

射频微波基础与测量

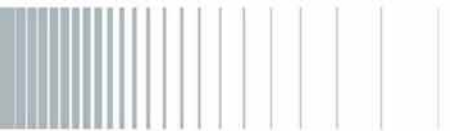
R&S

主要内容

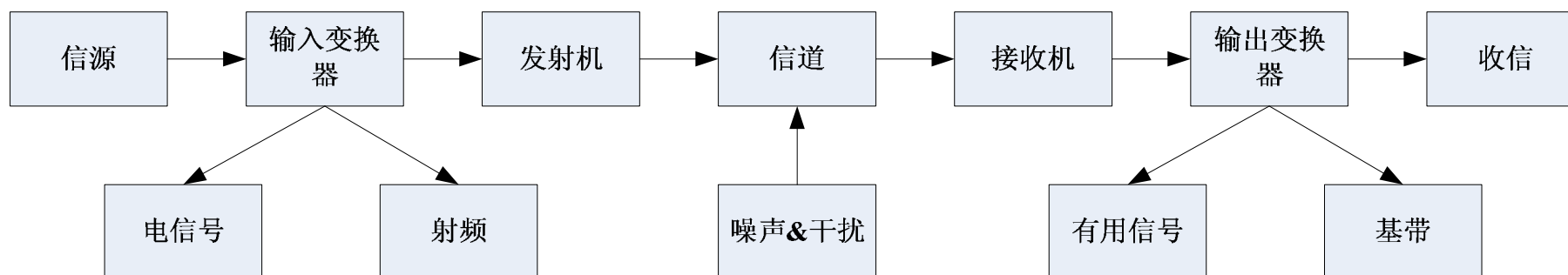
- ❖ 射频系统简介
- ❖ 射频与微波基本概念
- ❖ 信号源基础
- ❖ 频谱分析基础
- ❖ 矢量网络分析仪基础
- ❖ R&S测试仪表系列及安全使用简介



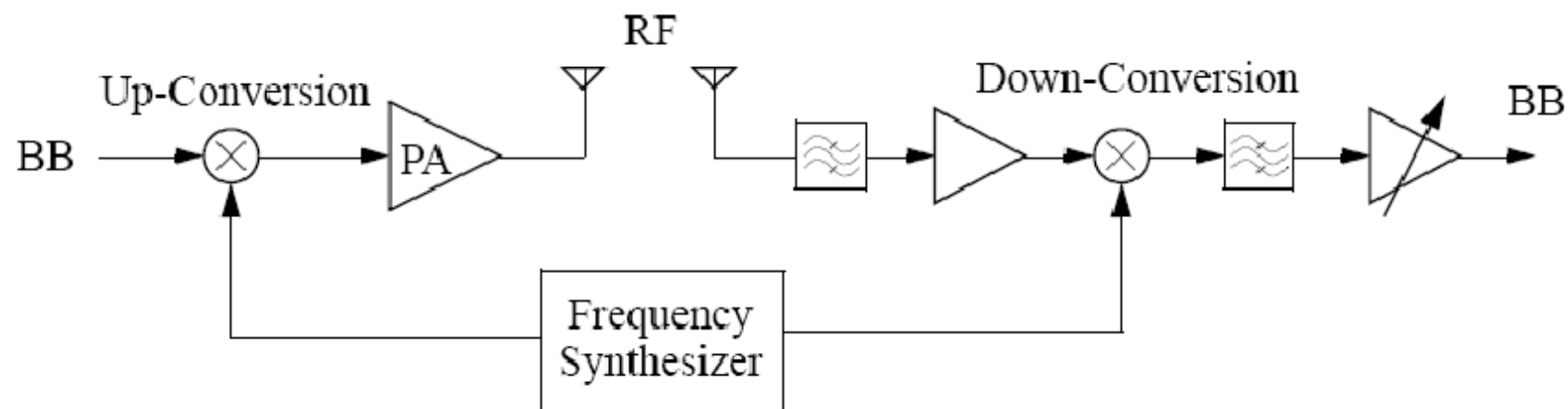
1. 射频系统简介



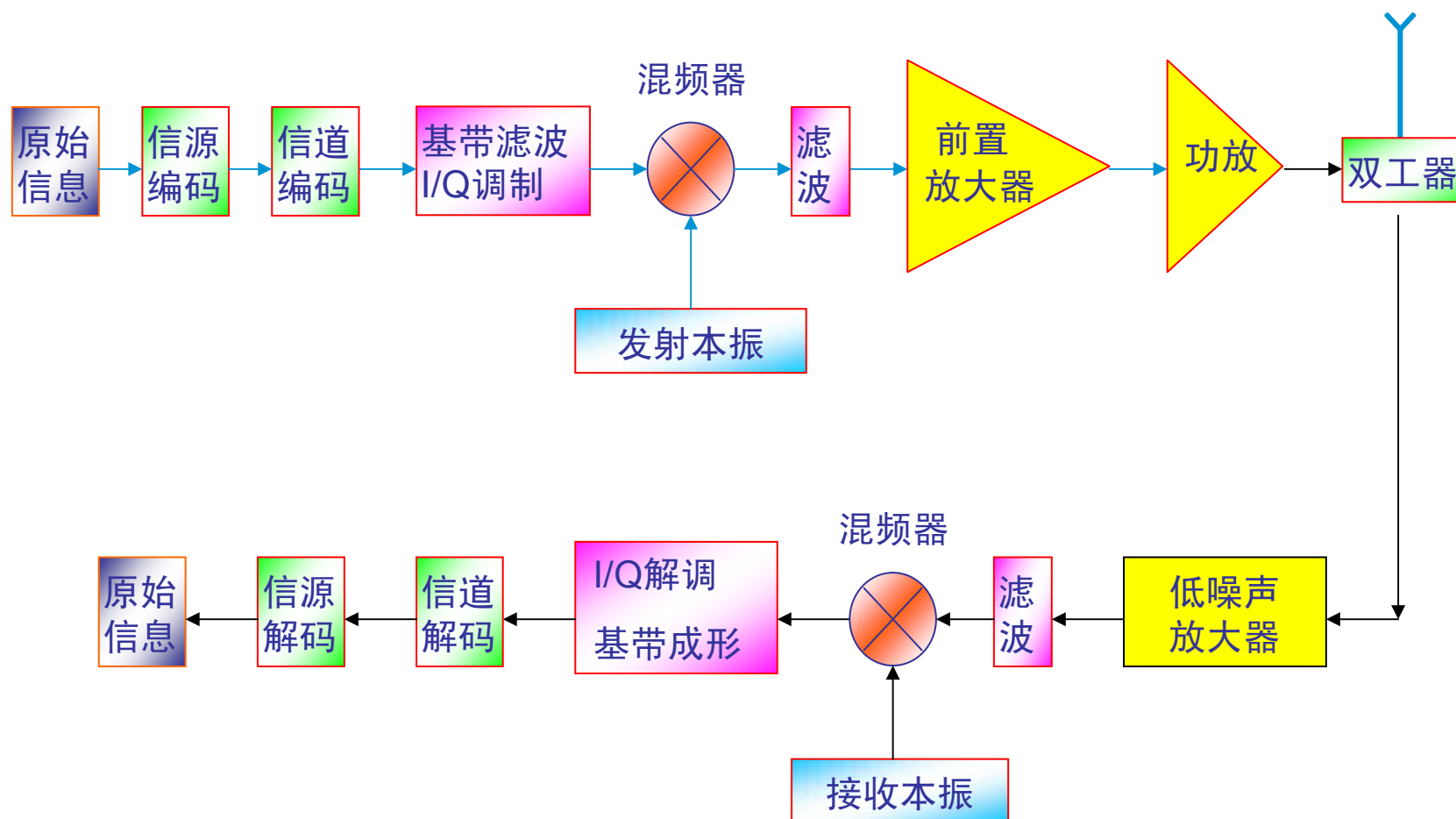
1.1 通信系统的基本组成



1.2 模拟通信系统的电路框图



1.2 数字通信系统的电路框图



1.3 常用的频率范围和通信系统

RF的用途,主要是迅速而准确地传输信息, 以克服距离上的障碍, 是无线通信的关键技术, 是传输信息的载体

- 多高的频率才是射频?

我们关心的频段	30-300kHz	LF	中波广播	530-1700 kHz
	300kHz-3MHz	MF	短波广播	5.9-26.1 MHz
	3-30MHz	HF	RFID	13 MHz
	30-300MHz	VHF	调频广播	88-108 MHz
	300-1000MHz	UHF	(无线)电视	54-88, 174-220 MHz
	1-2 GHz	L-Band	遥控模型	72 MHz
	2-4 GHz	S-Band	个人移动通信	900MHz, 1.8, 1.9, 2 GHz
	4-8 GHz	C-Band	WLAN, Bluetooth (ISM Band)	2.4-2.5GHz, 5-6GHz
			注1: 本表主要参考国外标准	
			注2: ISM = Industrial, Scientific and Medical	

- 为什么使用高频频率?



1.4 数字通信工程师眼中的系统



| 研究内容：信息论，编码，调制，信道特性，均衡，QoS...

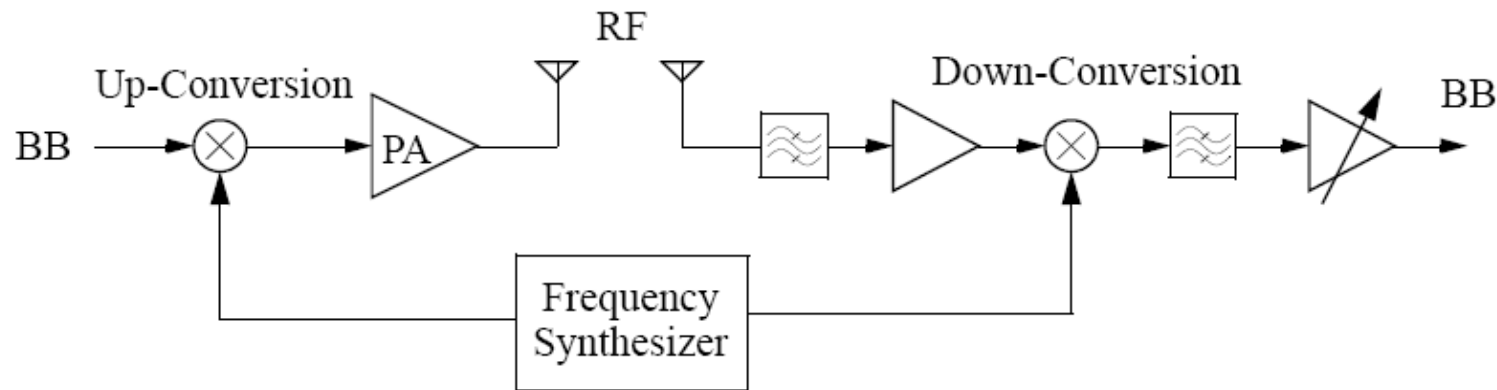
| 解决问题：信道中的噪声，衰落，干扰...

| 目的：在系统的层次提高信息传输的质和量，系统规划

香农定理：
$$C = B \log_2(1 + S/N) \approx \frac{1}{3} 10 \lg(S/N) = \frac{1}{3} SNR$$



1.4 射频系统工程师眼中的系统



| 研究内容：收发信机的体系结构，频率，功耗，增益，噪声，非线性的总体要求和分配

| 解决问题：电路模块对系统的影响

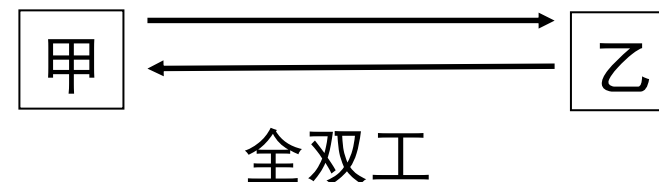
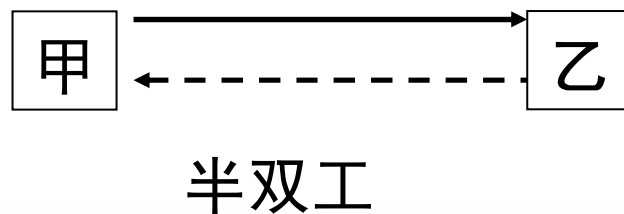
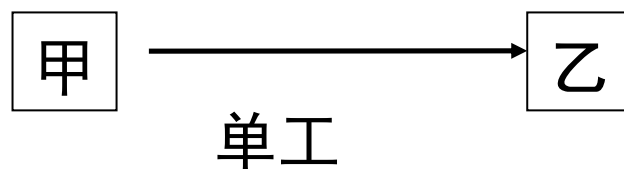
| 目的：合理分配资源，满足整体性能要求，降低成本，功耗，体积

1.5 通信的双工方式

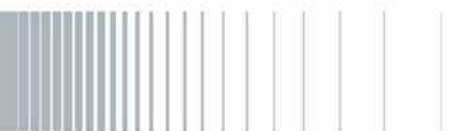
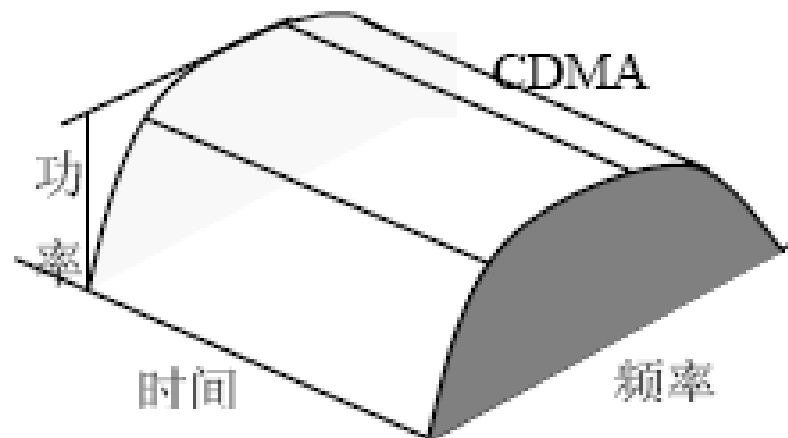
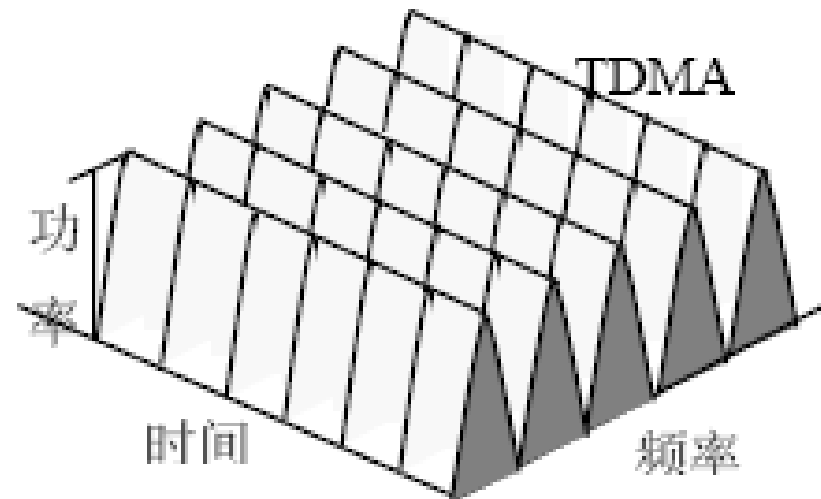
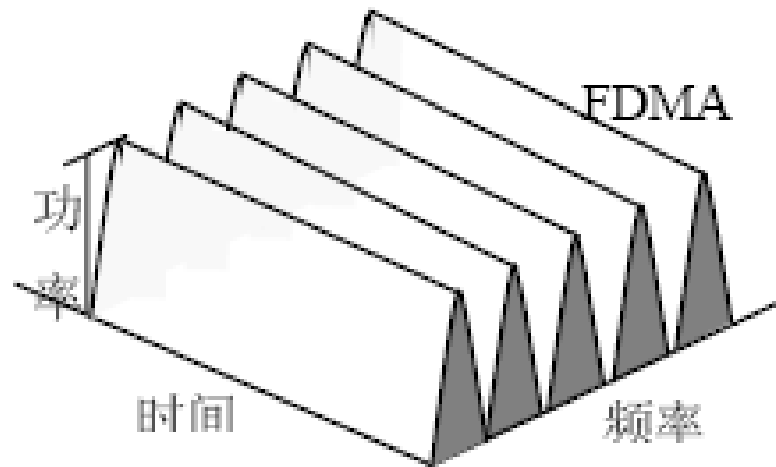
| 单工(Simplex)方式：通信双方设备中发送器与接收器分工明确，只能在由发送器向接收器的单一固定方向上传送数据。（BB机、收音机、电视机）

| 半双工(Half Duplex)方式：通信双方设备既是发送器，也是接收器，两台设备可以相互传送数据，但某一时刻则只能向一个方向传送数据。（对讲机）

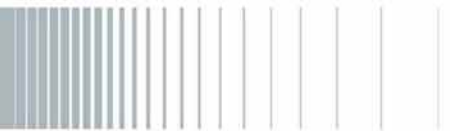
| 全双工(Full Duplex)方式：通信双方设备既是发送器，也是接收器，两台设备可以同时两个方向上传送数据。（手机）



1.6 分址方式



2. 射频与微波基本概念



射频系统常用概念

- 常用的工程量纲
- 转接头及常用电缆
- 噪声系数
- 电路的非线性表现
- Smith圆图
- 阻抗变换与阻抗匹配
- 射频与微波模块元器件



2.1 常用的工程量纲

| $\text{dBm} = 10\lg(P/1\text{mW})$ (P的单位为毫瓦mW)

| $\text{dB} = 10\lg(P/P_{\text{ref}})$

| $\text{dBuV} = 20\lg(V/1\mu\text{V})$ (V的单位为微伏uV)

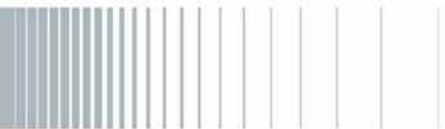
| $1\text{kHz} = 10^3\text{Hz}$

| $1\text{MHz} = 10^6\text{Hz}$

| $1\text{GHz} = 10^9\text{Hz}$

| $\text{ppm} = 10^{-6}$

Q: $-3\text{dBm} + 3\text{dBm} = ? \text{ mW}$



2.2 转接头与常用电缆



优点:

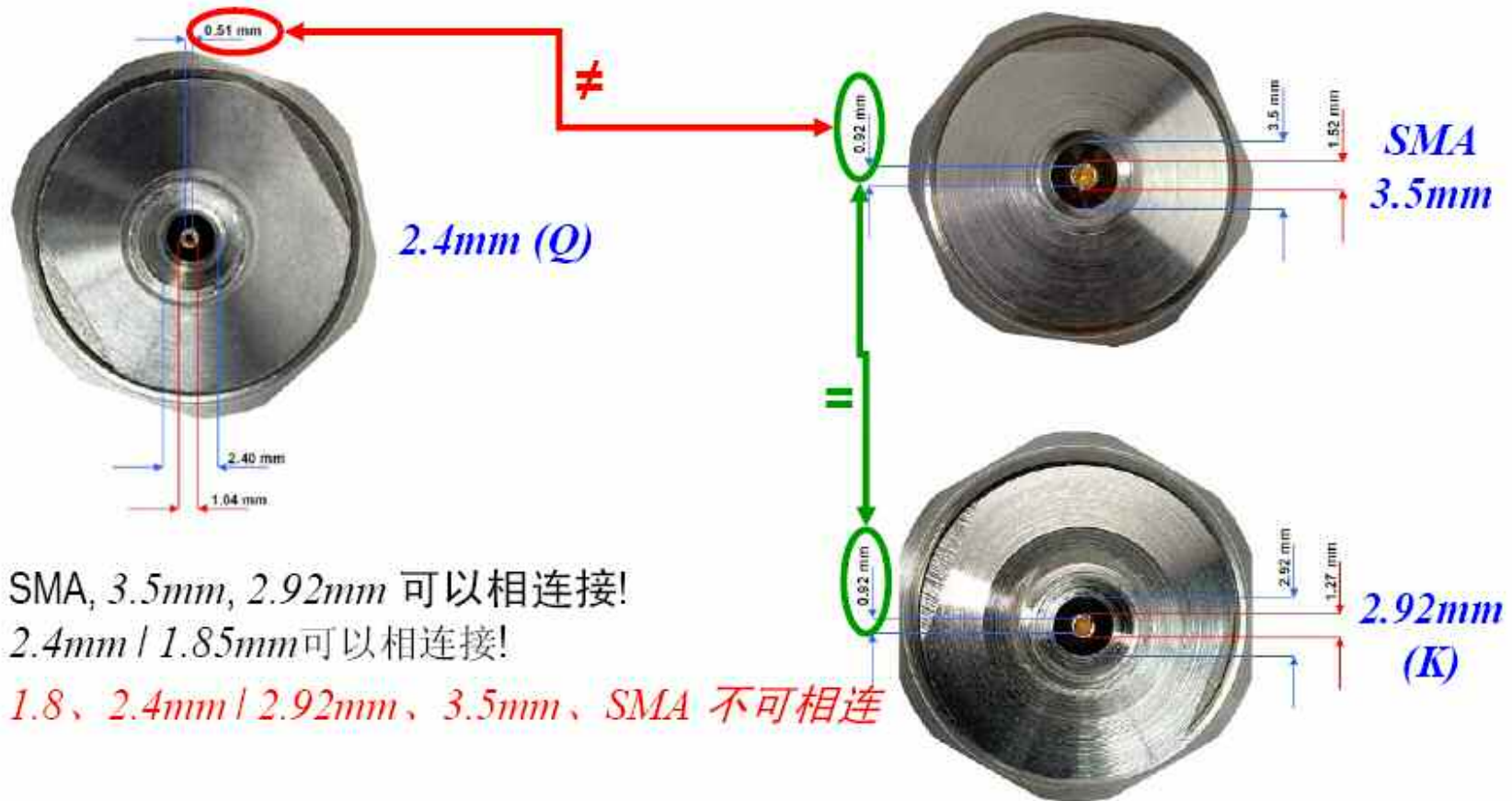
可拆卸

- 无须等待维修时间

接头类型

- N, 3.5mm, 2.92mm, 2.4mm

2.2 接头匹配



2.2 RF连接头



BNC阳 - BNC阴

Bayonet Nut Connector/刺刀螺母连接器



N阴 - N阴

Navy



N阳 - BNC阴



SMA阳 - SMA阳

标准的SMA是：“外螺纹+孔”、“内螺纹+针”

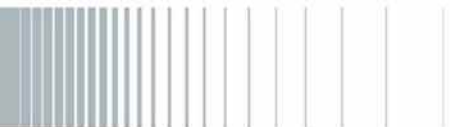
2.2 RF连接频率范围

接头类型	理论频率上限 (GHz)	推荐频率上限 (GHz)
14 mm (e.g. GR900)	9,5	8,5
7 mm (e.g. APC 7)	19,4	18,0
Type N (precision)	19,4	18,0
3,5 mm (e.g. PC3,5; SMA)	38,8	33,0
2,92 mm (K-connector)	46,5	40,0
2,4 mm (Q-connector)	56,5	50,0
1,85 mm (V-connector)	73,3	65,0
1mm	135,7	110,0

Navy / N

Bayonet Nut Connector / BNC

Subminiature A / SMA



2.3 噪声系数

I 天线噪声

天线从周围环境中接收到的噪声能量，输出到接收机的噪声功率

I 电路中的噪声源

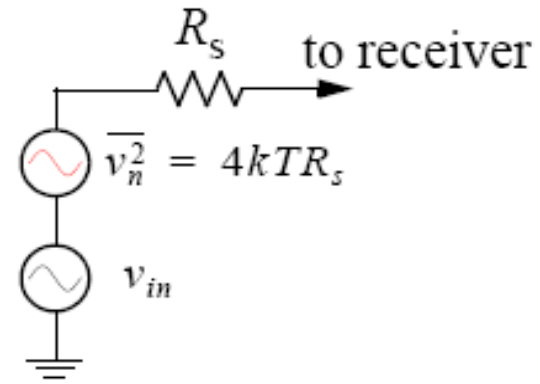
电阻，晶体管，PN结

理想的电感电容不产生噪声

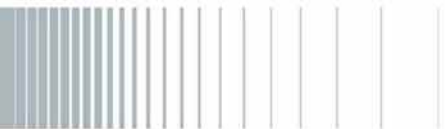
I 噪声系数

即使没有输入，电路中的噪声源也会在输出端产生噪声功率

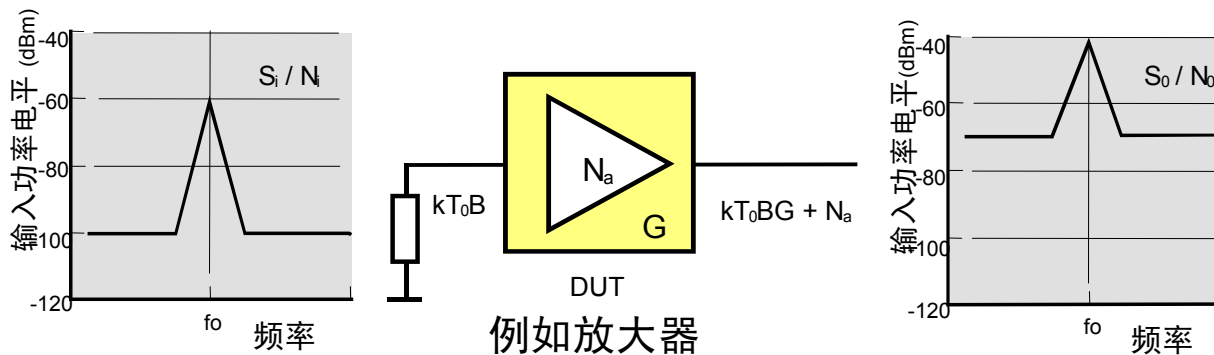
噪声系数通常被定义为电路对信噪比的影响程度



$$F = \frac{\text{SNR}_{in}}{\text{SNR}_{out}}$$



2.3 噪声系数



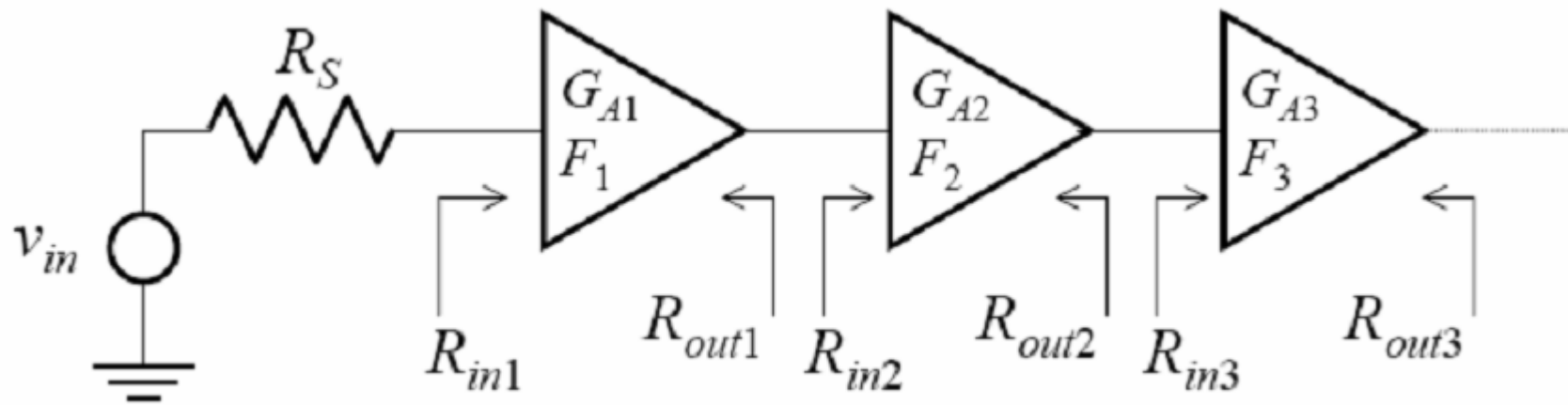
$$F = \frac{S_i / N_i}{S_o / N_o} = \frac{S_i / N_i}{G S_i / (N_a + G N_i)} = \frac{N_a + G N_i}{G N_i} = \frac{N_a + k T_0 B G}{k T_0 B G}$$

kT_0 $4.00 \times 10^{-21} \text{ W/Hz} = -174 \text{ dBm/Hz}$
 N_a 系统的内部噪声
 B 系统的噪声带宽
 G 系统的增益
 T_0 噪声参考温度 (定义为290K)

IEEE 标准的定义:

噪声系数F是全部的输出噪声功率 ($N_a + kT_0BG$)和输出噪声的一部分功率(kT_0BG)之比, 这部分功率 kT_0BG 是由于输入噪声(kT_0B)引起的。这是在输入源的温度为290K的条件下得到的。

2.3 级联系统的噪声系数

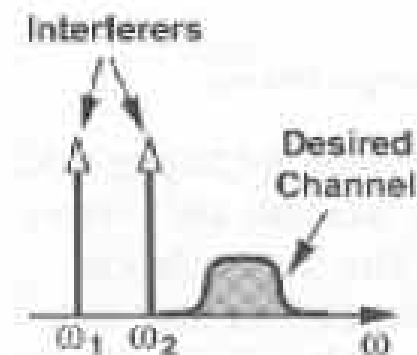


$$F_{total} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_{A1}} + \frac{F_3 - 1}{G_{A1} G_{A2}} + \dots$$

2.4 电路的非线性

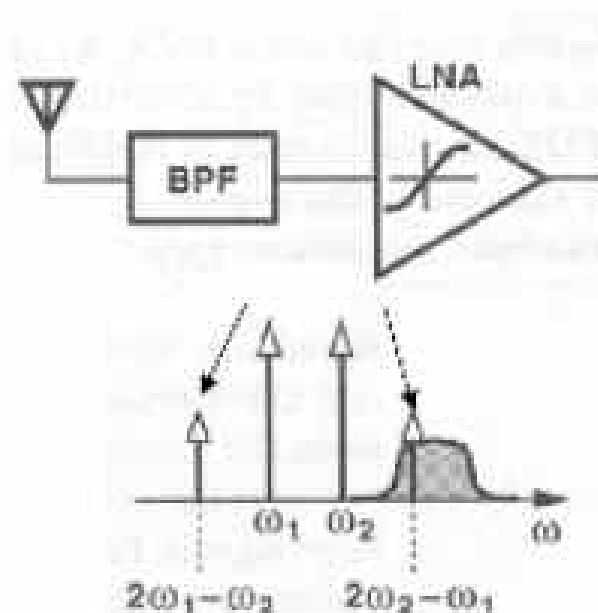
I 电路本身就是非线性的

- 三极管集电极电流与基极电压的关系
- MOS管漏极电流与栅极电压的关系
- PN结电容



I 非线性对系统的影响

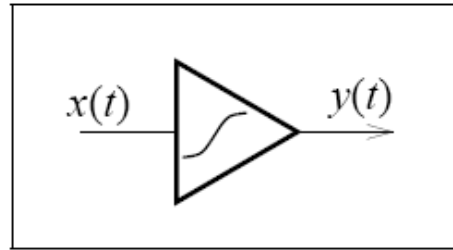
- 增益压缩, 谐波失真
- 交调, 互调



I 相关指标

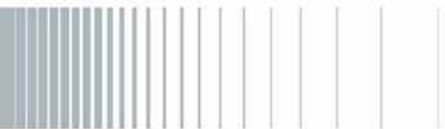
- 相位噪声
- 1-dB压缩点
- 3阶截点

2.4 非线性的简单模型



$$y = a_0 + a_1x^1 + a_2x^2 + a_3x^3$$

如果输入信号幅度很小，那么上式中2次项就可以忽略而成为小信号情况。在很多情况下我们可以忽略3次以上的项。



2.4 谐波失真

当输入信号为 $x(t) = A \cos(\omega t)$ 时，输出信号为

$$\begin{aligned} y(t) &= \alpha_1 A \cos \omega t + \alpha_2 A^2 \cos^2 \omega t + \alpha_3 A^3 \cos^3 \omega t + \dots \\ &\approx \alpha_1 A \cos(\omega t) + \frac{1}{2} \alpha_2 A^2 (1 + \cos 2\omega t) + \frac{1}{4} \alpha_3 A^3 (3 \cos \omega t + \cos 3\omega t) \\ &= \frac{\alpha_2 A^2}{2} + \left(\alpha_1 A + \frac{3\alpha_3 A^3}{4} \right) \cos \omega t + \frac{\alpha_2 A^2}{2} \cos 2\omega t + \frac{\alpha_3 A^3}{4} \cos 3\omega t \end{aligned}$$



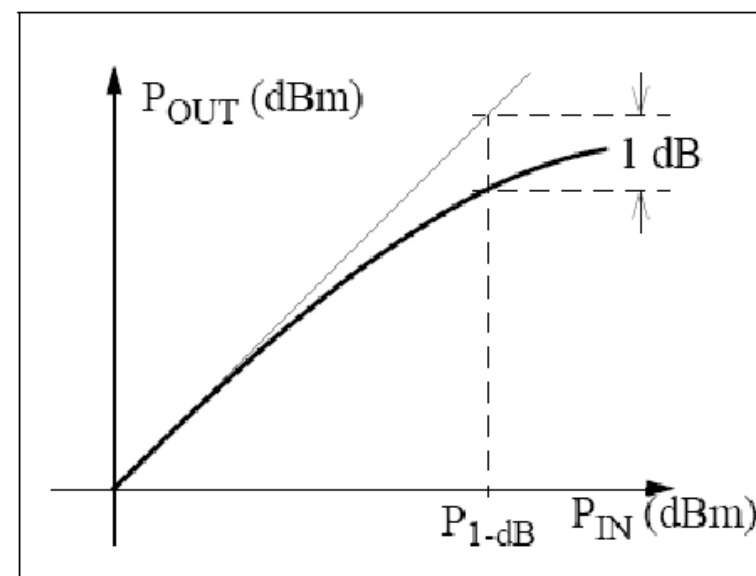
2.4 增益压缩

增益压缩 (Gain Compression)

我们已经看到，当输入为一个单频信号 $A \cos(\omega t)$ 时，输出的基波分量 (The Fundamental Component) 幅度为

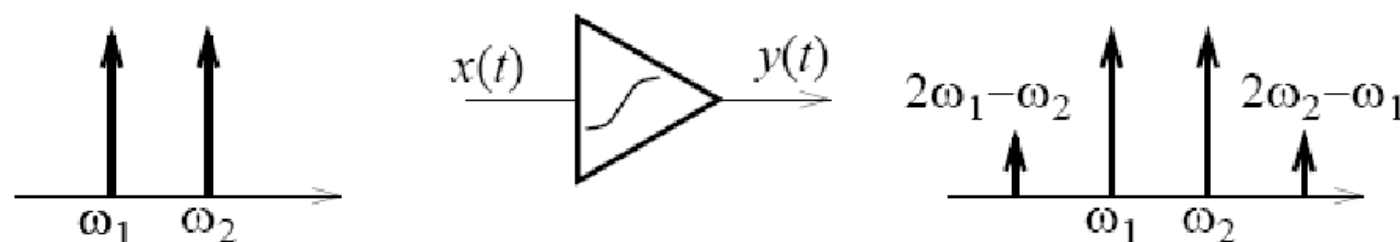
$$\alpha_1 A + \frac{3\alpha_3 A^3}{4} = \alpha_1 A \left(1 + \frac{3A^2}{4} \cdot \frac{\alpha_3}{\alpha_1} \right)$$

如果 α_1 和 α_3 的符号相反¹，则信号增益将随幅度 A 的增大而减小。如果用对数 (功率) 来表示放大器的输入和输出信号幅度，可以清楚地看到输出功率随输入功率增大而偏离线性关系的情况。当输出功率与理想的线性情况偏离达到 1dB 时，放大器的增益也下降了 1dB，此时的输入信号功率 (或幅度) 值称为 1-dB 增益压缩点 (1-dB Gain Compression Point)



2.4 互调

如果系统的输入为两个幅度相近、频率间隔很小的正弦波
 $x(t) = A \cos \omega_1 t + A \cos \omega_2 t$ ，在系统的输出信号中，除了基波分量 ω_1 和 ω_2 外，还包含了它们的各种组合频率(不仅仅是谐波)，即输出信号的频率分量为 $\omega = |m\omega_1 + n\omega_2|$ ， $m, n = -\infty, \dots, -1, 0, 1, \dots, \infty$ ， m 和 n 不为 0 时的频率分量相当于通过 ω_1 和 ω_2 相互调制而产生，因此称为互调分量，由 3 次失真引起的互调分量称为 3 次互调分量(IM3)，其中需要重点考虑的是 $2\omega_1 - \omega_2$ 和 $2\omega_2 - \omega_1$ 这两项，因为它们就在基波分量附近

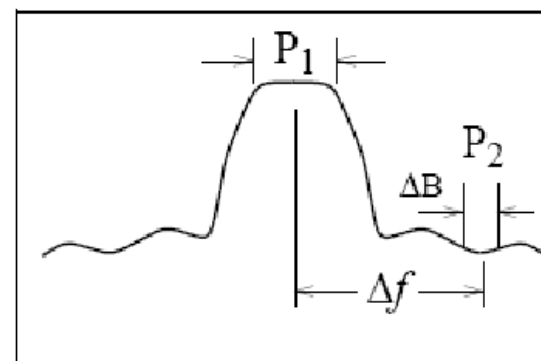


2.4 邻道功率比ACPR

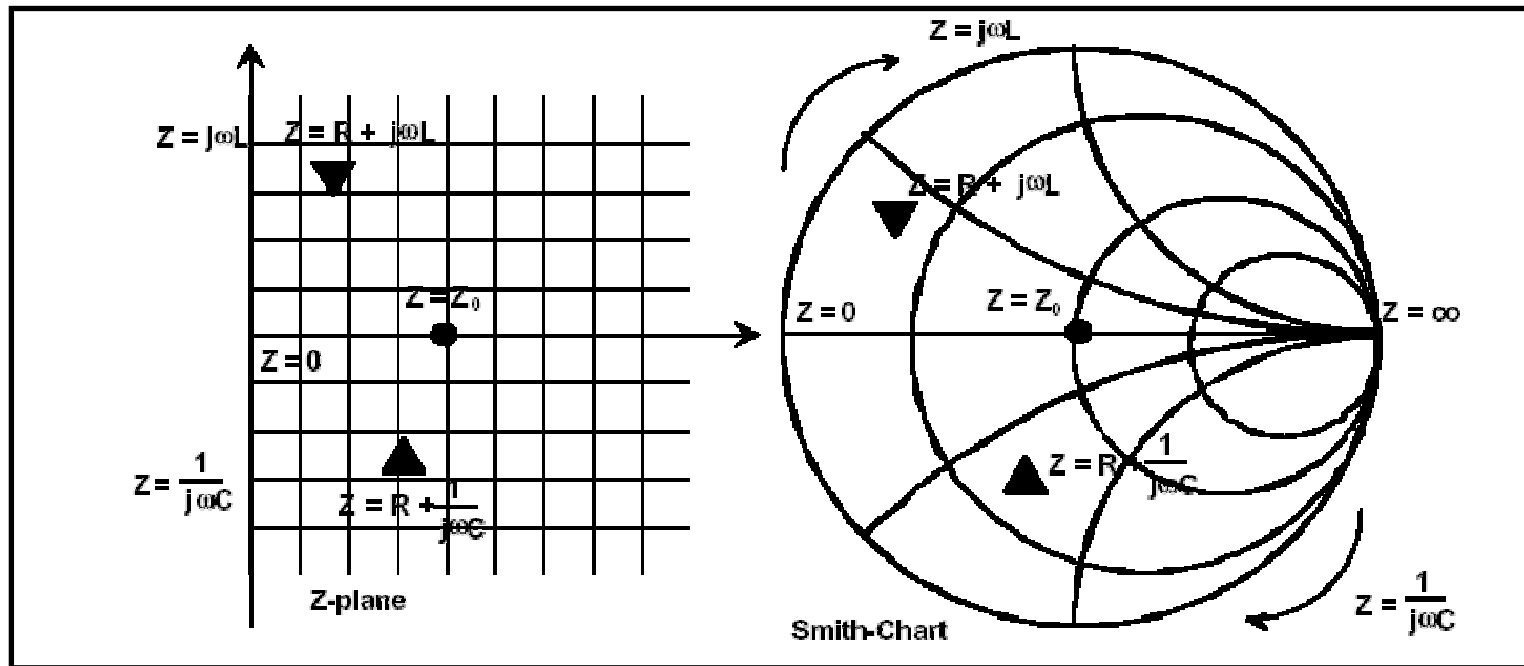
1-dB 增益压缩点和三阶互调点并不能说明全部问题，特别对于复杂调制下的功率放大器，需要一些其它的指标来描述其非线性

– ACPR (Adjacent Channel Power Ratio) = P_1/P_2

- » P_1 : 信道带宽内的信号功率
- » P_2 : 距离信道中心频率 Δf 处 (相邻信道) ΔB 带宽内泄漏或扩散的信号功率
- » 非线性对邻信道 (带外) 造成的干扰



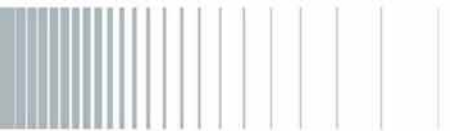
2.5 Smith阻抗圆图



- 基于电压反射系数用极坐标表示的思想，同时任何一个网络端口的反射系数都可以转换为该端口的归一化阻抗（或导纳）
- 上半部分为感性，下半部分为容性
- 在Smith圆图上：顺时针表示负载向信号源端阻抗的变化，逆时针表示源向负载端的变化

2.5 阻抗匹配的重要性

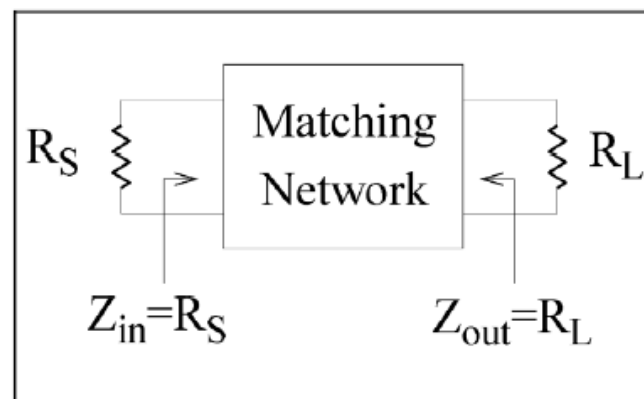
- | 可以向负载传输最大的功率
- | 改善噪声系数
- | 提高效率，延长电池寿命
- | 提高滤波器和选频回路的性能
- | 减少反射引起的失真



2.5 匹配的基本概念

- 为什么逻辑电路通常不需要匹配
 - 这是一个能量(或功率、信噪比)与状态的区分问题，与高频模拟电路不同，逻辑电路中所传递的是电平的高低状态
- 两种不同的匹配概念
 - 对传输线阻抗的匹配: $Z_L = Z_0$
 - 对信号源阻抗的匹配: $Z_L = Z_s^*$
- 匹配网络设计的一些考虑
 - 工作频率
 - 带宽或Q值
 - 实现方式和结构
- 阻抗匹配/变换网络的基本形式
 - LC阻抗变换技术
 - 传输线匹配技术
 - 变压器
- 阻抗匹配应是无损耗的
 - 不用电阻网络

共轭匹配是传输功率最大，
传输线匹配时，无反射传输。



2.6 射频与微波模块元器件

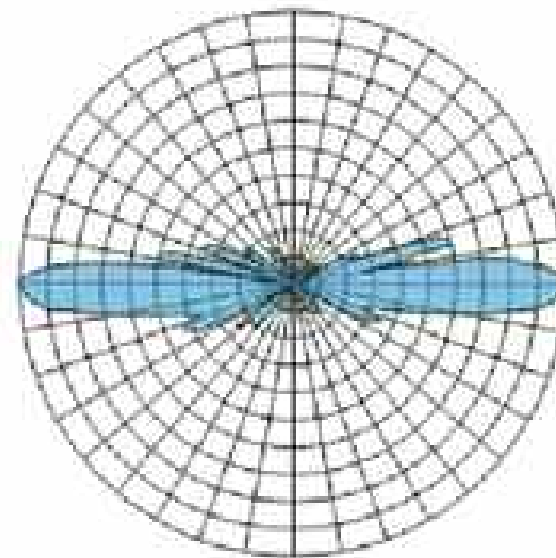
- | 天线
- | 功分/合路器
- | 放大器
- | 滤波器
- | 定向耦合器
- | 双工器
- | 环形器、隔离器
- | 混频器



RF模块/天线

主要指标	参考值
工作频率(MHz)	835~960
增益(dBi)	7.5
电压驻波比	<1.5
输入阻抗（欧姆）	50
极化方式	水平/垂直
垂直波束宽度（度）	20
最大功率（W）	200

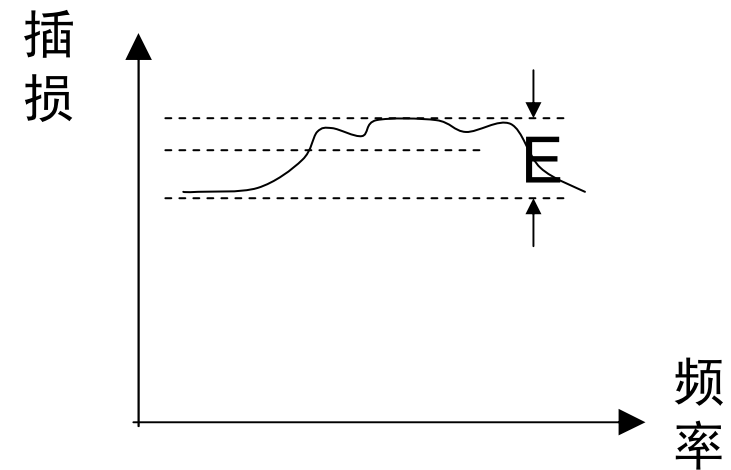
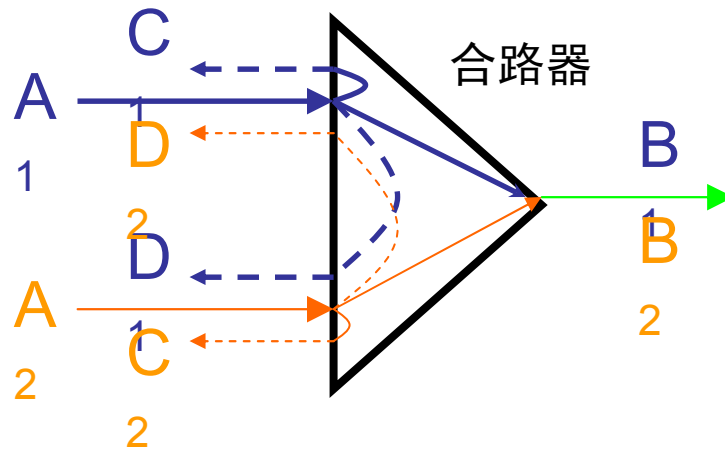
E 面方向图



RF模块/合路器

I 性能指标

- 插入损耗: $A1/B1$
- 带内波动: E
- 端口回波损耗: $A1/C1$
- 隔离度: $A1/D1$



RF模块/放大器

I 低噪声放大器（LNA）

位于接收机前端，主要用于放大微弱信号
噪声系数和增益是主要考核指标

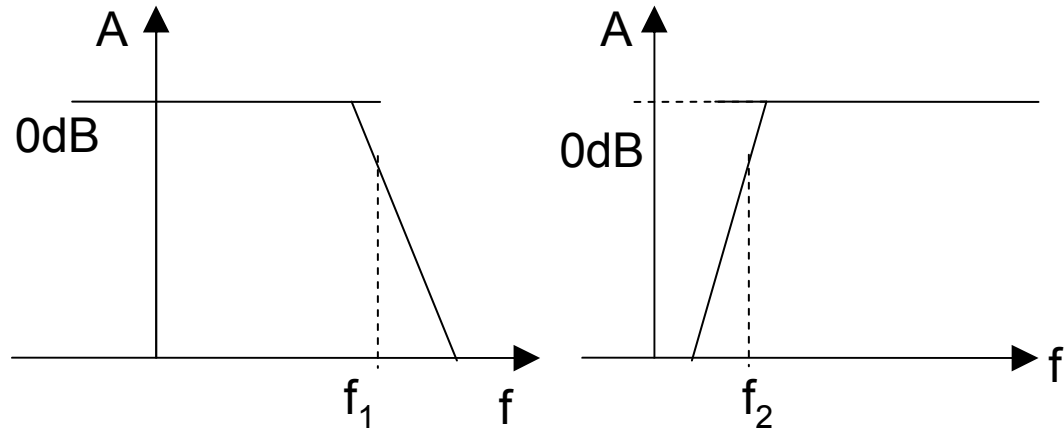
I 功率放大器（PA）

位于发射机末级，主要用于放大信号以便信号传得更远噪声系数、增益、输出功率和非线性是主要考核指标

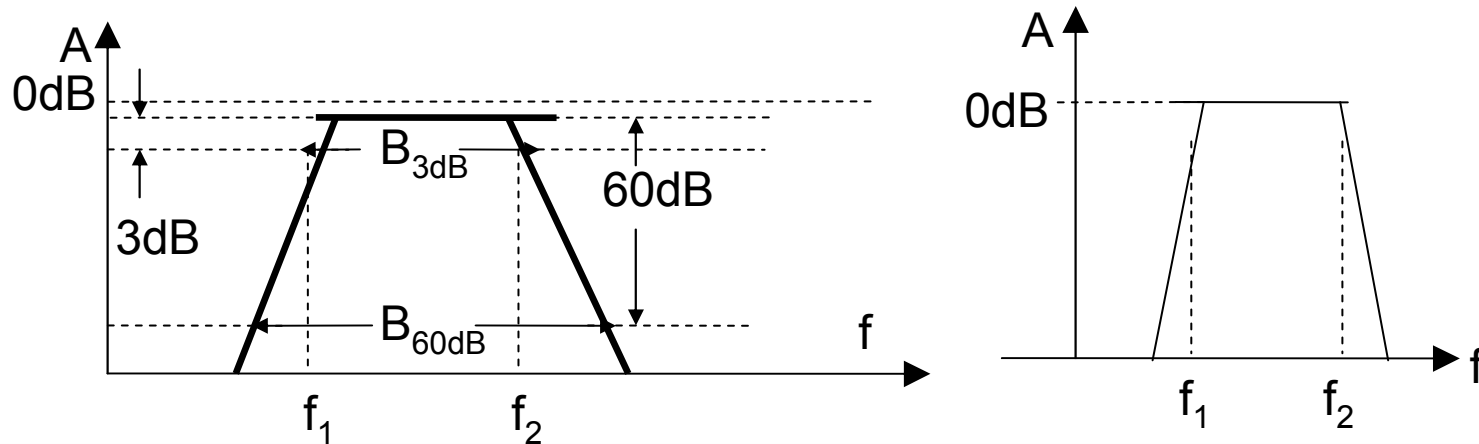


RF模块/滤波器

- I 低通滤波器
- I 高通滤波器
- I 带通滤波器
- I 带阻滤波器

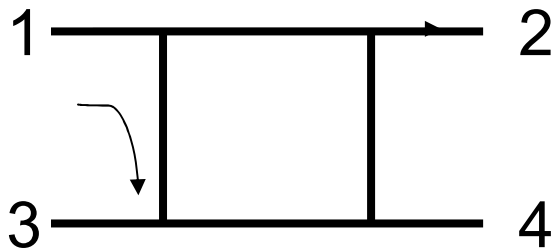


波形系数 $SF_{60/3} = B_{60dB} / B_{3dB}$



RF模块/定向耦合器

- | 定向耦合器 是微波系统中应用广泛的一种微波器件，它的本质是将微波信号按一定的比例进行功率分配。
- | 定向耦合器包括输入端口（1）、输出端口（2）、隔离端口（4）和耦合端口（3）
- | 耦合度：输入端的输入功率 P_i 与耦合端的输出功率 P_c 之比，记为 $K_c = 10\lg(P_i/P_c)$
- | 隔离度/定向性：输入端的输入功率 P_i 与隔离端的输出功率 P_s 之比，记为 $K_s = 10\lg(P_i/P_s)$
- | 方向性：耦合端的输出功率 P_c 与隔离端的输出功率 P_s 之比，记为 $K_d = 10\lg(P_c/P_s)$



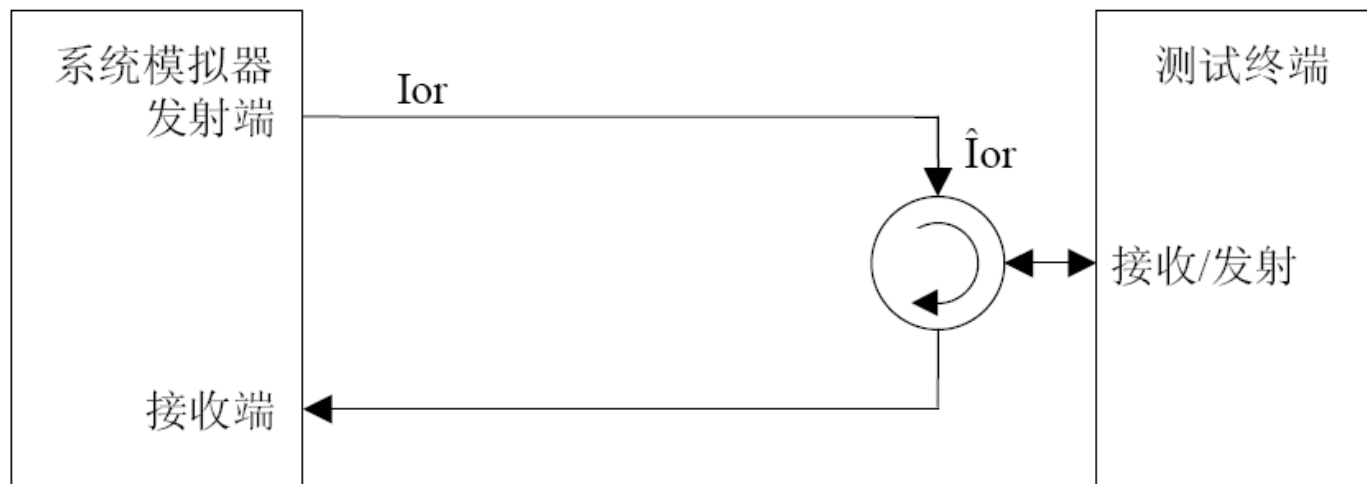
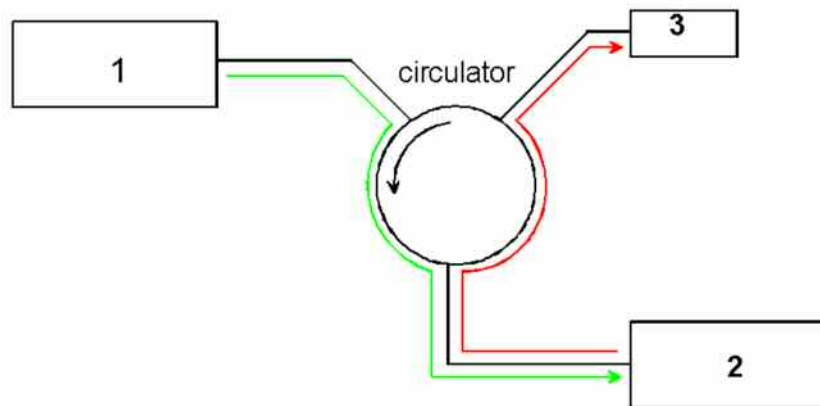
RF模块/频段双工器

- | 将不同频段的信号传输给同一传输线并借助同一副天线发送出去。
- | 将同一天线接收来的不同频段的信号分开以便进行检测。
- | 利用两个不同中心频率的带通滤波器进行频率的混合和分离。

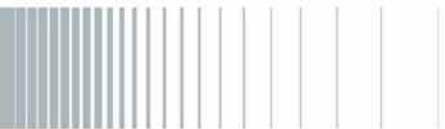
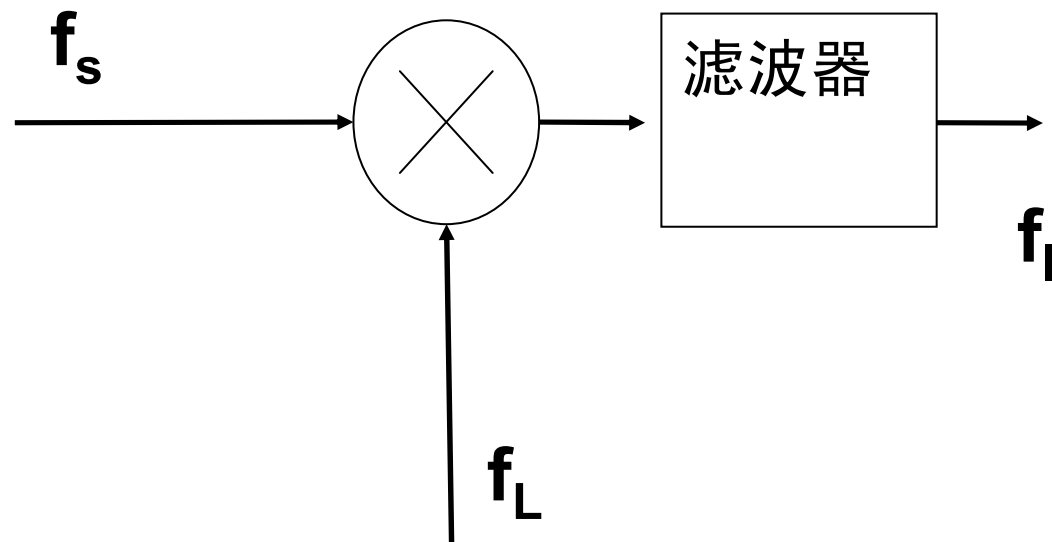
项 目	指 标
工作频段 (MHz)	890~915
	935~960
插入损耗(dB)	上行: ≤ 1.5 (902.5MHz)
	下行: ≤ 1.5 (947.5MHz)
带内波动 (dB)	< 0.5
回波损耗 (dB)	> 20
带外抑制 (dB)	> 80
接头类型	SMA
阻抗	50 Ω
承受功率	50W



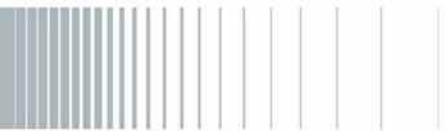
环形器、隔离器



RF模块/混频器



3. R&S信号源基础



主要内容

3.1 信号源参数

3.2 信号源技术简介

3.3 信号源的主要应用



3.1 信号源参数

3.1.1 频率参数:

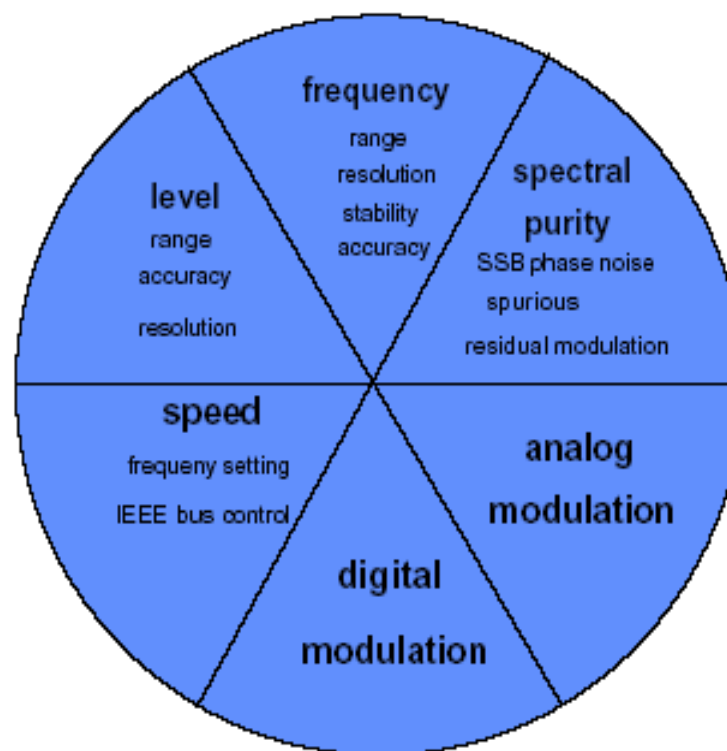
3.1.2 幅度参数

3.1.3 频谱纯度参数

3.1.4 速度参数

3.1.5 模拟调制

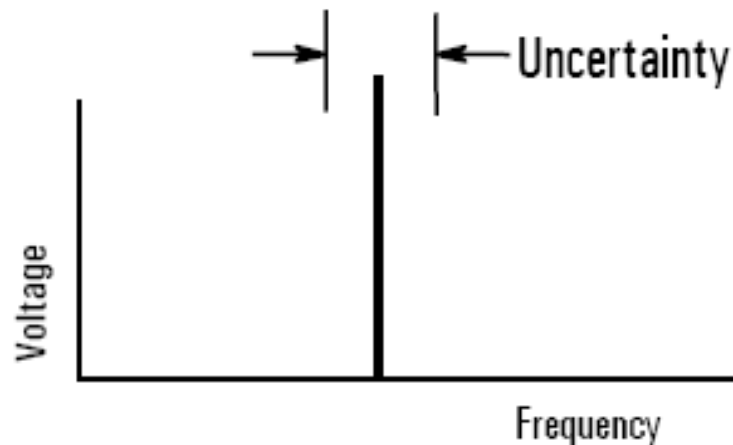
3.1.6 数字调制



3.1.1 频率参数

- Range: Range of frequencies covered by the source
- Resolution: Smallest frequency increment.
- Accuracy: How accurately can the source frequency be set.

EXAMPLE



$$\text{Accuracy} = \pm f_{\text{CW}} * \tau_{\text{aging}} * \tau_{\text{cal}}$$

f_{CW} = CW frequency = 1 GHz
 τ_{aging} = aging rate = 0.152 ppm/year
 τ_{cal} = time since last calibrated = 1 year

$$\rightarrow \text{Accuracy} = \pm 152 \text{ Hz}$$

3.1.1 频率参数—频率指标简介

老化率：天稳 年稳； 温度漂移； 输出参考时钟； 输入参考时钟

Aging	after 30 days of uninterrupted operation	$<1 \times 10^{-9}/\text{day}$, $<1 \times 10^{-7}/\text{year}$
	with R&S [®] SMU-B22 option	$<5 \times 10^{-10}/\text{day}$, $<3 \times 10^{-8}/\text{year}$
Maximum temperature effect	in operating temperature range	$\pm 6 \times 10^{-8}$
	with R&S [®] SMU-B22 option	$\pm 6 \times 10^{-9}$
Warm-up time	to nominal thermostat temperature	≤ 10 min
Output for internal reference signal	frequency (approx. sinewave)	10 MHz or external input frequency
	level	typ. 5 dBm
	source impedance	50 Ω
Input for external reference	frequency	5 MHz, 10 MHz or 13 MHz
	maximum deviation	3×10^{-6}
	input level, limits	≥ -6 dBm, ≤ 19 dBm
	recommended	0 dBm to 19 dBm
	input impedance	50 Ω



3.1.2 幅度参数

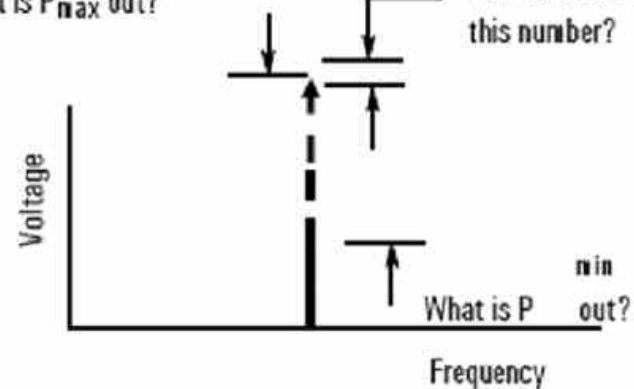
- Range
- Accuracy
- Resolution
- Reverse Power Protection

Source protected from accidental transmission from DUT



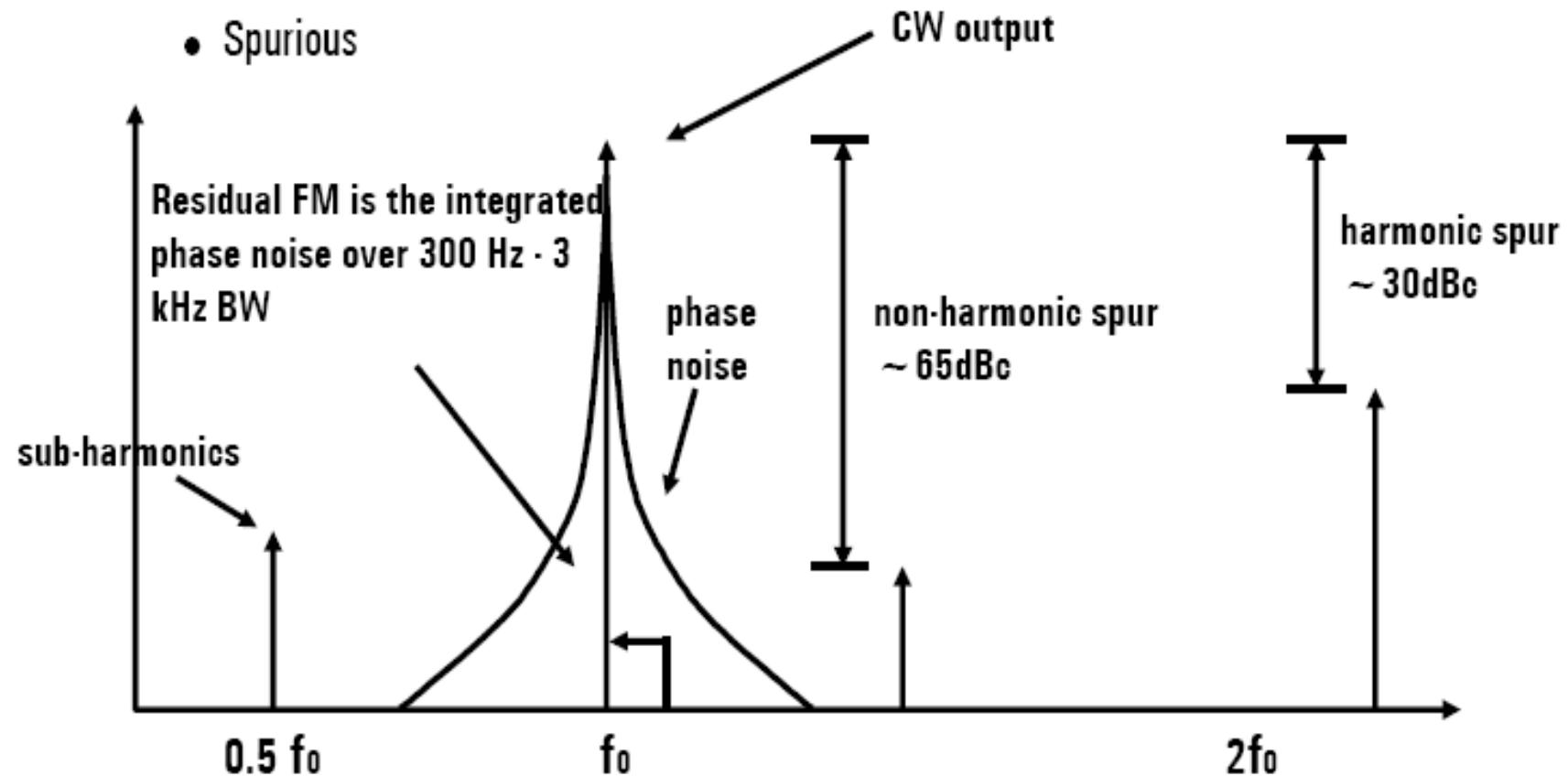
What is P_{max} out?

How accurate is this number?

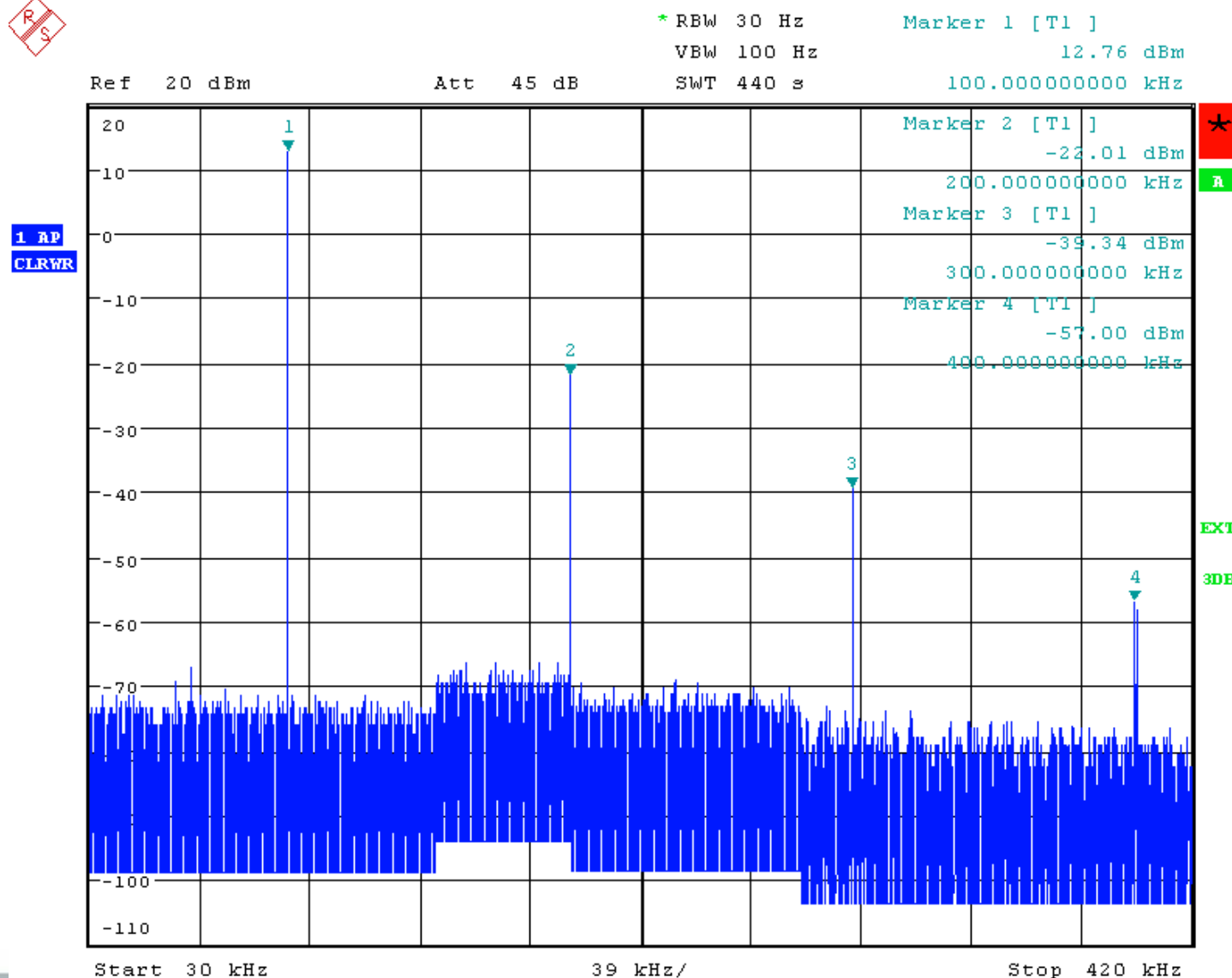


3.1.3 频谱纯度参数—谐波与分谐波

- Phase Noise
- Residual FM
- Spurious



3.1.3 频谱纯度参数—真实测试值



3.1.3 频谱纯度参数—相位噪声

什么是相位噪声？

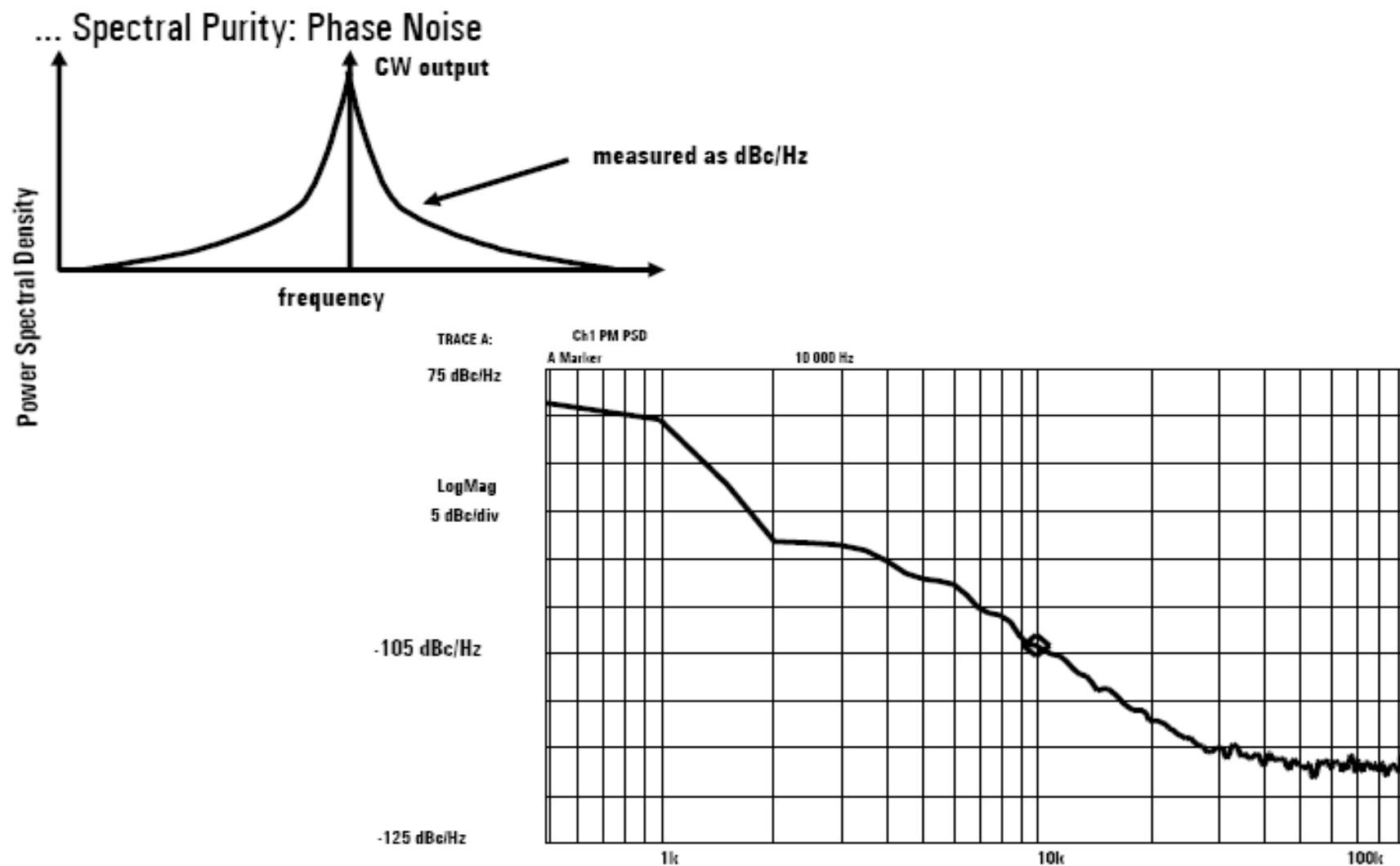
相位噪声是振荡器短期稳定度在频域上的度量参数，通常以一个单载波的幅度为参考，偏移一定的频率下，1Hz带宽下的相对噪声电平，其单位为dBc (1Hz) 或dBc/Hz，其中c是指载波(carrier)。

下例为SMU200A的相位噪声指标

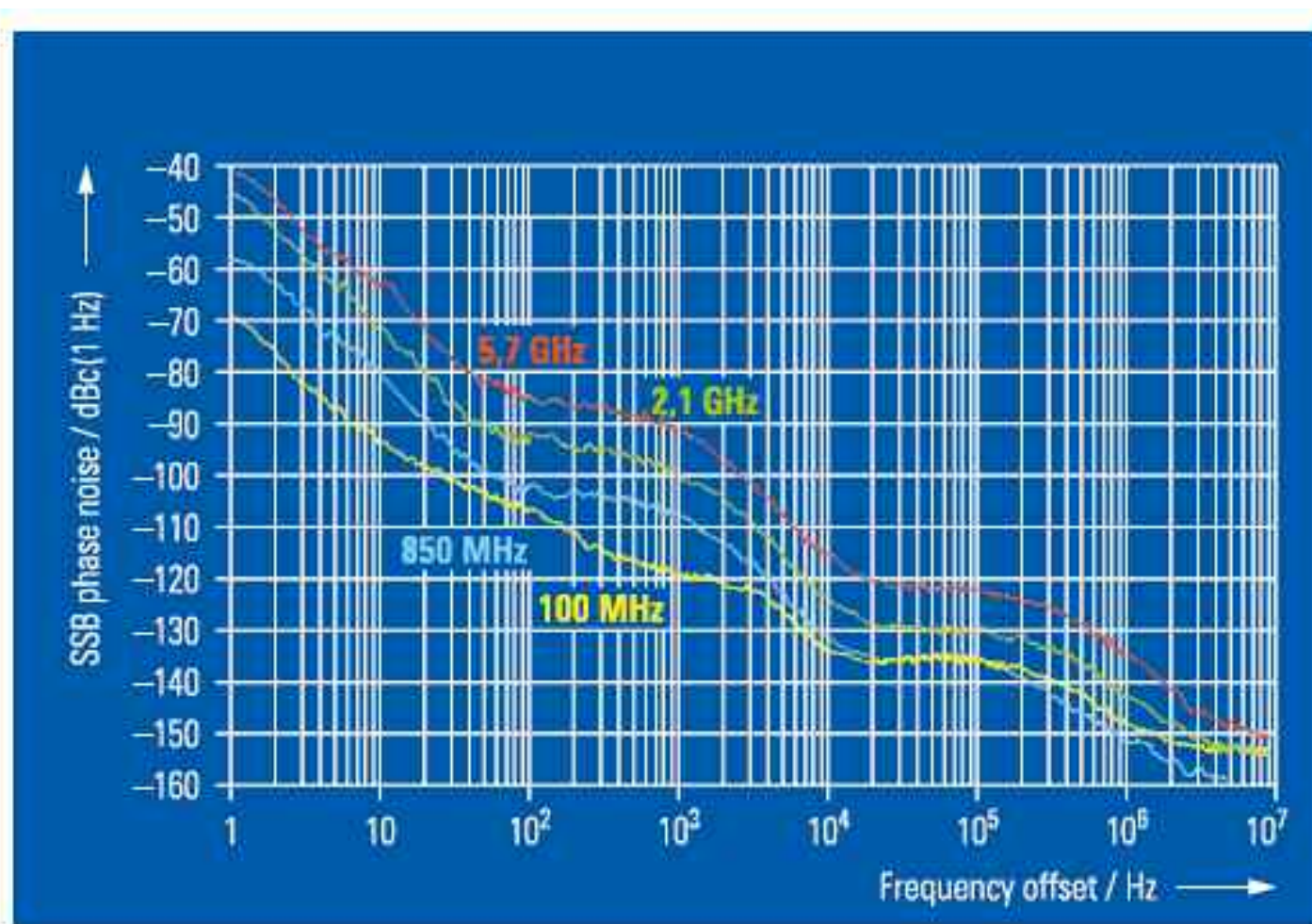
SSB phase noise with R&S® SMU-B22 option	carrier offset 20 kHz, measurement bandwidth 1 Hz, CW	
	$20\text{ MHz} \leq f \leq 200\text{ MHz}$	$<-135\text{ dBc (typ. }-138\text{ dBc)}$
	$f = 1\text{ GHz}$	$<-136\text{ dBc (typ. }-139\text{ dBc)}$
	$f = 2\text{ GHz}$	$<-130\text{ dBc (typ. }-133\text{ dBc)}$
	$f = 3\text{ GHz}$	$<-126\text{ dBc (typ. }-129\text{ dBc)}$
	$f = 4\text{ GHz}$	$<-124\text{ dBc (typ. }-127\text{ dBc)}$
	$f = 6\text{ GHz}$	$<-120\text{ dBc (typ. }-123\text{ dBc)}$



3.1.3 频谱纯度参数—相位噪声示意图



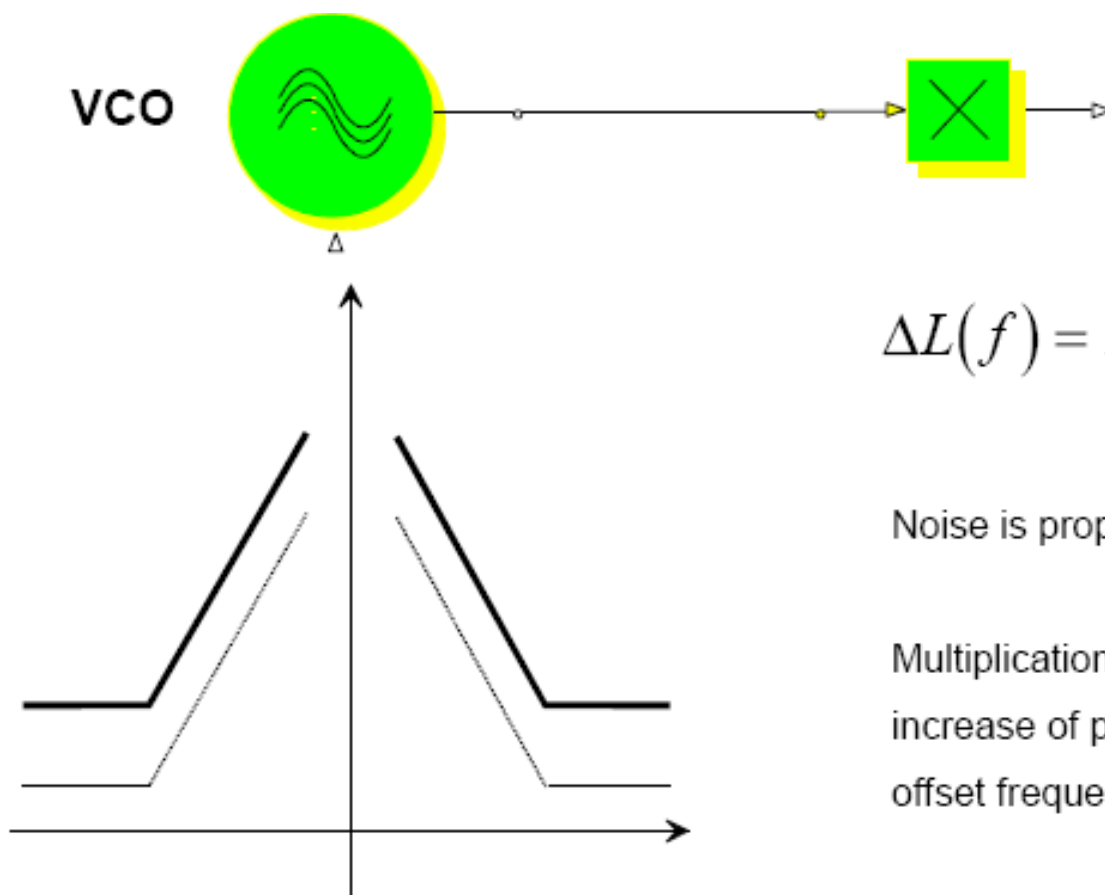
3.1.3 频谱纯度参数—相位噪声实际测量值



采用内部振荡器时100 MHz、850 MHz、2.1 GHz、5.7 GHz的典型SSB相噪



3.1.3 频谱纯度参数—倍频对相位噪声的影响

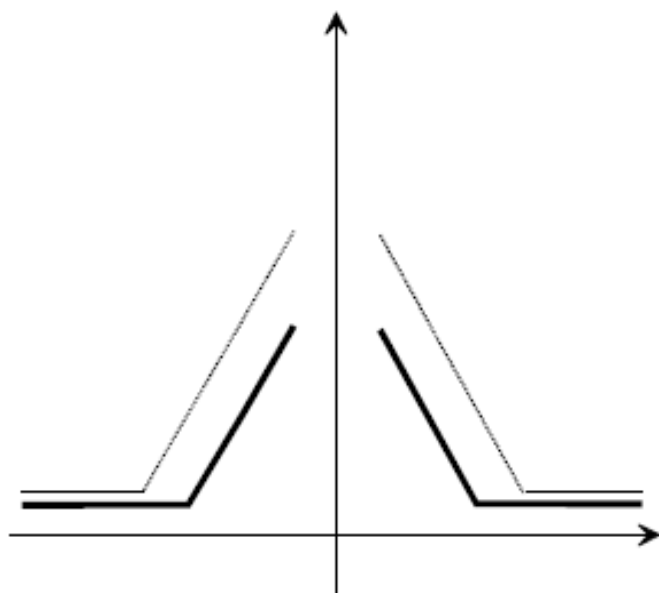
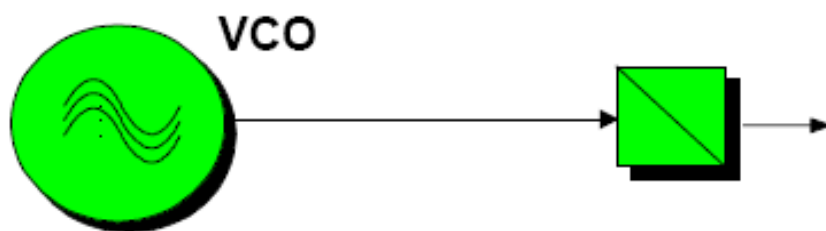


$$\Delta L(f) = 20 * \log \frac{f_{out}}{f_{in}}$$

Noise is proportional to frequency

Multiplication by 10 gives a 20 dB increase of phase noise at same offset frequency

3.1.3 频谱纯度参数—分频对相位噪声的影响



$$\Delta L(f) = 20 * \log \frac{f_{out}}{f_{in}}$$

Noise is proportional to frequency

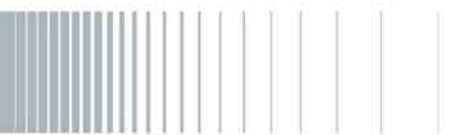
Division by 10 gives a 20 dB
decrease of phase noise at same
offset frequency

Limitation by thermal noise floor



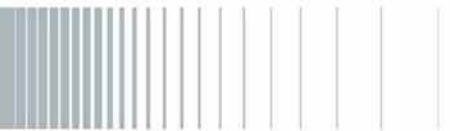
3.1.4 速度参数

- 频率设置时间(与锁相环的捕捉、入锁时间有关)
- 电平设置时间(与ALC电路, 衰减器的形式、反应速度有关)
- 总线传输时间(用以传输数据和控制信号)



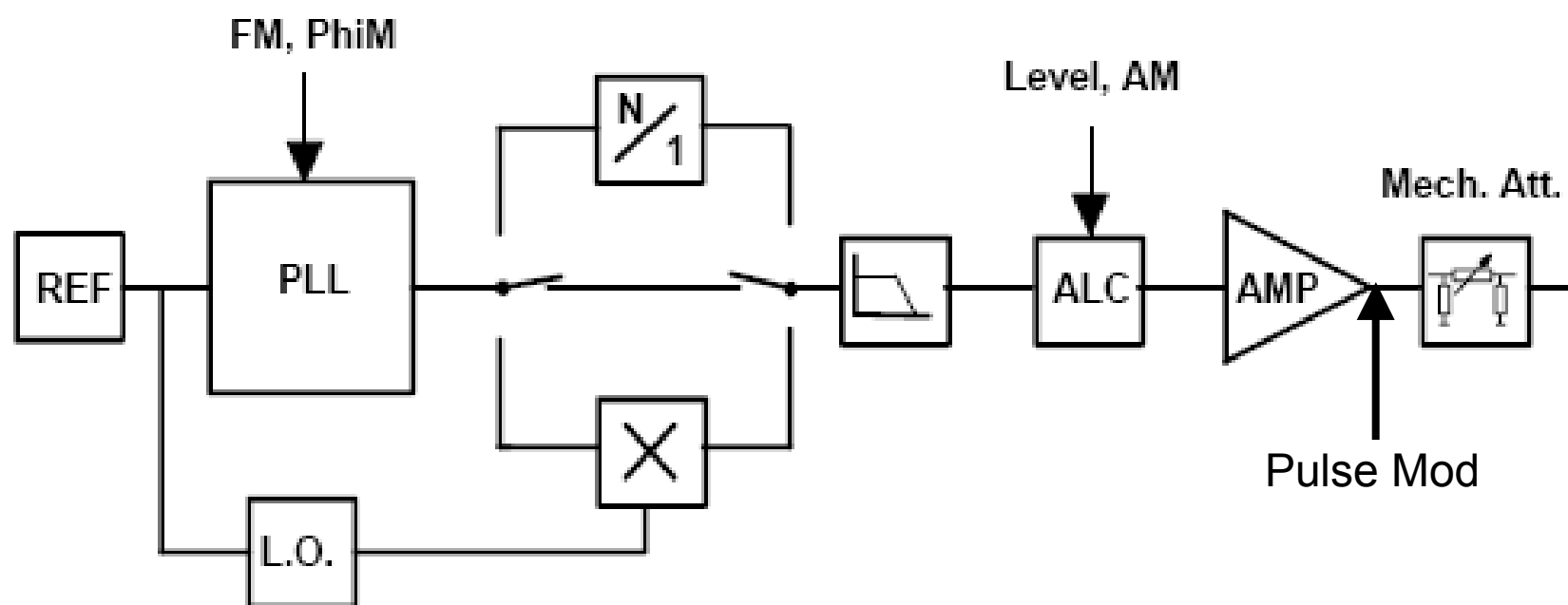
3.1.5 模拟调制

- 幅度调制 AM
- 频率和相位调制 FM, PhM
- 脉冲调制 PulseM
- 频移键控 FSK (虽然FSK是一种数字调制, 但是在很多情况下, FSK是通过信号源的模拟电路来实现, 所以也算是一种模拟调制)

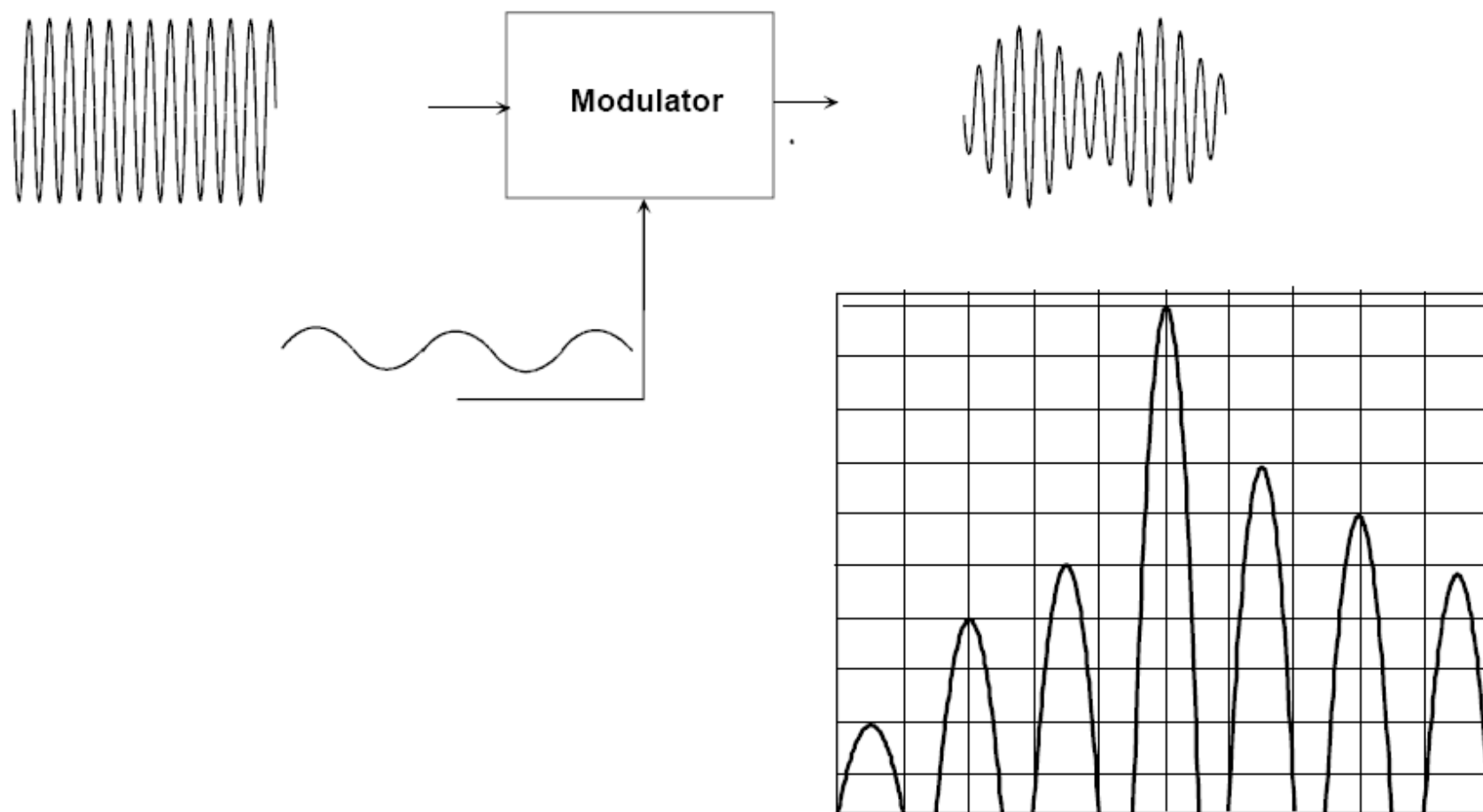


3.1.5 模拟调制

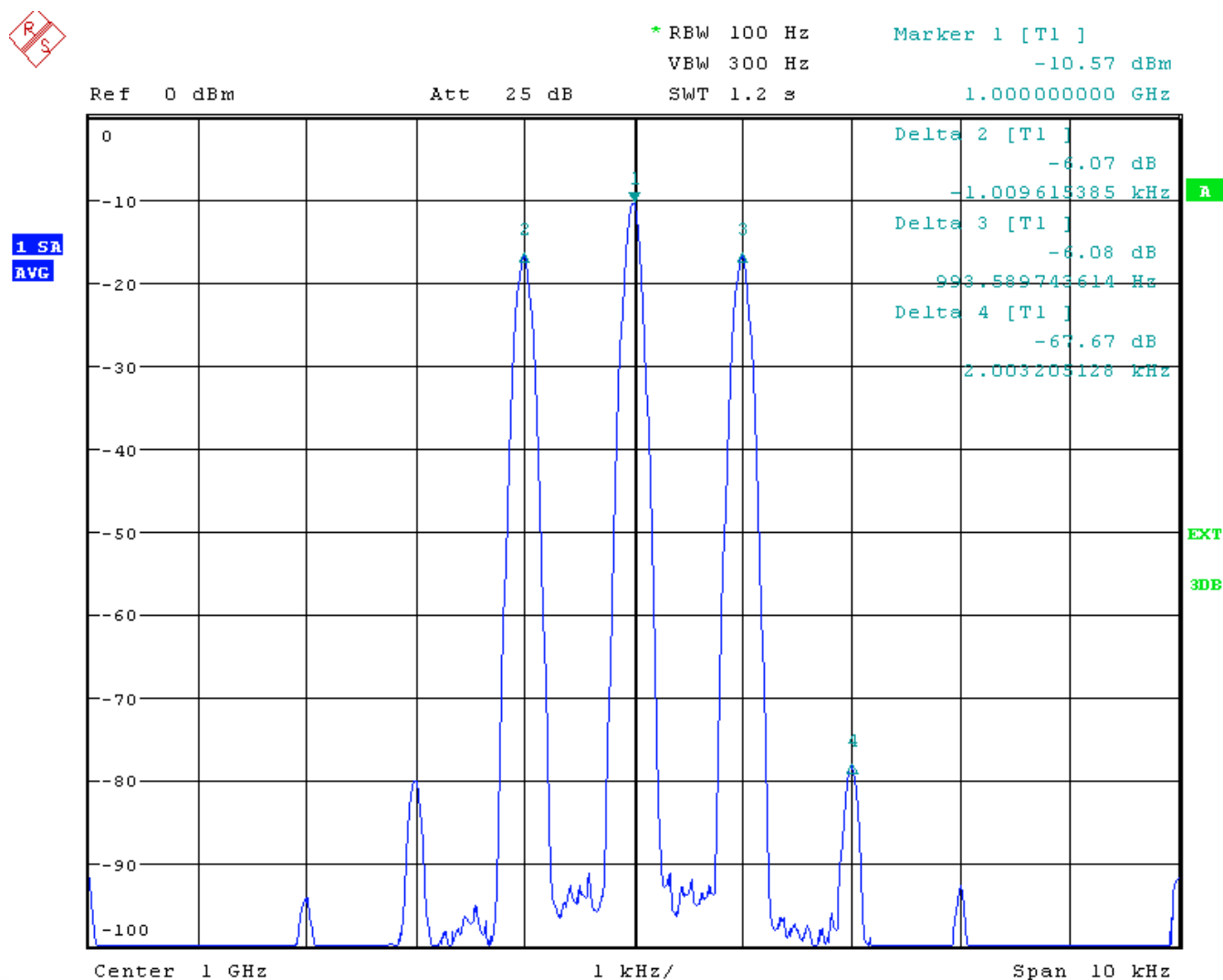
模拟调制实现的方法



3.1.5 模拟调制—调幅信号的时域及频域



3.1.5 模拟调制—调幅信号频域测量值



3.1.6 数字调制

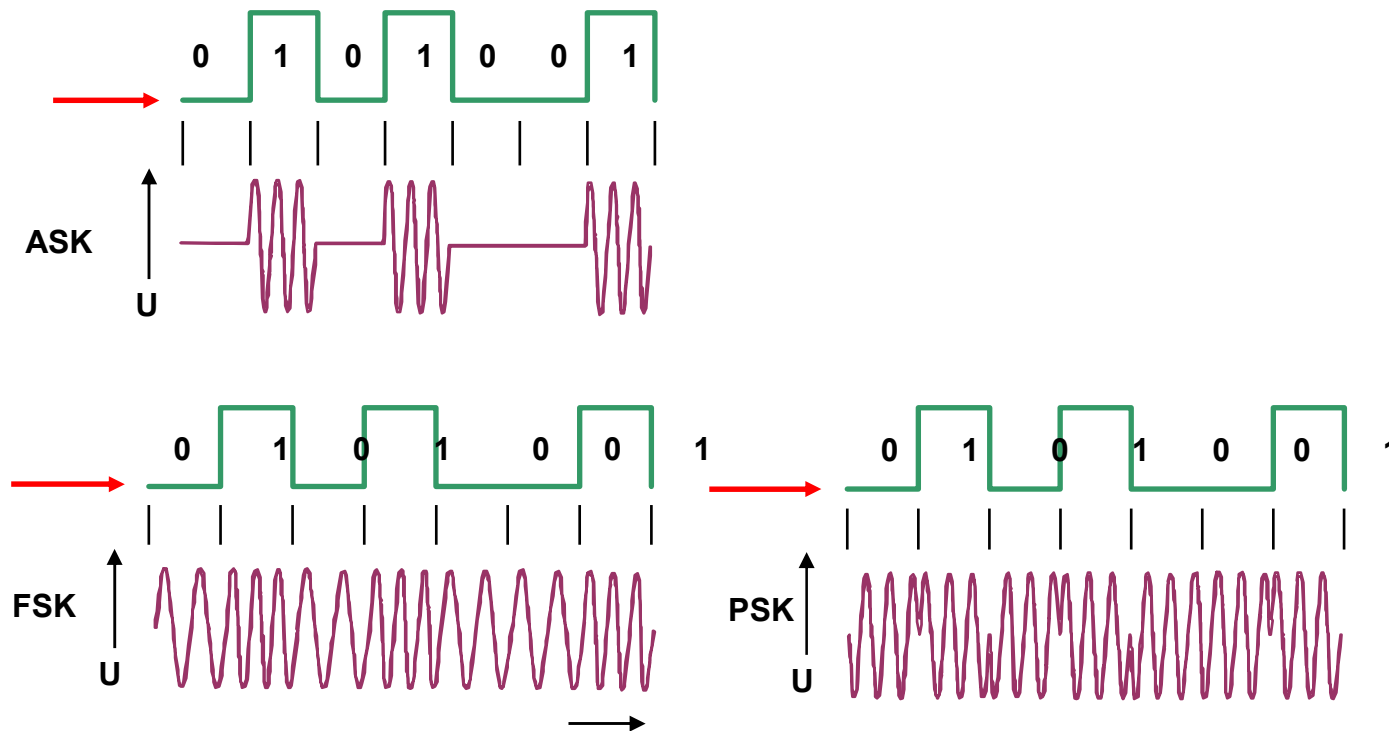
数字调制技术分类

- ASK
- FSK: BFSK..
- PSK: BPSK, QPSK..
- QAM: 16QAM~1024QAM..



3.1.6 数字调制

基本的数字调制实现原理



3.1.6 数字调制—脉冲调制信号生成

利用 0 和 1
的排列来定
义占空比, 定
义符号速率,
调制类型
ASK, 调制深
度100%, 选
用矩形滤波
器

Custom Digital Modulation A

State: Off

Set to Default Save/Recall...

Data Source

Data Source: Pattern

Pattern: 1000 0000...

Select Control List... None

List Management...

Set acc to standard: User

Save/Recall User...

Symbol Rate: 1.000 000 000 Msym/s

Coding: OFF

Modulation

Modulation Type: ASK

ASK Depth: 100.0 %

More...

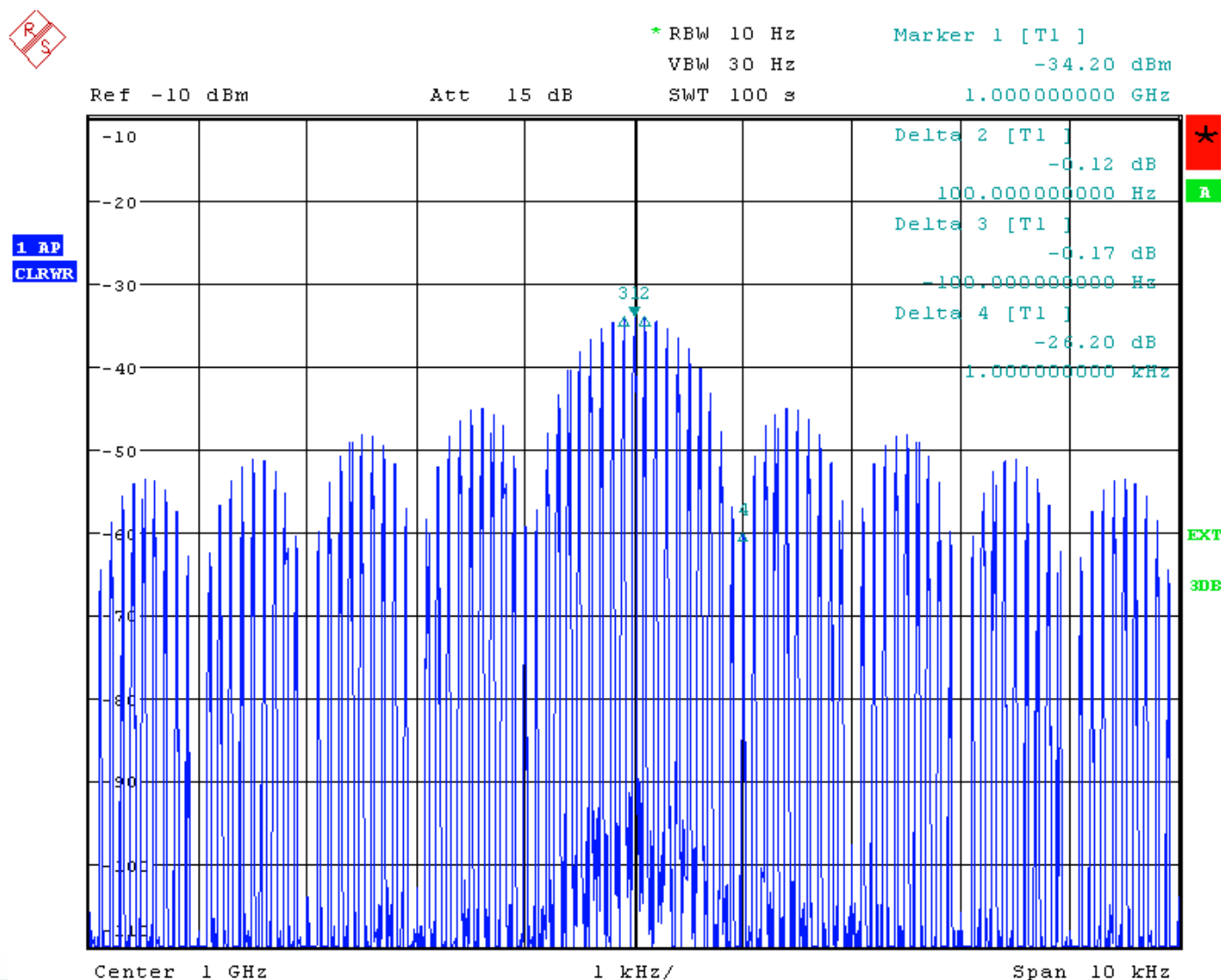
Filter

Filter: Rectangular

Oversampling: ☒ Auto 32

More...

3.1.6 数字调制—脉冲调制信号频域测量值



3.2 信号源技术

3.2.1 锁相环技术(Phase-Lock Loop)

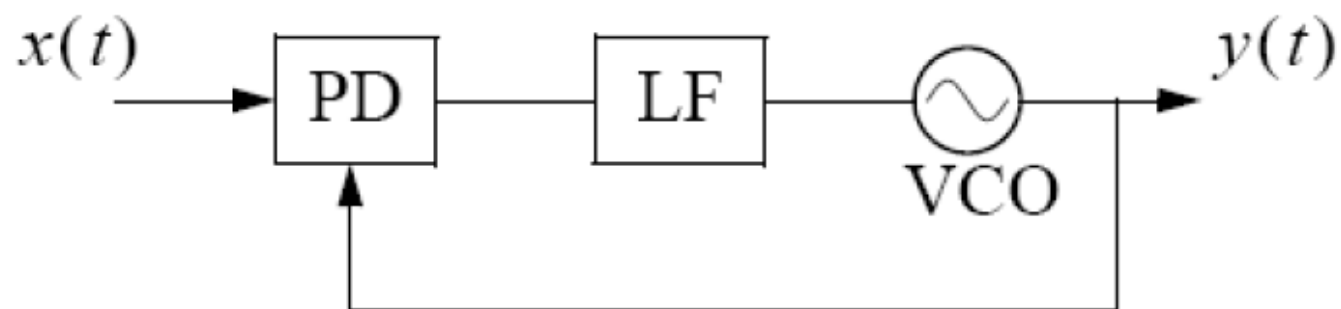
3.2.2 直接模拟合成技术(Direct Analog Synthesis)

3.2.3 直接数字合成技术(Direct Digital Synthesis)

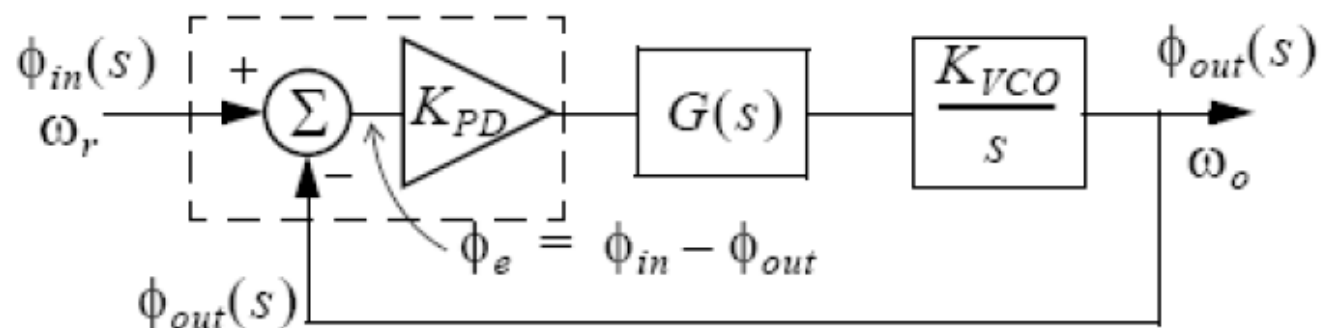
3.2.4 自激振荡源(Self-Oscillation Source)



3.2.1 锁相环技术—模型



锁相环的简单模型

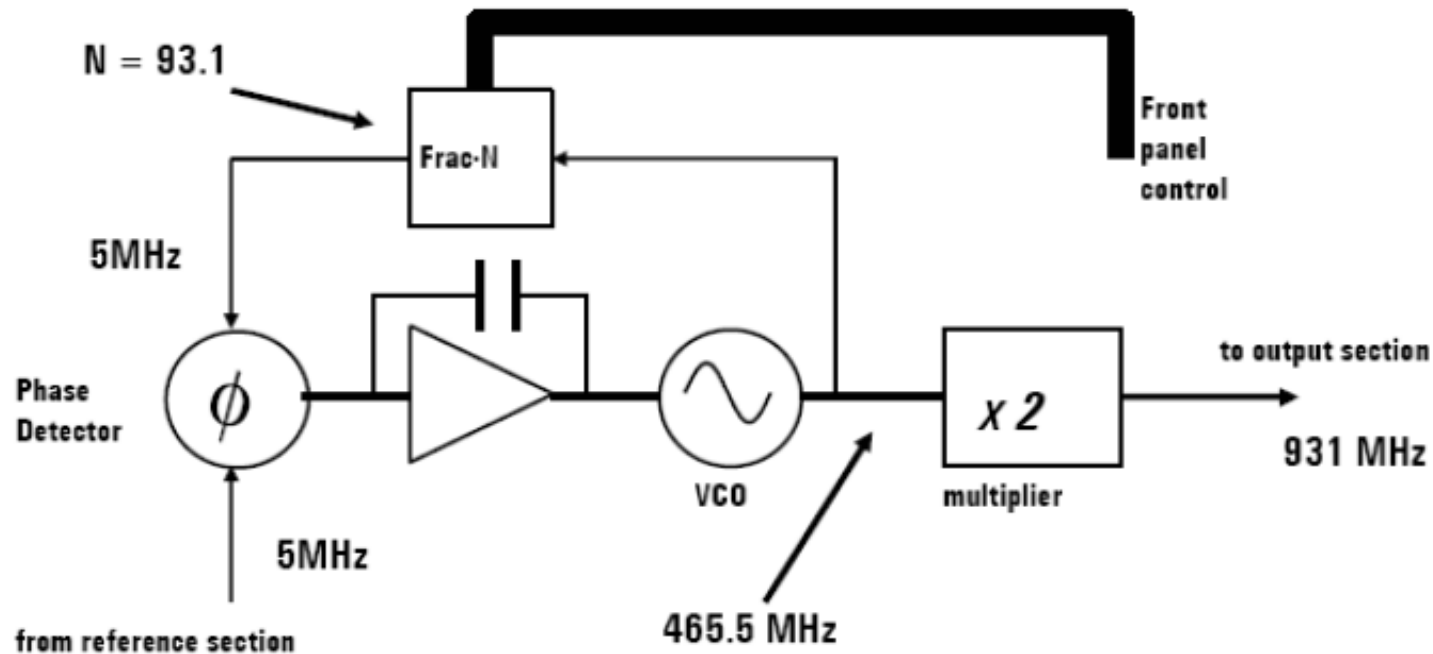


线性化模型

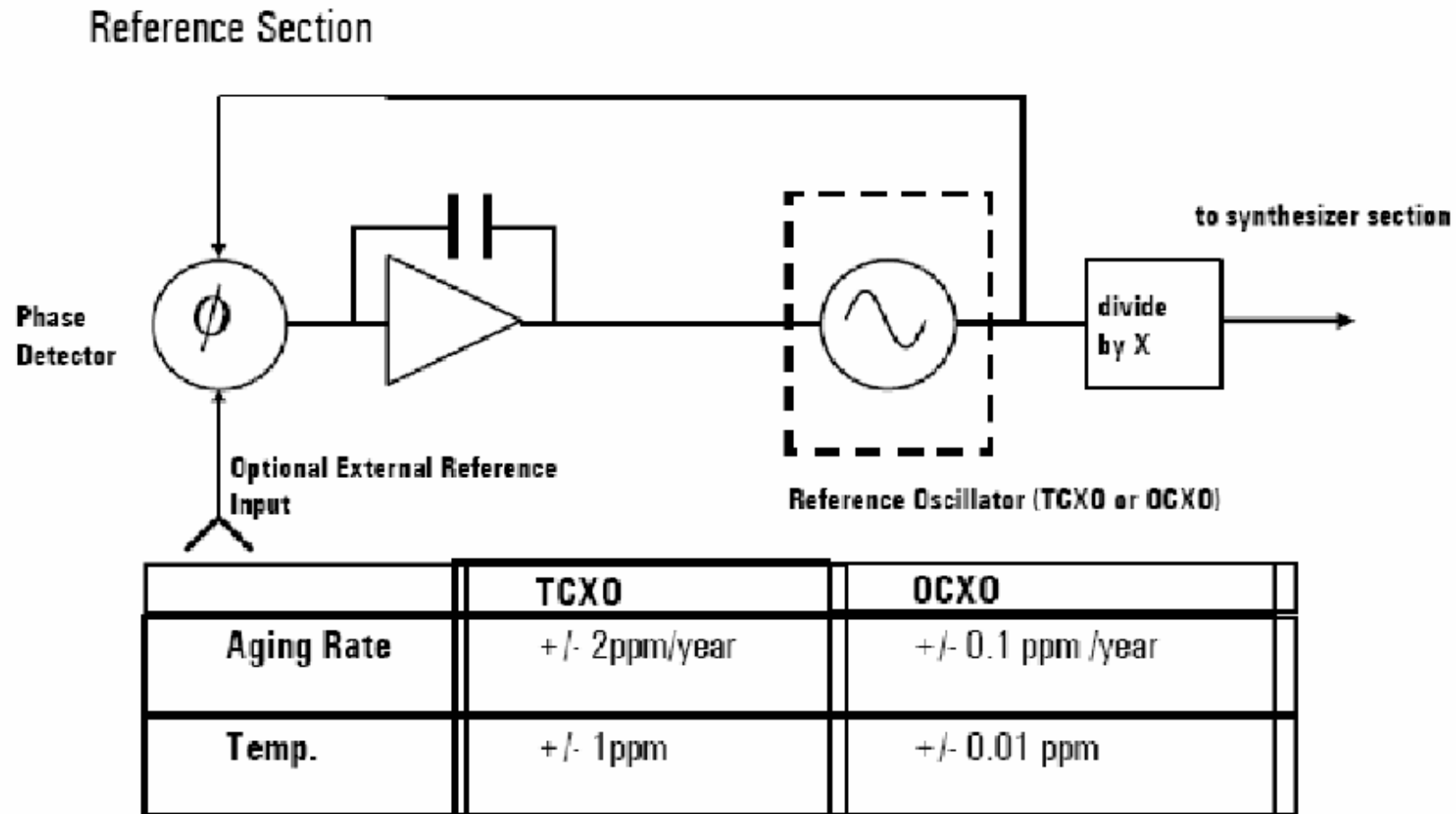
3.2.1 锁相环技术—实例

Synthesizer Section

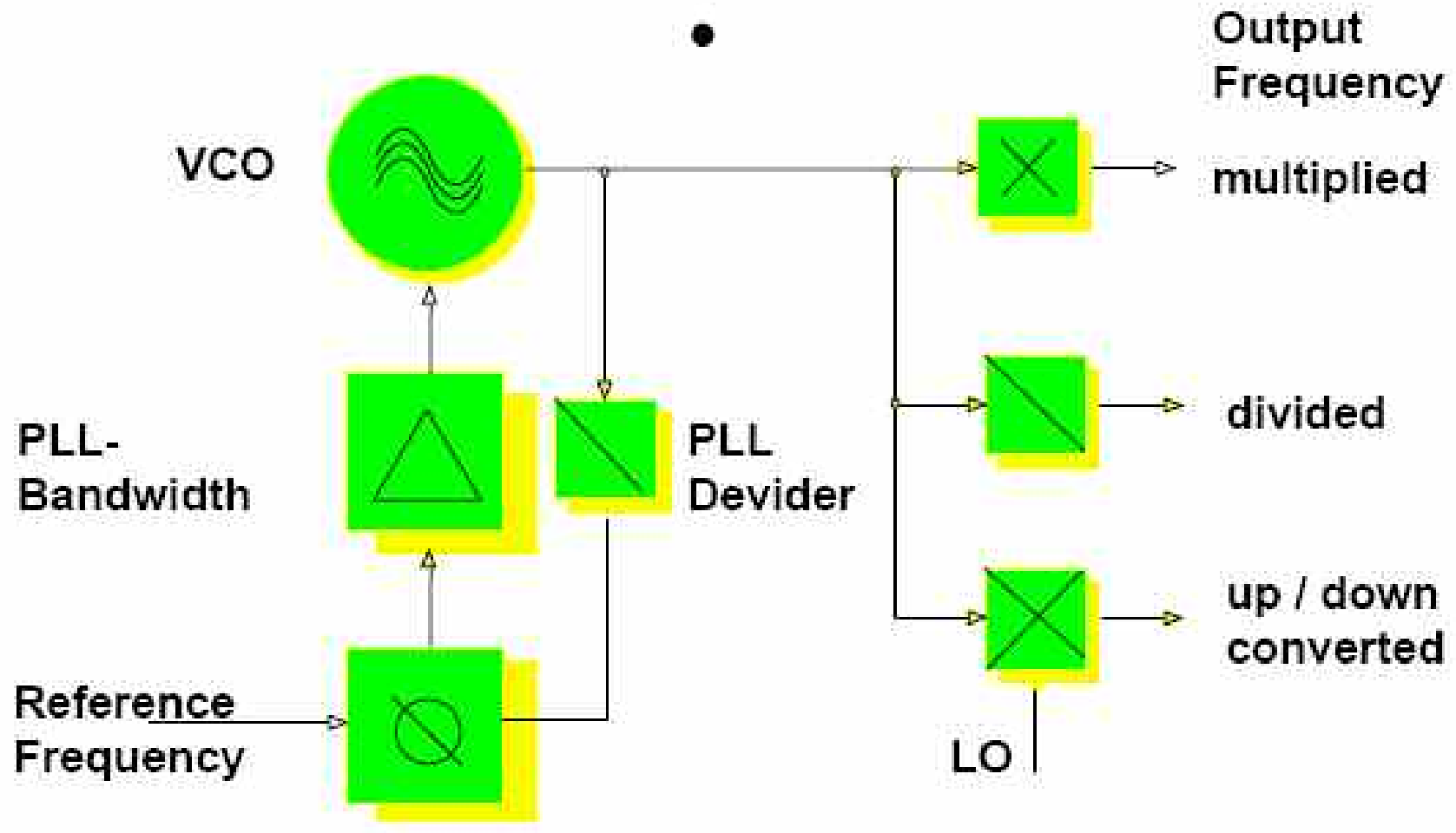
...produces accurate, clean signals



3.2.1 锁相环技术—参考振荡器



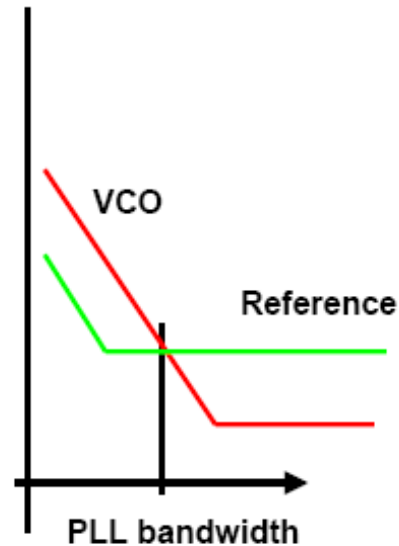
3.2.1 锁相环技术—信号产生结构框图



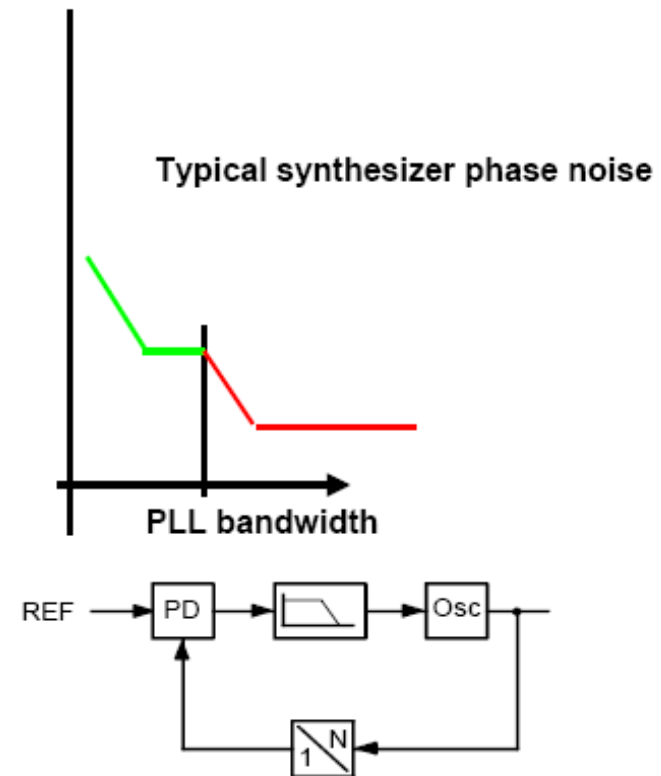
3.2.1 锁相环技术—锁相环对信号相位噪声的影响

锁相带宽内：
参考时钟
是主要因素

锁相带宽外：
振荡器特
性是主要因素



Phase Noise is controlled by reference phase noise within PLL bandwidth and follows VCO noise outside PLL bandwidth



3.2.1 锁相环技术—锁相环性能分析

❖ 优点:

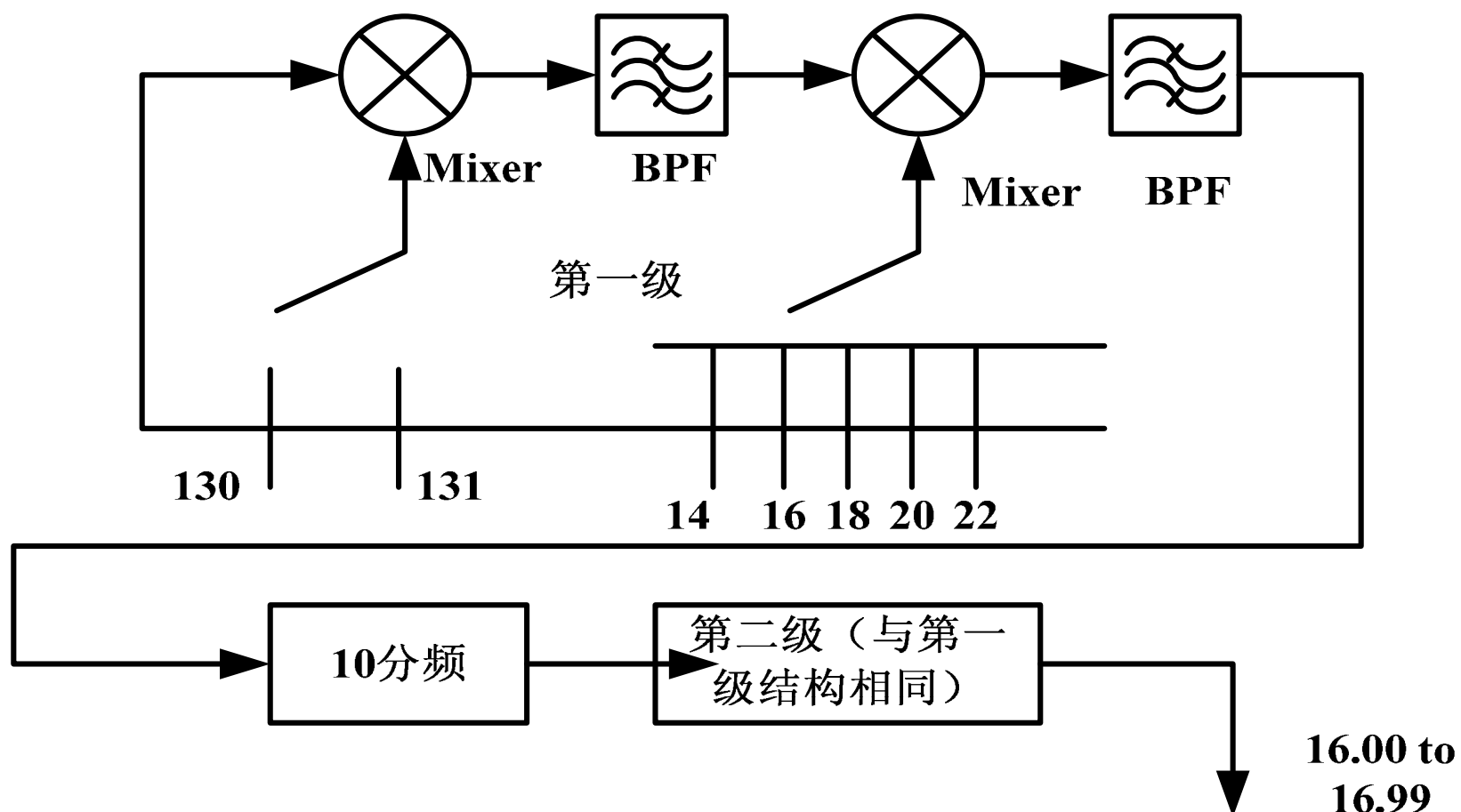
- 带宽大;
- 结构相对简单;
- 转换速度较快;
- 方便实现模拟调制.

❖ 缺点:

- 频率分辨率低;
- 高稳的参考晶振体积较大;
- 数字调制能力有限.



3.2.2 直接模拟合成技术—DAS基本框图



3.2.2 直接模拟合成技术— DAS 性能分析

❖ 优点:

- 带宽大
- 转换速度快
- 杂散小

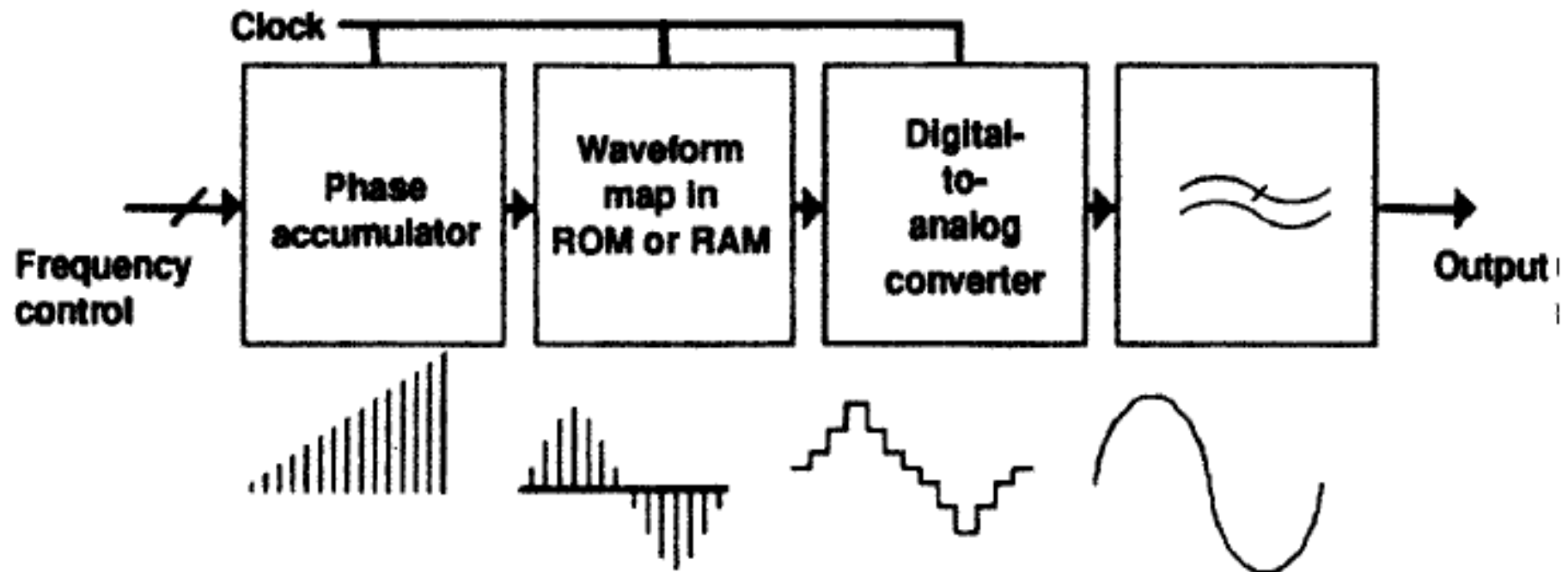
❖ 缺点:

- 体积大, 需要较高的硬件和成本
- 调制能力有限



3.2.3 直接数字合成技术—DDS基本框图

图



3.2.3 直接数字合成技术— DDS性能分析

❖ 优点:

- 结构紧凑, 分辨率高达 μHz
- 转换速度快, 相位连续
- 方便实现数字调制

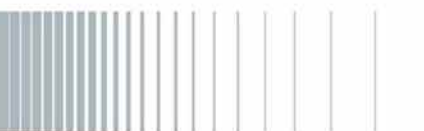
❖ 缺点:

- 带宽有限
- 杂散严重

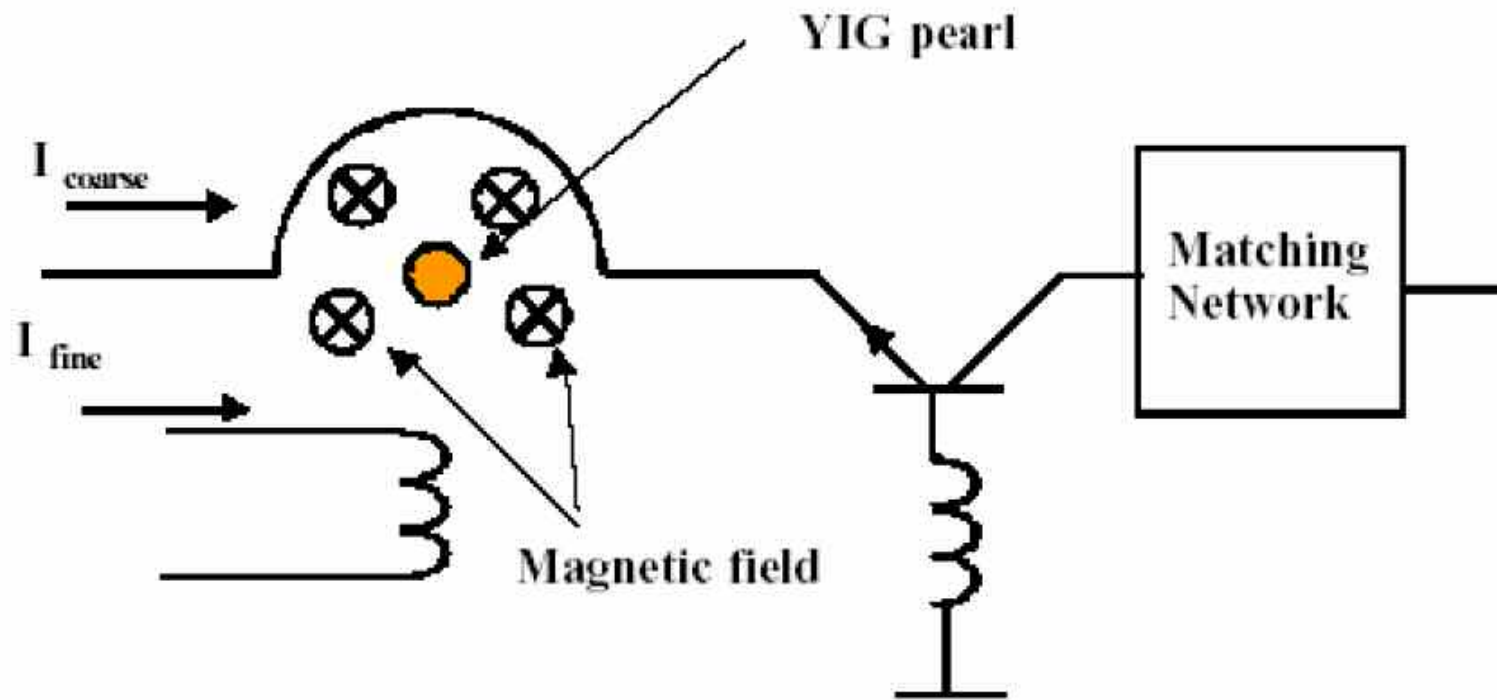


3.2.4 自激振荡源—类型

项目	晶体振荡器	腔体振荡器	介质振荡器	压控振荡器	YIG 振荡器
频率范围	1GHZ 以下	几百 MHZ 以上	几百 MHZ 以上	全频段	1GHZ 以上
调谐带宽	窄	较窄	窄	较宽	宽
近端相噪	好	一般	较好	差	较好



3.2.4 自激振荡源—YIG振荡器



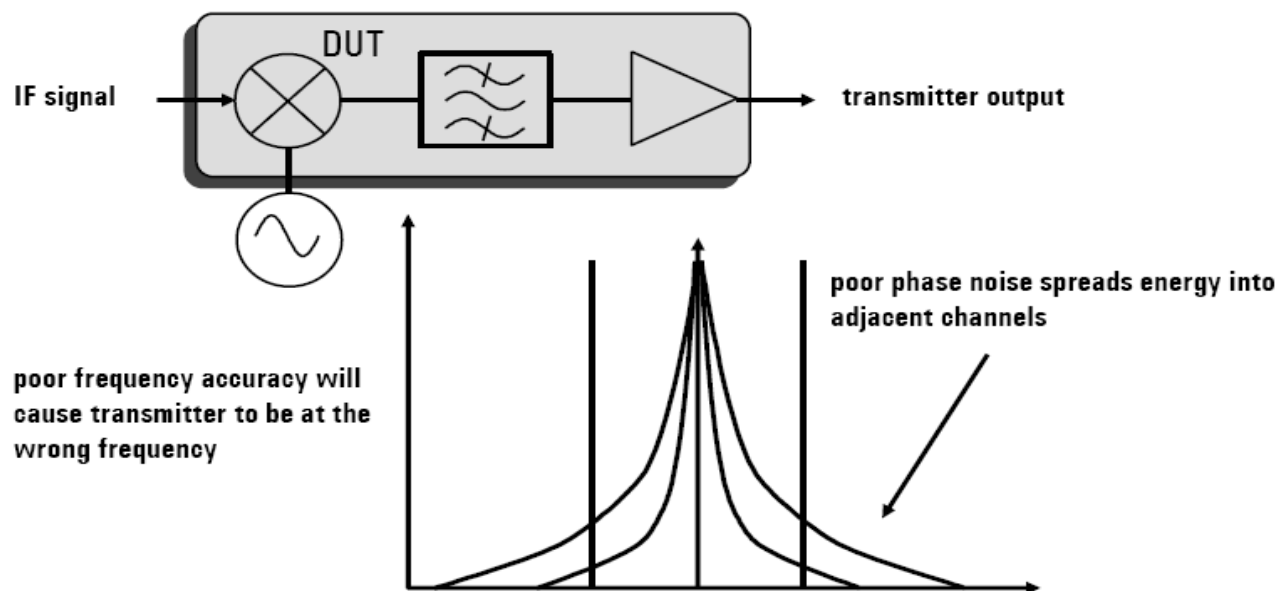
3.3 信号源的主要应用

- 本振
- 放大器的失真测试
- 接收机测试
- 频响测试



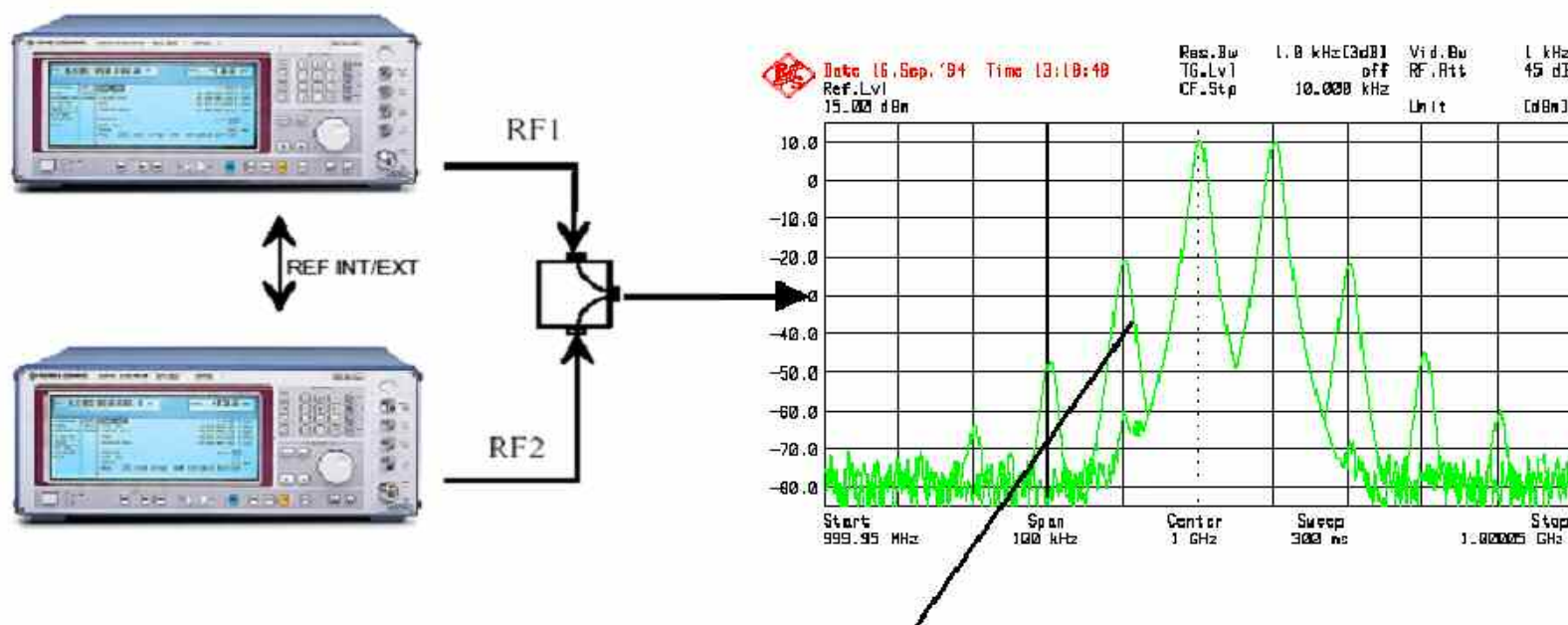
本振

- 本振
- 相位噪声
- 频率准确度



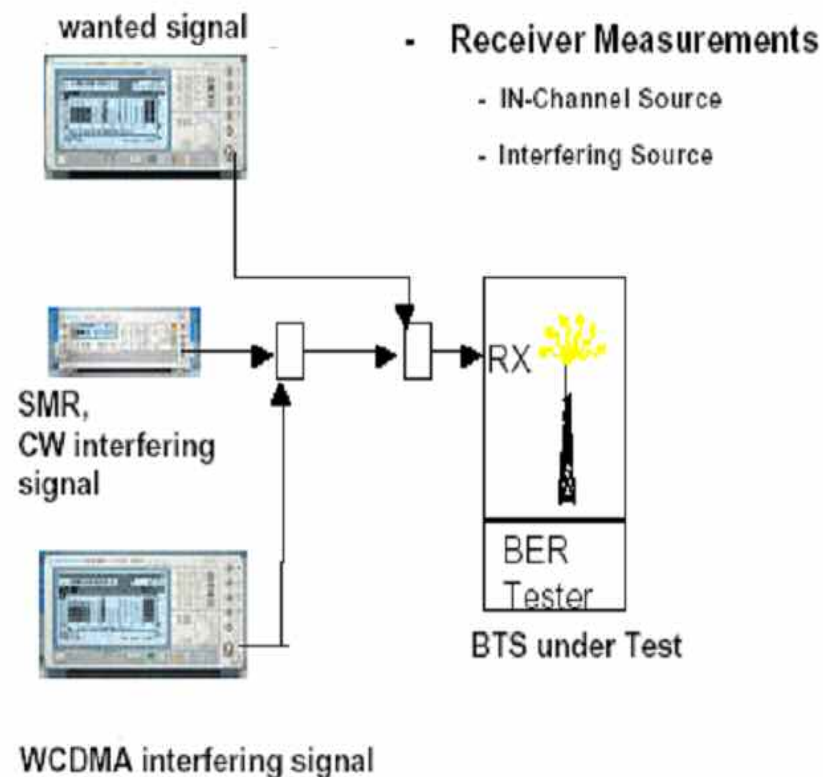
放大器失真测试

- 放大器失真测试
- 杂散
- 互调



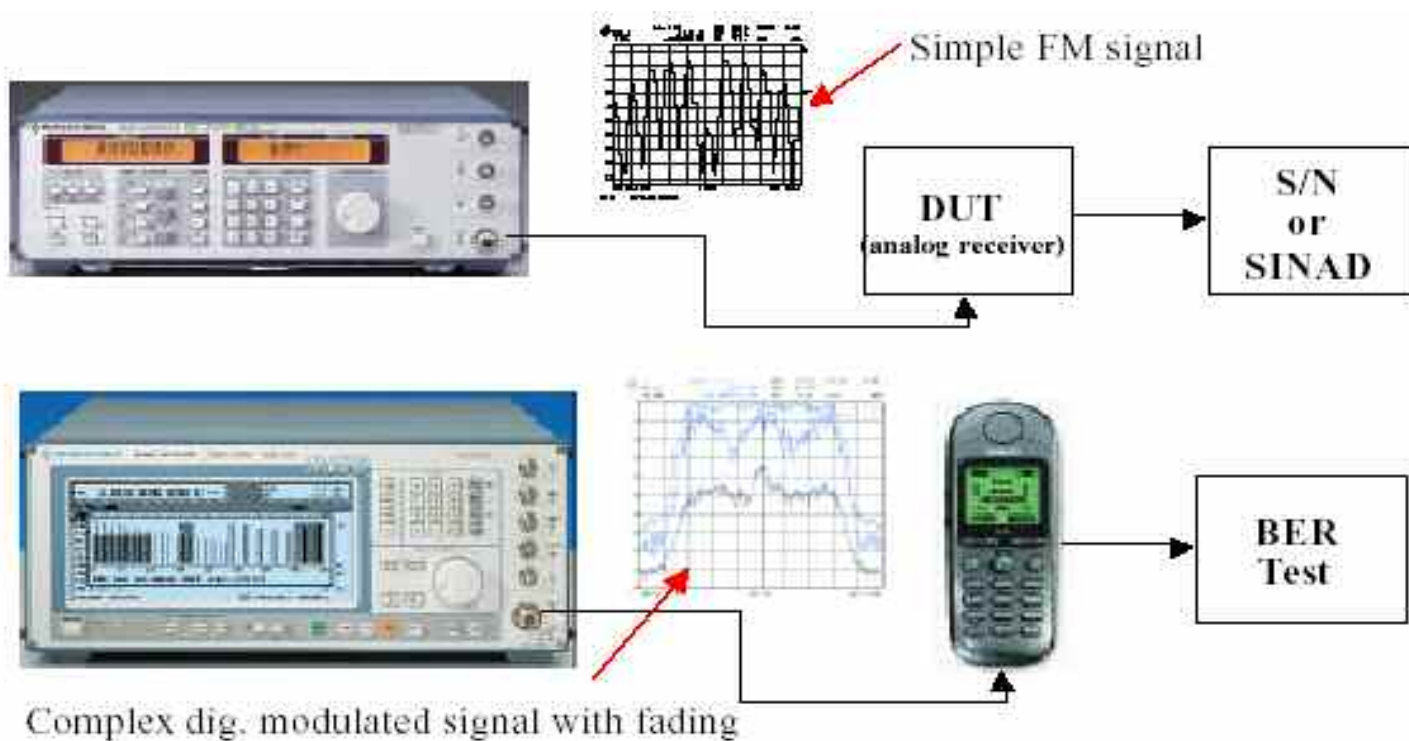
接收机测试

- 接收机灵敏度
- 接收机选择性
- 邻道抑制
- 阻塞特性



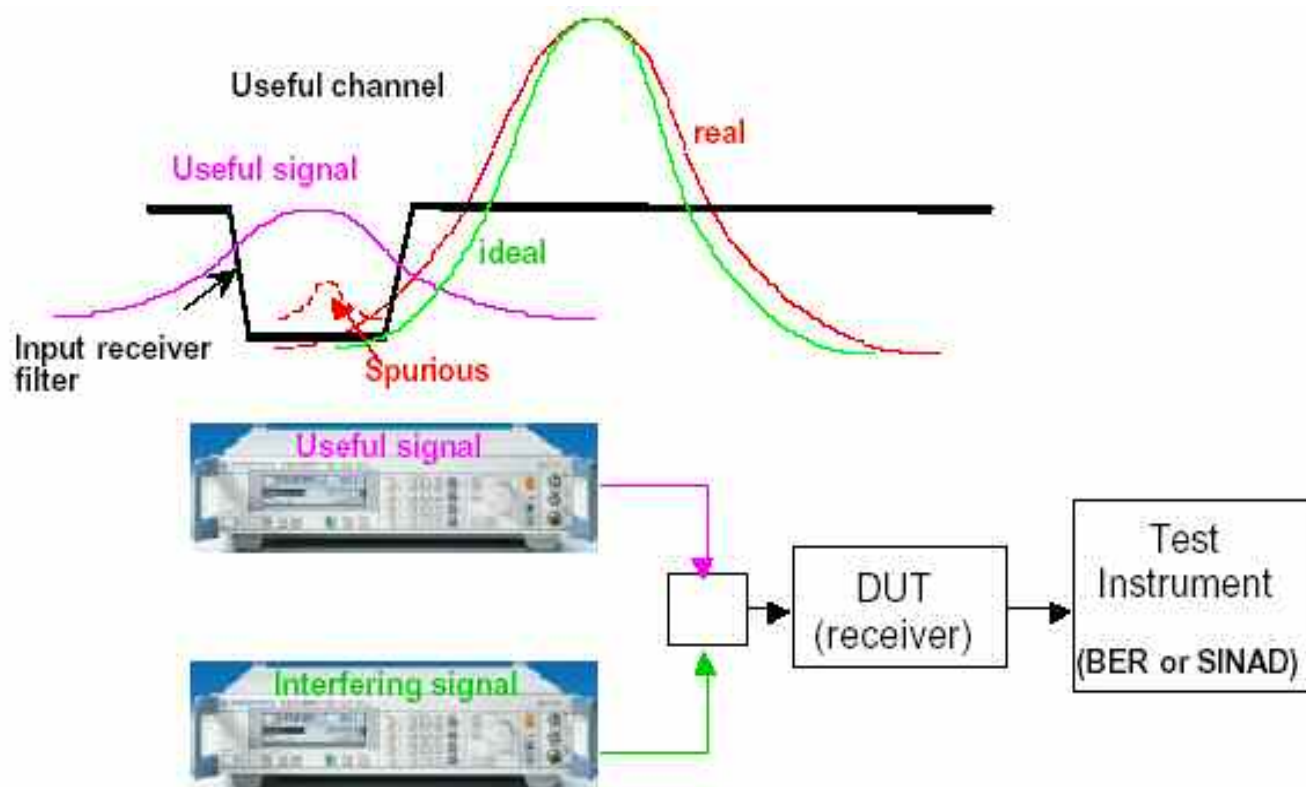
接收机测试

- 频率准确度
- 电平准确度



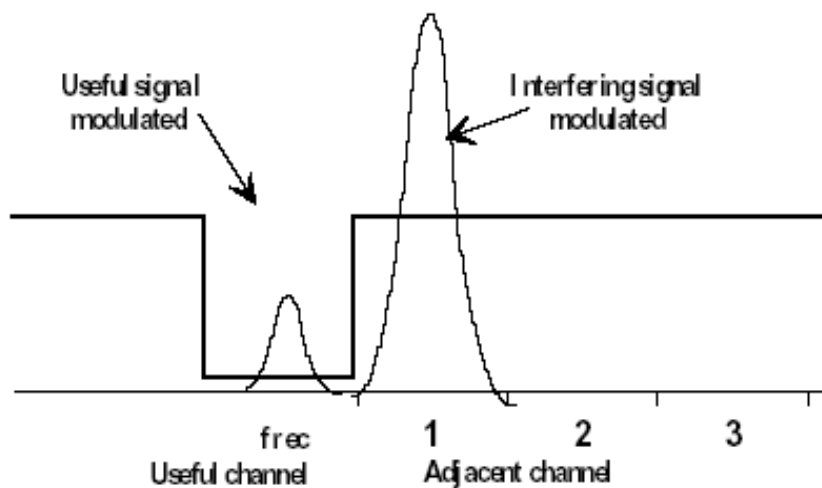
接收机测试

- 接收机选择性
- 相位噪声
- 杂散

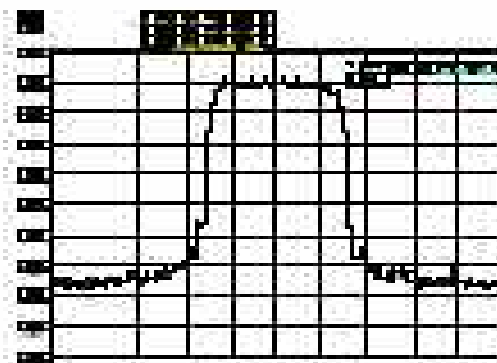


接收机测试

邻道/相间信道干扰

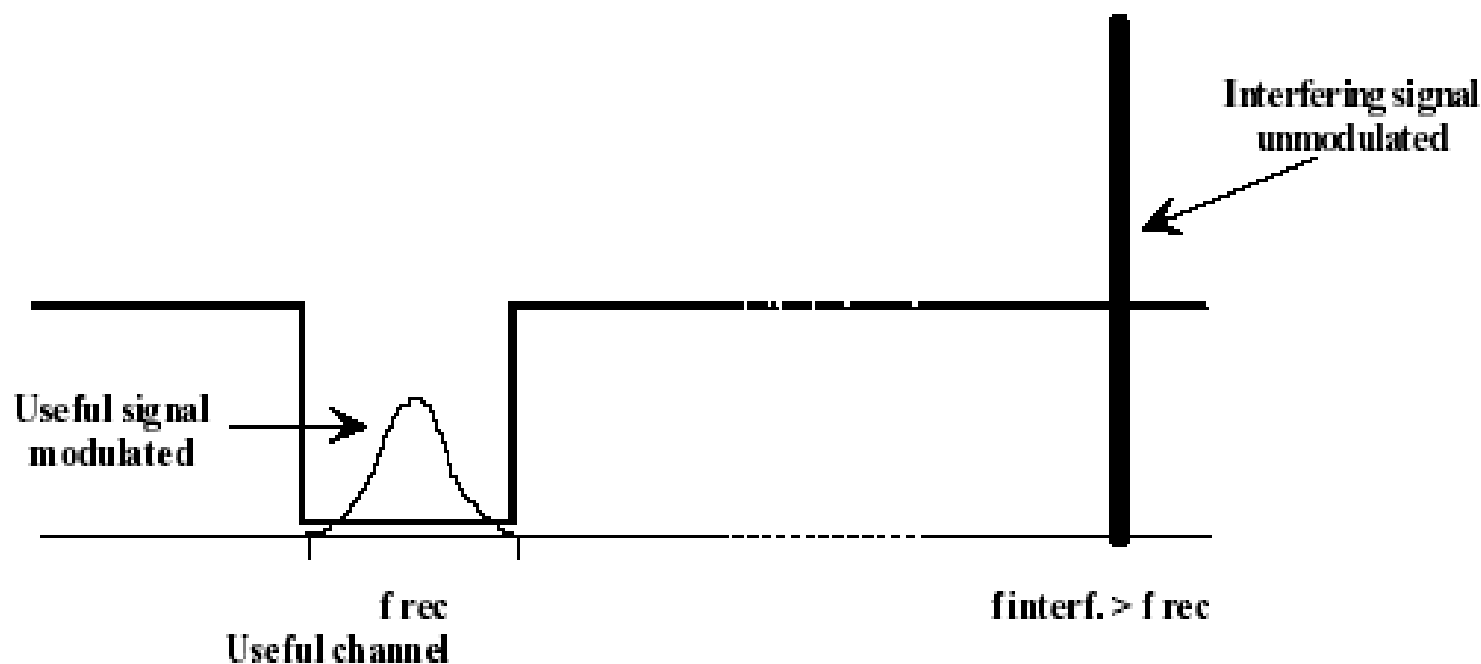


Interferer properties



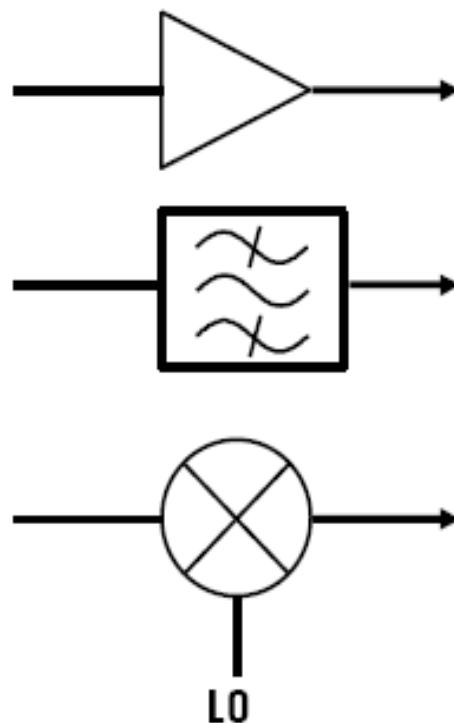
接收机测试

阻塞特性：用来测量接收机在距离工作频率较大偏离处的非调制强干扰信号下的响应



频响测试

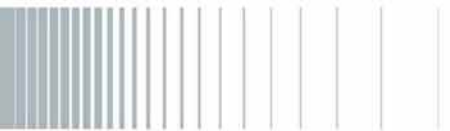
Sweeper Input



- Frequency Accuracy
- Output Power (Level) Accuracy
- Flatness
- Speed



4. R&S频谱分析仪基础



内容提要

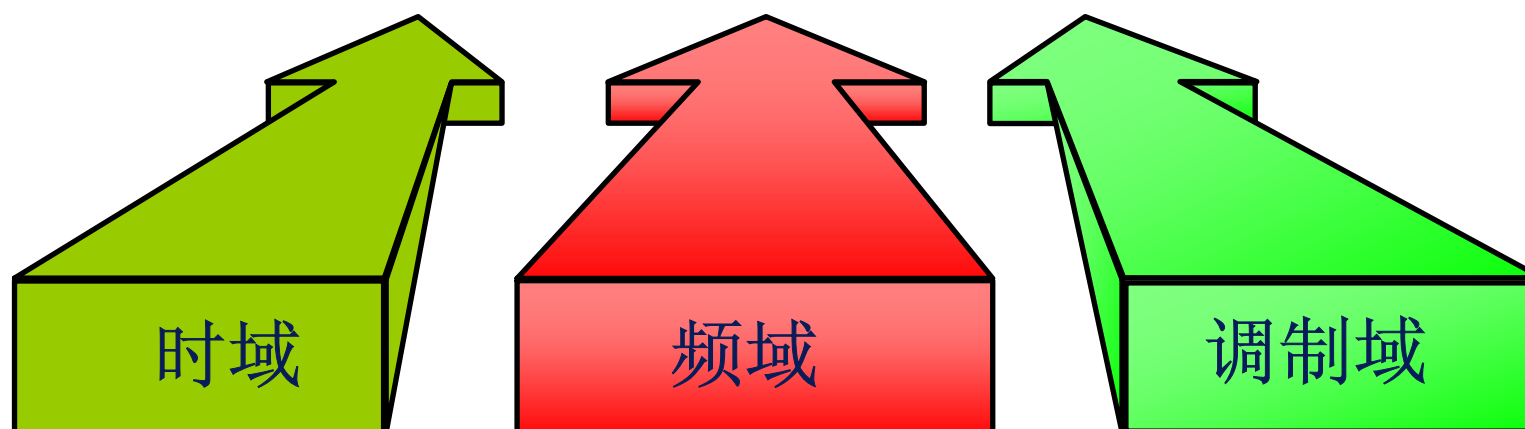
4.1 信号分析基础概念

4.2 频谱仪的工作原理

4.3 频谱仪的性能指标分析



4.1 信号分析基础概念



波形信息

幅度
周期
频率

幅频信息

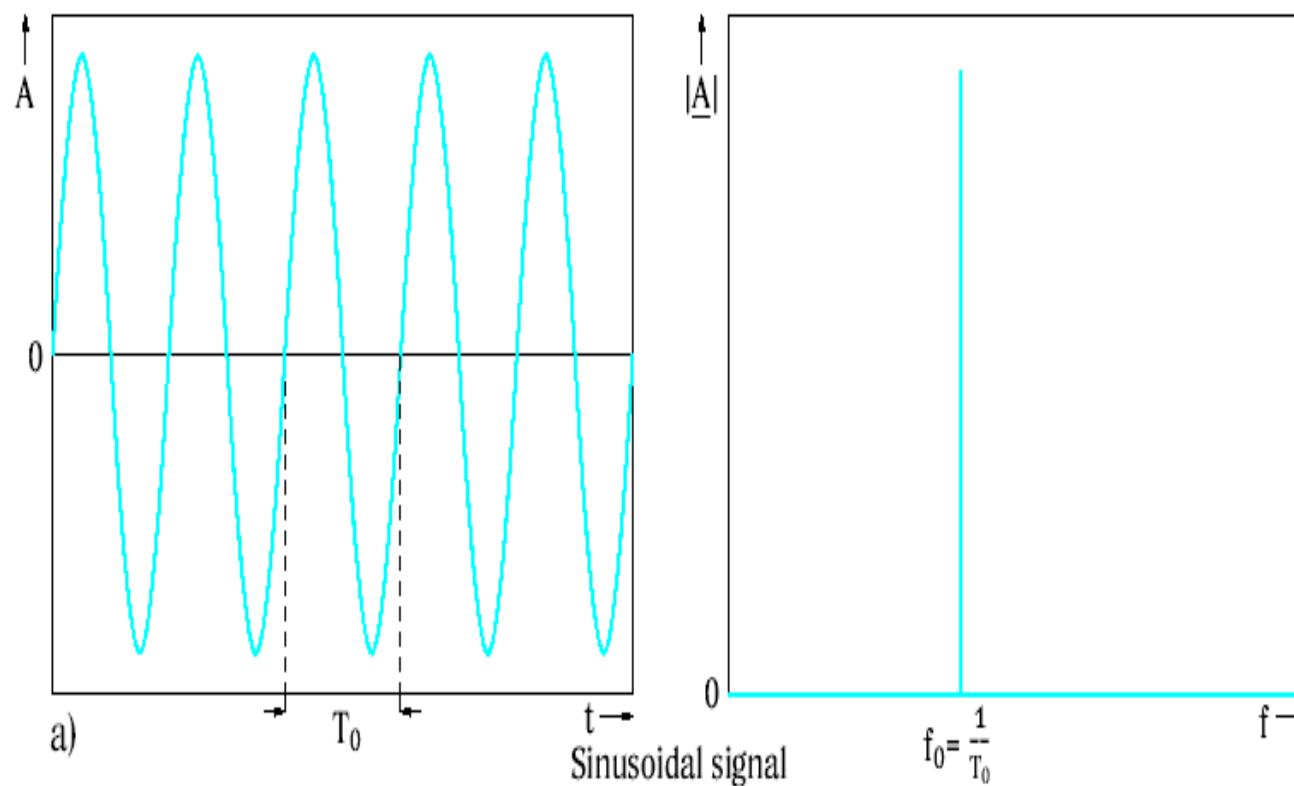
频率、功率
谐波、杂波
噪声、失真

矢量信息

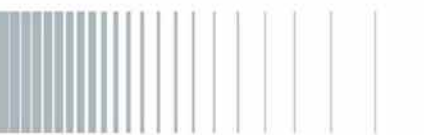
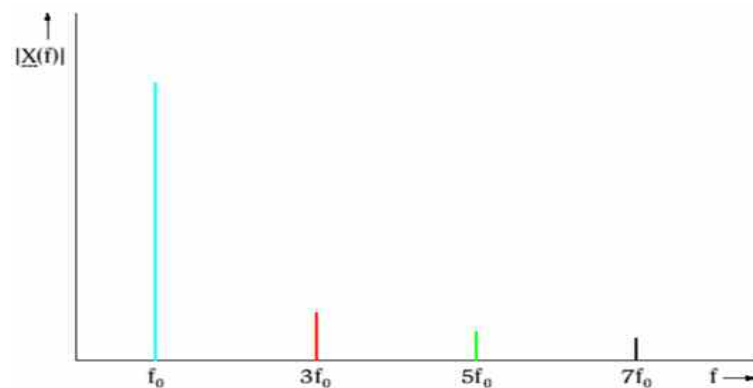
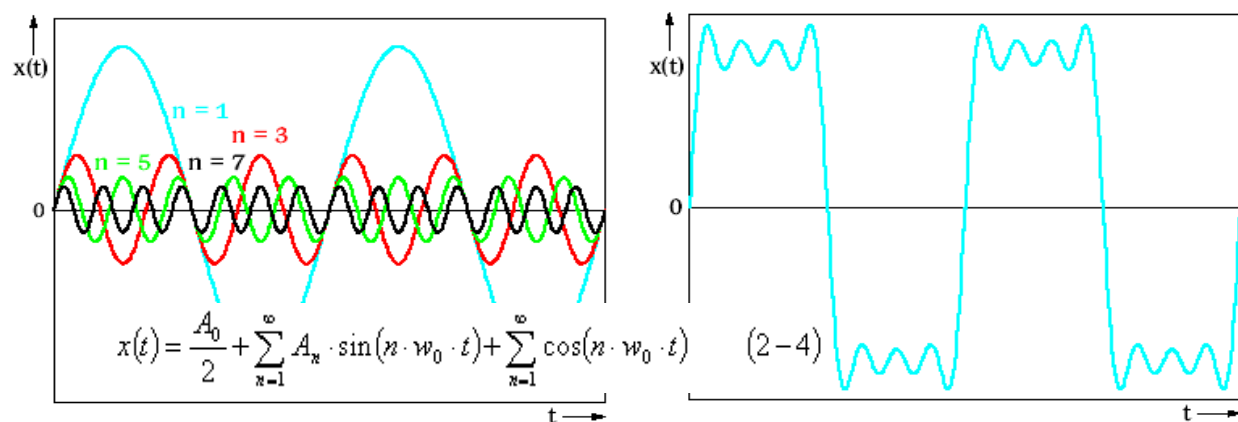
幅度误差
矢量误差
相位误差



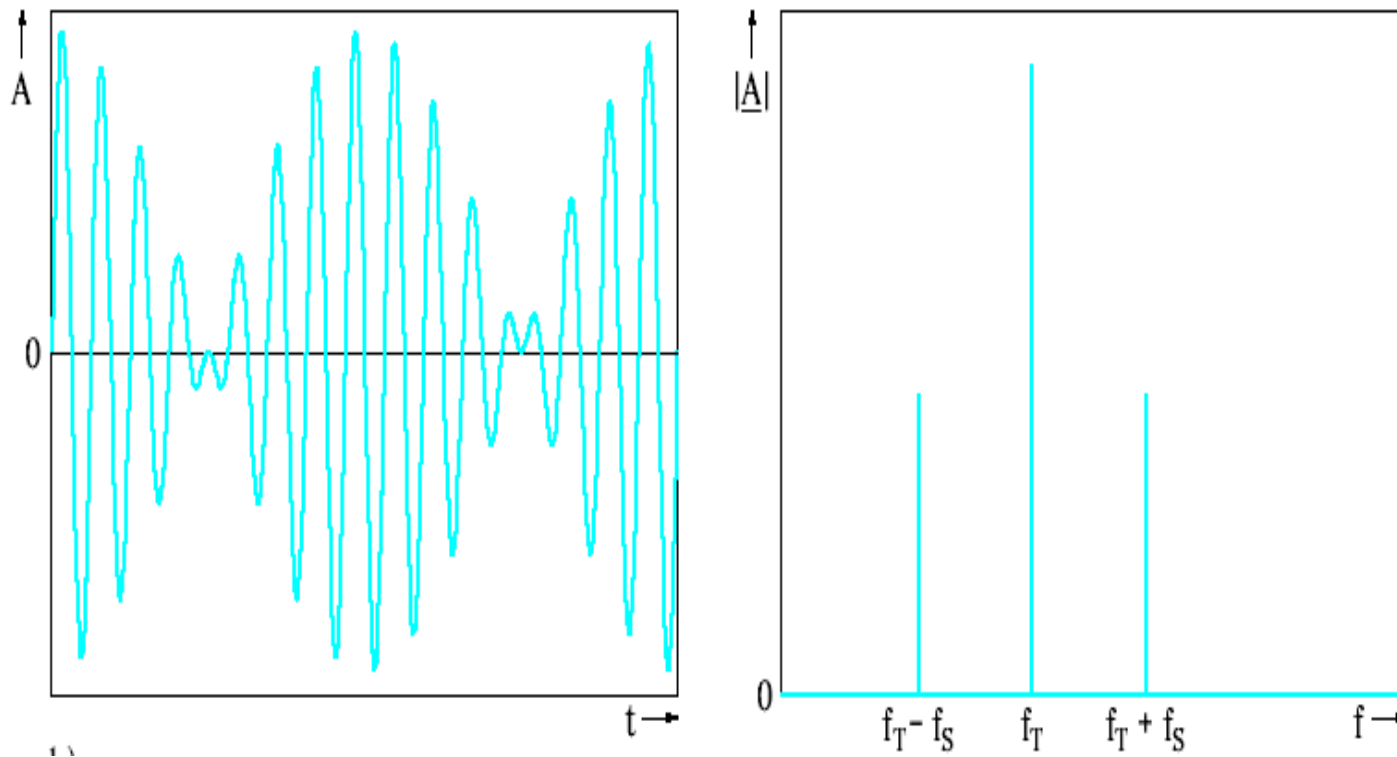
正弦波信号：时域和频域



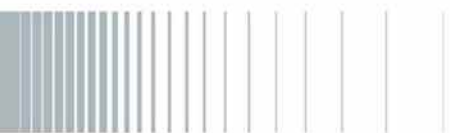
周期信号的频谱



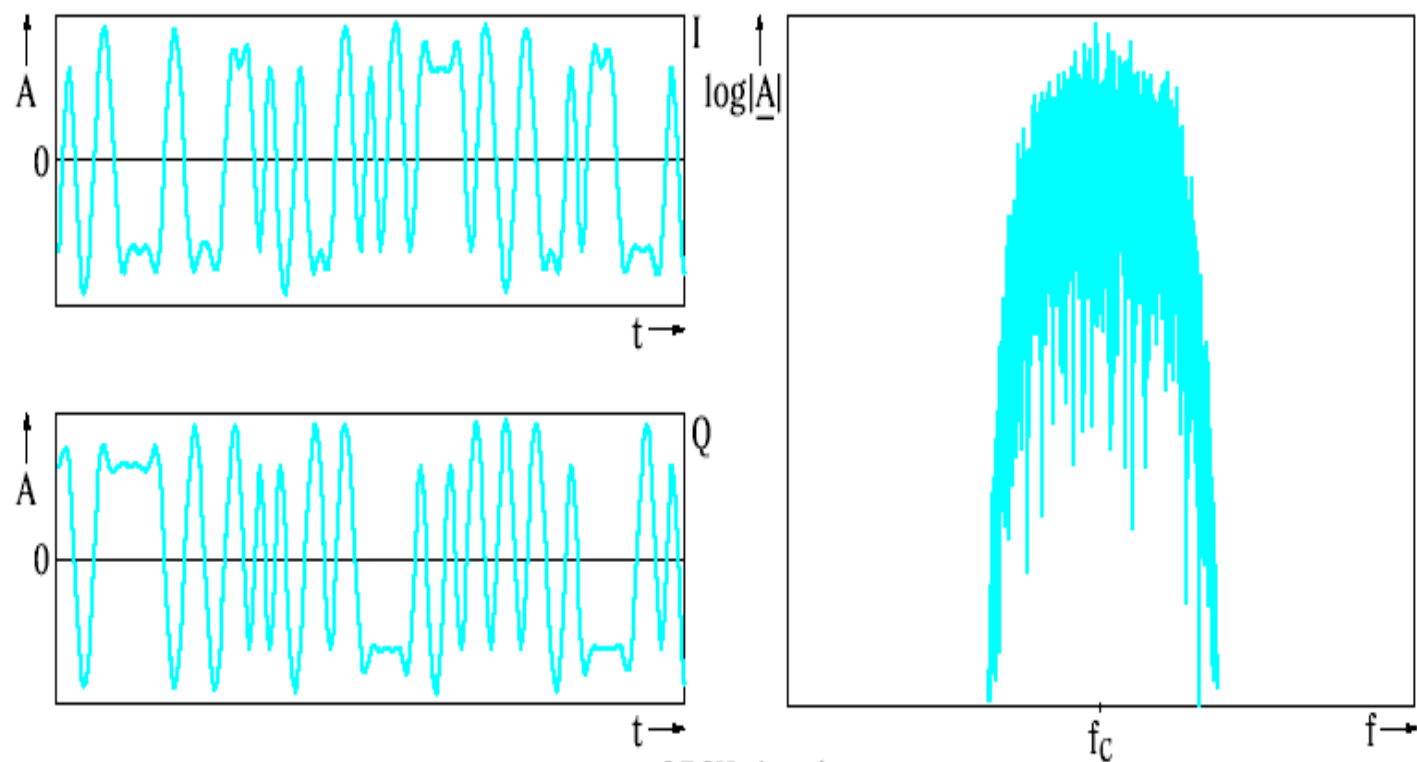
模拟调制信号



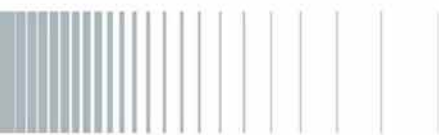
AM信号



数字调制信号

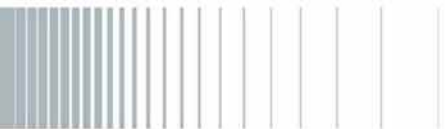


QPSK信号

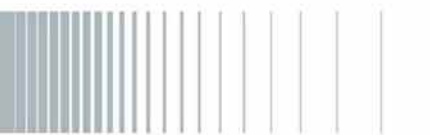
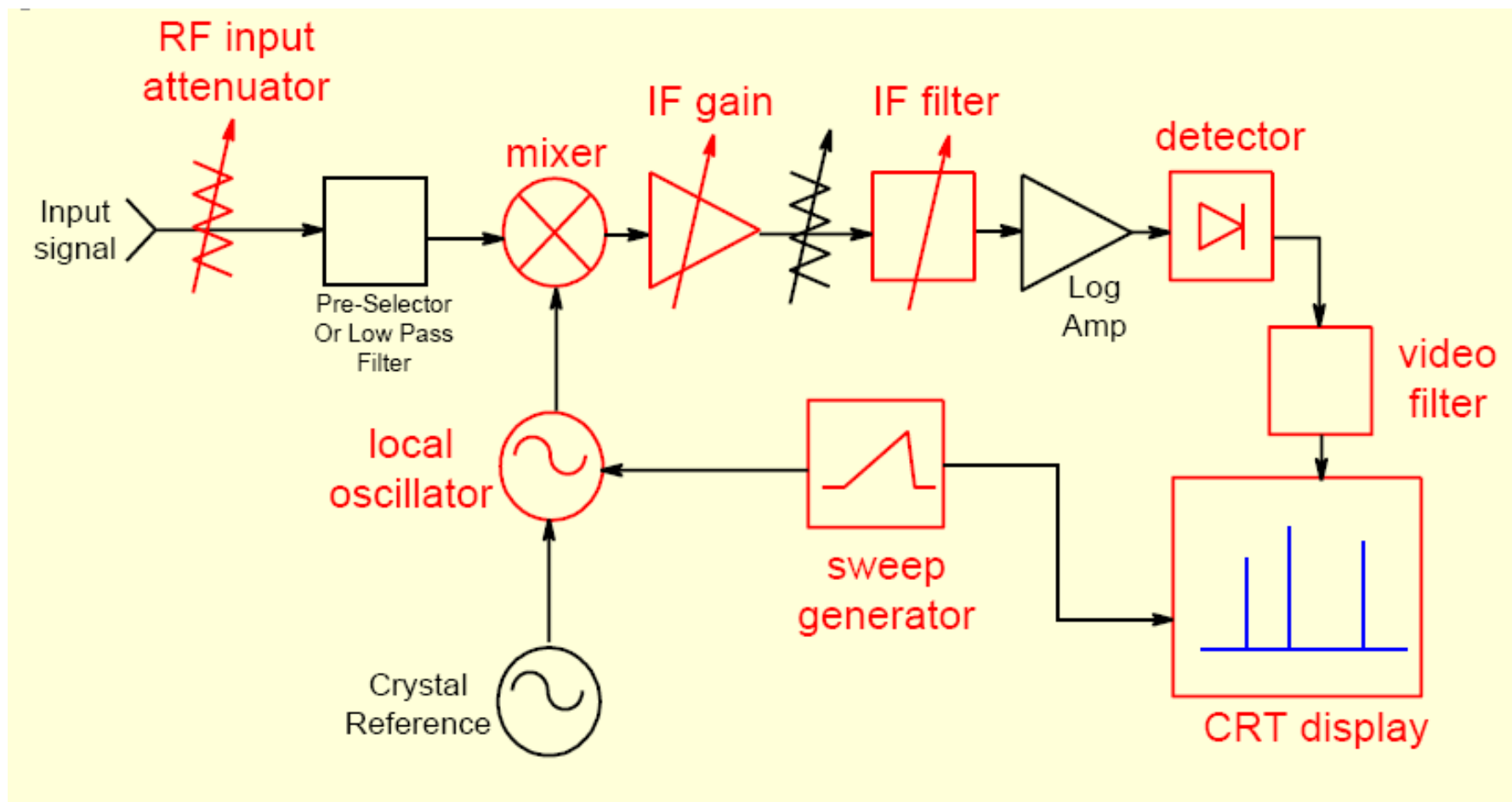


4.2 外差式频谱仪工作原理

- 硬件结构
- 重要参数
- 实现方法



外差式频谱仪结构框图



频谱仪频域测试的主要设置参数

❖ 频率测试范围

- 中心频率和频率跨度
- 起始频率和终止频率

❖ 电平显示范围

- 参考电平和量程跨度

❖ 测试带宽

- 分辨带宽
- 视频带宽

❖ 扫描时间



频谱仪时域测试的主要设置参数

❖ 测试范围

- 中心频率
- 测试时间

❖ 电平显示范围

- 参考电平和量程跨度

❖ 测试带宽

- 分辨带宽
- 视频带宽



频谱仪的结构和功能

❖ RF前端

- 衰减器
- 滤波器（预选器）
- 混频器
- 本振

❖ 中频信号处理

- 中频放大器
- 中频滤波器

❖ 视频滤波器

❖ 检波器

- 最小峰值
- 最大峰值
- 自动峰值
- 取样
- RMS
- AV
- 准峰值

❖ 踪迹处理

- 存储
- 平滑
- 光标

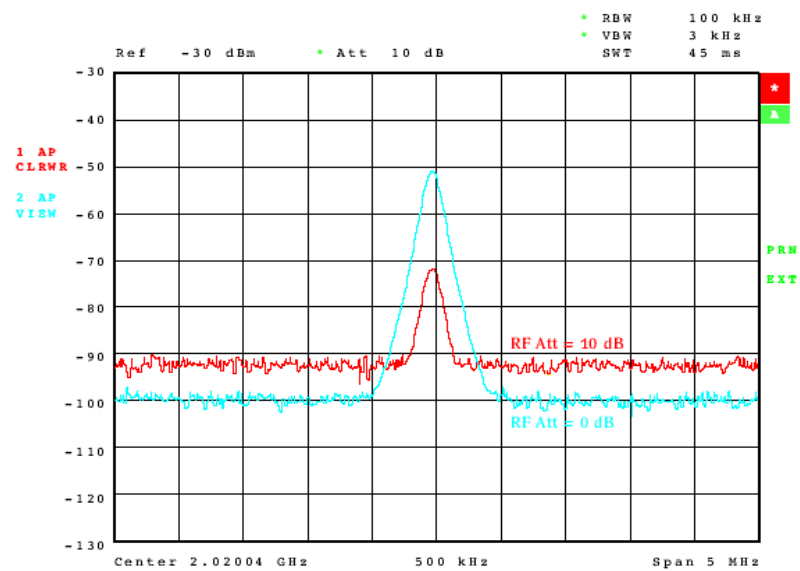
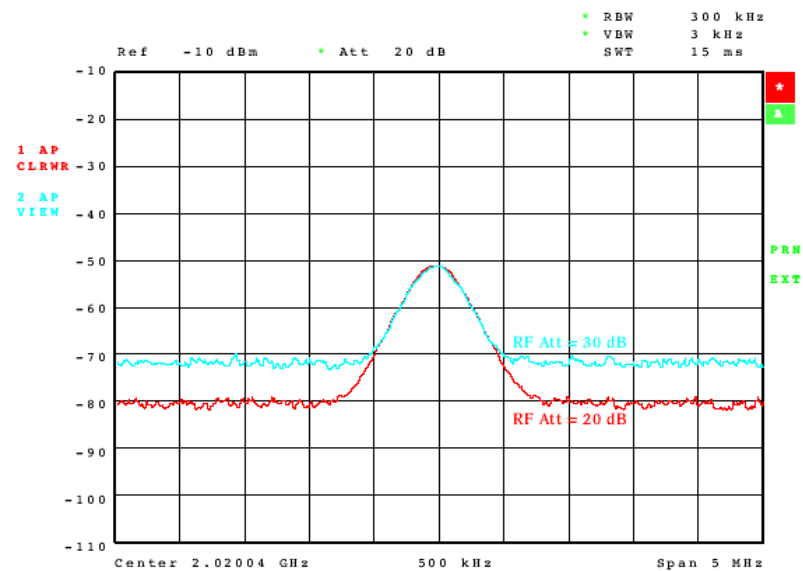


衰减器的作用

- 大信号衰减
- 阻抗匹配、抑制非线性
- 获得最佳动态范围



运用衰减器判别伪信号



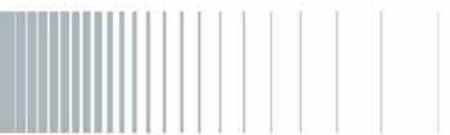
混频器/本振/滤波器

❖ 混频器

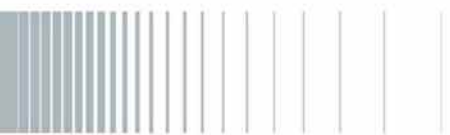
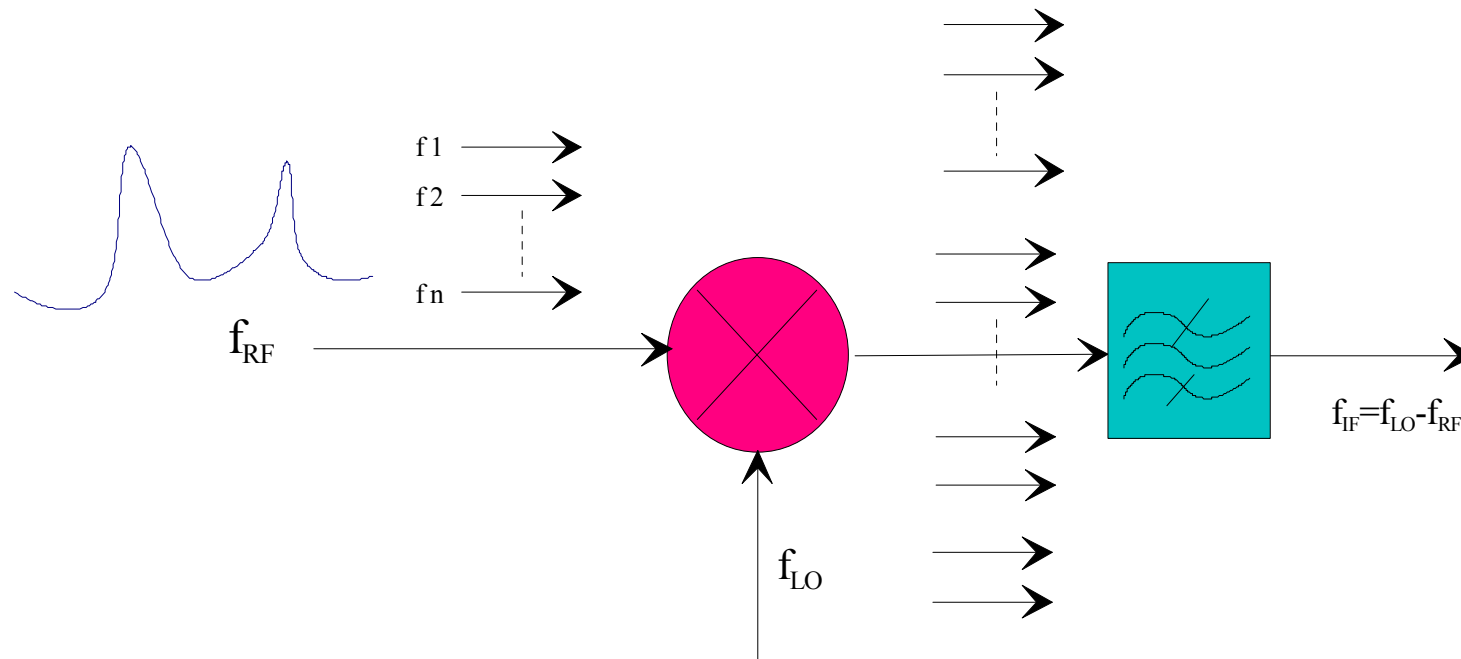
- 基波混频/谐波混频
- 固定中频，避免与可调滤波器相关的难题
- 本振调谐

❖ 滤波器/预选器

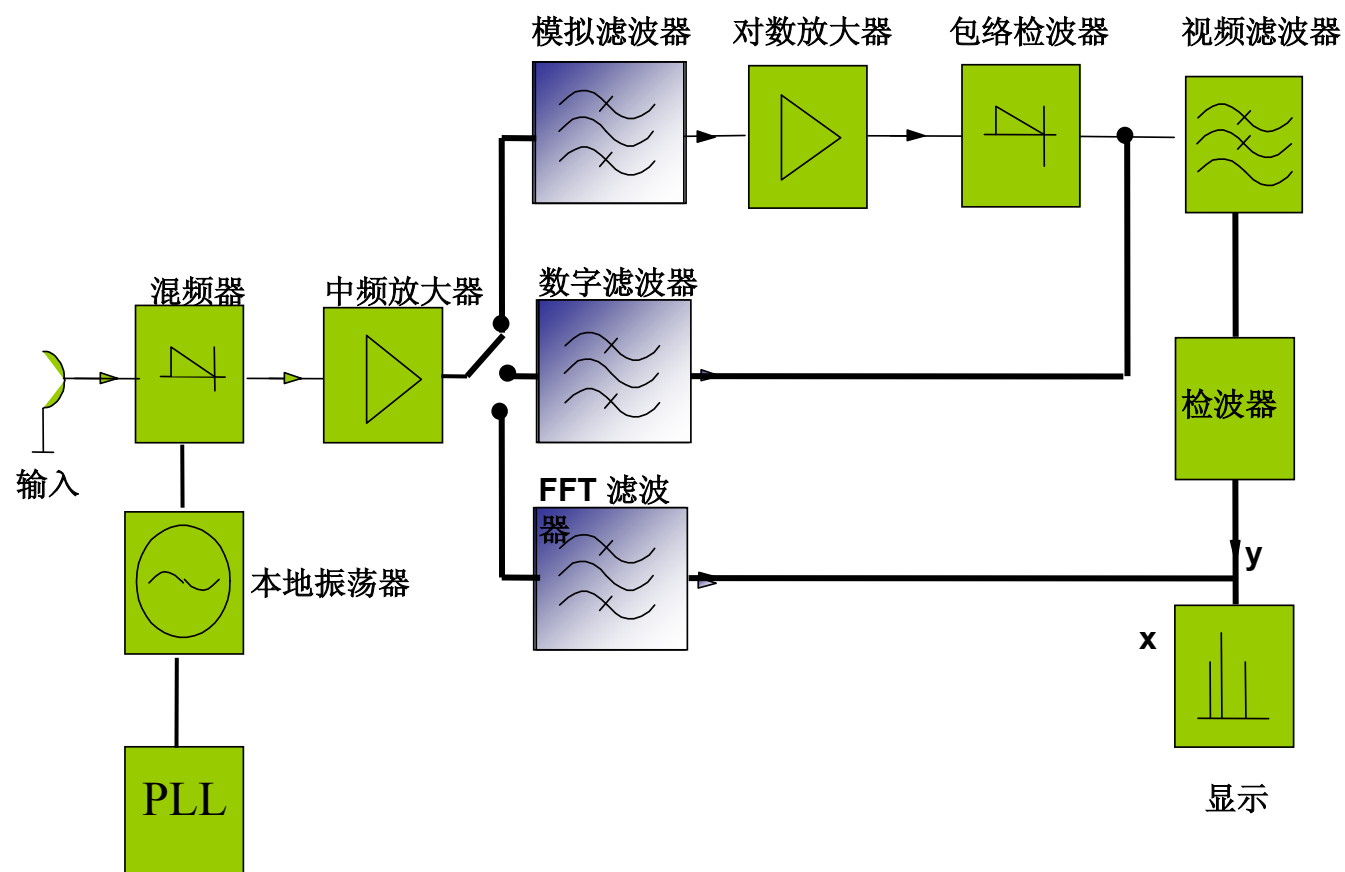
- 抑制镜像频率
- 提高抗过载能力



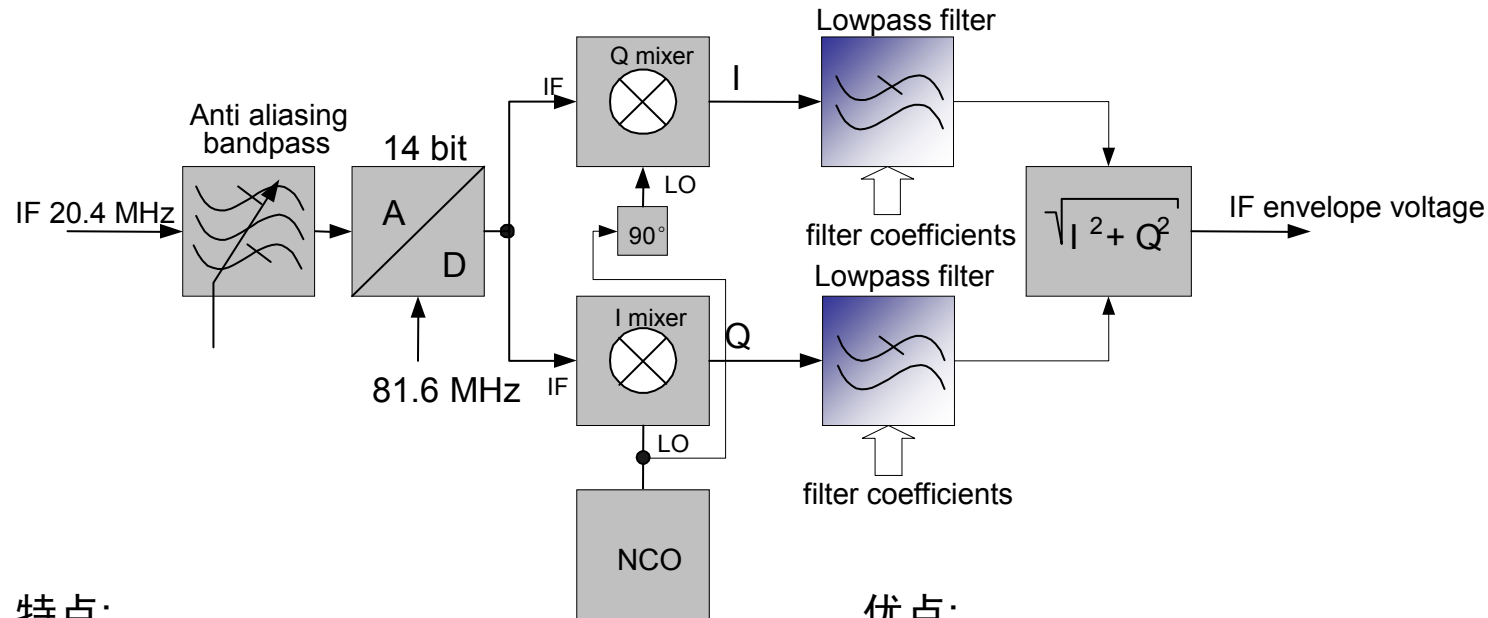
混频器/本振/滤波器



中频滤波器



中频滤波器:数字滤波器



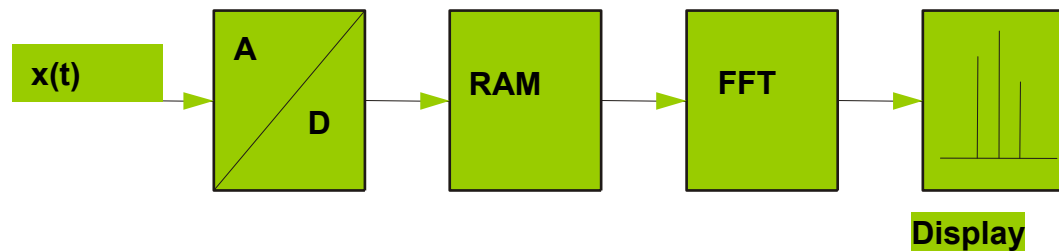
特点:

- 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

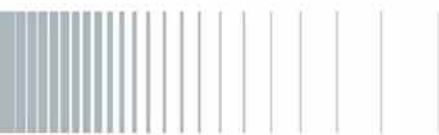
优点:

- 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

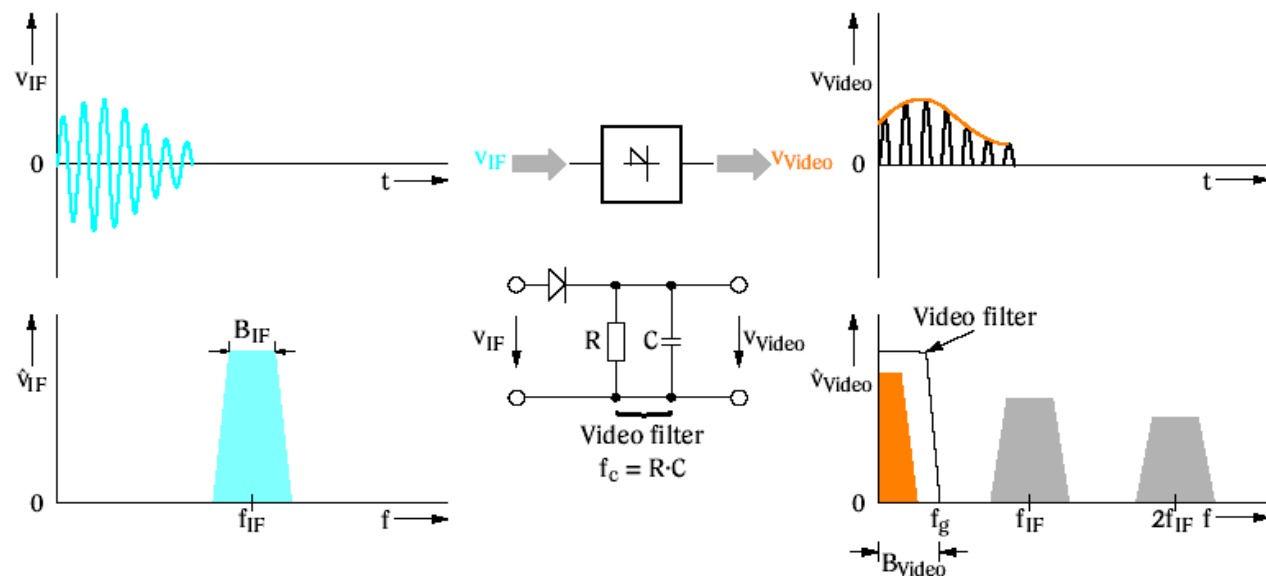
中频滤波器: FFT 滤波器



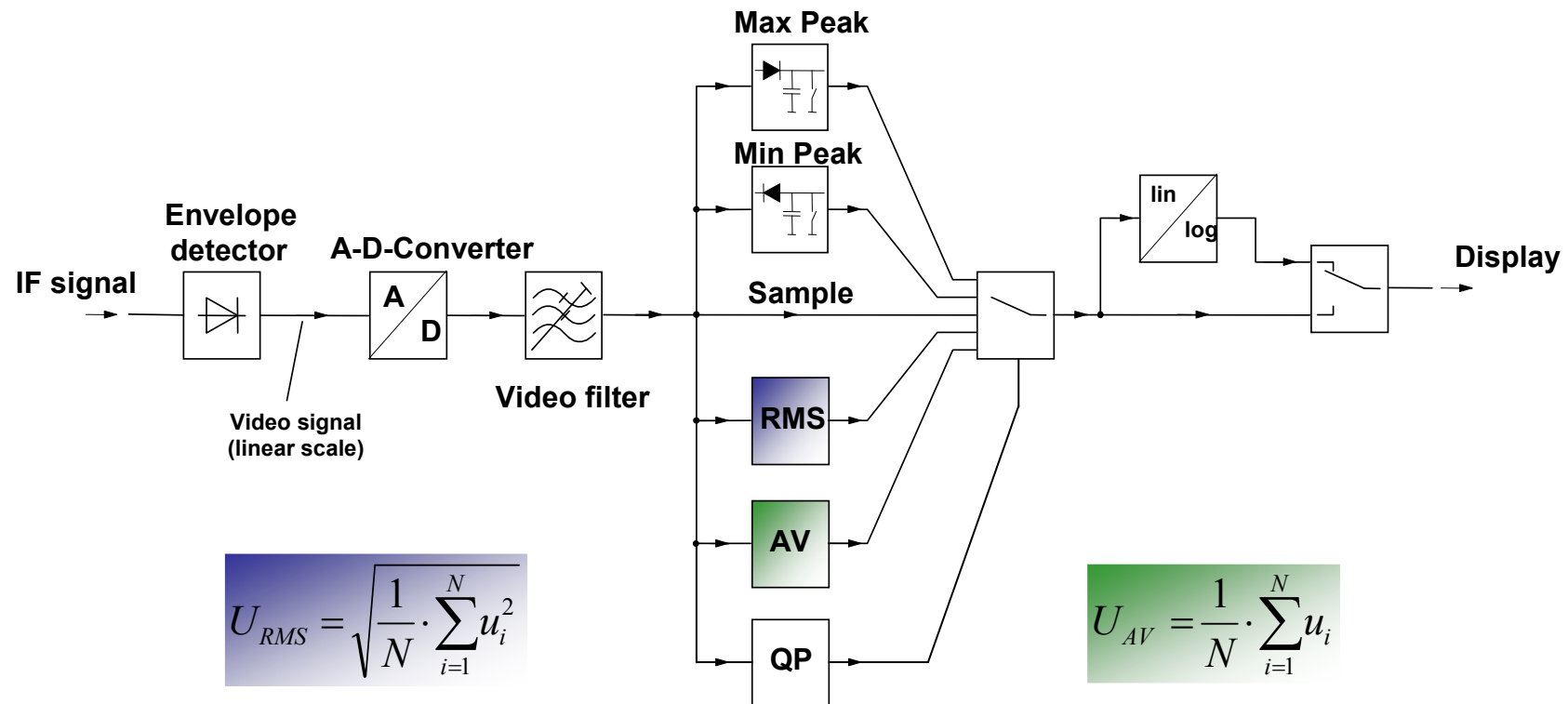
- 最大频率范围受限于AD变换器的带宽
- 快速的信号处理要求合理的更新率
- 减少了扫描时间



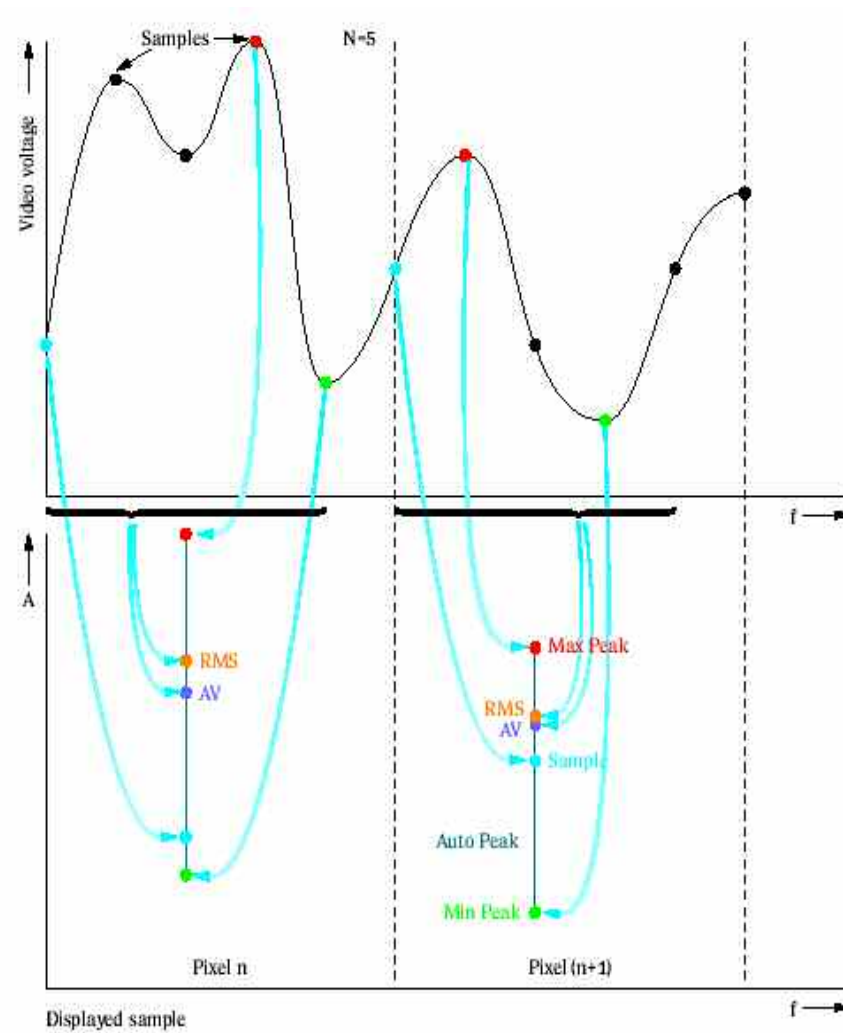
视频滤波器



检波器



检波数据处理显示方式

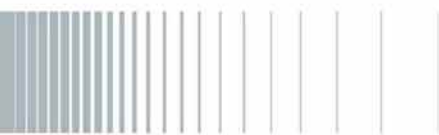
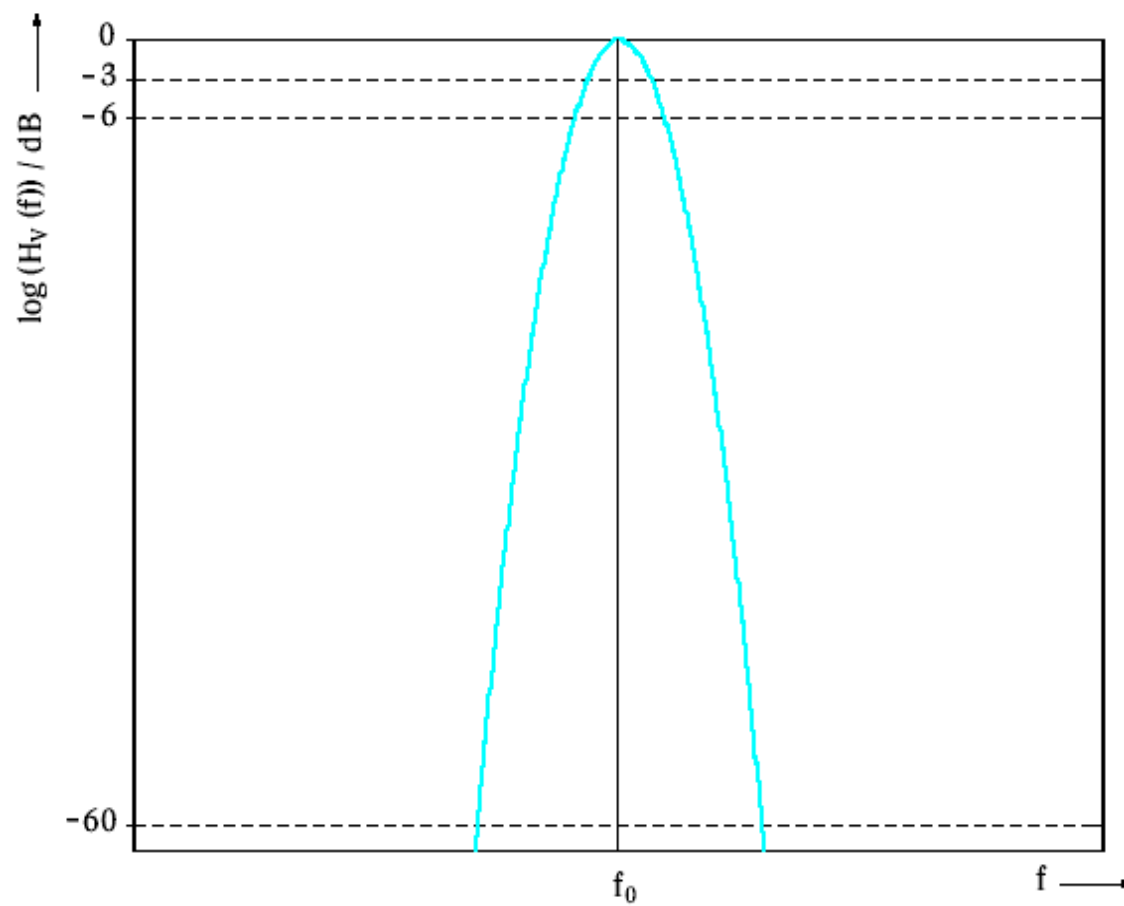


4.3 频谱分析仪的特性指标

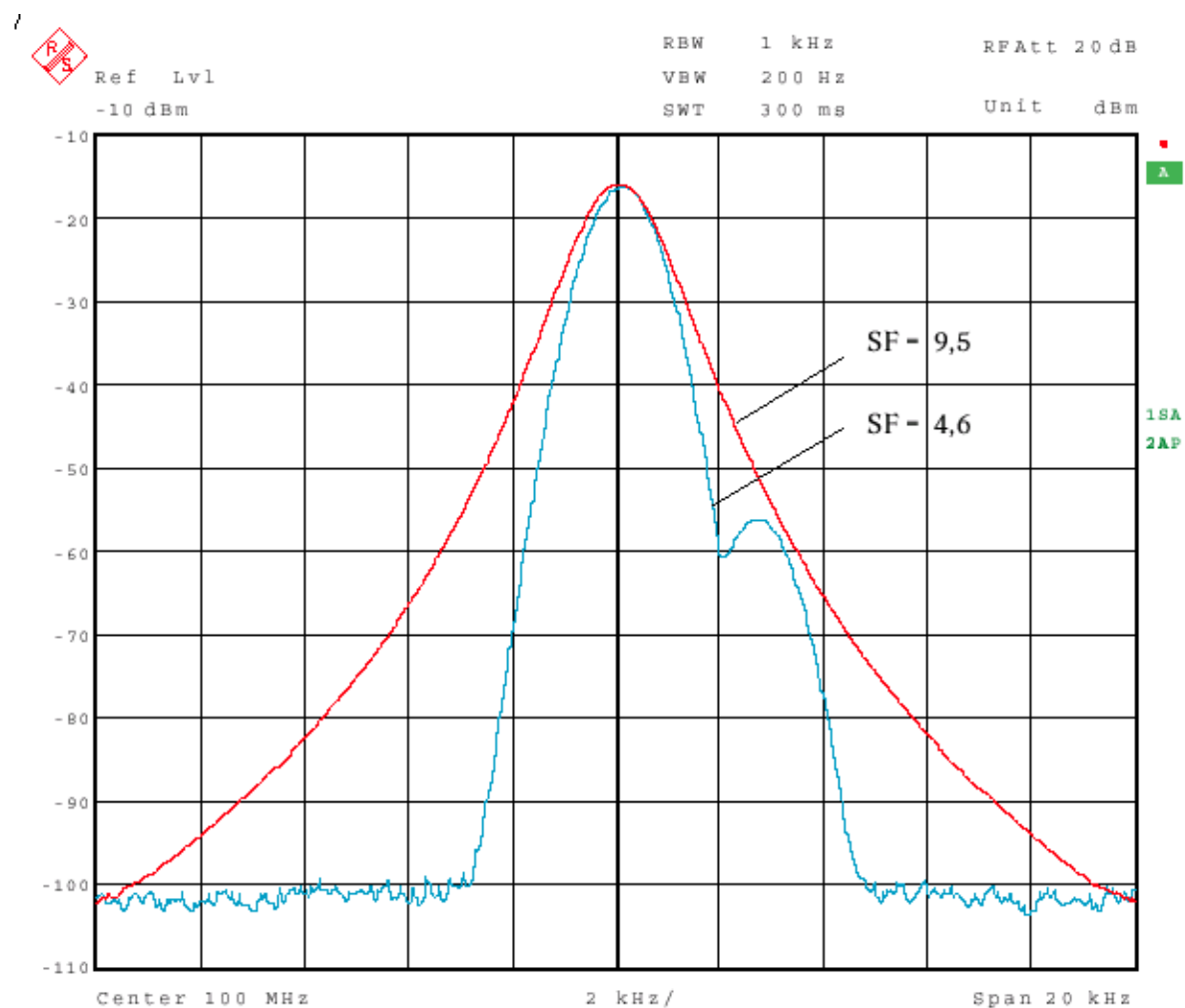
- ❖ 滤波器特性
- ❖ 相位噪声（频谱纯度）
- ❖ 接收机的固有噪声
- ❖ 系统非线性
- ❖ 1dB压缩点
- ❖ 动态范围
- ❖ 测量精度



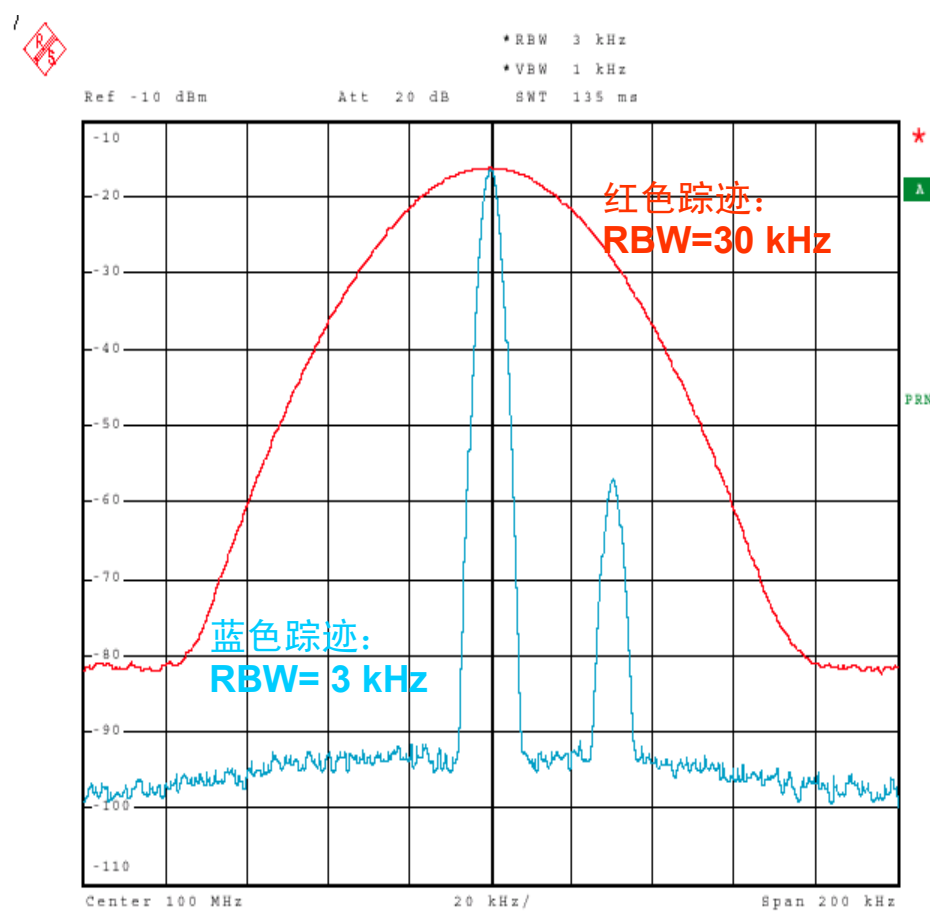
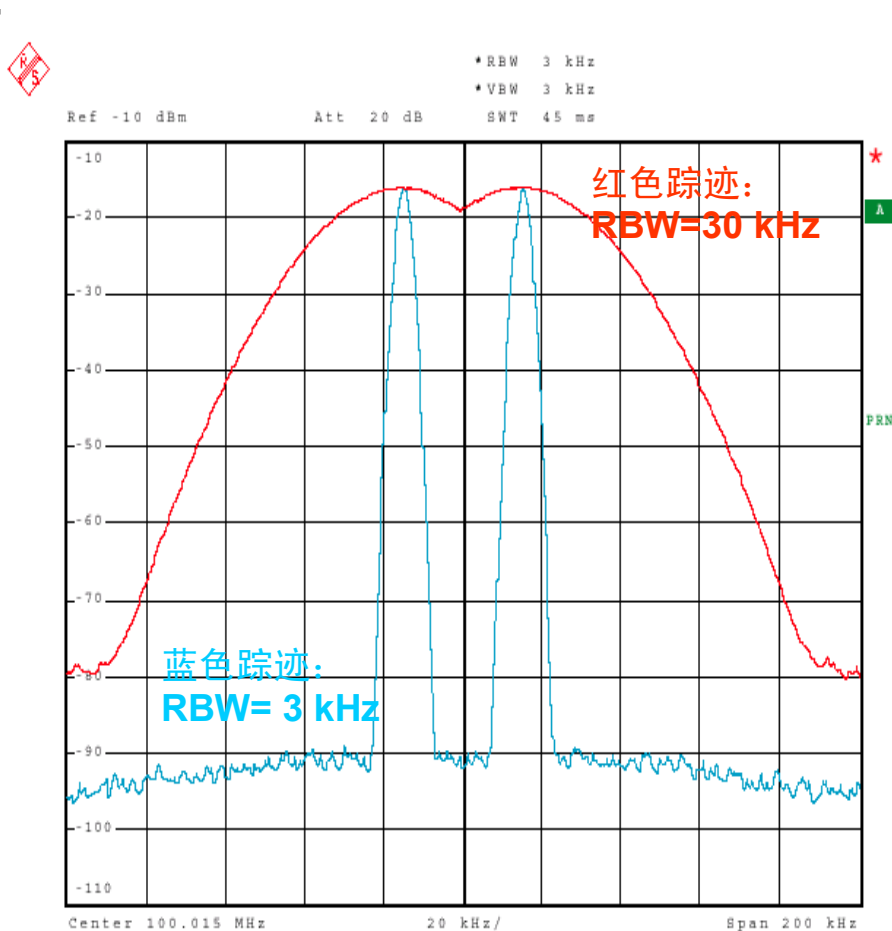
中频滤波器特性



不同中频滤波器对测试结果的影响



分辨相邻的信号



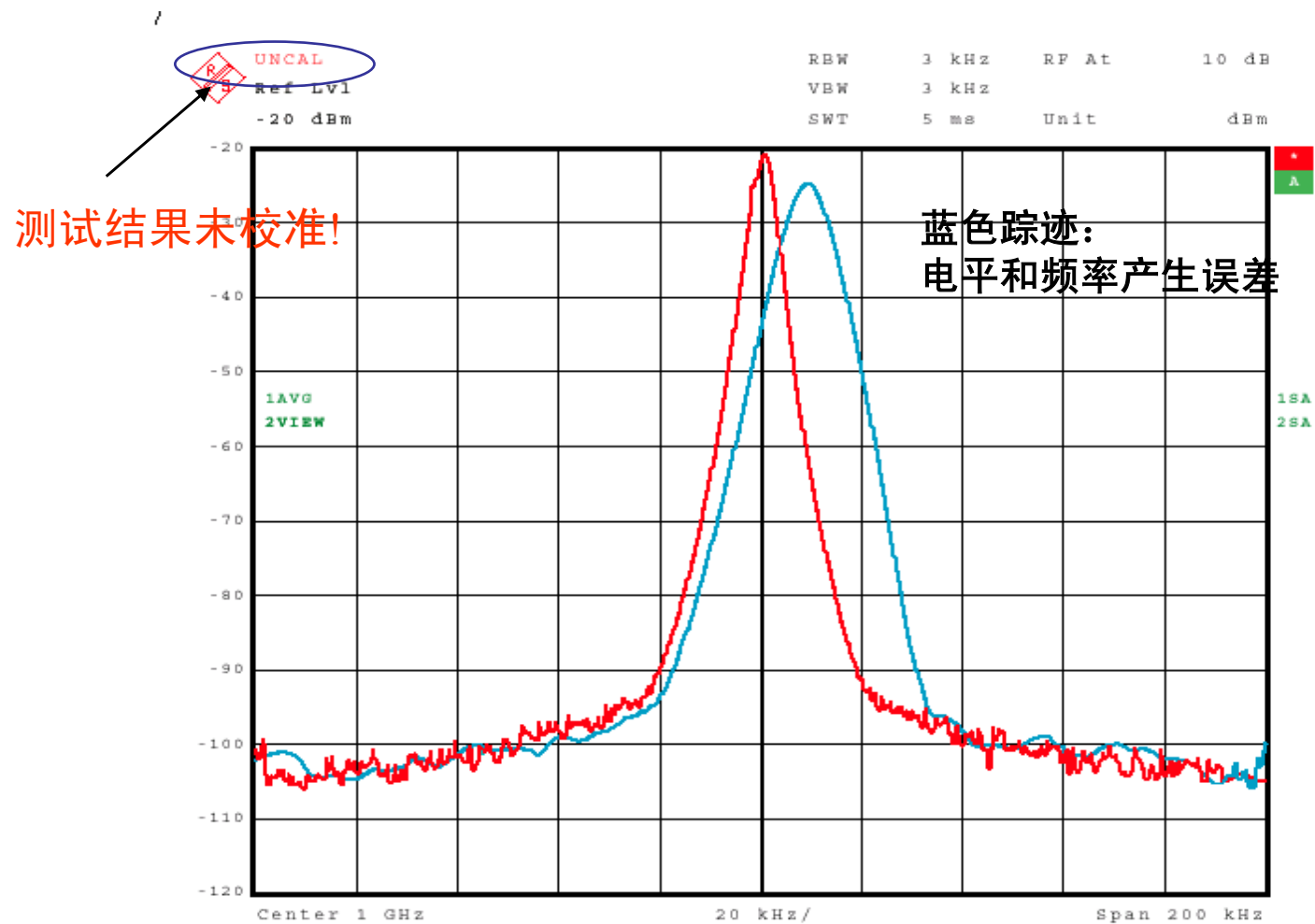
频域测试最小扫描时间

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

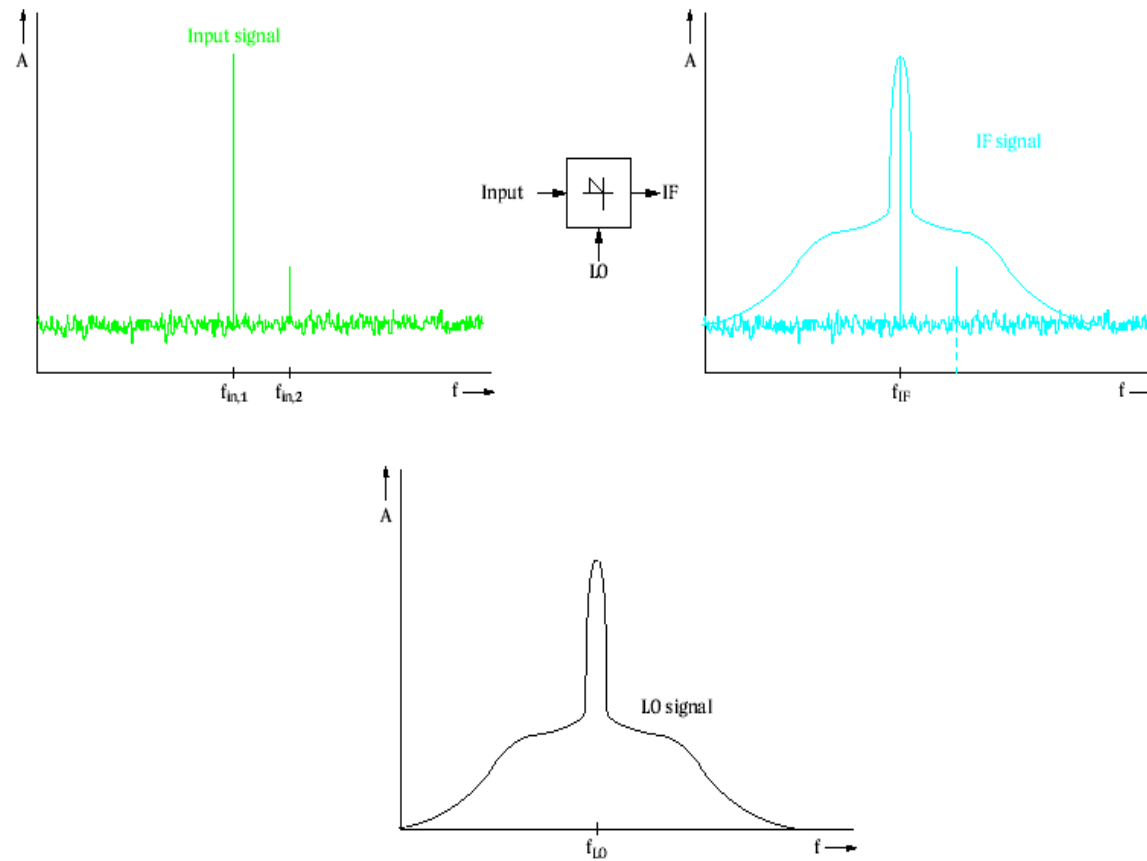
T_{Sweep}	最小扫描时间
Span	频率扫描跨度
RBW	分辨带宽 (3 dB 带宽)
k	k 因子, 模拟滤波器 2.5



扫描时间的影响



相位噪声



频谱分析仪的固有噪声

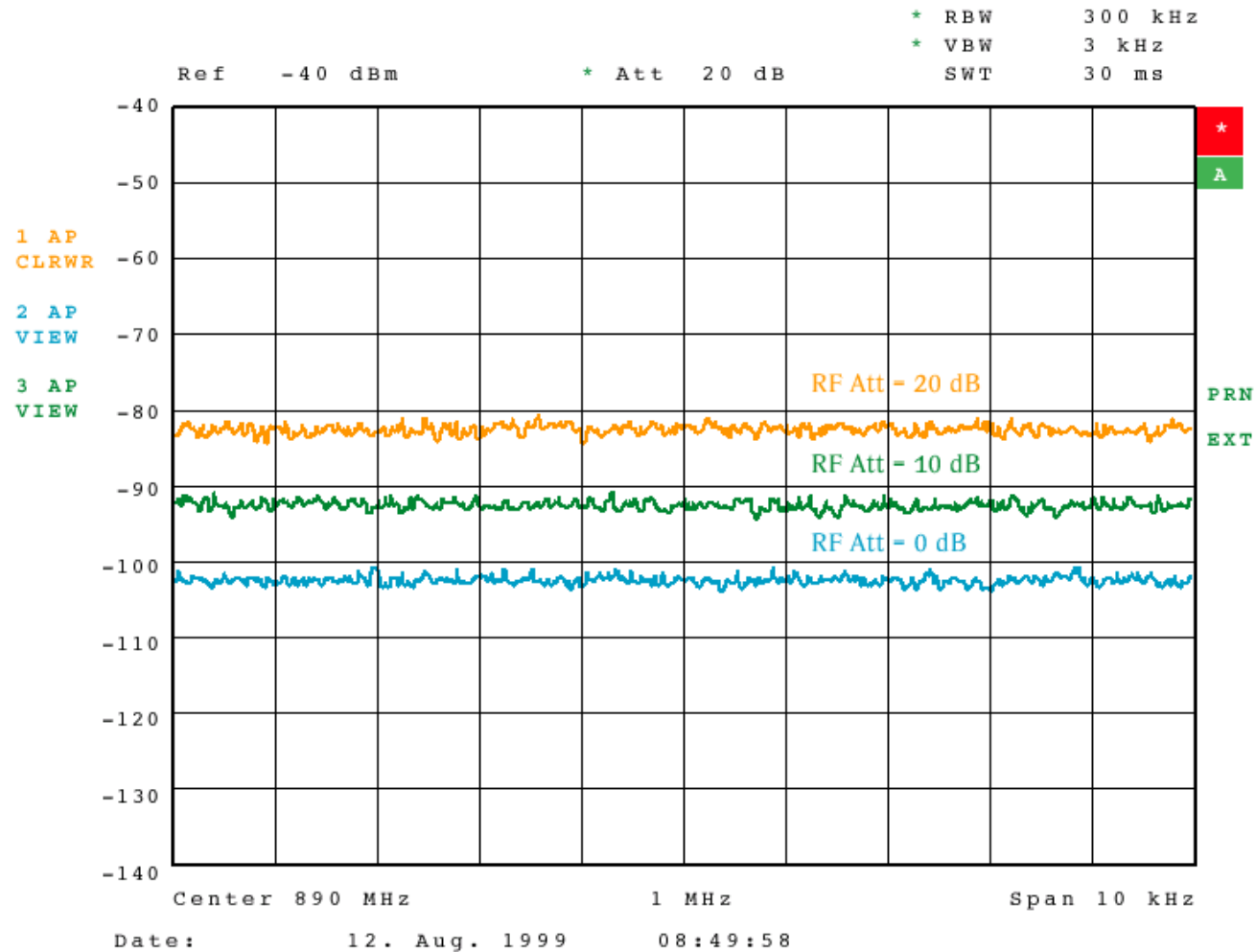
$$L_{DANL} = DANL_{10Hz} - 10dB + (10 \bullet \lg \frac{RBW_{Noise}}{Hz})dB + RF_{ATT} - 2.5dB$$

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)

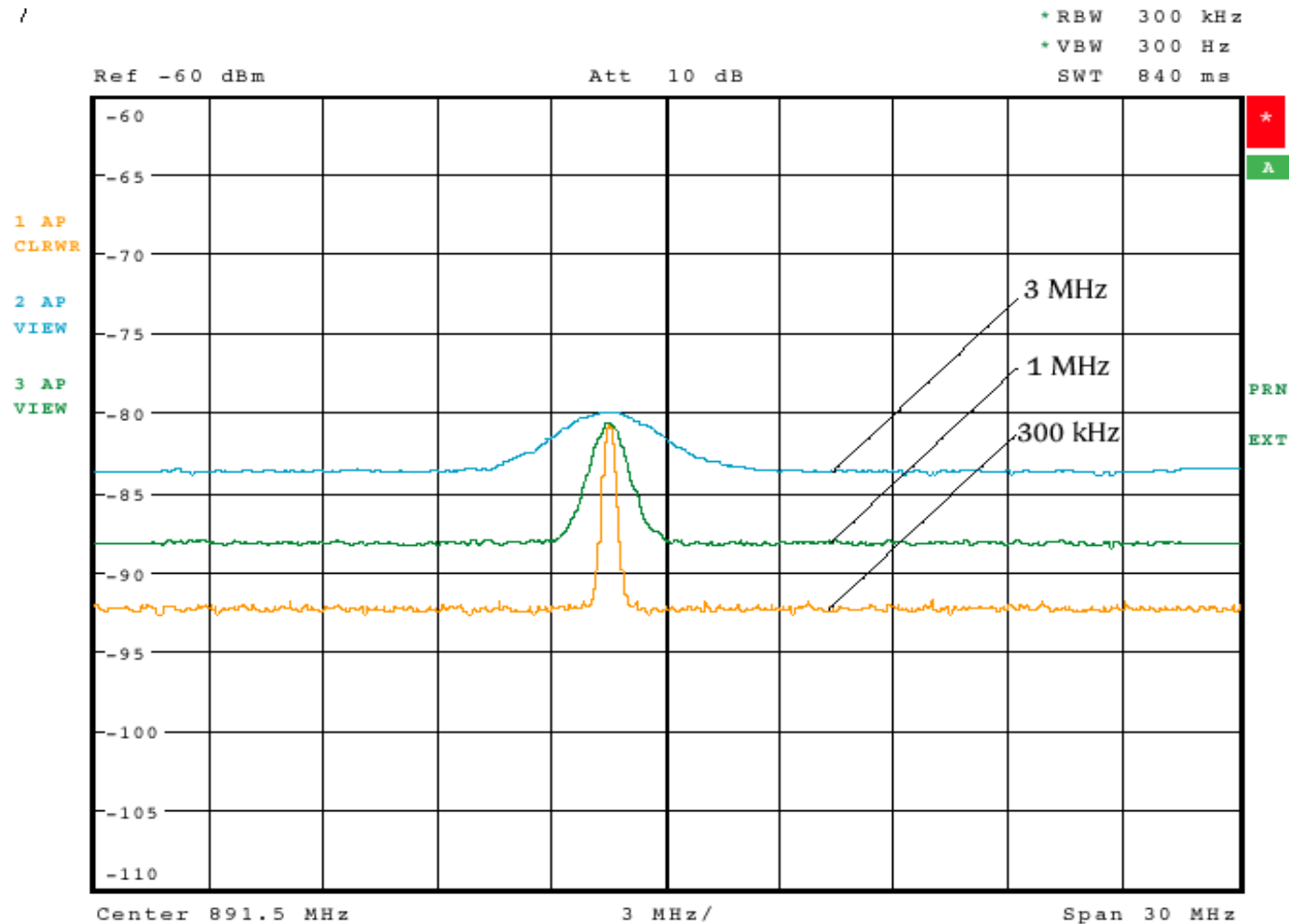
不同的滤波器6 dB带宽和等效噪声带宽与 3 dB带宽的关系

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	$1.129 * B_{3dB}$	$1.114 * B_{3dB}$	$1.065 * B_{3dB}$

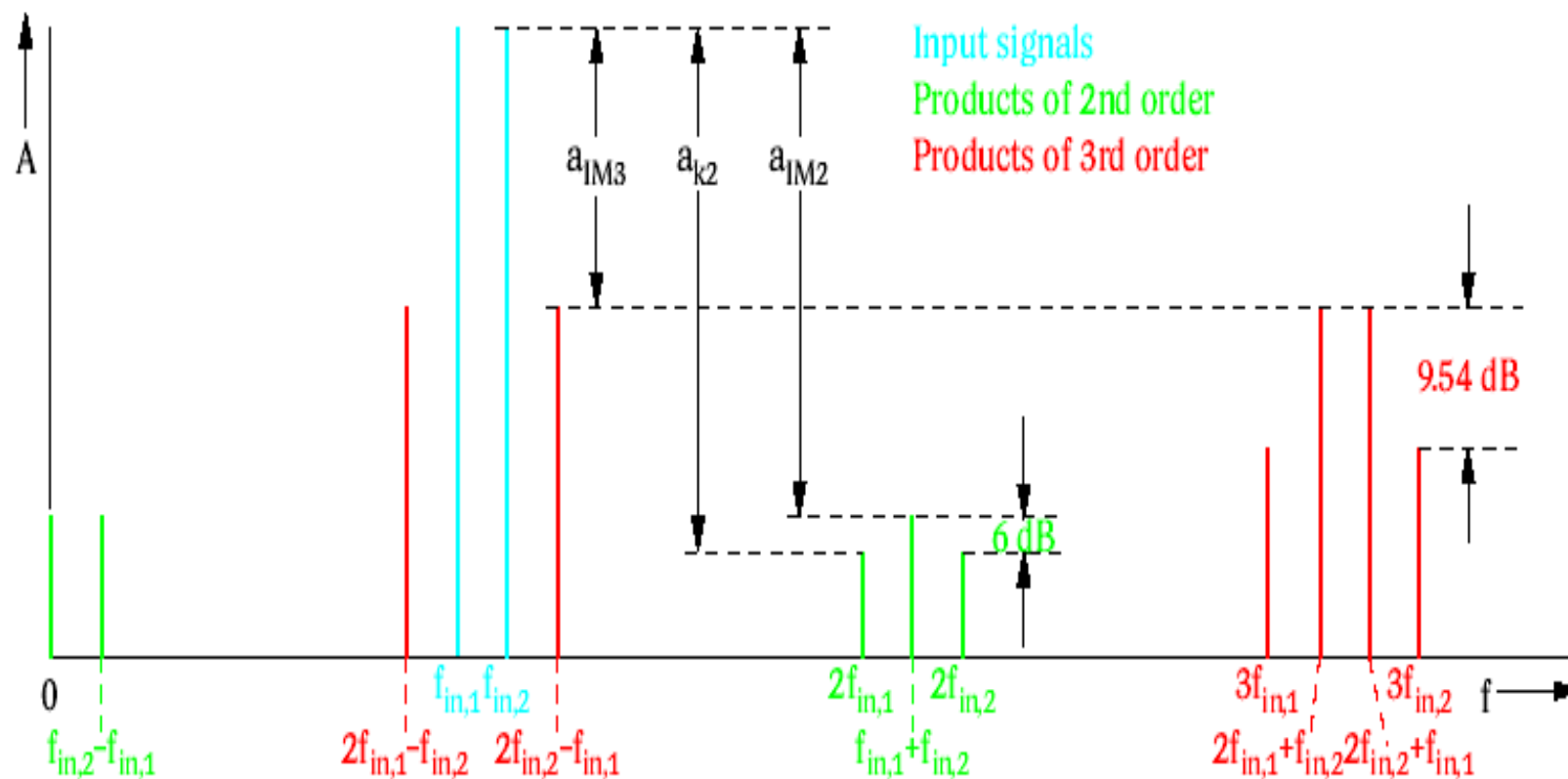
显示的噪声本底与RF衰减器



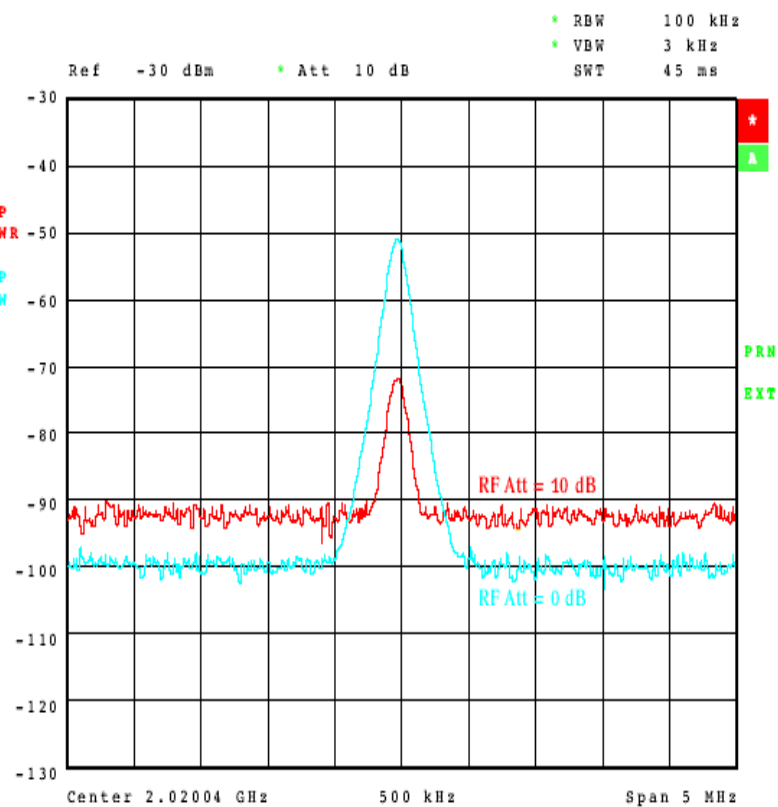
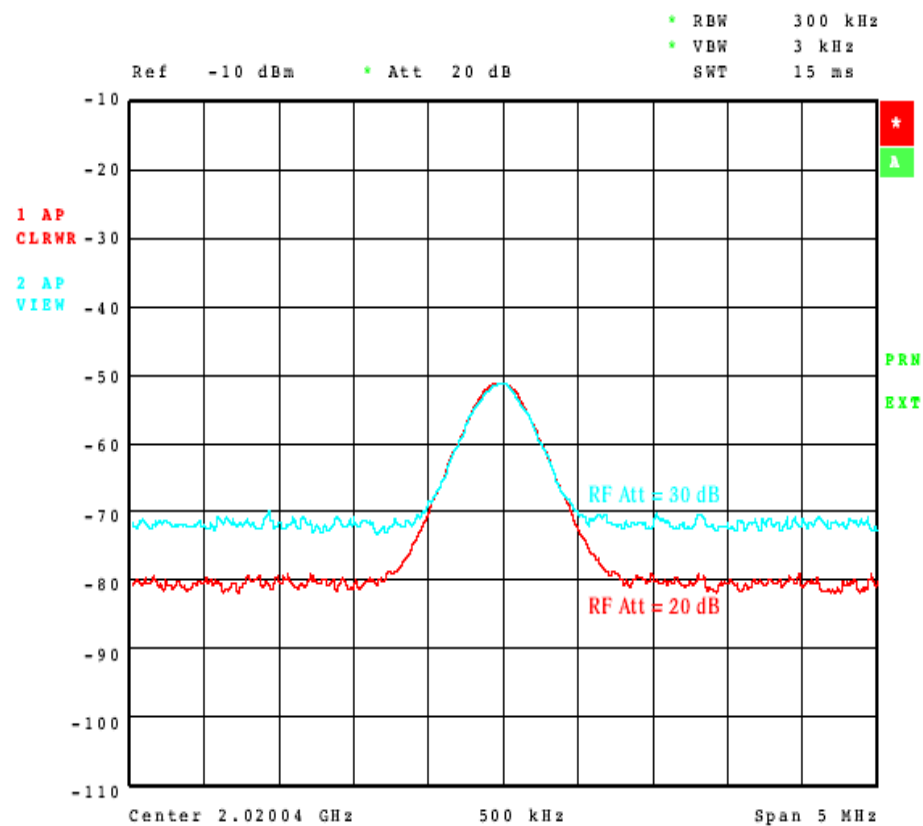
显示本底噪声与RBW带宽



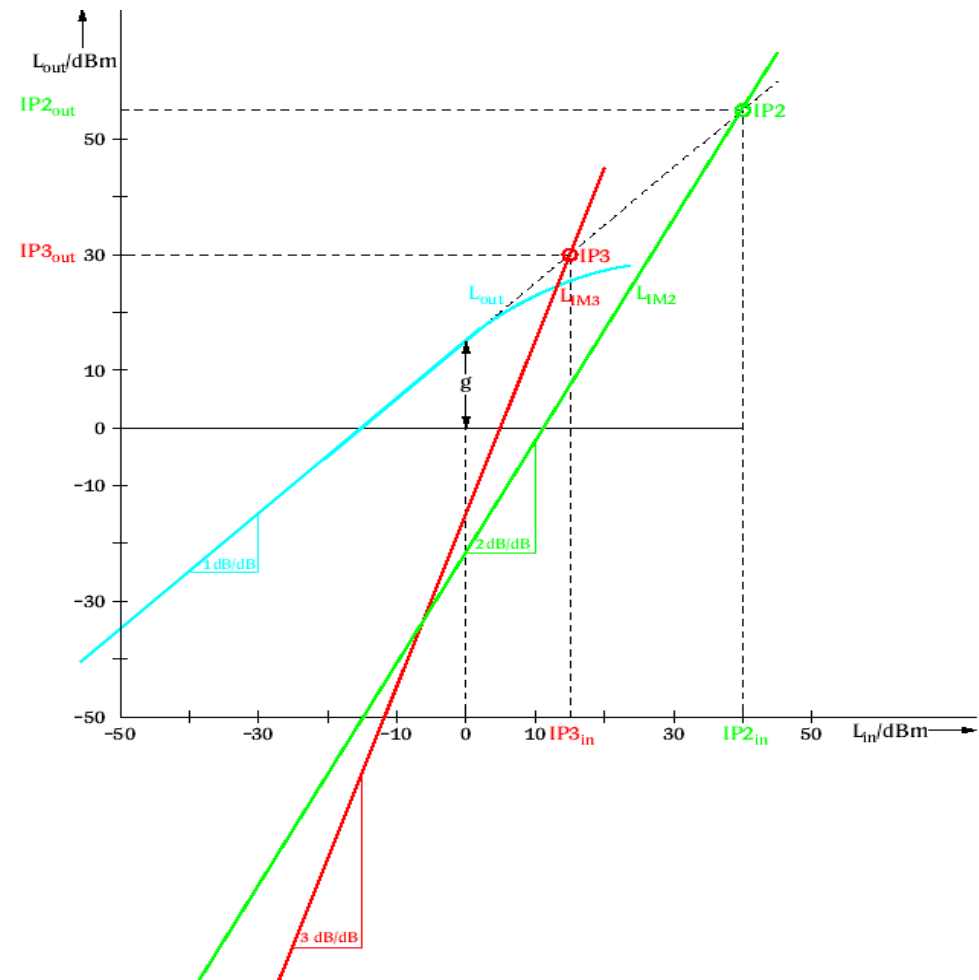
接收机的非线性特性



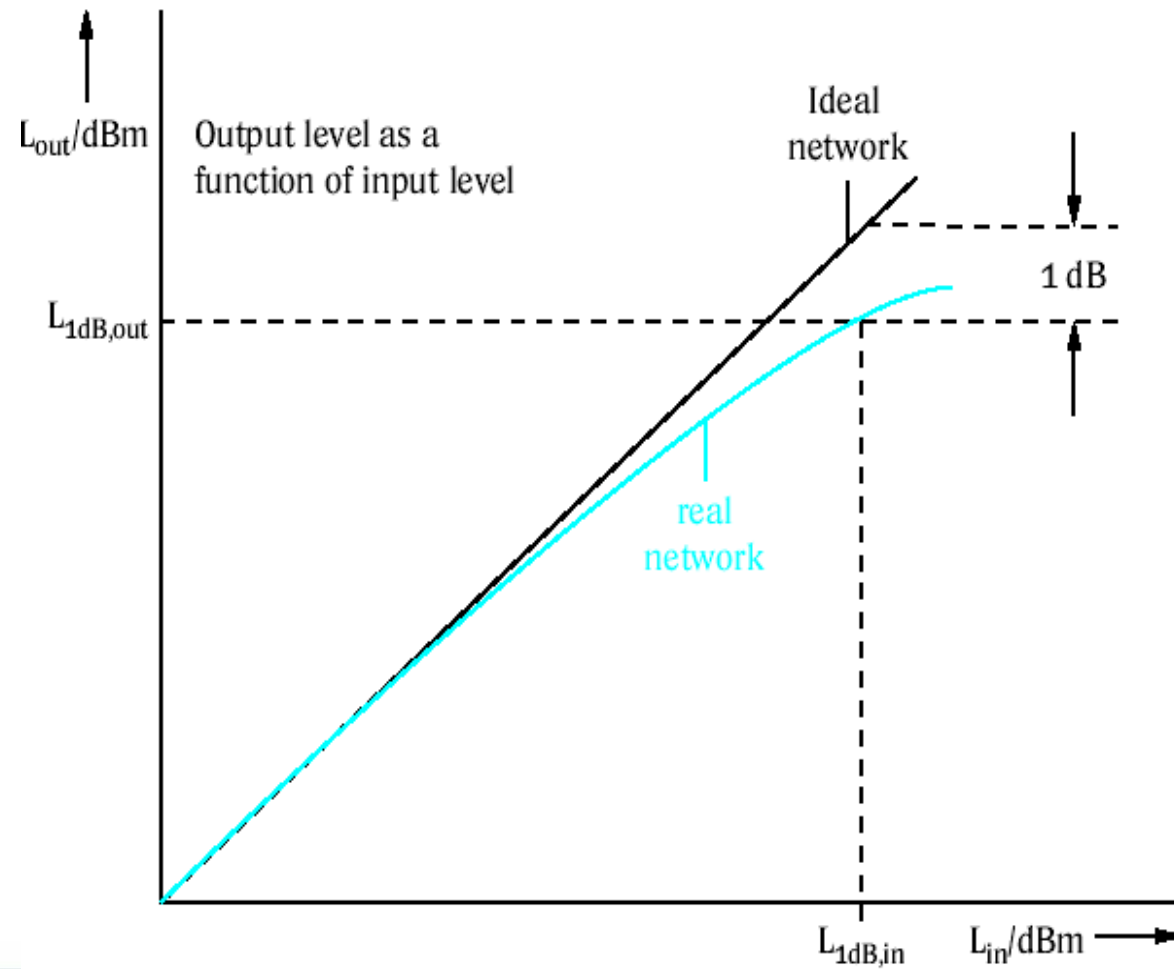
三阶互调产物的鉴别



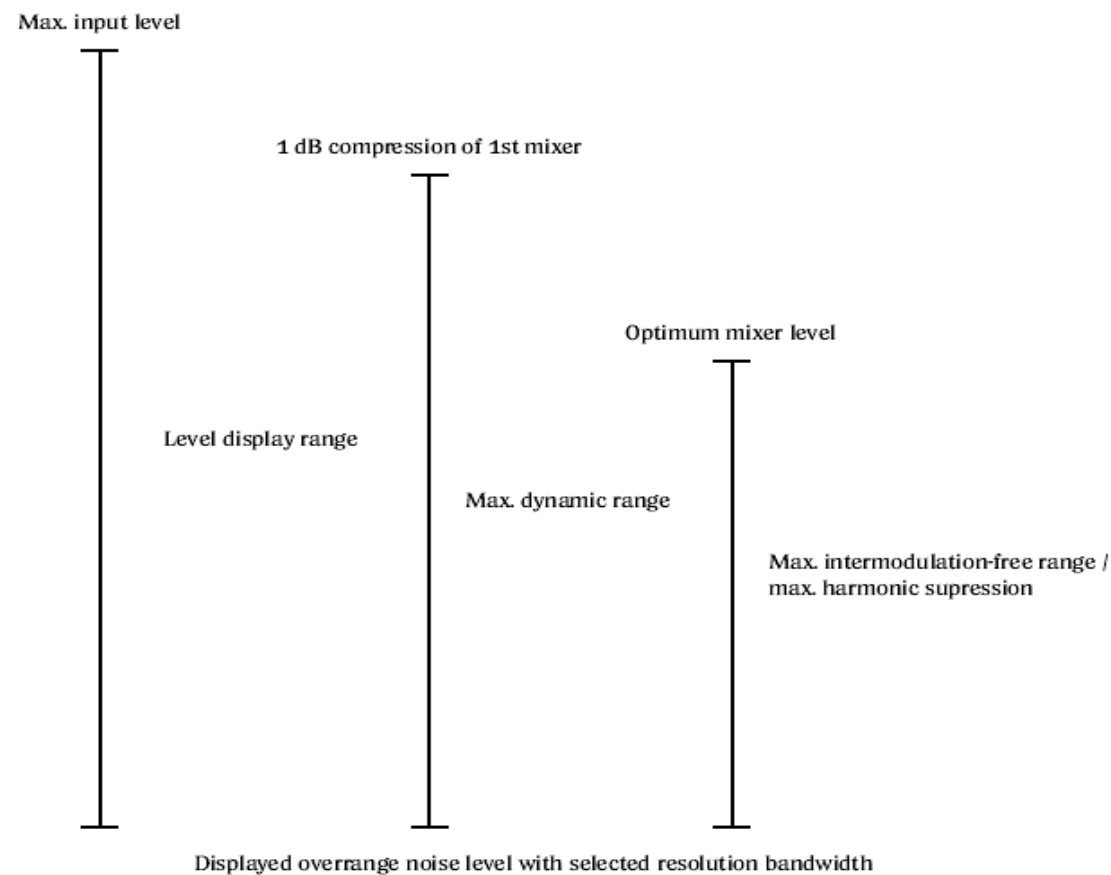
截止点



1-dB 压缩点



动态范围



保证测试准确度

❖ 检波器的选择

- 依据标准
- 依据测试信号类型和测试参数

❖ 带宽选择

- 依据标准
- 依据测试信号类型和测试参数

❖ 重要参数的依赖性

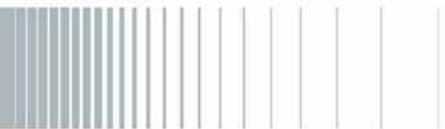
- RBW / VBW / SWT 关系
- 输入电平与射频衰减



保证测试准确度

❖非线性信号判别

- 频谱仪的谐波与互调产物
- 相噪和动态范围
- 1dB压缩点



频率测量精度

❖ 光标读数:

- $\pm(\text{频率读数} \times \text{参考频率误差} + 0.5\% \times \text{频率跨度} + 10\% \times \text{分辨带宽} + \text{最后显示位} \times 1/2)$

❖ 计数器读数:

- $\pm(\text{频率读数} \times \text{参考频率误差} + \text{最后显示位} \times 1/2)$



幅度测量精度

❖ 误差来源:

- 频率响应
- 衰减器误差
- 中频增益误差
- 线性误差
- 带宽切换误差
- 失配误差



常见问题

❖ 屏幕上出现“UNCAL”

- 扫描时间和分辨率带宽设置有误 — 选择自动设置或延长扫描时间
- 校准数据丢失或出错 — 重新校准（预热0.5小时后）

❖ 一般性故障查找和分析

- 进行仪器自检（SELFTEST），查阅故障信息

❖ Firmware故障

- 开机时选择软件恢复选项

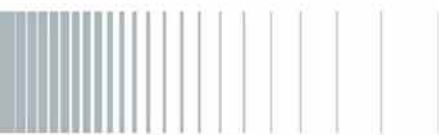


安全使用

- 避免过大信号
- 直流信号(AC耦合? DC耦合?)
- 避免脉冲大信号（偶发）
- 测量频率范围外大信号
- 避免电源故障



5. R&S网络分析仪简介



网络分析仪简介

5.1 网络分析基础

5.2 网络分析仪基础

5.2.1 网络分析仪基本结构

5.2.2 网络分析仪校准原理

5.2.3 网络分析结果显示

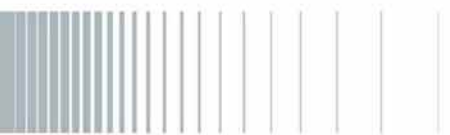
5.2.4 网络分析的应用

5.3 R&S 网络分析仪简介

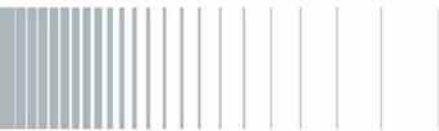
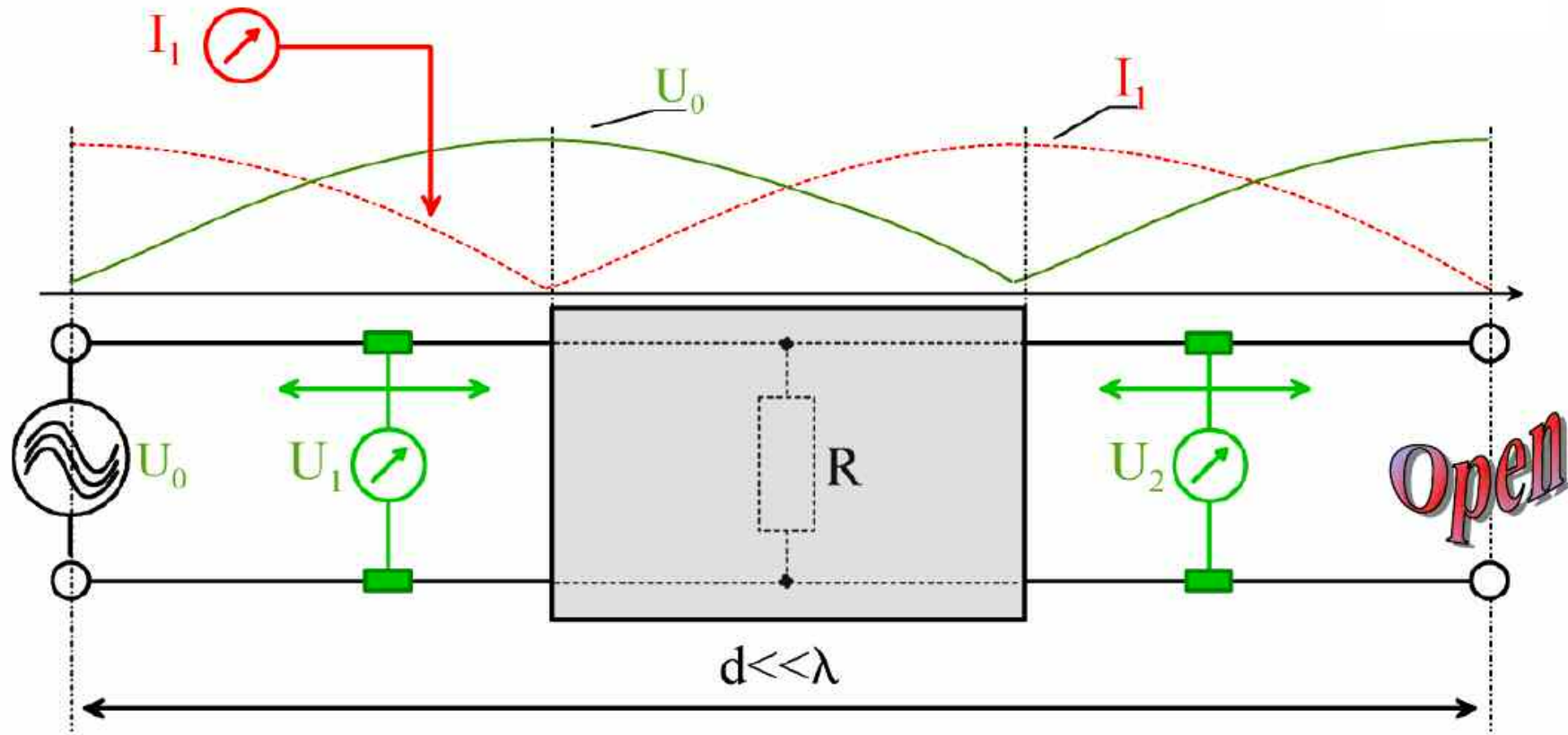


5.1 网络分析基础

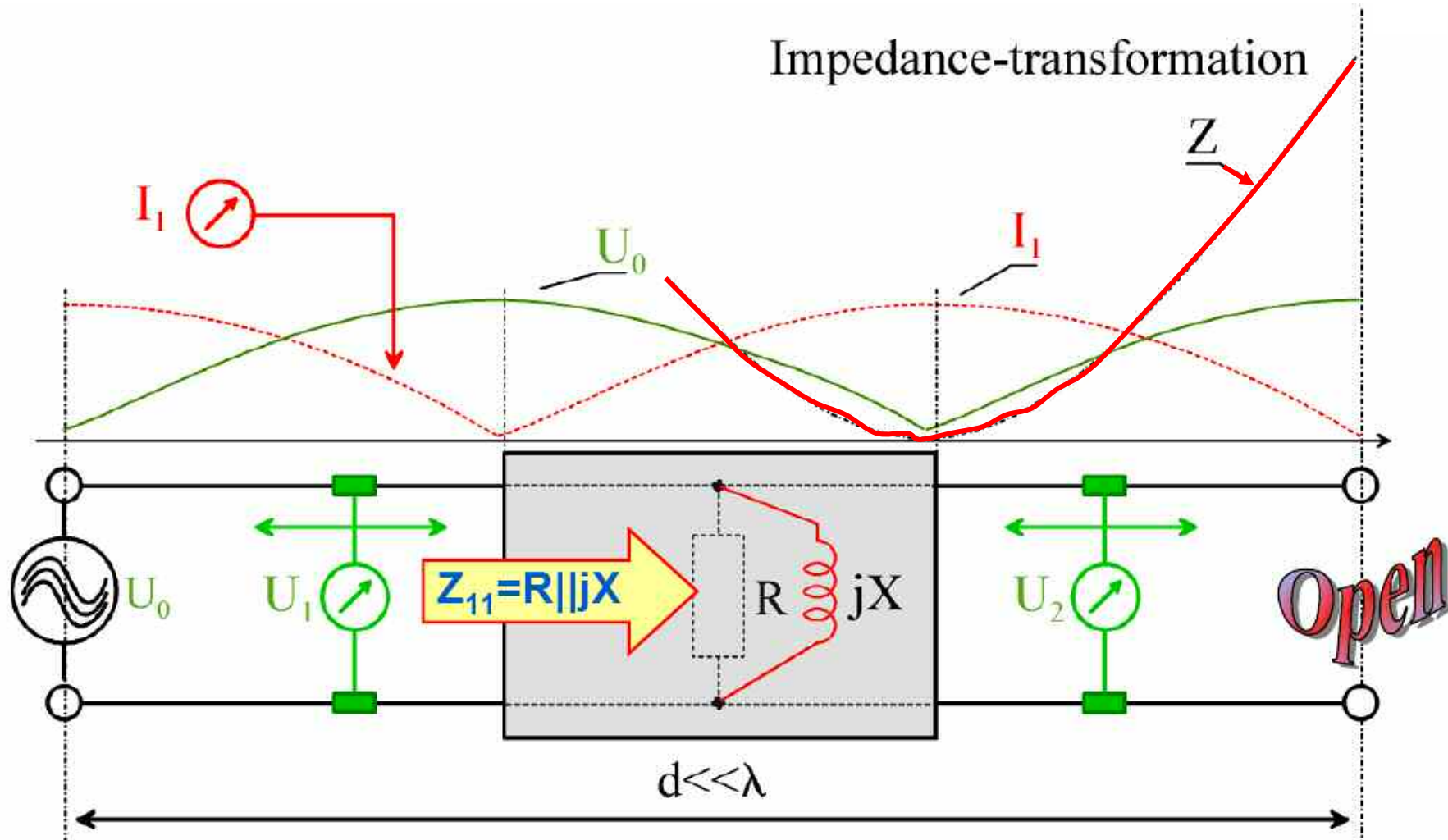
- ❖ 网络分析是在所关心的频率范围内，通过**激励(信号产生)——响应（信号接收分析）**测试来建立线性网络的传输与阻抗特性的数据模型的过程。
- ❖ 在频率较低时，网络的特性常用阻抗参数矩阵 Z 或导纳参数矩阵 Y 来描述其端口特性（还有 H 参数矩阵， $ABCD$ 矩阵等）。
- ❖ 这些参数的定义是基于电压电流的概念，因而测量时需要在一定的端口条件下，如开路或短路，测出特定的电压或电流来确定各个参数。
- ❖ 但在微波频率下，这种测量方法不再适合。因为在高频下，信号波长与器件尺寸**可比拟**的情况下，电压和电流很难测量。



5.1 网络分析基础



5.1 网络分析基础



5.1 网络分析基础

❖ 在微波频段，因为采用了波的概念，所以微波网络常用S参数表示。双口网络都可以用4个S参数来表示其端口特性。

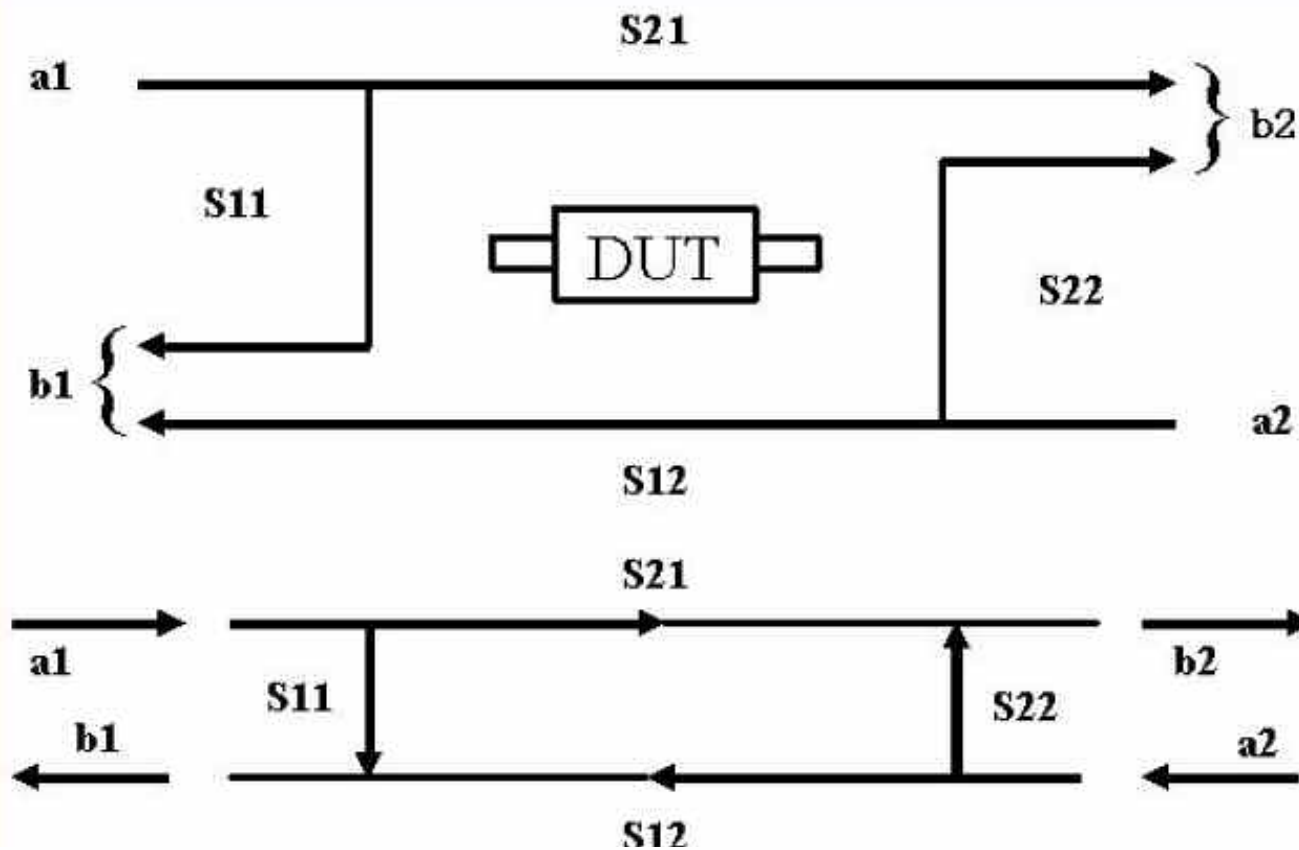
$$\begin{bmatrix} \underline{b}_1 \\ \underline{b}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{S}_{11} & \underline{S}_{12} \\ \underline{S}_{21} & \underline{S}_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{a}_1 \\ \underline{a}_2 \end{bmatrix}$$



5.1 网络分析基础

二端口网络的信号流图。

DUT: device under test。



5.1 网络分析基础

按上图中入射波和反射波的方向，就可以定义S参量：

$$\begin{Bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{Bmatrix} \Rightarrow \begin{cases} b_1 = S_{11}a_1 + S_{12}a_2 \\ b_2 = S_{21}a_1 + S_{22}a_2 \end{cases}$$

其中符号的意义为：

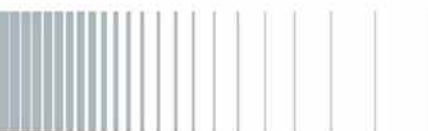
$$a_2 = 0 \Rightarrow S_{11} = \frac{b_1}{a_1} \quad \text{是在端口2匹配情况下端口1的反射系数}$$

$$a_2 = 0 \Rightarrow S_{21} = \frac{b_2}{a_1} \quad \text{是在端口2匹配情况下的正向传输系数}$$

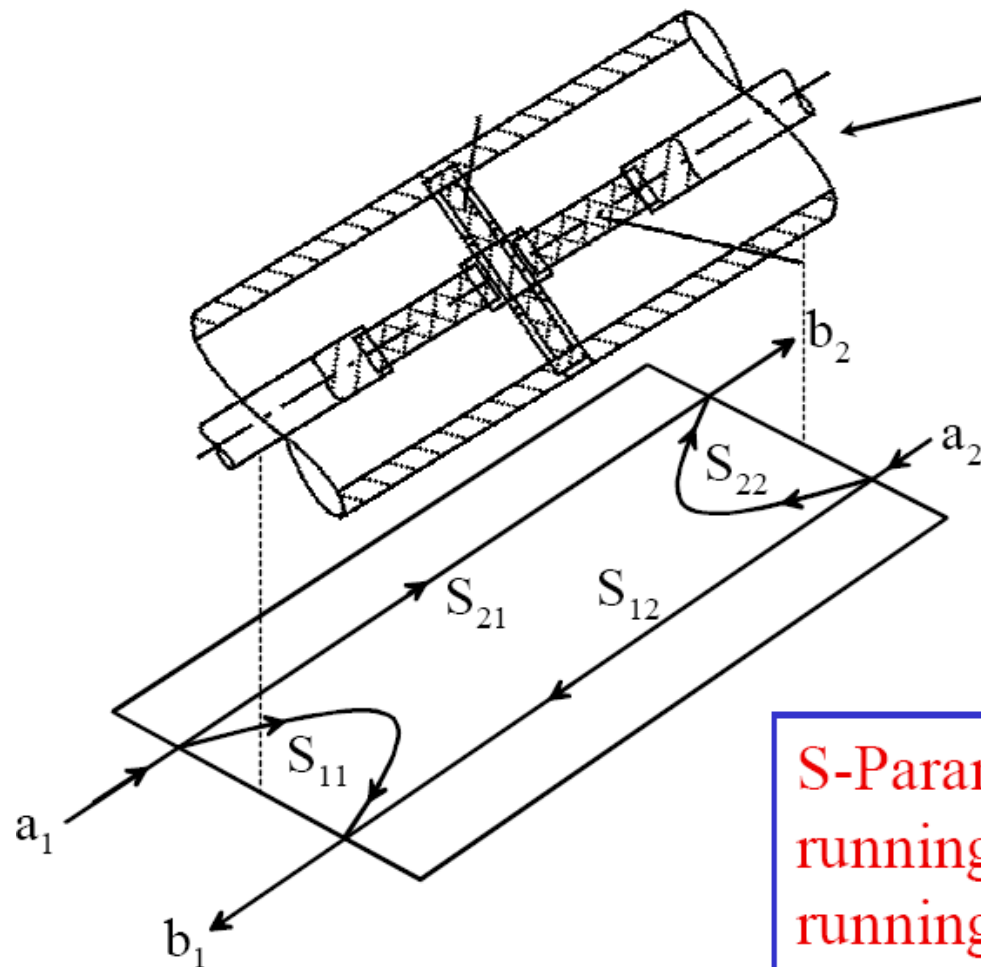
$$a_1 = 0 \Rightarrow S_{22} = \frac{b_2}{a_2} \quad \text{是在端口1匹配情况下端口2的反射系数}$$

$$a_1 = 0 \Rightarrow S_{12} = \frac{b_1}{a_2} \quad \text{是在端口1匹配情况下的反向传输系数}$$

上述条件（ $a_1 = 0$ 或 $a_2 = 0$ ）在**两端传输线分别匹配时**才成立。



5.1 网络分析基础



Coaxial attenuator

Description analog to classical electronics using two equations:

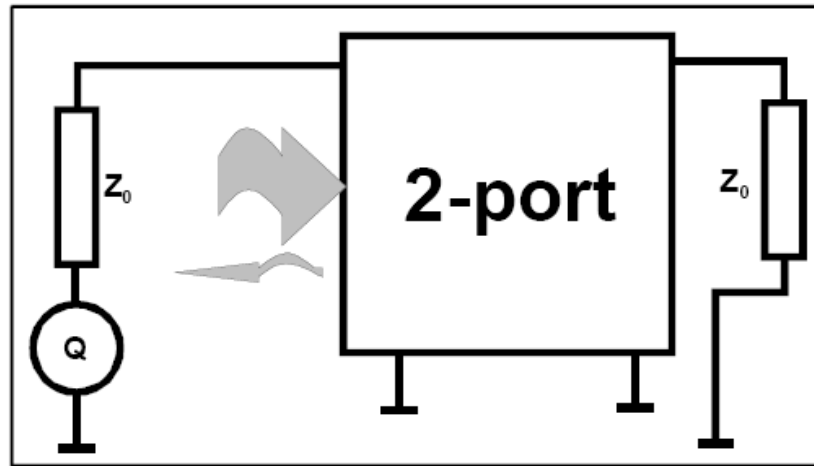
$$b_1 = S_{11} \cdot a_1 + S_{12} \cdot a_2$$

$$b_2 = S_{21} \cdot a_1 + S_{22} \cdot a_2$$

S-Parameter combine the **forward running wave** with the **backward running wave**

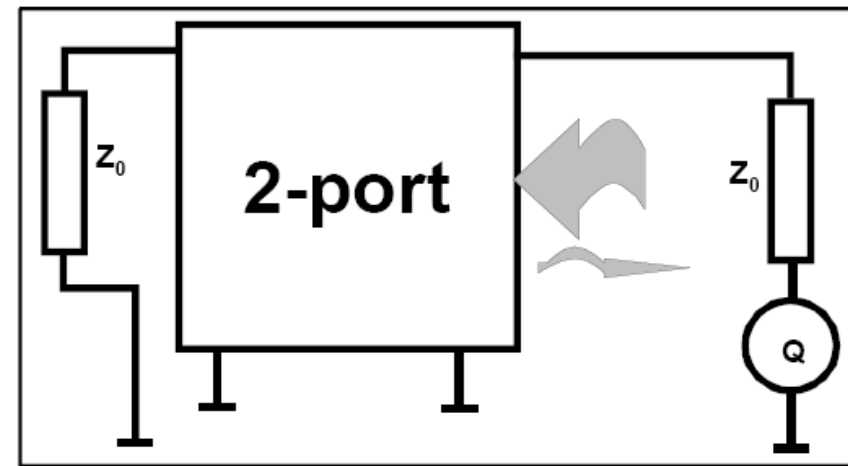
5.1 网络分析基础

Input reflection coefficient S_{11}



$$\underline{s}_{11} = \frac{\underline{b}_1}{\underline{a}_1} \Big|_{\underline{a}_2=0}$$

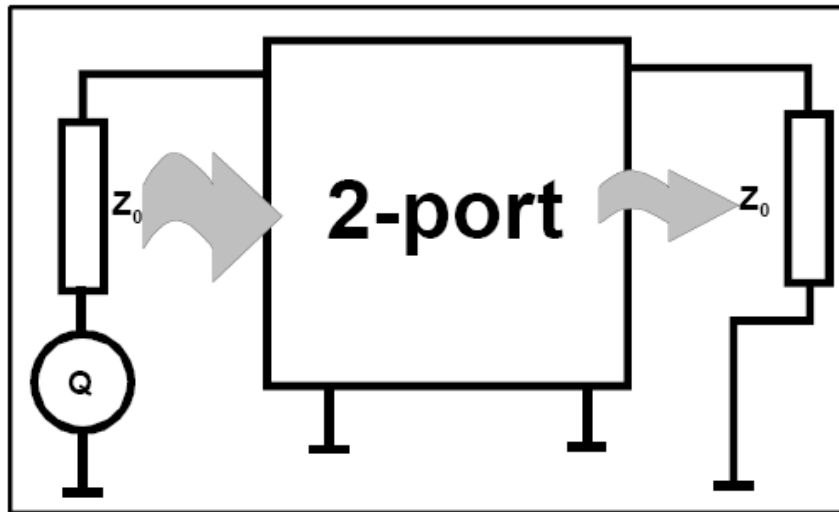
Output reflection coefficient S_{22}



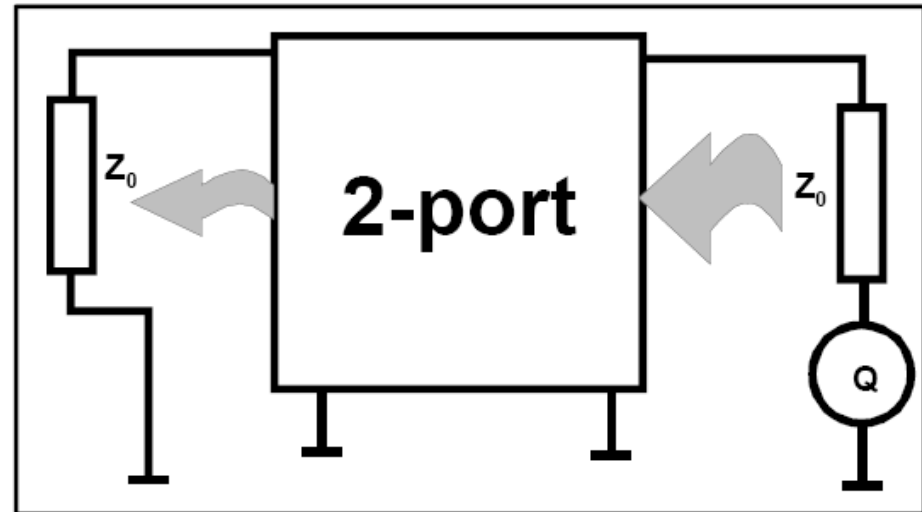
$$\underline{s}_{22} = \frac{\underline{b}_2}{\underline{a}_2} \Big|_{\underline{a}_1=0}$$

5.1 网络分析基础

Forward transmission coefficient S_{21}



Backward transmission coefficient S_{12}



$$\underline{s}_{21} = \left. \frac{\underline{b}_2}{\underline{a}_1} \right|_{\underline{a}_2=0}$$

$$\underline{s}_{12} = \left. \frac{\underline{b}_1}{\underline{a}_2} \right|_{\underline{a}_1=0}$$

5.2 网络分析仪基础

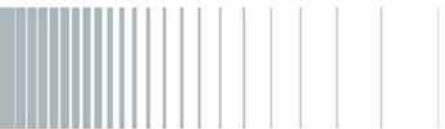
5.2 网络分析仪基础

5.2.1 网络分析仪基本结构

5.2.2 网络分析仪校准原理

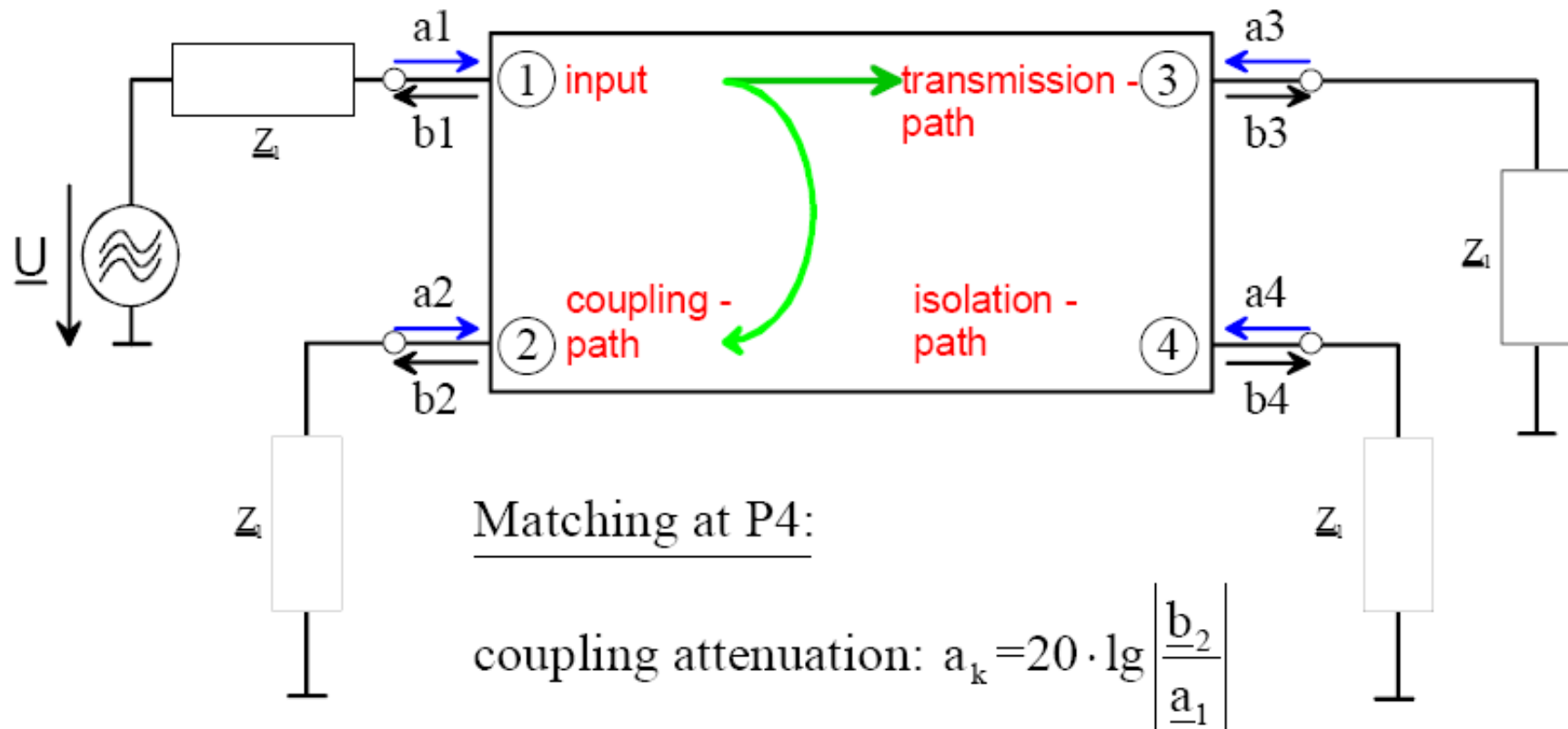
5.2.3 网络分析结果显示

5.2.4 网络分析仪的应用

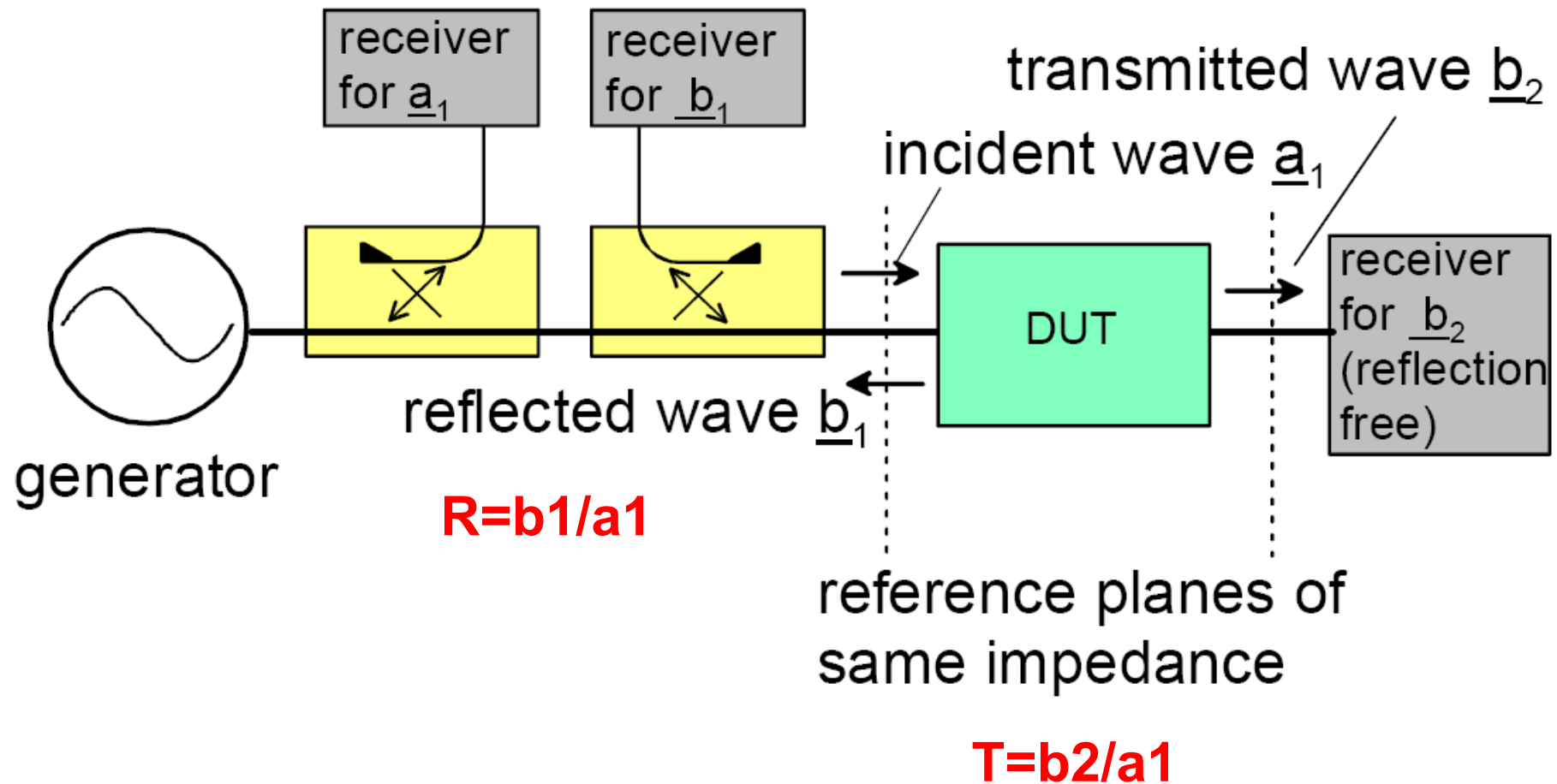


5.2.1 网络分析仪基本结构

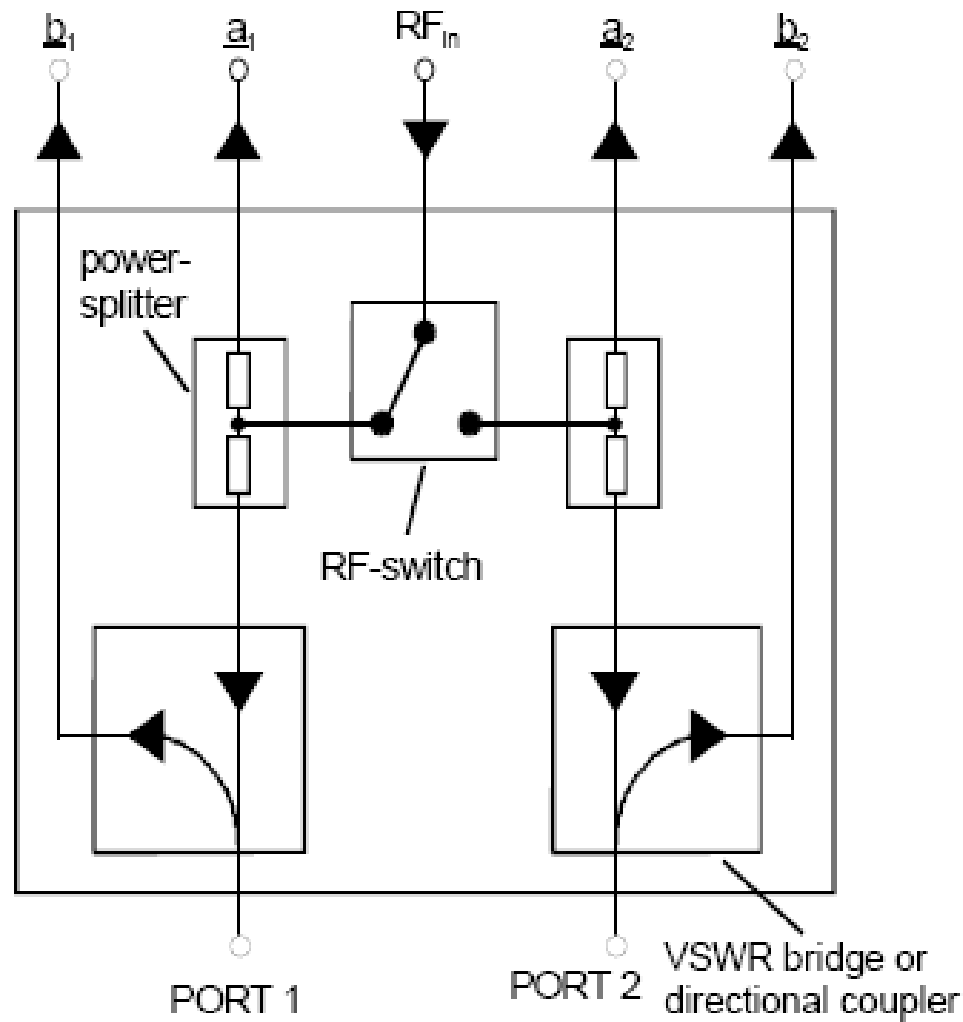
4端口双定向耦合器



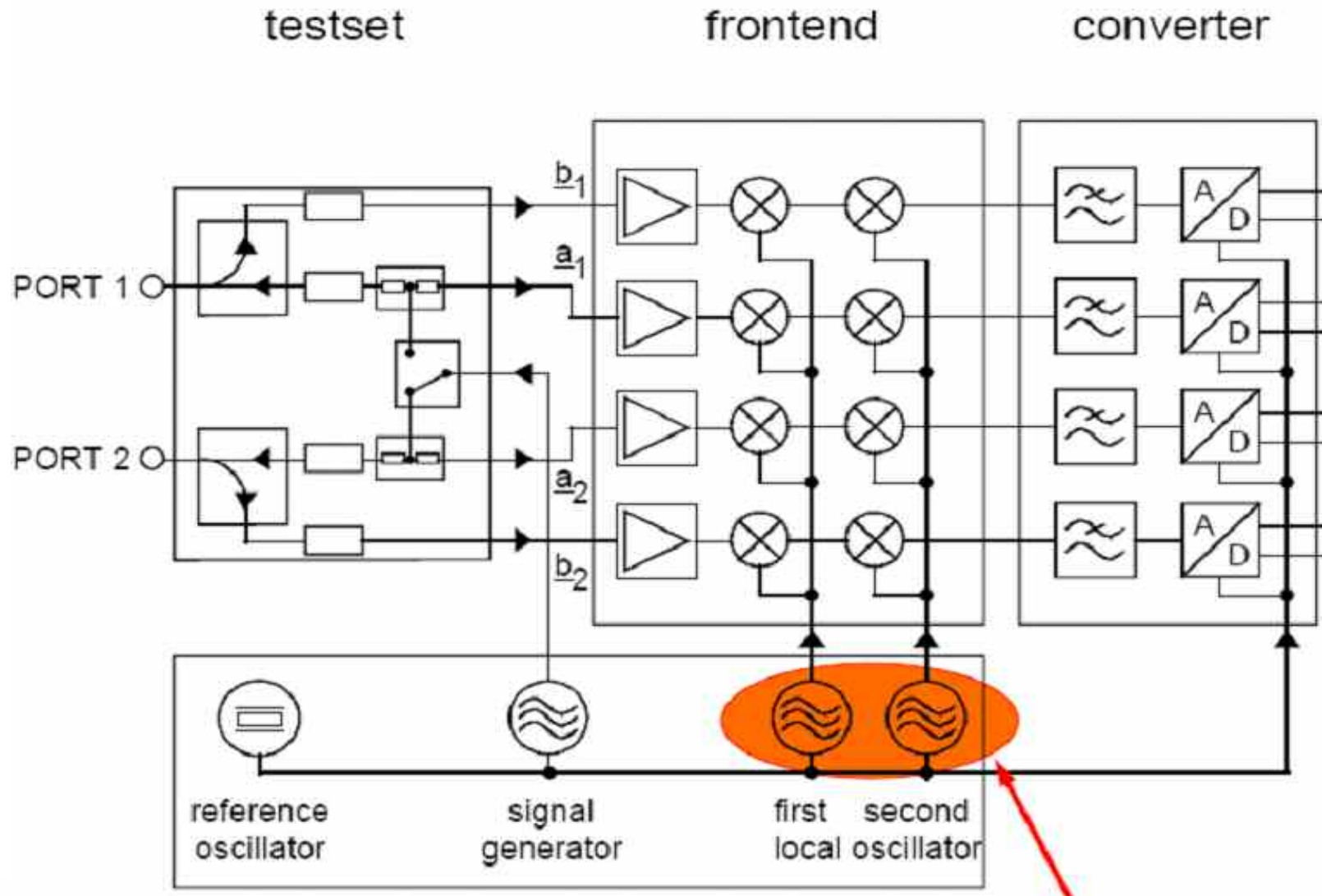
5.2.1 网络分析仪基本结构



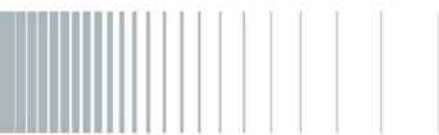
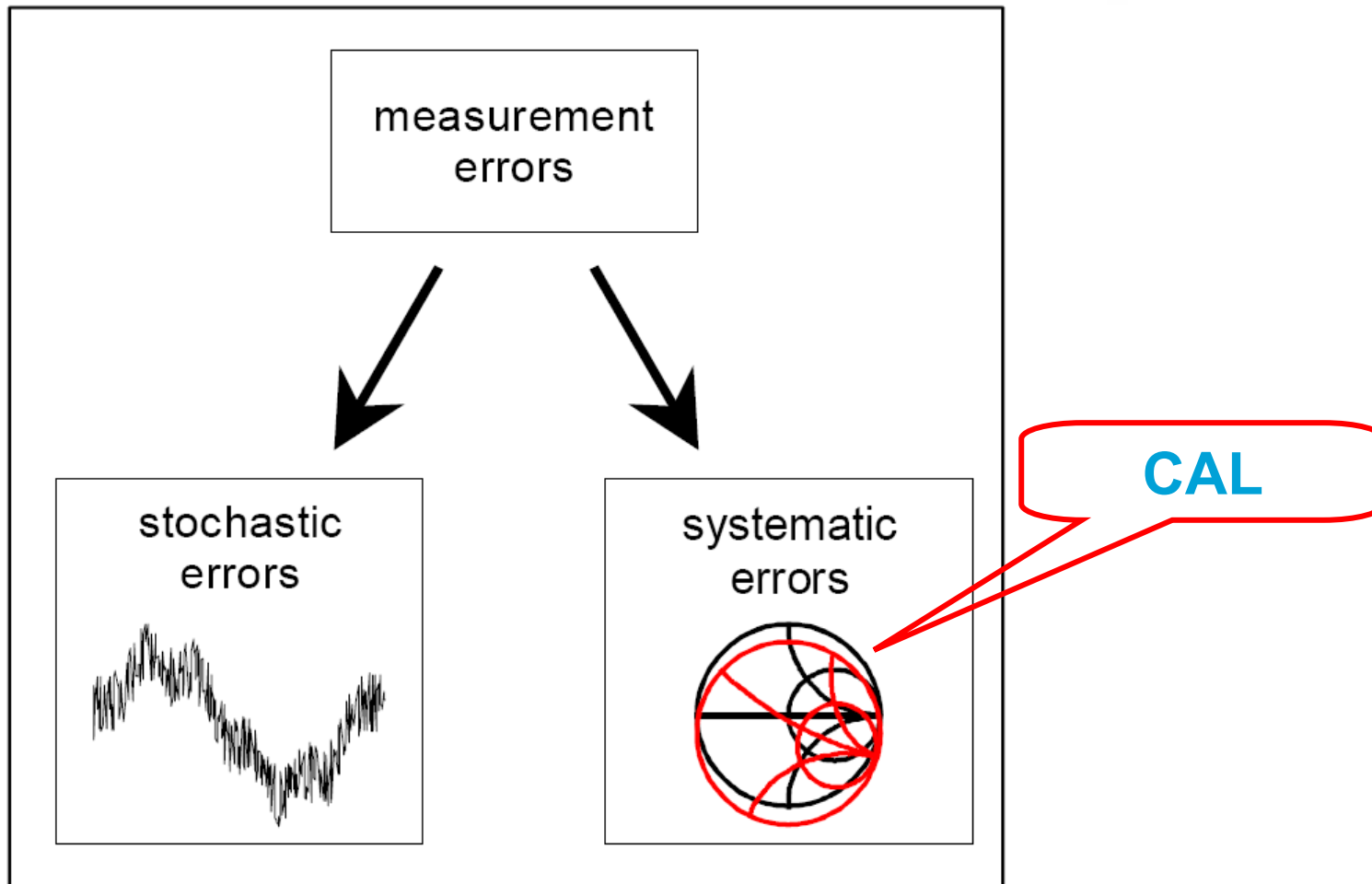
5.2.1 网络分析仪基本结构



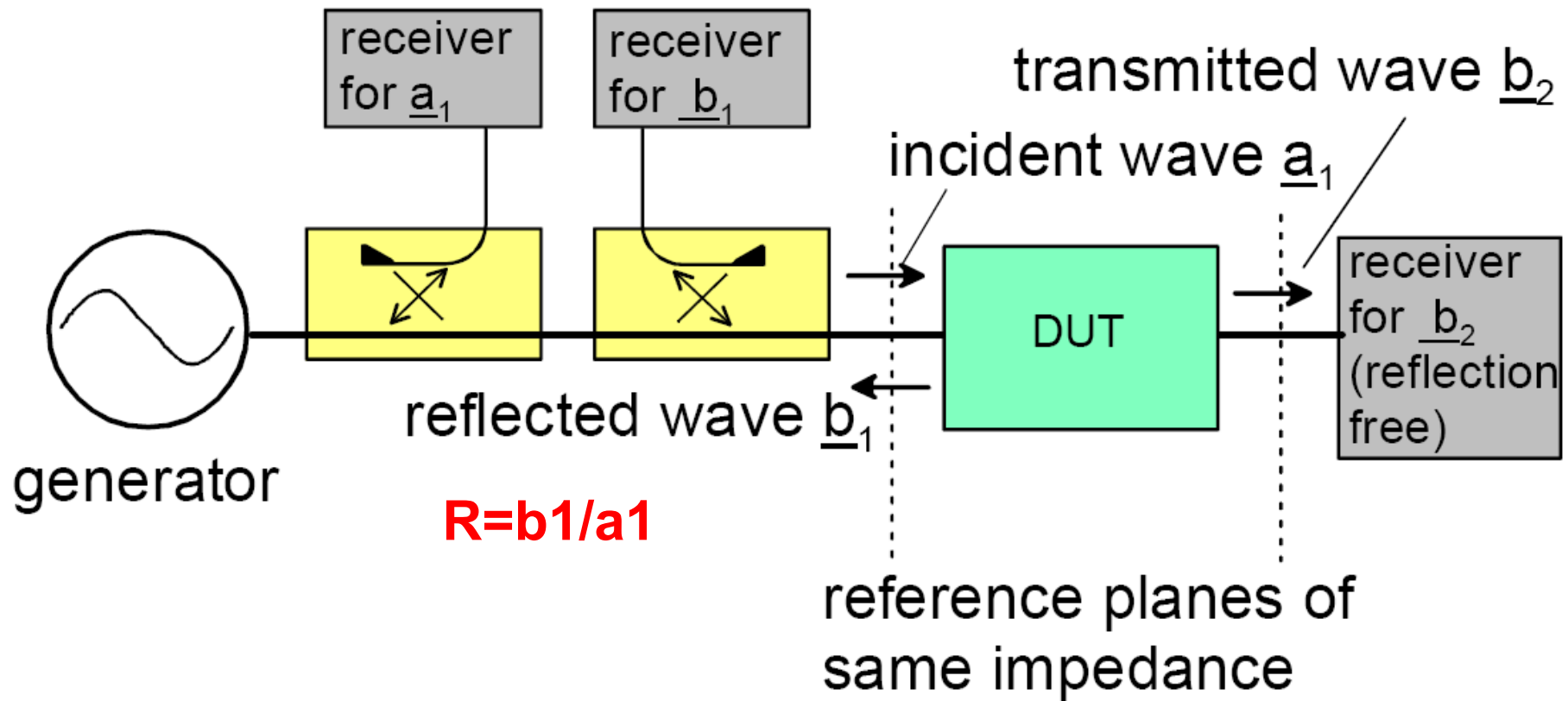
5.2.1 网络分析仪基本结构



5.2.2 网络分析仪校准原理



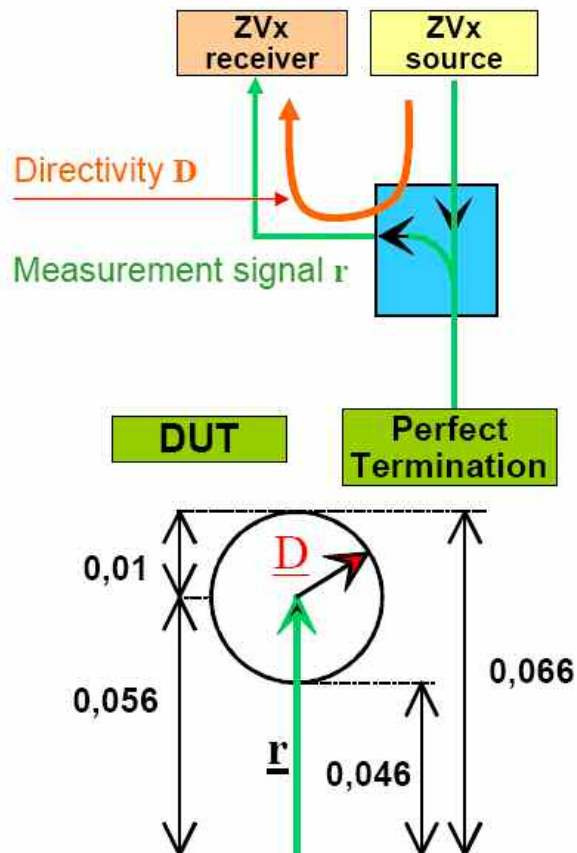
5.2.2 网络分析仪校准原理



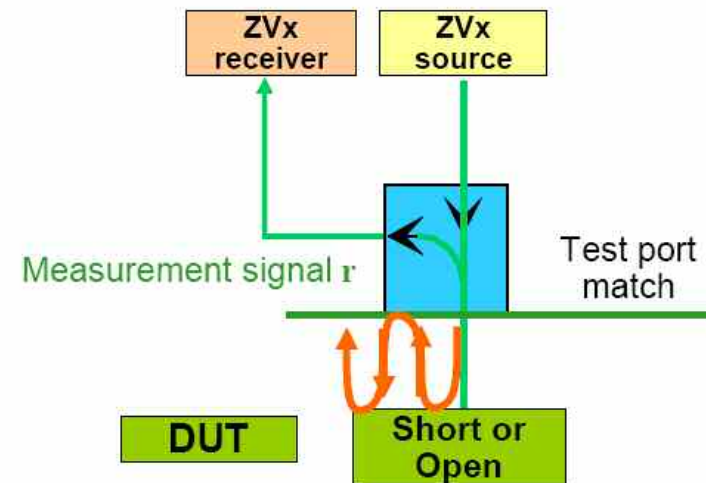
再看一遍！

5.2.2 网络分析仪校准原理—反射OSM校准

1. Error due to Directivity



2. Error due to Test Port Match



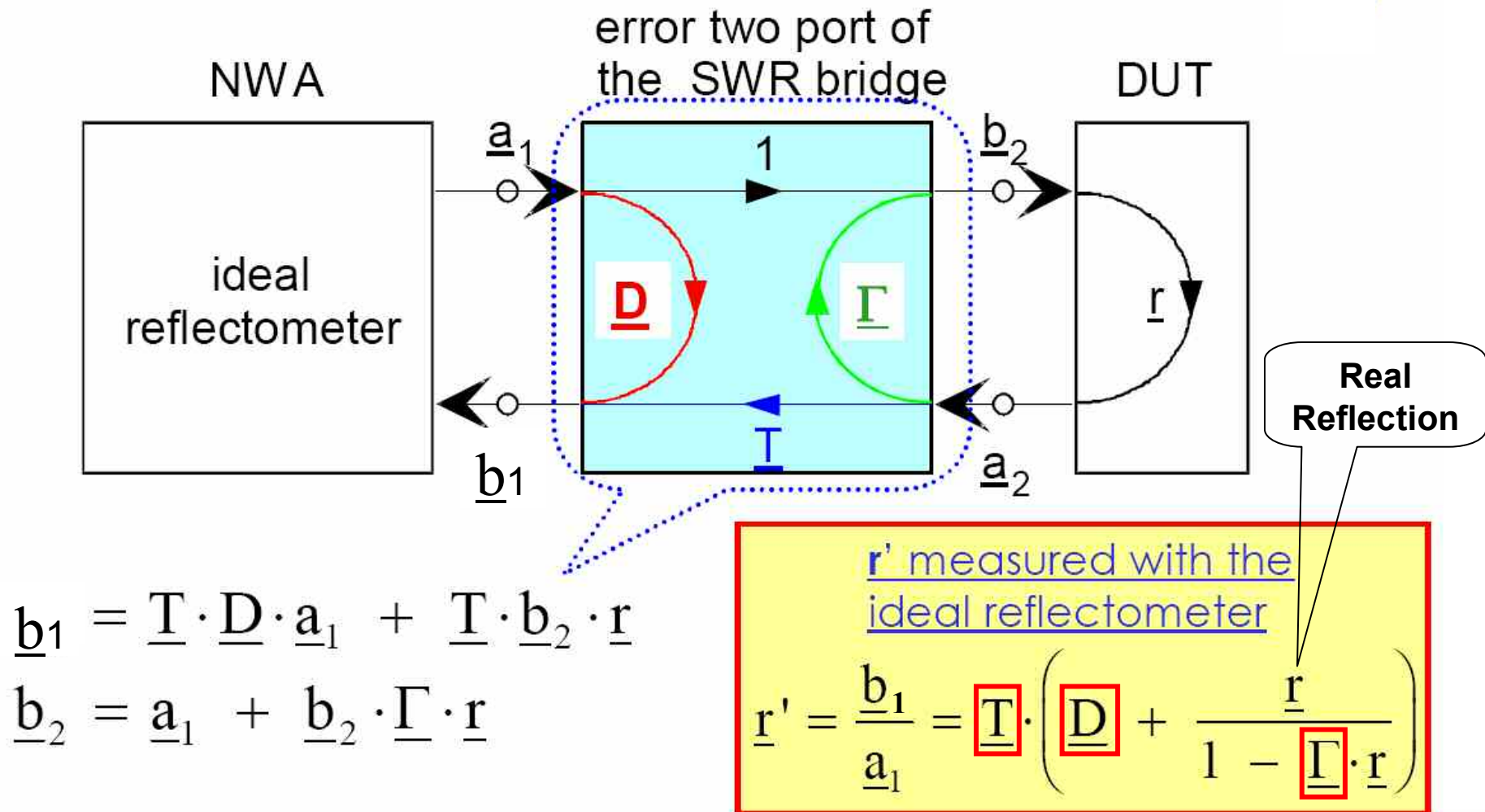
„Full One-Port“ calibration (OSM)

3 error terms:

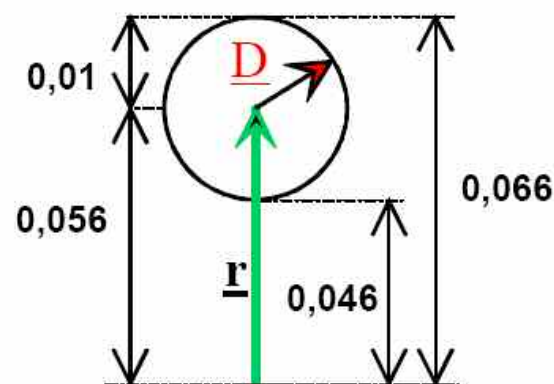
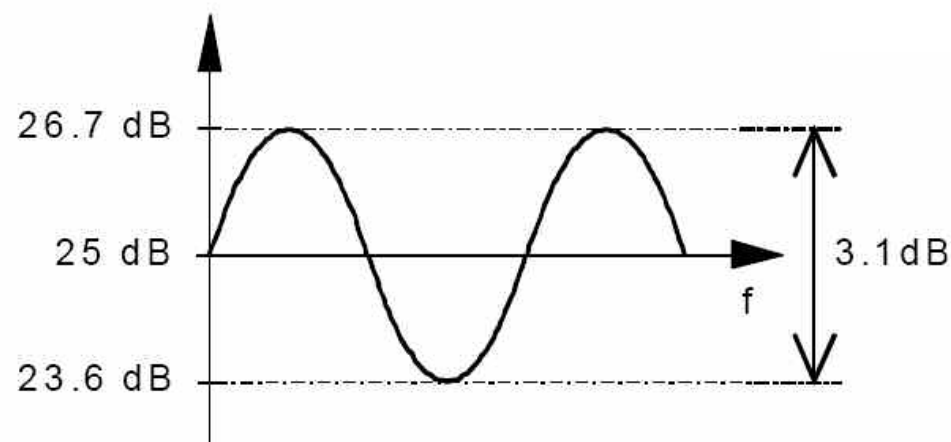
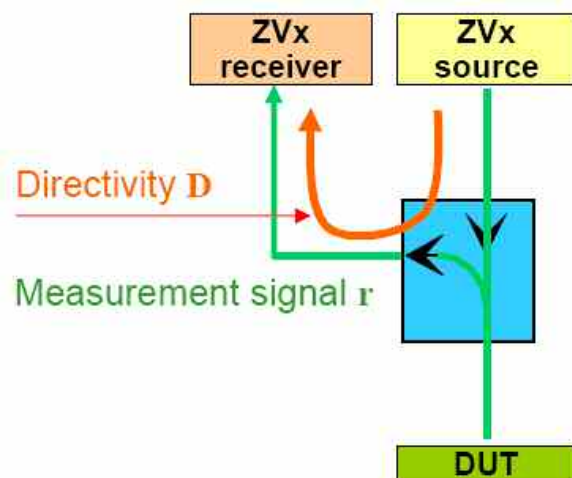
- ◆ $D :=$ Directivity
- ◆ $T :=$ Transmission loss
- ◆ $\Gamma :=$ Port Match

5.2.2 网络分析仪校准原理—反射

OSM校准误差修正公式



5.2.2 网络分析仪校准原理—方向性详解



DUT return loss: -25 dB ($\text{:=} 0,056$)

Directivity of bridge: 40 dB ($\text{:=} 0,01$)

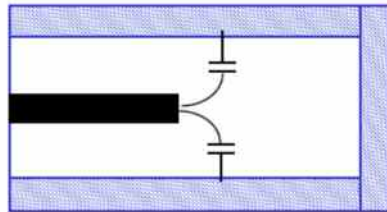
Min. value: $0.056 - 0.01 = 0.046$ (-26.7 dB)

Max. value: $0.056 + 0.01 = 0.066$ (-23.6 dB)

Measurement uncertainty: -1.7 dB to 1.4 dB

5.2.2 网络分析仪校准原理—校准件介绍

O

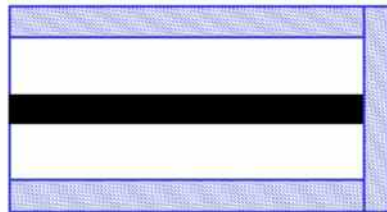


O = Open

Above approx. 100MHz different from ideal standard → closed design

Take a look: elec. length
 capacitances
 losses

S

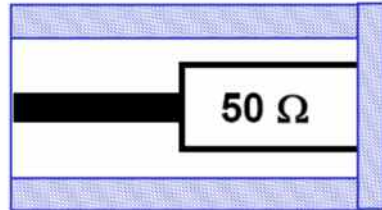


S = Short

In Coax-techniques good designs are possible.

Take a look : elec. length
 inductivity
 losses

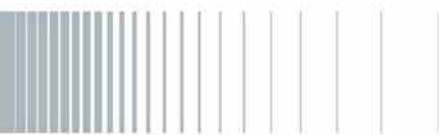
M



M = Match

(50 Ω)

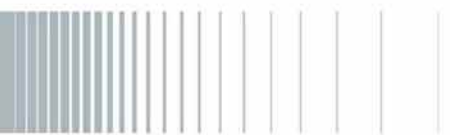
THROUGH-connection
Length: 400mm, $Z_0=50\Omega$



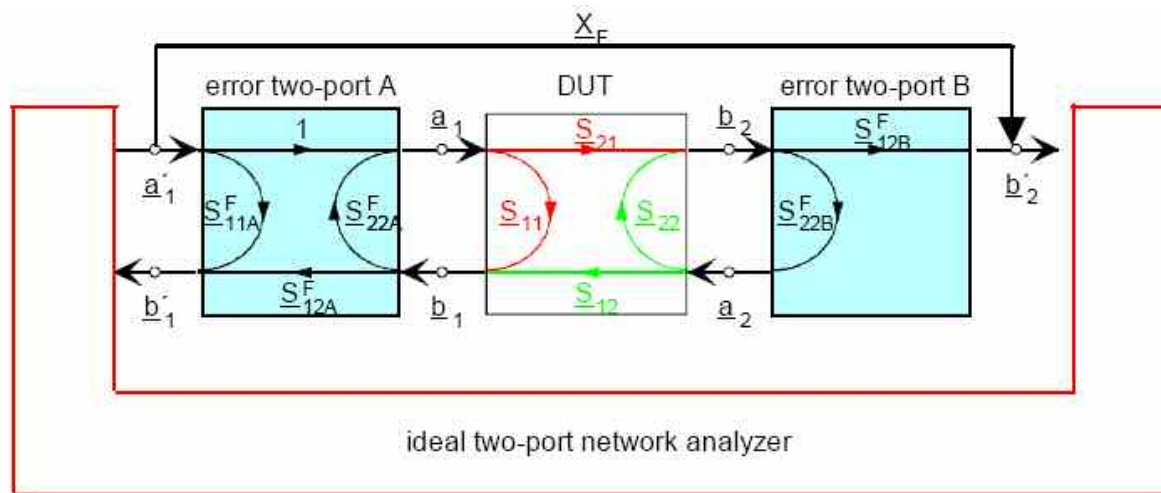
5.2.2 网络分析仪校准原理—如何得到误差项

$$\left\{ \begin{array}{l} \underline{r}' = \frac{\underline{b}_1}{\underline{a}_1} = \underline{T} \cdot \left(\underline{D} + \frac{\underline{r}}{1 - \underline{S} \cdot \underline{r}} \right) \quad \text{Open } r=1 \\ \underline{r}' = \frac{\underline{b}_1}{\underline{a}_1} = \underline{T} \cdot \left(\underline{D} + \frac{\underline{r}}{1 - \underline{S} \cdot \underline{r}} \right) \quad \text{Short } r=-1 \\ \underline{r}' = \frac{\underline{b}_1}{\underline{a}_1} = \underline{T} \cdot \left(\underline{D} + \frac{\underline{r}}{1 - \underline{S} \cdot \underline{r}} \right) \quad \text{Match } r=0 \end{array} \right.$$

➤ 3 equations with 3 variables (D, I, S)



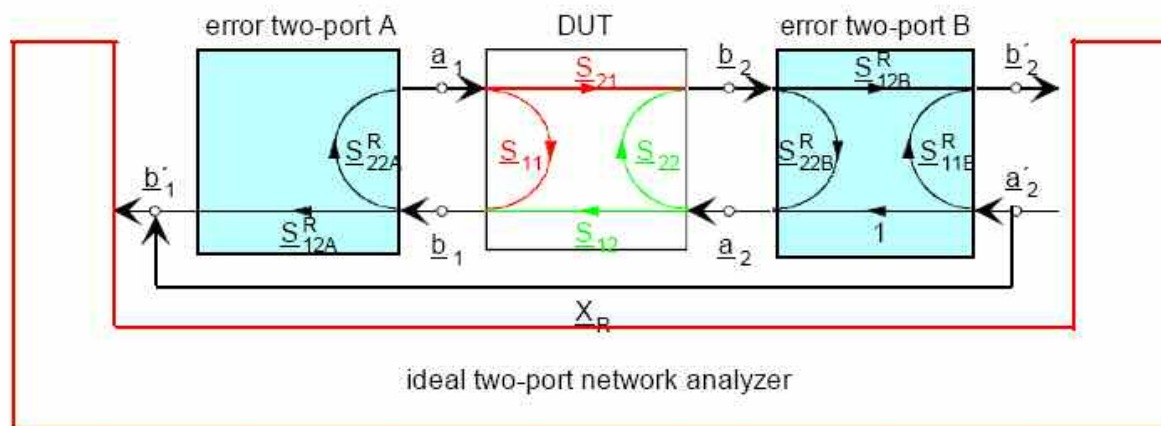
5.2.2 网络分析仪校准原理—全二端口TOSM



增加修正误差项:

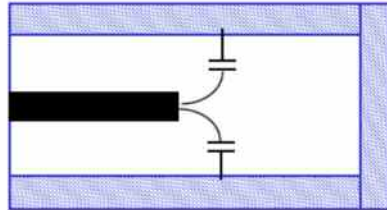
1. 传输频响
2. 负载端匹配
3. 隔离

Reverse measurement



5.2.2 网络分析仪校准原理—校准件介绍

O

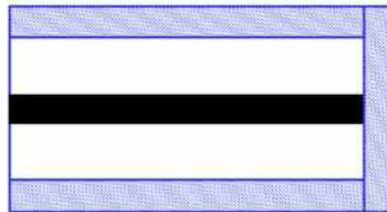


O = Open

Above approx. 100MHz different from ideal standard → closed design

Take a look: elec. length
 capacitances
 losses

S

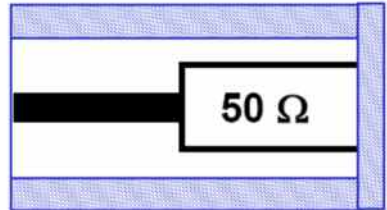


S = Short

In Coax-techniques good designs are possible.

Take a look : elec. length
 inductivity
 losses

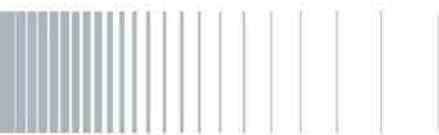
M



M = Match

(50 Ω)

THROUGH-connection
Length: 400mm, $Z_0=50\Omega$



5.2.2 网络分析仪校准原理—电子校准件

◆ Calibration Unit

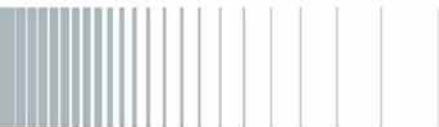
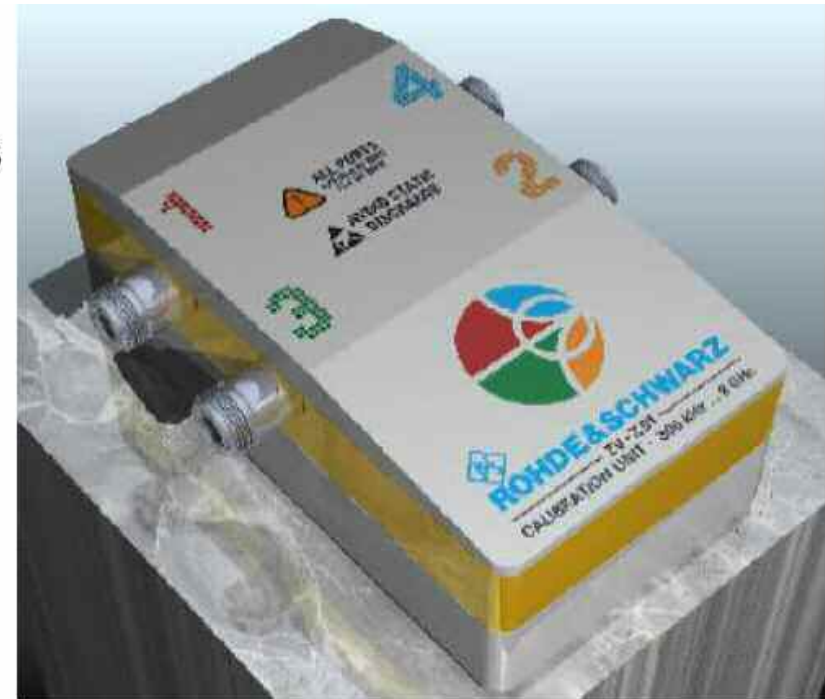
- ◆ Automated calibration for 4-port applications
- ◆ High accuracy

◆ Calibration Wizard

- ◆ Guides the user step by step through the calibration

◆ Calibration Manager

- ◆ Saves and organizes old calibrations
- ◆ Allows channels and setups to share a common calibration



5.2.2 网络分析仪校准原理—校准方法简介

Normalization

- ◆ forward, backward, forward / backward, reflection-normalization
- ◆ Correction of attenuation and test-port-match in only one term (no separate correction of test-port-match)
- ◆ fast (unidirectional) but: less accuracy

One Path Two Port (OSM + normalization)

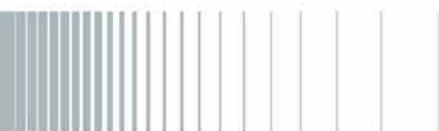
- ◆ For unidirectional test-setups (e.g. using additional pre-amplifier)

Full One-Port Calibration (OSM)

- ◆ Only corrected reflection-measurements possible (S_{11} , S_{22})

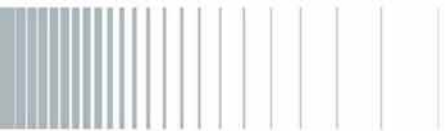
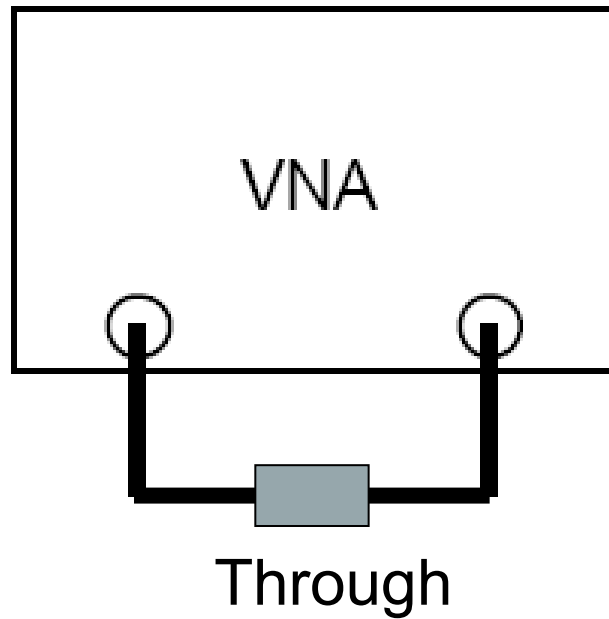
Full Two-Port Calibration

- ◆ Bi-directional, correction of all S-Parameters
- ◆ Measurements for all S-Parameters of a 2-port possible free of errors

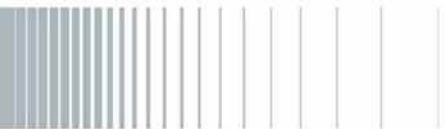
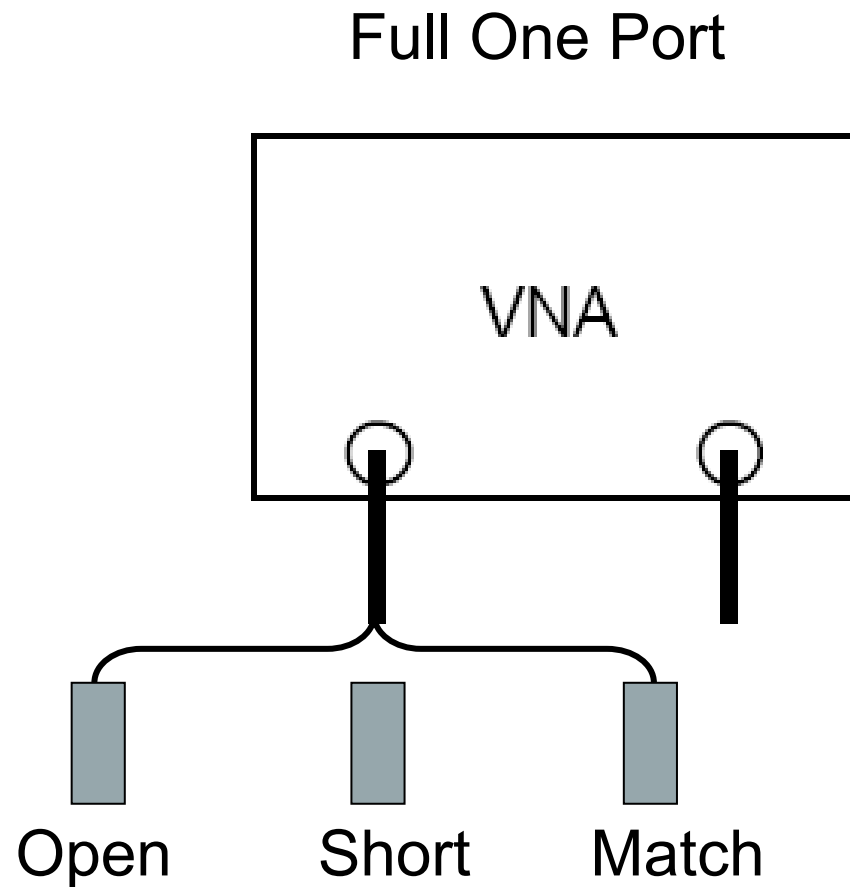


5.2.2 网络分析仪校准原理—校准流程

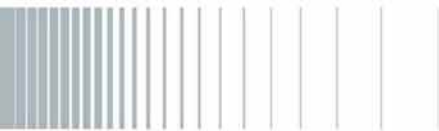
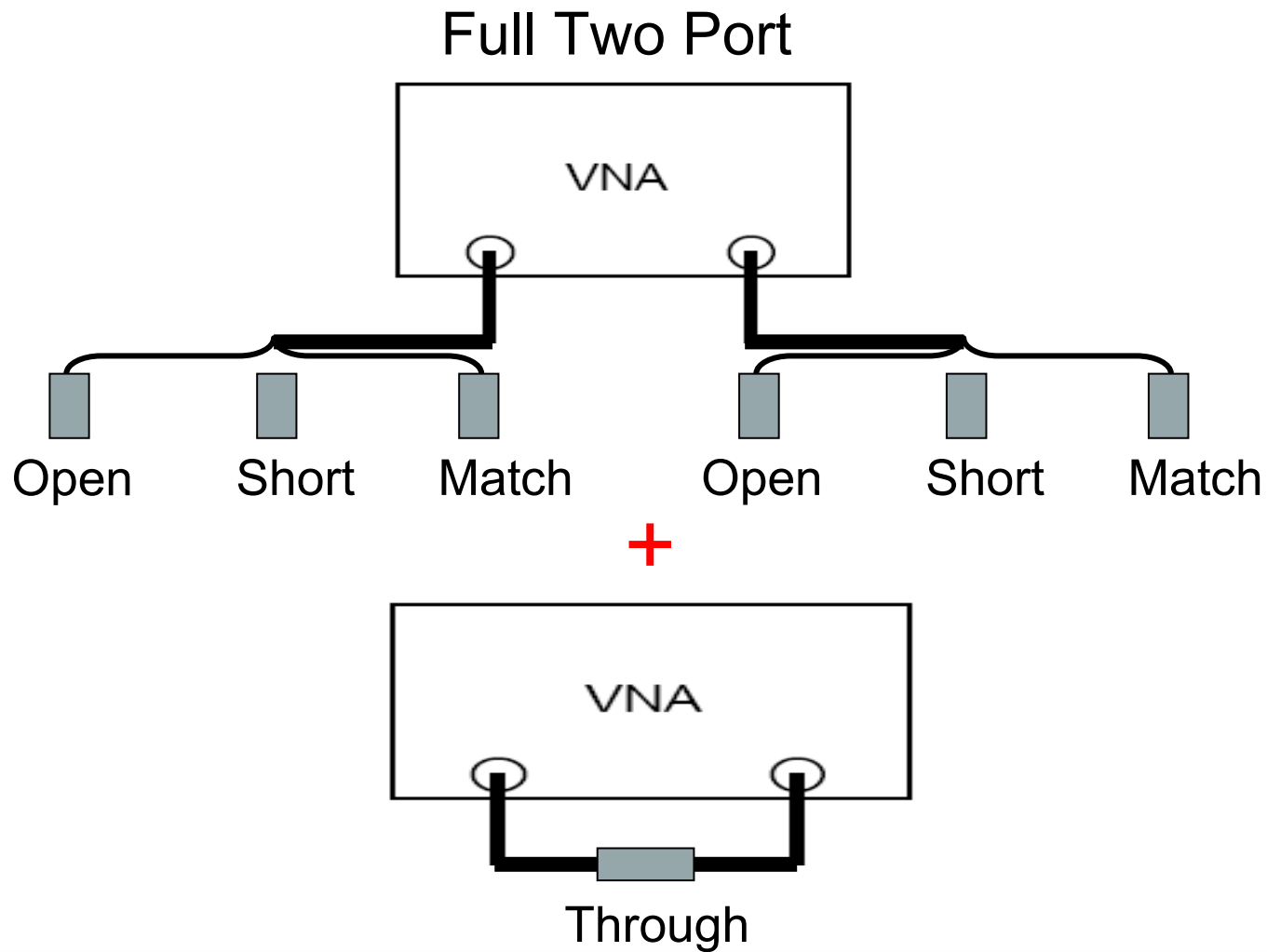
Transmission Normalization



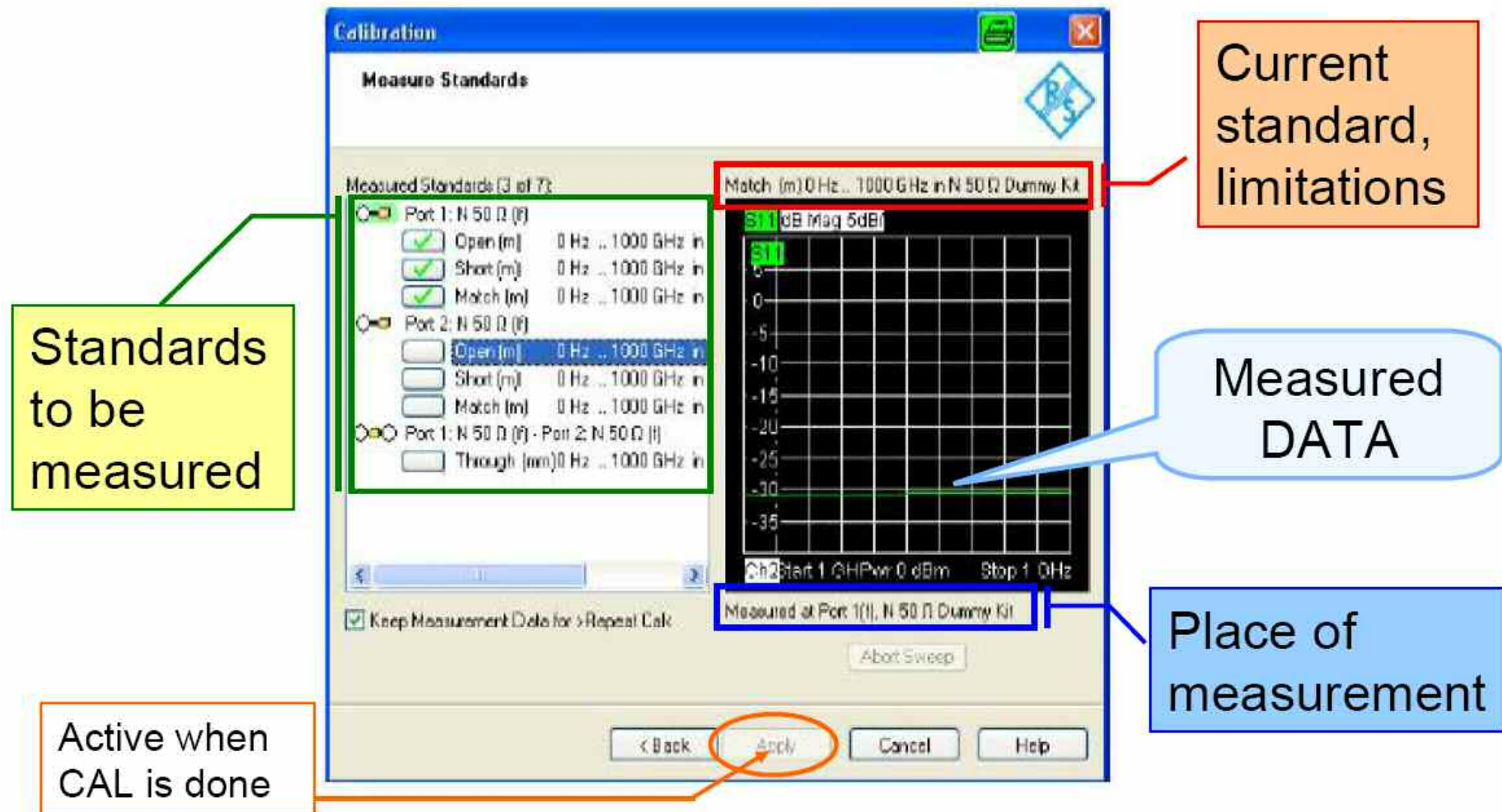
5.2.2 网络分析仪校准原理—校准流程



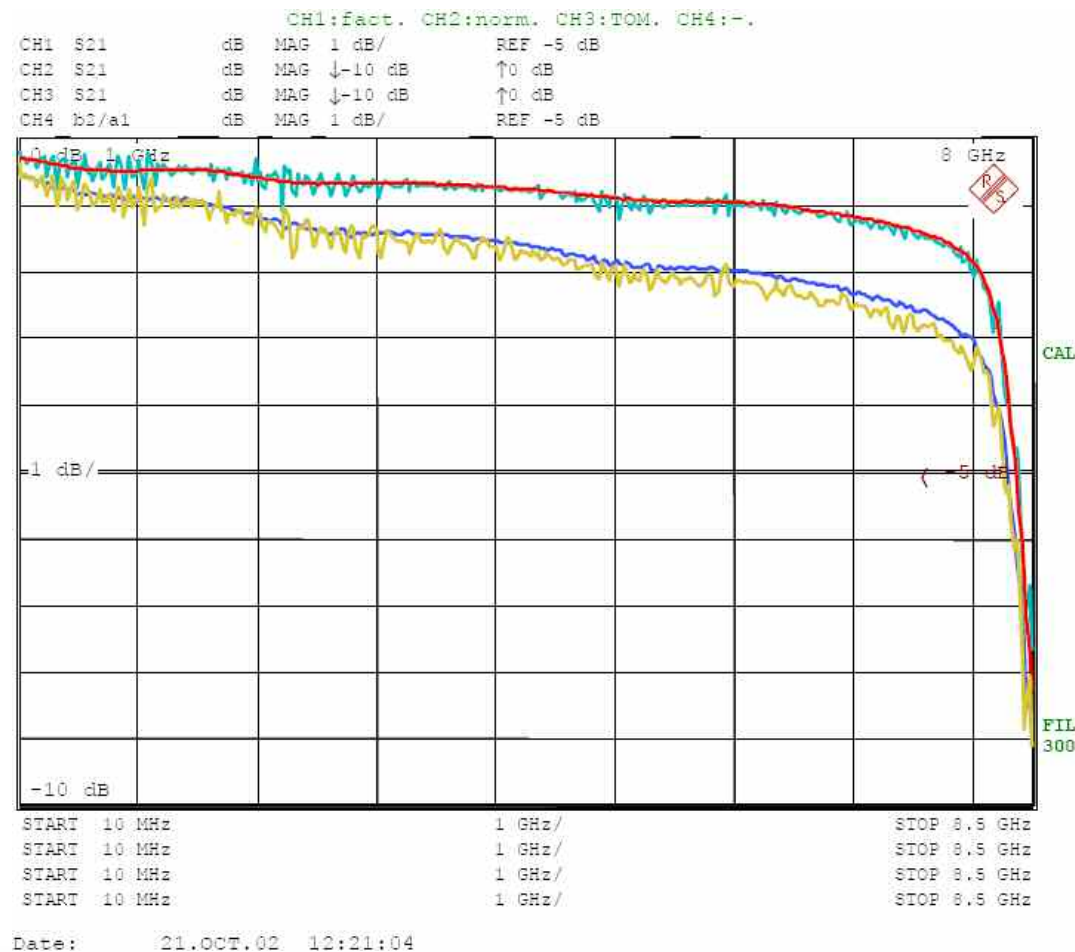
5.2.2 网络分析仪校准原理—校准流程



5.2.2 网络分析仪校准原理—校准界面简介



5.2.2 网络分析仪校准原理—不同校准方式带来的影响



Channel 1(blue):

Measurement of S_{21} using the factory calibration.

Channel 2(green):

Measurement of S_{21} using a normalization.

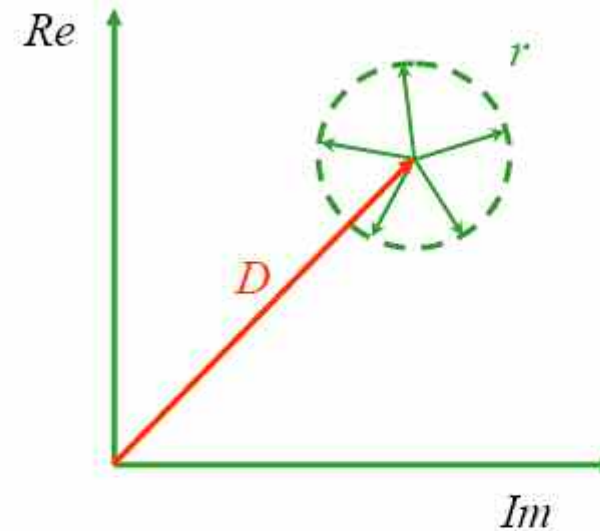
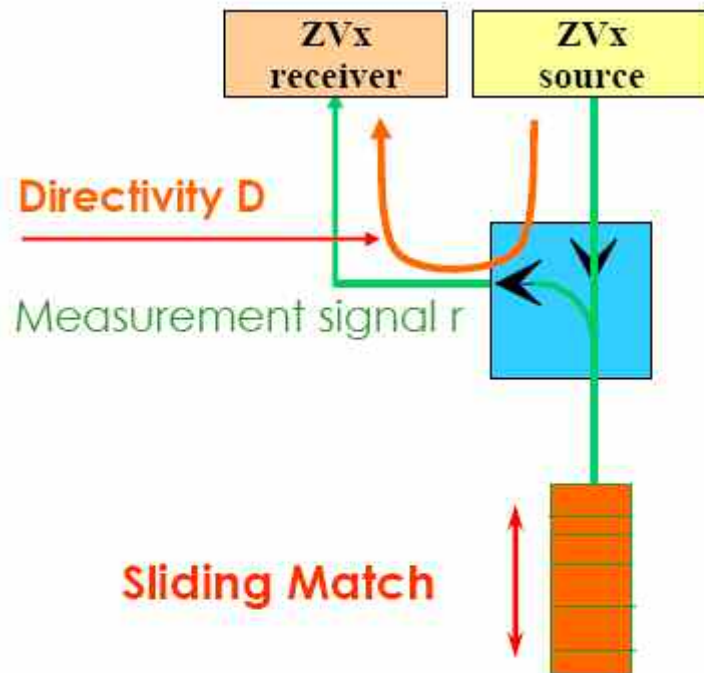
Channel 3(red):

Measurement of S_{21} using a Full Two-Port calibration.

Channel 4(yellow):

Measurement of b_2 / a_1 of the filter.

5.2.2 网络分析仪校准原理—滑动负载



- ☺ Increased effective directivity
- ☺ Increased amplitude and phase accuracy
- ☹ Difficult to handle



5.2.3 网络分析结果显示—对数幅度

Normally logarithmic values of S-parameters are used:

Return-loss:

$$RL = -20 \cdot \log \left| \underline{r} \right| = -20 \cdot \log \left| \underline{S_{11}} \right|$$

Insertion-loss:

$$IL = -20 \cdot \log \left| \underline{t} \right| = -20 \cdot \log \left| \underline{S_{21}} \right|$$



5.2.3 网络分析结果显示—反射显示方式换算

$$\underline{r} = \frac{\underline{b}}{\underline{a}} = \frac{\underline{U}_{refl}}{\underline{U}_{for}} = \frac{\underline{Z} - \underline{Z}_0}{\underline{Z} + \underline{Z}_0}$$

1. 特性阻抗与反射系数

$$\underline{r} = 1 \quad \text{total reflection by open} \quad \underline{Z} = \infty$$

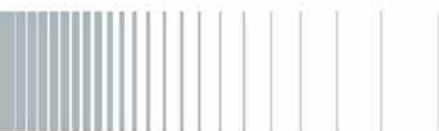
$$\underline{r} = -1 \quad \text{total reflection by short} \quad \underline{Z} = 0$$

2. 反射系数与驻波比

$$s = \frac{U_{\max}}{U_{\min}} = \frac{1 + |\underline{r}|}{1 - |\underline{r}|} \quad \text{where } 1 \leq s \leq \infty \text{ and } |\underline{r}| \leq +1$$

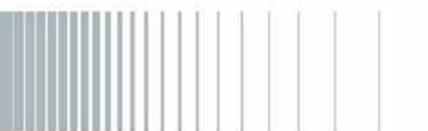
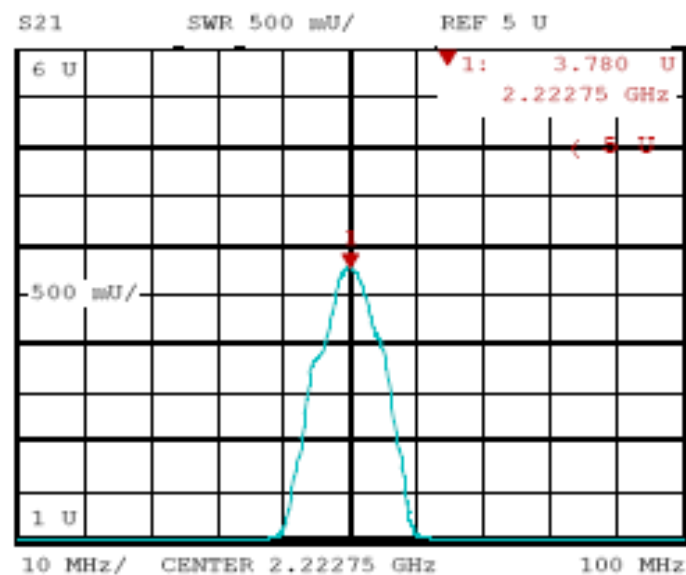
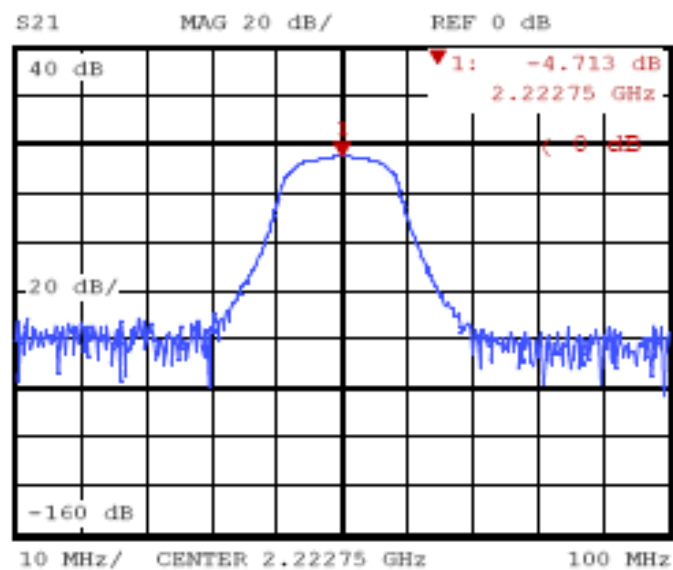
3. 反射系数与回波损耗

$$a_r = -20 \lg(|\underline{r}|)$$



5.2.3 网络分析结果显示

— 对数幅度/线性幅度



5.2.3 网络分析结果显示

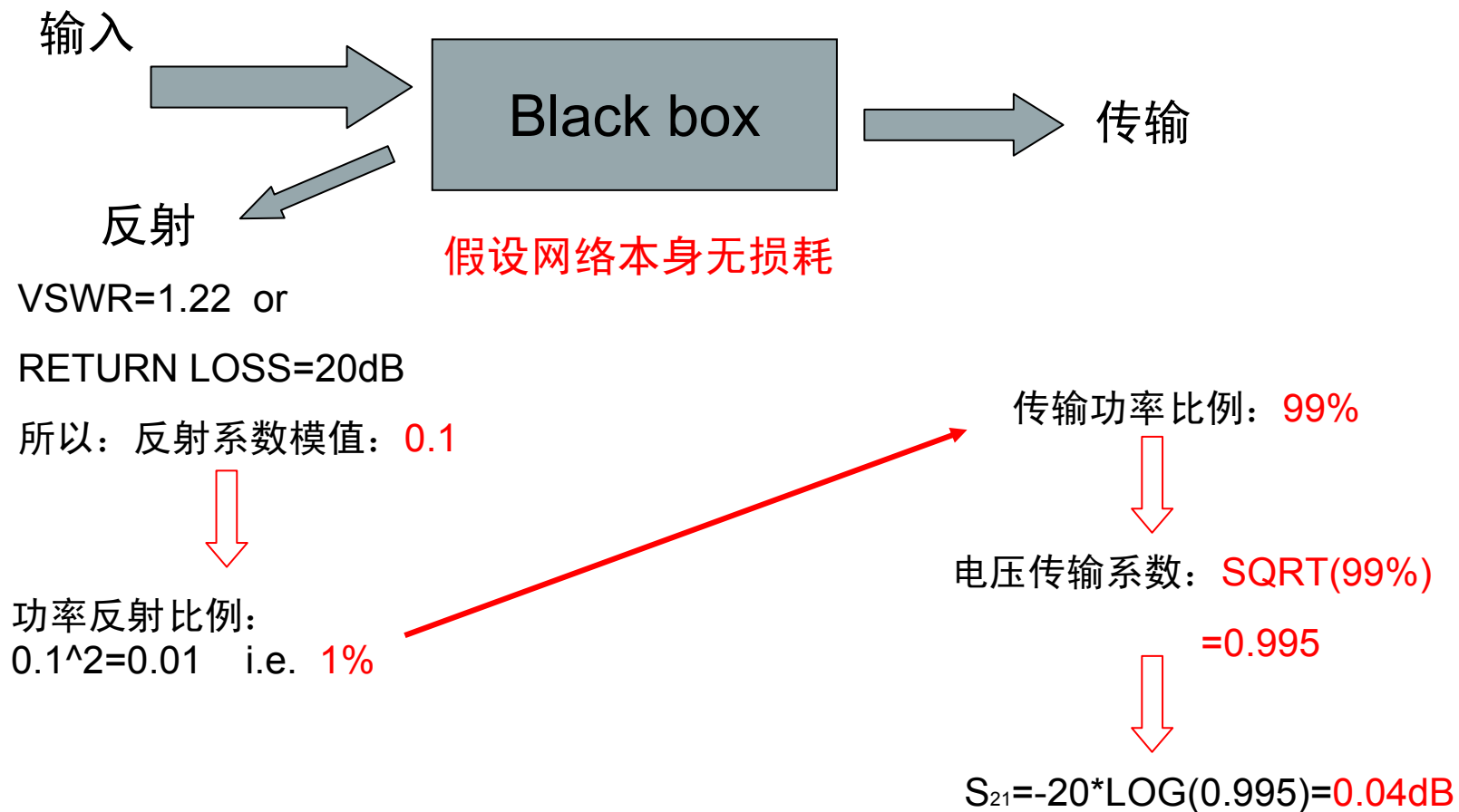
对数单位换算举例

Attenuation	S_{21}	Transmitted power	Typical example
0dB	1	100%	Loss-less-line
3dB	0,708	50%	Loss-less-divider 1 into 2
6dB	0,501	25%	Loss-less-divider 1 into 4
10dB	0,316	10%	Attenuator
20dB	0,1	1%	Typical coupling attenuation

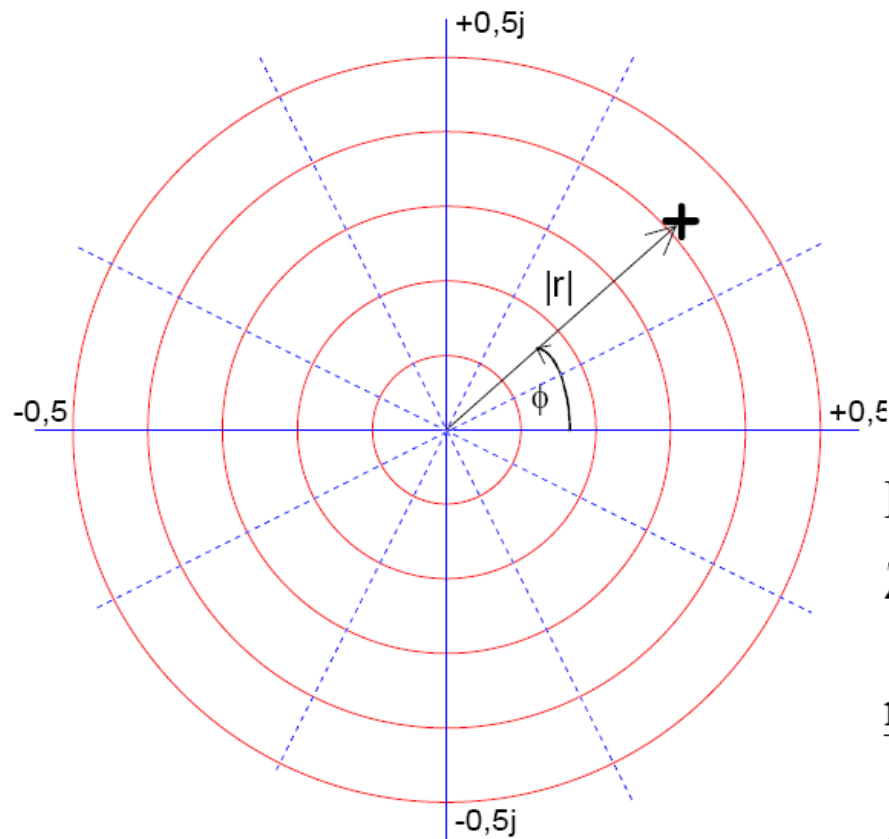
VOLTAGE

POWER

5.2.3 网络分析结果显示—测量结果评估



5.2.3 网络分析结果显示—极坐标

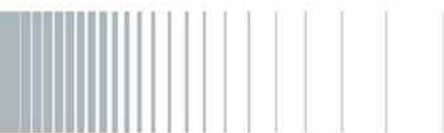


Reflection – coefficient :

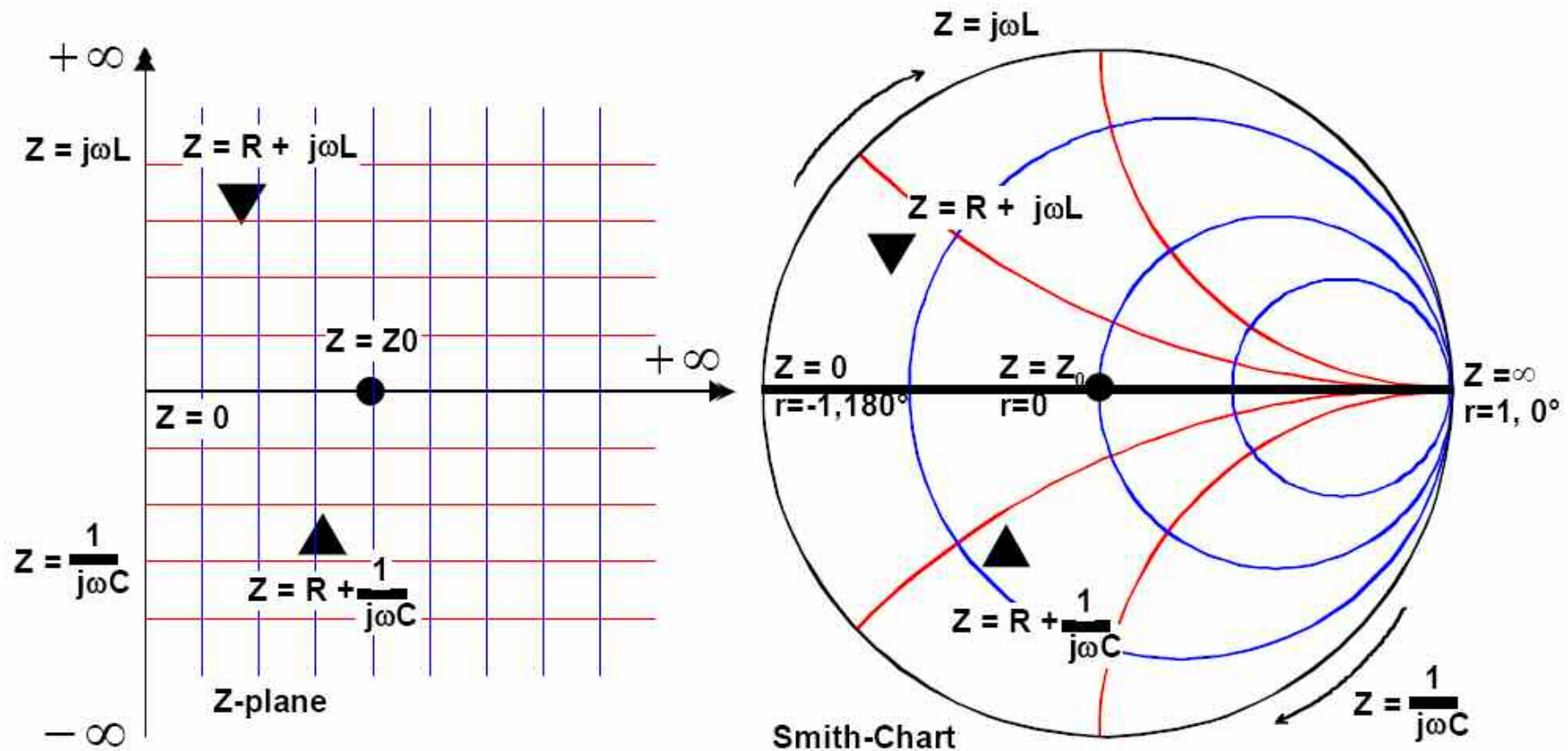
$$Z_L = 50\Omega$$

$$\underline{r} = \frac{Z - Z_L}{Z + Z_L} = \frac{(75 + j50)\Omega - 50\Omega}{(75 + j50)\Omega + 50\Omega}$$

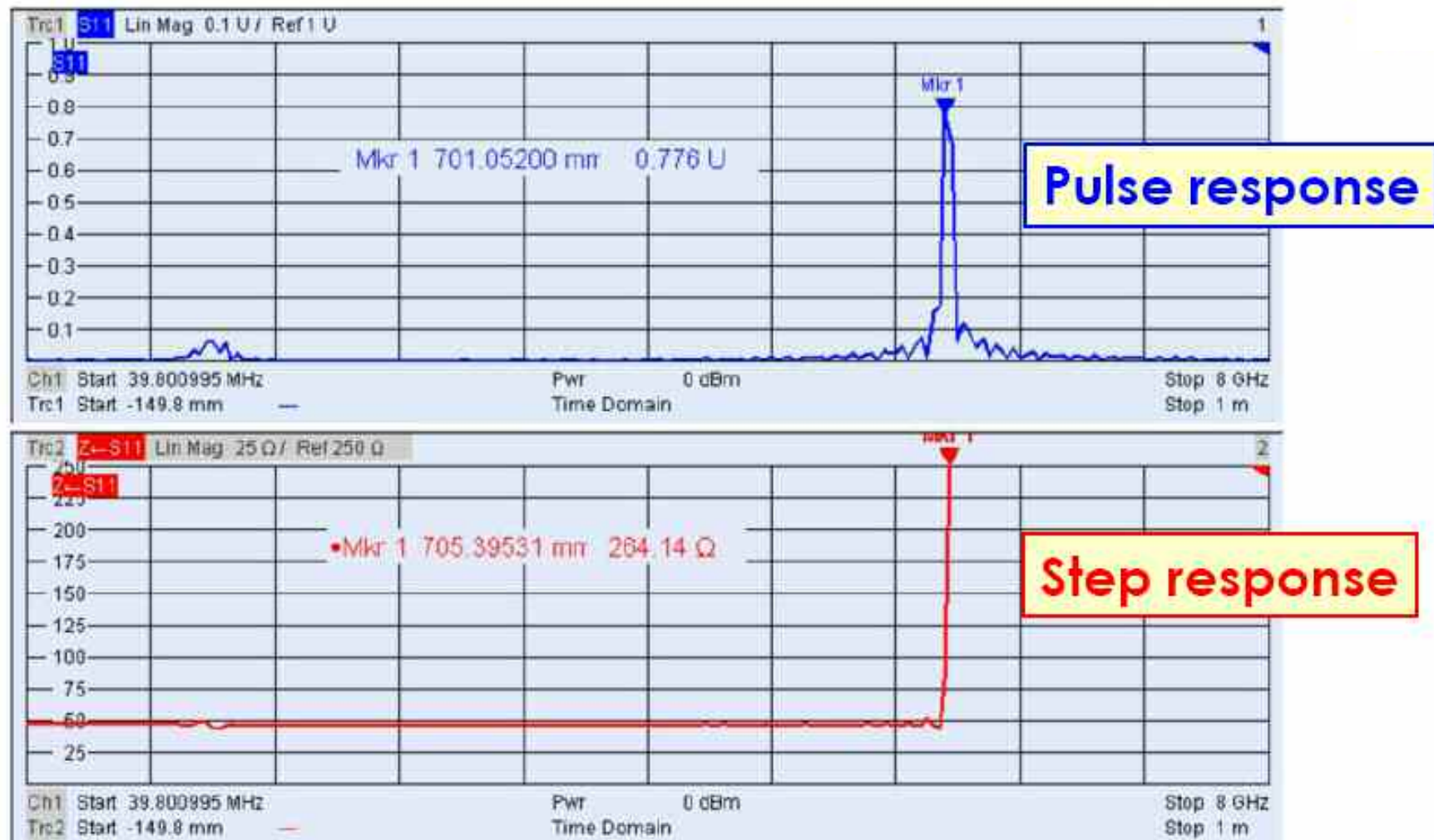
$$\underline{r} = 0,415 \cdot e^{j41,6^\circ}$$



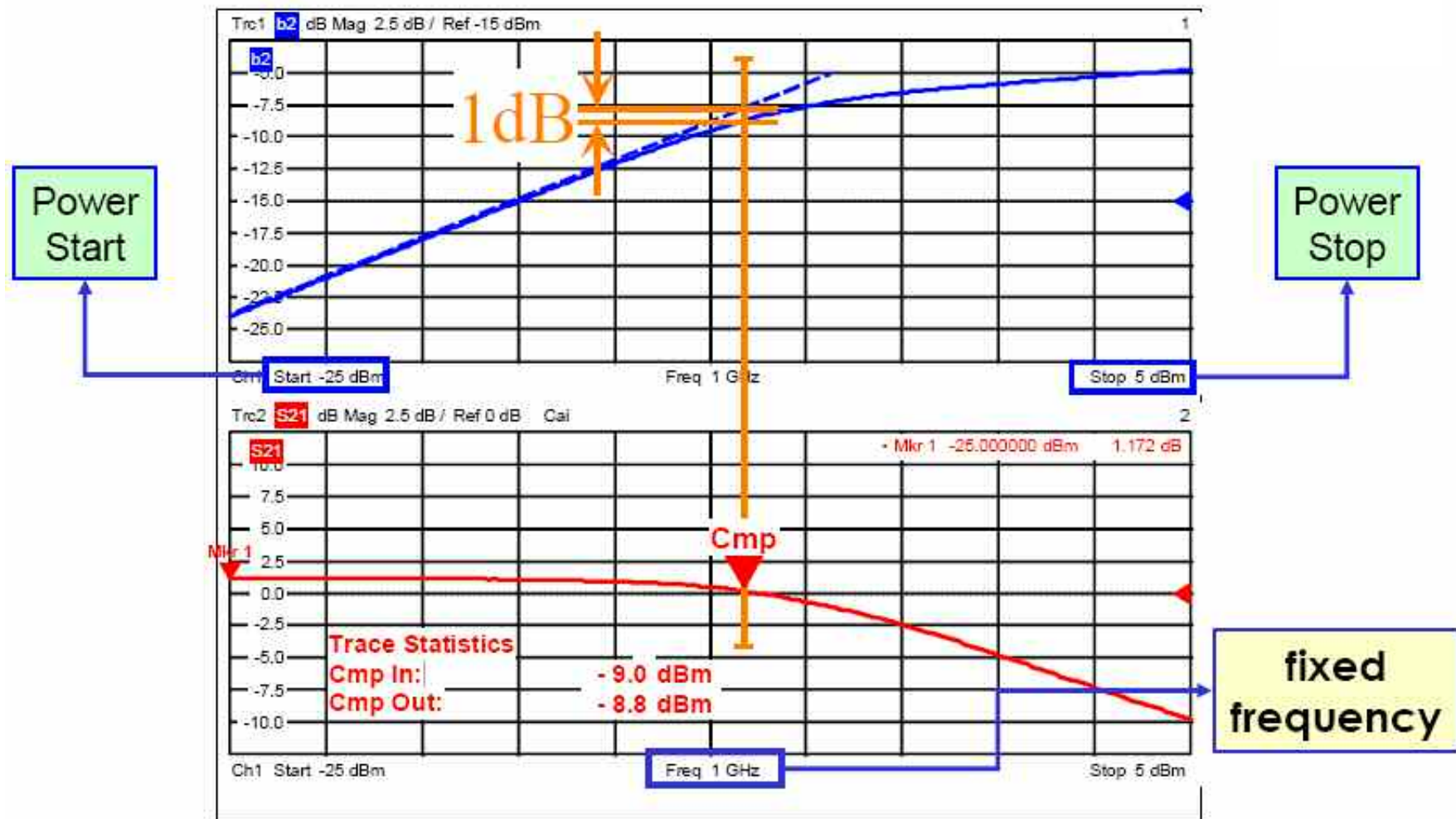
5.2.3 网络分析结果显示—SMITH CHART



5.2.3 网络分析结果显示—时域显示

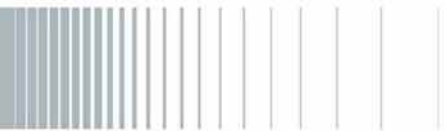


5.2.3 网络分析结果显示—功率扫描



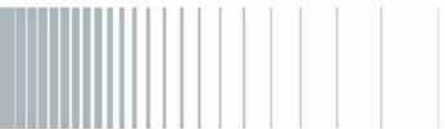
5.2.4 矢量网络分析仪——应用（1）

- S参数和脉冲S参数测试
- 衰减测试
- 驻波测试
- 互调测试
- 阻抗测试
- 时域测试
- 放大器测试
- 混频器测试+任意变频测试

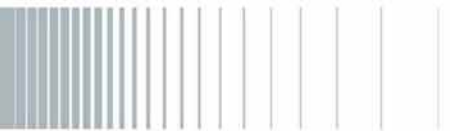


5.2.4 矢量网络分析仪——应用（2）

- 平衡器件测试
- 天线和RCS测试
- 虚拟嵌入（去嵌入）网络
- 公式编辑器（与MatLab兼容）
- 友好的用户界面，可选Windows软件操作模式或仪器按键模式
- 自动校准功能



6. R&S仪表介绍及使用安全简介



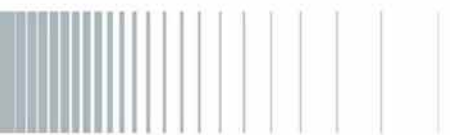
R&S仪表简介及使用安全

6.1 仪表安全使用简介

6.2 R&S 信号源系列简介

6.3 R&S 频谱分析仪系列简介

6.4 R&S 网络分析仪系列简介



6.1 频谱仪常用警告信息

❖ **UNCAL**

❖ **OVLD** — **RF**输入信号过载

➢ 增大衰减器

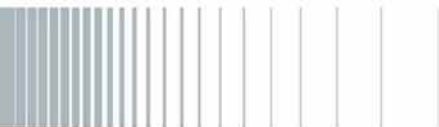
❖ **IFOVL** — 中频过载

➢ 增大参考电平

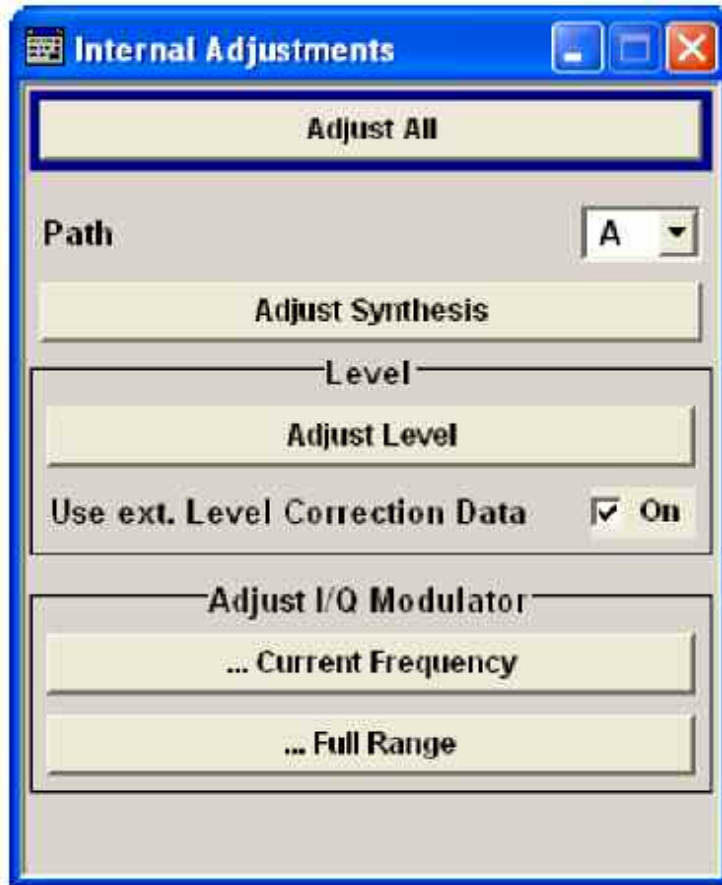
❖ **LOUNL** — 本振失锁.

❖ **EXREF** .**EXREF**. — 外参考输入无信号

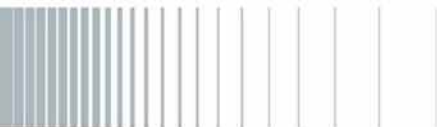
❖ **OVEN** — 需要预热



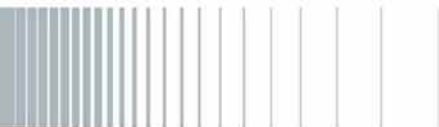
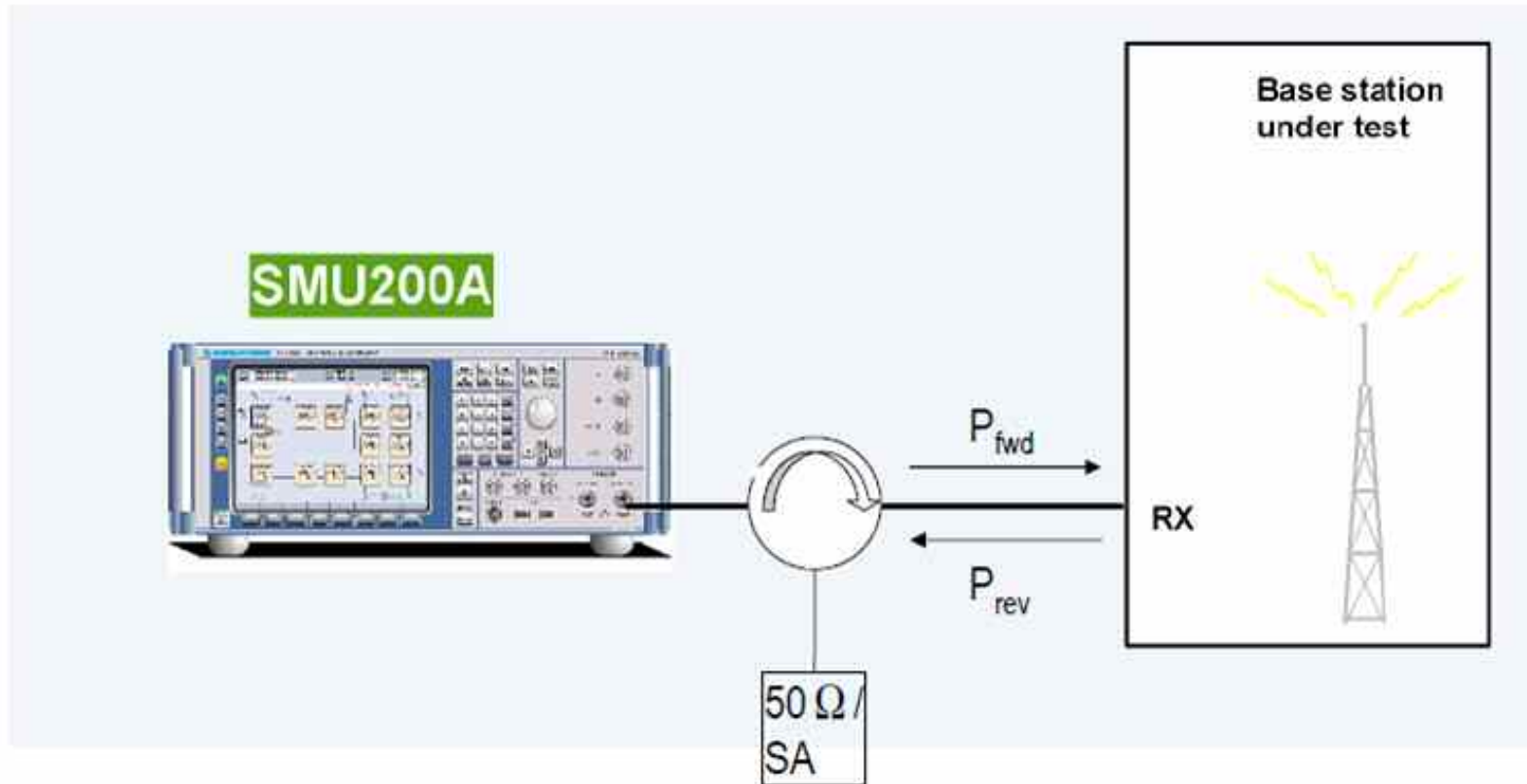
6.1 信号发生器自检和自校



10.000 000 000 0 GHz		-20.0 dBm	
Utilities/Calib			
Ref Osc	Level	MainboardB	Lfgen
Loopgain	Back ↵		



6.1 避免反向功率（基站测试）



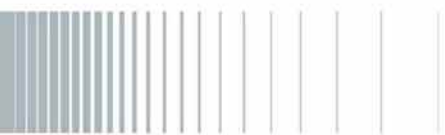
6.2 信号源系列简介

矢量信号源

- SMU
- SMJ
- SMBV
- SMATE
- AMU
- AFQ

模拟信号源

- SMF
- SMA
- SMB
- SMC



SMU200A — 矢量源

频率范围 100 kHz to 2.2/3/4/6 GHz

两路完整的基带和射频通道

I/Q 调制带宽 200 MHz

SSB 相噪典型值 -135 dBc

($f = 1$ GHz, 20 kHz carrier offset, 1 Hz measurement bandwidth)

标准配置 135 dBc

低相噪选件 140 dBc

电平测量重复性可达 0.05 dB

高电平输出 +19 dBm (PEP)

频率稳定所需时间短 (<3 ms); List 模式下仅 450 μ s

可实时信道仿真: 多径衰落和噪声

MIMO

调制

- 所有常用数字通信标准
- 通用矢量调制功能
- ARB
- AM, FM, ϕ M, 脉冲调制, BB-AM



全-宽带矢量源

SMBV

频率范围 9kHz to 3.2G/6 GHz

I/Q 调制带宽 500 MHz; 内部信号带宽120MHz

支持所有通信标准

存储器最高达256Msamples



SMF100A — 微波源

纯净



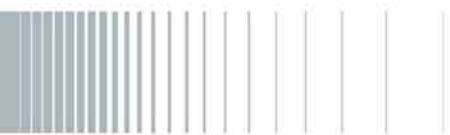
频率范围	1GHz(100kHz) ~ 22 /43.5GHz
SSB 相噪	- 115 dBc (10 GHz; @ 10 kHz; 1 Hz BW)
输出功率	+ 27 dBm @ 10 GHz
谐波	- 55 dBc @ 10 dBm
非谐波	- 62 dBc (3 GHz < f ≤ 10 GHz)
脉冲调制	>80 dB 开关比; 20 ns 脉宽
设置时间短	电平 < 3 ms , 频率 < 4 ms
宽带噪声	< - 148 dBc @ 10 GHz
调制方式	AM/LOG AM/FM/PhiM/脉冲 /ASK/FSK/PSK

稳定

高功率

速度快

图形界面



SMA100A — 射频源



频率范围 9 kHz~3GHz/6 GHz

极佳的频谱纯度

- SSB 相噪典型值. -140 dBc (1Hz) @ 1GHz, 20 kHz offset
- 宽带噪声典型值. -160 dBc (1Hz) @ 10 MHz carrier offset, $f = 1$ GHz
- 非谐波典型值. -100 dBc @ >10 kHz carrier offset, $f < 1500$ MHz

输出电平 标配高达 +28 dBm

快速的频率电平设置

- <3 ms — GPIB
- <450 μ s — 列表模式
- <10 μ s — 直接设置 DDS 合成

高精度时钟源

HP 8662A/63A 兼容 指令集

可插拔存储器

调制:

- AM, FM, ϕ M
- 脉冲调制
- VOR, ILS

纯净

图形界面

高功率 稳定

速度快

附加时钟源

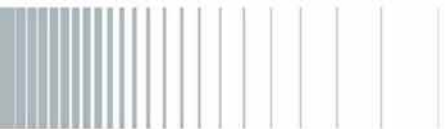
6.3 频谱仪系列简介

频谱仪

- FSQ
- FSU
- FSV
- FSG
- FSP
- FMU

信号源分析仪

- FSUP



FSQ — 矢量信号分析仪

频率范围 20 Hz~8/26.5/40 GHz

具有高端频谱仪FSU的一切功能和射频指标

扩展IQ 基带信号分析功能

宽带通用矢量信号分析

— 带宽可达120 MHz

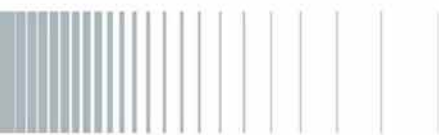
宽带通信和雷达信号分析

— Wimax,WLAN,OFDM,OFDMA

— 线性调频, Barker, 多普勒



追求最强的数字和矢量分析能力



新一代频谱仪—FSV

频率范围：

- 20Hz ~ 3.6/7 GHz
- 将达40GHz

速度快：

- 每秒1000 次扫描

解调能力强

- 40 MHz 解调分析带宽

触摸屏

中频带宽：

- 1 Hz ~ 10 MHz, 20, 28, 40 MHz

底噪声：

- -160 dBm/Hz (@1GHz, 预放开)

相噪： -110 dBc /Hz (10 kHz offset)

TOI: +18 dBm

高速

宽带



通信信号分析

界面友好

信号源分析仪FSUP

信号源分析仪+频谱仪 二合一

完整频谱仪功能

频率范围

10MHz(20Hz)~8/26.5/50GHz

测试频偏范围 10mHz~30MHz/1GHz

两组VCO电源和控制电压接口

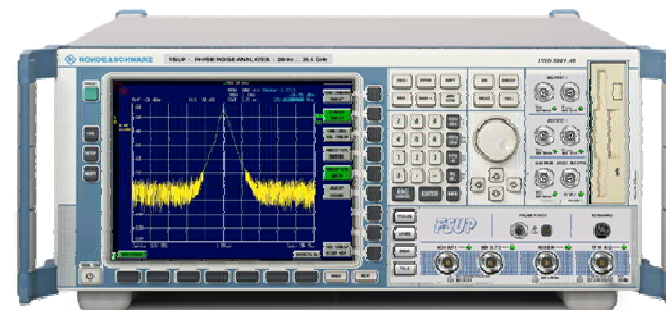
相噪测量多种连接方式（参考源和鉴相器）

主要应用

— 高精度相噪计量

— VCO测量

— 瞬态测量



6.4 矢量网络分析仪系列简介

➤ ZVA

➤ ZVB

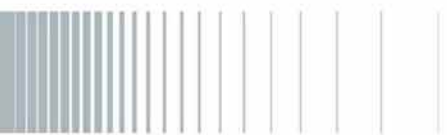
➤ ZVT

➤ ZVL

➤ ZVH

➤ ZNB

➤ ZNC



ZVA—高端矢量网络分析仪



- 频率范围 $\Rightarrow$ 300 kHz...8GHz / 24 GHz / 40GHz / 50GHz
- 端口数目 $\Rightarrow$ 2 or 4
- 输出功率 $\Rightarrow$ -110 dBm~+13 dBm
- 动态范围 $\Rightarrow$ 145 dB typ. (直接接收机端口接入, 10 Hz IFBW)
- 扫描时间 $\Rightarrow$ 4,5 ms @ 201 points
- 测量时间 $\Rightarrow$ < 3,5 μ s (CW mode)
- 中频带宽 $\Rightarrow$ 1 Hz to 1 MHz (30MHz 选件)
- 通道、图形和曲线显示数目 $\Rightarrow$ “unlimited” (取决于仪器内存)

速度快

大动态范围

功能强大

4端口内置双源

ZNB — 中端矢量网络分析仪



操作方便 准确, 动态范围大



**Thank you
for your attention!**

