



射频电路测试原理

第十二讲 典型射频芯片测试介绍与 测量仪器的程控(GPIB)

leiyh@mail.tsinghua.edu.cn



参考文献

- 参考：王子宇译，《射频电路设计--理论与应用》，电子工业出版社，2002
- 参考：张之超等译，《无线通信设备与系统设计大全》，人民邮电出版社，2004
- 84000 Product Overview_5965-5272E.pdf
- RF_TestOfWLAN_china.pdf
- 典型射频芯片举例：MAX2644（LNA）、MAX2247（PA）、MAX9996（Downconversion Mixer）、MAX2660-MAX2673（Upconverters Mixer）、MAX2750-MAX2752（VCO）、MAX2452（I/Q Modulator）
- ..\82350A_GPIB_PCI_Card\Measurement Automation_5988-5591EN.pdf
- ..\82350A_GPIB_PCI_Card\Data Sheet_5966-2720E.pdf ..\82350A_GPIB_PCI_Card\Agilent VISA User's Guide_5188-5722.pdf
- ..\82350A_GPIB_PCI_Card\Agilent SIDL User's Guide for Windows_E2094-90038.pdf



内容

12.1 射频集成电路测试基本问题

12.2 滤波器主要技术指标及其测试方案

12.3 低噪声放大器主要技术指标及其测试方案

12.4 功率放大器主要技术指标及其测试方案

12.5 振荡器主要技术指标及其测试方案

12.6 混频器主要技术指标及其测试方案

12.7 调制解调器主要技术指标及其测试方案

12.8 电子测量自动化

12.9 GPIB总线标准

12.10 VXI总线系统简介

12.11 ATE自动测试系统

第六次实验 典型射频芯片测试

第十二讲 典型射频芯片测试介绍与测量仪器的程控
(GPIB)小结

12.1 射频集成电路测试基本问题

- **配置测试系统**：PF、LNA、PA、Mixer、VCO、Modulators and demodulators，工作频率为 800 MHz to 900 MHz，1.9 GHz and 2.4 GHz，或高于2.4 GHz；
- **RFIC性能测试**：器件增益/损耗、S参数（增益/损耗、隔离、匹配、VSWR）、功率（邻道功率和效率）、增益压缩、混频器转换增益、混频器泄漏、网络噪声系数、N阶内调制（交调和互调）、振荡器相位噪声、谐波失真（SOI和TOI）、IQ调制压缩、隔离、寄生信号、功耗、VSWR和EVM等。
- **无线系统测试**：例如：WLAN（无线局域网）。
 - **无线局域网的两大标准**：IEEE802.11和 ETSI HIPERLAN；
 - 标准中采用了不同的调制技术，例如：FSK、MSK、GMSK和OFDM等调制技术；
 - 无线局域网的射频物理层，包括时域、频域和调制域的分析 and 调试。

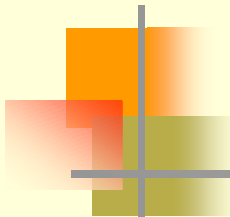
无线局域网的标准

无线局域网标准一览表

	无线局域网标准				
	802.11	802.11b	802.11a	一类 HIPERLAN	二类 HIPERLAN
频率段	2.4GHz	2.4GHz	5GHz	5GHz	5GHz
信道间隔	DSSS: 25MHz FHSS: 1MHz	25MHz	20MHz	23.5MHz	20MHz
最高数据率	2Mbps	11Mbps	54Mbps	23.5Mbps	54Mbps
载波类型	FHSS 或 DSSS	DSSS	OFDM	单载波	OFDM
调制	GFSK (FHSS) DBPSK 或 DQPSK (DSSS)	CCK 16QAM, 或 64QAM	BPSK & QPSK, 16QAM, 或 64QAM	FSK 或 GMSK	BPSK & QPSK,
每信道 载波数量	79 ²	1(DSSS)	数据:48,导频:4	1	数据:48,导频:4
最大 输出功率	30dBm	30dBm	35dBm ¹	30dBm ¹	30dBm ¹

注释1: 有效全向辐射功率(EIRP)

注释2: 美国的信道数目



安捷伦新闻发布

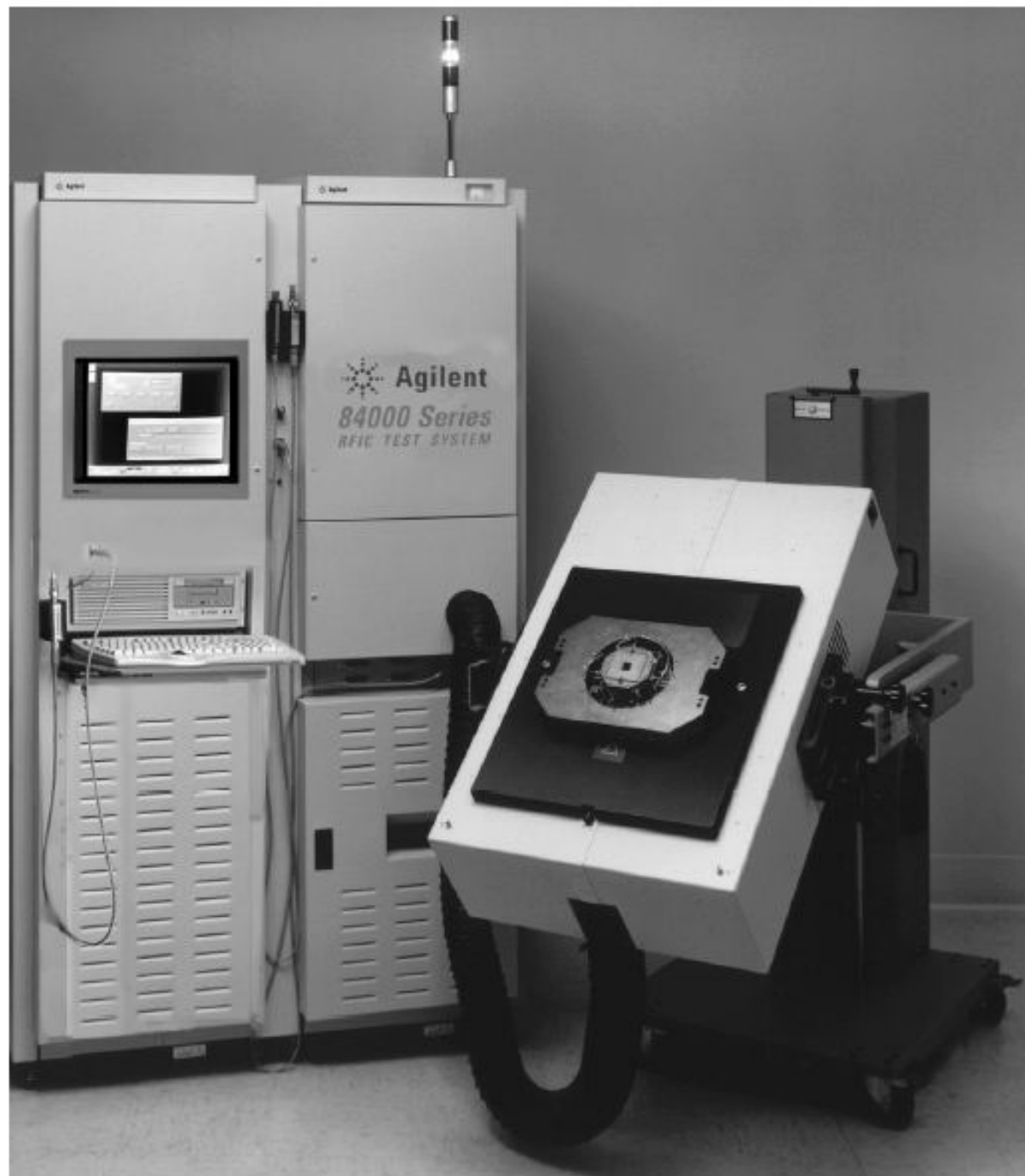
- 安捷伦新闻发布：北京，2003年4月30日
 - 威宇科技添购安捷伦84000测试系统，构建华东第一条射频电路测试生产线；
 - 威宇科技选择84000射频测试系统（ATE），原因有：
 - 首先，84000测试系统设计上容易做程序开发，完整的参数量测套件，以及优越的系统稳定性等三大优点。
 - 其次，来自于美国硅谷的多家设计公司都要求用84000测试系统来进行生产，在所能够测试的射频芯片覆盖率上，84000测试系统也明显优于其它可选方案。
 - 威宇科技（www.gaptl.com）是一家外商独资的半导体后工序企业，已在上海浦东开发区张江高科技园区建立一个完整的封装设计，组装，测试企业。



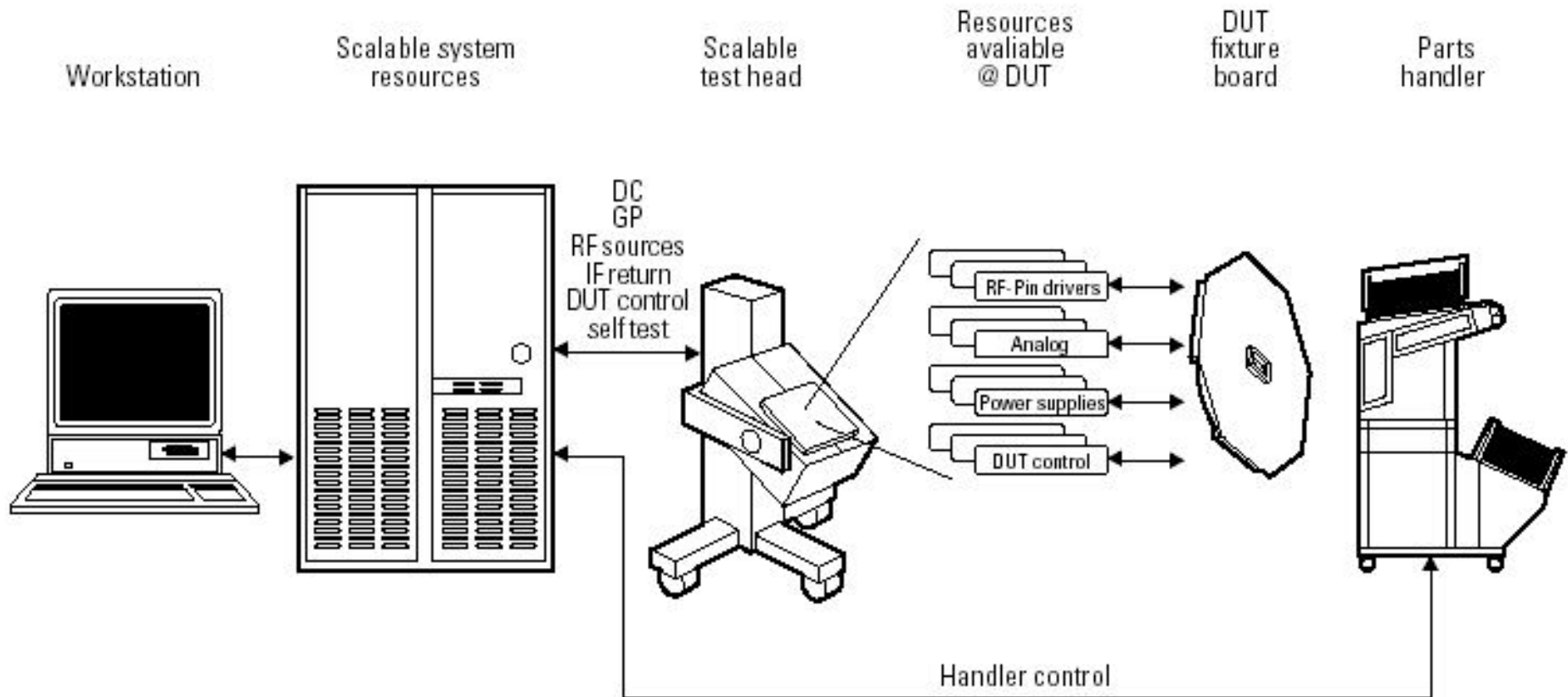
84000射频集成电路测试系统

- 安捷伦84000射频集成电路测试系统具有广泛升级空间的RFIC解决方案，具有2到12个RF测试端口，可以满足严格的市场需求，对于多功能RFIC、信号收发器、信号混合器、信号转换器（Mixer）、功率放大器（PA）和低噪声放大器（LNA）提供了完备的解决方案。
- 可以测试如噪声图、信号转换增益、双频三阶截取点、相邻信道能量隔离等多种参数。
- 同时，84000系统不需要经常地进行校准，且校准过程极为简单，易于操作，确保系统可以迅速地转产其它器件。
- 相对于标准的实验室环境，84000的比对测试结果高达98%。由于稳定的量产启动周期和迅速的器件转产能力，84000可以极大地缩短测试时间，从而缩短了产品的上市周期。

84000 RFIC Test System



84000 RFIC Series Test System



The Agilent 84000 RFIC Series is a complete test system which can include the interface to parts handlers.



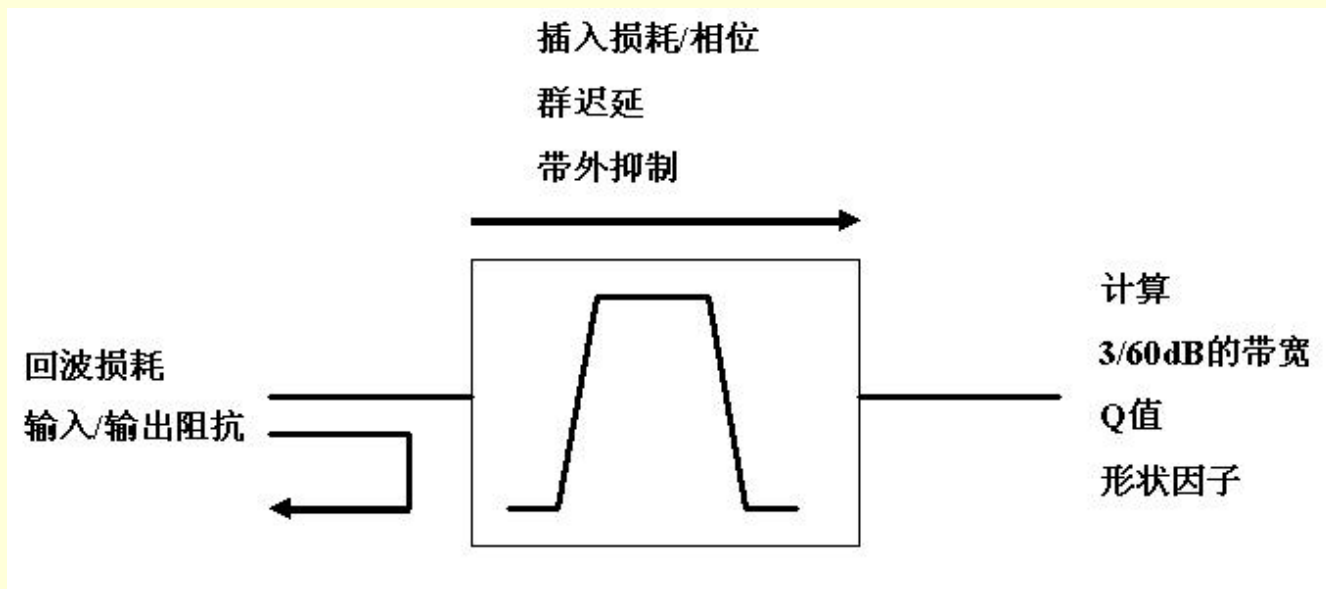
84000 测试项目

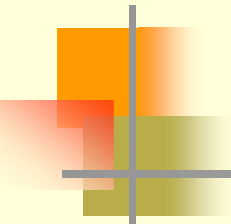
- ☐ Adjacent channel power
- ☐ AM-PM conversion (static)
- ☐ Efficiency (power added)
- ☐ Frequency, CW
- ☐ Gain or loss
 - vs control voltage or digital state
- ☐ Gain compression
 - Pout @ N dB, saturation
- ☐ Harmonic distortion
 - dBc
 - SOI, TOI
- ☐ I, Q modulator suppression
 - carrier and unwanted sideband
- ☐ Isolation
- ☐ Minimum detectable signal
- ☐ Mixer conversion gain or loss
- ☐ Mixer leakages
 - LO–RF, LO–IF, carrier feedthrough
- ☐ Noise figure
- ☐ Nth order intermodulation
 - two-tone IP2, IP3
- ☐ Phase noise
- ☐ Power (dBm)
 - output power
 - vs bias voltage
- ☐ S-parameters
 - gain/loss, isolation, match, VSWR
- ☐ Spurious signals
 - at known frequency
- ☐ Supply currents
 - enabled, sleep mode
- ☐ Voltages
- ☐ VSWR
- ☐ Error Vector Magnitude

A full compliment of RF tests are available.

12.2 滤波器主要技术指标及其测试方案

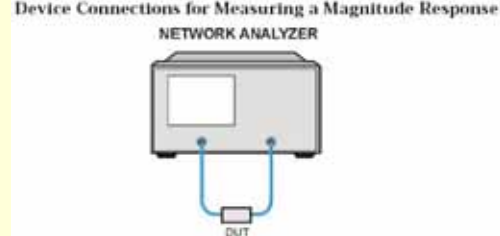
- 滤波器有三个方面的测量参数：
 - (1) 传输参数（插入损耗/相位、群迟延、带外抑制）；
 - (2) 反射参数（回波损耗、输入/输出阻抗）；
 - (3) 计算（3/60dB的带宽、Q值和形状因子）。





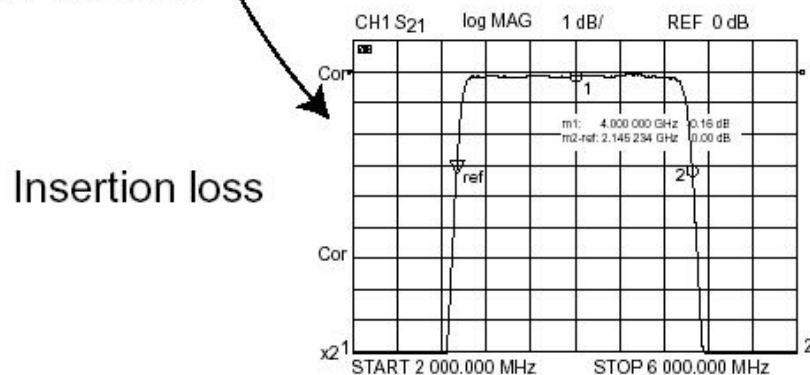
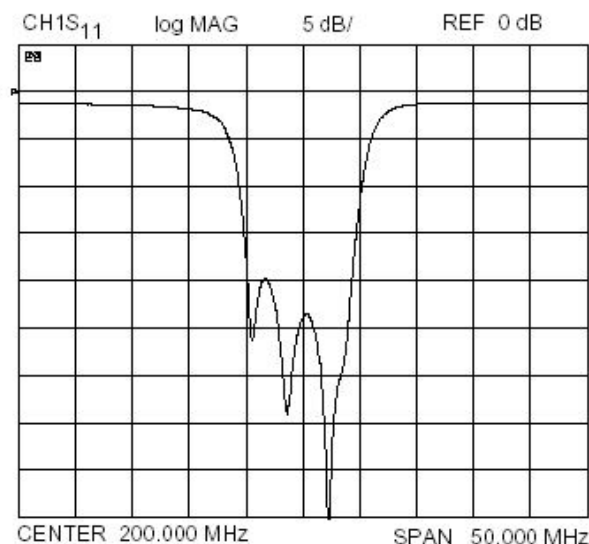
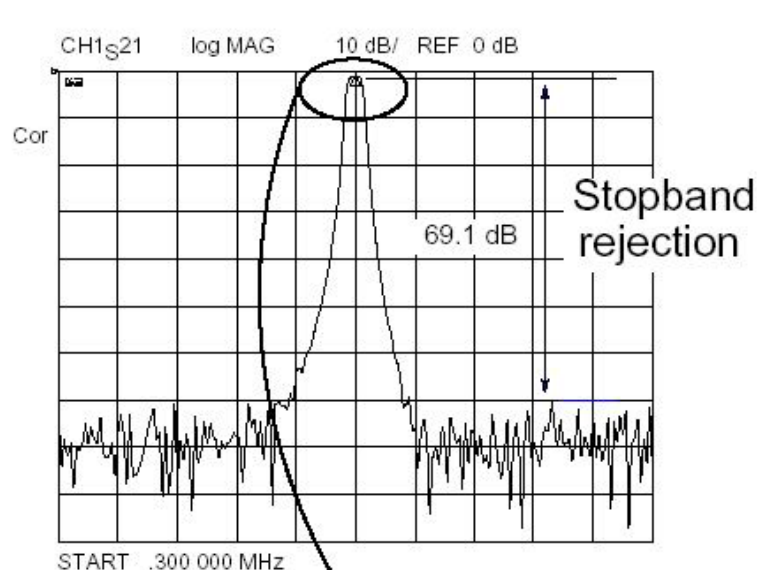
通信中常用滤波器主要类型

- 升余弦滤波器 (Raised cosine filter)
- 平方根升余弦滤波器 (Square-root raised cosine filter)
- 高斯滤波器 (Gaussian filter)
- IS-95 Filters
- EDGE Filter
- EDGE (winRC) Filter

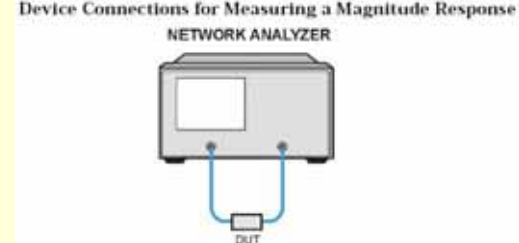


利用VNA进行滤波器测试

- 滤波器扫描测试举例：
- 传输响应和反射响应。



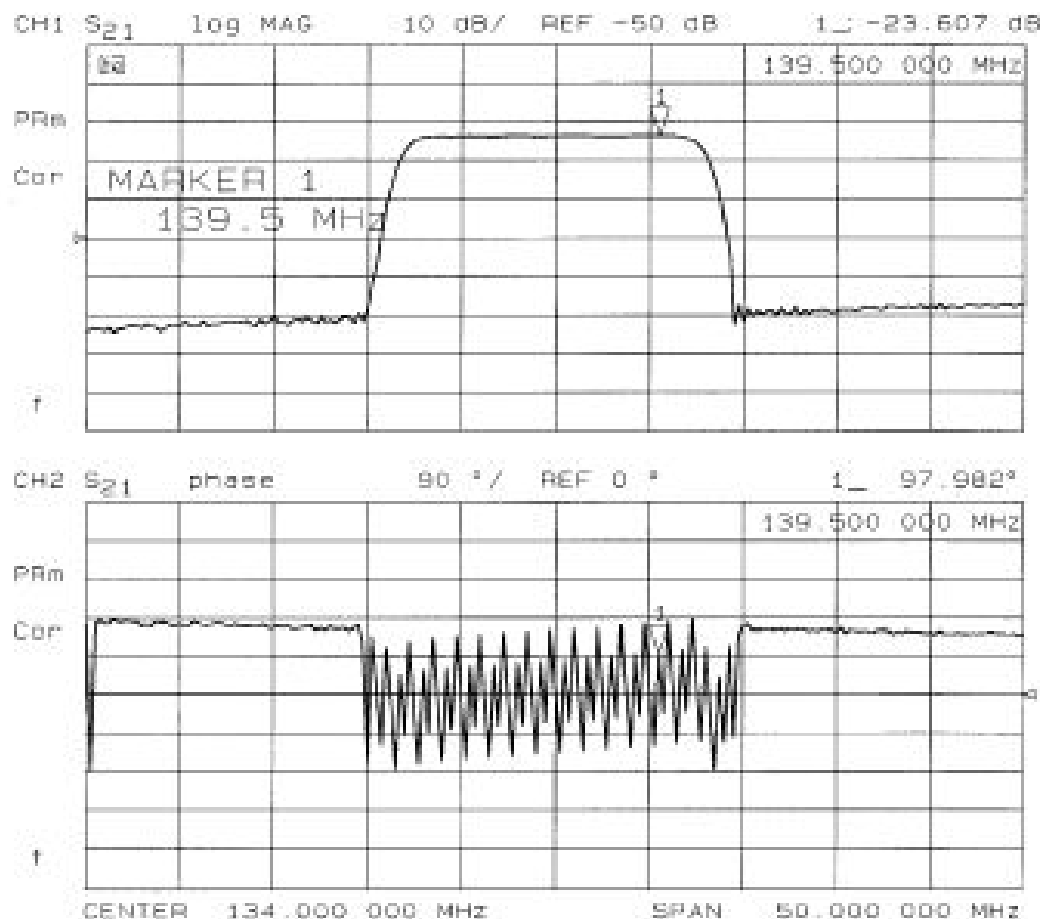
Testing Filters with Frequency Sweeps



利用VNA进行滤波器测试（续1）

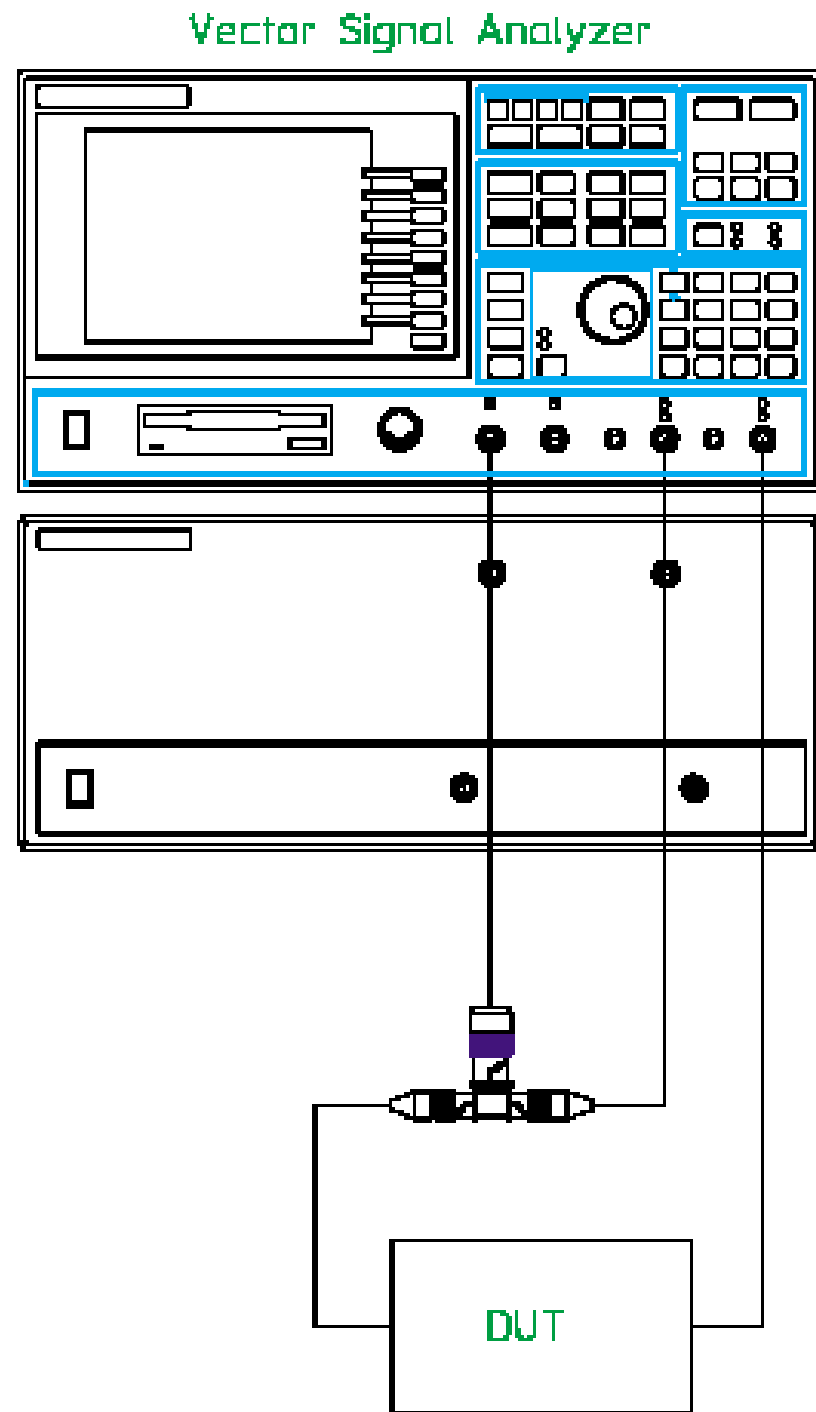
Example Insertion Phase Response Measurement

- SAW滤波器测试举例：
- 测量幅度响应和插入相位响应。



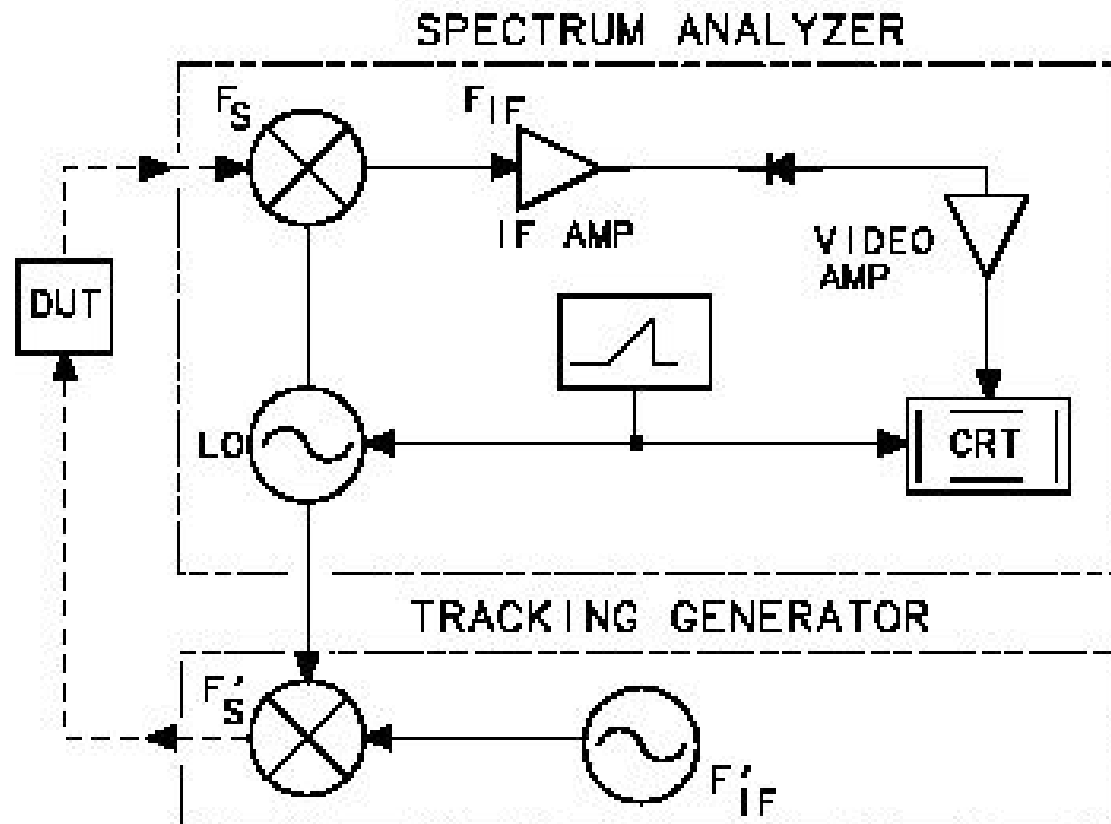
利用VSA进行滤波器的频率响应测量

- 设置4.5MHz带通滤波器的频率响应测量：
 - 直接连接SOURCE到通道1的输入；
 - 滤波器的输出接到通道2的输入。



利用频谱分析仪进行激励-响应测量

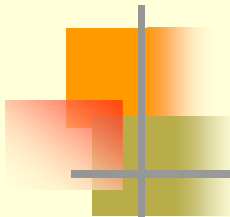
Block Diagram of a Spectrum Analyzer and Tracking Generator System





12.3 低噪声放大器主要技术指标 及其测试方案

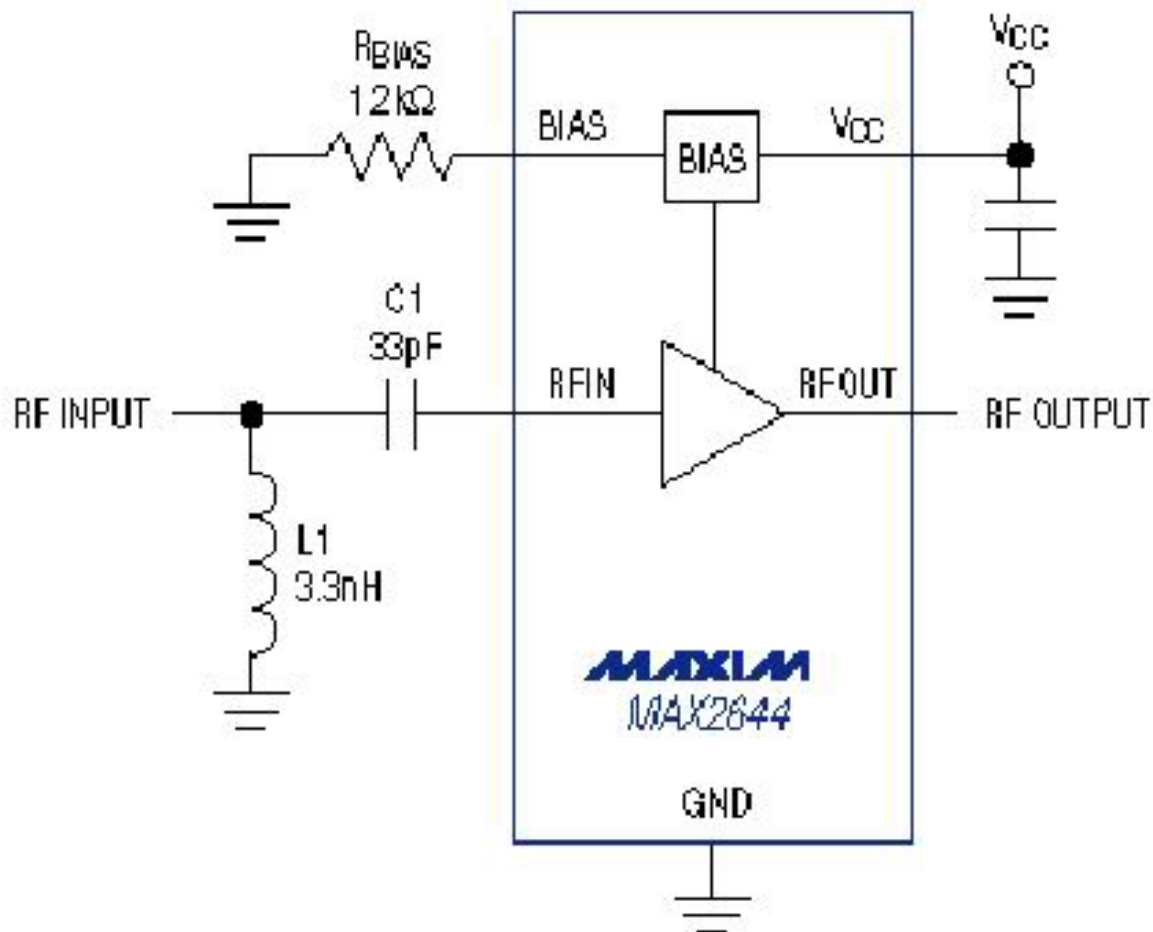
- RF S-Parameters
- Noise Figure
- Gain
- IIP3
- $P_{1\text{dB}}$



MAX2644 LNA

- 2.4GHz SiGe, High IP3 Low-Noise Amplifier (2400 to 2500 GHz)
- KEY FEATURES :
 - Low Noise Figure (2.0dB at 2450MHz) ;
 - High Gain: 16dB ;
 - Adjustable IIP3 (-8 to -3 dBm) and Bias Current ;
 - Low-Power Standby Mode ;
 - On-Chip Output Matching ;
 - +2.7V to +5.5V Single-Supply Operation ;
 - Ultra-Small 6-Pin SC70 Package.

Typical Operating Circuit



RF S-Parameters

!MAXIM INTEGRATED PRODUCTS

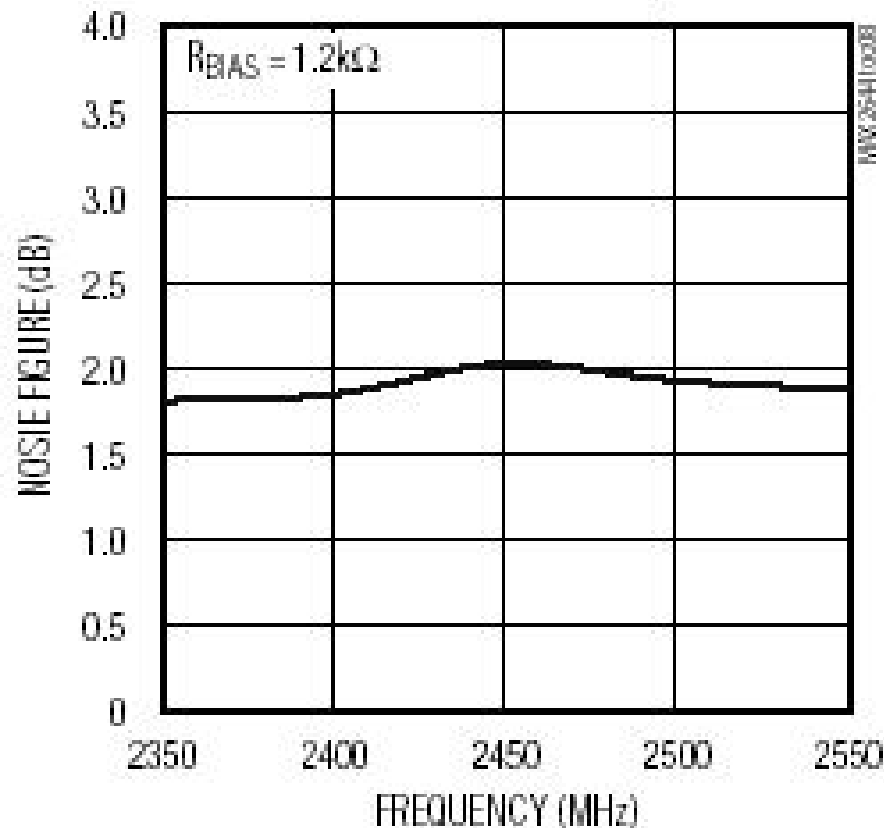
!MAX2644 2.4GHz Low Noise Amplifier

!Table 1. MAX2644 Typical Scattering Parameters (RBIAS=750ohm, VCC=+3.0V, TA=+25癸.)

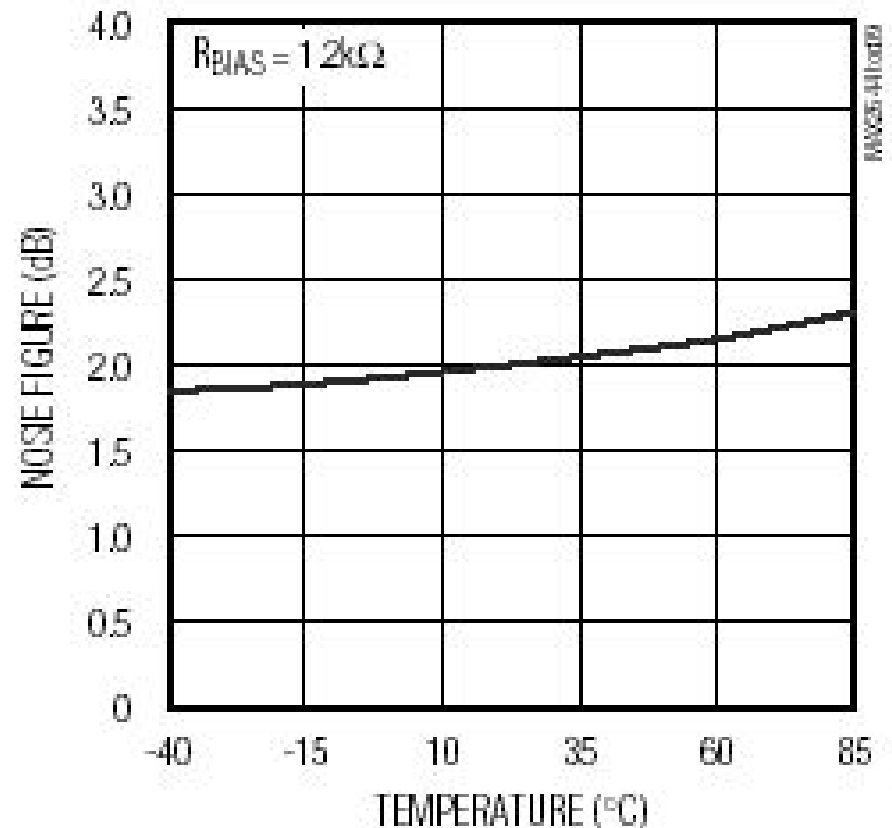
!FREQ.	S11		S21		S12		S22	
! (MHz)	Mag	Phase	Mag	Phase	Mag	Phase	Mag	Phase
# MHZ	S	MA	R	50				
2200	0.3372	-79.36	5.1940	170.97	0.0414	157.19	0.2818	-73.71
2250	0.3098	-70.09	5.3156	166.79	0.0445	146.70	0.2204	-67.13
2300	0.3283	-57.20	5.4281	159.22	0.0469	130.62	0.1566	-50.26
2350	0.4005	-50.46	5.4175	150.70	0.0441	108.72	0.1480	-3.96
2400	0.4839	-50.28	5.3346	143.93	0.0349	85.67	0.2795	15.12
2450	0.5443	-56.33	5.0687	136.45	0.0233	58.80	0.4179	11.12
2500	0.5758	-60.09	4.9556	132.16	0.0113	27.74	0.5135	3.28
2550	0.5784	-63.61	4.5952	127.68	0.0041	-38.98	0.5622	-2.66
2600	0.5698	-66.56	4.2364	126.58	0.0063	-110.49	0.5986	-7.45
2650	0.5600	-68.51	4.1376	126.51	0.0103	-128.93	0.6208	-10.43
2700	0.5533	-69.86	4.0729	120.60	0.0133	-140.21	0.6425	-12.93

MAX2644 Noise Figure

NOISE FIGURE vs. FREQUENCY

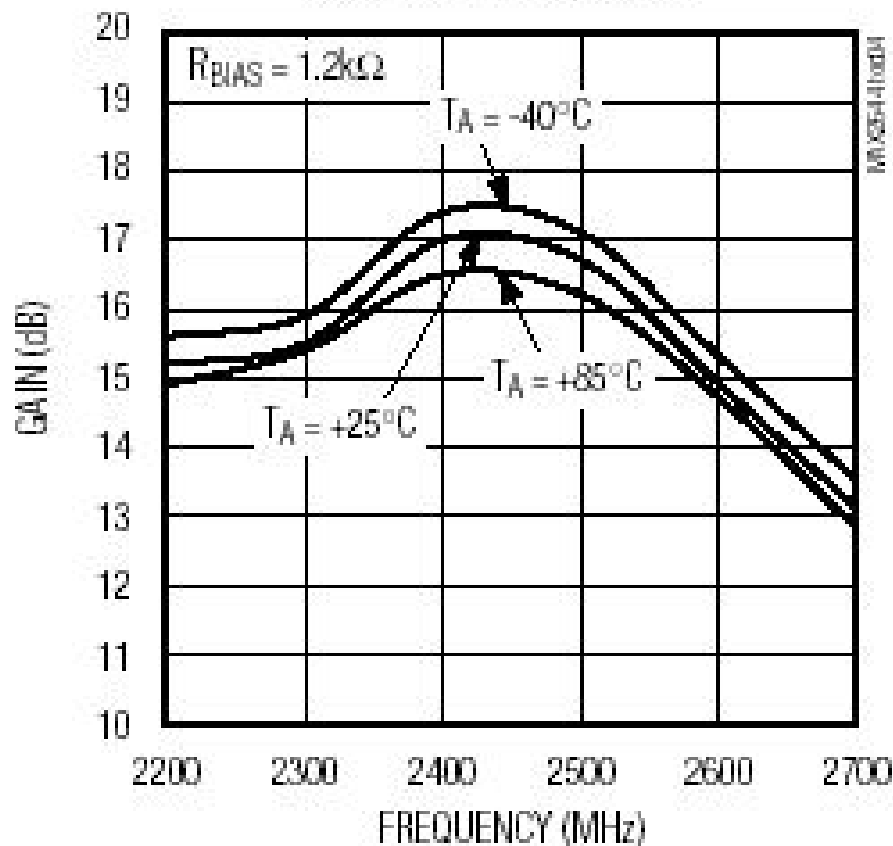


NOISE FIGURE vs. TEMPERATURE

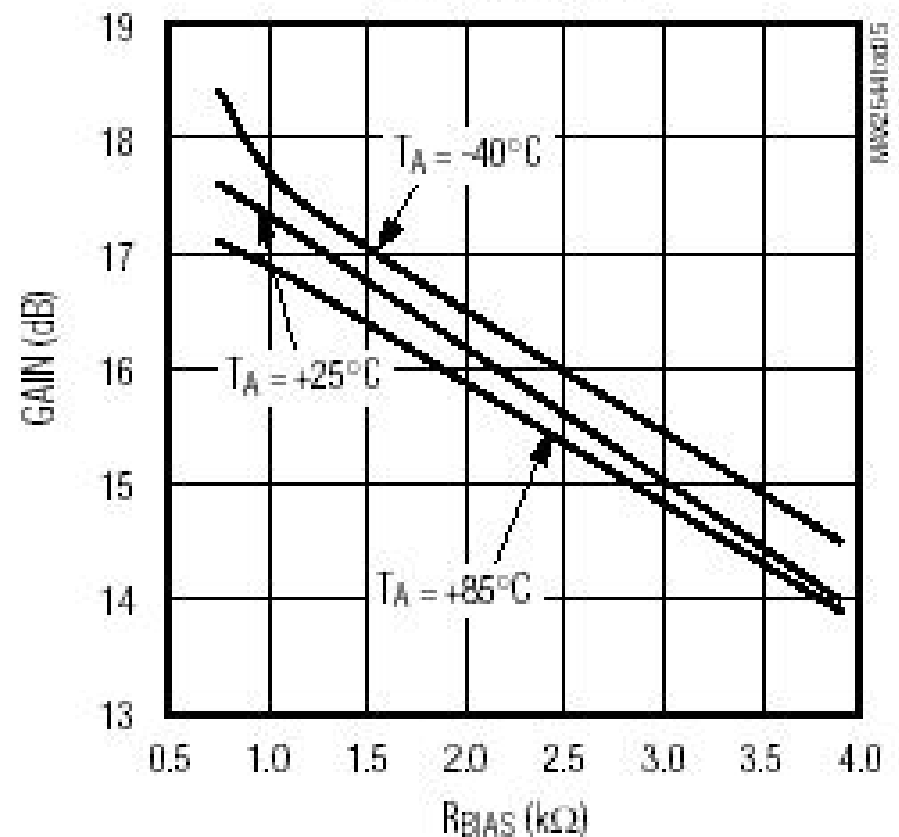


MAX2644 Gain

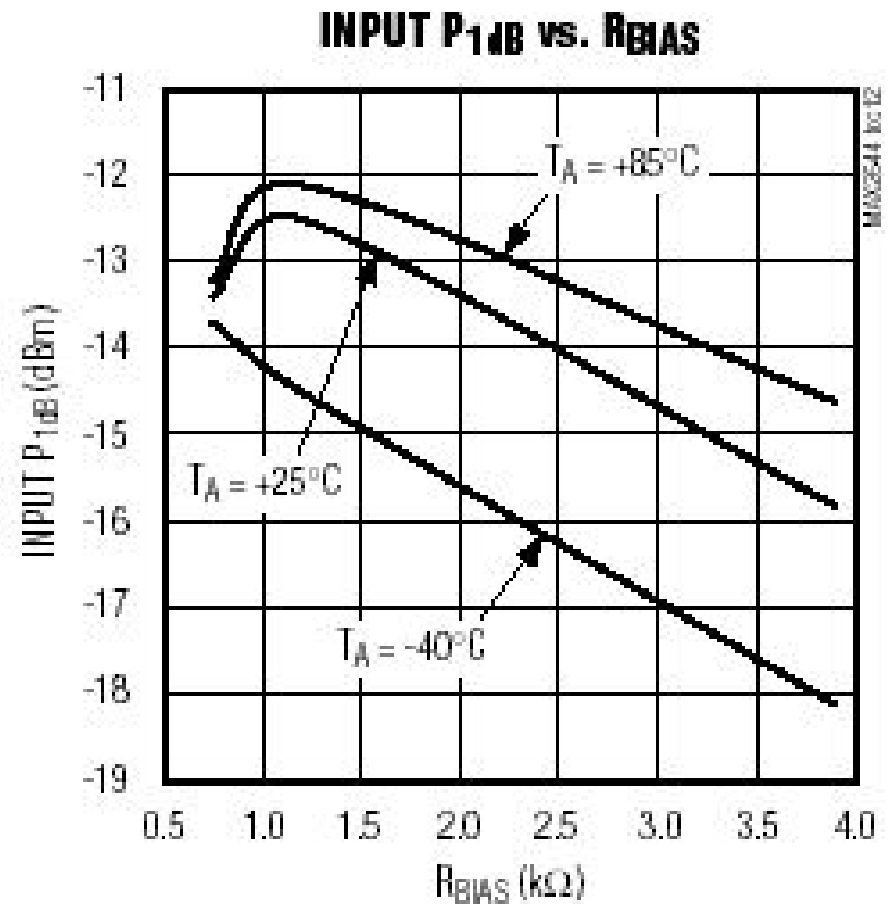
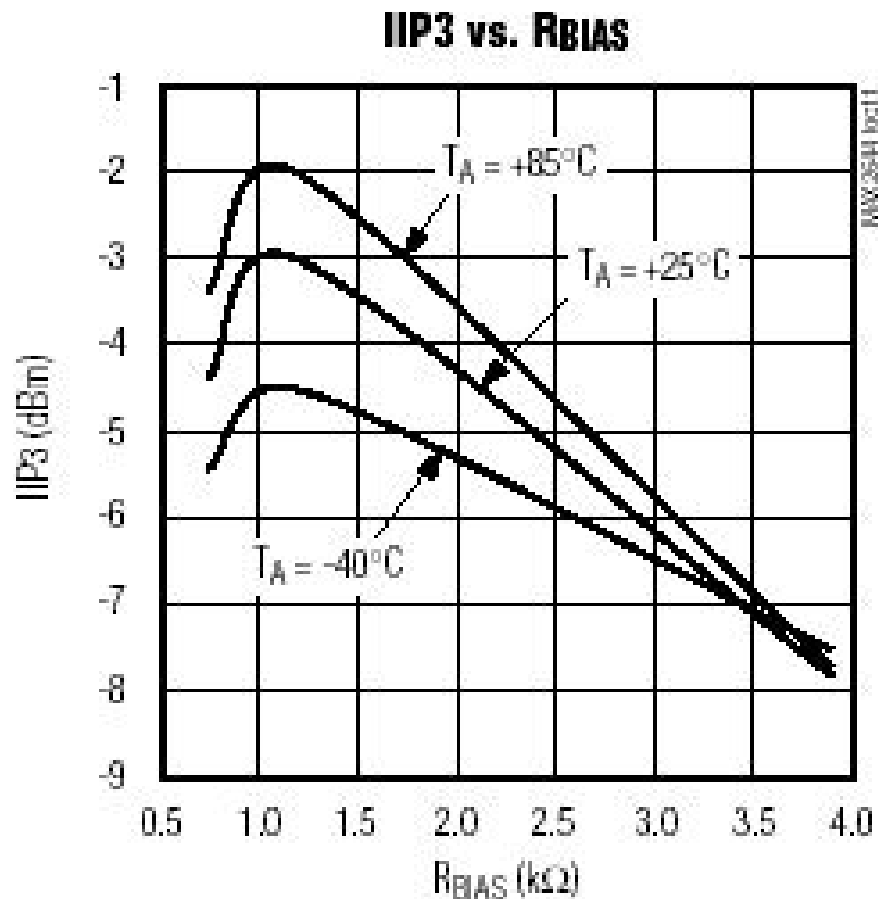
GAIN vs. FREQUENCY



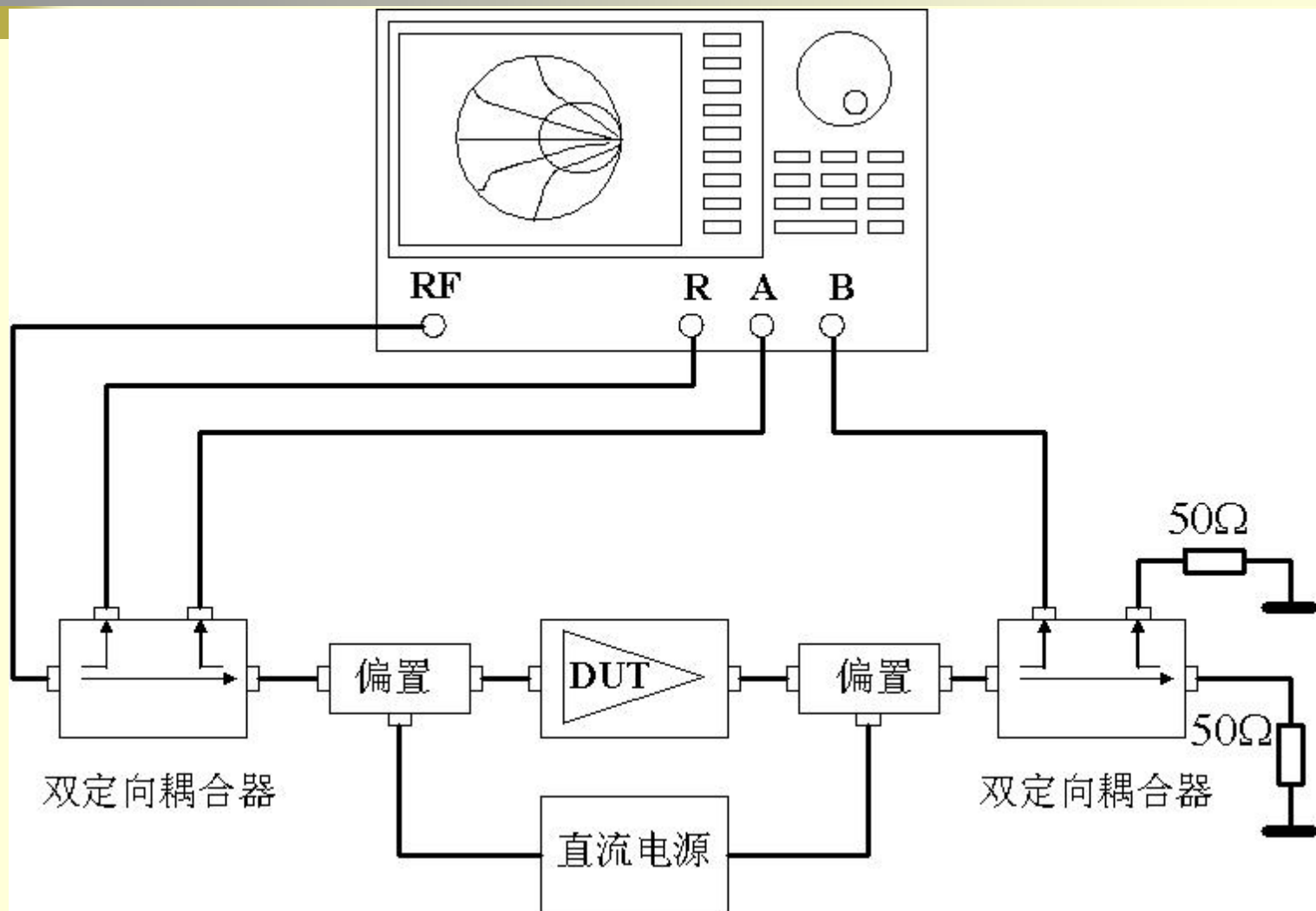
GAIN vs. R_BIAS



MAX2644 IIP3 and P_{1dB}



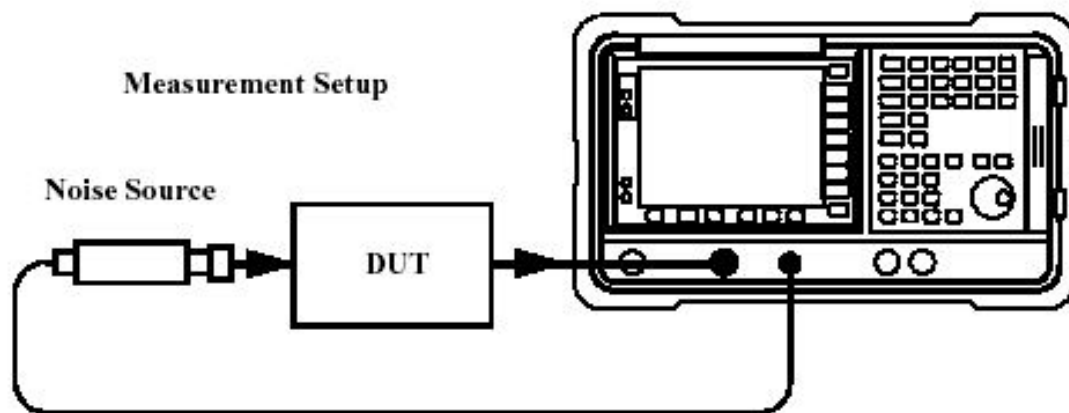
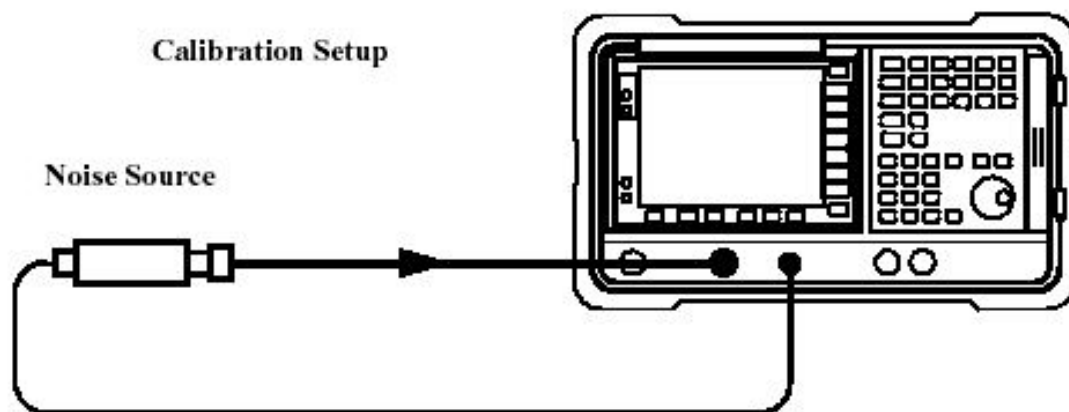
低噪声放大器的S参数测试



低噪声放大器的噪声系数和增益测试

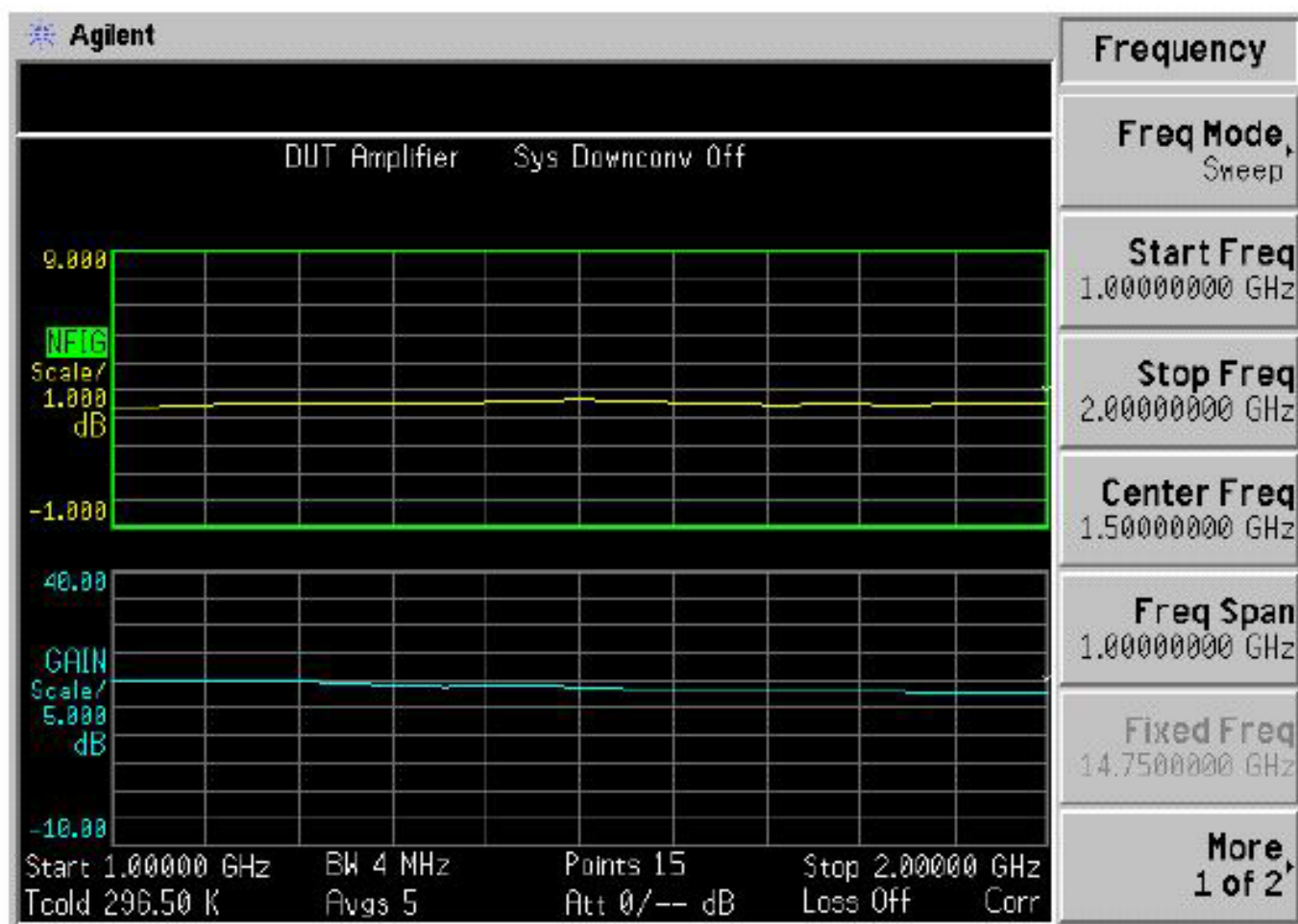
- 右图是使用346A/B/C通用噪声源；
- 若使用SNS噪声源，则需利用SNS噪声源连接器。

Basic Noise Figure Measurement — No Frequency Conversion



低噪声放大器的噪声系数和增益 测量结果的图表方式显示

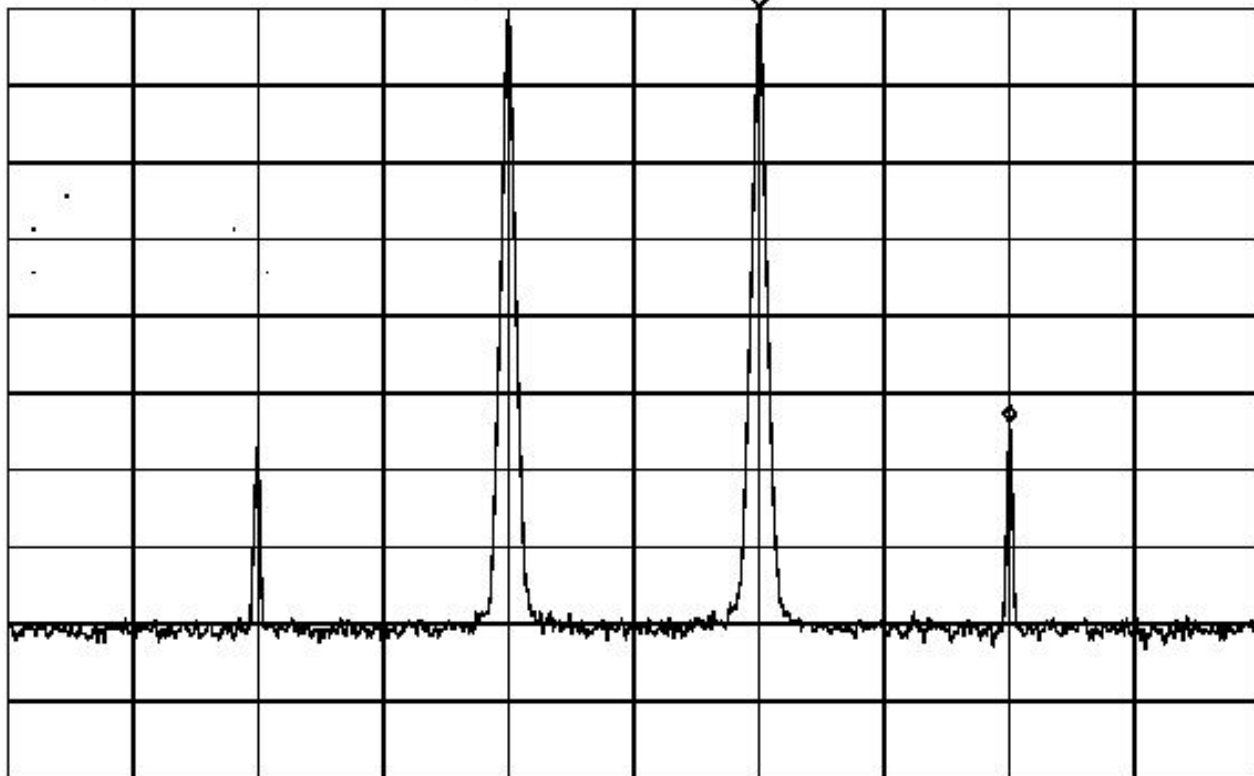
Typical Graphical Results after Measurement



- 由ESG信号源产生F1和F2信号,利用频谱分析仪观测 $2F_1 - F_2$ 信号或 $2F_2 - F_1$ 信号。

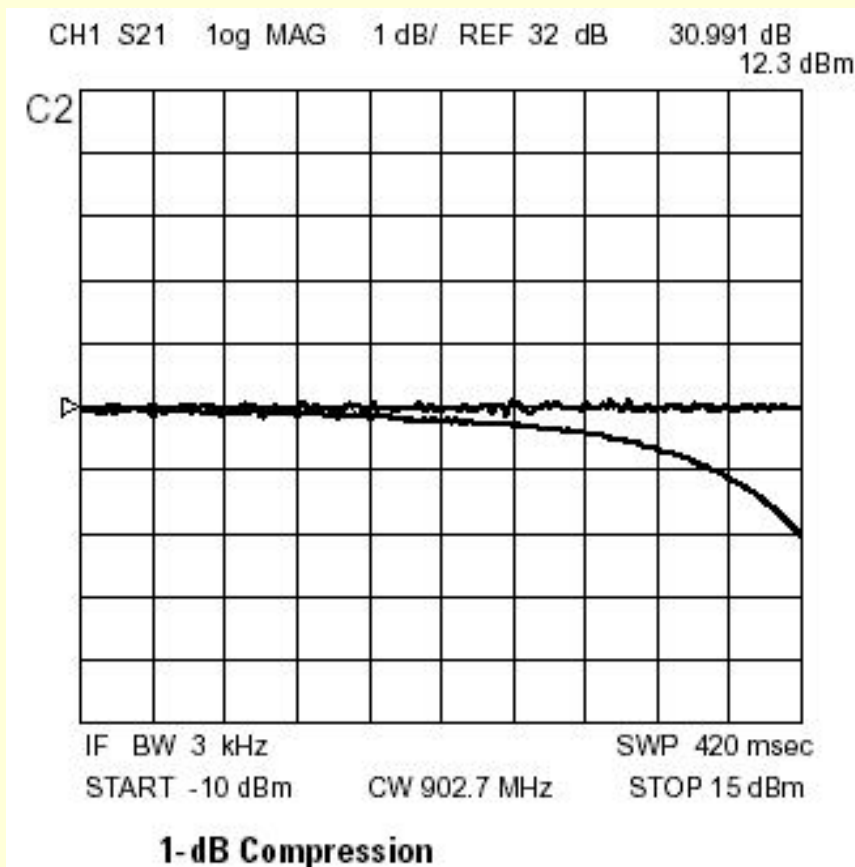
低噪声放大器的IIP3测试

Intermodulation Distortion Measured in dBc



低噪声放大器的 P_{1dB} 测试

- 如下图所示，这是1dB压缩点最普遍的测量方法：利用RF矢量网络分析仪进行输出功率扫描（ $F=902.7\text{MHz}$ ）。

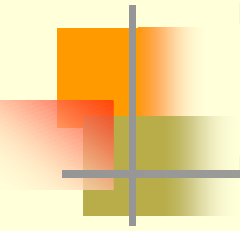


- **1-dB compression:** input power resulting in 1-dB **drop** in gain
- Ratioed measurement
- Output power available (non-ratioed measurement)

12.4 功率放大器主要技术指标及其测试方案

- Power Gain
- ACPR (Adjacent channel power ratio)
- PAE (Power-added efficiency)
- MAX2247 2.4GHz SiGe线性功率放大器
 - 29dB功率增益；
 - 3.3V , +24dBm输出功率下：
 - 效率 (PAE) 为24%；
 - 可以获得低于-32dBc的一阶旁瓣抑制率 (ACPR) ；
 - 以及低于-55dBc的二阶旁瓣抑制率 (ACPR) 。

MAX2247 PA

- 
- 2.4GHz SiGe Linear Power Amplifier (2400 to 2500 GHz)
 - KEY FEATURES :
 - 2.4GHz to 2.5GHz Operating Range ;
 - Up to +24dBm Linear Output Power (ACPR of Less than -32dBc First-Side Lobe and Less than -55dBc Second-Side Lobe) ;
 - 24% PAE at +24dBm Linear Output Power, 3.3V 24% PAE at +21dBm Linear Output Power, 3.0V
 - 29dB Power Gain ;
 - On-Chip Power Detector with Buffered Output ;
 - Internal 50 Input Matching ;
 - Integrated Bias Circuitry ;
 - +2.7V to +4.2V Single-Supply Operation ;
 - 0.5 μ A Shutdown Mode ;
 - Tiny Chip-Scale Package (1.5mm x 2mm)。