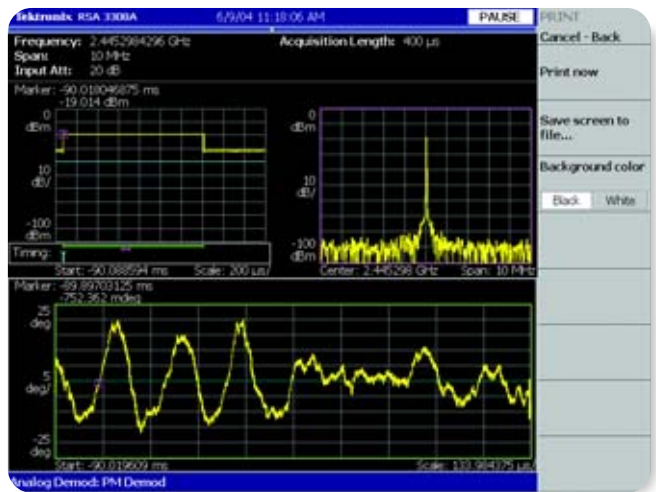


图3-13：PM解调分析，显示了长脉冲上的相位不稳定性。

### 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。

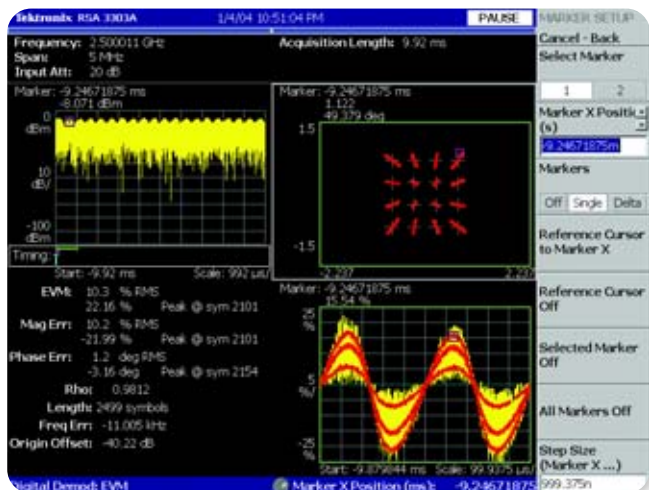


图3-14: 在16QAM信号测量期间进行EVM分析揭示了正弦曲线幅度失真。

## 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。

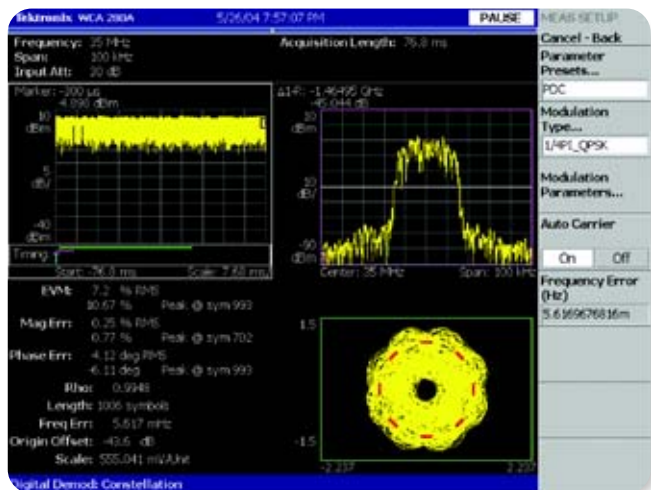


图3-15: 星座图,显示了PDC信号中的相位不稳定性。

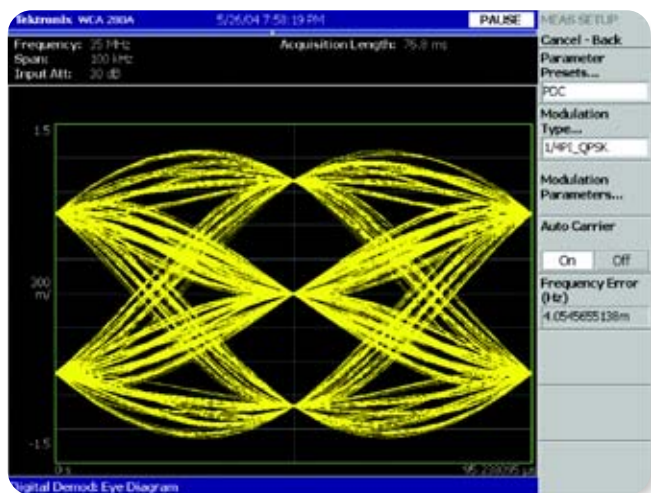


图3-16: 眼图显示,显示了PDC信号中的低幅度误差。



## 实时频谱分析基础知识

### ► 应用指南

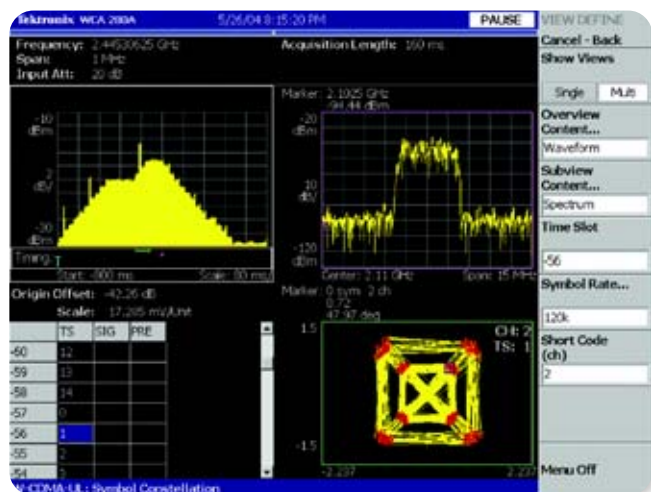


图3-17：在闭环功率控制下对W-CDMA进行调制分析。星座图（右下方）显示了与电平转换过程中发生的大的毛刺有关的误差，在功率随时间变化图（左上图）中可以看见大的毛刺。

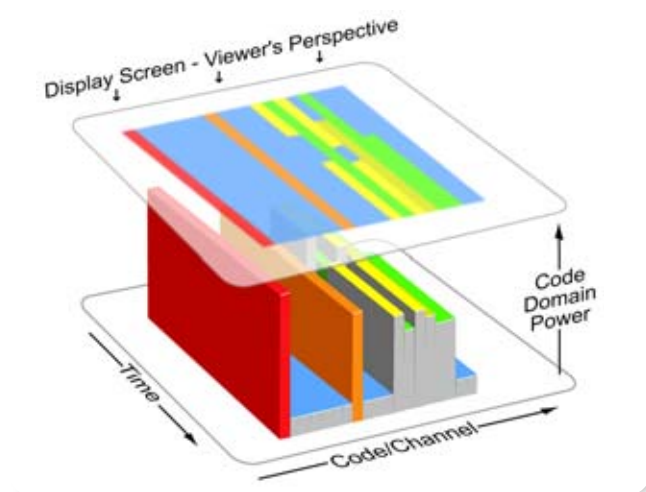


图3-19：码域图画面示意图。

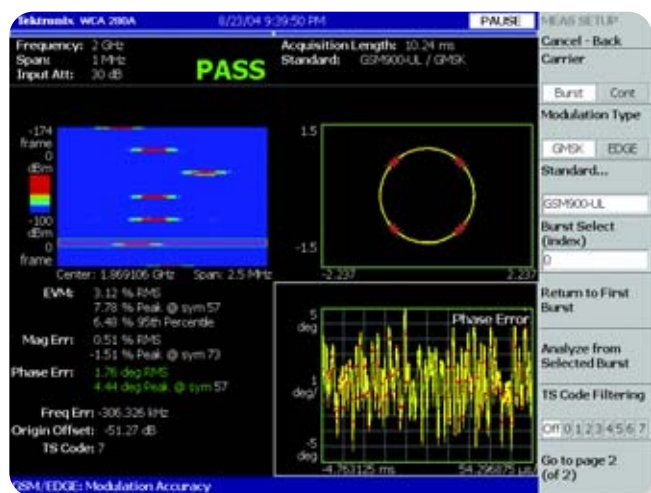


图3-18：跳频GSM信号的频谱图、星座图、EVM和相位误差随时间变化。

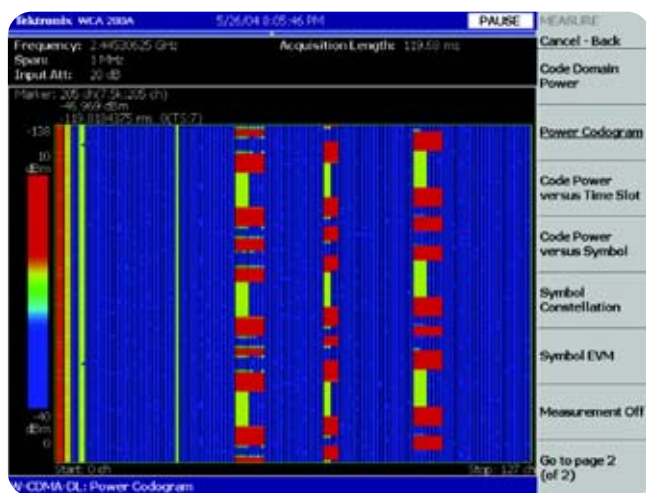


图3-20：W-CDMA压缩模式的码域图测量。

### 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。



## 实时频谱分析基础知识

### ► 应用指南

#### 第4章：常见问题

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时事件专门设计的。

##### 为什么RTSA功率随频率变化图看上去与扫频分析仪会略有差别？

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。

### **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。

实时频谱分析基础知识

► 应用指南

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

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)

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。



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

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。

## 实时频谱分析基础知识

### ► 应用指南

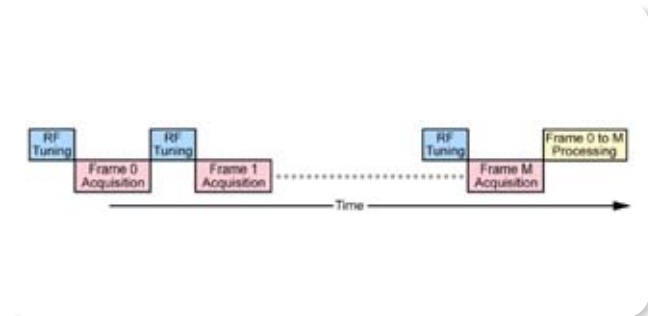


图 4-1: 标准频谱分析仪模式信号采集和处理过程。

**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 系列和 WCA200A 系列中使用两种不同的采集模式:

- **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

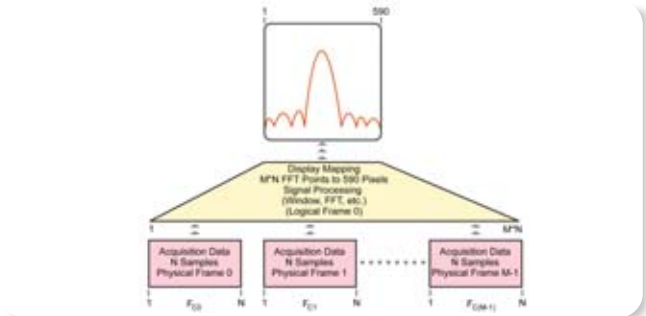


图 4-2: 对大于实时带宽的跨度，标准频谱分析仪模式的数据映射。每个物理帧有  $N$  个样点，有  $N$  个物理帧及 1 个逻辑帧。

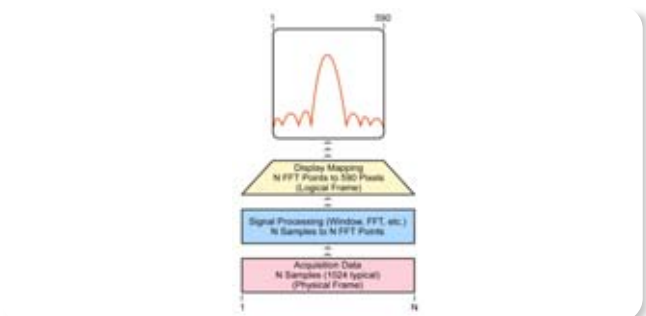


图 4-3: 对小于实时带宽的跨度，标准频谱分析仪模式的数据映射。

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

## 实时频谱分析基础知识

### ► 应用指南

## 第 5 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。

### 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。



## 实时频谱分析基础知识

### ► 应用指南

#### 参考缩略语

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



**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322室  
邮编: 710001  
电话: (86 29) 8723 1794  
传真: (86 29) 8721 8549

**泰克武汉办事处**

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

**泰克香港办事处**

香港铜锣湾希慎道33号  
利园3501室  
电话: (852) 2585 6688  
传真: (852) 2598 6260



© 2005 年 Tektronix, Inc. 版权所有。全权所有。Tektronix 产品, 不论已获得专利和正在申请专利者, 均受美国和外国专利法的保护。本文提供的信息取代所有以前出版的资料。本公司保留变更技术规格和售价的权利。TEKTRONIX 和 TEK 是 Tektronix, Inc. 的注册商标。本文提及的所有其它商号分别为其各自所有公司的服务标志、商标或注册商标。05/05 KCJ/WOW 37C-17249-2

**Tektronix**  
Enabling Innovation