

带有反馈机制的高匹配度宽带相移网络设计

刘荣江, 郭桂良, 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: 设计了一个基于反馈机制的单级 RC 移相网络. 用 MIM 电容替代 MOS 电容来耦合信号, 避免了 MOS 等效电容因大信号波动所导致的耦合电容大小周期性变化以及负载效应. 仿真结果表明所设计的电路在工艺偏差 20% 时仍然能保持较低的失配和稳定的输出. 从 2.4~4.6 GHz 其幅度失配小于 4%.

关键词: 相移网络; 正交信号; 反馈; 射频; CMOS 技术

中图分类号: TN432

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2013)12-0050-04

High Match Phase Shift Network Based on Feedback

LIU Rong-jiang, GUO Gui-liang, YAN Yue-peng

(Department of Electronics System Technology,

Institute of Microelectronics of Chinese Academy of Science, Beijing 100029, China)

Abstract: A 1 stage polyphase shift network is designed. The MIM capacitor replacing the MOS capacitor is used for coupling the signal and relieves periodical variation and loading effect as the MOS capacitor does. Stimulation shows the proposed circuit keeps low mismatch and steady output within 20% fabrication variation. Amplitude mismatch is less than 4% from 2.4 GHz to 4.6 GHz.

Key words: phase shift network; quadrature signal; feedback; RF; CMOS technology

1 引言

几十年来无线通讯技术显著发展, 各种标准应运而生^[1-2], 数字广播技术逐渐从模拟转向数字领域^[3], 这将催生巨大的手持移动数字电视终端市场. 高集成度、低成本、低功耗的集成解调芯片将会是一个不小的挑战.

由于镜像抑制问题的存在, 超外差和低中频结构的接收机不是集成设计的好方案. 零中频接收机是目前最受欢迎的架构^[4-6]. 如何为本振产生低失配的正交信号是设计该结构接收机的一个难点. 目前有 3 种正交信号的方法^[7-8]. 第一种是除 2 分频电路, 需要压控振荡器(VCO)产生 2 倍本振信号频率, 高频工作下的分频电路会消耗很大的功耗. 第二种方法是利用交叉耦合的正交 VCO 产生正交信号. 该结构的 VCO 在较高工作频率时可能存在振荡频率不稳定的情况. 原

因是高频时 VCO 存在多个满足振荡条件的频点, 但这些频点附近的阻抗和耦合因子差别不大, 导致 VCO 可能会在这些都满足振荡条件的任何一个频点振荡. 第三种方法是采用 RC-CR 相移网络使输出信号各自偏移 $\pm 45^\circ$ 相位, 以达到输出信号正交. 单级相移网络完美的匹配只存在于输入信号频率为 $\omega = 1/RC$ 的情况, 为了实现宽带应用, 必须级联多个单级网络. 这会产生很大的信号衰减. 张新旺等人提出了基于反馈机制的相移网络^[9], 在仅用 1 级相移网络的情况下实现了宽带应用.

本文在分析相移网络完美匹配条件的基础上, 设计一个反馈机制为基础的相移网络, 改进相移网络中 MOS 耦合电容产生的负载效应以及不理想耦合问题.

2 电路描述

图 1 是两种传统的单级相移网络结构. 对于 I

收稿日期: 2013-02-18; 修回日期: 2013-04-29

基金项目: 科技部国家科技重大专项“核心电子器件、高端通用芯片及基础软件产品”资助项目(2009ZX01031-002-008-002)

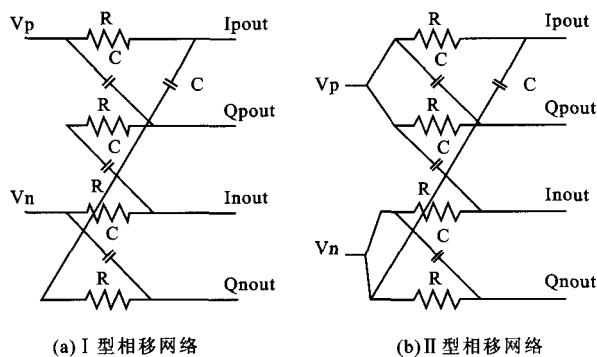


图1 I型相移网络与II型相移网络

型相移网络来说, I路和Q路输出信号的比值为:

$$\frac{V_{Iout}}{V_{Qout}} = \frac{1}{sRC} \quad (1)$$

可以看出, 只有在输入信号的频率为 $\omega = 1/RC$ 时, I路和Q路输出信号的幅度才完美的相同. 不过频域下, 由于分子是个纯虚数, 所以在任何频率下I路和Q路输出信号的相位都是相差 90° .

同理, 对于II型相移网络, I路和Q路输出信号的比值为

$$\frac{V_{IOUT}}{V_{QOUT}} = \frac{1 - sRC}{1 + sRC} \quad (2)$$

与I型网络不同的是, II型网络的输出信号幅度总是相同, 但相位仅在输入频率为 $\omega = 1/RC$ 时才为 90° .

上述单级相移网络的单频点匹配限制了它们的宽带应用. 因此将两个或三个单级网络级联形成的多级相移网络是最常见的带宽扩展方式. 然而相移网络是个无源网络, 单级网络至少有 3 dB 的衰减. 当使用多级相联网络时, 输出信号会衰减很大.

图2所示为带有反馈机制的相移网络^[9-10], 主要包括单级相移网络, 峰值检测电路, 低通滤波电路, 运算放大器, 电压缓冲器.

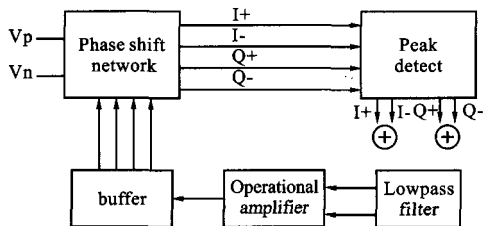


图2 利用反馈机制的单级相移网络模块图

相移网络采用I型结构, 但其中的谐振电容被替换成压控可变电容. 输入信号加入到相移网络后会产生存在幅度失配的正交信号. 这些正交信号的幅度被峰值检测电路检测后送入低通滤波器. 低通滤波器滤除信号中的高频部分, 留下直流信号部分. 直流信号与输入信号的幅度是成比例的线性关系.

带有正交信号幅度的直流信息被差分运算放大器检测并将幅度误差通过电压缓冲器反馈到相移网络中的可变电容端口. 负反馈调整可变电容的容值直到相移网络满足式(1), 于是正交信号的幅度误差就会消失, 电路达到完美的平衡.

与传统的相移网络相比, 带有反馈机制的相移网络仅使用一个单级相移网络. 这种简单的结构避免了输出信号过分损耗. 大幅度的输出信号能有效驱动混频器进行开关混频动作, 使混频器保持较高的线性度.

3 电路设计

图3所示为修改的RC相移网络. RC网络中的谐振电容用可变电容代替. 可变电容C的一端接固定偏置电压, 另一端接电压缓冲器输出的反馈信号. 为了隔离可变电容两端的偏置电压 V_B 和反馈信号 V_{tune} , 需要再串接一个耦合电容. 不同于传统结构^[9], 本文中的耦合电容 C_B 用MIM电容, 而不是MOS等效电容. MOS等效电容在输入信号的作用下会产生负载效应, 减弱耦合作用. 原因是MOS等效电容是基于沟道反型模型. 对于NMOS管来说, 这种电容只有在栅电压比较大的时候才能有较大的等效电容值; 对于PMOS电管来说, 只有在栅电压比较小的时候才能有较大的等效电容值. 相移网络的输入信号通常是VCO的输出信号, 为了保证VCO能正常起振以及合理的相噪声, 通常VCO的幅度会比较大. 大信号输入到相移网络后会使等效的MOS电容栅端电压周期性的变化, 等效电容也会不断变化的. 在容值比较小时, 其耦合作用将会减弱, 不利于后级电路对大信号幅度的提取, 使得反馈机制变差. 另一方面, 不断变化的等效容值会在相移网络中产生负载效应, 破坏RC网络原有的特性. 最后RC相移网络的输出将会随着MOS等效电容的周期性变化而周期性变化.

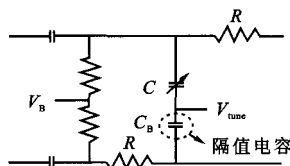


图3 修改的RC相移网络部分示意图

图4所示为峰值检测电路和低通滤波器. 信号从相移网络出来后进入到峰值检测电路. 电阻和电容组成的低通滤波电路将输入信号的幅度转化成直流信息. 峰值检测过程类似于整流电路^[11-12]. 相移

网络与峰值检测电路之间通过直流耦合使 M2 的栅极电压等于相移网络中可变电容的固定偏置电压 V_B 。当输入信号在正半周期时, M2 处于饱和区。输入信号通过源跟随作用在滤波器输出端的电容提取到直流信息。当输入信号的峰值有变化时, 幅度的变化也能更明显地提取出来。当输入信号处于负半周时, M2 逐渐工作在线性区, 甚至是截至区。但实际中, 大部分负半周期内 M2 工作在线性区, 因为信号通过相移网络后已经有 3 dB 的衰减, 在合适的 M2 栅极偏置电压下, 信号不会强到使 M2 的大部分时间处于截至区。

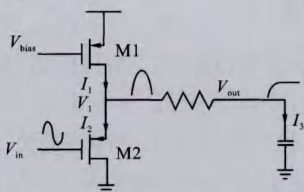


图 4 峰值检测电路和低通滤波器

4 仿真结果

该相移网路采用 TSMC 0.25 μm CMOS 工艺设计, 整个电路版图面积大小为 0.65 mm * 0.44 mm, 如图 5 所示。图 6 是输入信号为 2 650 MHz 时的瞬态仿真结果。可以看到, 电路通过反馈作用逐渐消除了初始状态时 I 路和 Q 路信号的幅度不匹配, 证明了本文所设计的电路能够提供良好的正交信号。图 6 所示为不同工艺角下输出正交信号的幅度不匹配情况。该电路在工艺偏差 20% 的情况下也能保持很好的幅度平衡。表 1 所示为本文设计电路的性能指标与其他文献发表的电路性能指标对比。

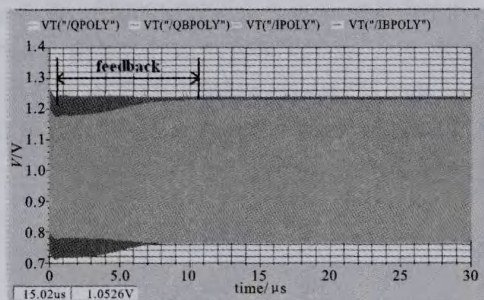


图 5 瞬态仿真结果

表 1 性能对比

	本文	文献[9]	文献[13]	文献[14]
频率范围/GHz	2.4~4.6	4.6~6.4	0.5~1.3	2.28~2.62
RC 网络级数	1	1	3	2
幅度误差 dB@失配%	0.06@20	0.26@15	N/A	0.5@15

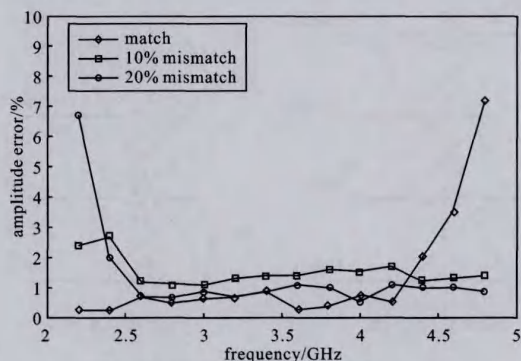


图 6 不同偏差时的幅度失配

5 结束语

文中设计了一款带有反馈机制的相移网络, 该网络能自动检测输出信号间的幅度误差, 并将误差反馈到相移网络中, 通过负反馈作用逐渐将误差消除。RC 单元中的 MIM 电容作为耦合电容, 避免了 MOS 等效电容在大信号的作用下电容值周期性波动, 消除了耦合电容实时改变所带来的负载效应, 以及对反馈系统带来的非理想效应。该网络仅使用一个单级 RC 相移网络, 在实现输出信号幅度平衡的同时, 能最大限度的减少信号衰减。

参考文献:

- [1] Abidi A A. The path to the software-defined radio receiver[J]. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 2007, 42(5):954-966.
- [2] Razavi B. Cognitive radio design challenges and techniques[J]. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 2010, 45(8):1542-1553.
- [3] 郭桂良. S/U 双波段 CMMB 接收机射频芯片的研究与设计[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2010.
- [4] Park J, Kim S N, Seok J H, et al. A direct-conversion CMOS RF receiver reconfigurable from 2GHz to 6GHz [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2010, 58(9):2326-2333.
- [5] Kaczman D, Shah M, Alam M, et al. A single-chip 10 Band WCDMA/HSDPA 4 Band GSM/EDGE SAW-less CMOS receiver with digiRF 3G interface and +90 dBm IIP2[J]. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 2009, 44(3):718-738.
- [6] Mirzaei A, Darabi H, Yazdi A, et al. A 65nm CMOS quad-band SAW-less receiver SoC for GSM/GPRS/EDGE[J]. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 2011, 46(4):950-964.
- [7] Park Y, LEE C H, Nuttinck S, et al. Wide-band

- CMOS VCO and frequency divider design for quadrature signal generation[C]// Microwave Symposium Digest, Taipei, IEEE, 2004(3):1493-1496.
- [8] Shi Chunqi, Zhang Runxi, Chen Lei, et al. A low Noise VCO with quadrature prescaler for UHF RFID reader[C]// Networks Security, Wireless Communication and Trusted Computing. Wuhan, 2009 (1): 357-360.
- [9] Zhang X, Yan Y, Du Z, et al. Wideband RC polyphase network for IEEE 802.11a quadrature signal generation[J]. Electronics Letters, 2010, 46 (10): 730-732.
- [10] 张新旺. 适用于无限局域网及数字电视收发机的频率综合器设计[D]. 北京:中国科学院研究生院,2010.
- [11] Jayaraman K, Khan Q A, Chiang P. Design and analysis of 1-60GHz, RF CMOS peak detectors for LNA calibration[C]//VLSI Design, Automation and Test. Hsinchu, 2009:311-314.
- [12] Alberto V G, Radhika V, Jose S M. A broadband CMOS amplitude detector for on-chip RF measurements[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2008, 57(7):1470-1477.
- [13] Galal S H, Ragaie H F, Tawfik M S. RC sequence asymmetric polyphase networks for RF integrated transceivers[J]. IEEE Transactions on Circuits Systems, 2000(46):8-27.
- [14] Xie J, Do M A, Yeo K S, et al. Analysis and design of RC polyphase network for quadrature signal generation in the 2.45 GHz ISM band[C]// International Symposium on International Circuits. Singapore, 2007:470-473.

作者简介:

刘荣江 男,(1984—),博士研究生.研究方向为射频集成电路设计.

郭桂良 男,(1981—),博士.研究方向为射频集成电路设计.

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49页)

参考文献:

- [1] Das A, Datar M, Garg A. Google news personalization: scalable online collaborative filtering[C]// ACM 2007 Article. Bibliometrics Data Bibliometrics. New York, 2007:271-281.
- [2] Koren Y. Factor in the neighbors: scalable and accurate collaborative filtering[J]. ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data, 2010, 4(1):1-11.
- [3] Bell R, Koren Y. Improved neighborhood-based collaborative filtering[C]// KDD-Cup and Workshop. New York:ACM press, 2007.
- [4] Datar M, Immorlica N, Indyk P, et al. Locality-sensitive hashing scheme based on p-stable distributions[C]//Proceedings of the twentieth annual symposium on Computational geometry. New York, 2004: 253-262.
- [5] Chen P L, Chen T, Chen Y N, et al. A linear ensemble of individual and blended models for music rating prediction[C]// KDD-Cup and Workshop. New York:ACM press, 2011.
- [6] Rajaraman A, Ullman J. Mining of massive datasets[M]. USA:Stanford Univ,2011:62-65.
- [7] Andoni A, Indyk P. Near-optimal hashing algorithms for approximate nearest neighbor in high dimensions[J]. Communications of the ACM - 50th anniversary, 2008 (51):117-122.

作者简介:

陈佑雄 男,(1989—),硕士研究生.研究方向为数据库、数据挖掘、云计算.

向阳 男,(1962—),教授.研究方向为数据库、数据挖掘、数据仓库、电子商务等.

张骥 男,(1964—),硕士.研究方向为信息管理科学.

潘涛 男,(1975—),博士,助理教授.研究方向为矿井移动通信、煤矿电磁兼容.