

手机接收通道噪声系数测试

下面我们将介绍两种测试方案，并讨论其测试精度，最后给出实际测试数据以做对比。

利用频谱仪直接测试

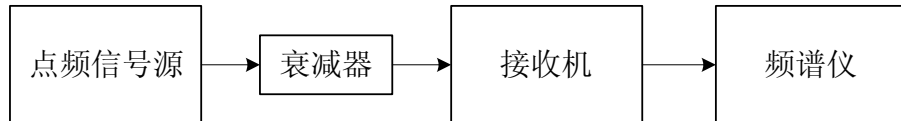


图 2：利用频谱仪直接测量噪声系数

利用频谱仪直接测量噪声系数的仪器连接如图 2 所示，其中点频信号源用于整个通道增益的校准，衰减器有两个作用，一是起到改善前端匹配的作用；二是做通道增益校准使用，因接收机增益往往很高，大于 100dB，而一些信号源不能输出非常弱的信号，配合该衰减器即能完成该功能。

测量步骤一，先利用信号源产生一个点频信号（一般我们感兴趣的是接收机小信号时的噪声系数，故此时点频信号电平应接近灵敏度电平），频点与本振信号错开一点，这样在基带 I/Q 端口可以得到一个点频信号，调节接收机通道增益使 I/Q 端点频信号幅度适中，测量接收机输入与输出端的点频信号大小可以求得这时的通道增益，记为 G；

测量步骤二，接步骤一，关闭信号源，保持接收机所有设置不变，用频谱仪测量 I/Q 端口在刚才点频频点处的噪声功率谱密度，I 端口记为 $P_{ncdensity}(dBm/Hz)$ ，Q 端口记为 $P_{nsdensity}(dBm/Hz)$ ，则接收通道噪声系数有下式给出：

$$P_{ncdensity}(dBm / Hz) = P_{nsdensity}(dBm / Hz) = 10 \lg \left[\frac{(F-1)k_b T_0 + k_b T_1}{mW} \right] + G(dB) + 3 \quad \text{Eq.1}$$

上式中 k_b 表示波尔兹曼常数，F 是噪声系数真值，我们用 NF 表示噪声系数的对数值， $NF = 10 \lg(F)$ ，G 表示整个通道增益， T_1 为当前热力学温度， T_0 等于 290K。假定 $T_1 = T_0$ ，容易求得 NF 的显式表达式如下：

手机接收通道噪声系数测试

$$\begin{aligned}
 NF &= Pncdensity(dBm / Hz) - [k_b T_0](dBm / Hz) - G(dB) - 3 \\
 &\approx 171 + Pncdensity(dBm / Hz) - G(dB)
 \end{aligned}
 \tag{Eq.2}$$

或者：

$$\begin{aligned}
 NF &= Pnsdensity(dBm / Hz) - [k_b T_0](dBm / Hz) - G(dB) - 3 \\
 &\approx 171 + Pnsdensity(dBm / Hz) - G(dB)
 \end{aligned}
 \tag{Eq.3}$$

关于方程 2 与方程 3 的正确性，我们可以做如下简单推导。先考虑点频情况，设接收机输入端点频信号为：

$$A \cos[2\pi(f_0 - \Delta f)t] = A[\cos(2\pi\Delta f t) \cos(2\pi f_0 t) + \sin(2\pi\Delta f t) \sin(2\pi f_0 t)] \tag{Eq.4}$$

接收机 I/Q 端口点频信号分别为：

$$A \cos(2\pi\Delta f t) * G \tag{Eq.5}$$

$$A \sin(2\pi\Delta f t) * G \tag{Eq.6}$$

现在考虑噪声问题，为简化计算，这儿设当前温度为 290K，即定义噪声系数的标准温度。根据噪声系数的定义，我们可以将系统产生的噪声等效到输入端口，该噪声与资用噪声功率和应等于资用噪声功率的 F 倍。下面我们用一个窄带平稳高斯过程来描述这两部分噪声之和，设噪声带宽为 2B，下面方程给出了该噪声的一些特性：

$$\begin{aligned}
 n(t) &= n_c(t) \cos(2\pi f_0 t) + n_s(t) \sin(2\pi f_0 t) \\
 \overline{n^2(t)} &= \overline{n_c^2(t)} = \overline{n_s^2(t)} = k_b T_0 2B F \\
 \overline{n_c(t)n_s(t+\tau)} &= 0 \quad \tau \neq 0
 \end{aligned}
 \tag{Eq.7}$$

比较方程 4 与方程 7，再参照方程 5 式与 6 式，我们可以得到接收机输出端的噪声表达式：

$$\text{I 端口: } n_c(t) * G \tag{Eq.8}$$

$$\text{Q 端口: } n_s(t) * G \tag{Eq.9}$$

手机接收通道噪声系数测试

结合方程 8 与方程 7 可以直接得到方程 2，结合方程 9 与方程 7 可以直接得到方程 3，注意 I 与 Q 端口噪声带宽为 B，是射频噪声带宽的一半。下图比较形象地给出了噪声变换过程：

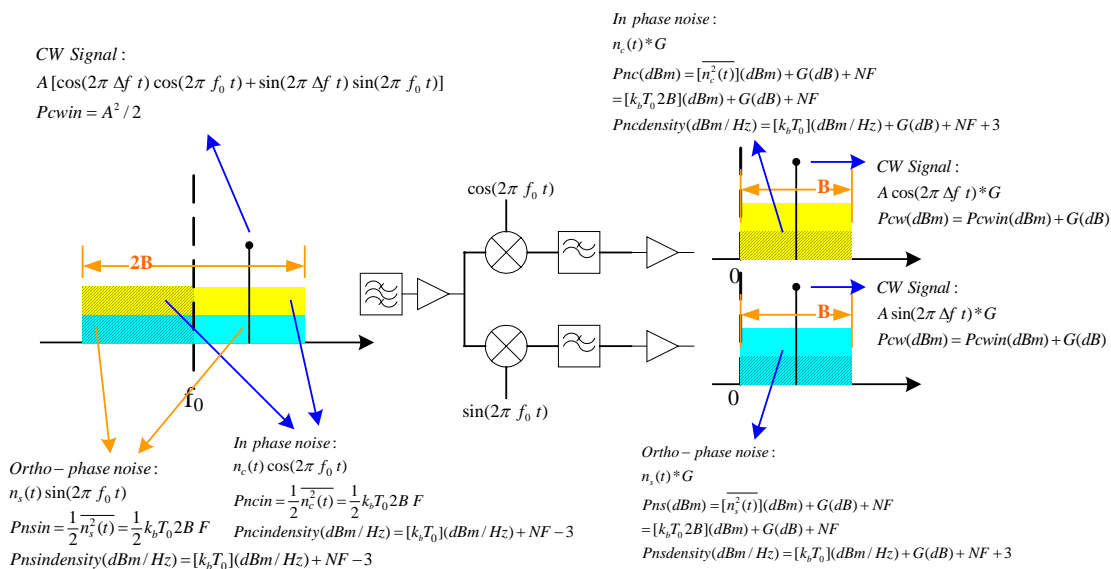


图 3：输入输出噪声功率及功率谱密度关系

从上图还可以看到，在数值上，输出同相噪声功率谱密度与输入同相噪声谱密度除通道增益与噪声系数外，相差 6dB，这说明输入同相噪声上下两边带是严格相关的；输出正交噪声谱密度与输入正交相噪声谱密度相比除通道增益与噪声系数外，同样也有 6dB 增益。

借助标准噪声源精确测试

这里介绍的方法即 Y 系数法，也称为冷热负载法，一般噪声系数测试仪表就采用该方法，但仪表有它自身的限制，如 HP8970B 所能测量的最低频率为 10MHz，待测件最大增益 80dB。我们这里采用通用频谱仪来检测待测件输出噪声大小，从而避开了噪声测试仪表在噪声检测上的限制，再根据 Y 系数法原理计算出待测件噪声系数。下图给出了该方法的仪器配置图：

手机接收通道噪声系数测试

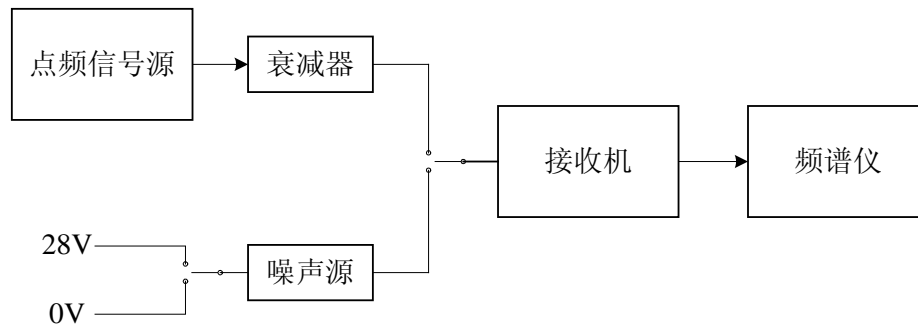


图 4: Y 系数法仪器配置图

测量步骤一，先将接收机接到点频信号源侧，利用信号源产生一个灵敏度电平的点频信号（因为我们通常感兴趣的是接收机小信号时的噪声系数），频点与本振信号错开一点，这样在基带 I/Q 端口可以得到一个点频信号。调节接收机通道增益使 I/Q 端点频信号幅度适中；

测量步骤二，接步骤一，保持接收机所有设置不变，将接收机接到噪声源一侧，噪声源置为冷态，设冷态噪声温度为 T_1 ，用频谱仪测量 I 端口噪声功率谱密度（I 与 Q 有相同的性质，故此处仅提及 I 端口），记为 $P_{oc}(\text{dBm/Hz})$ ；

测量步骤三，接步骤二，保持接收机设置不变，噪声源置为热态，设噪声温度为 T_2 ，用频谱仪测量 I 端口噪声功率谱密度，记为 $P_{oh}(\text{dBm/Hz})$ ；

所谓 Y 系数法中的 Y 即测量步骤三与测量步骤二两测量值的比值：

$$Y = P_{oh} / P_{oc} \quad \text{Eq.10}$$

设接收机等效噪声温度为 T_e 。我们可以用冷态源噪声温度，热态源噪声温度，接收机等效噪声温度来表示系数 Y，如下式：

$$Y = \frac{T_2 + T_e}{T_1 + T_e} \quad \text{Eq.11}$$

设噪声头超噪比为 ENR，标准噪声温度为 T_0 （290K），根据超噪比定义可得到下面等式：

手机接收通道噪声系数测试

$$ENR = \frac{T_2 - T_0}{T_0} \quad \text{Eq.12}$$

根据噪声系数与等效噪声温度定义可以得到下式：

$$F = \frac{T_e + T_0}{T_0} \quad \text{Eq.13}$$

联立方程 11, 12, 13, 可以容易求得噪声系数关于 ENR、Y、T₁、T₀ 的函数关系，其对数表达形式如下：

$$NF = ENR(dB) - 10\lg(Y - 1) + 10\log\left[1 + \frac{Y}{ENR} \left(1 - \frac{T_1}{T_0}\right)\right] \quad \text{Eq.14}$$

一般冷态噪声温度接近标准噪声温度，在对精度要求不高时，可以认为 T₁=T₀，上式可以简化为：

$$NF = ENR(dB) - 10\lg(Y - 1) \quad \text{Eq.15}$$

上式中 Y 由方程 10 给出，是间接测量值，ENR 由噪声头给出。根据该等式可以方便求出接收机噪声系数。

两种测试方法的优缺点比较

利用方法一测试 MAXIM 公司 TD-SCDMA 手机接收通道噪声系数，先利用点频信号测量通道增益，输入点频信号为 -105.6dBm，频点 2015.95MHz，MAX2392 的 LNA 与混频器置为高增益高线性状态，VGC 电压调到 2.63V，本振频点置为 2015.8MHz，这时我们在 I 输出端测到 -3.5dBm 的 150KHz 点频信号，从而计算出整个通道增益为 102.1dB。现在关掉输入的点频信号，利用频谱仪测量 I 端口在 150KHz 频点处噪声功率谱密度，我们用的频谱仪是 RS 公司 FSEA，为使噪声测量结果精确，检波方式设为“SAMPLE”，然后再利用“Maker Noise”功能测试。我们测到噪声功率谱密度为 -63.5dBm/Hz。根据方程 2 可以容易计算出整个通道的噪声系数为：

手机接收通道噪声系数测试

$$NF \approx 171 + Pncdensity(dBm/Hz) - G(dB) = 171 - 63.5 - 102.1 = 5.4dB$$

利用方法二测试 MAXIM 公司 TD-SCDMA 手机接收通道噪声系数，接上面的测量，保持 MAX2392 工作状态不变。在上面测试中得到的 I 端口 150KHz 频点处噪声功率谱密度即为冷态噪声源时的噪声功率谱密度，现在仅需测热态时该频点处噪声功率谱密度。这儿我们用的是 Noise/Com 公司的 NC346A 噪声头，其在 2G 频点处超噪比 ENR=5.91dB。利用与方法一中同样的测试方法，我们测到热态时在 150KHz 处噪声功率谱密度为-60.4dBm。根据方程 10 可以计算出 Y 系数为 3.1dB，再根据方程 15 我们可以计算出整个通道的噪声系数为：

$$NF = ENR(dB) - 10\lg(Y - 1) = 5.91 - 10\lg(10^{\frac{3.1}{10}} - 1) = 5.7dB$$

比较上面两种方法得到的测量结果，仅差 0.3dB，测试结果是比较理想的。这两种方法中，第二种测试方法更精确一些，原因是频谱仪在测量噪声功率谱密度时可能会有误差，频谱仪的中频滤波器的信号带宽与噪声带宽一般不等，有的频谱仪会给出一个修正值，有的则没有，如我们没有考虑该修正值，或仪表在读数上未做修正，则我们测到的噪声功率谱密度就可能有 1dB 左右偏差，导致最终噪声系数 1dB 左右偏差。如按第二种方法测试，因为我们仅需知道冷热噪声源时功率谱密度比值，即便在冷热两种噪声源时测到的功率谱密度有偏差，其比值依然是正确的，从而提高了噪声的测量精度。