

## 内容一第二章“快速入门”

<b>2 快速入门</b>	<b>2.1</b>
<b>电平和频率测量</b>	<b>2.1</b>
测量范例 1 使用标记测量频率和电平	2.1
测量范例 2 使用频率计数器测量频率和电平	2.3
<b>谐波测量</b>	<b>2.5</b>
使用频率扫描器测量谐波	2.7
测量范例-测量内部基准信号基波和二次谐波和三次谐波之间的距离	2.7
高灵敏度谐波测量	2.10
测量范例	2.10
<b>测量合成信号频谱</b>	<b>2.13</b>
使用一个合适的分辨率带宽来分离信号	2.13
测量范例-分辨两个信号,它们的电平都是 -30 dBm, 频差是 30 kHz	2.14
互调测量	2.17
测量范例-测量FSP频谱分析仪的固有互调距离	2.19
<b>测量临近噪声处的信号</b>	<b>2.23</b>
测量范例-测量内部基准信号发生器在低信噪比下的电平	2.25
<b>噪声测量</b>	<b>2.28</b>
测量噪声功率密度	2.28
测量范例-在1GHz下测量FSP固有噪声功率密度并计算噪声系数	2.28
在发送信道内测量噪声功率	2.31
测量范例-用信道功率功能在1GHz处1.23M信道带宽下测量FSP固有噪声功率	2.31
测量相位噪声	2.35
测量范例-信号发生器载波频偏为10kHz下测量相位噪声	2.35
<b>测量调制信号</b>	<b>2.37</b>
测量AM信号	2.37
测量范例 1 -在时域中显示AM信号的AF	2.37
测量范例 2 在频域中测量AM载波的调制深度	2.39
测量FM信号	2.40
测量范例-显示FM载波的AF	2.40
测量信道功率和邻道功率	2.43
测量范例 1 一个IS95信号上的ACPR测量	2.44
测量范例 2 测量一个IS136 TDMA信道的邻道功率	2.48
测量范例 3 测量门限选通扫描功能下突发模式的调制频谱	2.51
测量范例 4 测量在快速ACP功能下突发模式的瞬态频谱	2.53
测量范例 5 测量一个W-CDMA 上行信号的邻道功率	2.55

---

幅度分布测量.....	2.58
测量范例-对FSP产生的白噪声测量APD和CCDP.....	2.58
<b>时域测量.....</b>	<b>2.61</b>
功率测量.....	2.61
测量范例 – 在switch-on阶段测量GSM突发功率.....	2.61
测量突发信号的斜边功率.....	2.63
测量范例 - 高时间分辨率下GSM突发沿测量.....	2.63
测量突发信号的信噪比.....	2.65
测量范例 – 测量GSM信号的信噪比.....	2.65

## 2 快速入门

第二章解释了如何按照范例使用FSP频谱分析仪作典型测量，第三章描述了诸如选择菜单，设置参数等基本操作步骤，还解释了屏幕构造和显示功能指示器。

第四章描述了所有的菜单和FSP频谱分析仪的所有功能。

下面所有的例子都基于分析仪的标准设置，通过按下PRESET键就可以设置。有关于标准设置的完整列表都可以在第四章“FSP频谱分析仪预设置-PRESET键”这一节中找到。

## 电平和频率测量

测量一个信号的频率和电平是使用频谱分析仪的一个基本的目的。对于未知的信号，频谱分析仪的默认设置（PRESET）对于测量来说是一个很好的起始点。

如果信号功率在RF输入端可能会超过30dBm（1W），则在RF输入端必须接一个功率衰减器，请注意所有被测信号总的功率和也必须考虑到不超过这个范围。如果信号功率大于30dBm，但是没有接功率衰减器，就会烧毁RF衰减器或者输入混频器。

### 测量范例1-使用光标测量频率和电平

使用标记功能可以很容易的测量一个正弦载波信号的电平和频率。在标记位置，FSP频谱分析仪标明了信号的幅度和频率，频率测量的精确度取决于FSP频谱分析仪的参考基准频率、标记频率显示分辨率、还有屏幕的分辨率。

在本范例中，光标显示用的内部基准信号发生器的频率是128-MHz。

#### 1.设置频谱分析仪为默认设置

➤ 按下PRESET键。

#### 2.将被测信号连接到仪器前面板的RF输入端口

#### 3.打开内部基准信号发生器

➤按下SETUP键。

SETUP菜单显示于屏幕上。

➤按下SERVICE软按键。

SETUP-SERVICE菜单显示于屏幕上。

➤按下INPUT CAL软按键。

内部基准信号发生仪便打开了，  
同时也关掉FSP频谱分析仪的RF输入端。

#### 4.设置中心频率为128MHz

➤按下FREQ键。

➤中心频率的输入区便显示在屏幕上。

➤在数字小键盘上输入128，同时按下MHz键终止输入。

### 5.缩小频率测量范围 (SPAN) 为1MHz

- 按下SPAN键。
- 在数字小键盘上输入1，同时按下MHz键终止输入。

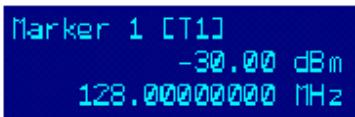
**注意：**如果SPAN的值改变了，分辨率带宽 (RES BW)，视频带宽 (VIDEO BW)，还有扫描时间 (SWEEP TIME) 都将被重新设值，因为这些参数在标准预设置中都被定义为的连动功能。

### 6.使用标记测量电平和频率，从屏幕上读出结果

- 按下MKR键。
- 标记被打开，自动跳到踪迹的峰值。

**注意：**如果标记第一次被打开，它便自动执行PEAK SEARCH (峰值搜索) 功能，(如本范例所示)。如果一个标记已经被激活，那么为了让当前激活的光标跟踪到被显示信号的最大值，MKR->菜单中的PEAK软按键必须按下。

被标记指示的电平和频率都显示于屏幕上方的光标信息栏中，这些都是测量结果。



光标信息栏的抬头指示了标记的序号 (如MARKER 1)，还有被标记定位的踪迹的号码 (如[T1]=Trace 1)。

### 在使用标记测量频率的过程中提高频率分辨率

光标的频率分辨率是由踪迹象素分辨率决定的。FSP频谱分析仪对每一条踪迹使用501个象素，举例来讲，对于频率跨度为1MHz，每一个象素相应的频率跨度大约为2kHz，它所产生的最大的误差是1kHz，为了提高踪迹的象素分辨率必须缩减频率跨度。

### 7.缩减频率范围到10kHz

- 按下SPAN键。
- 在数字小键盘上输入10，按下kHz键结束输入。

**注意：**如果SPAN的值改变了，分辨率带宽 (RES BW)，视频带宽 (VIDEO BW)，还有扫描时间 (SWEEP TIME) 都将被重新设值，因为这些参数都被定义为标准预设置的关联功能。

内部基准信号是以10kHz的跨度来测量的，踪迹象素分辨率现在大概是20Hz (10kHz跨度/501象素)，也就是说，光标频率显示的精确度增加到大概是10Hz一个象素。

### 8.重新打开RF输入端，进行频谱分析仪普通操作。

- 按下PRESET键或者按下SETUP键，再按下SERVICE软按键。
- 按下INPUT RF软按键。

为了重新进行普通操作，FSP频谱分析仪内部信号路径被切换返回至RF输入端。

## 测量范例2-使用频率计数器测量频率

使用内部频率计数器测量频率，比使用光标来测量频率来的更加精确。在光标位置频率扫描便停止，从而FSP频谱分析仪就能测出相应信号的频率。如果使用模拟带宽（300kHz），则频率测量是通过末中频的零交点记数来完成的。对于数字分辨率带宽（10kHz到100kHz），频率测量是在IQ基带上通过一种特殊的近似算法计算完成的。

频率测量的分辨率的范围在0.1Hz到10kHz。在带宽大于300kHz的情况下，FSP频谱分析仪进行频率测量所要求的时间依赖于所选择的计数器分辨率（1/频率分辨率，单位Hz），进行数字频率测量大约会用掉30ms，不管你选择何种分辨率。频率测量的精确度决定于FSP频谱分析仪的参考基准频率和所选择的计数器分辨率。

在这个范例中，光标显示用的内部基准信号发生器的频率是128-MHz。

### 1.设置FSP频谱分析仪为默认设置

- 按下PRESET键。  
FSP频谱分析仪便设置成默认状态。

### 2.打开内部基准信号

- 按下SETUP键
- 按下SERVICE-INPUT CAL软按键  
现在内部基准信号发生器打开为128MHz，FSP频谱分析仪的RF输入端同时关闭。

### 3.设置中心频率和频率范围

- 按下FREQ键输入128MHz  
FSP频谱分析仪的中心频率便设置为128MHz
- 按下SPAN软按键，再输入1MHz  
FSP频谱分析仪的频率范围便设置为1MHz。

### 4.打开标记

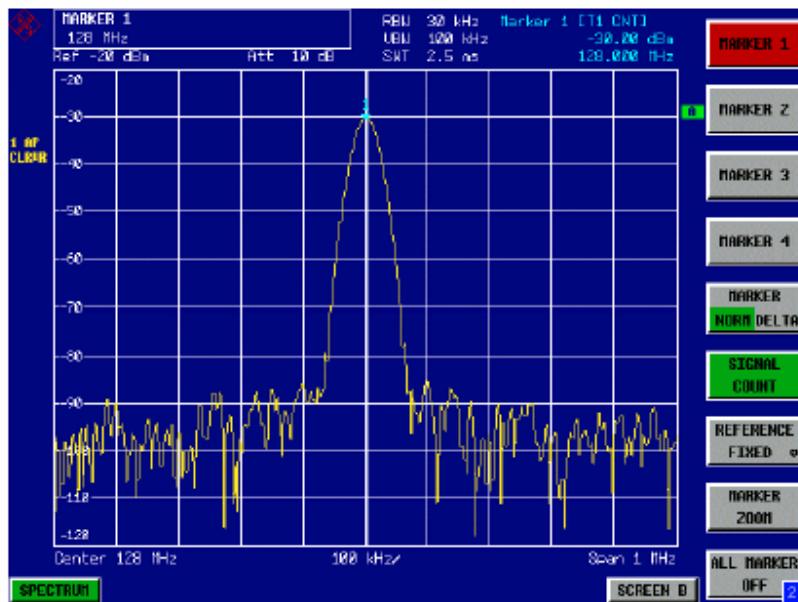
- 按下MKR键  
标记被打开同时跟踪至信号最大值，标记的电平和频率都显示于标记信息栏中。

### 5.打开频率计数器

- 在标记菜单中按下SIGNAL COUNT软按键。  
频率计数器显示于屏幕上方的标记信息栏中，同时显示的还有设定的分辨率（默认的设置是1kHz）。  
频率扫描终止于标记位置，从而FSP频谱分析仪可以测量出相应的信号频率。其结果显示于标记信息栏中，为了和普通的标记频率测量法相区别，这个标记被标注为CNT。

### 6.设置频率计数器分辨率为1Hz

- 按下NEXT键
- 按下CNT RESOL 1Hz软按键。



图表2-1 使用频率计数器进行频率测量

**注意**：使用积分频率计数器进行频率测量，只能对于RF正弦波或者离散谱线给出正确的结果，为了满足特定的测量精确度，标记应该高于噪声25dB。

### 7.打开RF输入端，进行FSP频谱分析仪普通操作。

- 按下PRESET键，或者按下SETUP键，再按下SERVICE软按键
- 按下INPUT RF软按键  
为了重新进行普通操作，FSP频谱分析仪内部信号路径被切换返回至RF输入端。

**提示**：对于位于300kHz到10MHz之间的带宽，FSP频谱分析仪使用一个20.4MHz的中频。测量频率的时间，对于所选择的分辨率是成反比的，也就是说，对于1Hz的分辨率，计数器的所需门限时间是1秒，对于低于300kHz的带宽，用数字频率接近算法在基带上测量频率，不管选择的是什么分辨率，测量时间大概是30ms。当我们测量的是一个高分辨率下的正弦载波的频率的时候，最好设置分辨率带宽为100kHz或者更小。测量时间也会趋于最小。

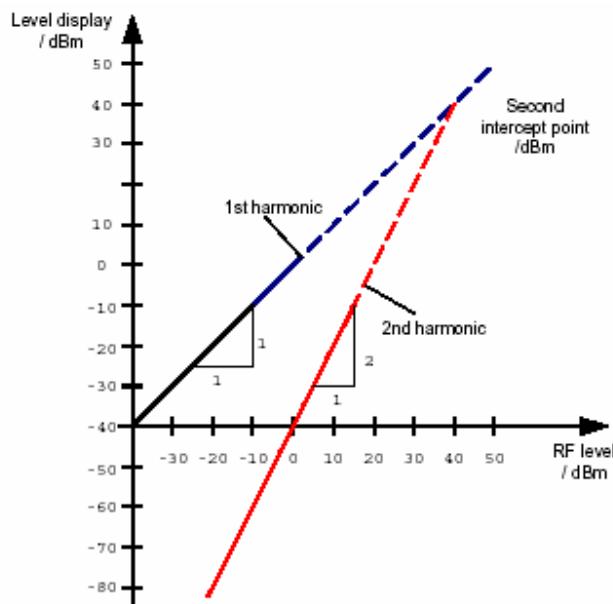
## 谐波测量

测量一个信号的谐波是我们经常碰到的问题，通过频谱分析仪能够很好的解决。通常来讲，每一个信号都包含大量谐波，谐波对于有关于大功率的发送接收仪器诸如收发器尤为重要，因为谐波容易干扰其他的无线电业务。

谐波由非线性特性产生，它们通常被低通滤波器所削弱，因为频谱分析仪具有非线性特性，举例来讲，经过第一个混频器，务必保证由频谱分析仪所检测的谐波不会导致杂散产物的生成，如果必要的话，相对其他谐波，可以用高通滤波器有选择性地对基波进行衰减。

当我们测量谐波的时候，可以获取的动态范围取决于频谱分析仪的K2截断点。K2截断点是RF输入混频器中，二次谐波电平相当于基波电平时的虚拟输入电平。在实际情况中，使用这么高幅度的电平，很可能烧毁混频器，然而，使用二次谐波截断点可以相对容易的计算出可用于测量被测仪器谐波距离的动态范围。

正如图表2-2所示，如果基波电平缩减10dB，二次谐波电平可以缩减20dB。



图表2-2 一次谐波和二次谐波外推至40dBm情况下的二次谐波截止

下面的公式由直线方程式和所给截止点推导得出，为的是求得谐波失真。

$$d_2 = S.H.I. - P_1 \quad (1)$$

$d_2$  = 谐波失真

$P_1$  = 混频器电平，单位 dBm

S.H.I. = 二次谐波截断点

注意：混频器的电平是实际RF电平减去设置的RF衰减电平。

在二次谐波上内部产生的电平 $P_1$ 的计算公式为

$$P_1 = 2P_0 - S.H.I. \quad (2)$$

最低的测量电平是频谱分析仪的噪声最低值，被测器件谐波-如果能够足够的被视频滤波器平均-至少高于本底噪声4个dB，这样由于输入噪声引起的测量误差会小于1个dB。

测量高谐波率有如下规则：

1. 为了得到最低本底噪声，选择最小的IF带宽。
2. 仅仅为了测量谐波率，选择RF衰减足够的大。

如果谐波电平等于接收机内部固有的噪声电平，就会得到最大的谐波失真。通过公式2，可以求得加在混频器上的电平：

$$P_I = \frac{P_{noise} / dBm + IP2}{2}$$

在视频带宽为10Hz ( 噪声电平为-143dBm , S.H.I=40dBm )，这个电平是-51.5dBm。通过公式1，便得到了最大的可测谐波失真91.5 dB减去最小的信噪比4个dB。

**提示：**如果谐波远大于噪声 ( 大约 15 个 dB )，那么这个谐波无论是由被测仪器产生，还是由频谱分析仪本身产生，都可以很容易的由改变 RF 衰减来检测。如果谐波是由被测仪器产生，则 RF 衰减减小 10 个 dB，谐波电平也保持不变，仅仅由于额外的衰减，显示噪声会增加 10dB；如果谐波仅仅是由频谱分析仪产生，谐波电平就会缩减 20 个 dB 或者淹没在噪声中；如果谐波由被测仪器和频谱分析仪产生，谐波电平会相应的减小。

## 使用频率扫描器测量谐波

倘若我们选择的分辨率带宽足够的宽，测量谐波距离就会用很短的时间，这种情况下，使用单一的频率扫描器来测量谐波就很好。

### 测量范例 -- 测量内部基准信号基波和二次谐波、三次谐波之间的距离

#### 1. 设置频谱分析仪为默认设置

- 按下PRESET键  
FSP频谱分析仪便处于默认设置

#### 2. 打开内部基准信号发生器

- 按下SETUP键  
按下SERVICE-INPUT CAL 键  
内部128MHz的基准信号发生器便打开了.同时FSP频谱分析仪的RF输入端便关闭了。

#### 3. 设置起始频率为100MHz，终止频率为400MHz

- 按下FREQ键
- 按下START软按键同时输入100MHz
- 按下STOP软按键同时输入400MHz  
FSP频谱分析仪便在屏幕上显示输入信号的基波，二次谐波，三次谐波。

#### 4. 为获取最大的灵敏度，设置RF衰减为0dB

- 按下AMPT键
- 按下RF ATTEN MANUAL 软按键同时输入0dB

#### 5. 减小视频带宽至平均噪声

- 按下BW键
- 按下COUPLING RATIO 软按键
- 使用光标选择RBW/VBW[10]  
现在设置的视频带宽 (VBW) 的值比分辨率带宽 (RBW) 小10倍。

#### 6. 打开光标

- 按下MKR键  
光标便打开了同时定位于信号的峰值 (基波位于128MHz)，光标的电平和频率显示于屏幕上方的光标信息栏中。

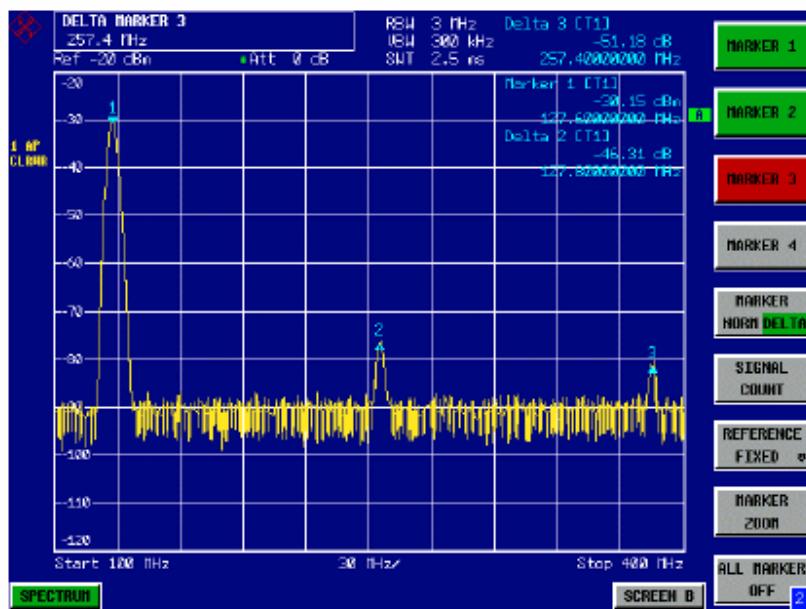
## 7. 打开增量标记，测量谐波距离

➤ 在标记菜单中按下 MARKER 2 软按键

Marker 2 便作为一个增量标记 (Delta 2[T1]) 被激活，它自动显示于信号的最大谐波上，有关于标记1的频率和电平等信息，显示于屏幕上方的光标信息栏中。

➤ 在标记菜单中按下 MARKER 3 软按键

Marker 3 便作为一个增量标记 (Delta 3[T1]) 被激活。它自动显示于信号的二次谐波上。相对于基波上标记1的频率、电平等信息显示于屏幕上方的光标信息栏中 (见图表2-3)。



图表.2-3 测量内部基准信号发生器的谐波距离，增量标记2和增量标记3显示了基波和二次谐波、三次谐波之间的距离。

为了标记由噪声带来的谐波，应采取如下步骤

- 缩减视频带宽
- 平均踪迹
- 缩减分辨率带宽

如果缩减视频带宽或者平均踪迹，频谱分析仪或者被测仪器的噪声便可以抑制（取决于两者的噪声哪一个更高），尤其对于低信噪比的信号，由于被测信号无噪声干扰，使用这两种方法可以减小测量误差。

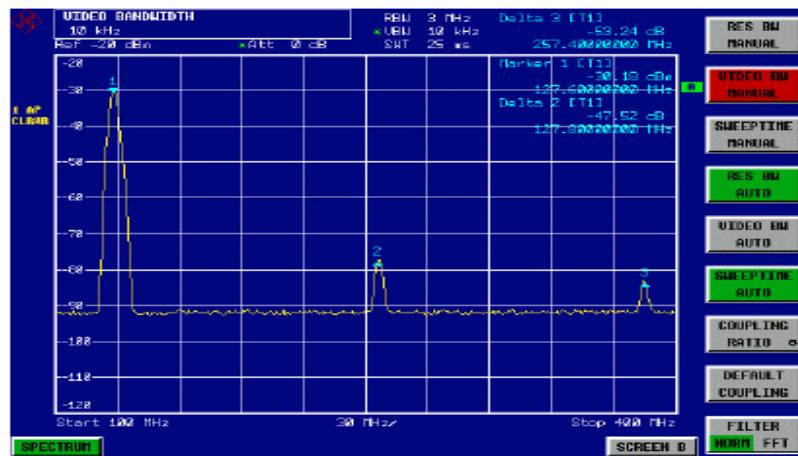
## 8. 缩减视频信号从而减小噪声

➤ 按下 BW 键

➤ 按下 VIDEO BW MANUAL 软按键

➤ 缩减视频带宽，比如，要缩减至 10KHZ，反时针方向旋转滚轮，输入 10kHz

这样能够很明显的平滑噪声，同时扫描时间增加到25ms.测量时间也延长了.显示的视频带宽被表以星号 (\*VBW) , 表明它不再和分辨率带宽有联系了 (见图 2-4 )



图表2-4 通过缩减视频带宽在测量谐波过程中抑制噪声

### 9.重新把视频带宽和分辨率带宽联系起来

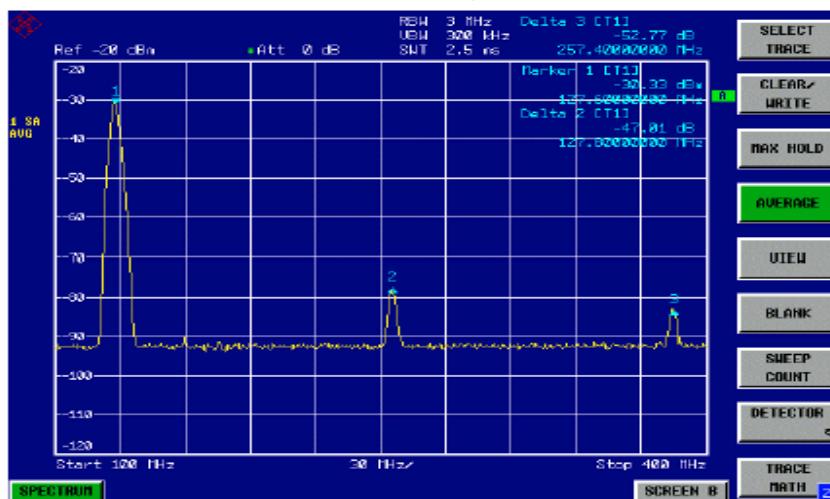
按下VIDEO BW AUTO 软按键

### 10.平均踪迹从而减小噪声

按下TRACE键

按下AVERAGE软按键

通过对10条连续的踪迹进行平均来平滑噪声。



图表2-5 通过平均踪迹在测量谐波过程中的抑制噪声

**11.关掉踪迹平均功能**

- 按下CLEAR/ WRITE 软按键

**12.通过缩减测量带宽减小噪声**

如果分辨率带宽被缩减了，噪声也同比例的缩减了，举例来讲，如果分辨率带宽被缩减10个单位，噪声同样也缩减10个单位(等效于10 dB)，但是缩减分辨率带宽并不影响正弦型号的幅度。

**13.设置 带宽至10kHz**

- 按下BW键
- 按下RES BW MANUAL软按键，同时输入10kHz  
这样噪声与先前相比较，大约缩减25个dB.因为视频带宽与分辨率带宽相联系，所以视频带宽也缩减至1kHz，缩减的比例与分辨率带宽缩减的比例相同.频率扫描的时间也因此增加到60秒。

**14.重新设置分辨率带宽 (和跨度有关)**

- 按下RES BW AUTO 软按键  
如果你想在这个点上停止内部信号发生器的谐波测量，按照以下的步骤重新打开FSP频谱分析仪的RF输入端.
- 按下SETUP键，接下来按SERVICE-INPUT RF软按键，或者按下PRESET键。

## 高灵敏度谐波检测

如果谐波只有很小的电平，那么要求测量它们的分辨率带宽必须相应大幅度的缩减.同样，扫描的时间，也会大幅度的增加.在这个情况下，使用频谱分析仪测量各个谐波需设置很小的跨度.只有谐波附近的频率范围才能用较小的分辨率带宽检测到.

## 测量范例

**1.设置FSP频谱分析仪为默认设置**

- 按下PRESET键  
FSP频谱分析仪便处于默认状态.

**2.打开内部基准信号发生器**

- 按下SETUP键
- 按SERVICE – INPUT CAL 软按键  
现在内部128MHz基准信号发生器便打开了，同时FSP频谱分析仪的RF输入端便关掉了

**3.设置中心频率为128MHz同时频带范围为100kHz**

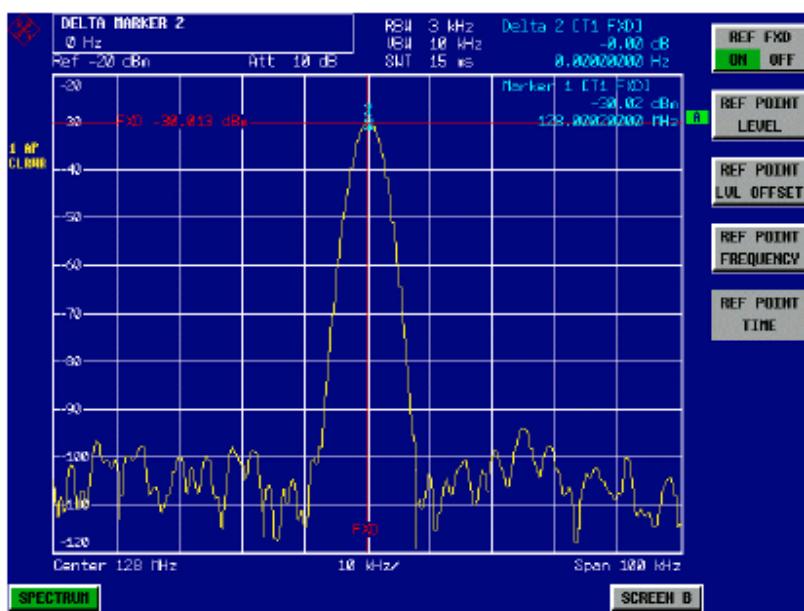
- 按下FREQ键  
频率菜单便打开了
- 在数字小键盘上输入128，同时单位选择为MHz，
- 按下SPAN键
- 在数字小键盘上输入100，同时单位选择为kHz  
FSP频谱分析仪显示为基准信号频率范围为100kHz，分辨率带宽为3kHz。

#### 4. 打开标记

- 按下MKR键  
标记便定位于踪迹的峰值.

#### 5. 设置要测量的信号的频率和电平为参考值

- 按下REFERENCE FIXED 软按键
- 标记位置便成了参考点.参考点的电平以一条水平的直线显示, 参考点的频率以一条垂直的直线表示.同时, 增量标记2便显示在标记上面.



图表2-6 基波, 频率, 电平参考点

#### 6. 以信号频率给中心频率设置步长

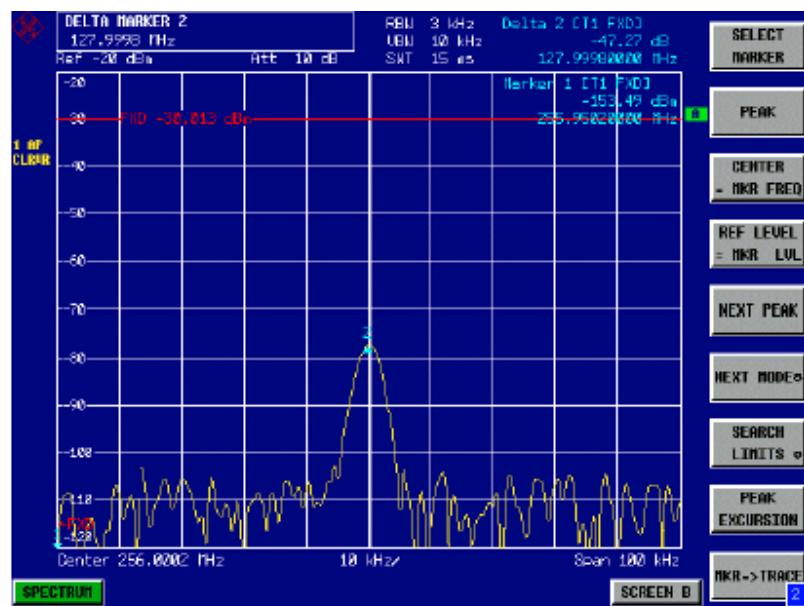
- 按下FREQ键  
频率菜单便打开了
- 按下CF STEPSIZE软按键同时在子菜单中按下=MARKER软按键  
现在中心频率的步长等于标记频率

#### 7. 设置信号二次谐波的中心频率

- 按下FREQ键  
频率菜单便打开了
- 按一下向上的方向键 (位置在滚轮的下面)  
二次谐波的中心频率便设置为FSP频谱分析仪的中心频率

#### 8. 置增量标记于二次谐波上

- 按下MKR->键
- 按下PEAK软按键  
增量标记便跳到二次谐波的峰值上面.显示电平的结果跟基准信号点的电平有关 (基准信号电平等于基波的电平)



图表2-7 测量基波电平(也就是参考点电平)和二次谐波电平之间的差别

其他谐波均可以按照步骤6和步骤7来测量，中心频率可以用向上或向下的方向键以128MHz的步进值来调整。

## 测量复合信号的频谱

### 通过选择合适的分辨率带宽来分辨信号

频谱分析仪的一个基本特征是它能够分辨一个合成信号中的各个频谱分量，频谱分量能否被分辨完全取决于所使用的分辨率带宽。如果分辨率带宽太大，那么几个信号各自的谱线将不再区分，也就是说，它们可能用一个简单的合成信号来表示。

显示在频谱分析仪上的一个RF正弦信号具有分辨滤波器（RBW）的带通特性，因此显示的是滤波器的3dB带宽。

如果分辨率带宽小于或者等于两个信号的频率间隔，即使这两个信号幅度相同，也能够被区分；如果分辨率带宽等于频率间隔，在屏幕中央会显示两个信号中间有一个3 dB的电平沉降，分辨率带宽越小，电平沉降越深，信号的分辨率也越高。

如果信号之间的电平差别很大，分辨率是由选择性和所选择的分辨率带宽所决定的。衡量频谱分析仪选择性的指标是60 dB带宽到3 dB带宽的比率（=波形因子）。

对于FSP频谱分析仪，带宽高达100kHz的波形因子<5，对于较大带宽波形因子<15，也就是说，30kHz滤波器的60 dB带宽小于150kHz，300kHz滤波器的60 dB带宽小于4.5MHz。

在较小带宽下较高的频谱分辨率是以同样频率跨度下较长的扫描时间为代价获取的。在所有信号的电平和频率都扫描显示并且保证分辨滤波器的稳定的情况下，扫描时间可由以下公式得出：

$$SWT = k \cdot Span/RBW^2 \quad (1)$$

其中：SWT表示正确测量的最大扫描时间

k表示的是根据不同的分辨滤波器设置的因子

Span表示的是频率跨度

RBW表示的是分辨率带宽

如果分辨率带宽减小3个单位，那么扫描时间会增加9个单位。

**注意：**视频带宽对于扫描时间的影响并没有计算在公式（1）当中，要使公式有效，视频带宽必须大于分辨率带宽的3倍。

带宽大于300kHz，FSP频谱分析仪使用4极，单选择滤波器。在频率扫描过程中，需设置一个2.5因子。对于带宽大于100KHZ，小于300KHZ的高斯滤波器，设置的因子是1，也就是说，扫描时间会比普通的4或5极，单选择滤波器少2.5倍。

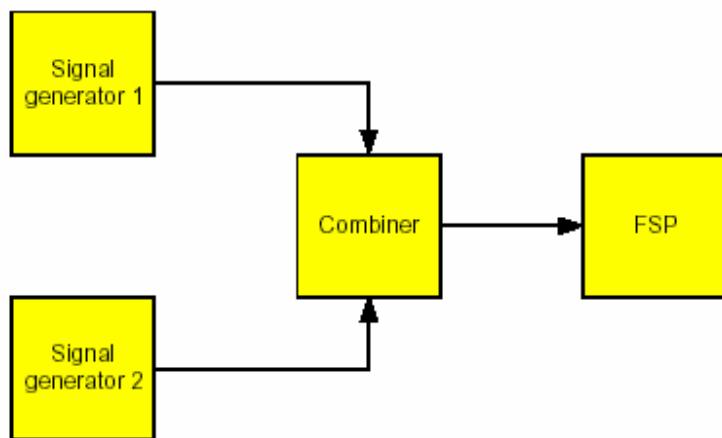
FFT滤波器能应用于分辨率带宽小于30kHz的情况。就像数字滤波器，它的波形因子小于5，对于FFT滤波器，可用以下公式计算扫描时间：

$$SWT = k \cdot span/RBW \quad (2)$$

也就是说，如果分辨率带宽缩减3倍，扫描时间也是仅仅增加3倍。

测量范例一区分两个信号，电平都为-30dBm，频率相差30kHz

范例：



图表：2-8 两个信号的测量设置

其中：  
 Singal generator 1 表示信号发生器1  
 Singal generator 1 表示信号发生器2  
 Combiner 表示合成器  
 FSP 表示FSP频谱分析仪

信号发生器设置：

	Level	Frequency
Signal generator 1	-30 dBm	100.00 MHz
Signal generator 2	-30 dBm	100.03 MHz

FSP频谱分析仪测量步骤：

1.设置频谱分析仪为默认设置

➤按下PRESET键。

FSP频谱分析仪便处于默认状态。

2.设置中心频率为100.015MHz，设置频率范围为300 kHz

➤按下FREQ键同时输入100.015MHz

➤按下SPAN键同时输入300kHz

3.设置分辨率带宽为30kHz，设置视频带宽为1kHz

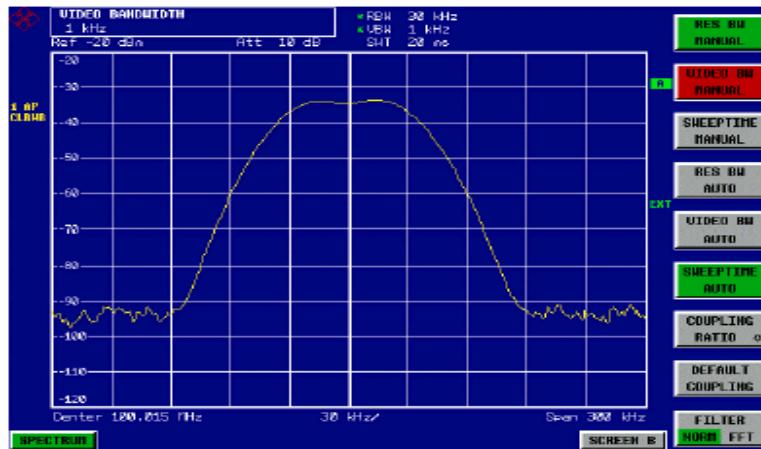
➤按下BW键

➤按下RES BW MANUAL 软按键同时输入30 kHz

➤按下VIDEO BW MANUAL 软按键同时输入1kHz

➤两个信号以3 dB的电平沉降明显的被分辨并显示于屏幕的中央

**注意**：视频带宽被设置为1kHz，能够清晰的把两个信号之间的电平沉降显示于屏幕的中央，但是，对于较大的视频带宽，由包络检波器产生的视频电压不能够被充分抑制，从而，在两个信号之间便会产生额外的电压，并且能够显示在轨迹上面。

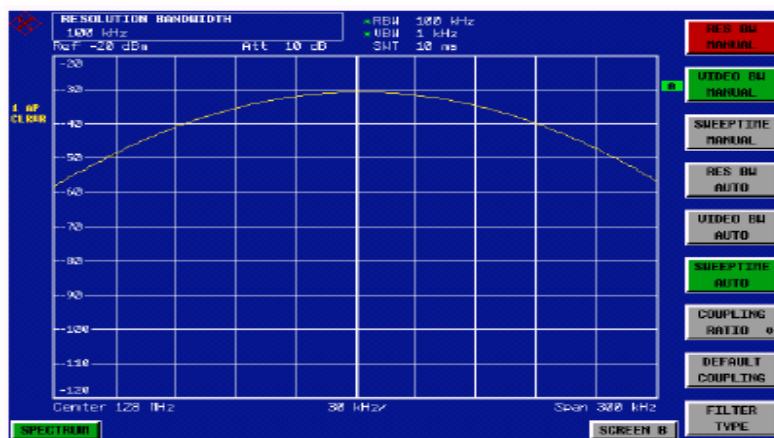


图表.2-9测量两个电平相同的正弦波信号，分辨率带宽根据两个信号的频率差而不同

**注意**：如果发生器频率和 FSP 频谱分析仪上显示的频率严格一致，那么电平沉降点将恰好显示于屏幕的中央，为此，发生器和 FSP 频谱分析仪的频率必须保持一致。

#### 4.设置分辨率带宽为100kHz

➤按下RES BW MANUAL 软按键同时输入100kHz，两个发生信号不能够被明显的区分。



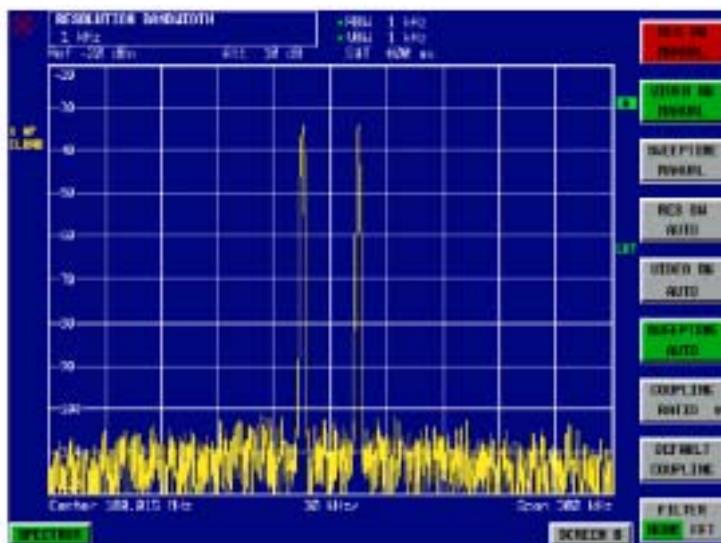
图表 2-10 测量两个正弦波信号，它们的电平相同，使用的分辨率带宽大于它们的频率差

为了更好的分辨频率，可以反时针旋转按钮，减小分辨率带宽 ( RBW )。

### 5.设置分辨率带宽为1kHz

➤反方向旋转滚轮直到显示的带宽是1kHz

两个信号以高分辨率显示.扫描时间大幅度的增加 (到600ms), 本底噪声也因较小的分辨率带宽而下降。

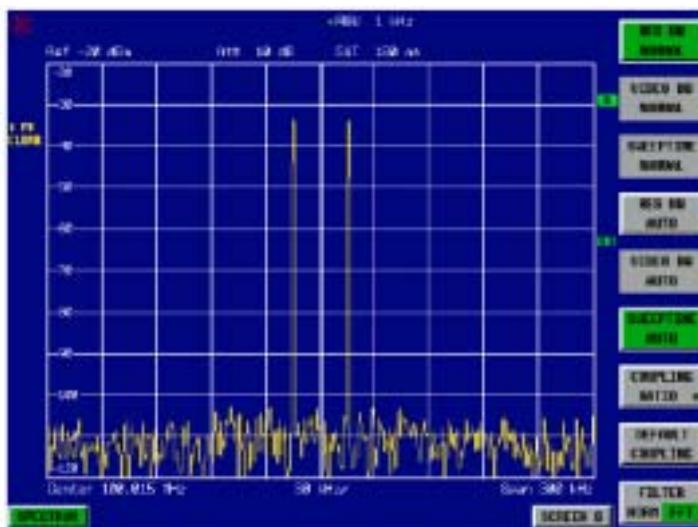


图表. 2-11 测量两个电平相同的RF正弦波信号 , 分辨率带宽为1kHz , 远低于它们的频率差

### 6.打开FFT

➤设置FILTER软按键为FFT.

如果滤波器现在用的算法是FFT算法 , 那么频率扫描时间将从600ms大幅度的减少至15ms( 为  $1/40$  ) . 屏幕上的更新速率也是以同样的速率在提高。



图表 : 2-12 使用FFT滤波器来测量可以大幅度的缩减扫描时间 , 同时提高刷新速度

## 互调测量

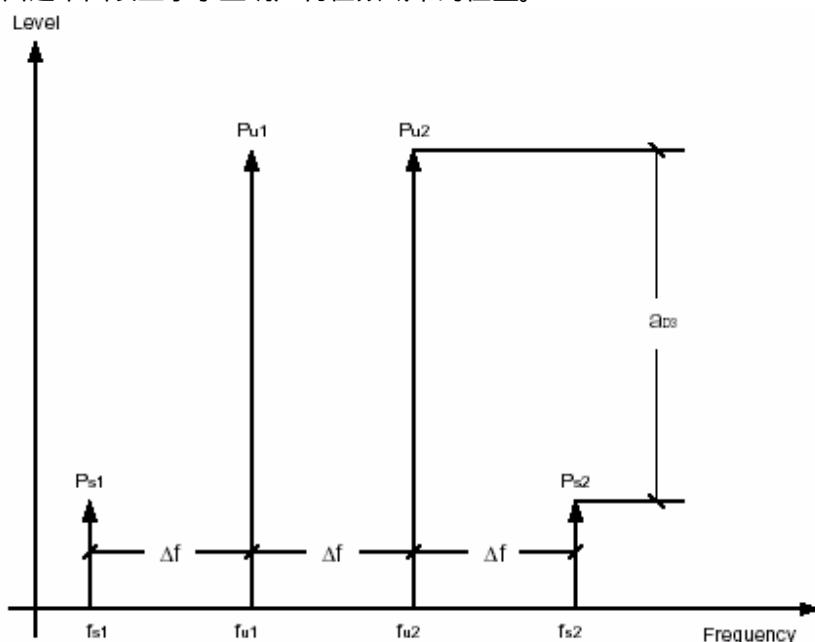
如果几个信号输入具有非线性特性的DUT上,就会产生有害的混频产物-大都是由有源组件诸如放大器或者混频器产生,这些混频产物尤其是3阶互调产物最为有害,因为它们的频率接近于有用信号,和其他混频产物相比,它们的电平最接近与有用信号.一个信号的基波会与其他信号的2阶谐波相混合。

$$f_{s1} = 2 \cdot f_{u1} - f_{u2} \quad (1)$$

$$f_{s2} = 2 \cdot f_{u2} - f_{u1} \quad (2)$$

这里 $f_{s1}$ 和 $f_{s2}$ 是互调产物的频率,而 $f_{u1}$ 和 $f_{u2}$ 是有用信号的频率。

下面这个图表显示了互调产物在频域中的位置。



图表 2-13 3 阶互调产物

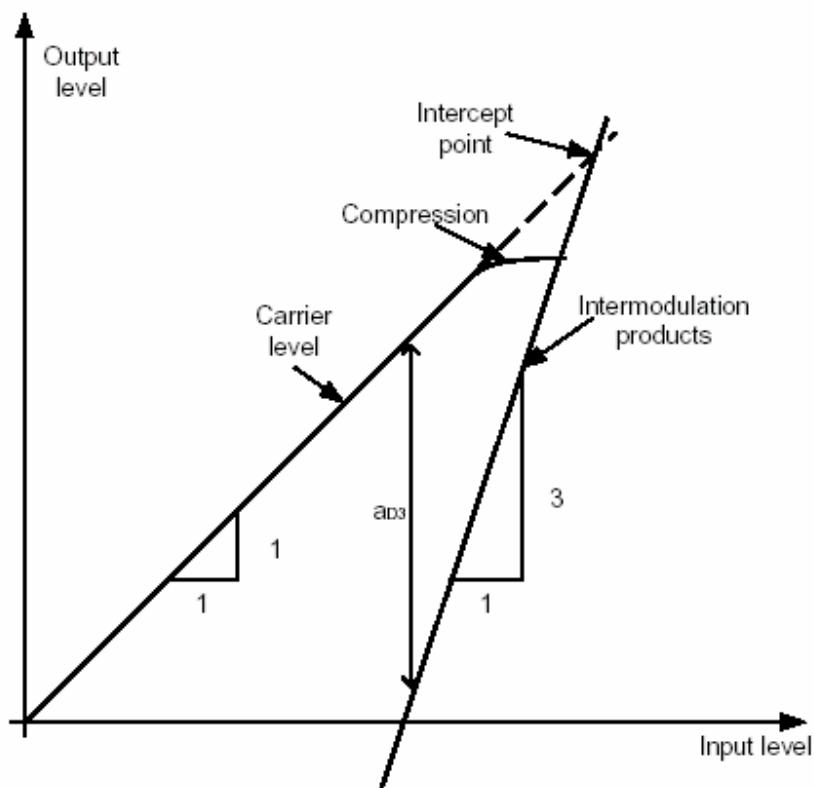
范例：

$$f_{u1} = 100 \text{ MHz}, f_{u2} = 100.03 \text{ MHz}$$

$$f_{s1} = 2 \cdot f_{u1} - f_{u2} = 2 \cdot 100 \text{ MHz} - 100.03 \text{ MHz} = 99.97 \text{ MHz}$$

$$f_{s2} = 2 \cdot f_{u2} - f_{u1} = 2 \cdot 100.03 \text{ MHz} - 100 \text{ MHz} = 100.06 \text{ MHz}$$

互调产物的电平依赖于有用信号的电平,如果两个有用信号的电平增加1个dB,互调产物的电平会增加3个dB.互调距离 $d_3$ ,也因此减小2个dB。图表 2-14表示了有用信号电平和3阶互调产物相互的关系。



图表. 2-14 3阶互调产物电平和有用信号电平之间的关系

我们可以以放大器为例子加以说明，只要放大器处于线性工作范围，有用信号在输入端电平的变化，会相应比例的引起输出端的电平的变化.如果放大器输入端电平变化1个dB，输出端的电平也会变化1个dB.在某个输入电平下，放大器便会处于饱和状态.放大器输出端电平不会因为输入端电平的变化而变化。

3阶互调产物电平的增加会比有用信号电平的增加快3倍.3阶截止电平是一个虚拟电平，在这种情况下，有用信号电平和杂散产物的电平相等，也就是说，是两条直线的交叉点。由于放大器在达到这个电平前已经处于饱和状态或者已经烧毁，所以这个电平不能直接测量。

3阶互调截止能够通过已知的直线的坡度，互调距离d2，还有有用信号的电平计算出来。

$$TOI = a_{D3} / 2 + P_n \quad (3)$$

其中 TOI (3阶截止) 用dBm为表示， $P_n$ 也以dBm来表示

如果互调距离为60 dB，输入电平 $P_w$ 为-20 dBm，那么我们可以得到3阶截止为：

$$TOI = 60 \text{ dBm} / 2 + (-20 \text{ dBm}) = 10 \text{ dBm.}$$

### 测量范例 – 测量FSP频谱分析仪的固有互调距离

为了测量固有互调距离，使用的测试设置如图表2-8所示。

#### 信号发生器设置

	Level	Frequency
Signal generator 1	-10 dBm	999.9 MHz
Signal generator 2	-10 dBm	1000.1 MHz

#### 使用FSP频谱分析仪进行测量

##### 1. 设置频谱分析仪为默认设置

- 按下PRESET键  
FSP频谱分析仪便处于默认设置

##### 2. 设置中心频率为1GHZ，设置频率带宽为1MHz

- 按下FREQ键同时输入1GHz
- 按下SPAN键同时输入1MHz

##### 3. 设置参考电平为-10dBm，设置RF衰减为0dB

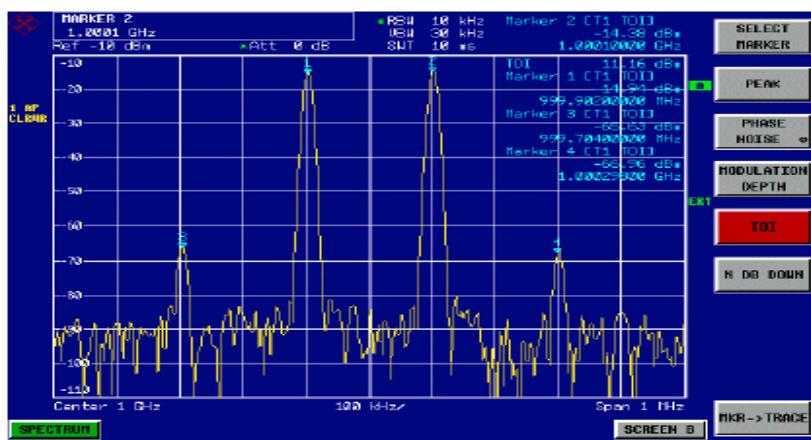
- 按下AMPT键同时输入-10dBm
- 按下RF ATTEN MANUAL 软按键同时输入0dB  
因为设置RF衰减为0dB，所以FSP频谱分析仪输入端混频器的电平便提高了。因此，就会出现3阶互调产物。

##### 4. 设置分辨率带宽为10kHz

- 按下BW键
- 按下RES BW MANUAL 软按键同时输入10kHz  
通过缩减带宽，噪声进一步减小，也能够清楚地参见互调。

##### 5. 利用3阶互调截止功能测量互调

- 按下MEAS键
- 按下TOI键  
FSP频谱分析仪就会激活4个标记来测量互调距离，两个标记定位于有用信号上，两个定位在互调产物上。3阶互调截止可以通过有用信号电平和互调产物的电平之间的差距来计算得到。



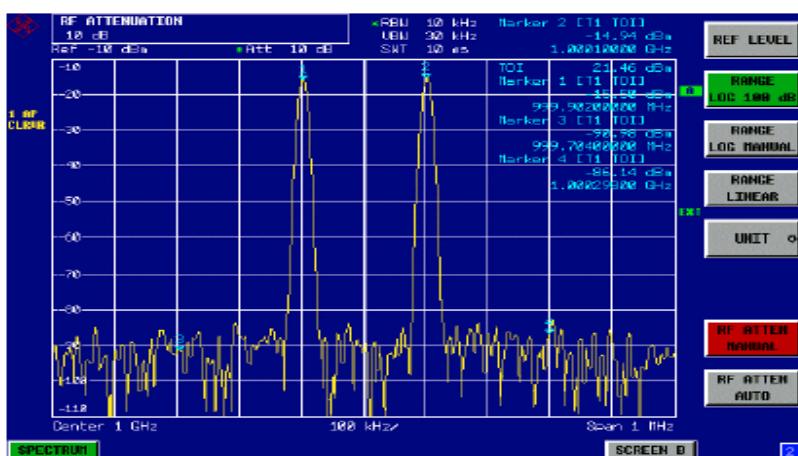
图表 2-15 FSP频谱分析仪固有互调测量结果，3阶截止 (TOI) 点显示在屏幕的右上方。

频谱分析仪的固有互调产物取决于有用信号在输入混频器上的RF电平，当RF衰减增加，混频器电平就会减小，互调距离就会加大。如果增加RF衰减10个dB，互调产物的电平就会缩减20个dB.噪声电平也会增加10个dB。

#### 6.增加RF衰减到10dB从而减少互调产物.

- 按下AMPT键
- 按下RF ATTEN MANUAL 软按键，同时输入10 dB。

FSP频谱分析仪的固有互调产物会在本底噪声下消失。



图表 2-16 如果RF衰减增加，FSP频谱分析仪的固有互调产物会在本底噪声下消失。

**计算方法：**

FSP频谱分析仪计算截止点是通过这样的方法计算的：用以dBm为单位的有用信号均值 $P_u$ ，在加上两个互调产物的均值 $d_3$ ， $d_3$ 是以dB为单位的。

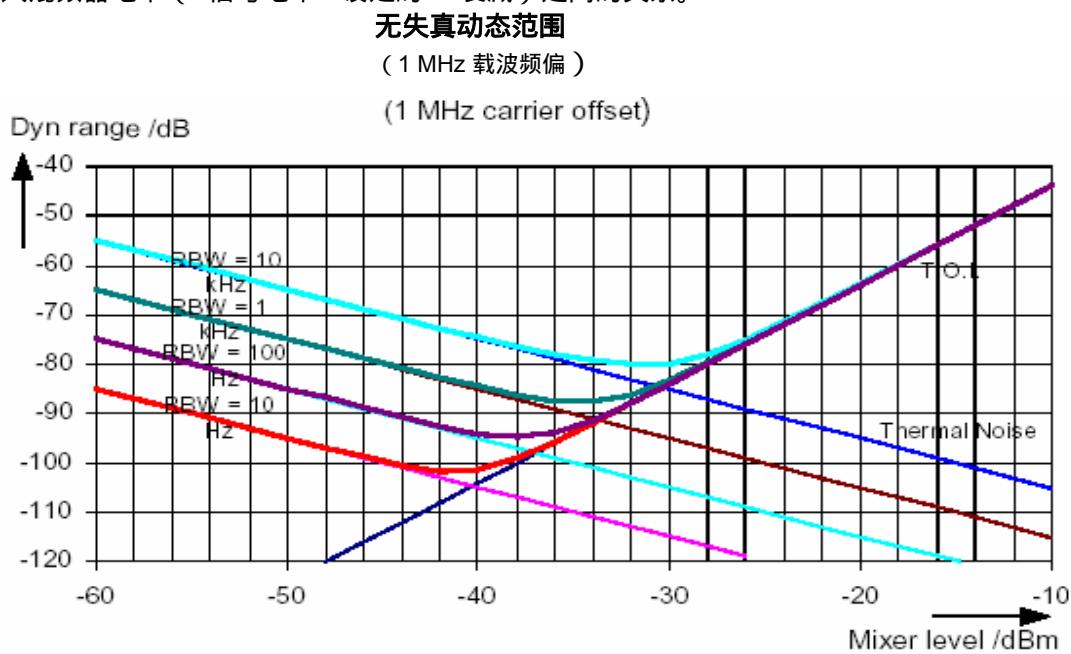
计算3阶截止（TOI）的公式如下：

$$TOI/\text{dBm} = \frac{1}{2} d_3 + P_u$$

**无互调动态范围**

无互调动态范围指的是，电平处于这么一个范围，在这个范围里，我们要测量的两个信号没有内部互调产物，这个范围是由3阶截断点，相位噪声，还有频谱分析仪的热噪声所决定的。当信号电平高时，这个范围是由互调产物决定的。当信号电平低时，互调产物就会低于本底噪声消失，也就是说，本底噪声和频谱分析仪的相位噪声决定了这个范围。本底噪声和相位噪声取决于我们所选择的分辨率带宽。当分辨率带宽最小时，本底噪声和相位噪声也最小，从而这个动态范围最大。然而，对于很小的分辨率带宽，需要的扫描时间却很长，所以，最好选择最大的分辨率带宽来获得这个动态范围。当载波频偏增加时，相位噪声会减小，当有用信号频偏增加时，相位噪声的影响会减小。

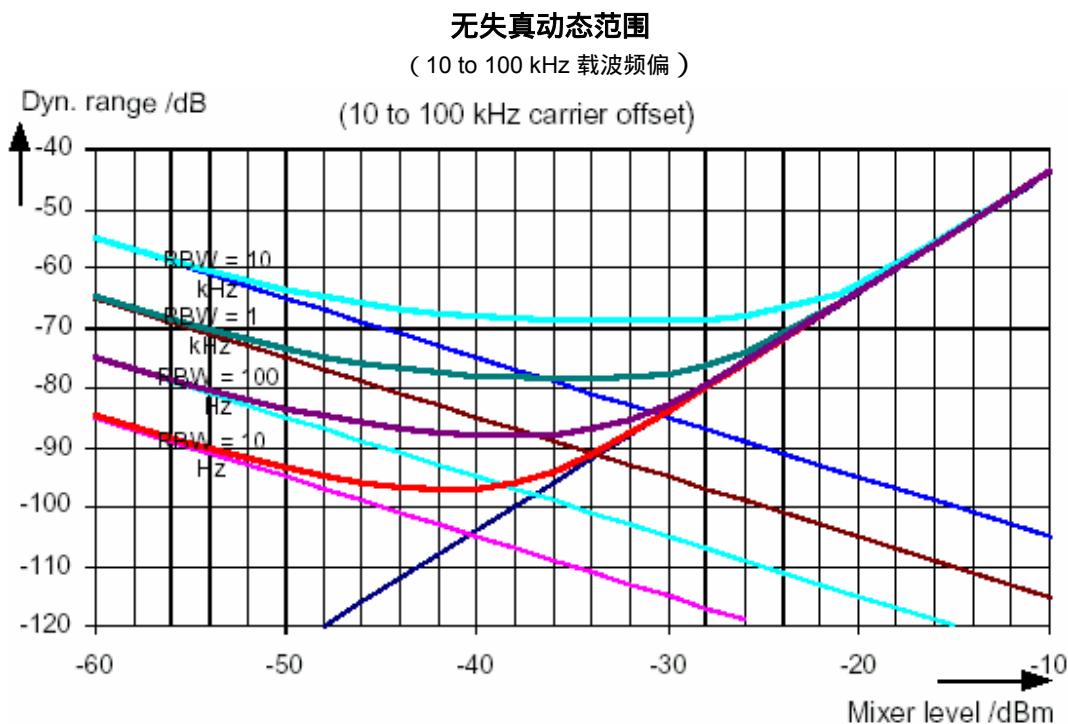
下面的图表表明了在不同的有用信号频偏的条件下，自由动态范围与所选择的分辨率带宽和输入混频器电平（=信号电平 - 设定的RF衰减）之间的关系。



图表 2-17 FSP的无互调范围与输入混频器电平和所设置的分辨率带宽之间的关系。（有用信号频偏为1MHz，DANL= -155 dBm /Hz，TOI = 12 dBm；2GHz时的典型值）

最佳混频器电平，也就是说，这个电平使互调距离最大，这个电平取决于带宽。如果分辨率带宽为10Hz，它大约为-42 dBm，如果分辨率带宽为10 kHz，则它大约为-32 dBm。

对于载波频偏在10到100kHz的范围，相位噪声对于无互调范围有很大的影响（见图表 2-18），相位噪声的影响，较大的带宽时比较小的带宽影响要大。最佳的混频器电平几乎与带宽无关，它大约是-40 dBm。



图表 2-18 FSP的无互调动态范围与输入混频器电平和所选择的分辨率带宽之间的关系( 有用信号频偏为10到100kHz , DANL= -155 dBm /Hz , TOI = 12 dBm ; 2GHz时的典型值 )。

**提示：**如果要测量动态范围很大的被测设备的互调产物的，而所用的分辨率带宽很小，最好使用很小的跨度分别来测量有用信号的电平和互调产物的电平，这样，测量的时间会缩短—尤其是有用信号的频偏非常大的时候，当频率跨度非常的小的时候，为了可靠的找到信号，最好把信号源和FSP频谱分析仪同步。

## 测量临近噪声处的信号

频谱分析仪的最小可测电平是由自身固有噪声决定的，小信号会被噪声淹没从而不能够测量出来，对于那些刚刚大于频谱分析仪固有噪声的信号，测量它们电平的精确度是由频谱分析仪的固有噪声决定的。

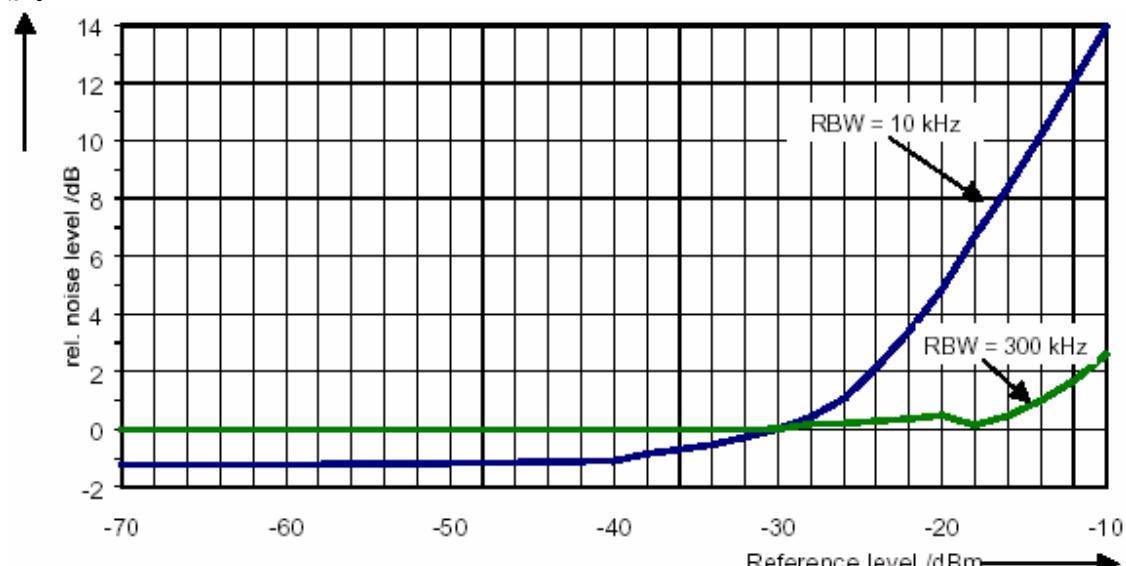
频谱分析仪上所显示的噪声电平是由其噪声系数，所选择的RF衰减，所选择的参考基准电平，所选择的分辨率，视频带宽还有检波器决定的。这些参数对其影响描述如下：

### RF衰减设置对噪声电平的影响

所选择的RF衰减直接影响频谱分析仪的灵敏度，设置RF衰减为0 dB，获得的灵敏度最高。FSP频谱分析仪的RF衰减可以以10 dB为步进一直到70dB ( FSP-B25频谱分析仪是以5 dB为步进一直到75 dB)，每一次额外加的10 dB都会是FSP频谱分析仪的灵敏度减小10 dB，也就是说，显示的噪声会增加10个dB。

### 参考基准电平对于噪声电平的影响

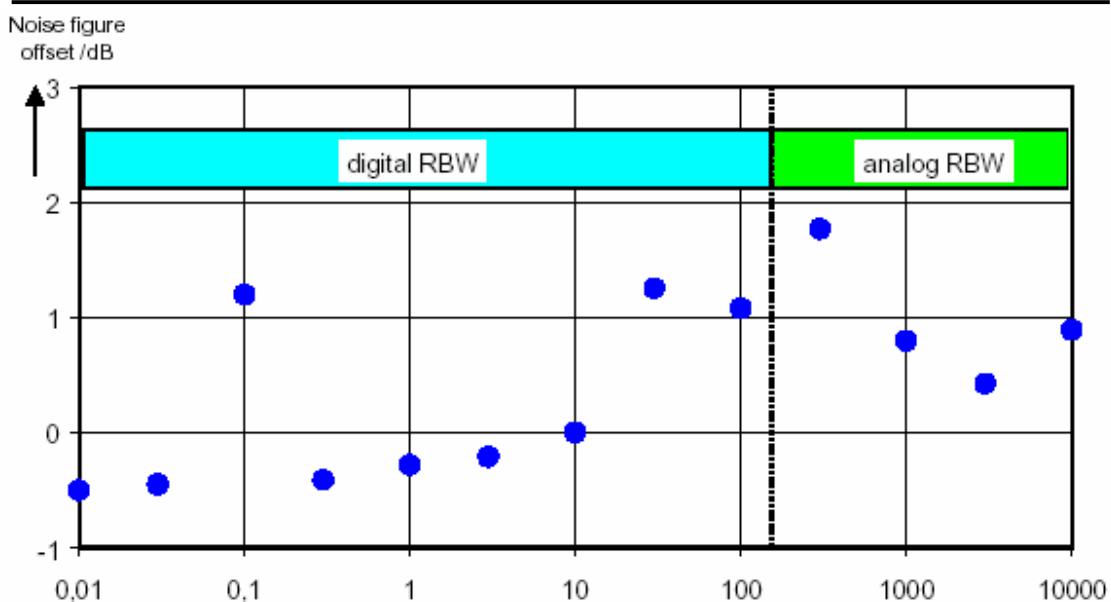
如果参考基准电平改变了，FSP频谱分析仪就会在最后一个IF上改变增益，这样，对于和参考基准电平相对应的信号电平，对数放大器和A/D转换器上的电压就一直不变，这就保证对数放大器和A/D转换器的动态范围被充分利用。因此，在较高的参考基准电平下信号总的增益是很低的，IF放大器的噪声系数会对FSP频谱分析仪总的噪声系数产生影响。下面的 2-21图表表明了分辨率带宽在10kHz到300kHz的时候，所显示的噪声会随着设置的参考电平的变化而变化。当数字带宽小于100kHz时，在较高的参考电平下，因为A/D转换器的动态范围，噪声会迅速增加。



图表. 2-19 在带宽范围为10kHz 到300kHz 时，显示噪声与参考电平的关系

### 分辨率带宽对噪声电平的影响

所选择的带宽也会直接影响频谱分析仪的灵敏度，当带宽最小时（对于FSP 为10Hz，对于FFT 滤波器为1Hz）灵敏度最好，如果带宽增加了，灵敏度也会相应的变差。FSP频谱分析仪以1, 3, 10为次序设置。带宽增加3个单位，显示噪声相应的会增加5个dB（精确的讲是4.77个dB），如果带宽增加10个单位，那么显示噪声也会相应的增加10个单位，也就是10个dB，由于分辨滤波器的设计，频谱分析仪的灵敏度主要依靠所选择的分辨率带宽。在数据栏中，显示的平均噪声往往指明了最小可以获取的带宽（对于 FSP频谱分析仪，为10Hz）。从上面标识的数据来减小带宽，会得到额外的精确度。下面这张表格表明了对于分辨率带宽为10kHz（为参考带宽）时，噪声系数的典型偏差。



图表 2-20 不同带宽下的FSP频谱分析仪的噪声系数的变化.参考带宽是10kHz

### 视频带宽对噪声电平的影响

所选择的视频带宽对频谱分析仪所显示的噪声也有影响.如果视频带宽比分辨率带宽要小的多，会压制噪声毛刺，也就是说，踪迹会变得很平滑。视频带宽不会影响正弦波信号的电平。因此，当视频带宽小于分辨率带宽时，正弦波信号与噪声能更明显地区分开来，故此，对正弦波信号的测量也更精确。

### 检波器对噪声电平的影响

对于不同的检波器，对噪声的衡量是不同的，所以选择不同的检波器也会对显示的噪声电平有影响。不同的检波器对正弦波信号的检测方法一样，也就是说，假如信噪比很高，不同的检波器对于一个正弦RF信号的电平没有影响.不同的检波器，对于测量频谱分析仪固有噪声附近的信号的精确度有影响.FSP频谱分析仪有如下几种检波器：

#### 最大峰值检波器

如果使用的最大峰值检波器，就会得到最大的噪声，因为频谱分析仪上显示的是踪迹中每个象素点所属频率范围内IF 包络的最大值。踪迹会有很高的噪声电平是因为扫描的时间很长，停留在每一个象素的时间长了，得到一个很高的噪声幅度的可能性也加大了。如果扫描的时间短了，因为在每一个象素上的停留时间短了，只能得到一个瞬间值，所以显示的噪声电平跟采样检波器接近。

#### 最小峰值检波器

最小峰值检波器显示的是踪迹中每个象素点所属频率范围内IF 包络的最小电压，在最小峰值检波器中，噪声会被很强地抑制，是因为在每一个测试点所显示的是噪声的最小幅度，如果信噪比很低，所显示的去掩盖信号的噪声也很低，如果扫描时间很长，踪迹显示的噪声电平很低，是因为停留在每一个象素上的时间长了，获得很低噪声幅度的可能性加大了，如果扫描时间短了，因为在每一个象素上的停留时间短了，只能得到一个瞬间值，所以显示的噪声电平跟采样检波器接近。

### 自动峰值检波器

自动峰值检波器在同一时间都会显示最大值和最小值.这两个被检测的电平值用一条直线连接起来并显示于屏幕上。

### 采样检波器

采样检波器对于踪迹中中频包络的每一个象素只作一次采样，并且显示测量结果，如果频谱分析仪的频宽比分辨率带宽要大的多 ( span/RBW >500 )，那么无法保证能检测到有用信号，有用信号没有检测到是由于没有被采样到，对于噪声不会发生这样的事情，因为在这种情况下，与测量结果有关的是盖率分布而不是瞬时的幅度值。

### RMS 检波器

对于踪迹中的每一个象素，RMS检波器对于其IF 包络取一个RMS值，因此它能够检测噪声功率。对于小信号来说，显示的是信号功率和噪声功率的总和。如果扫描时间很短，也就是说，只会检测到一个并无和采样值相关联的RMS值，RMS检波器在某种程度上等同于采样检波器；如果扫描时间很长，很多的值会被检测到综合出一个RMS值，踪迹也会变得很平滑.如果分辨率带宽至少和频宽一样大，那么正弦波信号就会正确显示，如果分辨率带宽达到1M，这意味着最大显示的频率范围是501MHz。

### 均值检波器

对于踪迹中的每一个象素，均值检波器输出的是其所属频率范围内的线性IF 包络的平均值，因此，测量的也是线性平均噪声，只有所选择的分辨率带宽至少大于象素所属频率范围的频宽的时候，正弦波信号才会正确显示，如果分辨率带宽达到1M，这意味着最大显示的频率范围是501MHz。

### 准峰值检波器

准峰值检波器是用于EMI测量的峰值检波器，它的充放电时间都在CISPR 16中定义，CISPR 16是适用于EMI发射测量装置的技术标准。

### 测量范例 – 测量在低信噪比情况下内部基准信号发生器的电平

这个范例表明了不同的因素会影响信噪比

#### 1.设置频谱分析仪为默认设置

➤按下PRESET按钮

FSP频谱分析仪便处于默认设置

#### 2.打开内部基准信号发生器

➤按下SETUP键

➤按下SERVICE – INPUT CAL 软按键

内部的128MHz的基准信号发生器便打开了

FSP频谱分析仪的RF输入端便关闭了

#### 3.设置中心频率为128MHz，频率跨度为100MHz

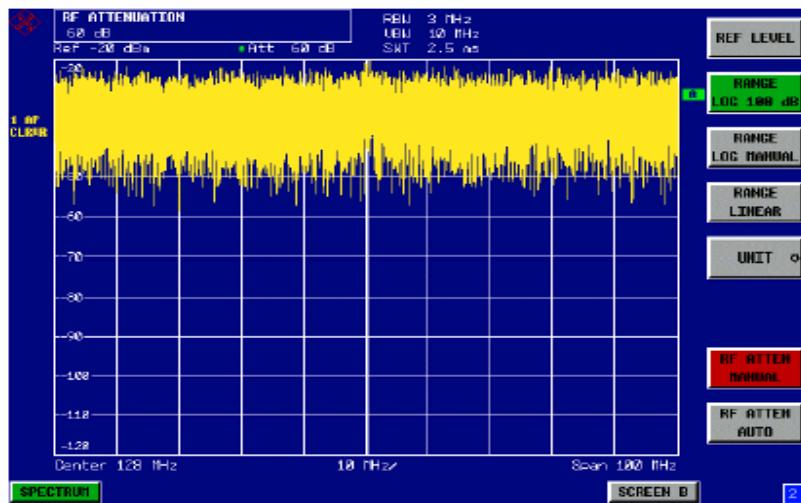
➤按下FREQ键，同时输入 128MHz

➤按下SPAN键，同时输入 100MHz

#### 4.设置RF衰减至60dB来衰减输入信号或者提高固有噪声

- 按下AMPT按键
- 按下RF ATTEN MANUAL 软按键同时输入60 dB

RF衰减指示器以星号表示,表明与参考电平不再关联.很高的输入端衰减会使得参考信号淹没在噪声中从而无法检测。

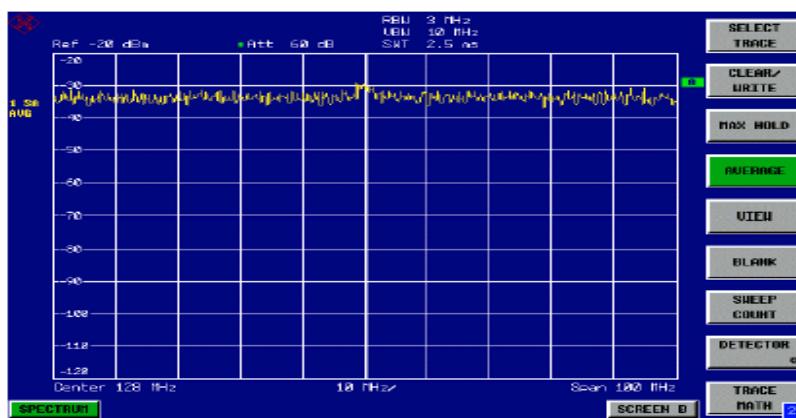


图表 2-21 具有低信噪比的正弦波信号.信号用自动峰值检波器测量,完全被频谱分析仪固有噪声掩盖

#### 5.平均踪迹压制噪声毛刺

- 按下TRACE键
- 按下AVERAGE软按键

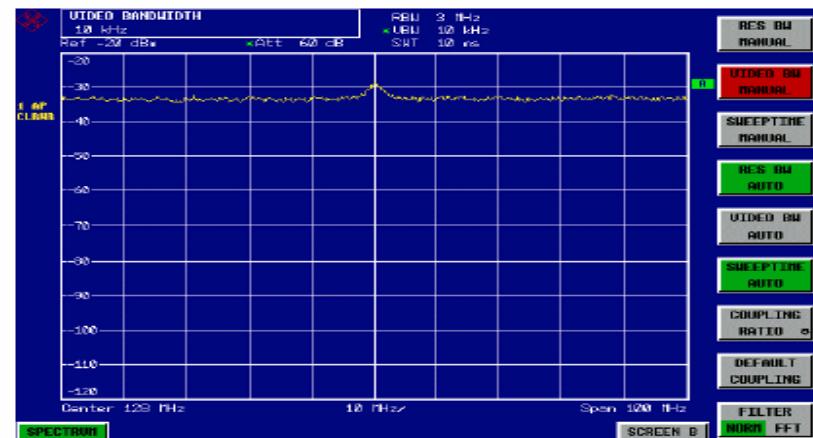
连续扫描的踪迹被平均了,为了平均踪迹,FSP频谱分析仪自动跳到采样检波器,因此,RF信号也能够从噪声中清楚的分离出来。



图表.2-22 如果踪迹平均,RF正弦波信号会有较低的信噪比

### 6.除了踪迹平均，还可以选择一个比分分辨率带宽小的视频滤波器

- 在踪迹菜单中按下CLEAR/WRITE软按键
- 按下BW键
- 按下VIDEO BW MANUAL，同时输入10kHz

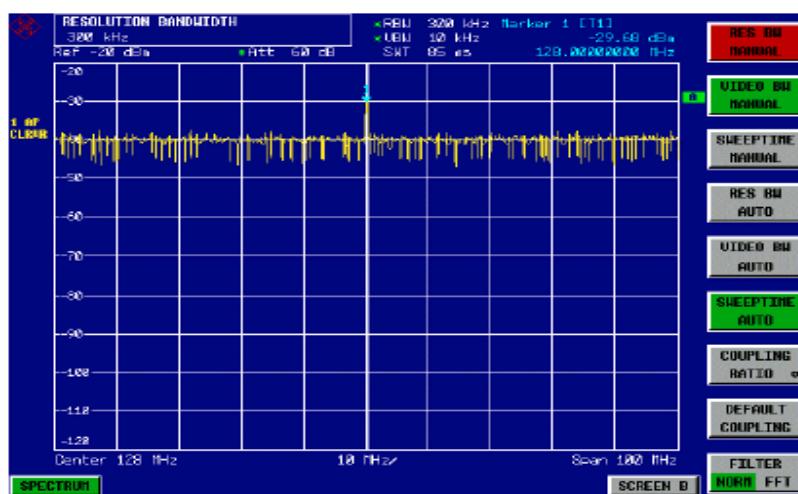


图表 2-23 如果选择较小的视频带宽，RF正弦波信号会有较小的信噪比

### 7.缩减视频带宽10个单位，噪声也相应的减小10dB.

- 按下RES BW MANUAL软按键，并输入300kHz

显示的噪声缩减大约10个dB，信号也会从噪声中上升10个dB，与以前的设置相比，虽然视频带宽保持不变，但相对较小的分辨率带来说，视频带宽相对地增加了，因此，踪迹的毛刺也增多了。



图表. 2-24 在较小的分辨率带宽下的参考基准信号

## 噪声测量

噪声测量在频谱分析仪中处于重要地位，噪声通常会影响无线电通讯系统和它们的组件的灵敏度。

噪声功率要么以传输信道上总的功率来衡量，要么以1Hz带宽上的功率来衡量。噪声的来源，举例来讲，来自放大器噪声或者由在接收机或者发射机中用来转化有用信号频率的振荡器所产生。噪声在放大器输出端的大小取决于放大器的噪声系数和增益。

振荡器的噪声是由振荡频率附近的相位噪声还有远离振荡频率的有源因素，还有热噪声所决定的，相位噪声会掩盖振荡频率附近的微弱信号，从而使这些信号很难被检测出来。

### 测量噪声功率密度

为了测量在某个频率下1Hz带宽的噪声功率，FSP频谱分析仪有一个易于使用的标记功能，利用这个标记功能，从测量的标记电平上就能计算出噪声功率。

#### 测量范例-在1GHz下测量FSP频谱分析仪的固有噪声功率密度和噪声系数

##### 1.设置频谱分析仪为默认设置

- 按下PRESET键
- FSP频谱分析仪便处于默认设置

##### 2.设置中心频率为1GHz，跨度为1MHz

- 按下FREQ键同时输入1GHz
- 按下SPAN键同时输入 1MHz

##### 3.打开标记同时设置标记频率为1GHz

- 按下MKR键同时输入1GHz

##### 4.打开噪声标记功能

- 按下NOISE MARKER 软按键
- FSP频谱分析仪显示在1GHz处的噪声功率，单位是dBm(1Hz)。
- 因为噪声是随意产生的，所以为了得到稳定的结果，需要足够长的时间，通常可以这样做：选择一个比分辨率带宽小得多的视频带宽，或者使用踪迹平均功能。

##### 5.通过踪迹平均来稳定测量结果

- 按下 TRACE 键
- 按下 AVERAGE 软按键
- FSP 频谱分析仪对连续扫描的 10 个踪迹进行平均，从而使测量结果更稳定。

### 向其他带宽的转换

通过简单的转换，噪声测量的结果可以变成另一种带宽，这是通过在测量结果前加 $10\log(BW)$ 来完成的，BW是一种新的参照带宽。

#### 例子：

-150dBm (1Hz) 的噪声功率可被转换至1kHz带宽。

$$P[1\text{kHz}] = -150 + 10\log(1000) = -150 + 30 = -120 \text{ dBm (1 kHz)}$$

#### 计算方法：

以下方法用于计算噪声功率：

如果噪声标记是打开的，FSP就会自动激活取样检波器，视频带宽被设定在选定分辨率带宽(RBW)的十分之一。

要计算噪声，FSP计算17个相邻象素的平均值(标记所在的象素和左边的8个象素及右边的8个象素)，并通过这17个象素进行视频滤波和平均来稳定测量结果。

由于采用了对数显示模式，结果将会偏低2.51dB(对数噪声均值和噪声功率之差)因此，FSP用2.51dB来正噪声数值。

要使测量结果标准化为以1Hz为单位带宽，结果也必须经 $-10\log(RBWnoise)$ 来校正，RBWnoise是指定分辨滤波器(RBW)的功率带宽。

#### 检波器的选择

噪声功率密度是在默认设置下使用取样检波器和取均值的方法测量的。其他可用来执行并可给出正确结果的检波器是均值检波器或RMS检波器。若使用均值检波器，那么线性视频电压则被平均并且显示为一个象素。若使用RMS检波器，则视频电压的平方被取均值并且显示为一个象素。取均值所需要的时间取决于选定的扫描时间(=SWT/501)。扫描时间的增加会使每个象素所需要的时间变长，并且因此使测量结果变稳定。依靠选定的检波器(对于均值检波器为+1.05dB，对于RMS检波器为0dB)，FSP自动纠正噪声标记显示的测量结果，这里假设视频带宽至少设为分辨率带宽的三倍，当均值检波器或RMS检波器被打开时，FSP将视频带宽设定为一个适合的数值。正峰值检波器，负峰值检波器，自动检波器，准峰值检波器不适合测量噪声功率密度。

**确定噪声系数**

放大器的噪声系数或者FSP自身的噪声系数可通过噪声功率显示值得到。基于在室温下50欧姆电阻的已知的热噪声功率 (-174dBm (1Hz)) 和测得的噪声功率Pnoise , 噪声数值 (NF) 可以用下面公式得到 :

$$NF = P_{noise} + 174 - g ,$$

这里g=以dB (分贝) 计算的DUT增益值。

例 : 我们发现在减少0dB时测得的FSP的内部噪声功率为-153dBm/1Hz。

$$NF = -153 + 174 = 19 \text{dB}$$

**注意 :**如果噪声功率是在一个放大器的输出端测量的 , 例如 , 测量内部噪声功率之和以及 DUT 输出端的噪声功率。DUT 的噪声功率可以利用从总功率中减去内部噪声功率的方法得到 (线性噪声功率的减法)。通过使用下图 , DUT 的噪声电平可以由总噪声和内部噪声电平之差来估算得到。

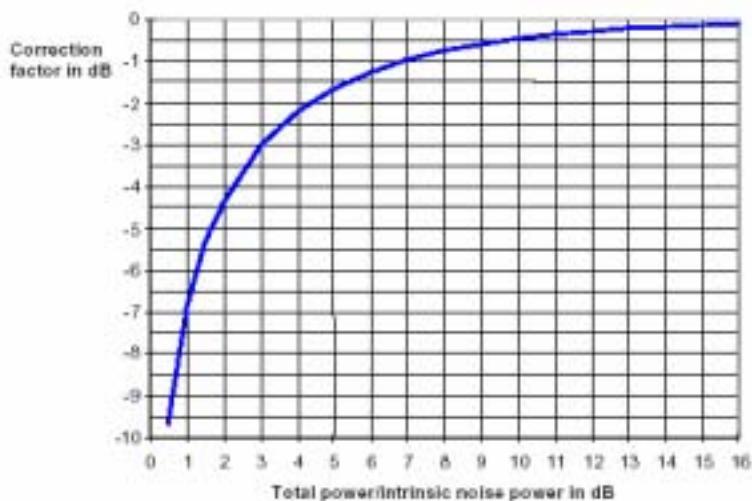


图2-25以频谱分析仪的总功率和固有噪声功率的比值的函数的形式出现针对测得噪声功率的修正系数。

## 传输信道中噪声功率的测量

在任何带宽中的噪声都可以用信道功率测量功能来测量。这样，在通信信道中的噪声功率就是可测定的，例如，如果在信道带宽内的噪声频谱是平的，通过考虑信道带宽，前个例子中的噪声标记就可以被用来确定信道中的噪声功率。然而，如果相位噪声或者在待测信道中通常向载波方向增加的噪声是主导的话，或者假设在信道中有离散的杂散信号的话，必须使用信道功率测量方法来得到正确的测量结果。

### 测量实例——利用信道功率测量功能在1.23MHz信道带宽内测量工作于1GHz的FSP的固有噪声

#### 测试方案：

FSP的RF输入端保持开路或者用50欧姆电阻连接。

#### 用FSP进行测量：

##### 1.设置频谱分析仪为默认状态

➤按PRESET键

FSP处于默认状态。

##### 2.设置中心频率为1GHz，频跨为1MHz

➤按FREQ键，并且输入1GHz

➤按SPAN键且输入2MHz

##### 3.要得到最大灵敏度，设置FSP上的RF衰减为0dB

➤按AMPT键

➤按RF ATTEN MANUAL软按键且输入0dB

##### 4.打开并配置信道功率测量。

➤按MEAS键。

➤按CHAN POWER/ACP软按键

根据当前的设置情况，FSP激活信道功率测量或者邻道功率测量。

➤按CP/ACP CONFIG软按键

FSP进入用于配置信道的子菜单。

➤按CHANNEL BANDWIDTH键且输入1.23MHz

FSP将1.23MHz信道显示为两条对称于中心频率的垂直线。

➤按PREV键

FSP返回用于信道或邻道功率测量的主菜单。

➤按ADJUST SETTINGS软按键

对于频率步长，带宽（RBW和VBW）和检波器的设置被自动设定为测量所需的最优值。

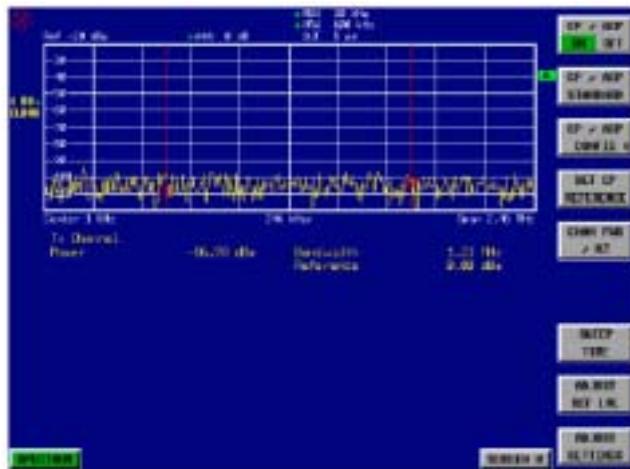


图2-26 在1.23MHz信道带宽中对FSP固有噪声功率的测量

#### 5.通过增加扫描时间稳定测量结果

- 按SWEEP TIME软按键且输入1s
- 通过增加扫描时间到1s，由于RMS检波器使踪迹变得更平滑，并且信道功率测量显示也更加稳定。

#### 6.在1Hz带宽内显示测得的信道功率

- 按CHAN PWR/Hz软按键。

在1Hz带宽内显示信道功率.ChanBW作为已选的信道带宽的前提下，测量结果被 $-10 \log(\text{ChanBW})$ 所修正。

#### 计算信道功率的方法

当计算信道功率时，FSP对线性功率进行积分，线性功率对应于选定信道内的象素电平，分析仪使用远小于信道带宽的分辨率带宽，当从信道上扫描过时，由于分辨率带宽的带通特性而形成信道滤波器。

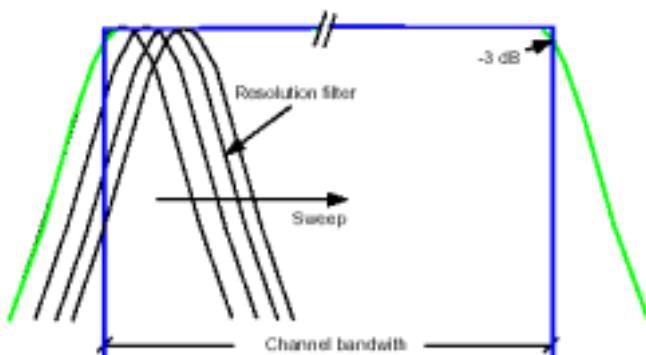


图2-27通过使用较小分辨率带宽来近似信道滤波器

执行下列步骤：

- 计算信道内所有踪迹象素的线性功率

$P_i = 10 \text{ ( } L_i / 10 \text{ )}$

这里  $P_i$ =第*i*个踪迹象素的功率

$L_i$ =第*i*个踪迹点的显示电平

- 信道内所有踪迹象素的功率都取和，且求得的和除以信道内踪迹象素的数目。

- 结果和选定信道带宽与分辨滤波器噪声带宽之商相乘。

因为功率计算是通过对信道带宽内的踪迹积分所得到的，这种方法也叫做IBW方法( 带宽积分方法 )。

#### 带宽 ( RBW ) 的选取

对于信道功率测量，与信道带宽相比，分辨率带宽 ( RBW ) 必须要小，这样信道带宽才可以精确的定义。如果已选定的分辨率带宽过宽的话，这将对模拟出来的信道滤波器的选择性产生负面影响，并导致邻道功率被加到传输信道功率中。

因此，应该选择相当于信道带宽1%到3%的分辨率带宽，如果分辨率带宽过小，所需扫描时间就变得过长，而且测量时间也相应增加。

#### 检波器的选取

由于踪迹的功率是在信道带宽内测量的，故只能使用取样检波器和RMS检波器，这些检波器提供的测量值使计算真实功率成为可能。峰值检波器 ( 正峰值，负峰值或自动峰值 ) 不适用于噪声功率检测，因为视频电压及功率与峰值无法建立任何关联。

对于取样检波器，IF包络电压的值 ( 样值 ) 被显示于每一个踪迹点，由于与分辨率带宽相比，频率跨度是非常大的 ( SPAN/RBW>501 )，噪声中的正弦信号将被丢失，也就是说，它们将不被显示出来。然而，对纯噪声来说这并不重要，因为单独来讲，一个样本本身并不重要 – 重要的是所有测量值的概率分布。功率计算的样本计算被限制在踪迹象素的数量 ( 对于FSP是501个 )。

**注意：**要增加测量的重复性，执行取均值的过程要建立在若干条踪迹的基础上 ( 取均值 ( AVERAGE ) 软按键在踪迹 ( TRACE ) 菜单中 )。对于信道功率测试，取均值会给出伪结果 ( 对于理想取均值最大可得-2.51dB ) 这样，就要避免取踪迹均值。

对于RMS检波器，整个IF包络被用于计算每个踪迹象素的功率，使用至少五倍于选定分辨率带宽的取样频率，对IF包络实现数字化.根据取样值，可以使用下面公式来计算每个踪迹象素的功率。

$$P_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N S_i^2}$$

$S_i$ =在模/数转换器输出端的线性数字化视频电压.

$N$ =每个踪迹象素的模/数转换器输出值的个数

$P_{RMS}$ =一个踪迹象素所代表的功率

当功率被计算出之后，功率的单位被转换成分贝（dB），而且数值被显示成踪迹象素。用于计算功率的模/数转换器值的个数N由扫描时间来定义。用来测量功率的每个踪迹象素占用的时间直接与选定的扫描时间成比例。RMS检波器使用比取样检波器多的多得取样来检测功率，尤其是扫描时间增加的时候，测量的不确定性相对可以减少一些。在默认设置，FSP使用RMS检波器来测量信道功率。

对于两种检波器（取样和RMS），视频带宽（VBW）必须至少三倍于分辨率带宽，这样视频电压的峰值就不会被视频滤波器切掉，在窄一些的视频带宽中，视频信号被取平均值，并且功率显示值会偏小。

#### 扫描时间选择

如果使用取样检波器，对于给定的频跨和分辨率带宽，尽可能选取最小的扫描时间。如果设置耦合的话，就可得到最短的时间，这意味着每次测量时间最小，因为用于计算功率的取样的个数是由信道中踪迹象素的个数来定义的，所以延长测量时间并没有更多的好处。

当使用RMS检波器时，测量结果的重复性会受扫描时间的选择的影响。长扫描时间会增加重复性。

重复性可从下列图中估算出来：

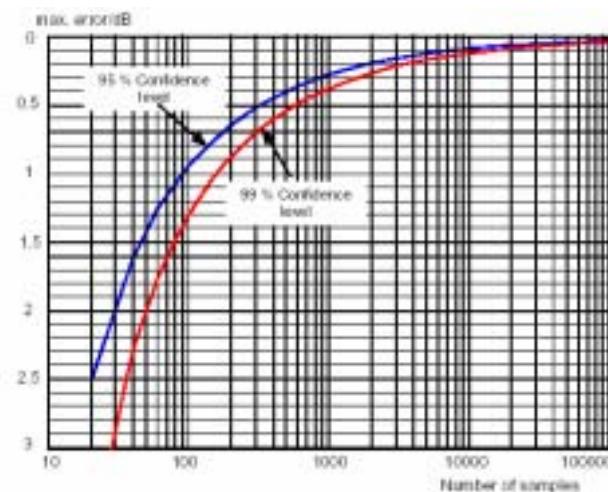


图2-28以用于功率计算的取样个数的函数的形式表示的信道功率计算的重复性。

图2-28中曲线说明根据使用的取样的数量，以95%和99%的概率得到的重复性。

600个取样的重复性是 $\pm 0.5$ dB，如果使用了取样检波器且信道带宽等于整个屏幕的频率跨度，这就意味着测量值以99%的概率存在于与实际值相差不超过 $\pm 0.5$ dB的范围内。

若使用RMS检波器，取样数量可按如下估算：

因为只有非相关的取样值会影响RMS值，取样的个数可由扫描时间和分辨率带宽计算得到。

如果取样是以1/RBW为间隔来进行的，那么取样值可认为是非相关的。非相关取样值的个数(Ndecorr)可按如下计算：

$$Ndecorr = SWT \cdot RBW$$

每个踪迹象素的非相关取样值个数可由Ndecorr除以501得到(=象素每踪迹)。

**例子：**

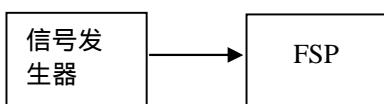
在30kHz分辨率带宽和100ms的扫描时间，可得到3000个非相关的取样值。如果信道带宽等于频率显示范围，也就是说，所有踪迹象素都被用于功率测量，则由图2-28估计可得到99%可信度的0.2dB的重复度。

## 测量相位噪声

FSP针对相位噪声测量有一个易用的光标功能。这个光标功能指示在1Hz带宽内以dBc计算的任意载波下一个RF(射频)振荡器的相位噪声。

### 测试范例-测量载波偏置10kHz的信号发生器的相位噪声

#### 测试设置



#### 信号发生器的设置(例如R&S SMIQ)

频率：100MHz

电平：0dBm

用FSP测量

##### 1. 设置频谱分析仪为默认状态。

➤按PRESET键

FSP处于默认状态

##### 2. 设置中心频率为100MHz，频跨为50kHz

➤按FREQ键并输入100MHz

➤按SPAN键并输入50kHz

##### 3. 设置FSP的参考电平为0dBm(=信号发生器电平)

➤按AMPT并输入0dBm。

#### 4. 激活相位噪声测量

- 按MKR FCTN键
- 按PHASE NOISE □ 软按键

FSP激活相位噪声测量功能,标记1(=主标记)和标记2(=增量标记)定位于信号最大值处,标记的位置是相位噪声测量的参照点(电平和频率),一条水平线代表参照点的电平,而一条垂直线则代表参照点的频率,增量标记的数据入口被激活,因此测试相位噪声所在的频率偏置可以直接输入。

#### 5. 用于测定相位噪声的10 kHz频率偏置

- 输入10 kHz.

FSP在频率偏置10 kHz处显示相位噪声,以dBc/Hz为单位的相位噪声的幅度显示在屏幕右上角的增量标记输出区域(delta 2 [T1 PHN]).

#### 6. 通过激活取踪迹均值使测量结果稳定.

- 按TRACE键
- 按AVERAGE软按键

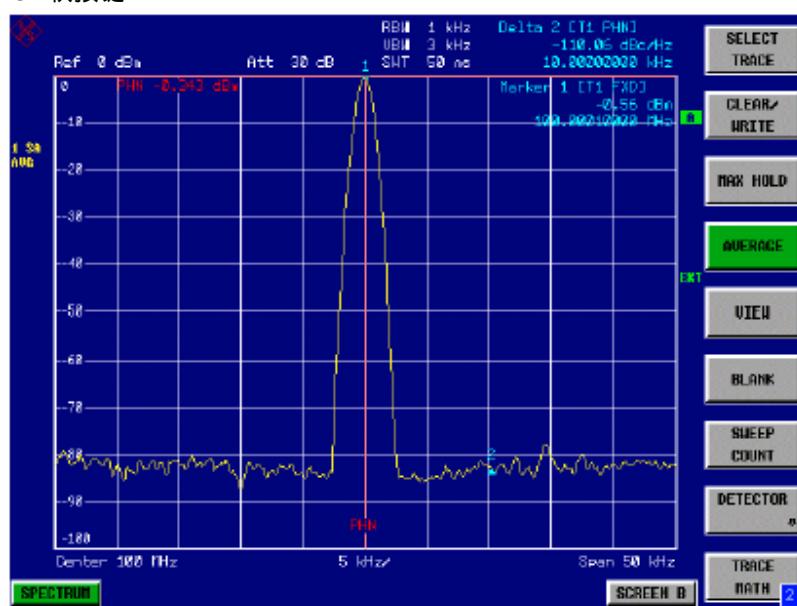


图2-29 用相位-噪声标记功能测量相位噪声

可通过滚轮移动光标来改变频偏,或者通过输入一个数字来设定频偏。

## 测量调制信号

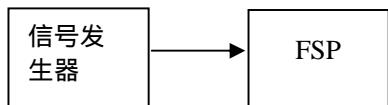
如果射频信号用于传输信息，就要调制一个射频载波。模拟调制方法，比如幅度调制，频率调制和相位调制有很长的历史，数字调制方法如今用于现代系统中。测量调制信号的功率和频谱是用以确保传输质量和保证其它无线电业务完整性的一项重要任务。用一个频谱分析仪可以轻易地完成这个任务。现代频谱分析仪同样提供常规测试程序，这些程序对于简化复杂的测试是至关重要的。

### 调幅信号的测量

频谱分析仪检测射频信号并把它的各个分量的幅度显示为频谱。调幅调制信号通过这一过程也被解调。如果调制边带在分辨率带宽范围内，AF电压可以在时间域显示出来。在频域，调幅边带可以用较小带宽解析表示并且可以单独测量，这意味着用正弦波信号调制的载波，其调制深度是可以测量的。由于频谱分析仪的动态范围很宽，甚至极小的调制深度也可以精确的测量出来。FSP有一套以百分数形式测量调制深度的常规测试程序。

#### · 测量范例1-在时域显示调幅信号的AF

测试设置



信号发生器的设置（例如 R&S SMIQ）

频率：100MHz

电平：0dBm

调制：50%调幅，1kHz AF

#### 用FSP测量

##### 1. 设置频谱分析仪为默认状态。

➤ 按PRESET键

FSP处于默认状态。

##### 2. 设置中心频率为100MHz，频跨为0Hz

➤ 按FREQ键并输入100MHz

➤ 按SPAN键并输入0Hz

##### 3. 设置参考电平为+6 dBm并且设置显示范围为线性

➤ 按AMPT并输入6dBm

➤ 按RANGE LINEAR软按键

#### 4. 使用视频触发器来触发AF信号以获取静态显示

- 按TRIG键
- 按VIDEO键

如果仪器是第一次开的话，视频触发电平被设置在50%.触发电平并显示为一条穿过图的水平线，FSP在时间域内静态地显示1 kHz AF信号。



图2-30 由1 kHz调幅载波测量AF信号

如果FSP配置了可选的AM/FM解调器（FSP-B3），则可由内置的扬声器监听AF。

#### 5. 打开内置的AM解调器

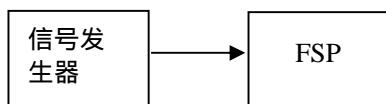
- 按MKR FCTN键。
- 按MKR DEMOD软按键

FSP自动打开调幅解调器。

- 打开音量控制
- 内置扬声器输出1 kHz的音调。

### · 测量范例2-在频域测量调幅载波的调制深度

测试设置：



信号发生器的设置（例如 R&S SMIQ）

频率：100MHz

电平：-30dBm

调制：50%调幅，1kHz AF

#### 用FSP测量

1. 设置频谱分析仪为默认状态。

➤ 按PRESET键

FSP处于默认状态

2. 设置中心频率为100MHz，步长为0kHz

➤ 按FREQ键并输入100MHz

➤ 按SPAN键并输入5kHz

3. 激活调幅深度测量的光标功能

➤ 按MEAS键。

➤ 按MODULATION DEPTH软按键。

FSP自动将光标定位于图形中央的载波信号上，将增量标记定位于每个调幅信号的上下边带。FSP由增量标记电平对主标记电平的比值计算调幅调制的深度，并在光标信息区域输出数字形式的值。

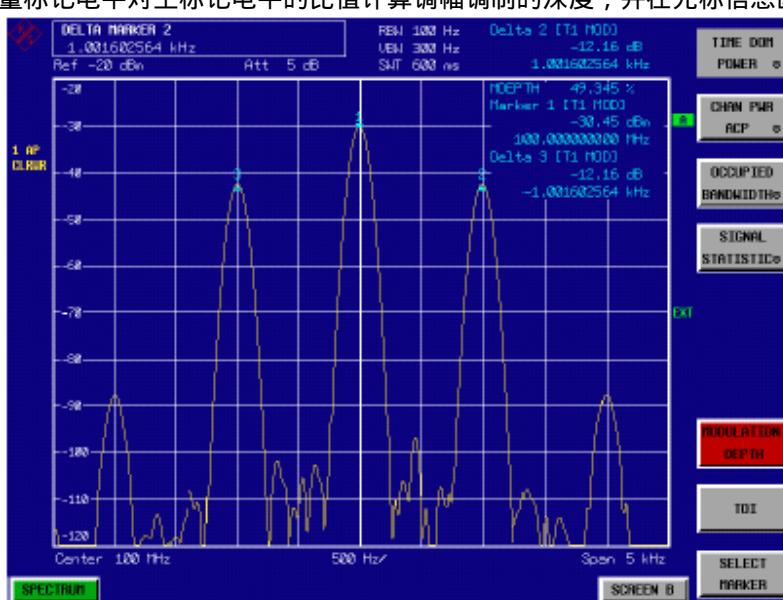


图2-31 调幅调制深度的测量。调制深度用MDEPTH显示，AF信号的频率由增量标记显示

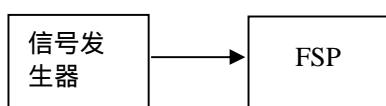
## 调频信号的测量

由于频谱分析仪只是通过使用包络检波器来显示信号的幅度，调频信号的调制就无法象调幅信号那样直接地测量。对于调频信号，只要信号的频率偏移处于选定分辨滤波器的带通特性的平滑部分，包络检波器的输出电压就是常数。只有当前频率处于滤波器特性的下降部分时才会发生幅度变化。这个效应可用于解调调频信号。测试信号的额定频率处于滤波器边沿（低于或高于中心频率），分析仪的中心频率就是以这种方式设定的，分辨率带宽和频率偏置是在当前频率处于滤波器倾斜线的线性部分的前提下选择的。这样，调频信号的频率变化就可以转换为一种幅度变化，这种变化可以在时域显示。

如果FSP频率被设置为低于或高于传输信号频率的滤波器带宽的1.2倍，则FSP的300 kHz到3 MHz的4阶模拟滤波器就有良好的滤波器的倾斜线性度。这样，对调频信号的解调的有用范围就几乎与分辨率带宽相等。

### · 测量范例-显示调频载波的AF信号

测试设置：



信号发生器的设置（例如 R&S SMIQ）

频率：100MHz

电平：-30dBm

调制：调频0 kHz偏移（就是说，FM = off），1kHz AF

### 用FSP测量

#### 1. 设置频谱分析仪为默认状态。

➤ 按PRESET键

FSP处于默认状态

#### 2. 设置中心频率为99.64MHz，步长为300kHz

➤ 按FREQ键并输入99.64MHz

➤ 按SPAN键并输入300kHz

#### 3. 设置分辨率带宽为300 kHz

➤ 按BW键

➤ 按RES BW MANUAL软按键，输入300 kHz.

#### 4. 设置显示范围为20 dB，将滤波器参数切换至显示屏中央。

➤ 按AMPT键

➤ 按RANGE LOG MANUAL软按键并输入20 dB

➤ 按NEXT键

➤ 设置GRID软按键为REL

- 按PREV软按键.
- 使用滚轮，切换参照电平，这样，滤波器曲线边沿在中心频率处与-10 dB电平线相交叉. 显示300 kHz滤波器倾斜曲线. 这与斜率约为5 dB/100 kHz的调频信号的解调参数相对应.

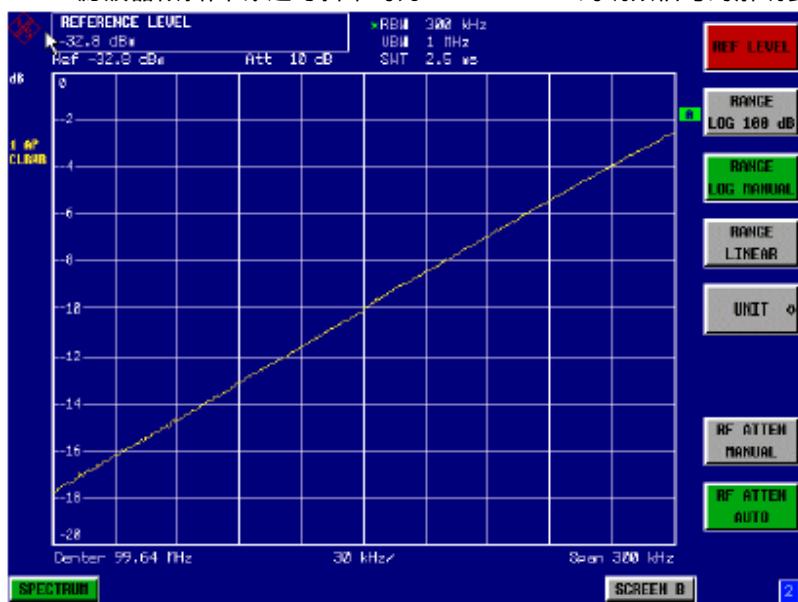


图2-32 用作调频信号鉴频器的特性参数,300 kHz滤波器的边沿

5.设置100 kHz的调频信号偏置，在信号发生器上设置1 kHz的AF

6.在FSP上设置0 Hz的频率偏移.

按SPAN键.

按ZERO SPAN.

调制好的调频信号显示出来. 信号移动穿过屏幕.

7.通过视频触发建立稳定的显示.

按TRIG键

按VIDEO软按键

可得到调频AF信号的静态显示。

结果  $(-10 \pm 5) \text{ dB}$ ，这意味着如果解调器的特征曲线斜率为5 dB/100 kHz，就可得到100 kHz的偏移。

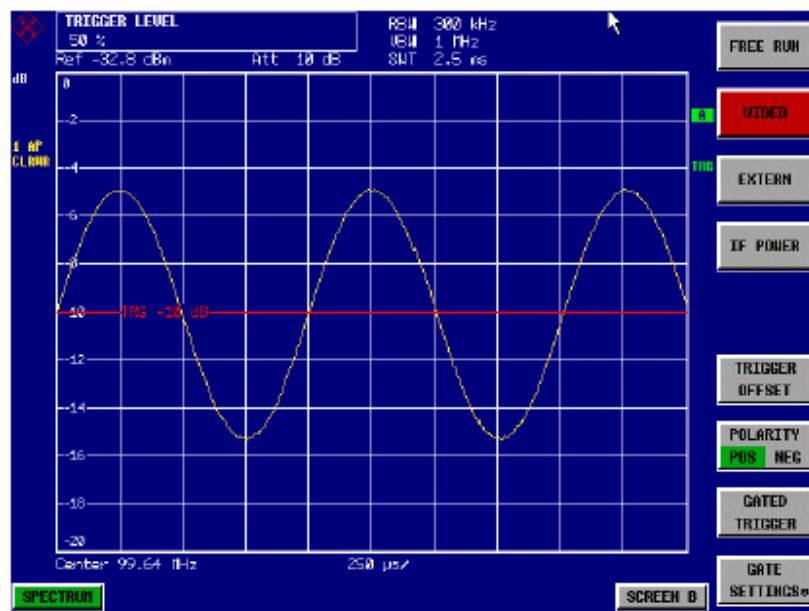


图2-33 解调的调频信号

## 测量信道功率和邻道功率

对于带有必要测试方案的频谱分析仪，在数字传输领域，测量信道功率和邻道功率是最重要的任务之一。从理论上讲，用功率表来测信道功率可以达到最高精确度，它较低的选择性意味着它不适用于测量以绝对值或与传输信道功率相关的形式出现的邻道功率。邻道的功率只能用具有选择性的功率表测量。

频谱分析仪不能叫做真正意义上的功率表，因为它显示中频包络电压。然而，它经过校准后被认为是可以正确显示纯正弦波信号的功率，而不考虑选定的检波器。上述校准对非正弦信号是无效的。假设经数字调制的信号的幅度函数具有高斯分布，使用校正因子可得到处于选定分辨率带宽内的信号功率。这些校正因子通常被频谱分析仪内部的功率测量程序所使用，目的是从中频包络测量中确定信号功率。当且仅当对于幅度服从高斯分布的假设是正确的时候，这些校正因子才有效。

除了这个常规方法，FSP还具有一个真正的功率检波器，也就是说一个RMS检波器。不需要额外的校正因子，不管幅度是什么分布，它都可以在选定的分辨率带宽内正确的显示测试信号的功率。在测量的绝对不确定度小于0.5 dB和相对不确定度小于0.2 dB条件下（每个都有95%的置信度），FSP近似一个真正的功率表。

用频谱分析仪测量信道和邻道功率有两种可行的方法：

IBW方法（带宽积分方法），对于这种方法，频谱分析仪使用低于信道带宽的分辨率带宽测量，并对与信道带宽相对应的踪迹的电平值进行积分。这一方法在噪声测量部分描述。

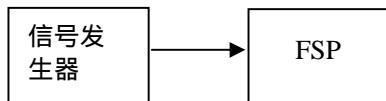
### 使用信道滤波器进行测量

在这种情况下，频谱分析仪使用与信道带宽一致的一个中频滤波器在时间域进行测量。功率是在中频滤波器输出端测量的。直到现在，这个方法仍未被频谱分析仪所用，这是因为信道滤波器至今还无法获得，而且针对扫描所优化的分辨率带宽不具备足够的选择性。这种方法是为针对特别传输方法的特殊接收机而保留的。

FSP有针对简单信道和邻道的功率测量的测试程序，这些程序无须复杂而乏味的设置步骤就可以快速给出结果。

### · 测量范例1-对一个IS95CDMA信号的ACPR测试

测试设置：



信号发生器的设置 (例如 R&S SMIQ )

频率 : 850MHz

电平 : 0dBm

调制 : CDMA IS95

#### 用FSP测量

##### 1. 设置频谱分析仪为默认状态

➤ 按PRESET键

FSP处于默认状态。

##### 2. 设置中心频率为850MHz , 频率偏移为4MHz

➤ 按FREQ键并输入850MHz

##### 3. 设置参照电平为+10 dBm.

➤ 按AMPT键且输入10 dBm

##### 4 . 配置CDMA IS95反向连接的邻道功率

➤ 按MEAS键

➤ 按CHAN PWR ACP ▾ 软按键

➤ 按 CP/ACP STANDARD软按键

➤ 从标准列表 , 用滚轮或滚轮下的下箭头键选择CDMA IS95A REV并按ENTER。

根据IS95标准 , FSP对于在传输信道上下各有一个邻道的基站进行信道结构设置。频谱在屏幕的上半部分显示 , 结果数值和信道结构情况在屏幕下半部分显示。在图中 , 不同竖线代表不同的信道。

频率跨度、分辨率带宽、视频带宽和检波器都是自动选择以给出正确的结果。要取得稳定的结果-尤其在与传输信道带宽 ( 1.23 MHz ) 相比较窄的邻道 ( 30 kHz带宽 ) 中-要使用RMS检波器。

#### 5. 对所应用的信号电平设置最优参照电平和射频衰减

➤按ADJUST REF LVL软按键

根据传输信道功率FSP设置最优的射频衰减和参考电平以获得最大的动态范围。下图显示测量的结果。

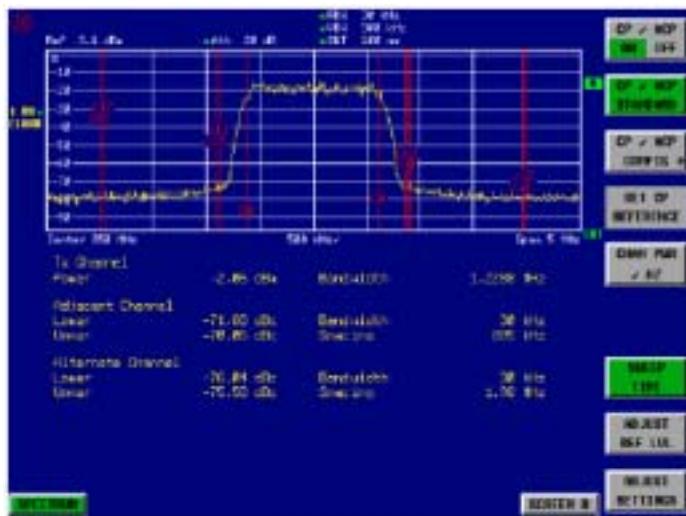


图2-34 对CDMA IS95信号的邻道功率测量

因为在30 kHz信道中的停留时间只是整个扫描时间的一小部分；结果的重复性会在很大程度上取决于测量时间，尤其是在较窄的邻道中。扫描时间越长，测量值收敛于邻道功率的真实值的可能性就越大，但这样也会增加测量时间。

为避免过长的测量时间，FSP在时域测量邻道功率（FAST ACP）。在FAST ACP模式，当调节到所讨论信道的中心频率时，FSP在定义过的信道带宽中测量每个信道的功率。分辨率带宽的数字化使选择一条与信号精确吻合的滤波器特性曲线成为可能。在CDMA IS95的情况下，有用信道的功率是在1.23 MHz带宽内测量的。这样，FSP由一个信道转到另一个信道，并且使用RMS检波器在1.23 MHz或30 kHz带宽内测量功率。每个信道的测量时间是用扫描时间来设定的。它与选定测量时间与选定信道数量的商值相等。上面例子中由5个信道与100 ms的扫描时间可以得出每信道20 ms测量时间的结果。

与例子中的由频跨 ( $= 5 \text{ MHz}$ ) 和扫描时间 ( $= 100 \text{ ms}$ , 与每30 kHz信道1.66 ms相等) 所决定的信道测量时间相比较, 在邻道上这是一个非常长的存在时间 (系数为12)。从非相关取样的数量这个角度来看, 与每信道测量  $1667/33\mu\text{s} = 50.5$  个取样相比, 这意味着每信道测量中有  $20000/33 \mu\text{s} = 606$  个取样。

在图2-28中可看出置信度为95%时重复性从 $\pm 1.4$  dB增加到 $\pm 0.38$  dB。对于同样的置信度，在积分模式下扫描时间必须设置在1.2 s。下图显示作为扫描时间函数的测量结果的标准偏移。

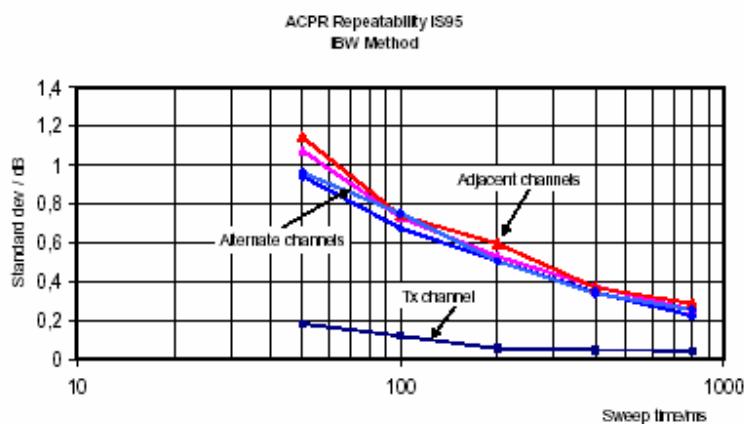


图2-35 若使用积分带宽方法，对IS95标准的信号，邻道功率测量的重复性。

#### 6. 切换至Fast ACP以增加结果的重复性。

- 按CP/ACP CONFIG 几软按键
- 设置FAST ACP 软按键为ON

FSP在时域测量各信道功率。踪迹代表功率，功率是每个信道的时间的函数（参见图2-36）。连续测量的数字结果变得更加稳定。

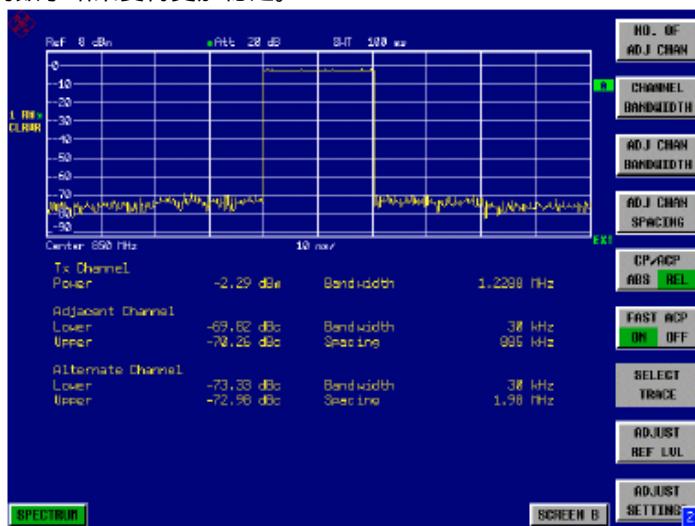


图2-36 在时域测量IS95信号的信道功率和邻道功率 (Fast ACP)

下图显示作为扫描时间函数的传输信道功率测量和邻道相对功率测量的重复性。如图2-35所示，测量结果的标准偏移是由100次连续测量经计算得出。

如果要比较功率值，则必须考虑刻度单位的转换。

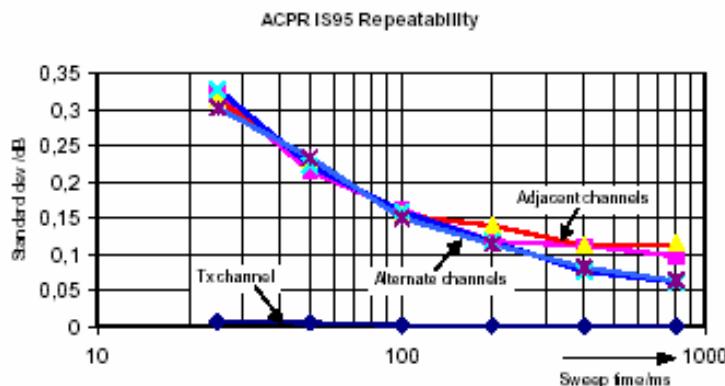


图2-37 在Fast ACP模式下，IS95信号的邻道功率测量的重复性

**IS95基站信号的邻道功率测量的注意事项：**

当测量IS95基站信号邻道功率时，传输信道与邻道间的频率间隔指定为 $\pm 750$  kHz，这样，邻道与传输信道就过近了，以至于传输信号功率会外漏，而且如果使用30 kHz分辨率带宽的方法，这个外漏信号会在邻道中被同时测量。原因是30 kHz分辨率滤波器的低选择性。因此为避免这种情况，分辨率带宽必须减少很多，比如说减少到3kHz。这样将导致较长的测量时间（在30 kHz与3kHz分辨率带宽间系数为100）。

在时域使用陡峭的中频滤波器可避免这个效应。安置于FSP内的30 kHz的信道滤波器有很高的选择性，这样，即使相对于传输信道有 $\pm 750$  kHz的间距，有用调制频谱的功率也未被测量。

下图显示FSP中30kHz信道滤波器中的带通特性

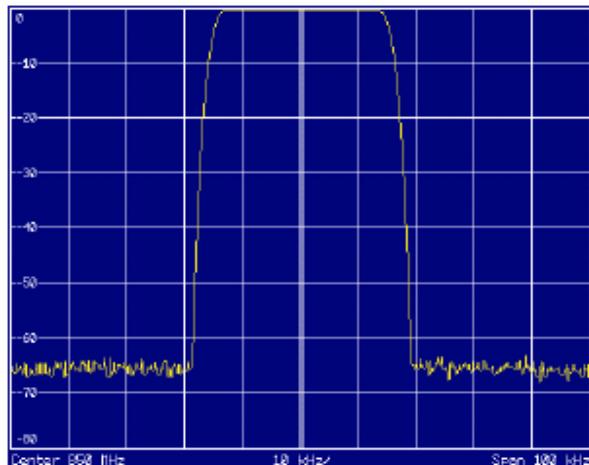
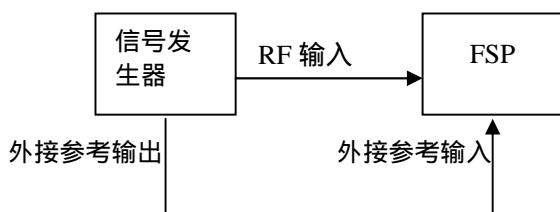


图2-38 在测量IS95邻道功率中30kHz信道滤波器的频率响应

### · 测量范例2-测量IS136 TDMA信号的邻道功率

测试设置



**注意：**当IS136信号的调制频谱漏入到邻道，它会增加邻道的功率。将频谱分析仪精确调节至传输频率就变得非常重要。如果调节不精确，低端和高端邻道功率的比值将不对称，因此，必须同步FSP和发生器的频率。

信号发生器的设置（例如 R&S SMIQ）

频率：850MHz

电平：-20dBm

调制：IS136/NADC

#### 用FSP测量

##### 1. 设置频谱分析仪为默认状态

➤ 按PRESET键

FSP处于默认状态。

##### 2. 设置FSP与外部参照频率同步

➤ 按SETUP键

➤ 将REFERENCE软按键设为EXT

##### 3. 设置中心频率为850MHz.

➤ 按FREQ键并输入850MHz

##### 4. 针对IS136信号设置邻道功率测量

➤ 按MEAS键

➤ 按CHAN PWR ACP ⌂ 软按键

➤ 按CP/ACP STANDARD软按键

➤ 由标准列表选择NADC IS136并按ENTER.

FSP在5个信道内进行功率测量（在有用信道及其上下各两个邻道内）。

## 5. 设置测量最佳的参照电平和射频衰减

➤按ADJUST REF LEVEL软按键

根据已测的信道功率，FSP设置最合适射频衰减和参考电平。



图2-39 在传输信道上下各两个邻道中测量NADC的相对邻道功率

要增加重复性--尤其在邻道中--推荐使用FSP的Fast ACP程序.

## 6. 打开Fast ACP程序.

➤按CP/ACP CONFIG 软按键

➤设置FAST ACP为ON

FSP使用IS136指定的接收滤波器在零频跨 (Zero Span) 模式顺序测量5个信道. 每个信道的功率作为时间的函数在图表中显示。

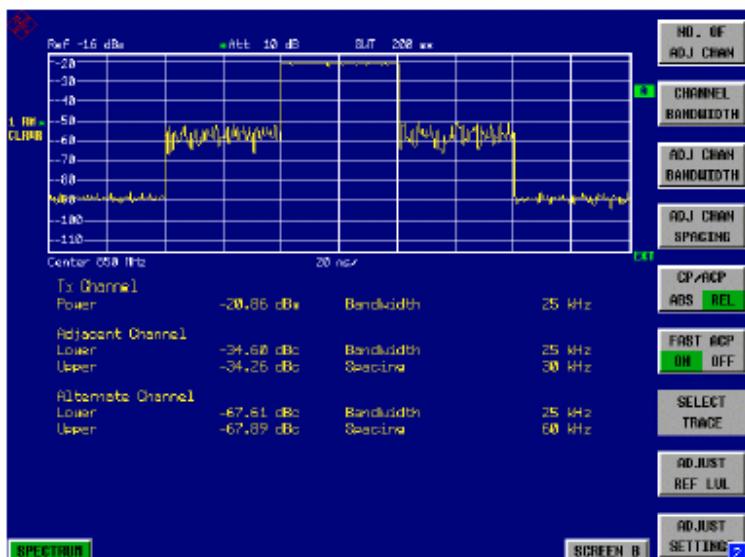


图 2-40 在时域测量邻道功率 (Fast ACP)

因为分辨率带宽比积分方法中使用的带宽要宽的多，所以在相同扫描时间的前提下相比较，结果要稳定得多。

重复性会受到选定扫描时间影响。如果选择长扫描时间，结果会变得更加稳定，由于在不同信道中幅度分布是不同的（调制频谱的一部分会落入到第一个邻道），重复性取决于被测信道与传输信道间的间隔。

下图2-41显示不同信道中结果的标准偏移，它是选定扫描时间的函数。使用一个信号发生器作源，对于不同的扫描时间，标准偏移被记录下来。对于实际的DUT，在邻道中的幅度分布或许不同，因此标准偏移可能与图2-41所示的不同。对于在一个给定标准偏移下，对的时间要求严格的测量，如果要估算正确的测量时间，就必须确定实际的DUT输出端的ACP值的标准偏移。

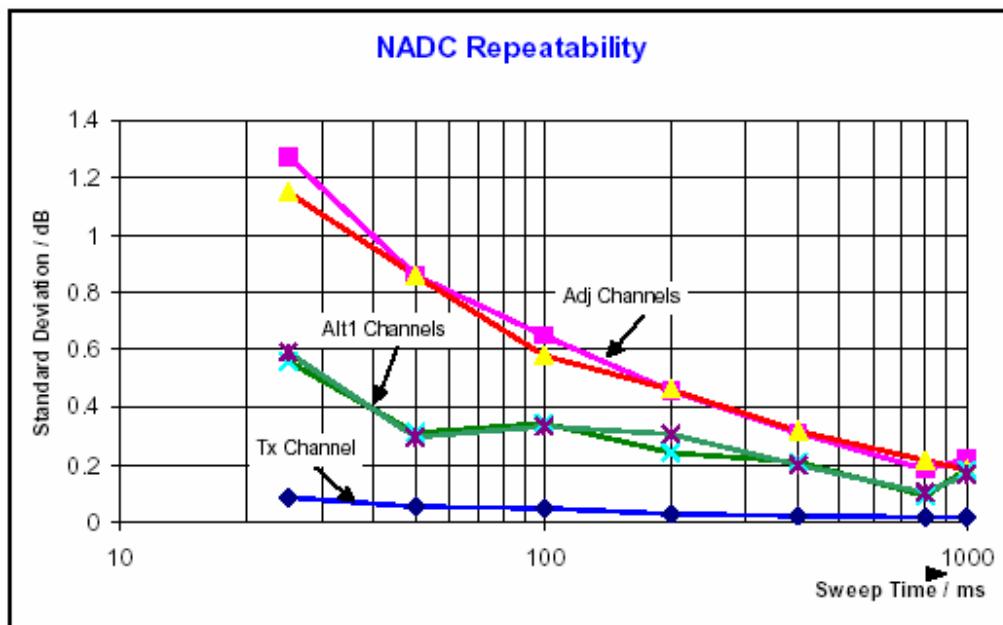


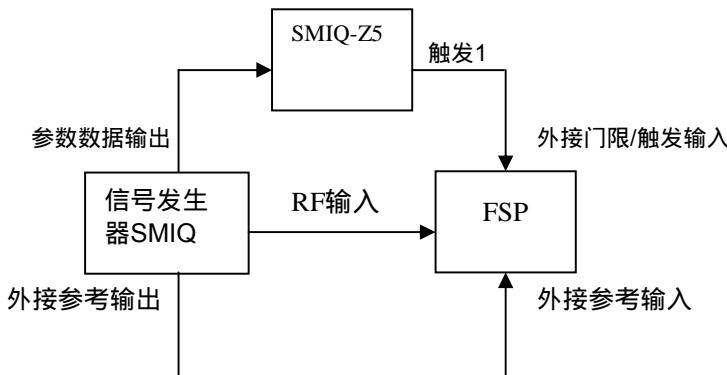
图2-41 Fast ACP测量结果的标准偏移，偏移是由每扫描时间100次测量估算出来的选定扫描时间的函数

### · 测量范例3-在突发模式下用门限扫描功能测量调制频谱

由于符合IS136的传输系统使用时分多址 ( TDMA ) 方法, 邻道功率必须也在突发模式下测量. 一个IS136 TDMA帧被分为6个时隙. 其中两个时隙分给用户. 这意味着IS136移动电话的传输时间与关断时间之比仅为1 :3. ( 例如时隙1和4 )

FSP支持TDMA下用门限扫描功能测量邻道功率.

#### R&S信号发生器SMIQ测试设置 :



SMIQ必须配备SMIQ-B10选件, 或SMIQ-B20 ( 调制编码器 ) 和SMIQ-B11 ( 数据发生器 ) 选件. 需用SMIQ-Z25选件来触发FSP, 它被连接到SMIQ的并行输出端口. 在IS136突发的上升沿, SMIQ-Z5的BNC输出触发1提供一个TTL触发信号, 在门限扫描模式它被用于启始FSP扫描.

**注意:** FSP的中频功率触发不适用于IS136, 它在输入信号的每个电平边沿都触发, 由于IS136信号的调制引起电平下降, 甚至在传输突发阶段也是这样, 因此无法保证FSP仅在突发边沿触发。

#### 信号发生器SMIQ的设置 :

将信号发生器调到IS136突发模式 ( 时隙1、4打开, 其余时隙关闭 )

SMIQ按如下设置来产生信号 :

- 按PRESET键
- 按FREQ键输入850MHz
- 按LEVEL键输入-20dBm
- 按RETURN键
- 使用滚轮选择DIGITAL STANDARD并按SELECT键
- 选择NADC并按SELECT键
- 按SELECT键
- 用滚轮选择ON按SELECT键
- 按RETURN键
- 转动滚轮直到SAVE/RECALL FRAME在列表中出现, 并使用SELECT键选择菜单项  
SAVE/RECALL FRAME
- 光标设在GET PREDEFINED FRAME
- 按SELECT键

- 使用滚轮选择UP1TCH并按SELECT键

在FSP以下的操作序列中，假设前个例子（第二个例子）中1至6步已经执行过。

### 1. 在FSP上配置门限扫描功能。

- 按TRIG键。
- 按GATED TRIGGER软按键。
- 按EXTERN软按键
- 按GATE SETTINGS 软按键  
FSP打开时域测量，这样就可以核对门限扫描参数。
- 按ZOOM X-AXIS软按键并输入10ms  
将精确地显示一个TDMA突发。
- 按GATE DELAY软按键且输入2ms或使用滚轮设置GATE DELAY，这样脉冲就可以可靠的检测到。
- 按GATE LENGTH软按键且输入5ms或使用滚轮设置代表门限时长的垂直线，这样就能可靠的检测到突发。

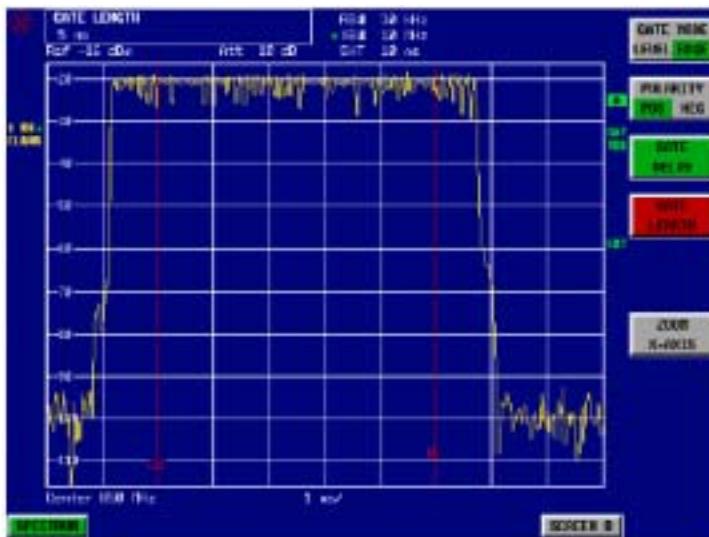


图2-42 在时域设置Gate Delay和Gate Length的参数，用于测量频谱的时间间隔由两条垂直线表示

- 按PREV键

现在FSP只在TDMA突发的打开阶段执行ACP测量，在关闭阶段测量停止。

**注意：**选定的扫描时间为净扫描时间，也就是说，FSP真正检测的这段时间，IS136信号的完整帧占用40ms。在上边的例子中，在一帧中测量只进行了 $2 \times 5\text{ms}$ ，FSP只在25%帧持续时间内测量，这样，总测量时间是CW模式的4倍。

## 测试范例4-用Fast ACP功能在突发模式下测量瞬时频谱

除了由射频载波调制产生的调制频谱和邻道功率，在TDMA系统中，由突发边沿产生的频谱和邻道功率也要测量。频谱是脉冲频谱，而且只能使用峰值检波器。用常用的IBW方法，只能正确测量连续调制信号的功率。在TDMA模式下，即使调制频谱被传输，其测量也会有效，因为通过门限扫描功能，测量时的突发边沿被取消掉了，当有突发时，只有在调制频谱是连续时，频率分析仪才执行测量功能。

然而，对于由突发边沿产生的频谱，IBW方法无效，因为测量是只在分辨率带宽内执行的，与信号带宽相比，分辨率带宽是很窄的，在已定义的测量信道中就会得到由分辨率带宽引起的伪幅度分布，窄分辨率带宽无法停留于测试信号的幅度峰值上，通过使用IS136标准中指定的根升余弦滤波器，FSP在时域中执行测量，从而可以避免上述问题。

如果用峰值检波器代替默认的RMS检波器（当标准选定，检波器也选定），由突发边沿产生的邻道实功率同样可以测量。

**测试设置：**此例的测试设置和SMIQ设置与前例中的一致。

**用FSP测量：**

1. **设置频谱分析仪为默认状态。**

➤按PRESET键

FSP处于默认状态

2. **使FSP与外接参考频率同步。**

➤按SETUP键

➤设置REFERENCE软按键为EXT

3. **设置中心频率为850MHz。**

➤按FREQ键并输入850MHz

4. **配置IS136信号在Fast ACP模式下邻道功率的测量。**

➤按MEAS键

➤按CHAN PWR ACP □ 软按键

➤按CP/ACP STANDARD软按键

➤由标准列表中选择NADC IS136，并按ENTER

➤按CP/ACP CONFIG □ 软按键

➤将FAST ACP软按键设置为ON

FSP在5个信道中执行测量（在有用信道及其上下各两个邻道）。

5. **设置测量的最佳参照电平和射频衰减。**

➤按ADJUST REF LEVEL软按键

FSP根据已测信道功率设定最佳射频衰减和最佳参照电平。

## 6. 选择峰值检波器并增加扫描时间到10s

- 按TRACE键
- 按DETECTOR软按键
- 按PEAK软按键
- 按SWEEP键
- 按SWEEP TIME软按键并输入10s

FSP测量由突发边沿和调制所产生的邻道功率。

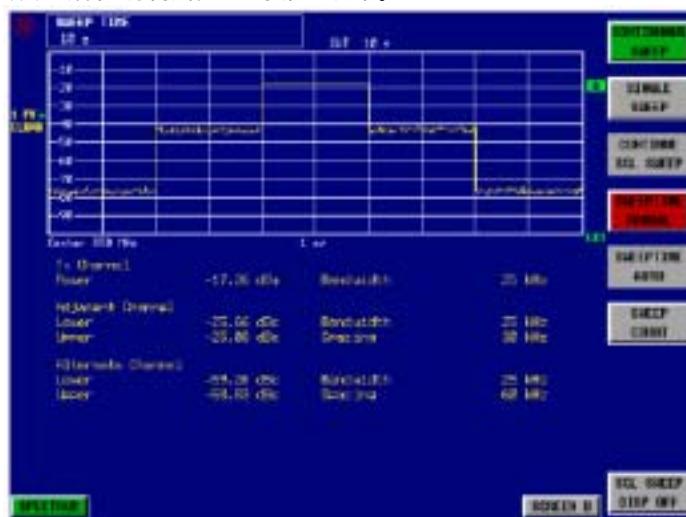
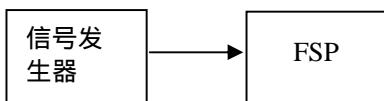


图2-43由调制频谱和瞬态频谱产生的邻道功率

**注意：**峰值功率显示由选定的扫描时间决定，扫描时间越长，测量信号的最高峰值幅度的概率就越大。对于较短的扫描时间，在时域踪迹中可以见到电平降低，这是由信号的脉冲特性所引起的，然而，数字形式的结果显示在相应信道测量中的峰值幅度。

## 测试范例5 – 测量W-CDMA上行信号的邻道功率

测试设置：



信号发生器的设置（例如 R&S SMIQ）

频率：1950MHz

电平：4dBm

调制：W-CDMA反向链接（NTT-DoCoMo，4.096 Mcps）

### 用FSP测量

#### 1. 设置频谱分析仪为默认状态

➤按PRESET键

FSP处于默认状态。

#### 2. 设置中心频率为1950 MHz

➤按FREQ 键并输入 1950 MHz

#### 3. 打开针对W-CDMA的ACP测量

➤按MEAS键

➤按CHAN PWR ACP ⌄ 软按键

➤按CP/ACP STANDARD软按键

➤从标准列表中，用滚轮或者按滚轮下面的下箭头键选择W-CDMA 4.096 REV并按ENTER

针对传输信道的上下各有两个邻道的移动电话，FSP将信道设置为W-CDMA标准（NTT-DoCoMo 和ARIB，4.096 Mcps）。频率跨度、分辨率带宽和视频带宽与检波器都自动设定为正确值，频谱在屏幕上部表示；信道功率，邻道功率的电平比值和信道配置在屏幕下半部分显示，单个的信道在图中显示为竖线。

#### 4. 对应用信号电平设置最佳参照电平和射频衰减

➤按ADJUST REF LEVEL软按键

FSP对传输信道中的功率设置最优的射频衰减和参照电平，以获得最大动态范围。下图显示测量结果：



图2-44 测量一个W-CDMA上行信号的相对邻道功率

## 5. 用Fast ACP方法测量邻道功率

- 按CP/ACP CONFIG键 软按键
- 设置FAST ACP软按键为ON
- 按ADJUST REF LVL软按键

FSP在时域测量单个信道功率。一个参数为 $\alpha = 0.22$ ，码片速率为4.096Mcps的根升余弦滤波器（W-CDMA的接收滤波器）被用做信道滤波器。

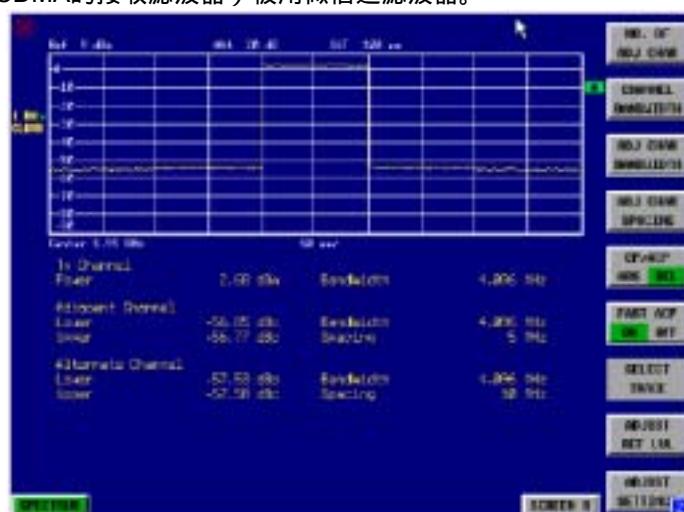


图 2-45 由Fast ACP方法测量W-CDMA信号的邻道功率

**注意：**对于W-CDMA，FSP的邻道测量的动态范围受限于12位的模/数转换器。因此，由IBW方法可得到最大的动态范围。

### W-CDMA信号ACPR测量的最优电平设置。

ACPR测量的动态范围受限制于频谱分析仪的热噪声本底，相位噪声和交调（频谱再生），由这些因素产生的FSP的功率值线性增加，它们取决于输入端混频器的施加电压.下图显示邻道的三个因素（5MHz载波偏置）.

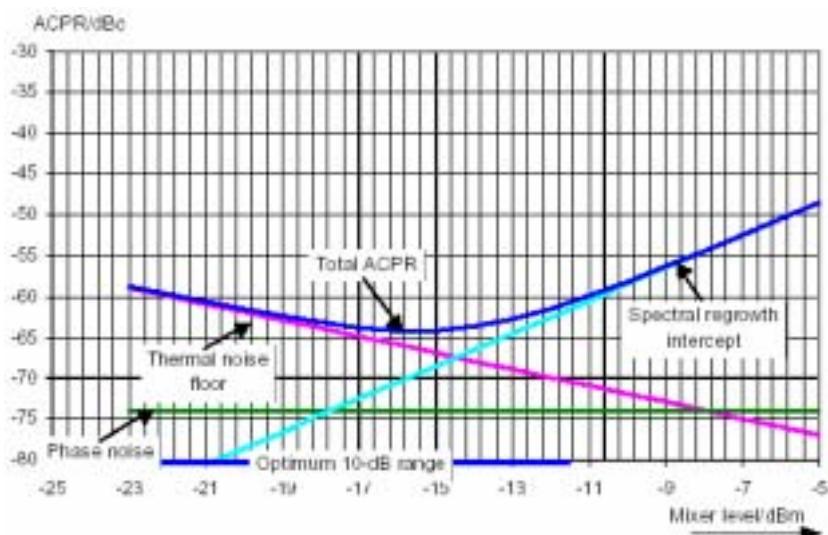


图 2-46 对于W-CDMA上行信号的邻道功率测量，FSP的动态范围是混频器电平的函数

输入端混频器的W-CDMA信号电平显示于水平轴，也就是说，待测信号电平减去选定的射频衰减。对邻道有影响且在邻道中产生相对电平（总ACPR）的各独立成分显示于竖直轴。最佳混频器电平为-16dBm.在最佳混频器电平下的相对邻道功率（ACPR）是-64dBc。在给定信号电平，对于10dB的射频衰减器，混频器电平设为10dB一级，在图中显示最优10dB范围：从-11 dBm到-21 dBm.在这个范围内可得到的动态范围是60dB。

要手动设置衰减参数,推荐使用下面方法：

- 设置射频衰减，这样混频器电平（=待测信道功率-射频衰减）在-11 dBm到-21 dBm之间。
- 设置参考电平，使它比已设定的射频衰减小20dB。

使用FSP的ADJUST REF LEVEL功能这个方法就是自动化的.尤其是在远端控制模式，（例如在生产环境），最好测量前正确地设置衰减功率，这样，需要自动设定的时间就被节省下来了。

**注意：**要测量FSP的对于W-CDMA邻道功率测量的固有动态范围，在发射机输出端需要有一个能够抑制邻道功率的滤波器.例如，可用一个带宽4MHz的声表面波滤波器。

## 幅度分布测量

如果使用不具备时域恒定包络的调制类型，发射机就不得不处理高于平均功率的峰值幅度，这包括所有涉及幅度调制的调制类型，比如QPSK，特别是CDMA传输模式也许会有比平均功率高的功率峰值。

对于这类信号，发射机必须为峰值功率提供较大的预留空间以避免信号压缩和由此引起的接收端的误比特率的增加。

因此，峰值功率或者信号的波峰因数就是发射机设计的一项重要准则，波峰因数定义为峰值功率/平均功率或者用对数表示为信号峰值电平的对数减去平均电平对数。

要降低功率消耗和削减成本，发射机并不是为可能会出现的最大功率而设计，而是为功率被超过的特定概率而设计的（例如0.01%）。

要测量幅度分布，FSP有简单的测量功能以确定APD<sup>1</sup>=幅度概率分布和CCDF=互补递增分布函数。在APD显示模式，某一电平出现的概率绘在水平线上。

在CCDF显示模式，超过信号平均功率的概率以百分数显示。

### 测试范例-测试由FSP产生的白噪声的APD和CCDF

#### 用FSP测量

##### 1. 设置频谱分析仪为默认状态

➤按PRESET键

FSP处于默认状态。

##### 2. 针对APD测量配置FSP

➤按AMPT键并输入- 60 dBm

FSP固有噪声在屏幕顶端显示。

➤按MEAS键

➤按SIGNAL STATISTIC □ 软按键

➤设置APD软按键为ON

FSP将频率跨度设为0 Hz且测量幅度概率分布（APD），用于测量的非相关电平的测量次数为100000次。

平均功率和峰值功率以dBm显示.同时输出波峰因数（峰值功率-平均功率）（见图2-47）。

---

<sup>1</sup> 在文献中，APD同样用于表示幅度干涉概率.这对于FSP中的APD功能来说是免费赠送的.在FSP的APD功能对应的文献中，频繁地使用术语PDF( =Probability Density Function概率密度函数)。

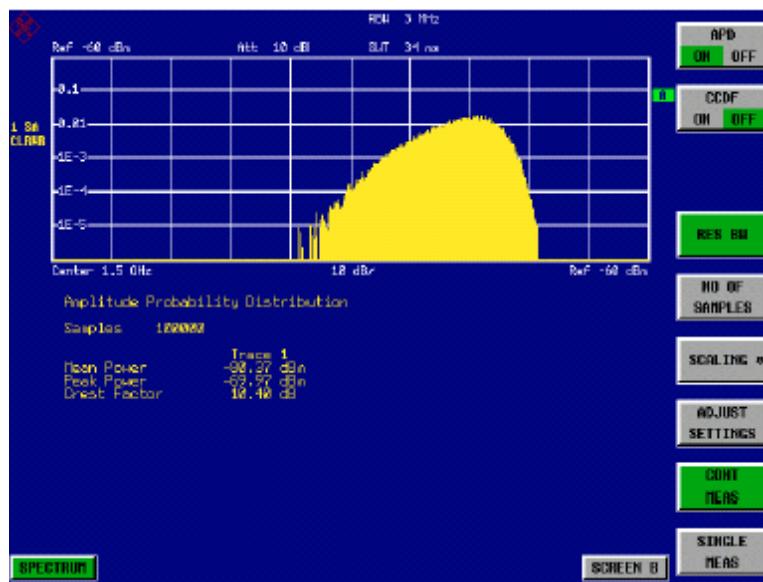


图 2-47 白噪声的幅度概率分布

### 3. 切换到 CCDF (互补累计分布函数) 显示模式。

- 将 CCDF 的软按键设为 ON  
APD 检测切换到 OFF 和 CCDF 显示模式设为 ON。

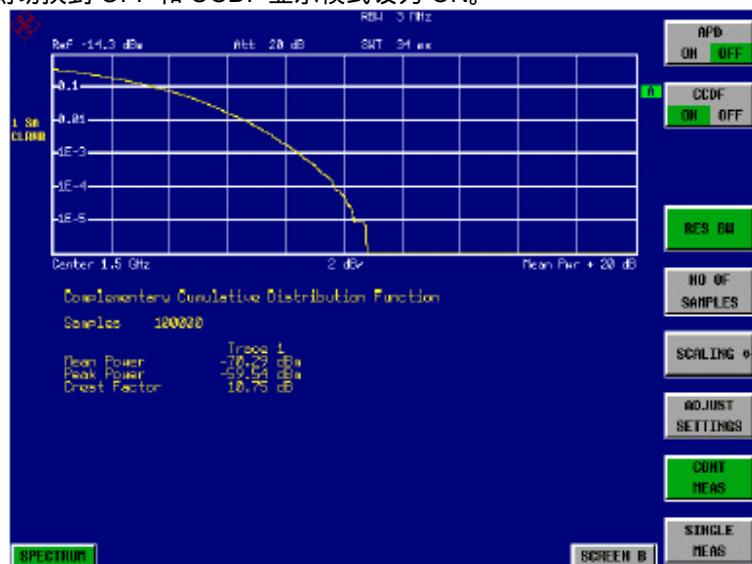


图 2-48 白噪声的 CCDF

CCDF 的踪迹表示电平超过平均功率的概率。超出平均功率的电平沿图中的 X 轴标绘，轴的原点对应于平均功率电平，电平被超过的概率沿 Y 轴标绘。

**4. 带宽选择**

如果测量幅度分布，所选分辨率带宽必须能够完全覆盖被测信号的频谱。这是保证所有幅度都能够无失真的通过中频滤波器的唯一方法。如果选择的分辨率带宽对一个数字调制信号而言太小，那么在中频滤波器输出处的幅度分布会根据中央限制定理形成高斯分布，并且以此响应白噪声信号。被测信号的真实幅度分布会因此无法判定。

视频带宽的选择要大于分辨率带宽 ( $3 \times RBW$ )。以保证信号的幅度峰值不被视频滤波器的低通效果平滑掉。视频带宽在统计测量中会自动设置。

由于 FSP 的视频带宽被限制到 10MHz，所以测量中分辨率带宽设为 10 MHz 会造成低通滤波。并且在分辨率带宽为 10MHz 时候，由于对数放大器的输出端的低通滤波，还会有附加的限带效应。它将视频信号限制在 8MHz 的带宽内，以使 20.4MHz 的中频滤波器获得足够的抑制。信号幅度的电平范围，在 APD 白噪声测量期间，是较小的。比如 W-CDMA 信号之类的宽带调制信号，效果取决于信号所占据的带宽。当信号带宽为 4 MHz，在合适的视频带宽下，幅度分布能正确地被测量。

**5. 选择样本数**

FSP 的统计测量，要求输入统计计算样本数  $N_{samples}$  而不是扫描时间。只有统计上独立的样本可以进行统计计算，所以测量或是扫描时间会自动地被计算出来。并在 FSP 上显示。时间差至少  $1/RBW$  的样本才是统计上独立的。因此扫描时间  $SWT$ ，如下表示：

$$SWT = N_{samples} / RBW$$

## 时域测量

TDMA 无线通信系统（例如 GSM 或 IS136），传输质量不仅靠频谱特性决定，而且还由时域特性决定。若干用户分享同一频率，时隙被分到每个用户。而当每个用户都只使用分配给他的时隙时，才能保证系统正常的运转。

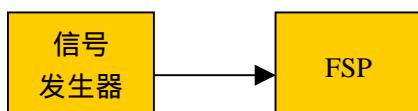
在这种情况下，发射阶段的功率和时间特性，如 TDMA 突发的持续时间以及上升下降时间，这两个方面是互相关联的。

### 功率测量

FSP 对固定时间间隔的功率测量有简易操作。

#### 测量范例 - 测量 GSM 突发高电平期间的功率：

测试准备：



设置信号发生器（例如 R&S SMIQ）：

频率：100 MHz

电平：0 dBm

调制：GSM，打开了一个时隙

#### 使用 FSP 的测量

##### 1. 将频谱分析器设置到缺省状态。

- 按下 PRESET 键。
- FSP 处于缺省状态。

##### 2. 将中心频率设为 100MHz，跨度设为 0Hz 的和分辨率带宽设为 1MHz。

- 按下 FREQ 键并输入 100 MHz。
- 按下 SPAN 键并输入 0 Hz 或是按下 ZEROSPAN 软按键。

##### 3. 将 FSP 参考电平设为 10dBm (=信号发生器电平 +10dB)

- 按下 AMPT 键并输入 10dBm。
- 4. 设置扫描时间为 1 ms。
- 按下扫描键并输入 1ms。
- FSP 屏幕显示 GSM 突发流过。

**5. 使用视频触发器在脉冲的上升沿触发。**

- 按下 TRIG 键
- 按下 VIDEO 软按键 并输入 70%

FSP 显示一条以 GSM 突发起始的稳定的曲线轨迹，同时显示一根标示触发阈值的绝对电平的水平线。

**6. 在时间域设置功率测量。**

- 按下 MEAS 键。
- 按下 TIME DOM POWER 软按键。
- 设置 LIMIT 软按键为 ON。
- 按下 START LIMIT 软按键。
- 顺时针方向转动旋钮把垂线置于脉冲开始处。
- 按下 STOP LIMIT 软按键。
- 逆时针方向转动旋钮把第二条垂线置于脉冲结束处。FSP 显示脉冲在高电平期间的平均功率。 ( 见图 2-49 )

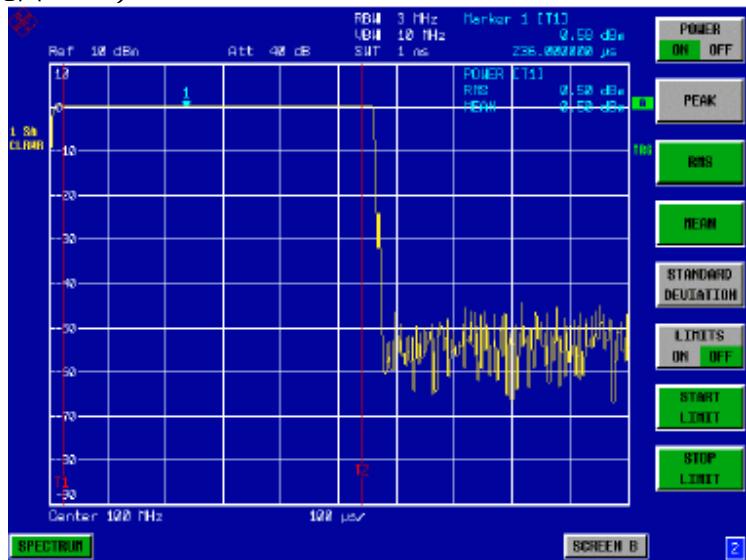


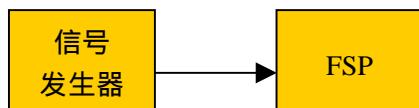
图 2-49 测量 GSM 突发高电平期间的平均功率

## 突发信号的斜边功率测量

由于 FSP 在 0Hz 范围有较高的时间分辨率，能精确测量 TDMA 突发的边沿。使用触发偏移量可以将边沿平移到屏幕上。

### 测量范例 - 高时间分辨率下的 GSM 突发沿测量

测试准备：



设置信号发生器（例如 R&S SMIQ）：

频率：100 MHz

电平：0 dBm

调制：GSM，打开了一个时隙

#### 使用 FSP 的测量

以上范例的设置是在测量 GSM 突发的高电平期间的功率。

##### 1. 关上功率测量。

- 按下 MEAS 键。
- 按下 TIME DOM POWER 软按键。
- 在子菜单中，设置 POWER 软按键为关。

##### 2. 增加时间分辨率到 $100 \mu s$ 。

- 按下扫描键并输入  $100 \mu s$ 。

##### 3. 使用触发偏移量平移 GSM 突发的上升沿到屏幕中间。

- 按下 TRIG 键。
- 按下 TRIGGER OFFSET 软按键。
- 转动旋钮（逆时针方向）设置触发偏移量，直到脉冲的边沿到屏幕中间或是直接输入  $-50 \mu s$ 。

FSP 显示 GSM 突发的上升沿（见图 2-50）。

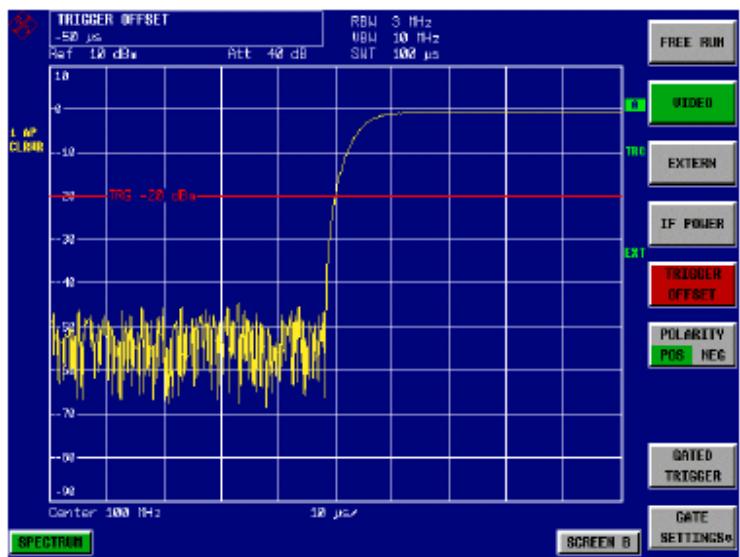


图 2-50 高时间分辨率下的 GSM 突发上升沿

#### 4. 使用触发偏移量平移 GSM 突发的下降沿到屏幕中间。

- 设置 POLARITY 软按键到 NEG。
- FSP 显示 GSM 突发的下降沿 (见图 2-51)

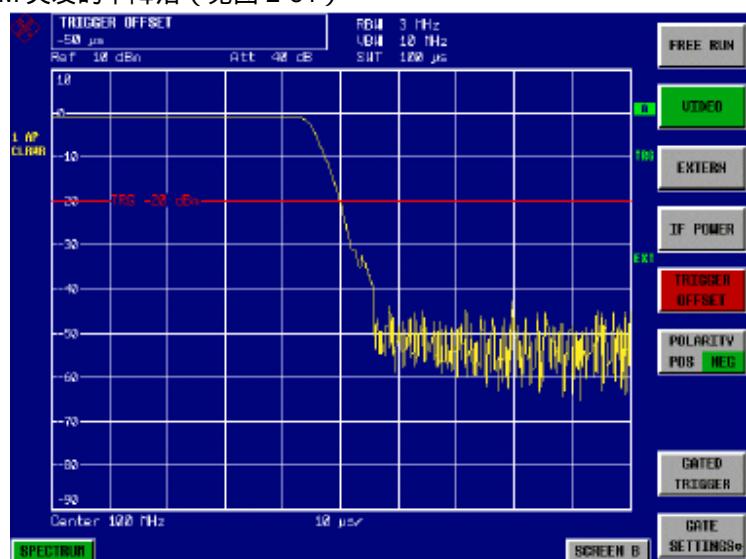


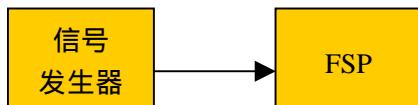
图 2-51 高时间分辨率下的 GSM 突发下降沿

## 测量脉冲的 S/N

对 TDMA 传输方式，比较传输突发的高电平与低电平功率，可以测出信噪比和通断率。因此 FSP 可以在时域上测量绝对与相对功率。使用 GSM 突发作为范例，测量如下执行。

### 测量范例 - GSM 信号的 S/N：

测试准备：



设置信号发生器（例如 R&S SMIQ）：

频率：100 MHz

电平：0 dBm

调制：GSM，打开了一个时隙

#### 使用 FSP 的测量

##### 1. 将系列分析器放到它的缺省状态。

- 按下 PRESET 键。

FSP 处于缺省状态。

##### 2. 将中心频率设为 100MHz，跨度设为 0Hz 的和分辨率带宽设为 1MHz。

- 按下 FREQ 键并输入 100 MHz。

- 按下 SPAN 键并输入 0 Hz 或是

- 按下 ZEROSPAN 软按键。

- 按下 BW 键并输入 1 MHz。

##### 3. 设置 FSP 参考电平为 0dBm (= 信号发生器电平) 并设置 RF 衰减为 10dB，以获得最大灵敏度。

- 按下 AMPT 键并输入 0 dBm。

- 按下 RF ATTEN MANUAL 软按键并输入 10 dB。

##### 4. 设置扫描时间为 2 ms。

- 按下 SWEEP 键并输入 2 ms。

FSP 屏幕显示 GSM 突发流过。

**5. 使用视频触发器在突发的上升沿触发。再将突发的开始平移到屏幕中间。**

- 按下 TRIG 键。
- 按下 VIDIO 软按键 并输入 70%。  
FSP 显示一幅稳定的图像，图像踪迹开始处即为 GSM 突发。
- 按下 TRIGGER OFFSET 软按键 并输入 -1 ms。  
FSP 在图像的右半部显示 GSM 突发。

**6. 时域的功率测量设置。**

- 按下 MEAS 键。
- 按下 TIME DOM POWER 软按键。
- 设置 LIMIT 软按键为 ON。
- 按下 START LIMIT 软按键。
- 使用旋钮把垂线置于脉冲开始处。
- 按下 STOP LIMIT 软按键。
- 使用旋钮把第二条垂线置于脉冲结束处。FSP 显示突发的高电平功率。

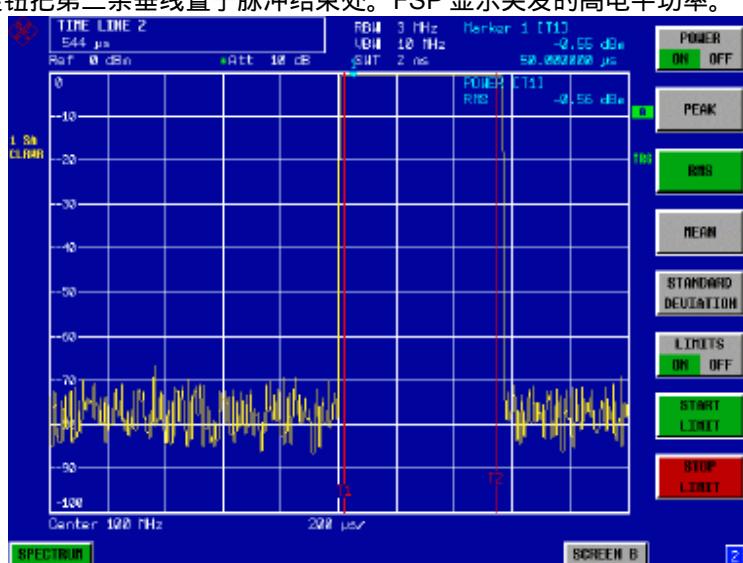


图 2-52 测量脉冲的高电平功率

**7. 将已测量的功率作为参考。切换到相对功率测量**

- 按下 NEXT 键。
- 打开功率测量设置的边菜单。
- 设置 POWER ABS/REL 软按键为 REL。
- 显示突发高电平期间功率的相对功率。
- 按下 SET REFERENCE 软按键。
- 测量的 GSM 突发功率被定义为参考功率。

### 8. 测量突发低电平的功率。

- 按下 TRIG 键。
- 设定 POLARITY POS/NEG 软按键为 NEG。

FSP 在突发的下降沿触发。突发会转移到左边的屏幕。测量低电平功率。突发的开始被转移到屏幕的中间并且测量相对参考功率 (=突发功率) 的低电平功率。

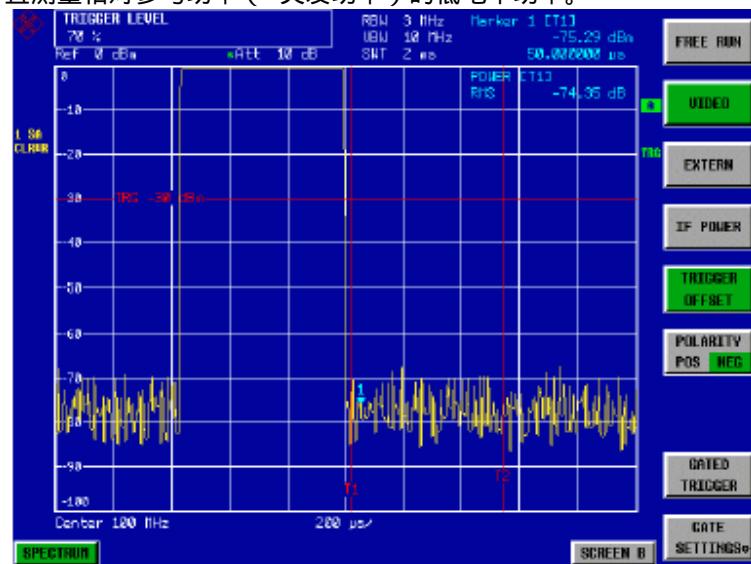


图 2-53 时域中测量 GSM 突发信号的 S/N

## 射 频 和 天 线 设 计 培 训 课 程 推 荐

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；我们于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com))，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

易迪拓培训课程列表：<http://www.edatop.com/peixun/rfe/129.html>



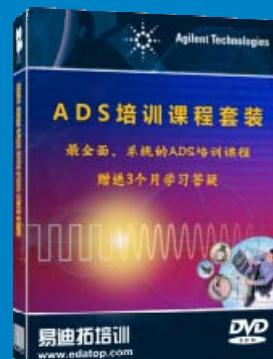
### 射频工程师养成培训课程套装

该套装精选了射频专业基础培训课程、射频仿真设计培训课程和射频电路测量培训课程三个类别共 30 门视频培训课程和 3 本图书教材；旨在引领学员全面学习一个射频工程师需要熟悉、理解和掌握的专业知识和研发设计能力。通过套装的学习，能够让学员完全达到和胜任一个合格的射频工程师的要求…

课程网址：<http://www.edatop.com/peixun/rfe/110.html>

### ADS 学习培训课程套装

该套装是迄今国内最全面、最权威的 ADS 培训教程，共包含 10 门 ADS 学习培训课程。课程是由具有多年 ADS 使用经验的微波射频与通信系统设计领域资深专家讲解，并多结合设计实例，由浅入深、详细而又全面地讲解了 ADS 在微波射频电路设计、通信系统设计和电磁仿真设计方面的内容。能让您在最短的时间内学会使用 ADS，迅速提升个人技术能力，把 ADS 真正应用到实际研发工作中去，成为 ADS 设计专家…



课程网址：<http://www.edatop.com/peixun/ads/13.html>



### HFSS 学习培训课程套装

该套课程套装包含了本站全部 HFSS 培训课程，是迄今国内最全面、最专业的 HFSS 培训教程套装，可以帮助您从零开始，全面深入学习 HFSS 的各项功能和在多个方面的工程应用。购买套装，更可超值赠送 3 个月免费学习答疑，随时解答您学习过程中遇到的棘手问题，让您的 HFSS 学习更加轻松顺畅…

课程网址：<http://www.edatop.com/peixun/hfss/11.html>

## CST 学习培训课程套装

该培训套装由易迪拓培训联合微波 EDA 网共同推出, 是最全面、系统、专业的 CST 微波工作室培训课程套装, 所有课程都由经验丰富的专家授课, 视频教学, 可以帮助您从零开始, 全面系统地学习 CST 微波工作的各项功能及其在微波射频、天线设计等领域的设计应用。且购买该套装, 还可超值赠送 3 个月免费学习答疑…



课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/24.html>



## HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书, 课程从基础讲起, 内容由浅入深, 理论介绍和实际操作讲解相结合, 全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程, 可以帮助您快速学习掌握如何使用 HFSS 设计天线, 让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

## 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程, 培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合, 全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作, 同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习, 可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…



详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>

## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验,
- ※ 一直致力并专注于微波射频和天线设计工程师的培养, 更了解该行业对人才的要求
- ※ 经验丰富的一线资深工程师讲授, 结合实际工程案例, 直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>