

基于 Darlington Cascode 结构的 SiGe 异质结双极晶体管 UWB 低噪声放大器的设计^①

丁春宝^② 张万荣^③ 金冬月 谢红云 陈 亮 沈 佩 张东晖 刘波宇 周永强 郭振杰

(北京工业大学电子信息与控制工程学院 北京 100124)

摘 要 详细地分析了 Cascode 结构的线性度和 3dB 带宽,利用 Cascode 结构的高线性度和 Darlington 结构的高增益的优点构成了 Darlington-Cascode 结构,在此基础上,基于台积电 TSMC 0.35 μm SiGe 工艺,设计了一款芯片面积小的满足超宽带(UWB)标准的无电感 SiGe 异质结双极晶体管(HBT)低噪声放大器(LNA)。该放大器利用电阻反馈结构替代了电感-电容(LC)匹配网络结构,实现了输入、输出阻抗匹配,未采用无源电感,节省了芯片面积,芯片面积仅为 0.046mm²,并将 Darlington-Cascode 结构作为 LNA 的输出级,既提高了增益,又提高了线性度。LNA 版图仿真结果表明,在 UWB 频带范围内,LNA 的增益为 19.5 ~ 20 dB,增益平坦度为 $\pm 0.25\text{dB}$;输入、输出匹配良好;线性度为 $-5 \sim -2\text{dBm}$;在整个频段内,无条件稳定。

关键词 低噪声放大器(LNA), SiGe 异质结双极晶体管(HBT), 电阻反馈, 线性度, 共射-共基放大器

0 引言

随着无线通信技术的发展,对高速通信系统的要求越来越高。超宽带(ultra-wideband, UWB)通信技术的民用,满足了高速通信系统的需求。UWB 技术是一种具有高数据传输率的无载波通信技术,在较宽的频谱上实现数百 Mbit/s 至数 Gbit/s 的数据传输速率。采用 UWB 技术的射频无线接收机具有抗干扰能力强、传输速率高、频带宽(3.1 ~ 10.6GHz)、成本低等诸多优势^[1]。UWB 低噪声放大器(low noise amplifier, LNA)作为整个 UWB 接收机模块的第一级,其性能对整个接收机系统具有重要影响。因此,UWB LNA 应具有低的噪声系数、高的增益、良好的增益平坦度和阻抗匹配,为了抑制相邻信道之间的干扰还需要具有良好的线性度^[2],并且在工作的频带范围内绝对稳定。当前比较常用的电感-电容(LC)匹配结构^[3,4],可以在不增加噪声的情况下实现输入输出阻抗匹配,但是增益平坦度较差,且由于无源电感的存在,增加了芯片面积。本研究利用 SiGe 异质结双极晶体管(silicon germanium het-

erojunction bipolar transistor, SiGe HBT)噪声低、输出电阻大(Early 电压大)、增益大、频率特性好、成本低、与现有 Si 集成电路和主流 CMOS 工艺兼容的特点,基于台积电(Taiwan Semiconductor Manufactory Company, TSMC) 0.35 μm SiGe 工艺,设计了一款能满足 UWB 标准的 SiGe HBT LNA。该放大器利用多重电阻反馈技术代替 LC 匹配结构实现阻抗匹配,由于未采用无源电感,节省了芯片面积。本文给出了其输入、输出阻抗表达式,同时对反馈电阻引入的噪声进行了分析。本研究基于对 Cascode 结构 3-dB 带宽和线性度的分析,利用 Darlington 结构高增益和 Cascode 结构高线性度的优点,构成了 Darlington-Cascode 结构,并将其作为 LNA 的输出级,获得了良好的增益、增益平坦度和线性度。

1 电路理论及电路结构

1.1 阻抗匹配及噪声分析

在超宽带低噪声放大器(UWB LNA)设计中,为了减少信号反射引起的失真,传输线和放大器之间需要进行阻抗匹配。阻抗匹配通常利用 S 参数的输

① 国家自然科学基金(60776051,61006044,61006059)和北京市自然科学基金(4082007,4122014)资助项目。

② 男,1981 年生,博士生;研究方向:射频器件与射频集成电路设计;E-mail: chunbaoding@emails.bjtu.edu.cn

③ 通讯作者,E-mail: wrzhang@bjtu.edu.cn

(收稿日期:2011-10-25)

入端反射系数 S_{11} 和输出端反射系数 S_{22} 来表征, S_{11} 、 S_{22} 的表达式为

$$S_{11}(\text{dB}) = 20\log \left| \frac{Z_S - Z_{in}}{Z_S + Z_{in}} \right| \quad (1)$$

$$S_{22}(\text{dB}) = 20\log \left| \frac{Z_{out} - Z_{SL}}{Z_{out} + Z_{SL}} \right| \quad (2)$$

其中 Z_S 、 Z_{SL} 为传输线的特征阻抗, Z_{in} 、 Z_{out} 分别为放大器的输入输出阻抗。L 结构作为常用的阻抗匹配结构,由于使用无源电感占有较大的芯片面积,因此为了节省芯片面积,本文采用电阻反馈结构实现阻抗匹配。

图 1 是采用电阻反馈结构的 UWB LNA 的电路结构图,其中 Q_2 是等效的 Darlington 管,其等效电路图如图 2 所示。由图 2 可以得出采用电阻反馈结构的 UWB LNA 的输入阻抗 Z_{in} 为

$$Z_{in} = \frac{R_n + Z_{E2}}{1 + A_1\beta_1} = \frac{(1 + g_{m2}R_C \parallel R_L)(R_n + Z_{E2})}{1 + g_{m2}R_C \parallel R_L + g_{m1}g_{m2}R_fZ_{E2}} \quad (3)$$

其中 A_1 、 β_1 分别为电流增益和电流反馈系数; g_{m1} 、 g_{m2} 分别为晶体管 Q_1 和 Q_2 的跨导。在 GHz 工作频带内,旁路阻抗 $Z_{E2} \ll R_n$, $g_{m2}(R_C \parallel R_L) \gg 1$, 此时,式(3)变为

$$Z_{in} \approx \frac{(R_C \parallel R_L)R_n}{R_C \parallel R_L + g_{m1}R_fZ_{E2}} \quad (4)$$

由式(4)可以看出,输入阻抗与晶体管 Q_1 的偏置、反馈电阻 R_f 、 R_n 、 R_C 、 Z_{E2} 有关。

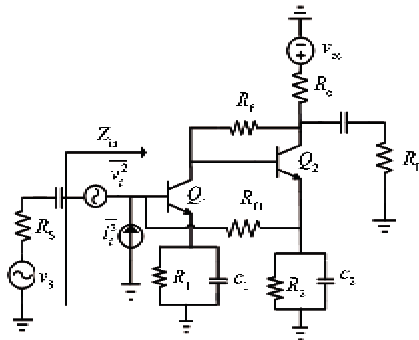


图 1 采用电阻反馈结构的 UWB LNA 电路结构图

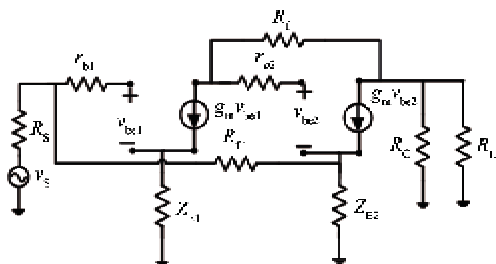


图 2 采用电阻反馈结构的 UWB LNA 等效电路图

分析图 2 所示的 UWB LNA 的交流等效电路, 从 Q_1 输出端看过去的输出阻抗 R_o 可表示为

$$R_o = \frac{R_s + R_n}{R_s + g_{m1}g_{m2}Z_{E2}} \quad (5)$$

由 Q_2 输出端看过去的输出阻抗 Z_o 为

$$Z_o = \frac{R_f + R_{ol}}{1 + g_{m2}R_{ol}} \quad (6)$$

因此, LNA 的输出阻抗 Z_{out} 可表示为

$$Z_{out} = Z_o \parallel R_c = \frac{R_f + R_o}{1 + g_{m2}R_o} \parallel R_c \quad (7)$$

由于反馈电阻热噪声的引入,恶化了整个放大器的噪声性能,因此在利用电阻反馈实现阻抗匹配时,需要对放大器进行噪声分析并优化。对于级联的 LNA 来说,当第一级增益足够大时,其噪声性能主要决定于第一级 LNA 的噪声系数^[5,6],即带有反馈支路的晶体管 Q_1 。带有等效输入噪声源的电路结构如图 1 所示。图 1 中 $\bar{v}_i^2$ 、 $\bar{i}_i^2$ 分别为等效输入噪声电压源和等效输入噪声电流源。对于并联反馈支路来说,并联电阻反馈只影响晶体管的等效输入噪声电流,对等效输入噪声电压无影响^[7]。等效输入噪声电压源和等效输入噪声电流源的表达式分别为

$$\bar{v}_i^2 = \bar{v}_{Q1}^2 = 4kT(r_{bi} + \frac{1}{2g_{m1}} + R_f)\Delta f \quad (8)$$

和

$$\bar{i}_i^2 = \bar{i}_{Q1}^2 + \bar{i}_f^2 = (2qI_B + \frac{2qI_C + \frac{4kT}{R_f + (R_C \parallel R_L)}}{|\beta(j\omega)|^2})\Delta f + \frac{\bar{v}_i^2}{R_n^2} + 4kT\frac{1}{R_n}\Delta f \quad (9)$$

因此, UWB LNA 的噪声系数 NF 可表示为:

$$NF \approx NF_{Q_1} + NF_{Q_{反馈}} = 1 + \frac{\bar{v}_i^2}{4kTR_s\Delta f} + \frac{\bar{i}_i^2}{4kT\frac{1}{R_n}\Delta f} \quad (10)$$

由式(8)、(9)、(10)可得噪声系数为

$$NF = 1 + \frac{(r_{bi} + \frac{1}{2g_{m1}} + R_f)}{R_s} + \frac{R_s}{4kT}(2qI_B + \frac{2qI_C - \frac{4kT}{R_f + (R_C \parallel R_L)}}{|\beta(j\omega)|^2}) + \frac{R_s}{R_n^2}(r_{bi} + \frac{1}{2g_{m1}} + R_f) + \frac{R_s}{R_n} \quad (11)$$

式中, r_{bi} 、 g_{m1} 、 β 分别是 Q_1 的基极电阻、跨导和电流增益。在 LNA 设计中, R_s 、 R_L 为固定值 50Ω, 因

此,对于选定的晶体管,当偏置条件一定时,反馈电阻 R_1 、 R_n 对整个系统的噪声系数起关键的作用,通过增大偏置电阻 R_n 的值和减小偏置电阻 R_1 的值可减小整个系统的噪声系数。

1.2 Cascode SiGe HBT 结构

Cascode 结构是共发射极和共基极晶体管的级联结构,其中,共基极晶体管能够降低共发射极晶体管的电压增益,并对共发射极晶体管产生的受控输出电流进行缓冲,降低发射极输出端电阻,从而减小晶体管的集电极电压增益,减小米勒效应。

在非线性分析时,Cascode 结构等效为由电流源驱动的共基极晶体管,电流源是由共发射极晶体管等效而成,其值为共射结构的集电极电流值,电路结构图和等效电路图分别如图 3 和图 4 所示。

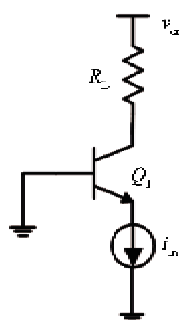


图 3 Cascode 结构电路图

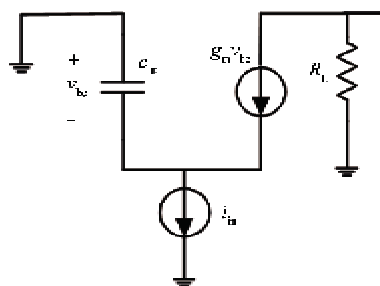


图 4 Cascode 结构等效电路图

由图 4 可以得出其基极-发射极的电压与共射结构的关系,表达式为

$$v_{cas,be} = -\frac{g_m v_{c,be}}{g_{m2} + g_{\pi 2}} \quad (12)$$

其中 $v_{cas,be}$ 、 $v_{c,be}$ 分别为 Cascode 结构和共射结构的基极-发射极的电压, g_{m2} 、 $g_{\pi 2}$ 分别为 Cascode 结构中基极晶体管的跨导和基极-发射极导纳。非线性分析时,等效电路为由非线性元件产生的非线性电流源为激励源的线性电路。图 5 和图 6 分别是共射结构和 Cascode 结构的非线性等效电路示意图,其

中, c_{π} 为基极-发射极电容, $i_{nl,g}$ 、 $i_{nl,e}$ 分别为由非线性电容和跨导产生的非线性电流源。

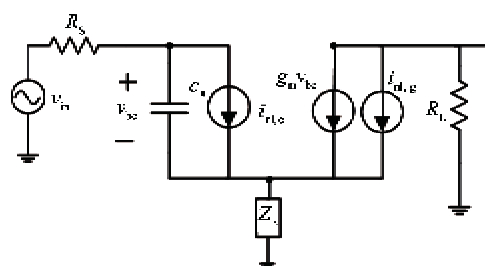


图 5 共射极结构非线性等效电路图

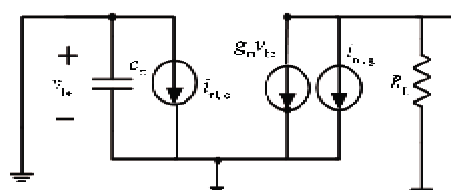


图 6 Cascode 结构非线性等效电路示意图

由共发射极结构和 Cascode 结构的电容和跨导产生的三阶非线性电流源表达式,经推导,可分别表示如下:

$$i_{e,3,v} = j(2w_1 - w_2) \left(\frac{\tau_F g_m}{2V_T} v_{c,be,w1} \cdot v_{c,be,\Delta w} + \frac{\tau_F g_m}{2V_T} v_{c,be,w2} \cdot v_{c,be,2w1} + \frac{1}{8} \frac{\tau_F g_m^2}{V_T^2} v_{be,\pi}^2 v_{c,be,w2} \right) \quad (13)$$

$$i_{e,3,g} = \frac{g_m}{2V_T} v_{s,be,w1} \cdot v_{s,be,\Delta w} + \frac{g_m}{2V_T} v_{s,be,w2} \cdot v_{s,be,2w1} + \frac{1}{8} \frac{g_m^2}{V_T^2} v_{be,\pi}^2 v_{c,be,w2} \quad (14)$$

$$i_{cas,3,e} = j(2w_1 - w_2) \left\{ \left(\frac{g_m}{g_{m2} + g_{\pi 2}} \right)^2 \frac{\tau_F g_m}{2V_T} v_{c,be,w1} \cdot v_{c,be,\Delta w} + \left(\frac{g_m}{g_{m2} + g_{\pi 2}} \right)^2 \frac{\tau_F g_m}{2V_T} v_{c,be,w2} \cdot v_{c,be,2w1} - \left(\frac{g_m}{g_{m2} + g_{\pi 2}} \right)^3 \frac{1}{8} \frac{\tau_F g_m^2}{V_T^2} v_{be,\pi}^2 v_{c,be,w2} \right\} \quad (15)$$

$$i_{cas,3,g} = \left(\frac{g_m}{g_{m2} + g_{\pi 2}} \right)^2 \frac{g_m}{2V_T} v_{c,be,w1} \cdot v_{c,be,\Delta w} + \left(\frac{g_m}{g_{m2} + g_{\pi 2}} \right)^2 \frac{g_m}{2V_T} v_{c,be,w2} \cdot v_{c,be,2w1}$$

$$- \left(\frac{g_m}{g_{m2} + g_{\pi 2}} \right)^3 \frac{1}{8} \frac{g_m^2}{V_T^2} v_{bc,w1} v_{c,bc,w2} \quad (16)$$

其中, τ_F 为正向传输时间, g_m 、 g_{m2} 分别为共发射极和共基极结构的跨导。由式(13) - (16)可以看出, 在相同的偏置条件下, Cascode 结构的三阶非线性电流源是小于共发射极结构的。由图 5、图 6 可以得出三阶输出电压分别为

$$v_{o,3}^{us} = \left(\frac{i_{bclc_{\pi,3}} + i_{bclg_{m,3}}}{g_{mb} + g_{cb}} \cdot g_{mb} - i_{bclg_{m,3}} \right) \cdot R_{bL}$$

$$v_{o,3}^{uc} = \left(\frac{i_{cmlc_{\pi,3}} + i_{cmlg_{m,3}}}{g_{me} + g_{\pi e}} \cdot g_{me} + i_{cmlg_{m,3}} \right) \cdot R_{cL} \quad (17)$$

其中 $g_{mb,c}$ 、 $g_{\pi b,c}$ 分别为共基极结构和共发射极结构的跨导、基极-发射极导纳。在相同的偏置条件下, 由同种结构晶体管构成的共基极和共发射极放大器的跨导、导纳相等。由于 Cascode 结构的三阶非线性电流源小于共发射极的, 故其三阶输出电压小于共射结构的三阶输出电压。

射频电路设计中, 通常用输入三阶交调点 (input 3rd order intercept point, IIP_3) 来衡量电路的线性度。在输入信号相同的情况下, IIP_3 与一阶输出电压和三阶输出电压的比值成正比, 由此可以得到, Cascode 结构的 IIP_3 大于共射极结构的 IIP_3 , 即在相同结构的晶体管和同等偏置条件下, Cascode 结构与共射极结构相比, 具有更好的线性度。

本文利用 Cascode 结构高线性度和 Darlington 结构高增益的优点, 将 Darlington 结构的第二级由 Cascode 结构替代, 构成了 Darlington-Cascode 结构。图 7 是本文提出的 Darlington-Cascode 结构的电路图, 其中 B^{DC} 、 C^{DC} 、 E^{DC} 为 Darlington-Cascode 结构的基极、集电极和发射极。Darlington-Cascode 结构集合了 Darlington 结构和 Cascode 结构的优点, 具有高增益和高线性度, 将其作为 LNA 的输出级, 提高了整个 LNA 的增益和线性度。

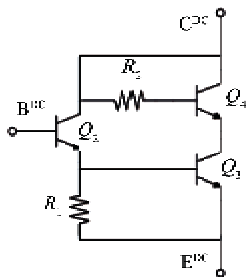


图7 Cascode-Darlington 电路结构图

1.3 电路结构和芯片版图

本文提出的基于 Darlington-Cascode 结构的 UWB LNA 电路结构如图 8 所示。

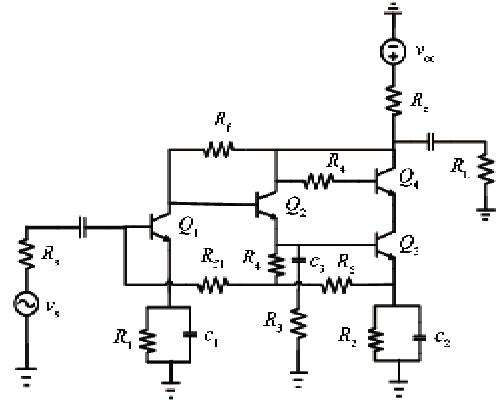


图8 UWB LNA 电路图

其中 c_1 、 c_2 为旁路电容, R_g 、 R_f 为反馈电阻; Q_3 、 Q_4 组成的 Cascode 结构与 Q_2 一起构成了 Darlington-Cascode 结构, 作为输出级, 提高了 UWB LNA 的增益和线性度。利用 Cadence 公司的版图工具 Virtuoso 完成了 UWB LNA 芯片版图设计, 如图 9 所示。在含隔直电容、未含焊盘的情况下, 芯片面积仅为 0.046mm^2 。其中, 有源器件 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 和 Q_4 选用基于台积电 TSMC $0.35\mu\text{m}$ SiGe 工艺 SiGe HBT, 采用自对准多发射极结构, 截止频率 $f_T = 80\text{GHz}$, 直流增益 $\beta = 150$, Q_1 、 Q_3 和 Q_4 采用 2 个发射极指、4 个基极指、2 个集电极指的结构, Q_2 采用 1 个发射极指、2 个基极指、1 个集电极指的结构, 发射极条宽和条长分别为 $0.3\mu\text{m}$ 和 $9.9\mu\text{m}$ 。电阻选用方块电阻为 105Ω 的 poly 电阻, 电容选用单位面积电容为 10^{-3}F 的金属电容。

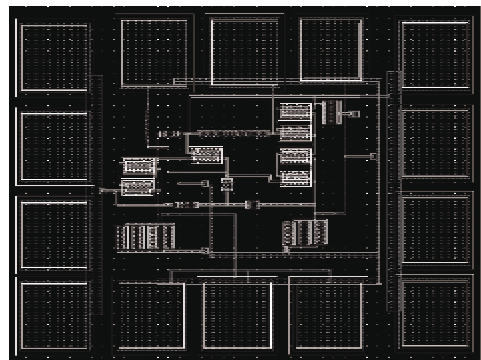


图9 UWB LNA 芯片版图

2 仿真实验及结果分析

本文基于 TSMC 0.35 μm SiGe 工艺, 完成了 UWB LNA 的电路结构和芯片版图的设计, 并利用 Cadence 公司的仿真工具 Spectre, 对芯片版图进行了仿真分析。

图 10 给出了 LNA 的噪声系数、增益与频率的关系。由图 10 可以看出, 在整个工作频段内, LNA 的噪声系数 NF 为 4.1 ~ 4.7 dB, 增益 S_{21} 为 19.5 ~ 20 dB, 增益平坦度为 ± 0.25 dB, 具有良好的噪声系数、增益和增益平坦度。

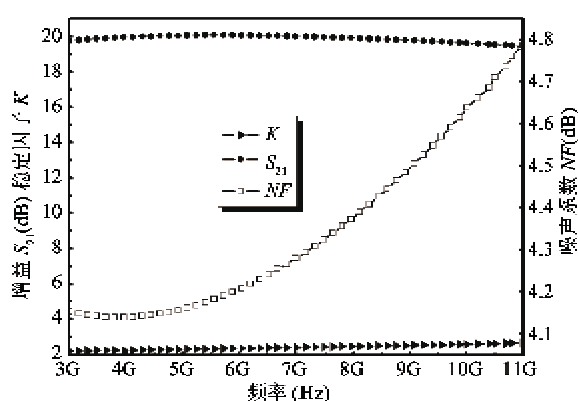


图 10 LNA 噪声系数 NF , 增益 S_{21} 和稳定因子 K

在射频电路设计中, 输入反射系数 S_{11} 和输出反射系数 S_{22} 要小于 -10 dB。图 11 是 LNA 的输入反射系数 S_{11} 、输出反射系数 S_{22} 和反向增益 S_{12} 与频率的关系。在 UWB 范围内, LNA 的输入反射系数 S_{11} 和输出反射系数 S_{22} 均小于 -10.5 dB, LNA 的输入输出匹配良好。在 UWB 频段内, LNA 的反向增益 $S_{12} < -33$ dB, 具有良好的反向隔离性。

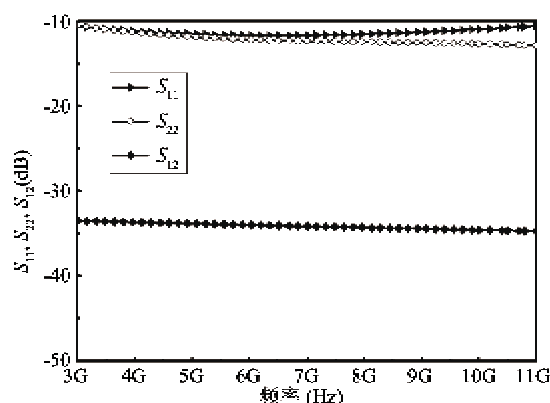


图 11 LNA 反射系数 S_{11} 、 S_{22} 和反向增益 S_{12}

由于射频电路在某些工作频率和终端条件下有产生振荡的趋势, 所以放大器在其工作的频段内必须保证绝对稳定。在射频电路中, 绝对稳定的条件是稳定系数 K 大于 1, $|\Delta| = |S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21}| < 1$ ^[6]。电路的稳定因子 K 与频率的关系如图 10 所示, 在 UWB 频段内, LNA 的稳定系数大于 2.2, 并且 $|\Delta| < 0.23$, 故在 UWB 频段内, 电路无条件稳定。

为了抑制相邻信道之间的干扰, UWB LNA 需要具有良好的线性度^[3]。在电路设计中, IIP_3 是被用来衡量电路的线性度性能指标, 其值越大, 线性度越好。UWB LNA 在 10.5 GHz 时的 IIP_3 为 -5 dBm, 如图 12 所示。图 13 是 LNA 的 IIP_3 值与频率的关系, 在 UWB 范围内, IIP_3 为 -5 ~ -2 dBm。

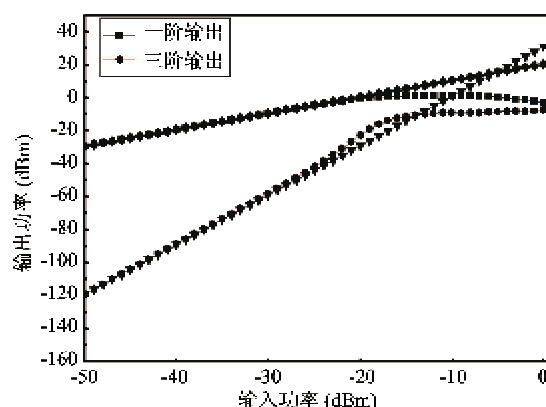


图 12 UWB LNA 10.5 GHz 的 IIP_3

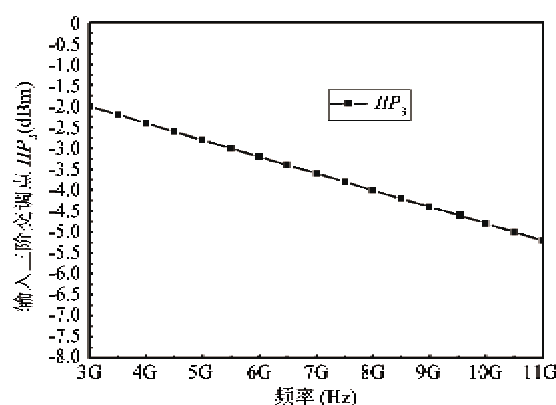


图 13 UWB LNA 3-11 GHz 的 IIP_3

表 1 列出了近几年发表的 SiGe 和 CMOS 工艺的 UWB LNAs, 其中文献[8]为四级级联 LNA。由表 1 可以看出, 由于本文的 LNA 采用了电阻反馈结构实现阻抗匹配, 未使用无源电感, 与使用无源电感的 LNAs^[9-11] 相比, 节省了芯片面积, 在包含隔直电容的情况下, 芯片面积仅为 0.046 mm²。除采用了电

阻反馈结构外,本文的 LNA 还采用了新型的 Darlington Cascode 结构作为输出级,与采用电阻反馈结

构的 LNAs^[8,12]相比,不但具有良好整体增益和噪声性能,而且增益平坦度和线性度有了明显的提高。

表1 SiGe 和 CMOS 工艺的 UWB LNA

	本文	文献[9]	文献[12]	文献[10]	文献[8]	文献[11]
带宽(GHz)	3.1~10.6	3.1~10.6	3~10	3.1~10.6	3~10	3.1~10.6
NF(dB)	4.1~4.7	3.74~4.74	3.05~4.5	2.8~4.7	2.5~4.9	2.07~2.93
S_{11} (dB)	<-10.5	<-9	<-12	<-12	<-12	<-9.9
S_{21} (dB)	19.5~20.0	11.63~12.89	19~20.8	18.5~21	24~26 ^(四联放大)	13.7~16.5
增益平坦度(dB)	± 0.25	± 0.63	± 0.9	± 1.25	± 1	± 1.45
IIP_3 (dBm)	$-2^{(3\text{GHz})} \sim -5^{(10\text{GHz})}$	$-11^{(6\text{GHz})}$	$-11.7^{(10\text{GHz})}$	-8	-17	-5.1~-8.5
面积(mm ²)	0.046(无焊盘)	0.536	0.18(无焊盘)	1.0	0.22(无焊盘)	0.87
工艺	0.35 μm SiGe	0.18 μm CMOS	0.18 μm SiGe	0.25 μm SiGe	0.35 μm SiGe	0.13 μm CMOS

3 结论

针对 LC 匹配结构中无源电感占用芯片面积大的缺点,本文提出的 LNA 利用电阻反馈结构替代了 LC 匹配结构,既实现了良好的输入和输出阻抗匹配,又节省了芯片面积。文中详细地分析了 Cascode 结构的 3dB 带宽和线性度,利用其高线性度和 Darlington 结构高增益的优点,构成了 Darlington-Cascode 结构,作为 LNA 输出级,提高了 LNA 的线性度和增益,最后完成了低噪声放大器芯片版图的设计,由于未使用电感,芯片面积仅为 0.046mm²。与先前报道的 LNA 的性能参数进行比较,结果表明,本文提出的 LNA 在芯片面积、增益、增益平坦度和线性度性能方面均具有一定的优势,所提出的方法非常适合于小面积、高增益 UWB LNA 的设计,可满足 UWB 标准的应用需要。

参考文献

- [1] Porcino D, Hirt W. Ultra-wideband radio technology: Potential and challenges ahead. *IEEE Communication Magazine*, 2003, 41(7): 66-74
- [2] Namsoo K, Aparin V, Larson L E. analysis of IM₃ Asymmetry in MOSFET small-signal amplifiers. *IEEE Trans Circuits and Systems I: Regular Papers*, 2011, 58(4): 668-676
- [3] Sapone G, Palmisano G. A 3-10-GHz low-power CMOS low-noise amplifier for ultra-wideband communication. *IEEE Trans Microw Theory Tech*, 2011, 59(3): 678-686
- [4] Hasan S M R. Analysis and design of a multi-stage CMOS band-pass low-noise pre-amplifier for ultra-wideband RF

receiver. *IEEE Trans on VLSI Systems*, 2010, 18(4): 638-651

- [5] Reinhold L, Pavel B. RF circuit design: theory and applications. New Jersey: Publishing House of Electronics Industry, 2002. 310-320
- [6] Weng R M, Liu C Y, Lin P C. A low-power full-band low-noise amplifier for ultra-wideband receivers. *IEEE Trans Microw Theory Tech*, 2010, 58(8): 2077-2083
- [7] Gray P R, Hurst P J, Stephen H, et al. Analysis and design of analog integrated circuit. 4th ed. New York: John Wiley & Sons, 2001. 699-750
- [8] Lin Y T, Chen H C, Wang T, et al. 3-10 GHz ultra-wideband low-noise amplifier utilizing Miller effect and inductive shunt-shunt feedback technique. *IEEE Trans Microw Theory Tech*, 2007, 55(9): 1832-1843
- [9] Lin Y S, Chen C Z, Yang H Y, et al. Analysis and design of a CMOS UWB LNA with dual-RLC-branch wide-band input matching network. *IEEE Trans Microw Theory Tech*, 2010, 58(2): 287-296
- [10] Shi B, Chia Y W. A SiGe low-noise amplifier for 3.1-10.6 GHz ultra-wideband wireless receivers. In: Proceedings of the 2006 IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium, San Francisco, USA, 2006. 57-60
- [11] Reiha M T, Long J R, Pekarik J J. A 1.2 V Reactive-feedback 3.1-10.6 GHz ultrawideband low-noise amplifier in 0.13 μm CMOS. In: Proceedings of the 2006 IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium, San Francisco, USA, 2006. 41-44
- [12] Lee J, Cressler J D. Analysis and design of an ultra-wideband low-noise amplifier using resistive feedback in SiGe HBT technology. *IEEE Trans Microw Theory Tech*, 2006, 54(3): 1262-1268

Design of SiGe HBT UWB low noise amplifier based on darlington cascode structure

Ding Chunbao, Zhang Wanrong, Jin Dongyue, Xie Hongyun, Chen Liang, Shen Pei,
Zhang Donghui, Liu Boyu, Zhou Yongqiang, Guo Zhenjie

(College of Electronic Information and Control Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124)

Abstract

Based on the Taiwan Semiconductor Manufactory Company (TSMC)'s $0.35\mu\text{m}$ silicon germanium (SiGe) process, an inductorless, small chip area SiGe heterojunction bipolar transistor (HBT) low-noise amplifier (LNA) for Ultra-wideband (UWB) application was designed. The input impedance matching and the output impedance matching of the LNA are both achieved by using the resistance feedback structure instead of the LC matching network structure in order to save the chip area. And the LNA uses the Darlington-Cascode structure as its output stage to improve its gain and linearity because the structure has the advantage of high linearity of Cascode and the advantage of high gain of Darlington. The Darlington-Cascode structure was constructed based on the analysis of the linearity and 3-dB bandwidth of Cascode. The topology and the chip layout of the LNA were designed, with its area being only 0.046mm^2 . The simulation results of the LNA demonstrate that in the range of UWB, the gain of a LNA is $19.5 \sim 20\text{ dB}$, the gain flatness is $\pm 0.25\text{ dB}$, the linearity is $-5 \sim -2\text{ dBm}$, with the satisfactory input impedance matching and the output impedance matching. The LNA is unconditionally stable in the whole band.

Key words: low noise amplifier (LNA), SiGe heterojunction bipolar transistor (HBT), resistance feedback, linearity, Cascode