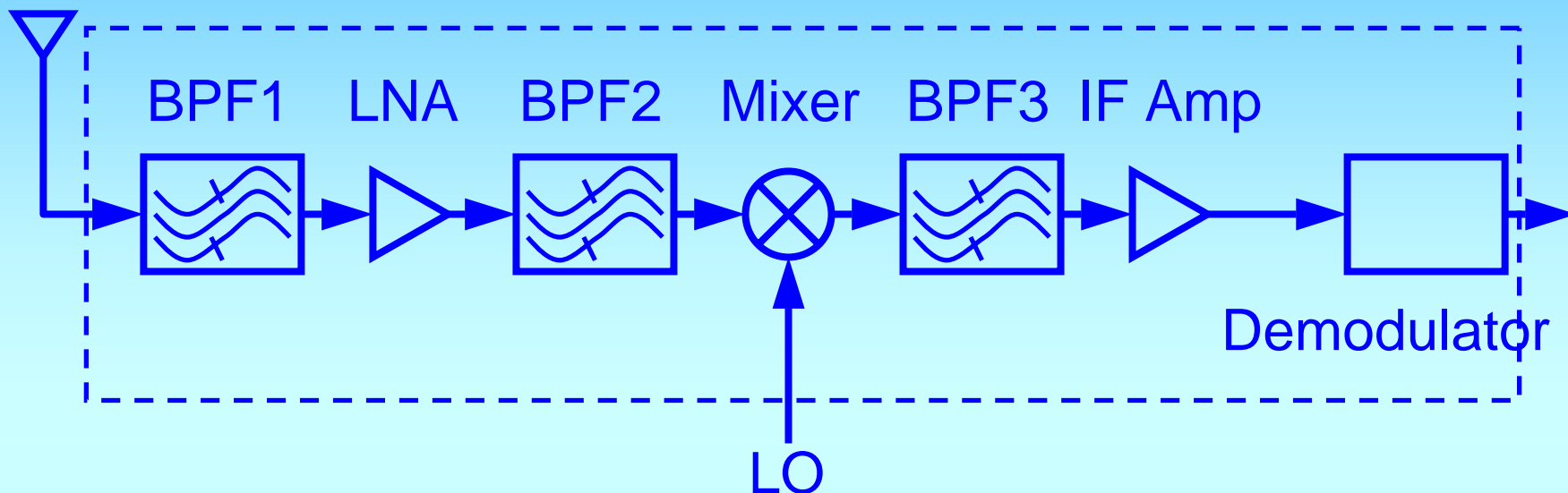


# 用频谱仪测量噪声系数

*September, 2006*

# Noise Figure Definition



RF Receiver, DUT (Device under Test)

$$NF = \frac{SNR_{in}}{SNR_{out}} = \frac{S_{in} / N_{in}}{S_{out} / N_{out}}$$

$$NF(dB) = N_{out}(dBm/Hz) - N_{in}(dBm/Hz) - Gain(dB)$$

$$Gain = 10 * \log(S_{out} / S_{in})$$

因此需要测三个参数**Gain**, **N<sub>in</sub>**, **N<sub>out</sub>**来算出**NF**

# Gain

- **Power Gain vs. Voltage Gain**

因为测量系统都用50欧姆, 如非特指, 以下所说的Gain均指功率增益(Power Gain). 但是一般的接收机的输入输出并非50欧姆, 因此有必要考虑电压增益(Voltage Gain)

$$\text{VoltageGain} = \text{PowerGain} + 10\log\left(\frac{Z_{out}}{Z_{in}}\right)$$

举个例子说, 一个将50欧姆转换到100欧姆的Balun, 如果损耗是0.5dB, 我们可以认为其功率增益为-0.5dB, 而电压增益为-0.5+10\*log(100/50)=2.5dB

# 输入噪声密度 $N_{in}$ (1)

$$N_{in}=10\log(kT)=-174 \text{ dBm/Hz}$$

注: 对于变频系统而言, 需要考虑镜像频率转换后是否落在测量频带内

## 1. 零中频系统

举例说明, **WCDMA Direct conversion receiver, RF BW 2110-2170 MHz, Baseband BW 1.92 MHz**

**Signal freq = 2140.1 MHz**

**LO freq = 2140 MHz**

**Image freq = 2139.9 MHz**

**Output freq = 100 KHz**

信号频率和镜像频率处的噪声都会被变到**100 KHz**的输出频率, 因此在这种情况下输入噪声密度加倍

$$N_{in}=10\log(kT)+3=-171 \text{ dBm/Hz}$$

# 输入噪声密度 $N_{in}$ (2)

## 2. 超外差式二次下变频系统

举例说明, **CDMA Receiver**, RF BW 869-894 MHz, IF 183.6 MHz, IF BW 1.25 MHz

**Signal freq = 878.49 MHz**

**1<sup>st</sup> LO freq = 1062.09 MHz**

**IF freq = 183.6 MHz**

**1<sup>st</sup> Image freq = (1062.09+183.6) MHz = 1245.69 MHz**

**2<sup>nd</sup> LO frequency = 184.8 MHz**

**Output frequency = 1.2 MHz**

**2<sup>nd</sup> Image freq = (184.8+1.2) MHz = 186 MHz**

第一镜像频率被**RF SAW**滤掉, 第二镜像频率被**IF SAW**滤掉, 因此镜像频率处的噪声不会被变到**1.2 MHz**的输出频率, 因此在这种情况下输入噪声密度仍旧是**-174 dBm/Hz**.

# 输入噪声密度 $N_{in}$ (3)

3. 超外差式二次下变频系统(换一种测量方法, 注意一下有什么变化)  
举例说明, **CDMA Receiver, RF BW 869-894 MHz, IF 183.6 MHz, IF BW 1.25 MHz**

**Signal freq = 878.59 MHz**

**1<sup>st</sup> LO freq = 1062.09 MHz**

**IF freq = 183.5 MHz**

**1<sup>st</sup> Image freq = (1062.09+183.5) MHz = 1245.59 MHz**

**2<sup>nd</sup> LO frequency = 183.6 MHz**

**Output frequency = 100 KHz**

**2<sup>nd</sup> Image freq = (183.6+0.1) MHz = 183.7 MHz (相当于878.39 MHz的 RF freq)**

第一镜像频率被**RF SAW**滤掉, **第二镜像频率会通过IF SAW**, 此镜像频率处的噪声将会被变到**100 KHz**的输出频率, 因此在这种情况下输入噪声密度是**-171 dBm/Hz**, 但是**NF**测量结果应该与上页所说办法一样.

# 输出噪声密度 $N_{out}$

待测元件(DUT)输入端接**50**欧姆匹配负载时, 输出端接频谱仪. 在频谱仪上可以直接读出输出噪声密度, 操作如下

1. **Agilent 859X**系列频谱仪  
**Mark Function -> Mark noise, average on**
2. **Agilent E44XX ESA/PSA**系列频谱仪  
**Marker -> Mark Function -> Mark noise, average on**
3. **R/S FSE**系列频谱仪也有类似功能 (具体的记不清了)

注: 在测噪声密度时, 一般把频谱仪输入衰减设为**0dB**, **Center Freq**设为输出频率, **SPAN 100 KHz**左右.

# 测量的可行性分析(1)

## 测量结果准确性如何?

频谱仪的底噪一般在**-145 dBm/Hz**左右, 可用上页所述**Mark noise**方法来看(频谱仪什么也不接, 输入衰减设为**0dB**用**Mark noise**看底噪)或者去看手册. 因此可将频谱仪当作一个 **$NF = (-145) - (-174) = 30\text{dB}$** 的元件.

将**DUT**和频谱仪合在一起看成是一个系统, 那么这个系统的总的**NF**由级联公式来决定

$$NF = NF_1 + \frac{NF_2 - 1}{G_1}$$

例如一个**Gain=15dB**, **NF=1.5dB**的待测**LNA**, 和频谱仪接在一起后总的**NF=15dB**; 但是在**LNA**和频谱仪之间插入一个**Gain=30dB**, **NF=2dB**的**pre-amplifier**, 系统总的**NF=1.65dB**, 这个数字就比较接近待测**LNA**的真实**NF**了.

从另外一个方面来看, 待测**LNA**的输出噪声密度 **$N_{\text{out}} = -174 + \text{Gain} + NF = -157 \text{ dBm/Hz}$** , 低于频谱仪的底噪**-145 dBm/Hz**, 测量无法进行, 因为无法读出准确的输出噪声密度.



# 测量的可行性分析(2)

加入一个**pre-amplifier**后, 输出噪声密度

$$N_{\text{out}} = -174 + 15 + 30 + 1.5 = -127 \text{ dBm/Hz}$$

这个数值比频谱仪的底噪**-145 dBm/Hz**高**18dB**, 也就是说频谱仪的底噪对总的输出噪声密度的影响可以忽略, 因此这样测出的**NF**就可以认为是待测**LNA**的**NF**.

基本上测量的可行性总结为一句话, 待测系统的输出噪声密度 **$N_{\text{out}} = -174 + \text{Gain} + \text{NF}$** 要比频谱仪的底噪高**20dB**以上.

# 实例之一

**WCDMA Direct conversion receiver, RF BW 2110-2170 MHz, Baseband BW 1.92 MHz**

**Signal freq = 2140.1 MHz**

**LO freq = 2140 MHz**

**Image freq = 2139.9 MHz**

**Output freq = 100 KHz**

信号频率和镜像频率处的噪声都会被变到**100 KHz**的输出频率, 因此在这种情况下输入噪声密度加倍

$$N_{in} = 10 \log(kT) + 3 = -171 \text{ dBm/Hz}$$

测量结果

$$\text{Gain} = 65 \text{ dB}$$

$$N_{out} = -103.5 \text{ dBm/Hz}$$

$$NF = N_{out} - N_{in} - \text{Gain} = 2.5 \text{ dB}$$

# 实例之二

1900 MHz LNA, 加入 **Gain = 25 dB, NF = 1.5 dB pre-amplifier**

**Total Gain = 41 dB**

**LNA Gain = 16 dB (measured separately)**

**$N_{out} = -131$  dBm/Hz**

**$NF = N_{out} - N_{in} - \text{Gain} = 2$  dB**

注: 对**LNA**的**NF**测量, 最好是用专门的**NF**仪器来做, 用频谱仪得出的结果不是很准确.

# 实例之三

CDMA Mixer, RF freq 869-894 MHz

Signal freq = 878.49 MHz

IF freq = 183.6 MHz

LO freq = 1062.09 MHz

Mixer Conversion Gain = 12 dB

Mixer NF = 7-10 dB range

**Mixer的输出噪声密度 $N_{out} = -174 + \text{Gain} + \text{NF} = -152$  dBm/Hz**

需要在Mixer IF输出端加一个低通滤波(滤掉LO leakage功率, 以免阻塞 pre-amplifier)和一个30dB pre-amplifier.

Total Gain = 42 dB

Mixer Gain = 12 dB (measured separately)

$N_{out} = -123$  dBm/Hz

SSB NF =  $N_{out} - N_{in} - \text{Gain} = 9$  dB

这里SSB NF表示IF输出只用了一个边带, 普通非零中频的Mixer的NF都是指SSB NF; 而零中频的Mixer的NF指DSB NF (DSB NF = SSB NF - 3).