

采用130nm工艺技术的2.4GHz CMOS 浮动有源电感LNA的设计

M. Muhamad, N. Soin, H. Ramiah

马来西亚玛拉工艺大学 (UiTM) 电气工程学院, 吉隆坡马来亚大学工程学院

摘要: 本文介绍了CMOS有源电感集成电路的设计和优化。这种有源电感器采用Silterra0.13 μm 技术, 并使用Cadence Virtuoso和Spectre RF进行仿真。该有源电感的中心频率为2.4GHz, 符合IEEE 802.11b/g/n标准。为了减小硅芯片尺寸, 在低噪声放大器LNA电路中使用有源电感代替无源电感。该电感器通过低噪声放大器电路进行测试和分析。并已经进行了基于LNA电路的有源和无源电感之间的比较。结果表明, 该有源电感器在不牺牲噪声系数和LNA增益的情况下, 芯片尺寸显著缩小, 面积为73%, 这是LNA中最重要的标准。最佳低噪声放大器提供20.7dB的功率增益 (S_{21}), 噪声系数 (NF) 为2.1dB。

1 简介

LNA广泛用于电话等无线应用。要求LNA在低电压下工作而不影响其他因素, 例如工作频率下的高增益、低噪声和线性要求。在芯片尺寸方面, 由于成本的原因, 它必须尽可能小。LNA的设计在满足总功能方面提出了挑战。为了减小芯片面积或减小尺寸, 这是更具挑战性的。现在这项技术正朝着纳米级的方向发展。传统的LNA使用的是无源电感, 它在芯片中消耗了大量的面积。因此, 维持成本市场比率是一个更大的挑战。随着电感值的升高, 它需要芯片上的大量空间。结果是需要CMOS有源电感器。过去已经提出了几种电路拓扑结构来实现基于回转器设计的有源电感器。有源电感器设法不断调谐以保护温度或工艺变化。

工艺变化通常发生在晶圆代工厂, 其中制造集成电路时晶体管(长度、宽度、氧化物厚度)会自然发生变化。通过在LNA电路上实现有源电感, 它需要大约1%直到10%的无源有源电感器(这可以降低成本)。除此之外, 有源电感具有更高的电感值、宽频率调谐范围和更高的品质因数, 这对电路设计非常重要。实际上, 有源电感可减小芯片面积, 但会导致高功耗。

表1显示了遵循802.11b/g/n IEEE无线局域网标准的LNA设计规范。LNA以2.4GHz的中心频率运行。

表 1. LNA 的设计规范

Parameter	Specification
Process technology	RFCMOS 130nm
Center frequency (GHz)	2.4
Power supply (V)	≤ 1.2
S_{21} (dB)	> 15
S_{11} (dB)	< -12
S_{22} (dB)	< -12
S_{12} (dB)	< -20
Noise factor (dB)	< 4
Power dissipation (mW)	< 8

2 有源电感器

许多应用要求有源电感的电感可以从小范围到大范围进行调谐。这些应用可包括锁相环、滤波器、电压或电流控制振荡器等。因此, 有源电感器设计或技术有望获得执行电感值。因此选择了使用电阻反馈和单端有源电感器的浮动有源电感器。

2.1 使用电阻反馈的浮动有源电感器

图1为差分配置的回转器—C浮动电感器。除了M5

和 M6 处的晶体管之外，大多数晶体管都处于饱和区域。两个晶体管都偏置在三极管区域，并且表现为压控电阻器，其值由栅极电压 V_b 控制。M1、M2、M5、M6 是 NMOS 晶体管，M3、M4 是 PMOS 晶体管。在 M1 和 M2 之间添加反馈电阻。

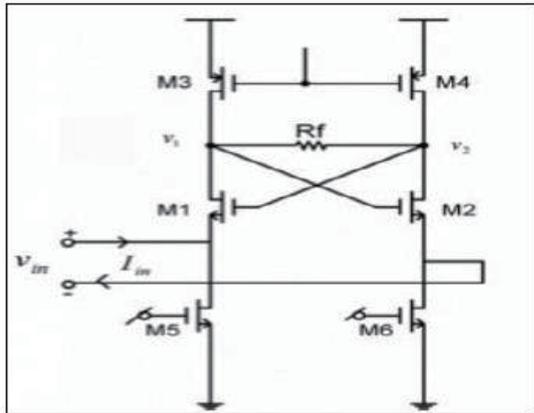


图 1 使用电阻反馈的浮动有源电感器示意图

在图 2 中， gf 是反馈电阻 R 的电导。 C_L 、 g_1 、 C_2 、 g_2 是节点 V_1 和 V_2 处的有效寄生电容和电导。

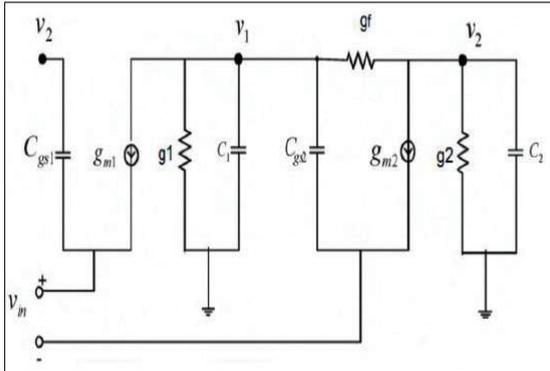


图 2 浮动有源电感的小信号模式

输入阻抗方程：

$$Y_{in} = g_{m1} + \frac{g_{m1}^2(g_{m2} - gf)}{(g_1 + gf + g_{C1}) + (g_1 + gf + g_{C2}) + (g_{m1} - gf)(gf - g_{m2})} \quad (1)$$

品质因数方程：

$$Q = \frac{\text{Im}[Z]}{\text{RE}[Z]} \quad (2)$$

电感方程：

$$L = \frac{\text{Im}(Z_{in})}{\omega} \quad (3)$$

公式 1、2、3 分别表示输入阻抗、品质因数和调谐电

感值。使用电阻反馈电路调整浮动有源电感器的电感值需要这些等式。

2.2 单端有源电感器

图 3 为单端有源电感器的设计。晶体管 m_1 和 m_2 代表输入和输出之间的正跨导 G_{m1} 。晶体管 m_3 和 m_4 代表负跨导 G_{m1} 。这两个跨导将形成回转器 C ，其将固有电容转换成电感行为。

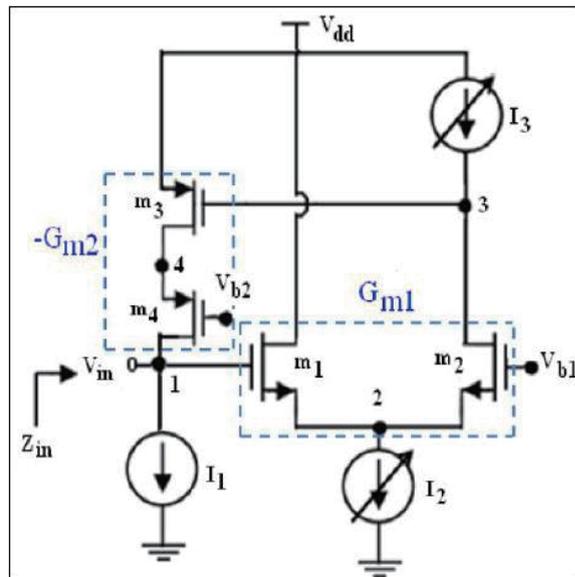


图 3 单端有源电感的电路原理图

输入阻抗方程：

$$Y_{in} = g_1 + sC_1 + \frac{gm_4 + gm_3 + gm_2 + gm_1}{(G + sC_2)(g_3 + sC_3)(gm_4 + sC_4 + g_4)} \quad (4)$$

品质因数方程：

$$Q = \frac{\text{Im}[Z]}{\text{RE}[Z]} \quad (5)$$

电感方程：

$$L = \frac{Z_{in}}{j\omega} \quad (6)$$

公式 4、5、6 分别代表输入阻抗、品质因数和调谐电感值。调整单端电路的电感值需要这些公式。这些工作基本上采用 LNA 电感退化设计技术，并通过使用相同的设计有源电感器替换为无源电感器。

图 4 所示的原理图是使用电阻反馈的浮动有源电感和单端有源电感之间的组合技术。两种技术都用在同一个电路中，以优化增益带宽和噪声系数的结果。该电路基本上

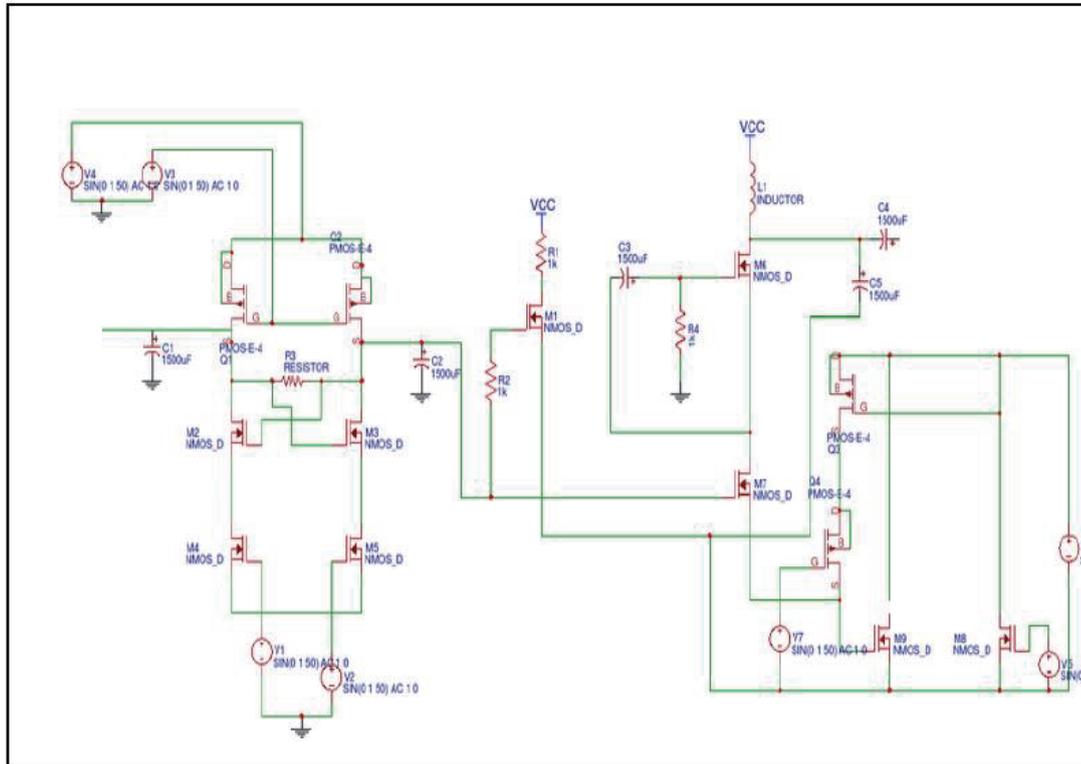


图4 使用有源电感的电感退化 LNA 电路

电感退化设计，螺旋电感已经取代有源电感，它可以提供与螺旋电感一样的精确功能。

3 结果与讨论

所述的 S 参数测量值是特征阻抗或系统阻抗。下面的图 5 分别表示 LNA 有源电感和无源电感的 S 参数。它包括所有四个 S 参数，即 S_{11} 、 S_{12} 、 S_{21} 和 S_{22} 。 S_{21} 是功率增益。功率增益应高于 15dB，以补偿电路下一级的噪声影响。因此，使用这些 LNA 有源电感器可以获得 20.7dB 的值，而对于 LNA 无源电感器，其值为 17.9dB。该值应非常小，以获得高反向隔离，并且它可以为 LNA 提供更好的稳定性。

通过使用 LNA 有源电感电路，无源电感的值为 -42.39dB，而无源电感为 -38.3dB。 S_{22} 为输出匹配。LNA 将产生低输出阻抗。采用这种设计，它可以为 LNA 无源电感提供 -19.8dB 和 -19.9dB 的输出匹配。最后的 S 参数是 S_{11} ，它是输入匹配。使用 LNA 有源电感器，其归档值为 -1dB，而 LNA 无源电感器的值为 -19.3dB。

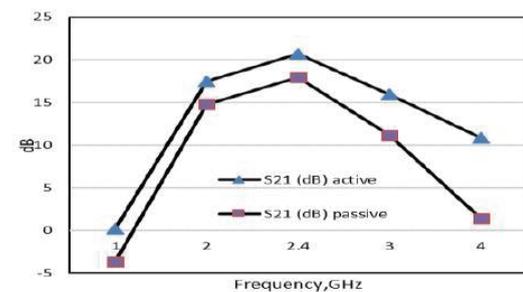
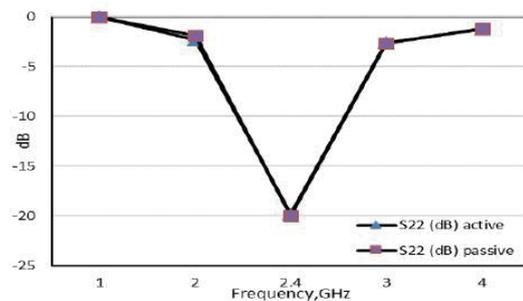


图5 使用有源和无源电感的 S 参数 LNA 性能比较

有源电感的 NF 值为 2.1dB，无源 1.66dB。如图 6

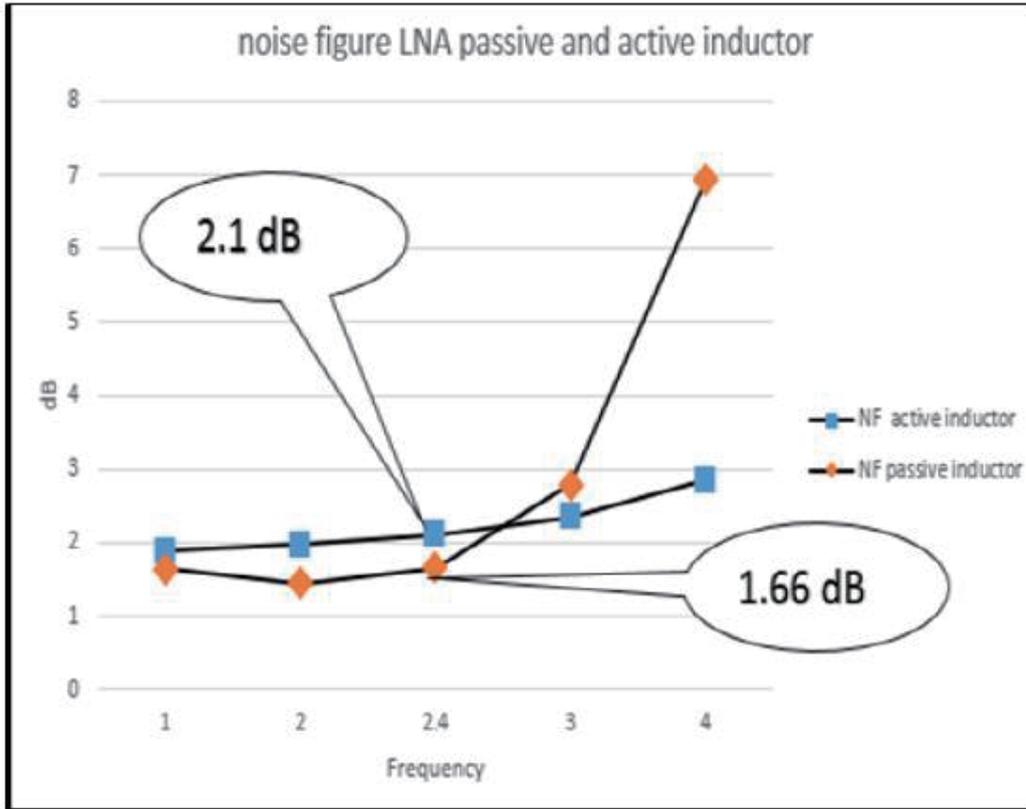


图 6 LNA 有源和无源电感之间的噪声系数比较

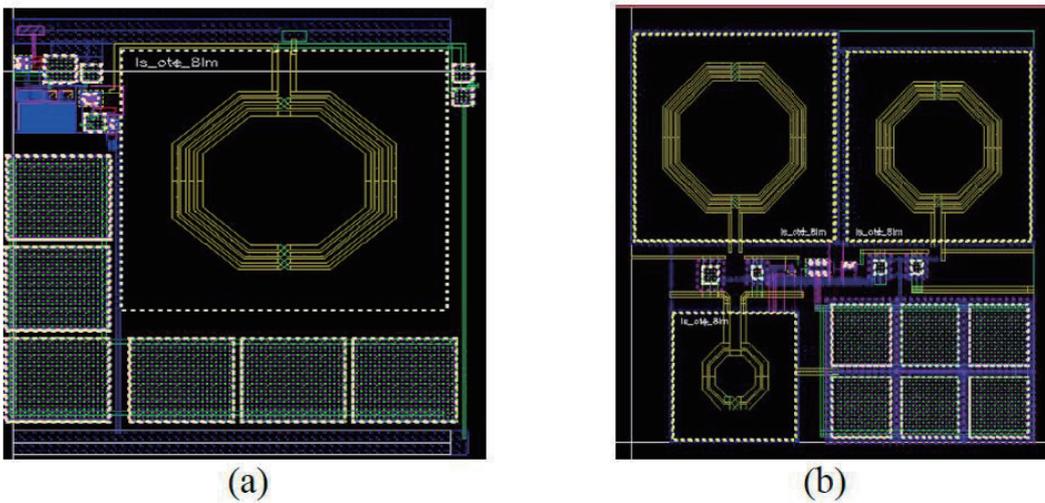


图 7 LNA 布局 (a) 使用有源电感, (b) 使用无源电感

下转156页