

频谱分析仪技术基础



一、基本理论

- 信号分析及频谱分析概述
- 频谱仪的工作原理

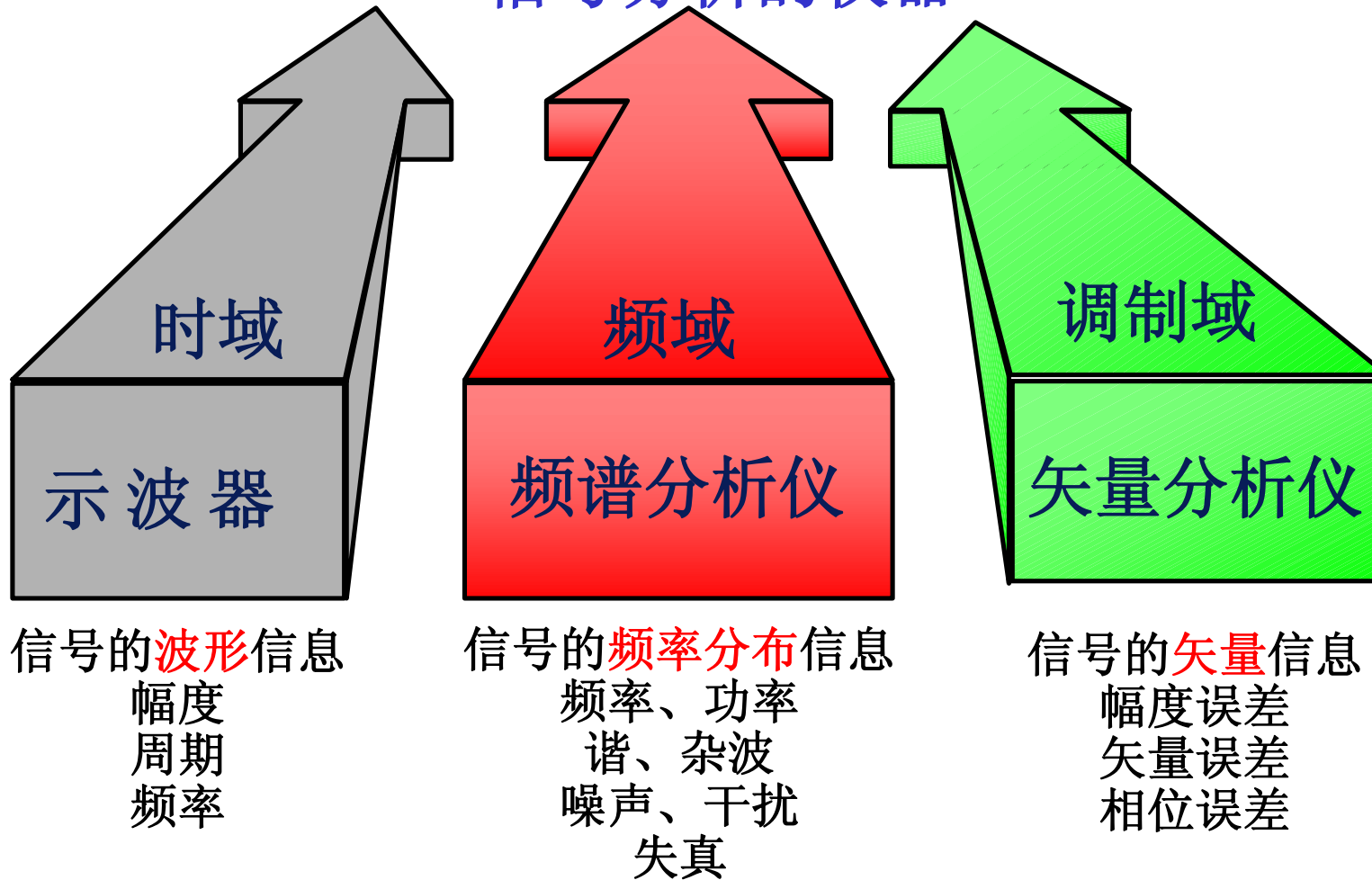
○二、实际应用

- 频谱仪基本操作
- 频谱仪基本应用

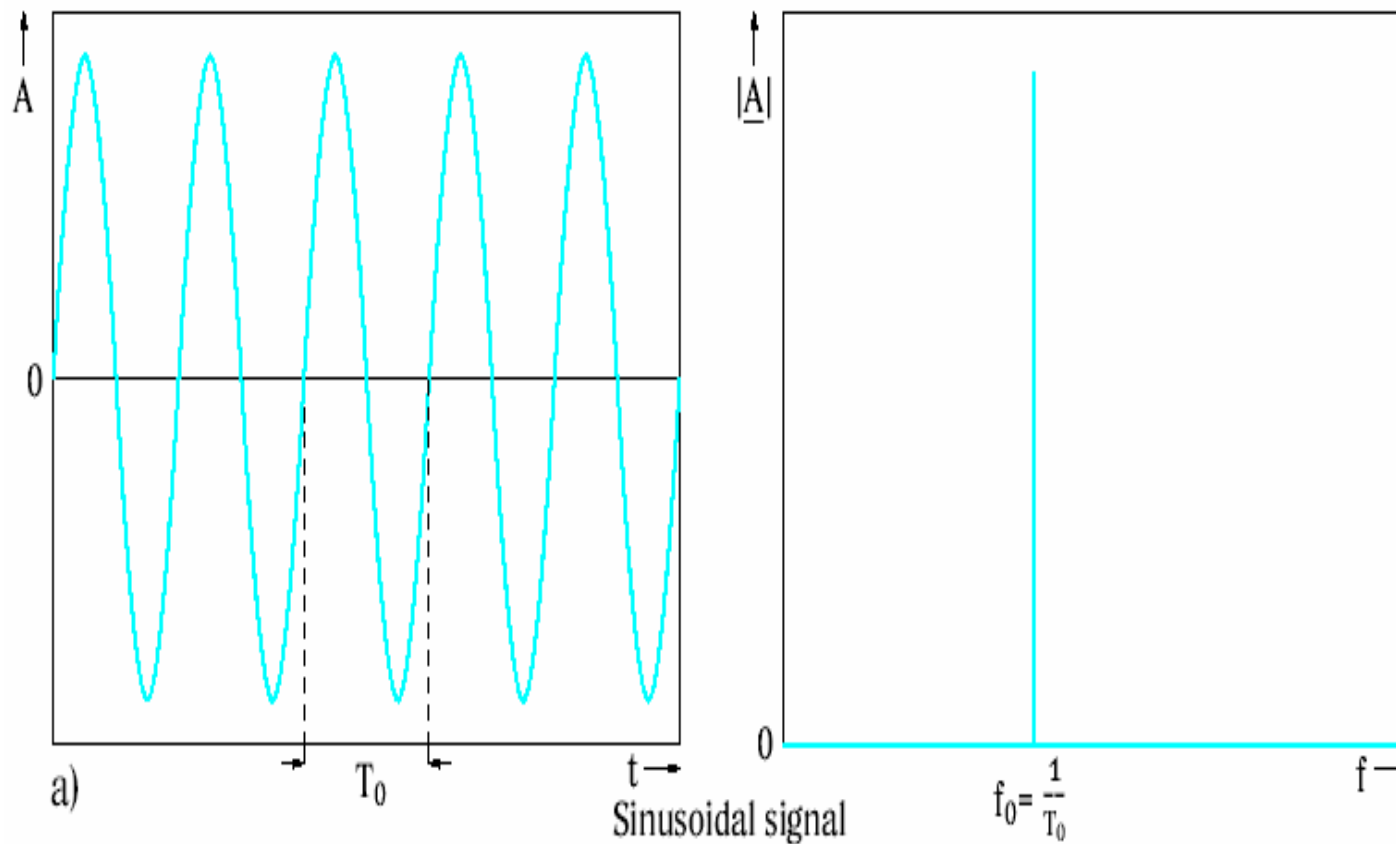
培训达到的目的

- | 熟悉频谱仪的基本原理
- | 熟悉频谱仪的基本操作

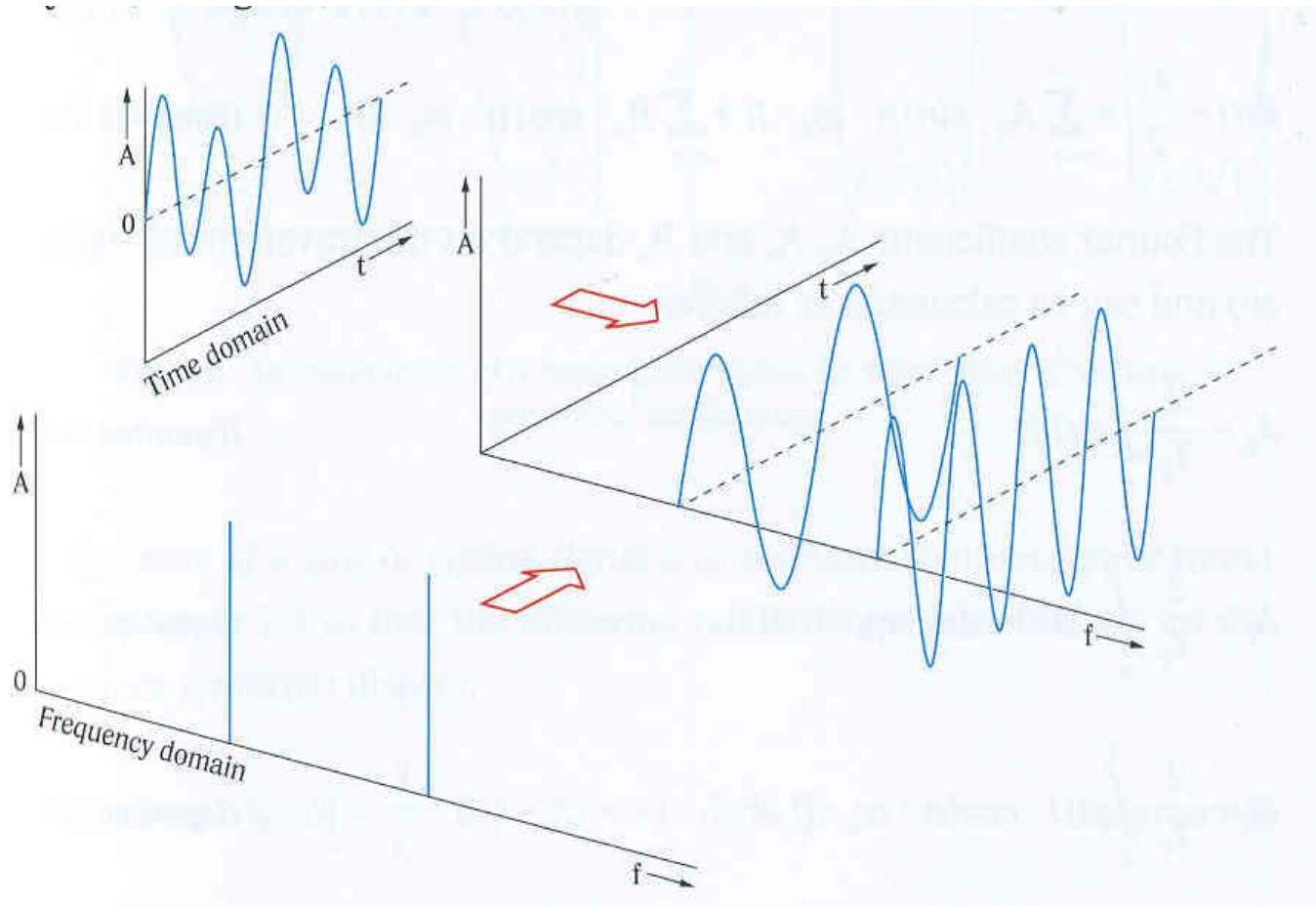
信号分析的仪器



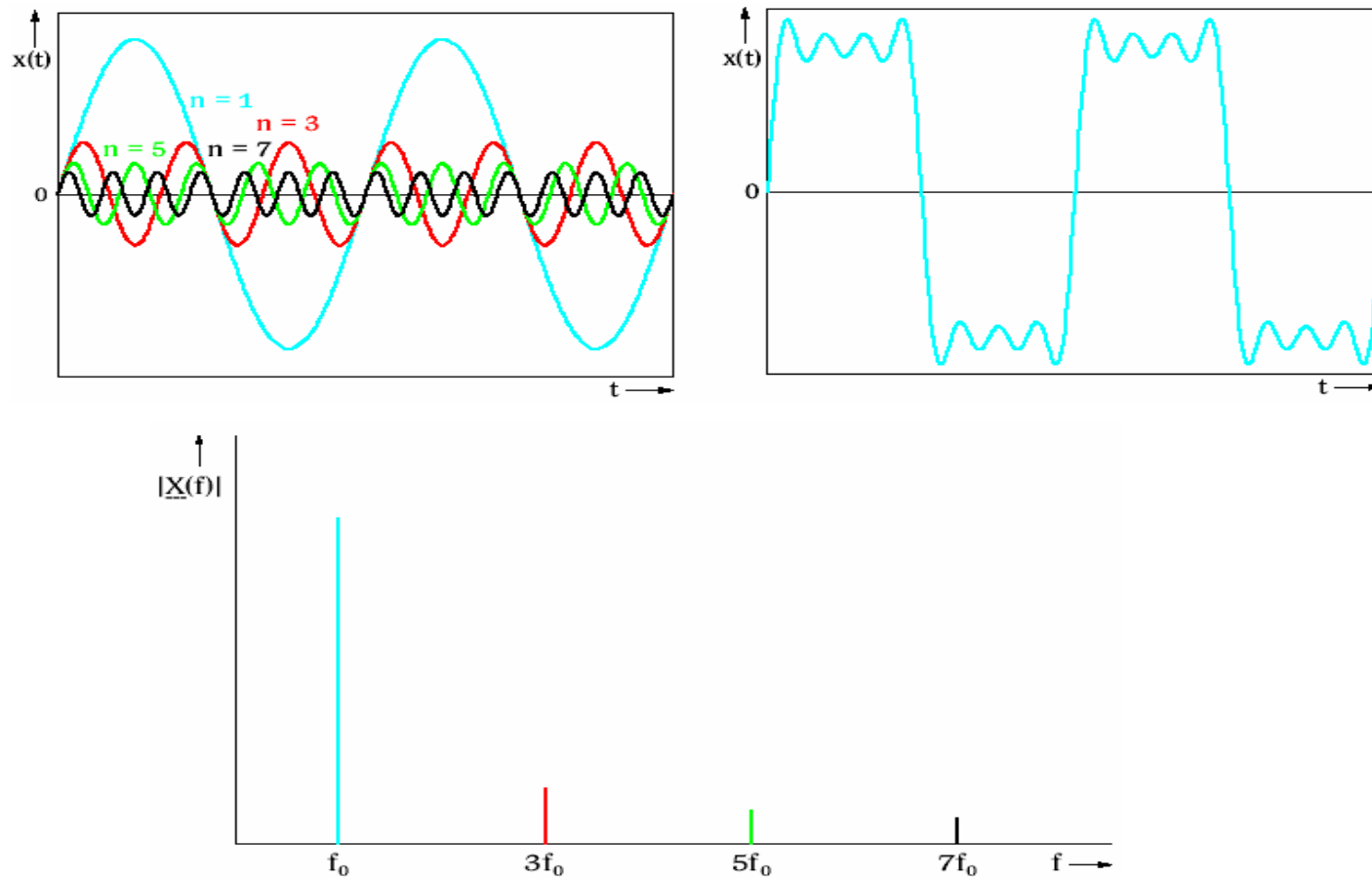
理想单载波信号在时域和频域的结果



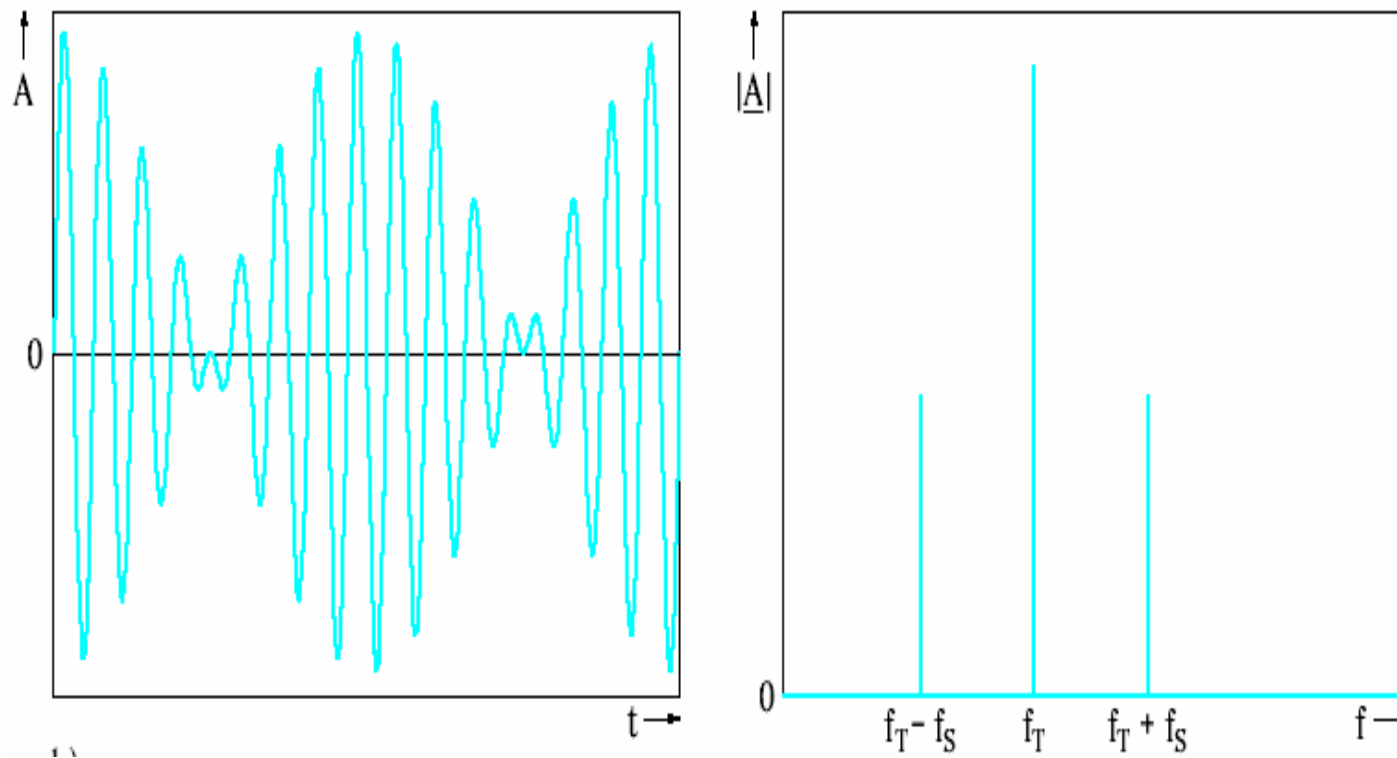
频域测量对信号分析的作用



周期信号的频谱

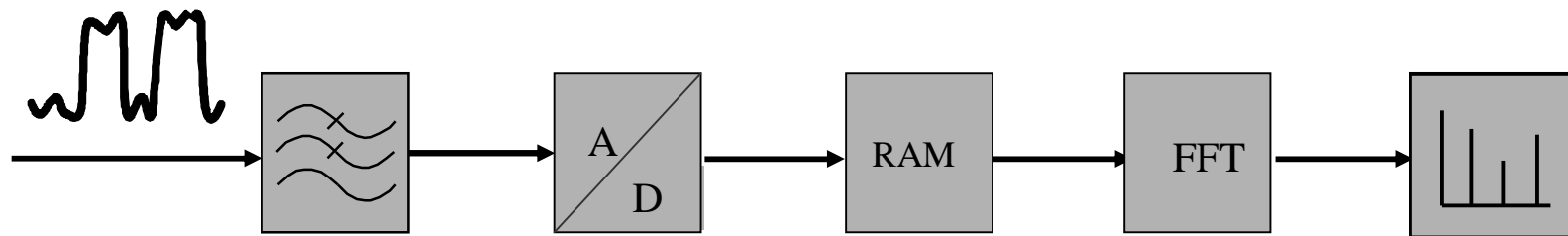


AM 信号

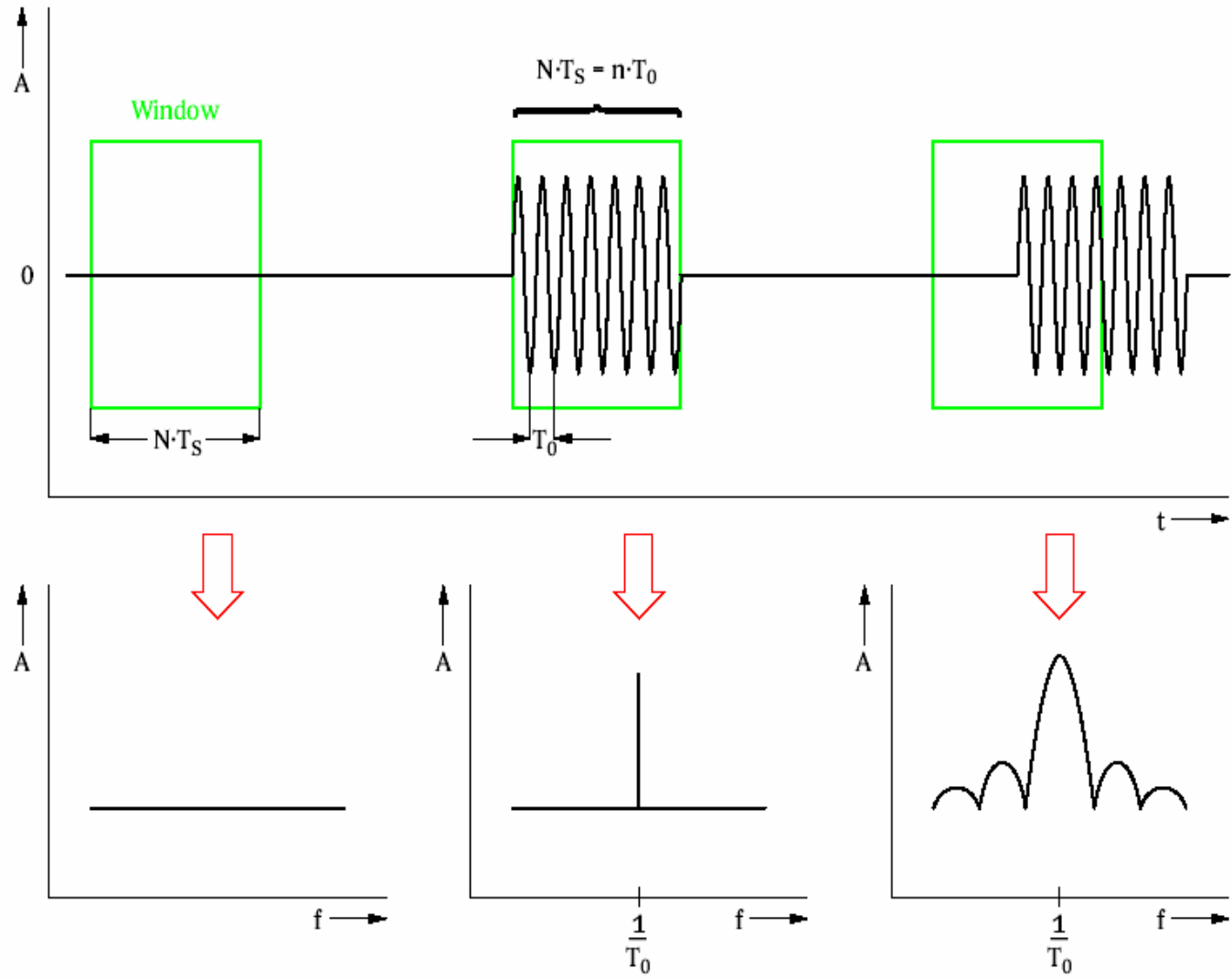


频谱仪的类型

1、傅立叶分析仪

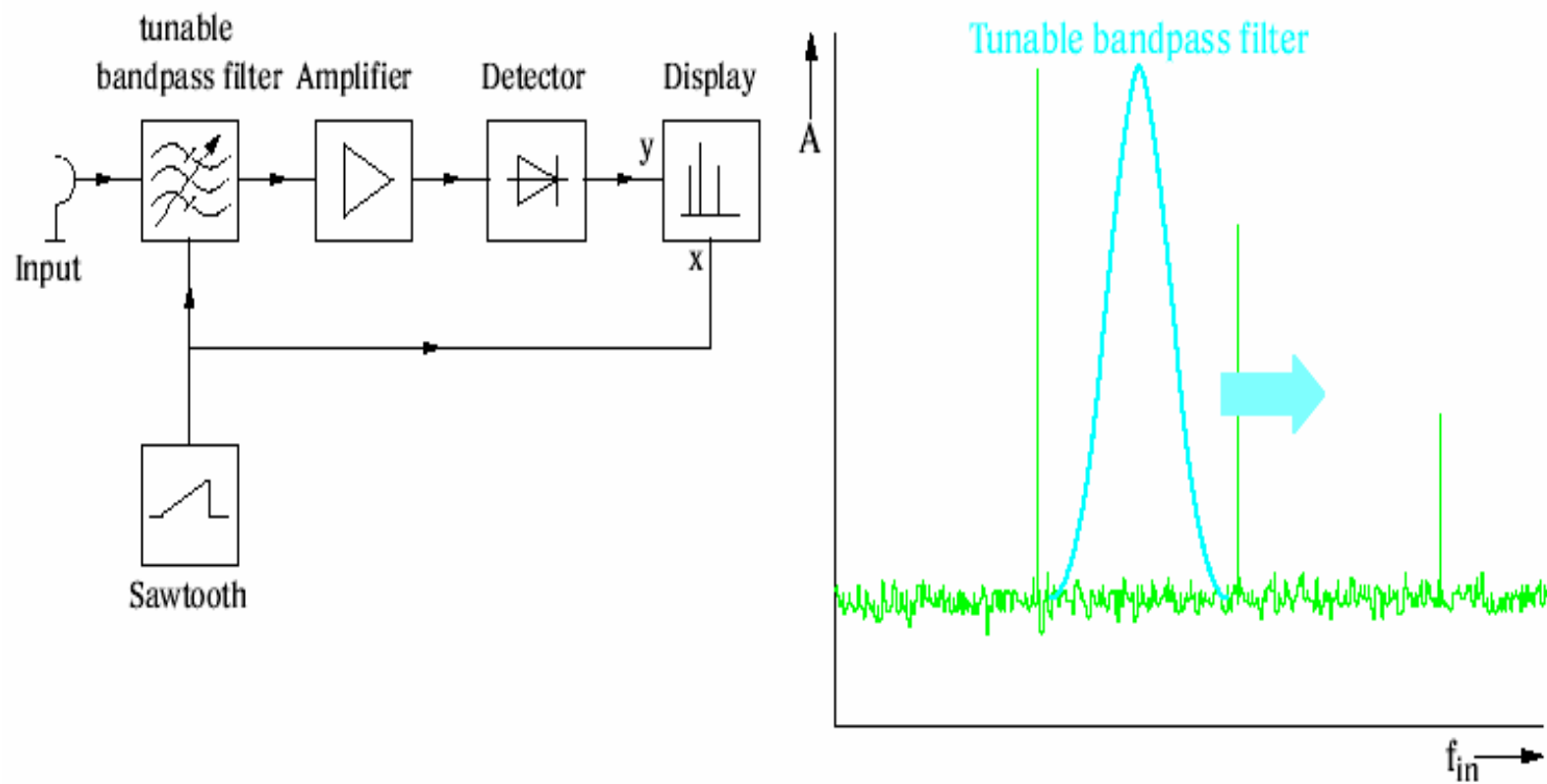


频谱分析仪工作原理

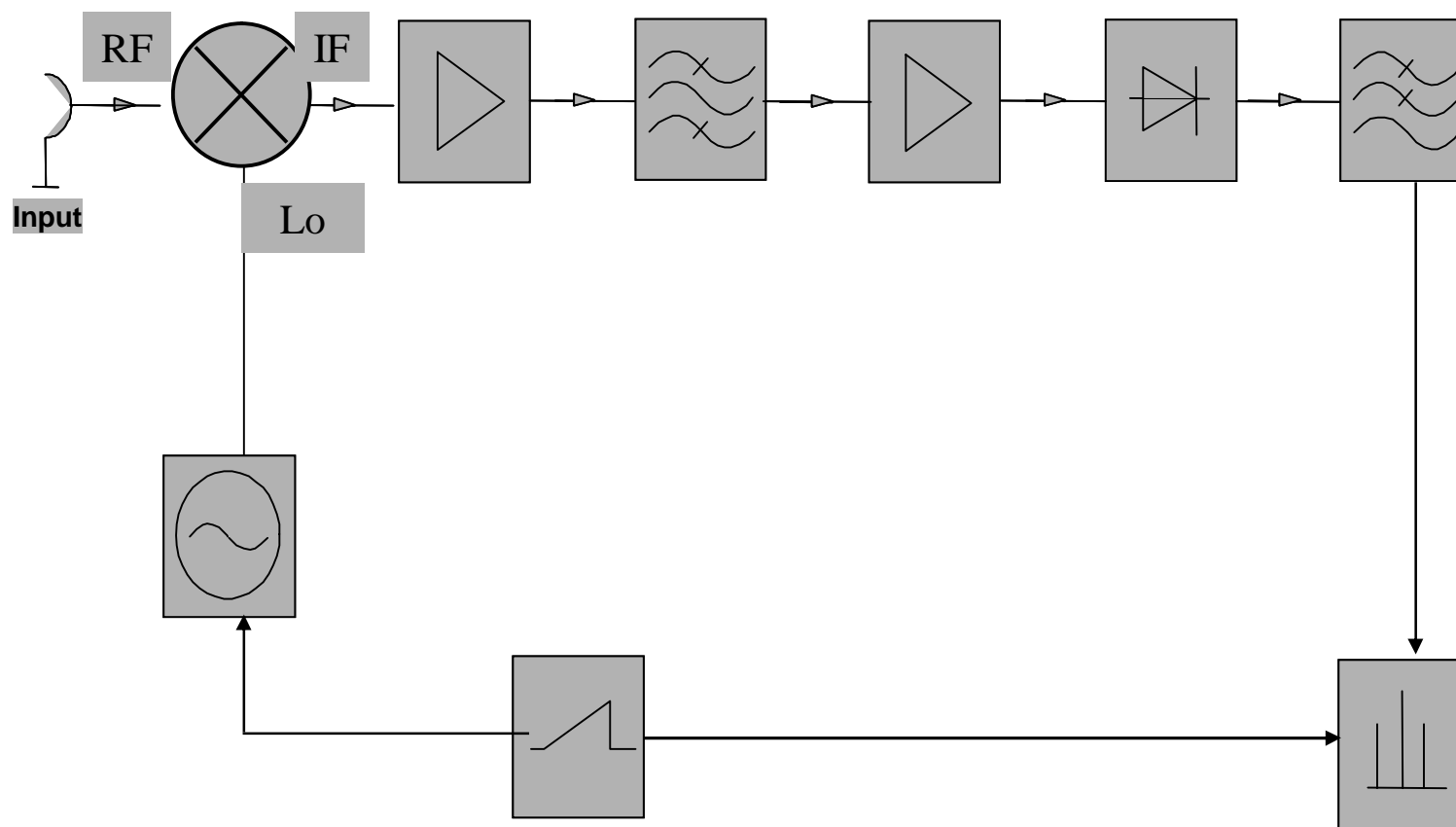


频谱分析仪工作原理

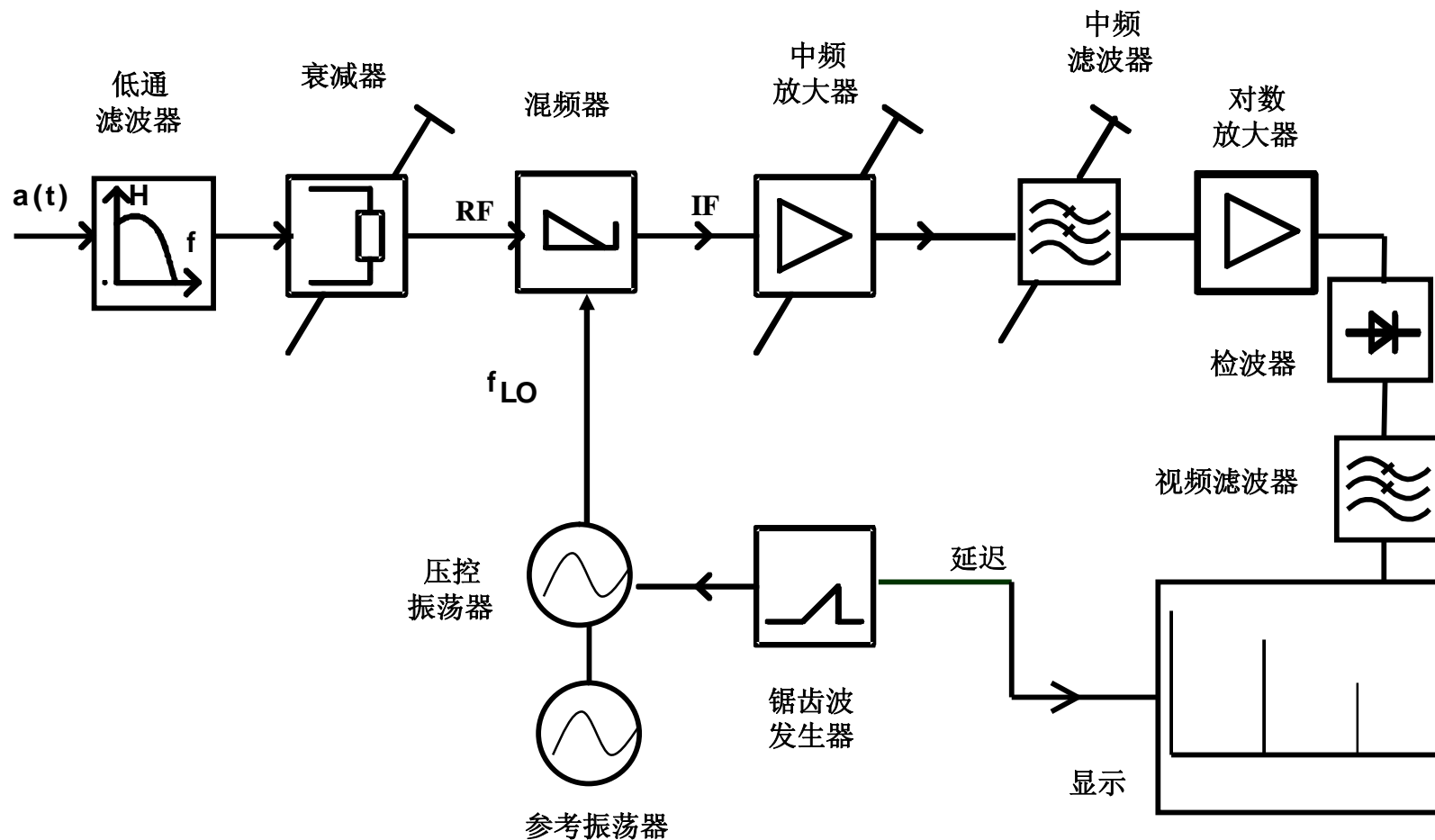
2、扫描式分析仪



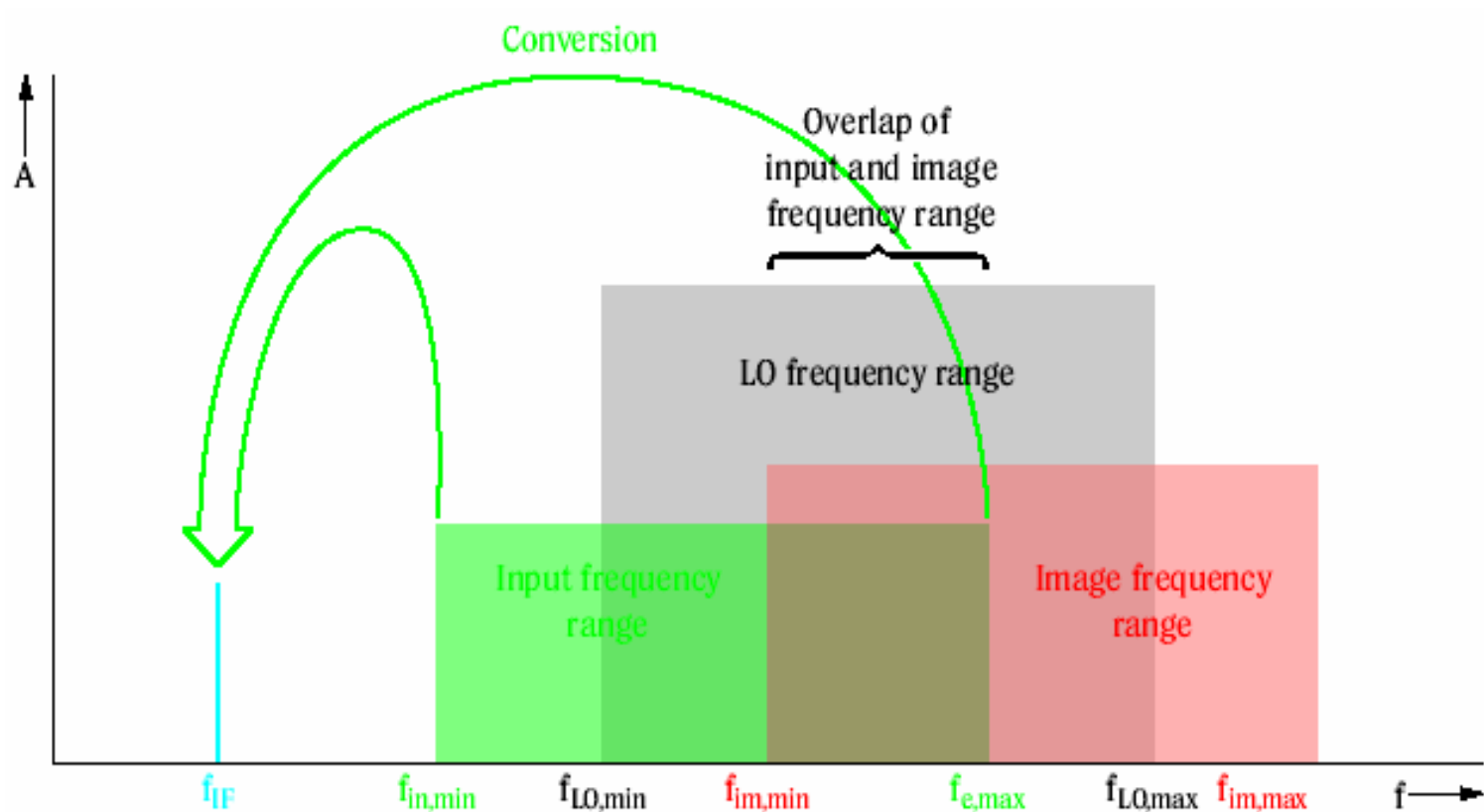
3. 超外差式扫描调谐分析仪



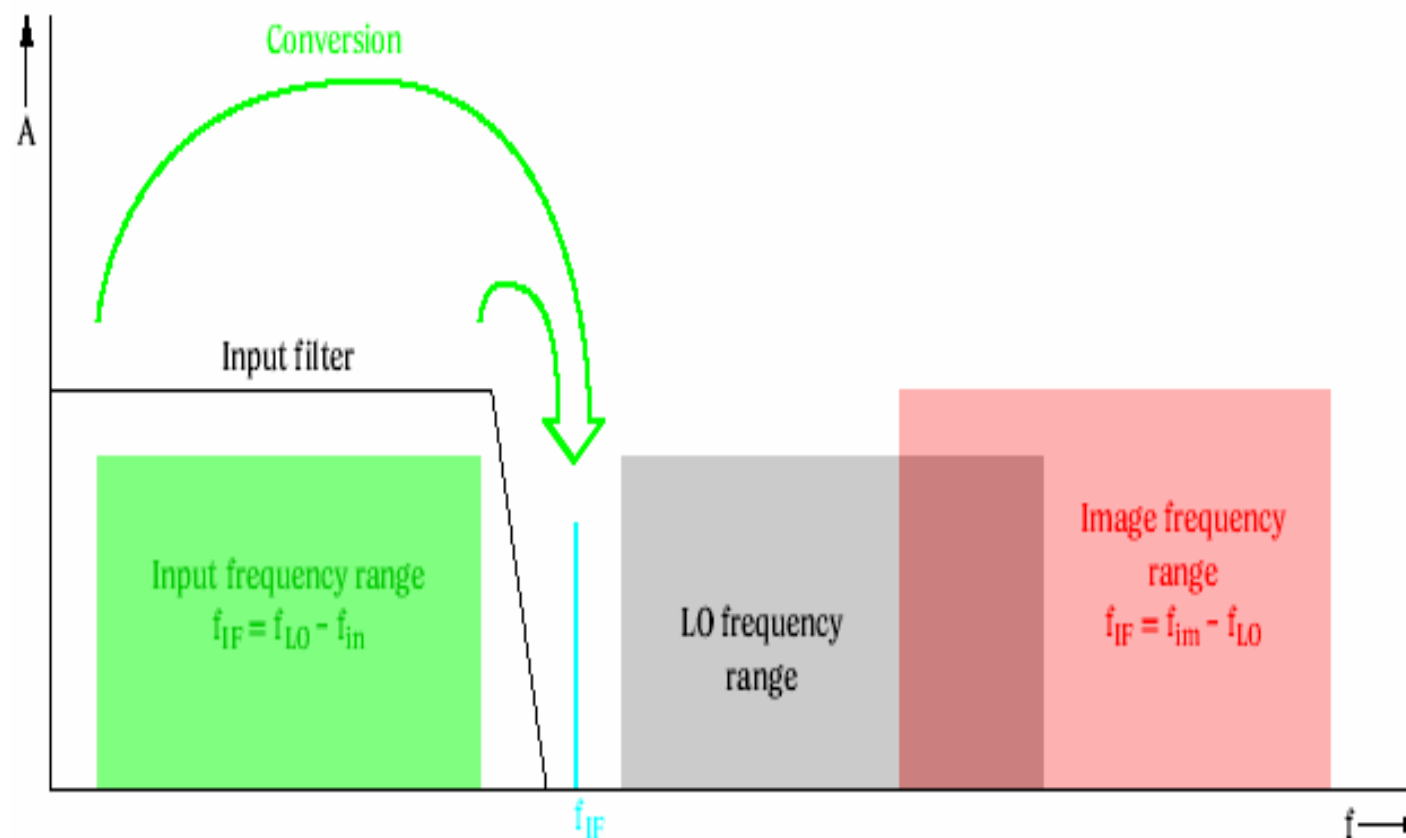
2、频谱分析仪的基本框图



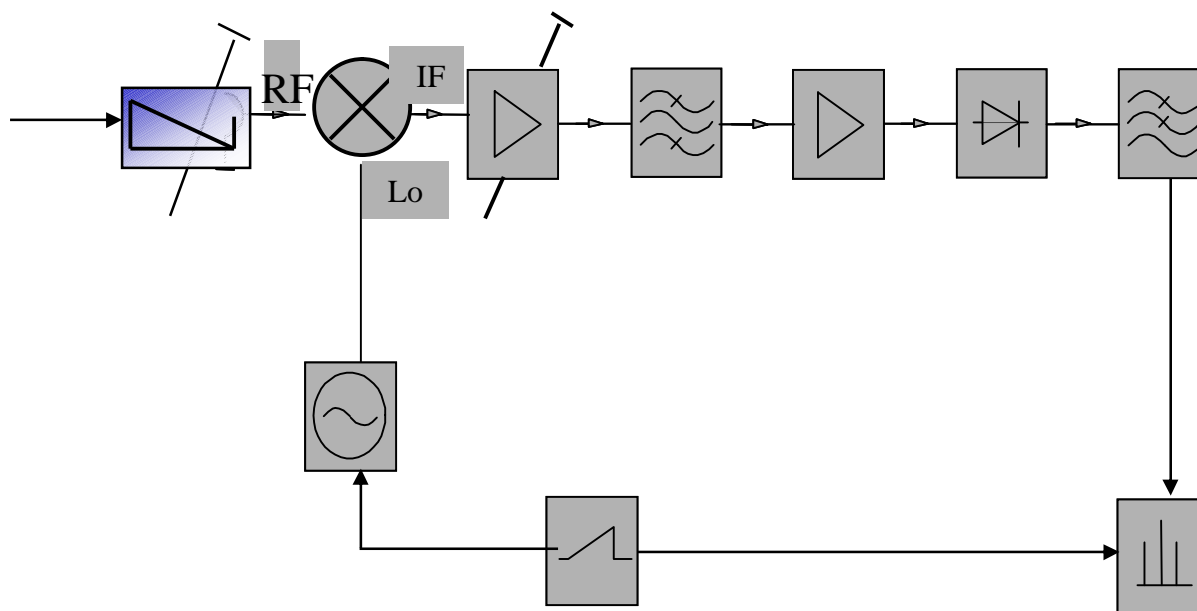
低通滤波器/镜像频率的影响



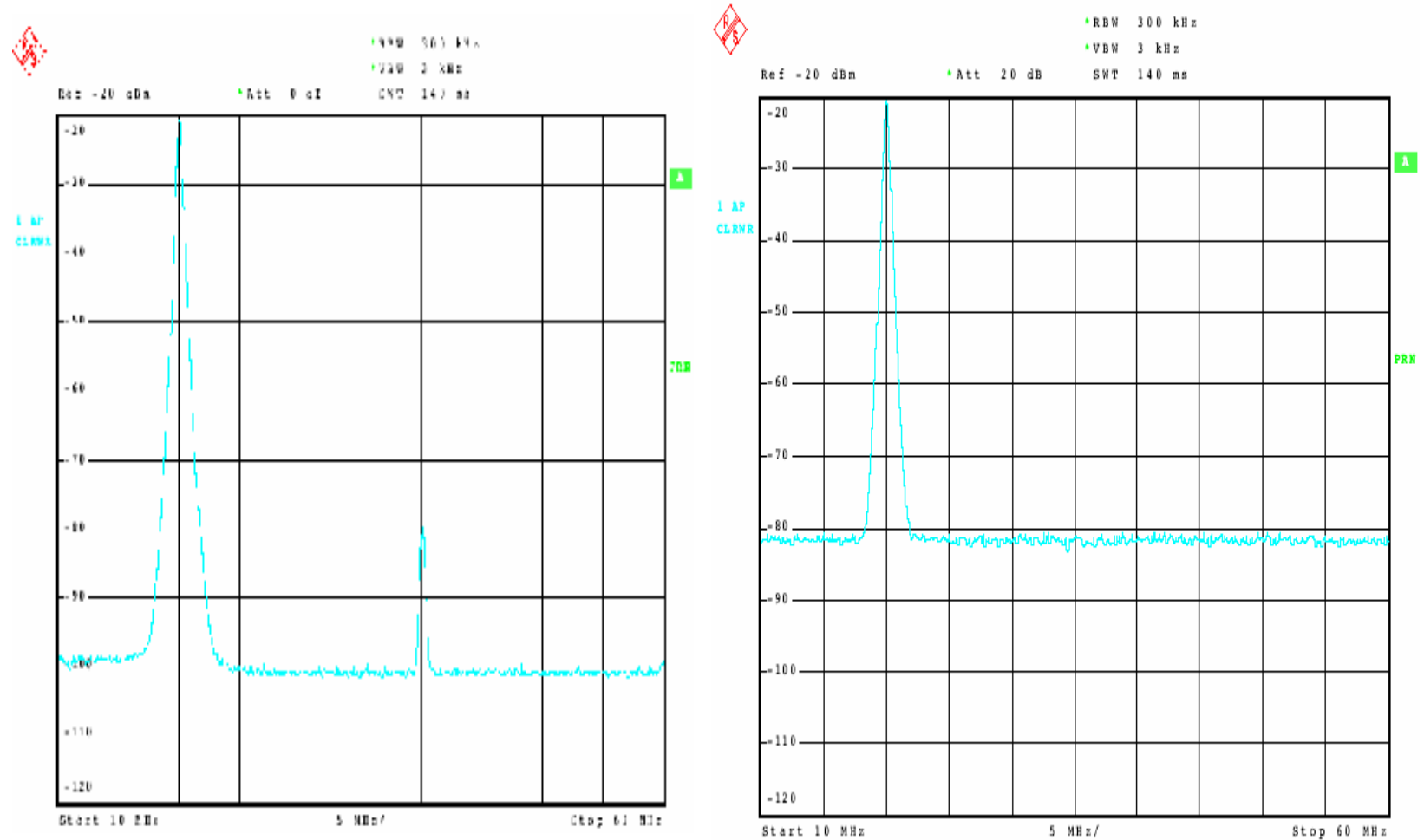
低通滤波器/镜像频率的抑制



衰减器

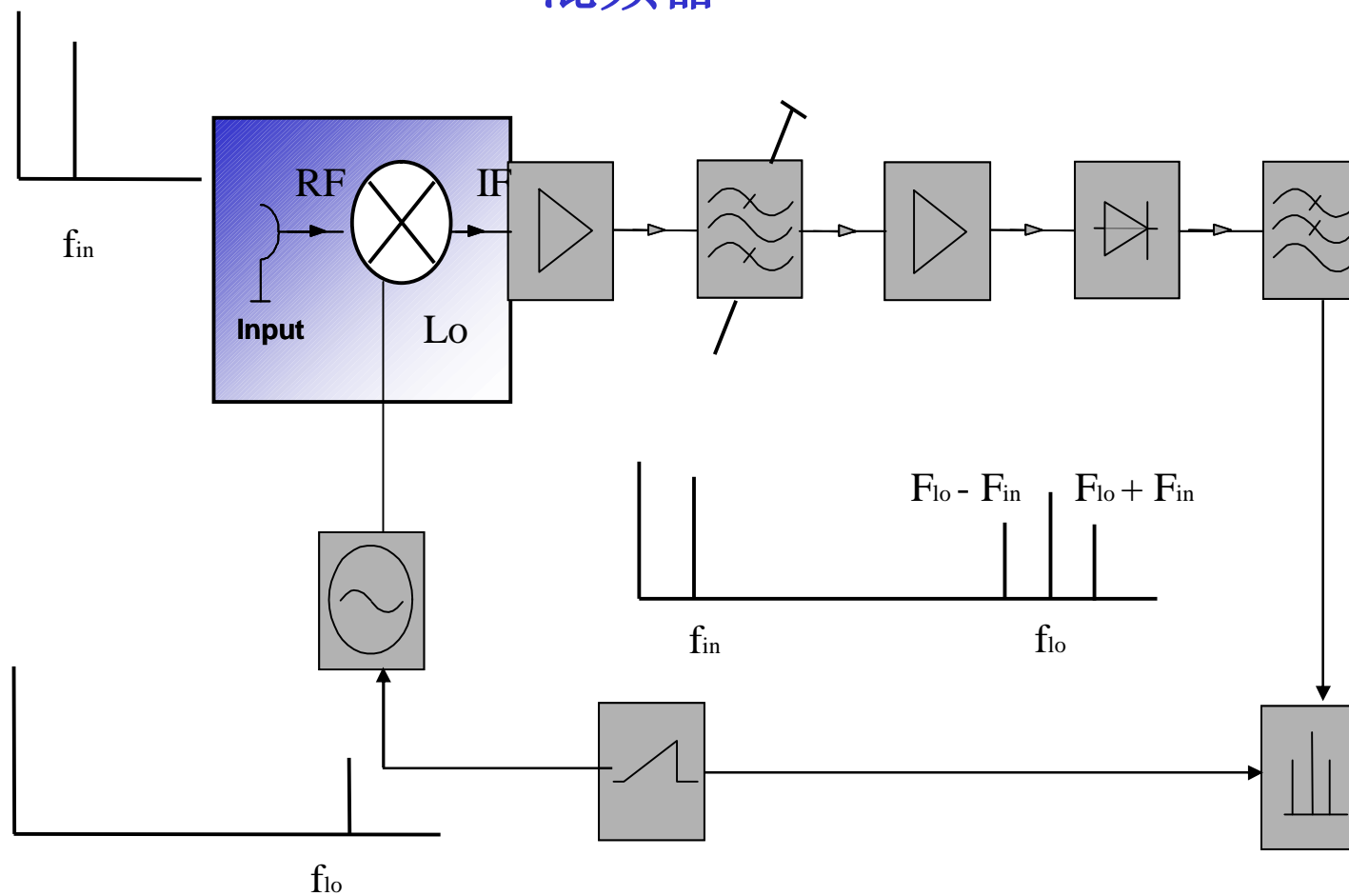


频谱分析仪工作原理

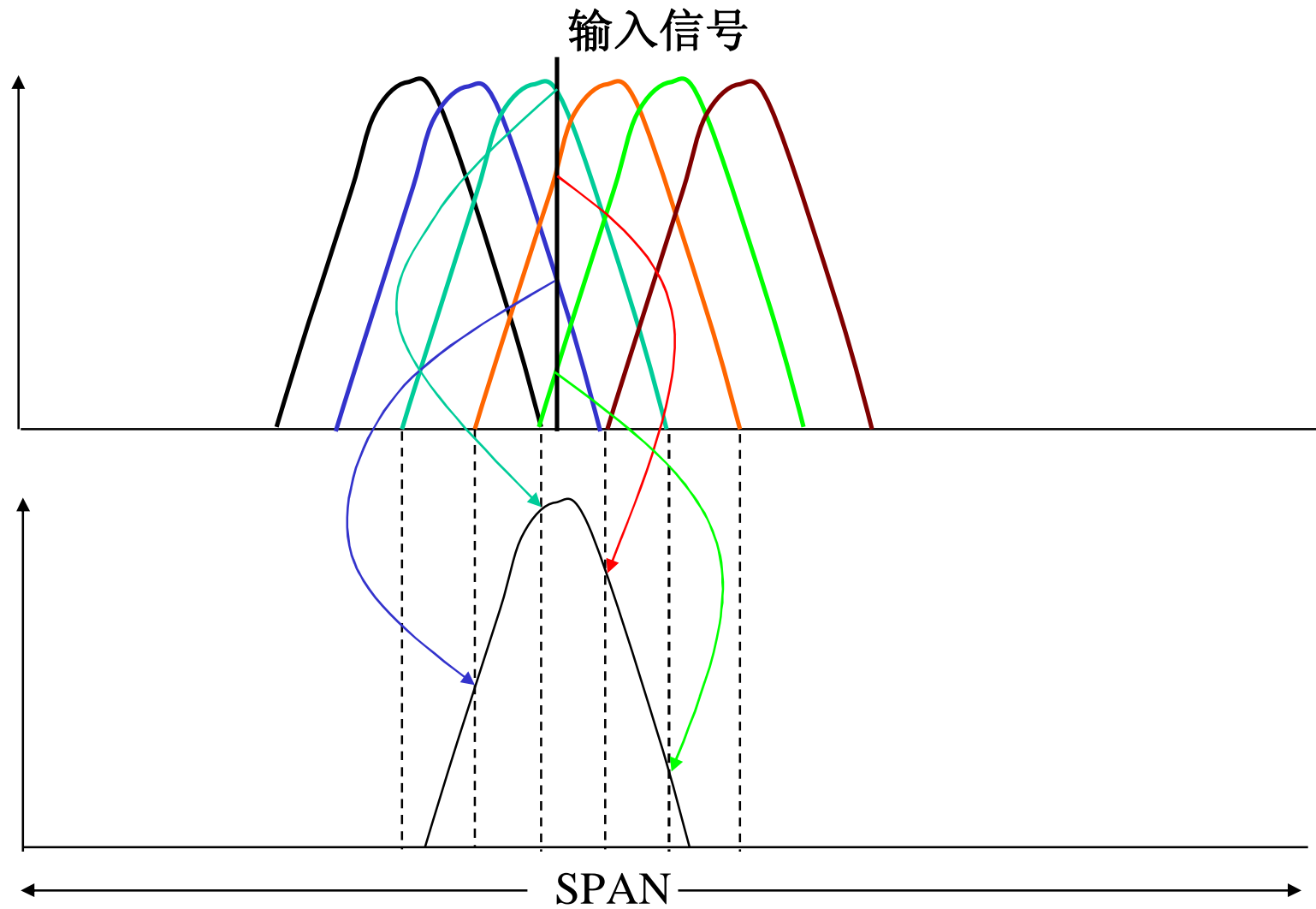


频谱分析仪工作原理

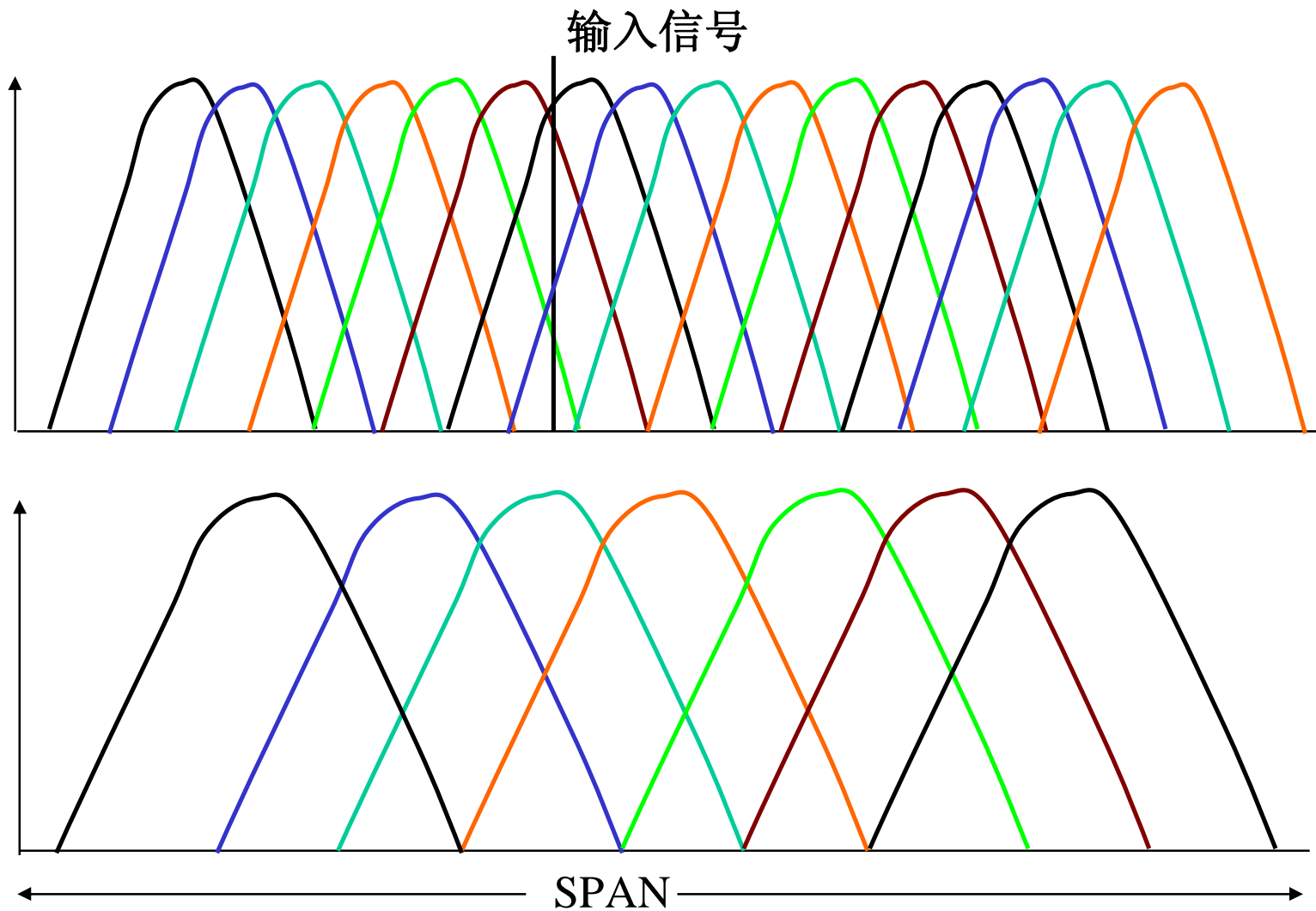
混频器



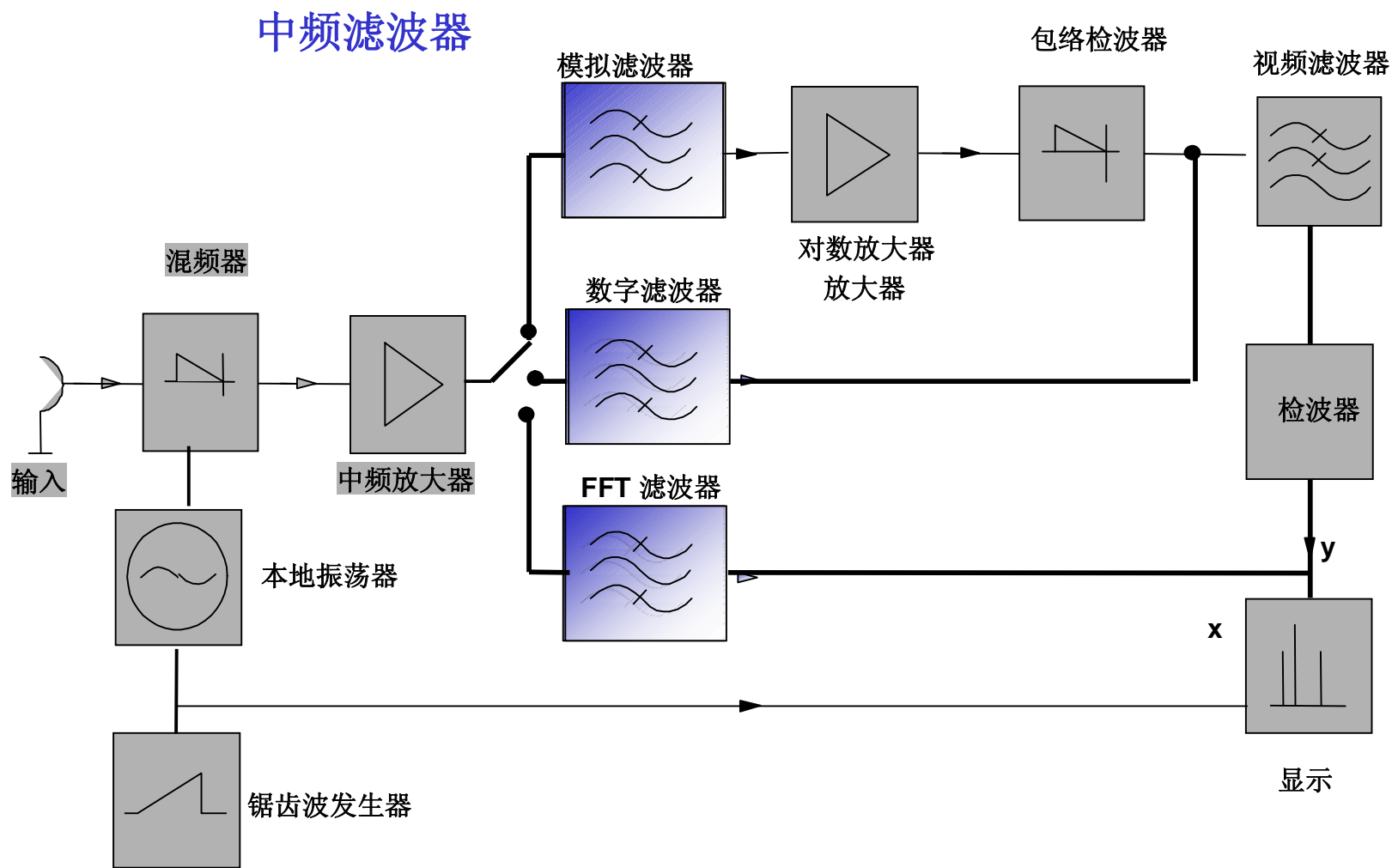
本振扫描过程



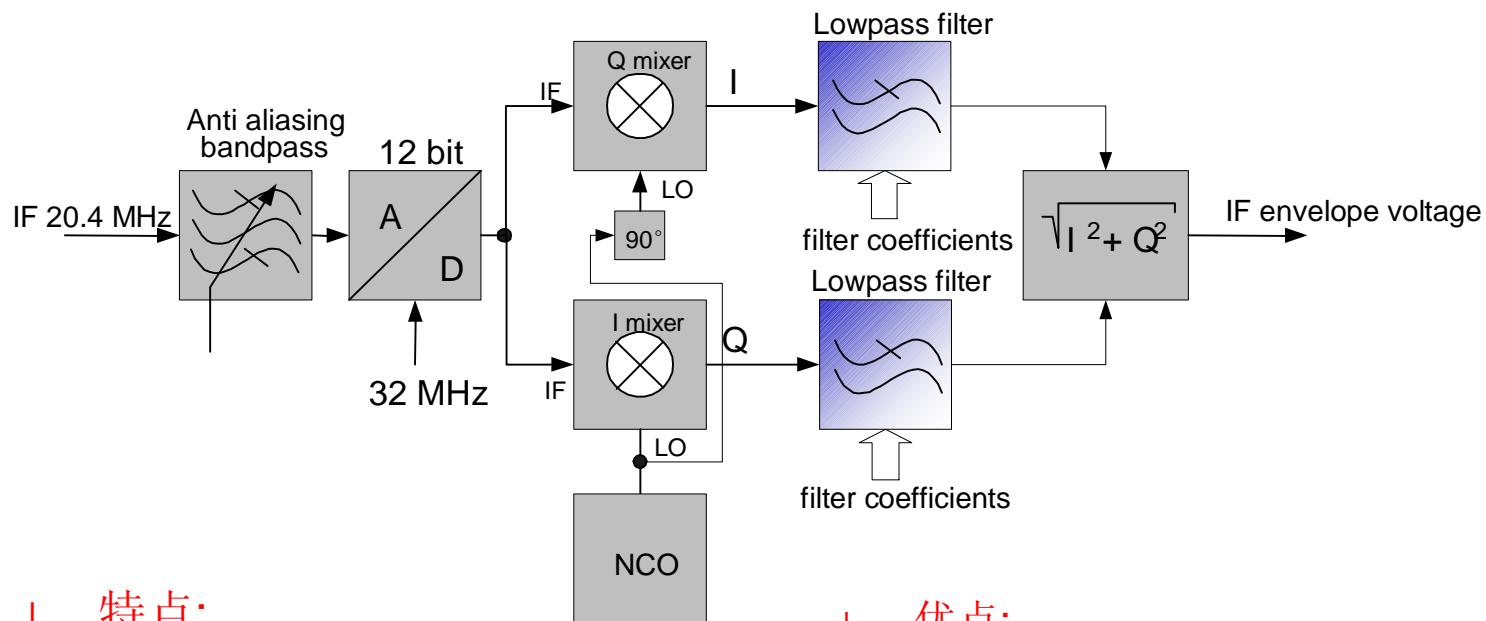
扫描时间 vs RBW



频谱分析仪工作原理



中频滤波器:数字滤波器



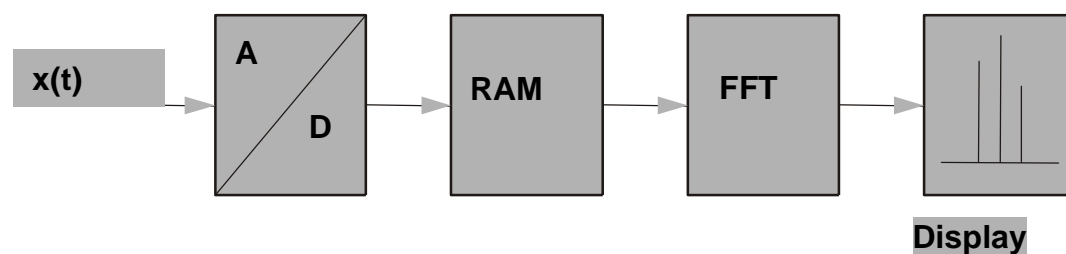
特点:

- 真正的高斯形状
- 波形因子4.6
- 最小扫描时间
- $k = 1$ 通过补偿可以达到

优点:

- 小波形因子 => 更高的灵敏度
- 快速扫描
- 更高的带宽精度
- 测量可以得到更高的电平精度
- 用于噪声或类噪声信号
- 没有温度或老化漂移

中频滤波器: FFT 滤波器

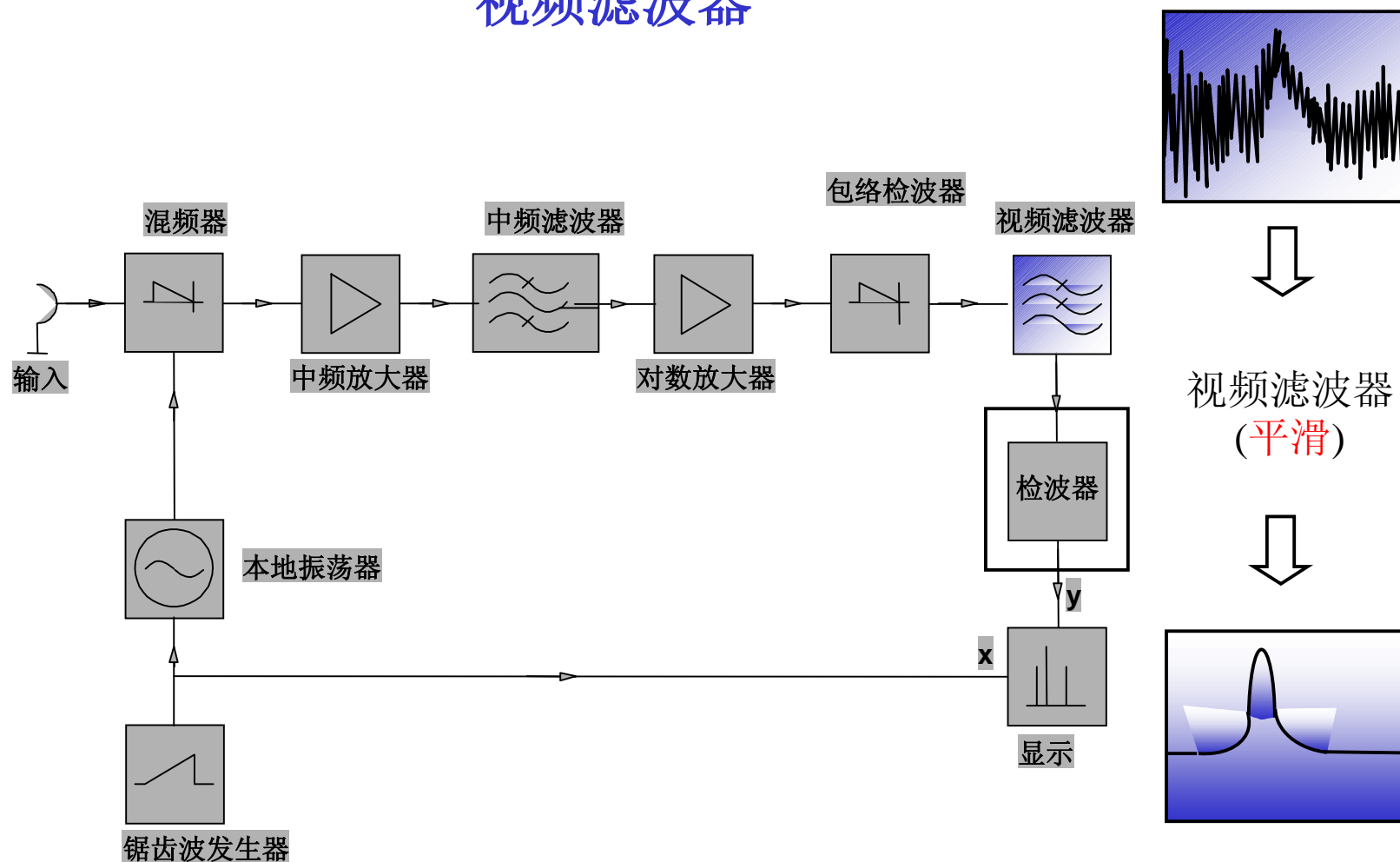


- | 最大频率范围受限于AD变换器的带宽
- | 快速的信号处理要求合理的更新率
- | 窄的分辨带宽减少了扫描时间

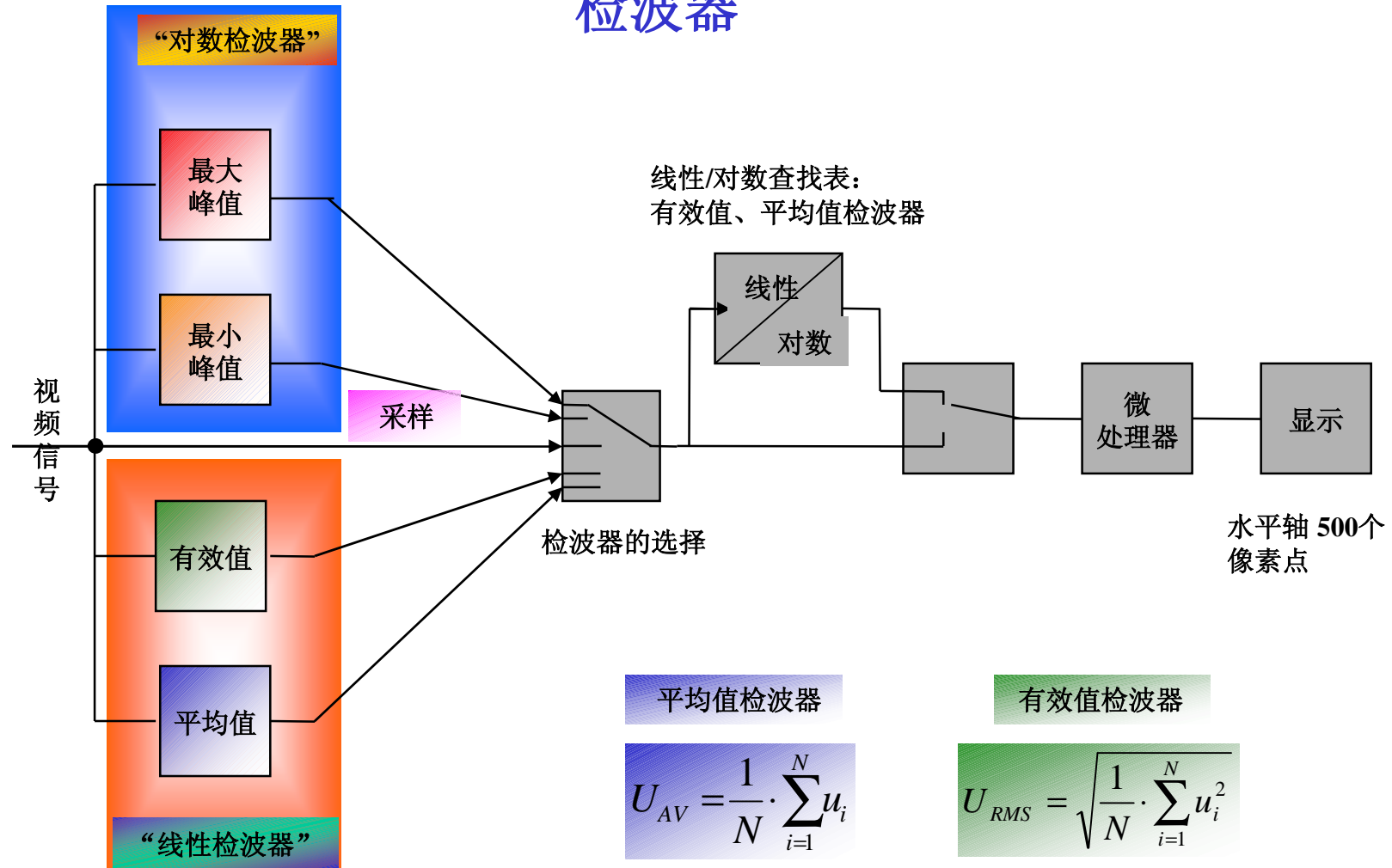
频谱分析仪工作原理



视频滤波器



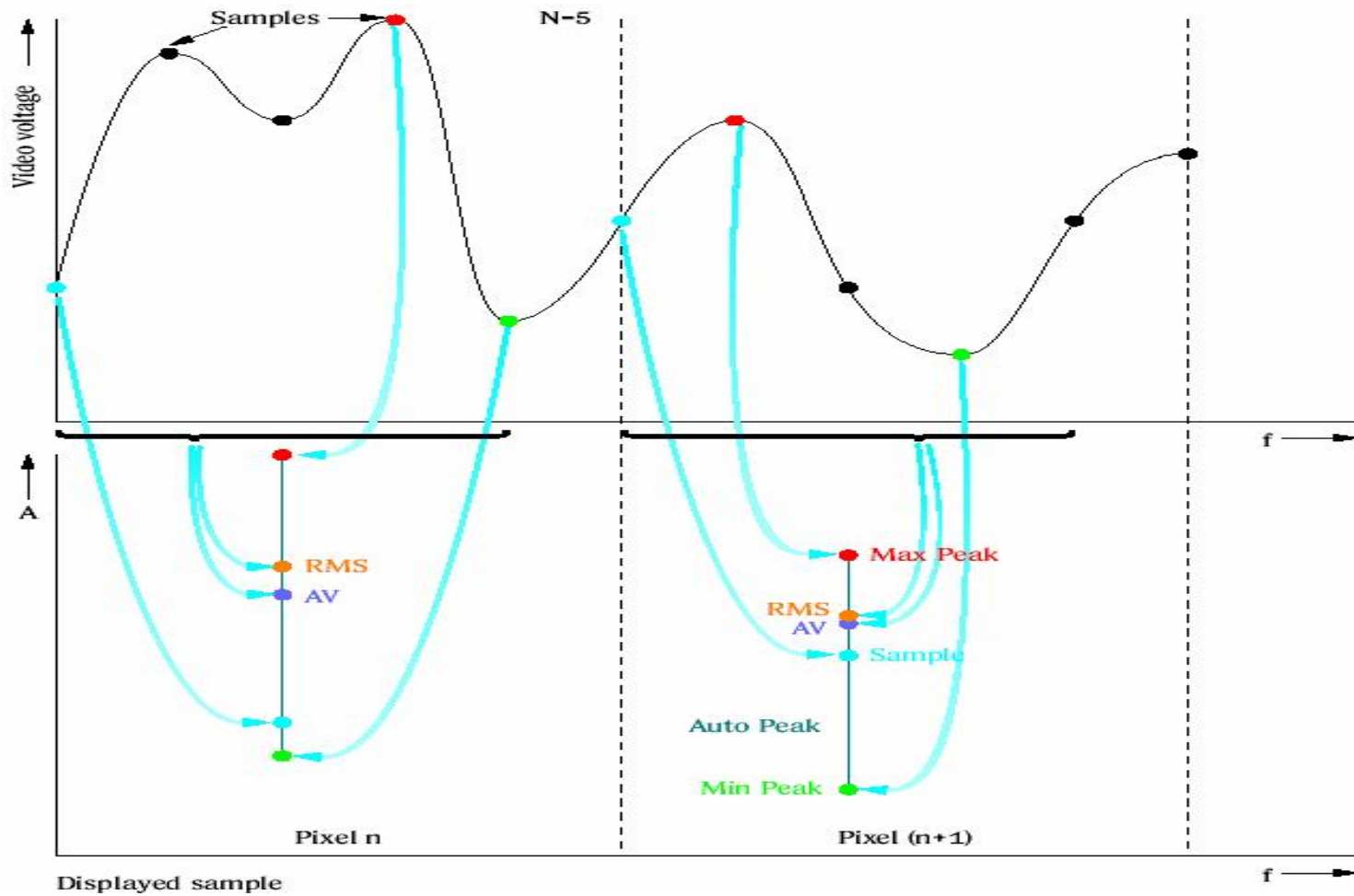
检波器



频谱分析仪工作原理



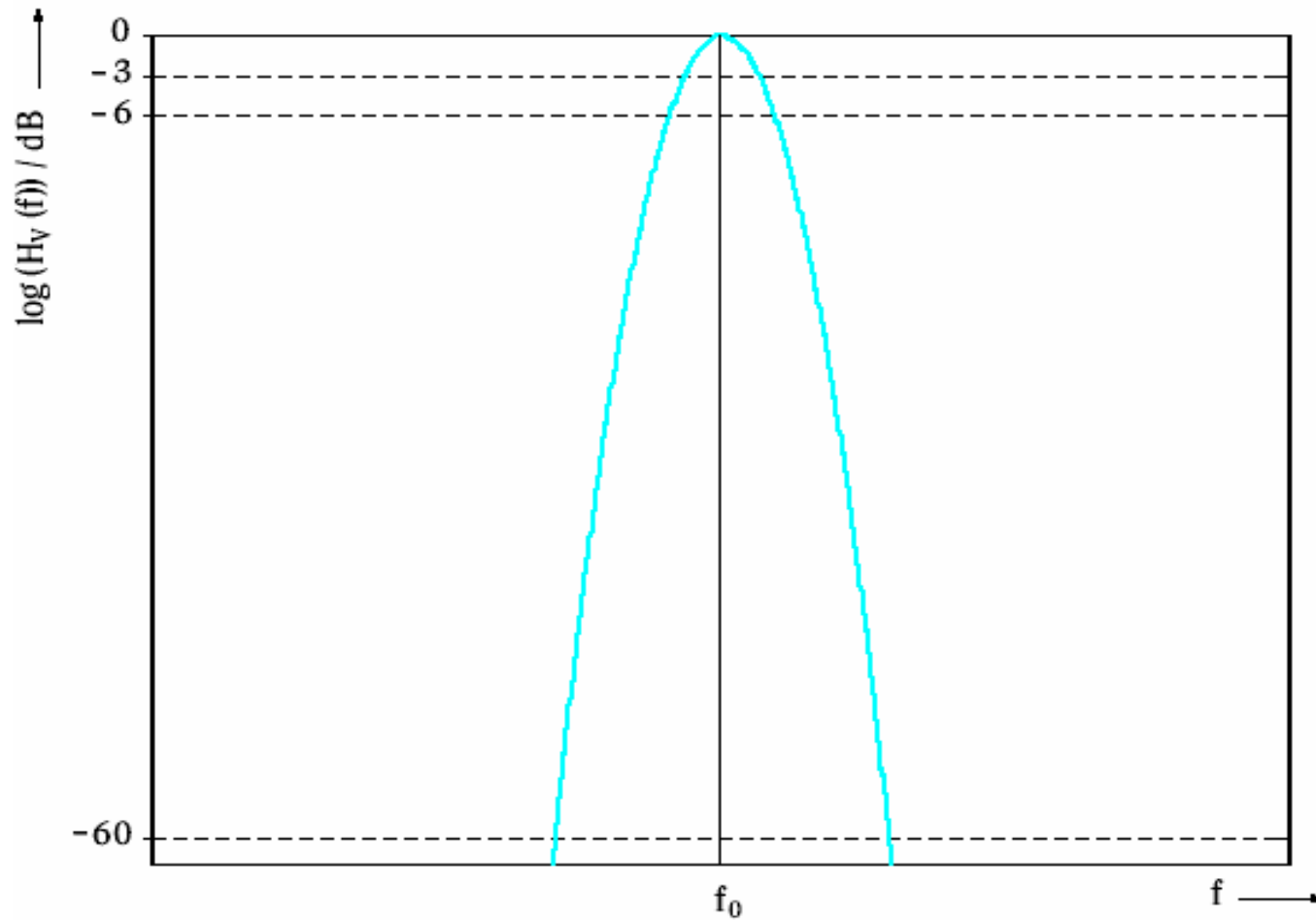
不同的检波器在显示屏上不同的数据处理



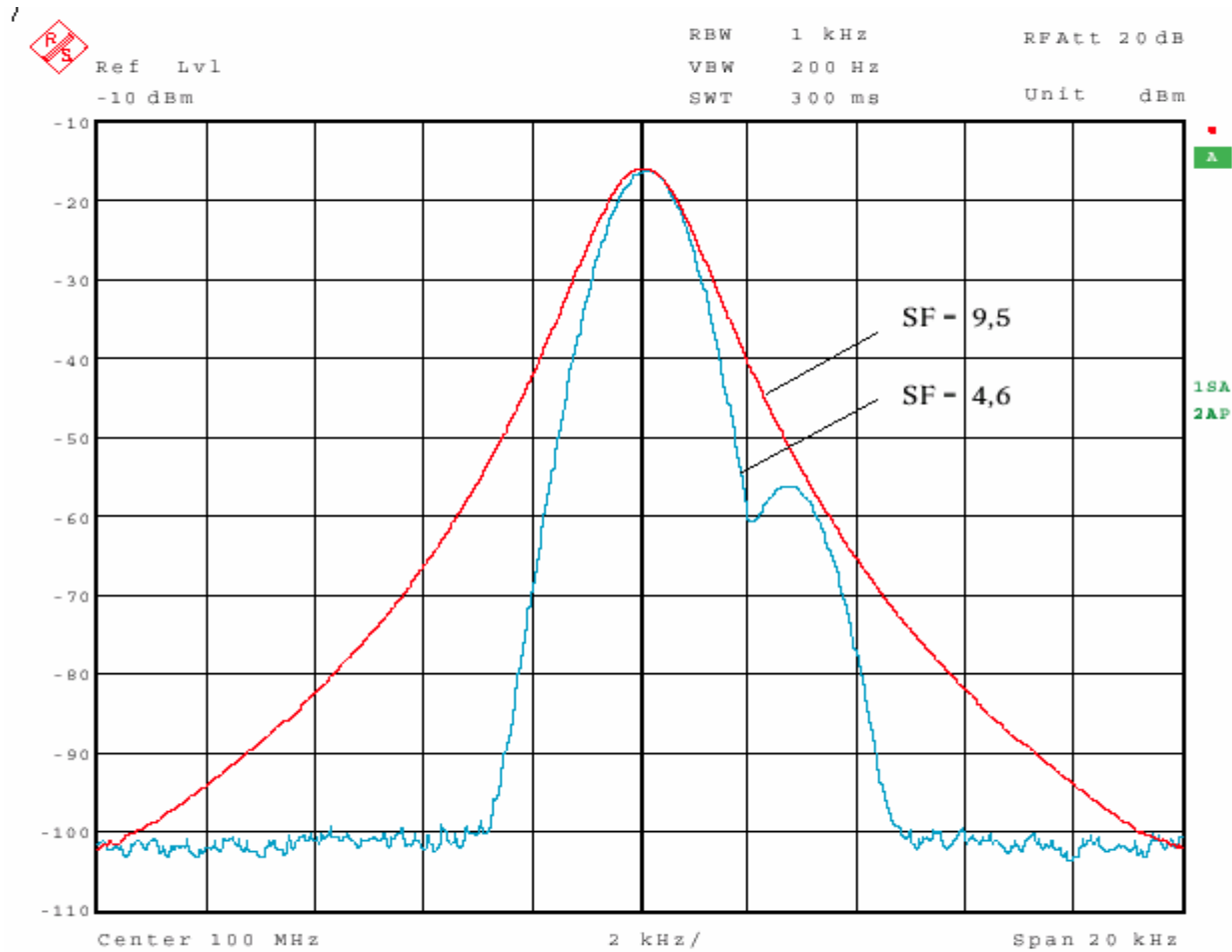
3、频谱分析仪的性能指标

- | 滤波器特性
- | 相位噪声（频谱纯度）
- | 接收机的固有噪声
- | 系统非线性
- | **1dB**压缩点
- | 动态范围
- | 测量精度

分辨滤波器（RBW）特性



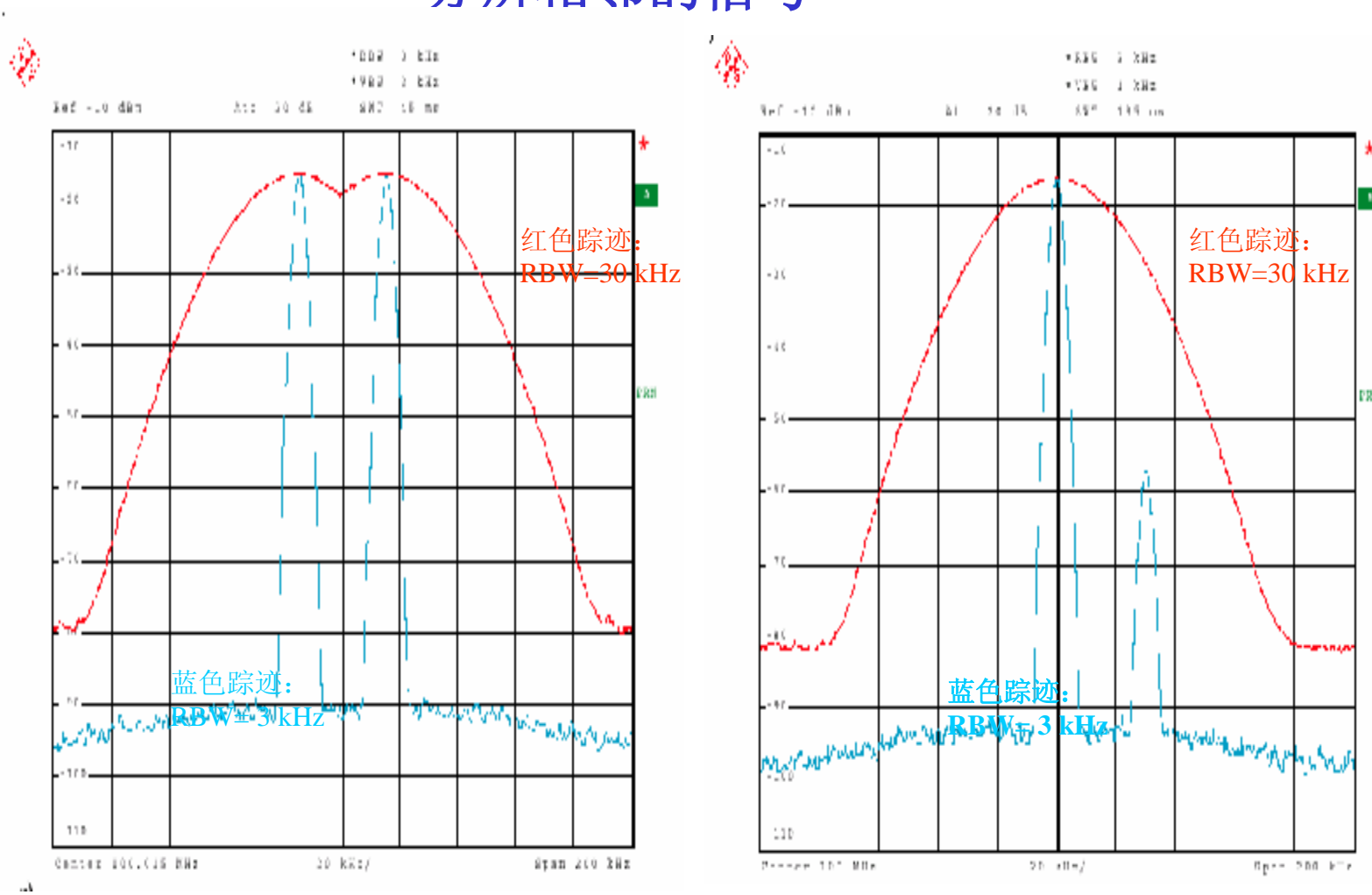
不同分辨带宽的滤波器对测试结果的影响



频谱分析仪性能指标



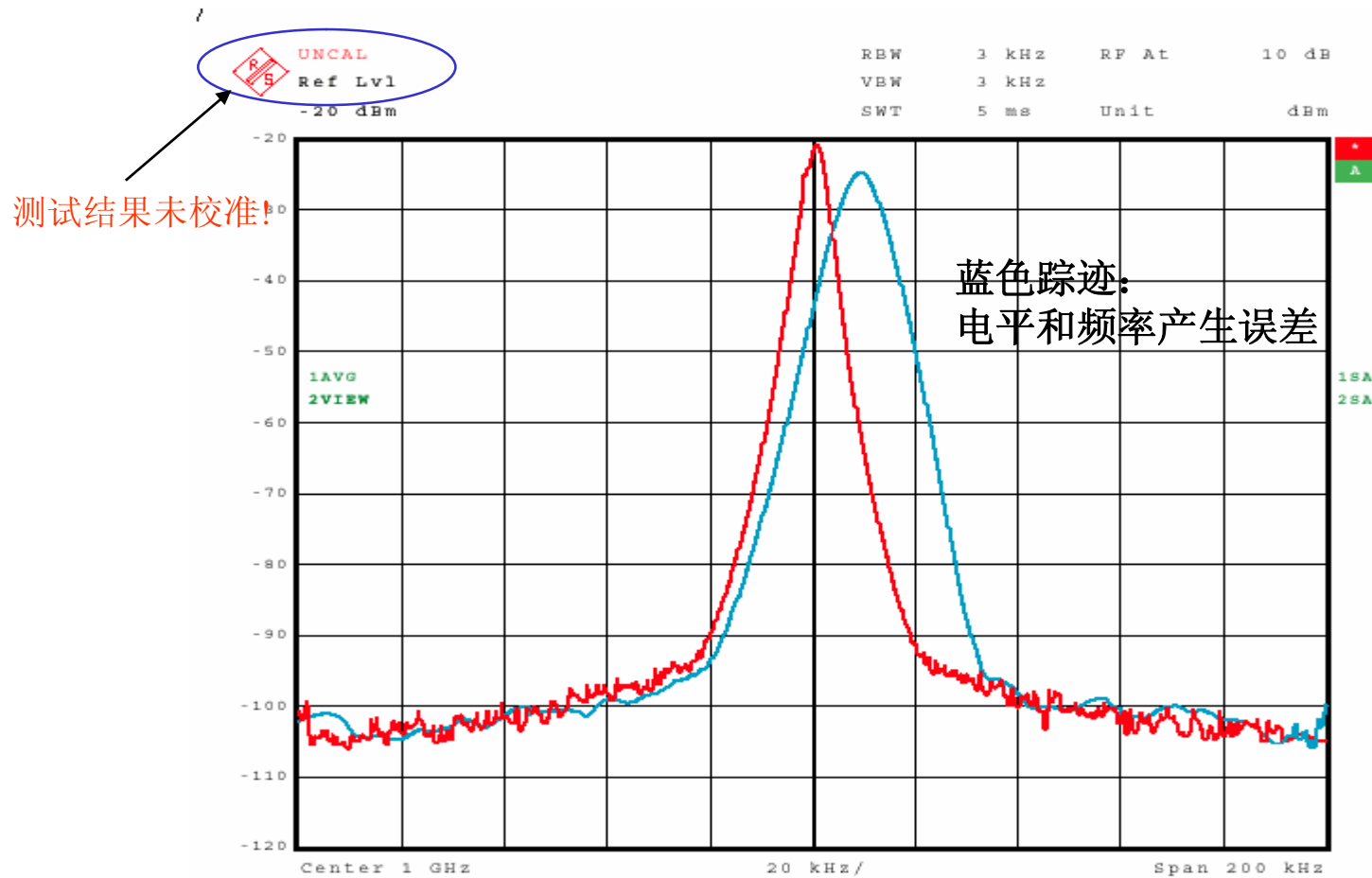
分辨相邻的信号



频谱分析仪性能指标



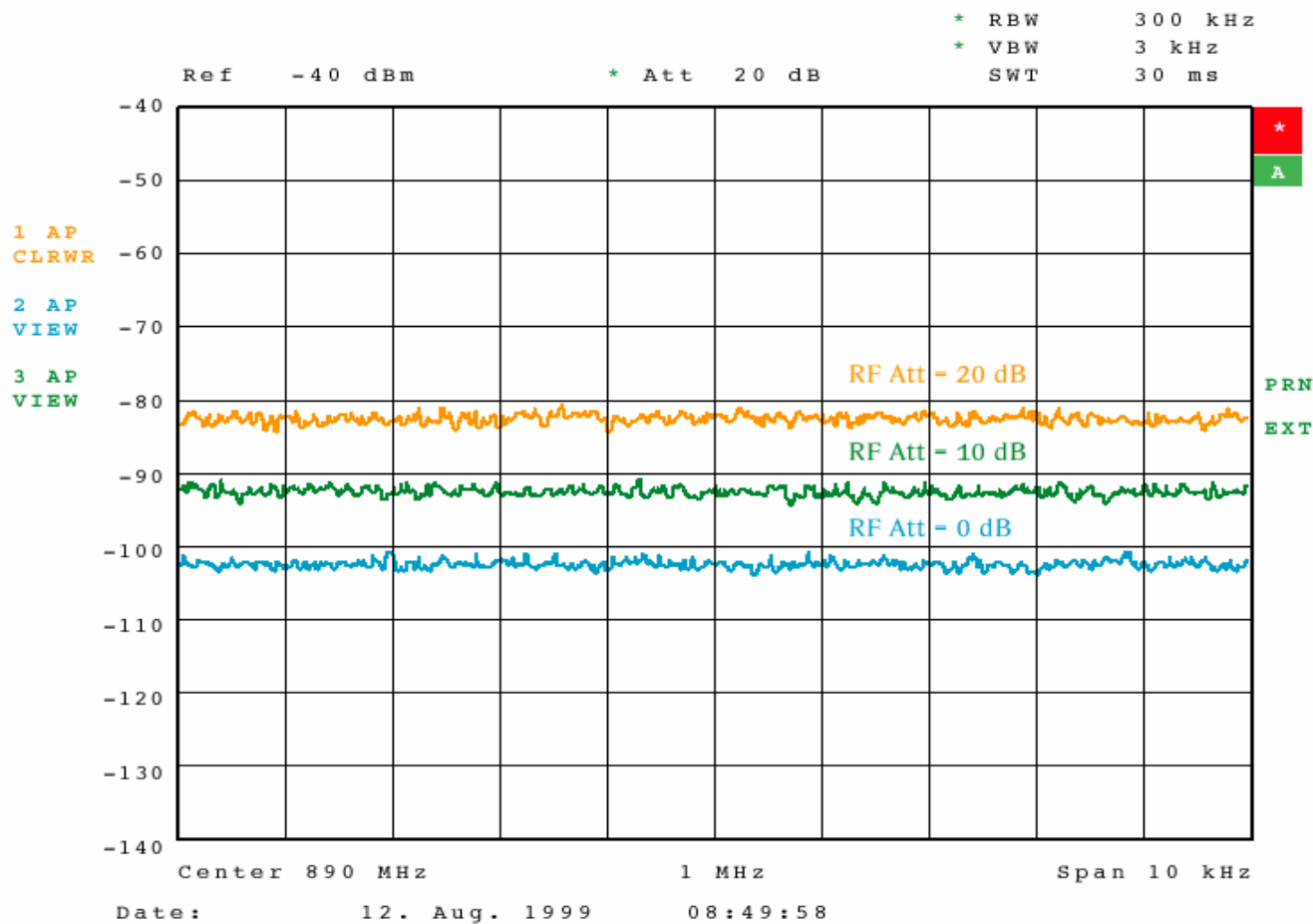
扫描时间对频率和电平测量误差的影响



频谱分析仪性能指标



显示的噪声本底依赖于RF衰减器

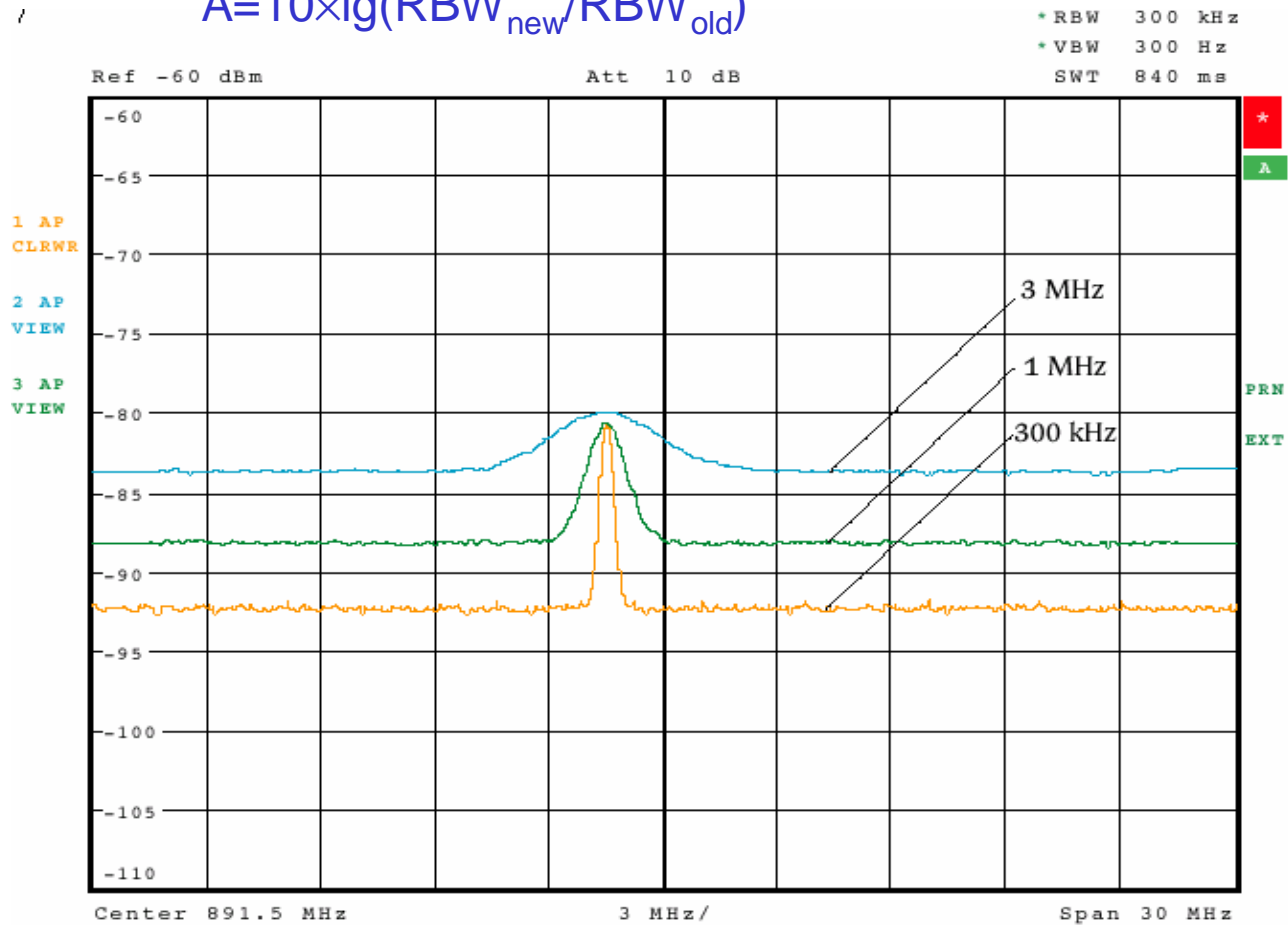


频谱分析仪性能指标



显示的噪声本底依赖于与RBW带宽

$$A=10 \times \lg(\text{RBW}_{\text{new}}/\text{RBW}_{\text{old}})$$



频谱分析仪的固有噪声

$$L_{DANL} = DANL_{10Hz} - 10dB + (10 \cdot \lg \frac{RBW_{Noise}}{Hz}) dB + RF_{ATT} - 2.5dB$$

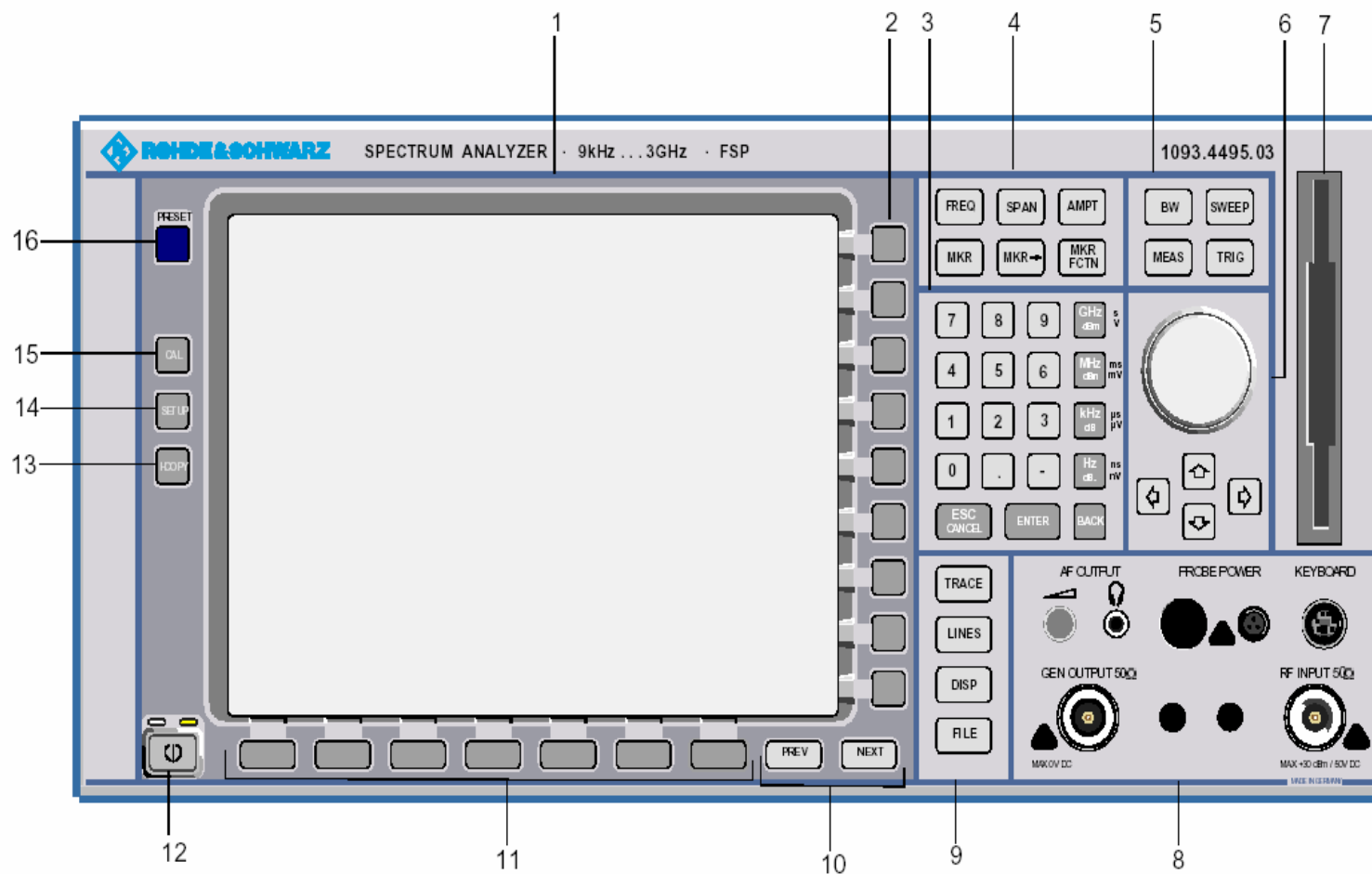
- L_{DANL} 平均显示噪声电平
- $DANL$ 规定的平均噪声电平 (R&S 数据表: $RBW=10\text{ Hz}$, $RF_{ATT} = 0\text{ dB}$)
- RBW_{Noise} RBW 滤波器的等效噪声带宽
- RF_{Att} RF 衰减器
- -2.5 dB 修正因子 (对数定标的平均)

不同的滤波器6 dB带宽和等效噪声带宽与3 dB带宽的关系

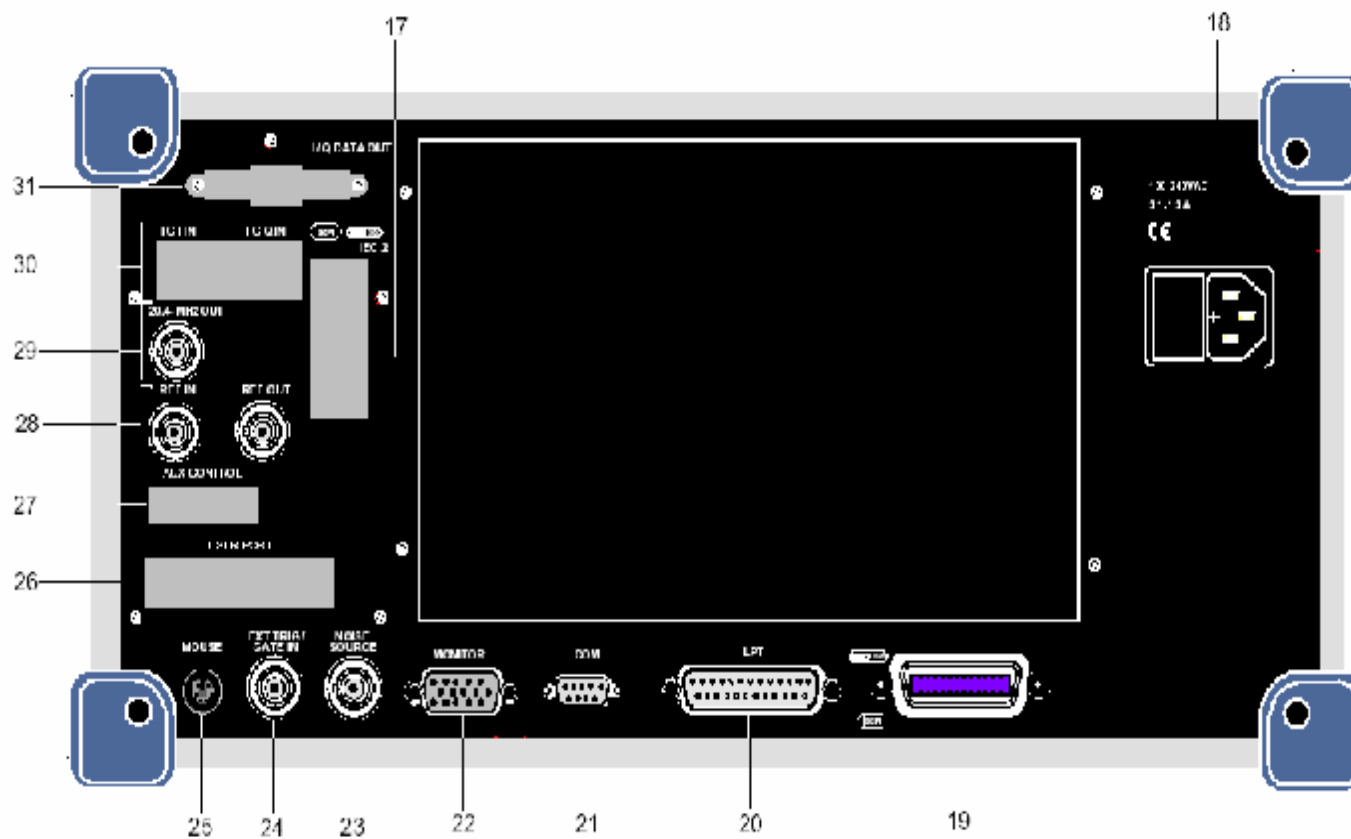
滤波器类型	4-极点滤波器 (模拟)	5-极点滤波器 (模拟)	理想高斯滤波器 (数字)
6 dB 带宽	$1.480 * B_{3dB}$	$1.464 * B_{3dB}$	$1.415 * B_{3dB}$
等效噪声带宽	$1.129 * B_{3dB}$	$1.114 * B_{3dB}$	$1.065 * B_{3dB}$

第二章、实际应用

FSx频谱分析仪前面板



FSx频谱分析仪后面板

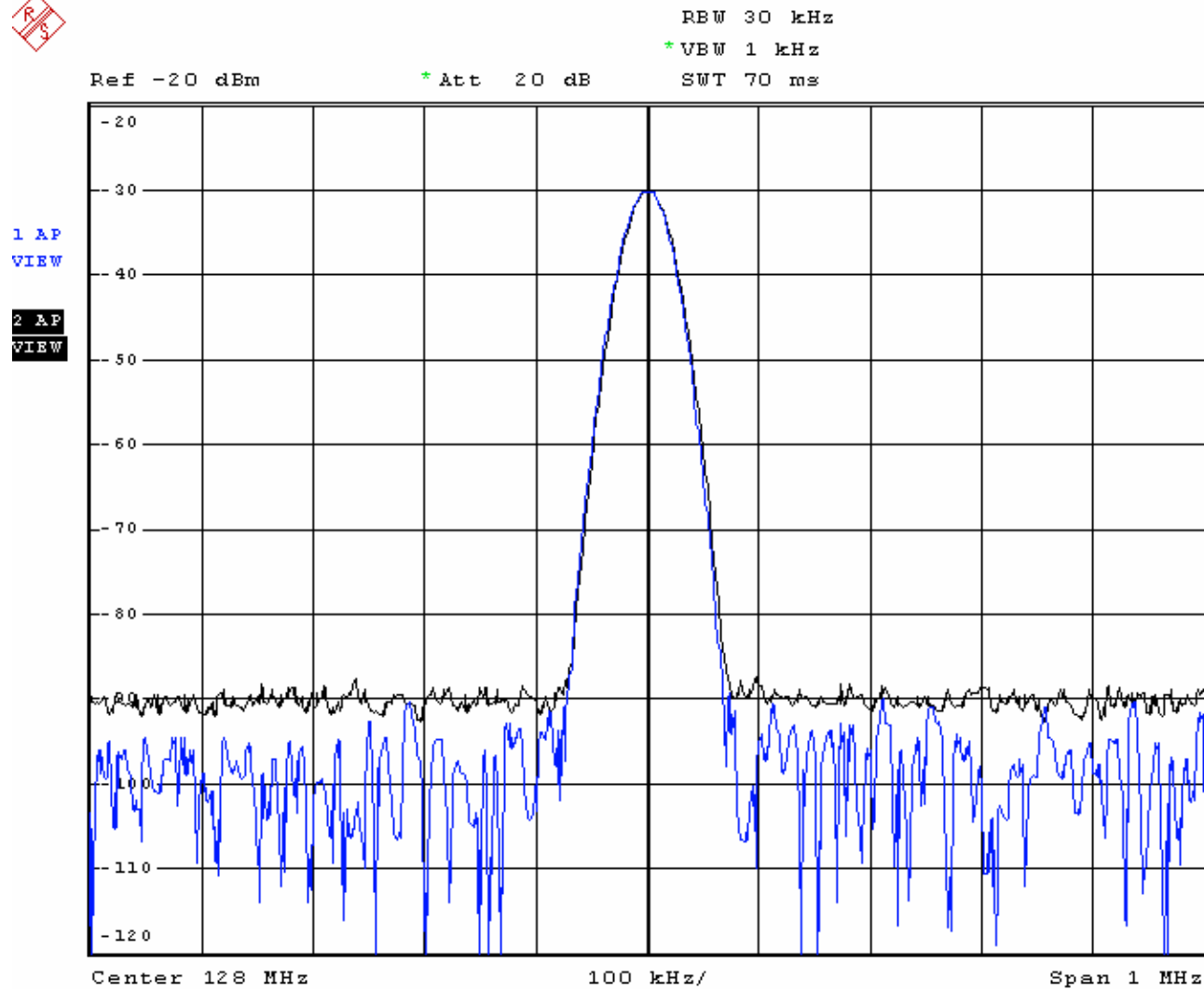


Demo1:使用光标测量频率和电平



- | 频率设置：起始频率/终止频率或者中心频率/跨度
- | 幅度设置：参考幅度，衰减器设置
- | 踪迹设置
- | 检波器设置
- | Marker设置：marker1
- | BW设置：RBW、VBW

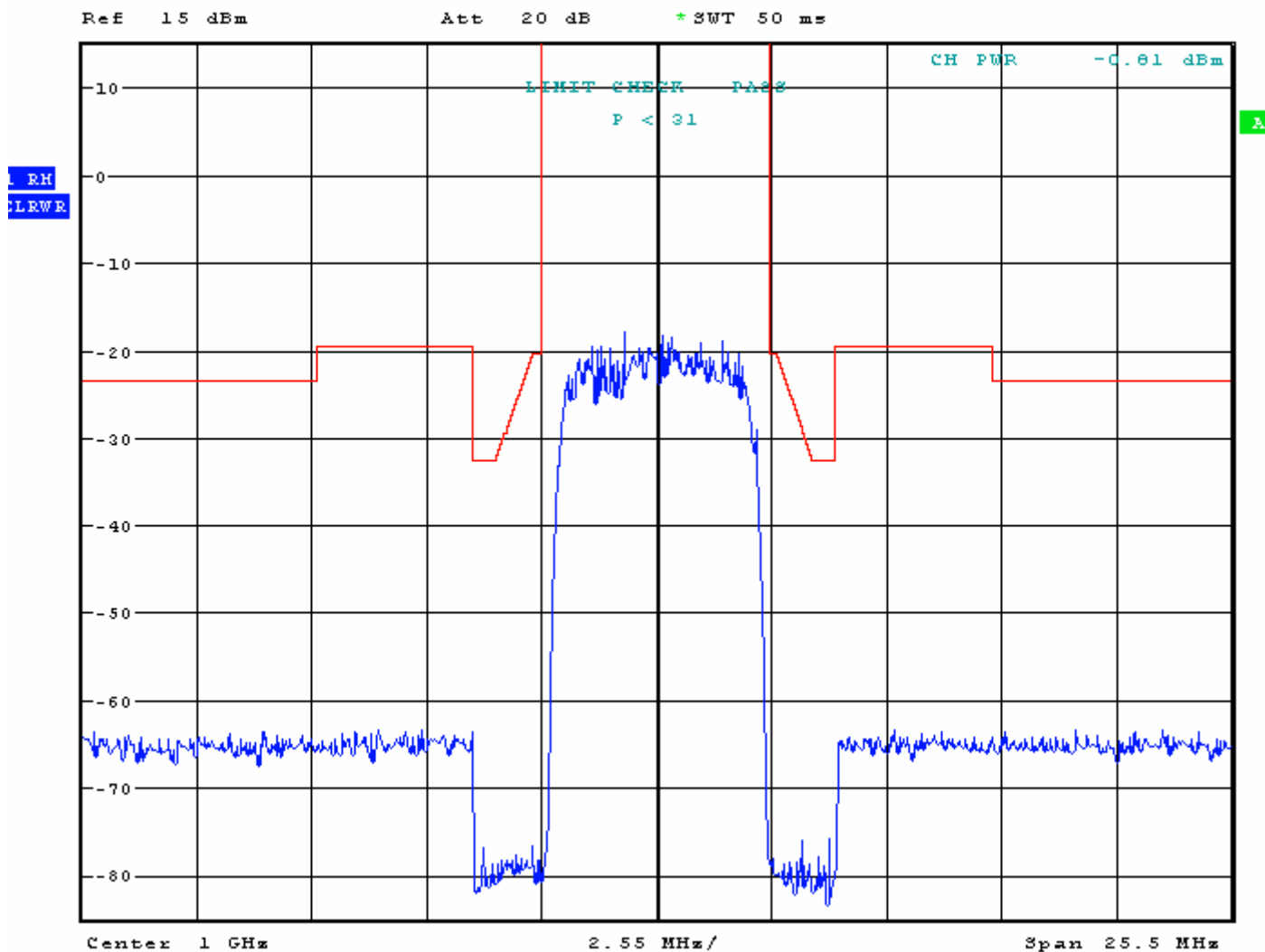
Demo3: VBW设置/Sweep时间改变 ROHDE & SCHWARZ



Demo4: 频谱仪的时域分析

- | 被测信号：脉冲信号，脉冲的周期1KHz,脉冲宽度100uS ,功率0dBm
- | 频率跨度：Zero Span
- | Sweep设置：连续扫描，扫描时间调整
- | Trig设置：Free,IF Power 或Video
- | Marker读取时域功率
- | Meas/Time Domain测量时域功率
- | 定义起始点和终止点

Demo5: 频谱模板/限制线定义



RBW 3 MHz

EDIT LIMIT LINE TABLE

Name:	LP1GHZ
Domain:	FREQUENCY
Unit:	dBm
x-Axis:	LIN
x-Scaling:	ABSOLUTE
y-Scaling:	ABSOLUTE
Limit:	UPPER
Margin:	40 dB
Threshold:	
Comment:	Lowpass at 1 GHz

Frequency	LIMIT/dBm
0.000 Hz	-10.0000
1.000 GHz	-10.0000
1.001 GHz	-70.0000
3.000 GHz	-70.0000

Press ENTER to edit field

Start 0 Hz 200 MHz/ Stop 2 GHz

SPECTRUM

SCREEN B

↑

NAME

VALUES

INSERT VALUE

DELETE VALUE

SHIFT X
LIMIT LINE

SHIFT Y
LIMIT LINE

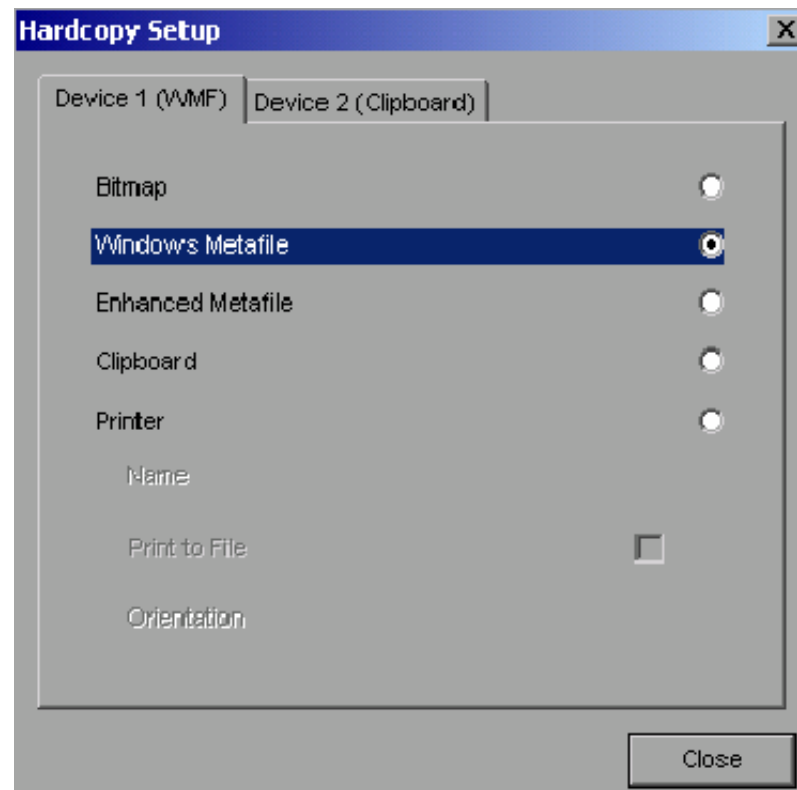
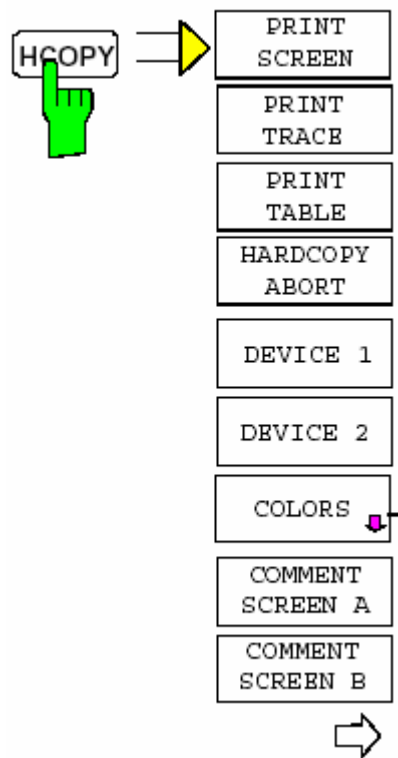
SAVE
LIMIT LINE

1 A
CLR
1-2
2 R
CLR

F
SGL

Demo6: 屏幕拷贝文件存储

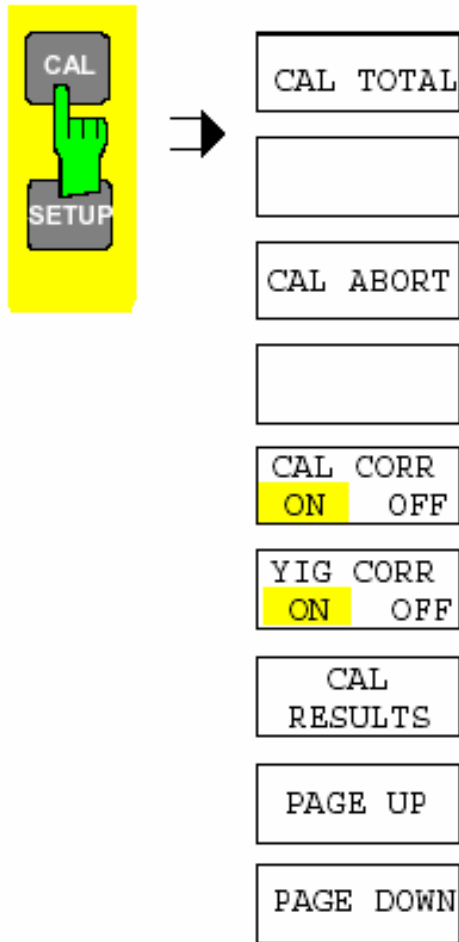
- | Hardcopy: 屏幕拷贝
- | USB/Floppy Disk/Hard disk选择
- | 文件存储格式选择: wmf/bmp



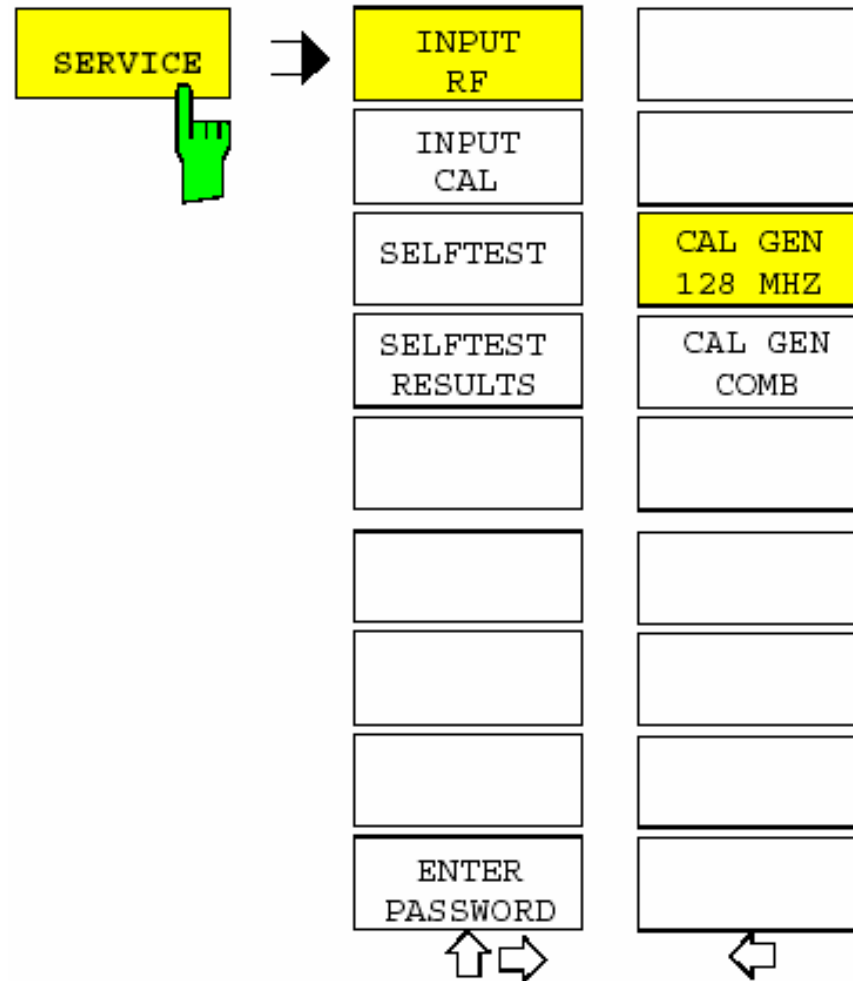
Demo7: 仪器校准CAL、自测试



CAL menu:



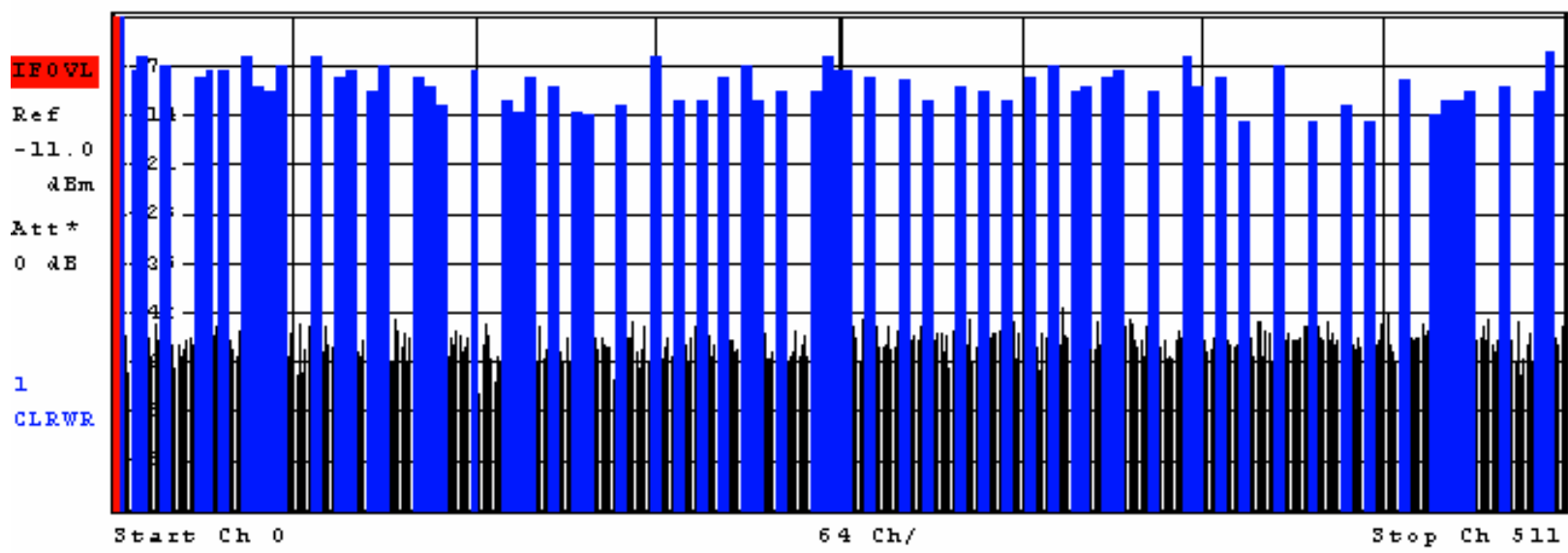
SETUP menu:



Demo8: 仪器的错误信息指示



- | **Uncal**: 没有校准, 设置不合理。
- | **Ovld**: 输入过载, 应该调整输入参考电平或衰减。
- | **Ref**: 设置为外部参考, 但没有连接。
- | **红色小方块** (右上角): 运行忙或测试结果不可信。



信号特性测量

信号频率准确度的测量



I 光标读数:

±(频率读数X参考频率误差+0.5%X频率跨度+10%X分辨带宽+最后显示位X1/2)

Ä 计数器读数:

±(频率读数X参考频率误差+最后显示位X1/2)

I 操作:

Mark -> Signal Count

Mark -> Next -> CNT Resol

信号频率稳定度测试



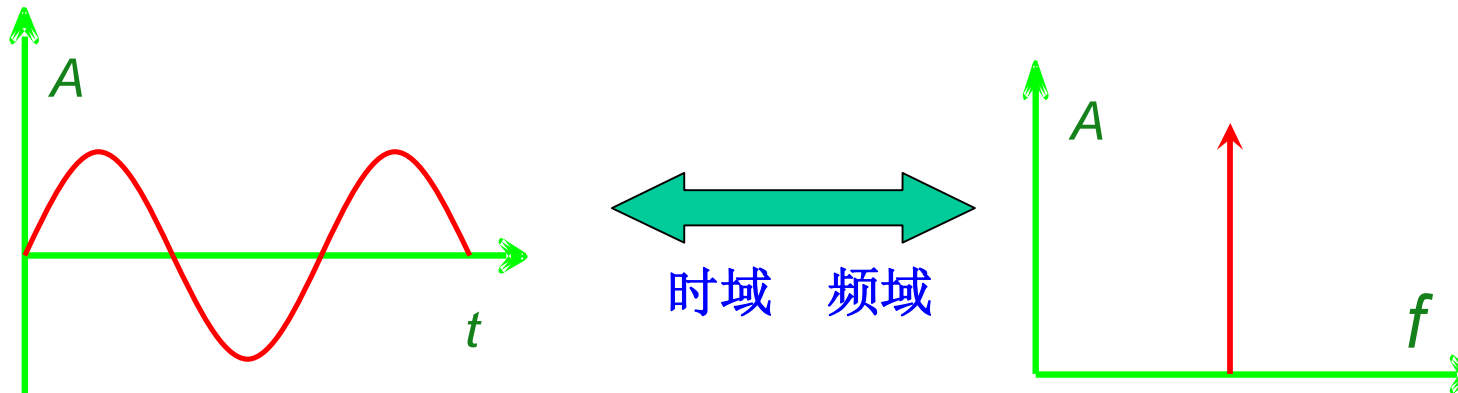
- | 短期稳定度
- | 长期稳定度

理想的正弦波信号

$$V = A_0 \cos[2\pi f_0 t] \quad \text{式中}$$

A: 信号的幅度

f: 信号的频率



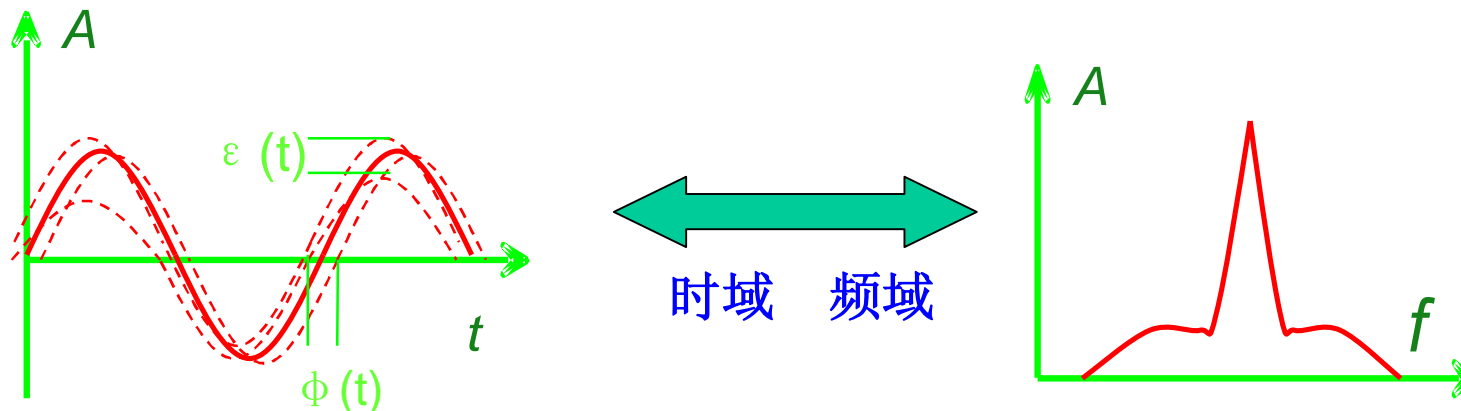
真实的正弦波信号

$$V = [A_0 + \varepsilon(t)] \cos[2\pi f_0 + \phi(t)]$$

式中

$\varepsilon(t)$: 信号的幅度抖动

$\phi(t)$: 信号的频率抖动



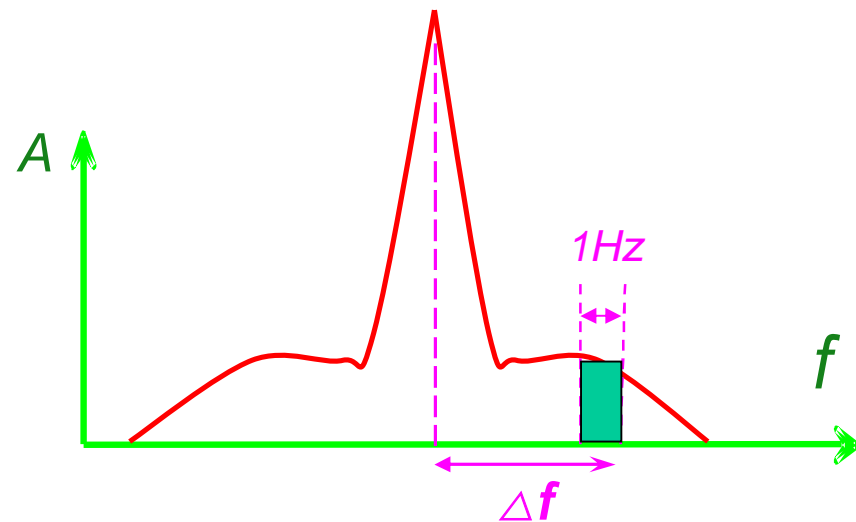
单边带相位噪声 $L(f)$

定义:

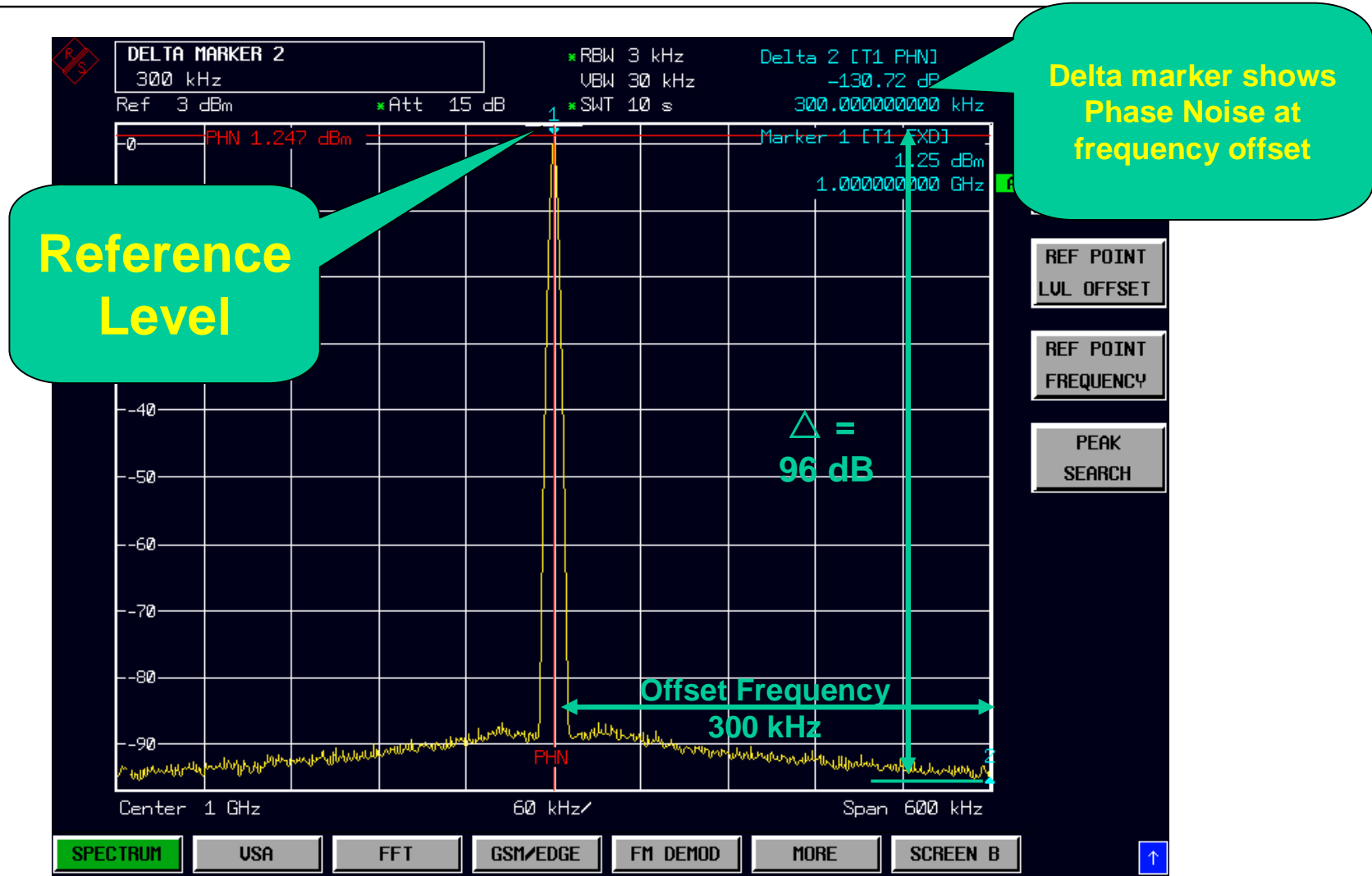
测量偏移载波一定频偏处噪声功率与信号功率进行比值运算。

单位: dBc/Hz

$$L(f) = \frac{1 \text{ Hz 带宽内噪声功率}}{\text{信号功率}}$$



如何用频谱仪测试相位噪声

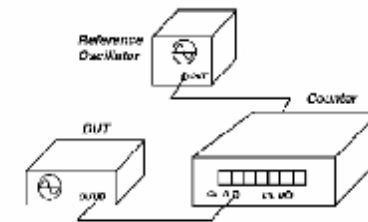


艾伦方差

艾伦方差是测量晶体振荡器长期稳定性(例如：石英晶振稳定性)，它不是真正意义上的相位噪声测量。

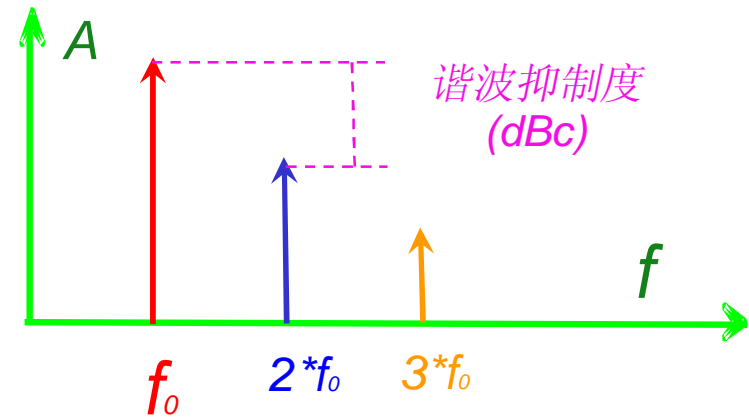
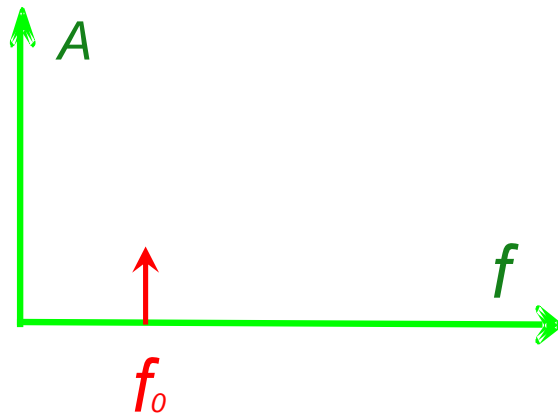
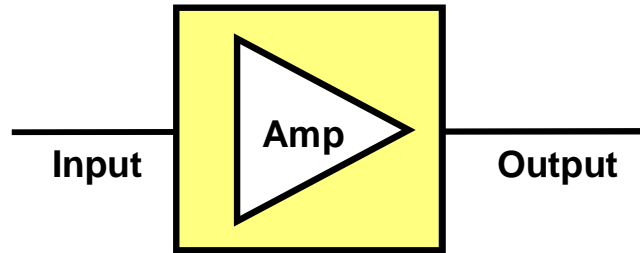
主要测量设备是频谱分析仪，将频率计数器功能激活

- ： 测量当前的频率 f_k
- ： 指定测量时间 t
- ： 重复 M 次测量
- ： 用下面的公式计算它的变化



$$S_{(M,2,t)} = \sqrt{\frac{1}{2(M-1)} \sum_{k=0}^{M-1} (f_{k+1} - f_k)^2}$$

信号谐波抑制度测试



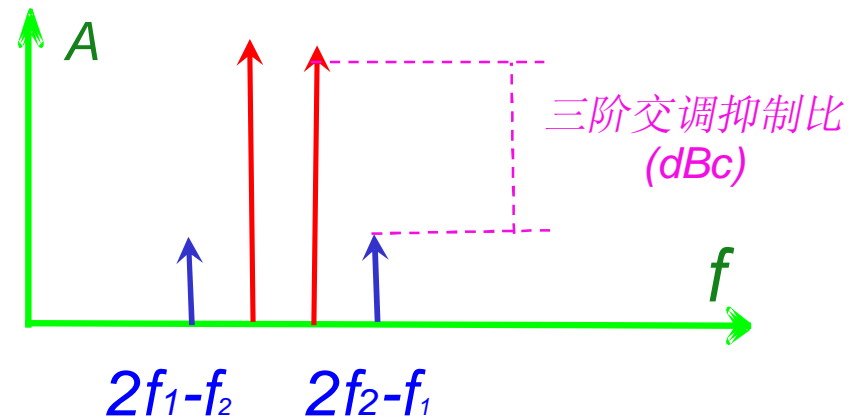
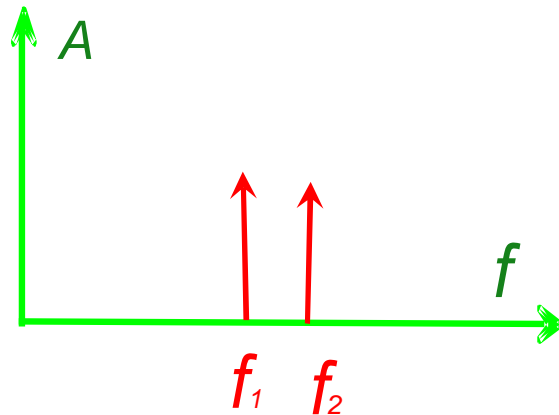
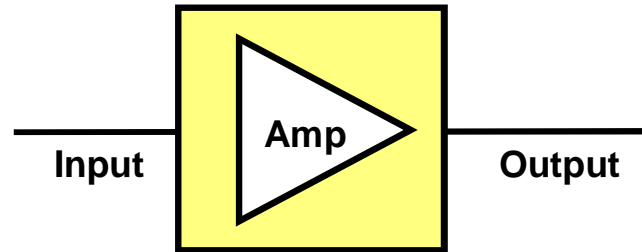
信号谐波抑制度测试



- | Marker & Delta Marker 直接测试

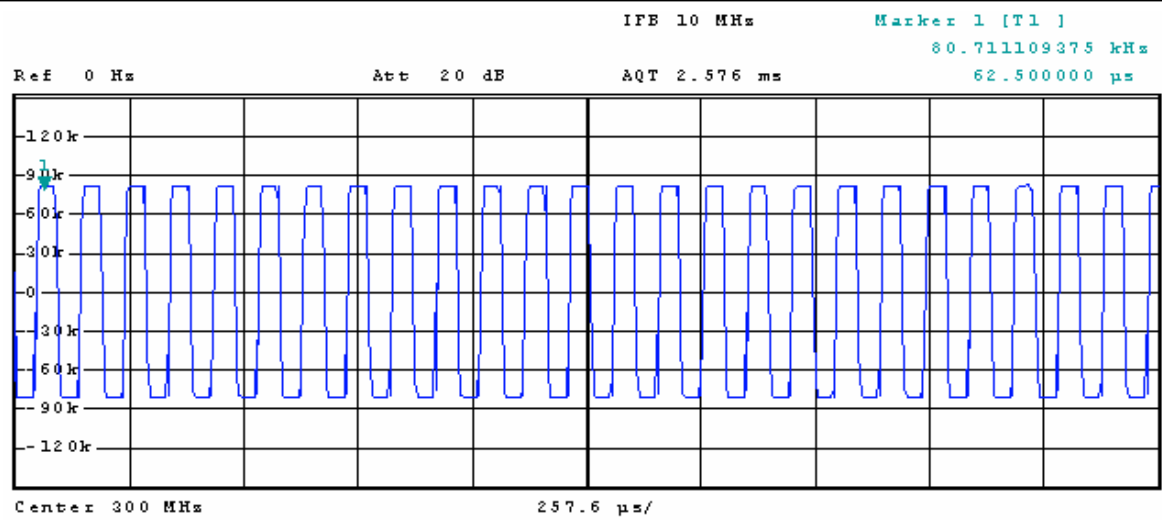
- | 采用 Measure 键中的 Harmonic 失真测试功能

三阶交调抑制比测试



- | Marker & Delta Marker直接测试
- | 采用Measure 键中的 TOI 失真测试功能

AM FM PM解调



被测信号:
300MHz载波
功率为-20dBm
20kHz调制信号
010101数据FSK调制
80kHz频偏

Frequency Modulation Summary

Coupling	DC	Carrier Offset	0.98134 Hz	
Deviation	+peak	81.76 kHz	Carrier Power	-21.41 dBm
	-peak	-81.28 kHz	Modulation Frequency	10.0001 kHz
	σpeak/2	81.52 kHz	Sampling Rate	1 MHz
	RMS	75.03 kHz	Record Length	2577
		Demod Bandwidth	800 kHz	

- | 设置频率，参考功率，Span
- | 解调带宽和测量时间设置，调制制式选择AM/FM/PM

感谢您的参与!