

基于 SiGe 工艺的线性功率放大器设计

贯会征, 阎跃鹏

(中国科学院微电子研究所 电子系统总体技术研究室, 北京 100029)

摘 要: 基于 SiGe Heterojunction Bipolar Transistors (HBT) 工艺设计了一款线性射频功率放大器. 该功率放大器采用三级级联结构, 每一级采用自适应偏置网络, 级间匹配的网络集成在片内, 匹配网络中的电感由绑定线实现. 该功率放大器工作在 2GHz, 带宽 50MHz, 增益 30dB, 在 1dB 压缩点输出功率 (P1dB) 为 27.1dBm, 功率附加效率 (PAE) 为 36%. 该功放由 3.4V 电压供电, 芯片尺寸 1mm×0.7mm.

关键词: SiGe HBT 工艺; 线性; 功率放大器; 自适应偏置

中图分类号: TN402

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2015)01-0064-04

The Design of Linear RF Power Amplifier Based on SiGe Process

GUAN Hui-zheng, YAN Yue-peng

(Department of Electronics System Technology, Institute of Microelectronics,
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: A linear RF power amplifier based on SiGe Heterojunction Bipolar Transistors (HBT) is introduced in this paper. The 3-stage power amplifier is biased by self-adaptive bias in each stage. The inter-match networks are integrated in the chip and the bonding wires are used as the inductors in the inter-match networks. The power amplifier works at 2GHz, the band width of the power amplifier is 50MHz, gain is 30dB, the output power at 1dB compression point is 27.1dBm, the power added efficiency is 36% at 1dB compression point. The supply power of the power amplifier is 3.4V, the chip size is 1mm×0.7mm.

Key words: SiGe HBT process; linear; power amplifier; self-adaptive bias

1 引言

无线通信技术在过去几年间取得了巨大进步, 移动通信走过了 2G 和 3G 时代, 进入 4G 时代, 4G 时代提供了更高的数据传输速率, 下行速率最高可达 1 Gb/s^[1]. 为了提高通信系统的数据传输速率, 各个通信标准都采用更复杂的调制方式, 这就对通信系统的线性度提出了更高的要求. 功率放大器位于发射系统的末级, 对整个发射系统的线性性能影响最大^[2]. 移动终端由电池供电, 这就对无线收发系统的功耗有了严格的限制. 功放是整个移动终端系统中功耗最大的模块, 功放模块效率对整个移动终端系统的功耗影响最大.

此外, 随着半导体技术不断进步, 系统的集成度不断提高, 片上系统是未来的发展方向. 相比传统的 GaAs 工艺, SiGe 工艺与 CMOS 工艺兼容, SiGe BiCMOS 工艺同时具有 CMOS 集成度高, HBT 电流密度大, 击穿电压高的优点. 采用 SiGe BiCMOS 工艺制作全集成接收机是比较理想的选择, 因此进行 SiGe 工艺的线性功放的研究具有重要意义.

本文介绍了一款基于华虹 SiGe BiCMOS18 工艺的线性功率放大器. 该功放是三级级联结构, 每一级偏置采用自适应偏置网络.

2 电路设计

图 1 是该功放的简化原理图, 该功放采用 3 级

收稿日期: 2014-04-20; 修回日期: 2014-05-22

基金项目: 国家重大科技专项“硅基射频功率芯片工艺开发与产业化—功率放大器模块开发”(2011ZX02506-006)

高功放线性度. 串联传输线电感值连续可调, 结合并联贴片电容, 可以准确地实现负载线匹配.

功放管基极和发射极电压 V_{be} 会随着输入功率的增加而降低, 这是造成 AM-AM 和 AM-PM 失真的重要因素, 可以通过补偿 V_{be} 提高线性度. 功放每一级偏置采用如图 5 所示的自适应偏置网络, 引入线性化电容 C_{Linear} 可以有效补偿功放管 V_{be} 的降低^[7], 如图 6 所示, 加入 C_{Linear} 后, 功放管 V_{be} 随输入功率增加而下降的趋势得到了有效补偿. 具体原理是: 随着射频输入信号的增加, 泄露到偏置电路中的射频信号增加, 由于线性化电容 C_{Linear} 的存在, 从 Q_3 发射极看到的交流阻抗减小, C_{Linear} 对泄露的射频信号进行整流, 整流过的射频电流使 Q_3 的 V_{be} 减小, 但是 P_1 点电压保持不变, 从而功放管 V_{be} 得到了补偿^[8]. 功率放大器在工作中会产生大量的热, 使芯片温度升高, 采用温度补偿管 Q_1 、 Q_2 和电阻 R_1 , 进行温度补偿, 使偏置电流温度稳定性增加. 具体过程为: 当温度升高时, 功放管偏置电流增加, 与此同时, 晶体管 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 也电流增大, 流过 R_1 的电流增加, P_1 点电压降低, 即功放管偏置电压降低, 功放管偏置电流下降.

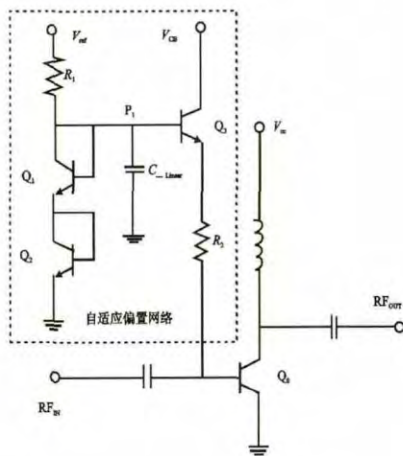


图 5 自适应偏置网络

图 7 为该功放照片, 功放管采用功分结构排布, 芯片采用华虹 BiCMOS18 工艺加工而成, 共 4 层金属, 芯片面积为 $1\,000\,\mu\text{m} \times 700\,\mu\text{m}$.

3 测试结果

测试 PCB 如图 8 所示, 输出匹配由串联微带线和并联电容组成, 输出采用负载线匹配, 输入为共轭匹配. 该功放由 3.4 V 供电, 静态电流为 120 mA. 图 9 所示为 S 参数测试曲线, 在 1 950~2 050 MHz

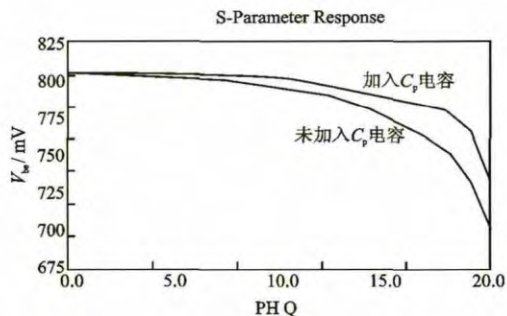


图 6 功放管基极集电极电压随输入功率变化

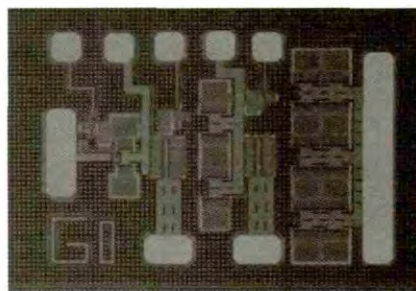


图 7 功放照片

带宽内, $S_{21} > 30\,\text{dB}$, $S_{11} < -15\,\text{dB}$. 图 10 为增益和 PAE 随输出功率变化的曲线, 1 dB 压缩点输出功率为 27.1 dBm, PAE 为 36%. 图 11 为 IMD_3 和 IMD_5 随输出功率变化的曲线, 随着输出功率增加, IMD_3 和 IMD_5 恶化, 在 1 dB 压缩点处 $\text{IMD}_3 = -22\,\text{dBc}$, $\text{IMD}_5 = -37\,\text{dBc}$.

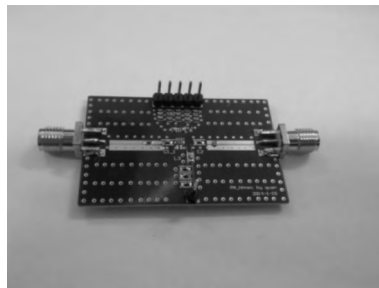


图 8 测试 PCB 照片

4 结束语

本文介绍了一款基于 SiGe HBT 工艺的线性射频功率放大器, 采用绑定线电感减小了芯片面积, 降低了损耗; 通过加入基极镇流电阻, 提高了功放热稳定性. 采用自适应偏置网络, 提高了功放的线性度和效率. 该功放增益 30 dB, 1 dB 压缩点 27.1 dBm, 效率为 36%. 该芯片由 3.4 V 供电, 采用华虹 BiCMOS18 工艺加工, 尺寸为 $1\,000\,\mu\text{m} \times 700\,\mu\text{m}$.

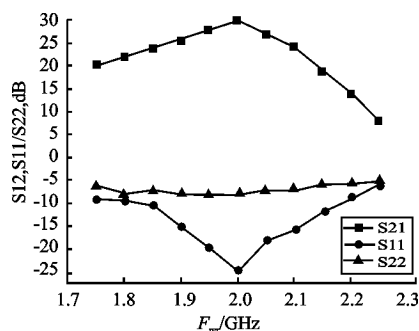


图9 S参数曲线

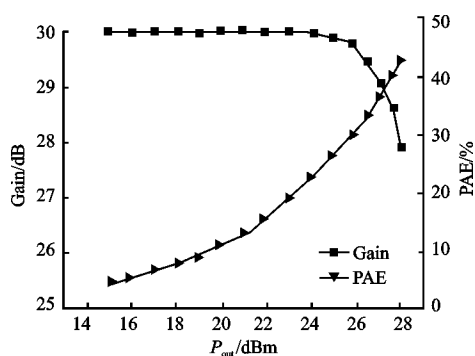


图10 增益和 PAE 随输出功率变化曲线

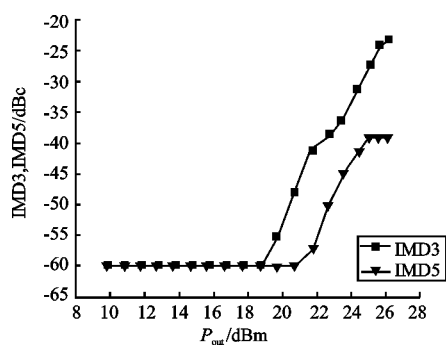


图11 IMD3 和 IMD5 随输出功率变化曲线

参考文献:

- [1] International Telecommunications Union (ITU). Requirements related to technical performance for IMT-Advanced radioInterface[EB/OL]. [2014-03-25]. <http://www.itu.int/pub/R-REP-M.2134-2008/en>.
- [2] 池保勇,于志平,石秉学. CMOS 射频集成电路分析与设计[M]. 北京:清华大学出版社,2006.
- [3] Steve C Cripps. RF power amplifiers for wireless communications second edition [M]. Norwood: Aechrt House,2006.
- [4] Tseng Pei-Der, Zhang Liyang, Gao GuangBo, A 3-V Monolithic SiGe HBT power amplifier for dual-mode(CDMA/AMPS)cellular handset applications[J]. IEEE Journal of Solid-State Circuits,2000,35(9):1-2.
- [5] William Liu, Ali Khatibzadeh, Jim Sweder. The use of base ballasting to prevent the collapse of current gain in AlGaAs/GaAs heterojunction bipolar transistors [J]. IEEE Transactions on Electron Devices,1996,43(2):245-251.
- [6] 胡锦,陶可欣,郝明丽,等,基于 SiGe 工艺的高增益射频功率放大器[J]. 微电子学与计算机,2012,29(2):18-21.
- [7] Youn Sub Noh, Chul Soon Park. PCS/W-CDMA dual-Band MMIC power amplifier with a newly proposed linearizing bias circuit[J]. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 2002,37(9):1096-1099.
- [8] Yun Wei, Joseph Staudinger, Monte Miller. High efficiency linear GaAs MMIC amplifier for wireless base station and femto cell applications [C] // IEEE PAWR, Beijing, 2012.

作者简介:

贯会征 男,(1988-),硕士研究生.研究方向为 MMIC 设计. E-mail:guanhuizheng@163.com.

阎跃鹏 男,(1963-),研究员,博士生导师.研究方向为集成电路与系统设计.

(上接第 63 页)

- [9] European union and european space agency. European GNSS (Galileo) open service signal in space interface control document. OD SIS ICD, Issue 1.1[S]. European, 2010.

作者简介:

张洪伦 男,(1989-),硕士研究生.研究方向为微电子学与

固体电子学.

巴晓辉(通讯作者) 男,(1980-),博士,副研究员.研究方向为卫星导航算法研究. E-mail:baxiaohui@ime.ac.cn.

李健 男,(1981-),博士研究生.研究方向为超大规模集成电路设计.

陈杰 男,(1963-),博士,研究员.研究方向为无线通信.