

基于电感和变压器跨导提升技术、噪声系数为 3.2 dB、 带宽为 9.8–30.1 GHz 的 CMOS 低噪声放大器

陈宏尘¹, 朱浩慎¹, 吴亮², 车文荃¹, 薛泉¹

¹ 华南理工大学电子与信息学院毫米波与太赫兹广东省重点实验室, 中国广州市, 510641

² 香港中文大学(深圳)理工学院, 中国深圳市, 518172

概要: 随着第五代移动通信系统(5G)的到来, 毫米波收发系统预期将陆续在世界范围内大规模商用部署。对于接收机来说, 最关键的指标是要保持较高信噪比。因此, 位于接收机前端的第一个有源模块——低噪声放大器——起着非常关键的作用。但是, 当频率上升到毫米波段时, 由于寄生效应影响变大, 高性能的宽带低噪声放大器设计面临着诸多挑战。本文通过基于电感和变压器的跨导提升技术, 研制一款宽带的高性能毫米波低噪声放大器。使用台积电(TSMC)65 nm CMOS 工艺流片并测试, 这款低噪声放大器最低噪声系数仅为 3.2 dB, 带宽高达 20.3 GHz, 适用于 5G 毫米波收发系统。

利用共栅放大器(M_1)和共源放大器(M_2)级联构成完整的低噪声放大器。第一级选择共栅级是因为共栅放大器的输入阻抗低, 易于实现宽带的输入匹配。但是, 由于单纯的一级放大器增益不够, 所以级联一个共源级作为第二级放大器提高增益。在低噪声放大器中, 较高的增益通常需要更大功耗来实现, 因此增益和功耗在实际设计中需要折中。但是, 通过引入跨导提升技术, 可以使得等效跨导 G_m 等于 $(1+A)g_m$, 其中 A 是提升因子, g_m 是晶体管固有的跨导。如此, 在同样功耗 (g_m) 下, 引入跨导提升技术可取得更高增益 (G_m); 反之, 对于相同增益 (G_m), 引入跨导提升技术后只需要更小功耗 (g_m)。然而, 传统的跨导提升方法, 即通过有源反馈实现, 会引入大量噪声。与传统方法不同, 本文提出利用电感提升跨导和变压器提升跨导相结合的方式大幅提升第一级和第二级放大器的跨导。首先通过在第一级放大器(共栅级)加入栅极电感 L_g , 使 L_g 与晶体管 M_1 的寄生电容在高频处谐振, 从而提升 M_1 的等效跨导。其次, 针对第二级放大器(共源级), 通过引入变压器 TR_1 , 使 M_2 的栅极和源级同时输入反相信号, 从而提升 M_2 的等效跨导。通过仿真实验, 可以看到引入电感后提升了第一级放大器的等效跨导。在第二级放大器引入变压器后等效跨导随耦合系数变化, 可以看到, 当耦合系数为 0 时, 等效跨导最低, 随着耦合系数增大, 等效跨导提升。

本文提出的宽带毫米波低噪声放大器经台积电 65 纳米 CMOS 工艺流片加工。去除测试 PAD 后的芯片面积仅为 $0.1 \mu\text{m}^2$ 。该低噪声放大器采用在片测试方法测试。其中, S 参数由德国 R&S 公司生成的 ZVA67 矢量网络分析仪测试。噪声系数由带有噪声系数测试选件 K30 的 FSW67 频谱分析仪和 Noisecom 公司的噪声源 NC346V 测试。

测试结果表明, 低噪声放大器最大增益为 10.9 dB, 3 dB 带宽从 9.8 GHz 到 30.1 GHz, 高达 20.3 GHz, 并且输入匹配良好。另外, 噪声系数最低仅为 3.2 dB, 且在整个 3 dB 带宽内低于 5.7 dB。此外, 整体功耗仅为 15.6 mW。

由此可见, 由于采用了基于电感和变压器的跨导提升技术, 该毫米波低噪声放大器在带宽、增益和噪声系数方面表现优异, 适用于 5G 毫米波收发系统。

关键词: CMOS; 跨导提升技术; 低噪声放大器; 变压器; 共栅级

<https://doi.org/10.1631/FITEE.2000510>

