

## 基于 ADS 的 2GHz 低噪声放大器设计

陈 印, 俞俊学, 俞 奇, 肖丽娟, 赵 维, 俞沛文

(浙江工业大学信息工程学院, 浙江 杭州 310023)

**摘要:** 该文根据对晶体管结构和低噪声放大器原理的分析, 利用 ADS 软件设计了一个低噪声放大器。通过采用 HBT 晶体管, 设计偏置电路、负反馈电路和输入输出匹配电路, 实现在 2GHz 频率下, 低噪声放大器绝对稳定, 增益大于 13dB, 噪声系数低于 1.0dB, 输出驻波比小于 1.3, 输入驻波比小于 2.5。

**关键词:** 低噪声放大器; 散射参数; 噪声系数; 增益

**中图分类号:** TN722

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-9146(2013)05-0110-04

## 0 引言

随着无线通信的高速发展, 低噪声、高增益的无线通信接收端设备成为研究热点。低噪声放大器具有抑制噪声、放大功率等作用, 被广泛应用在物联网、Wi-Fi、雷达定位、无线短距离数据传送和智能交通等诸多领域; 同时, 低功耗的特点使其在个人便携设备上发挥了很好的功效。因此, 在目前的各种无线通信技术中, 低噪声放大技术成为一种非常有竞争力的技术, 高增益、低噪声系数、低功耗的 LNA 已成为通信系统设计中的核心问题之一, 它对于整个接收系统技术水平的提高, 起着决定性的作用<sup>[1]</sup>。基于低噪声放大器在通信接收端独特的重要地位, 国际和国内均进行了大量的研究, 但是目前市场使用的低噪声放大器大多采用 FET 有源晶体管, 为了达到更低噪声系数和更高增益, 研究人员往往采用多级低噪声放大器, 虽然效果能够达到各种场合的需要, 但这无疑也增加了工作量。本文采用 HBT 晶体管, 可以在更高频率达到低噪声系数和高增益; 同时依据豪斯定理, 通过设计偏置电路调整工作点的电流大小, 从而调整了等噪声系数圆和等增益圆的圆心位置, 从半导体结构上寻求缩小最低噪声系数点和最大增益点之间距离的方法, 更大程度上达到了兼顾最低噪声系数和最大增益的要求。

## 1 LNA 设计技术原理

### 1.1 噪声系数

远距离无线通信系统中接收机得到的信号是很微弱的。低噪声放大器最主要的功能就是降低放大电路的噪声, 获得最小的噪声系数, 提高信噪比<sup>[2]</sup>。噪声系数等效为输入信噪比与输出信噪比, 如果用分贝表示, 则  $F_n$  的表达式为:

$$F_n = 10 \lg \left( \frac{S_{in}/N_{in}}{S_{out}/N_{out}} \right) \quad (1)$$

### 1.2 增益

低噪声放大器的增益主要是指工作功率增益  $G_p$ 。但是除了工作功率增益之外, 还包括转换功率增

收稿日期: 2013-07-20

基金项目: 浙江省大学生科技创新活动计划(新苗人才计划)资助项目(R403041)

作者简介: 陈印(1991-), 男, 浙江温州人, 在读研究生, 通信工程。

益  $G_T$  和资用功率增益  $G_A$  这些在实际应用中也会碰到<sup>[3]</sup>。放大器的增益首先与晶体管的跨导有关,跨导又直接由工作点的电流决定;其次增益也有电路匹配有关,低噪声放大器更多考虑噪声系数,它的匹配点都不是最大增益点,因此增益要下降,往往比最大增益少 3~4dB<sup>[4,5]</sup>。低噪声放大器的增益要选择适中,增益过大,会使下级混频器产生失真;但是增益太小,后面各级的噪声得不到抑制,对系统也会产生不良影响。

### 1.3 最佳噪声匹配

一般任何有源二端口网络可以用一个噪声电压源和一个噪声电流源连接于无噪网络的输入端口来表示。如果电路表现为电压噪声为主,用一高阻抗源将使噪声信号的传输最小;但是如果是电流噪声为主,用低阻抗源将使噪声信号的传输最小<sup>[6]</sup>。当两种噪声源都必须考虑时,在特定的源导纳或源阻抗时,电路的噪声系数将最小,这种情况的源导纳称为最佳源导纳。在输入导纳或阻抗平面上用史密斯圆图可以画出恒定噪声圆。噪声系数如何从最小噪声系数增加可以用下式表示:

$$F = F_{\min} + \frac{R_n}{G_s} |Y_s - Y_0|^2 = F_{\min} + \frac{R_n}{G_s} [(G_s - G_0)^2 + (B_s - B_0)^2]$$

$$= F_{\min} + \frac{4 \overline{R_n} |\Gamma_s - \Gamma_0|^2}{(1 - |\Gamma_s|^2) |1 + \Gamma_0|^2} \quad (2)$$

式中  $\overline{R_n} = R_n / Z_C$  ( $Z_C$  通常为 50Ω),  $F_{\min}$ 、 $R_n$  和  $\Gamma_0$  通常是由生产厂家给出,也可由实验决定<sup>[7]</sup>。

只有使端口的反射系数  $S_{11}$  等于最低噪声系数对应的反射系数  $\Gamma_s$  (通常记为  $S_{opt}$ ) 时,才能使对噪声得到最大的抑制作用。

### 1.4 共轭匹配

对于稳定的二端口网络(即稳定系数大于 1),当二端口同时满足共轭匹配时,传输功率增益达到最大值,即满足如下条件:

$$\Gamma_S = \Gamma_{IN}^* \quad (3)$$

$$\Gamma_L = \Gamma_{OUT}^* \quad (4)$$

二端口网络的反射系数:

$$\Gamma_{IN} = S_{11} + \frac{S_{12} S_{21} \Gamma_L}{1 - S_{22} \Gamma_L} \quad (5)$$

$$\Gamma_{OUT} = S_{22} + \frac{S_{12} S_{21} \Gamma_S}{1 - S_{11} \Gamma_S} \quad (6)$$

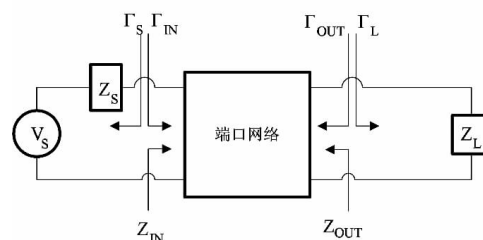


图1 源端和负载端的反射系数

## 2 LNA 电路设计与分析

具体的实现电路如图 2 所示。采用的型号为 2021M05 的 HBT 晶体管,  $R_1$ 、 $R_2$  和  $V_{DC}$  构成偏置电路,使  $V_C = 2V$ ,  $I_C = 3mA$ ,此时 LNA 的功耗是比较低的。 $L_5$  和  $L_6$  组成负反馈电路,使 LNA 工作于绝对稳定状态。 $L_8$  和  $L_9$  起到通直流,隔交流的作用,防止高频信号影响直流电压源的正常工作。 $C_1$  和  $C_2$  起到通交流,阻直流的作用。 $TL_1$

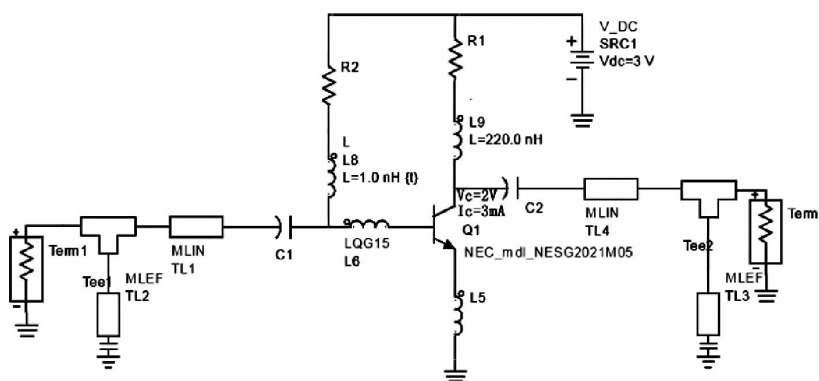


图2 整体电路图

和  $TL_2$  组成 L 型输入端匹配电路,将输入反射系数  $S_{11}$  匹配到等增益圆中确定的  $\Gamma_s$ 。 $TL_3$  和  $TL_4$  组成 L 型输出端匹配电路,将输出反射系数  $S_{22}$  匹配到  $\Gamma_L$ ,  $\Gamma_L$  是通过式 4、6 和确定值  $\Gamma_s$  得到的。最后通过调

节电路中的元件参数值,对电路进行优化。

### 3 仿真结果分析

不同增益的等增益圆和不同噪声系数的等噪声系数圆如图 3 所示,综合考虑增益和噪声系数的大小,最终选择 m1 点,该点对应的  $\Gamma_s$  为 0.269/91.290,再通过式 4、6,计算出  $\Gamma_L$  为 0.767/24.812。利用  $\Gamma_s$  和  $\Gamma_L$  设计匹配电路。

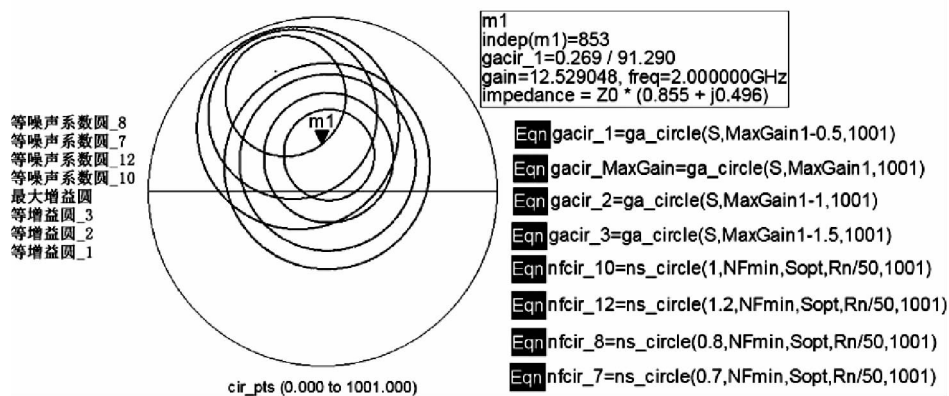


图 3 等增益圆和等噪声系数圆

仿真结果如图 4 所示。在 2GHz 时,输出反射系数  $S_{22} = -24.575\text{dB}$ ,达到了较好的输出匹配;增益并在 1.8~2.1GHz 都保持在 10dB 以上,可以有效放大输入的射频信号,同时抑制下级模块的噪声;nf(2) 和  $NF_{\min}$  曲线比较接近,输出端的噪声系数 = 0.985,并在 2GHz 附近的很大频率范围内保持平稳;稳定系数 = 1.049,在 2GHz 附近的很大频率范围内均大于 1,保持绝对稳定。输入和输出驻波比如图 5 所示。在 2GHz 时,输出驻波比为 1.126,对应的输入驻波系数为 2.28。

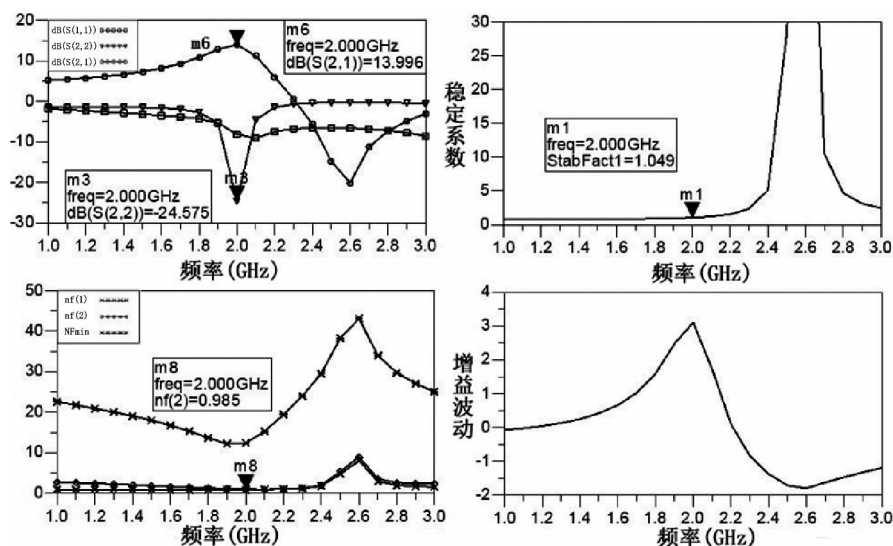


图 4 仿真结果

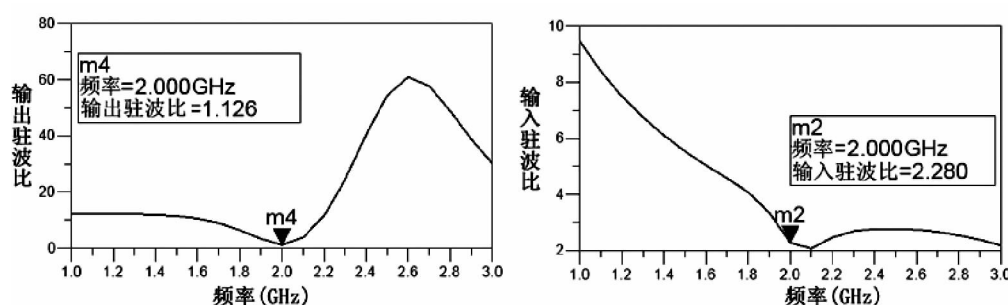


图5 输出驻波系数和输入驻波系数

## 4 结束语

本文根据 HBT 的基本特性, 进行低噪声放大器的设计, 在保持较低功耗的情况下, 实现了较高的功率增益和较低的噪声系数。运用 ADS 软件对电路进行匹配设计, 并优化改善电路中元件的参数, 使指标最优化。最后得到了 2GHz 下, 噪声系数小于 1.0dB, 输出驻波比小于 1.3, 输入驻波比小于 2.5, 增益达到 13.996dB 且平坦度较好, 稳定系数大于 1.0 的低噪声放大器。

## 参考文献

- [1] 张健男, 张科峰, 刘览琦. 3.1~5.2GHz 超宽带可变增益低噪声放大器设计[J]. 现代电子技术, 2012, 35(4): 159-162.
- [2] 陈昌明, 彭烨, 王建波. 3~5GHz 超宽带可变增益 CMOS 低噪声放大器的设计[J]. 电子技术应用, 2012, 38(4): 46-48.
- [3] 许春良, 王绍东, 柳现发. 4~20GHz 超宽带低噪声放大器单片电路[J]. 半导体技术, 2013, 28(1): 6-9.
- [4] 王巍, 宫召英, 杨铿. 3~5GHz 超宽带无电感 CMOS 低噪声放大器设计[J]. 微电子学与计算机, 2012, 29(6): 130-133.
- [5] 邓志辉. 平衡式 Ku 波段低噪声放大器 ADS 仿真[J]. 实验科学与技术, 2012, 10(1): 24-26.
- [6] 唐学锋, 马陈燕, 蒋林华. 基于噪声抵消技术的宽带低噪声放大器设计[J]. 微电子学与计算机, 2013, 30(1): 135-138.
- [7] Peinhold Ludwig, Pavel Bretchko. 王子宇, 王心悦译. 射频电路设计: 理论与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002: 307-308.

## The Design with ADS of a Low Noise Amplifier Under 2GHz

CHEN Yin, YU Jun-xue, YU Qi, XIAO Li-juan, ZHAO Wei, YU Pei-wen  
(College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou Zhejiang 310023, China)

**Abstract:** According to the principle analysis of low noise amplifier, we designed a low noise amplifier with ADS. Using the HBT transistor to design the biasing circuit, negative feedback circuit and input and output matching circuit, the low noise amplifier will be stable during 2GHz. The gain will be higher than 13dB, the noise figure will be lower than 1.0dB, the output of standing-wave ratio will be lower than 1.3, and the input of standing-wave ratio will be lower than 2.5.

**Key words:** low noise amplifier; S-parameters; noise figure; gain