

文章编号:1007-2985(2012)04-0076-04

吉尔伯特型 CMOS 零中频混频器的设计^{*}

张武龙¹,周少华²

(1.永州市中医院,湖南 永州 425000;2.湖南工程职业技术学院,湖南 长沙 410151)

摘要:利用动态电流注入、共源节点谐振、改善 2 阶线性度性能技术,应用 CMOS 工艺,利用 Cadence 设计了一款 1.8 V 电源电压折叠式 Gilbert 型有源零中频混频器.电路仿真结果显示,混频器在 1 MHz,100 kHz,10 kHz 处的单边带噪声系数为 6.109,6.71,10.631 dB,频率转换的增益为 11.389 dB,输入的 3 阶交调点为 4.539 dBm.

关键词:吉尔伯特型混频器;零中频;CMOS 工艺;设计

中图分类号:TN33

文献标志码:A

DOI:10.3969/j.issn.1007-2985.2012.04.017

零中频接收机工作时是将射频直接转换到基频,即利用混频器直接将有用信号下变频到基带,镜像信号就是有用信号本身,降低了对混频器镜像抑制率的要求.早在 20 世纪 90 年代中期,科学家们就开始了零中频接收机的研究,但由于零中频接收机存在一系列问题,影响了接收机的性能,到目前为止,采用零中频接收机的接收机的实际产品还很少见.阻碍零中频接收机广泛应用的一个主要的问题就是直流漂移,或称直流失调.零中频接收机中的下变频器引入的直流漂移成分与有用信号直接叠加,造成干扰.且有用信号的幅度有时可能比它还小许多,故而会淹没有用信号,从而使得后续信号处理电路模块饱和而不能正常工作.

笔者通过讨论零中频混频器直流漂移的影响因素,探索在其电路设计中减少直流漂移的技术手段,应用 CMOS 工艺,设计一款 1.8 V 电源电压零中频 Gilbert 型有源混频器,并进行了仿真.

1 零中频混频器的设计方案

零中频接收机的性能对直流漂移很敏感,造成直流漂移的因素主要有以下几个方面:

(1) 本地振荡信号的泄漏.本地振荡信号的泄漏引起的直流漂移是由于本地振荡信号通路 with 射频信号通路间可通过寄生电容或衬底等耦合,这些泄漏到射频通路信号频率与本振信号频率相等,再经下变频混频后转变成直流信号,与有用信号叠加,干扰有用信号,并有使后面的电路处理模块饱和的可能.本振信号还可能通过寄生电容等泄漏到天线并经天线辐射出去,对其他通道的信号造成干扰,同时辐射出的信号经反射后,有可能返回到天线,会在混频器输出端产生一随时间而变化的直流漂移成分,更加重了本振信号泄漏对零中频接收机性能的影响.

(2) 射频信号到本振电路的泄漏.射频信号到本振电路的泄漏信号与射频信号同频.此射频信号中既含有有用信号又含有因接收环境而引起的各种干扰,经下变频后也转变为直流分量,与有用信号直接叠加后对有用信号形成干扰,并可使后面的信号处理电路饱和而不能正常工作.

(3) $1/f$ 噪声.通过研究可知,MOS 管的 $1/f$ 噪声较大,它与 $1/f$ 成正比.当混频器的中频频率较低时, $1/f$ 噪声的影响常常不可以忽略.由于零中频接收机的混频器工作时混频输出的有用信号频率较低,

* 收稿日期:2012-04-25

基金项目:湖南省科技厅科技计划资助项目(2011FJ4172);湖南省教育厅科学研究资助项目(10C0109)

作者简介:张武龙(1972-),男,湖南东安人,湖南省永州市中医院技师,主要从事电子电路设计与检测研究;周少华(1963-),男,湖南祁阳人,湖南工程职业技术学院副教授,硕士,主要从事微电子器件及系统电路研究.

因此该类接收机的性能很大程度上受 $1/f$ 噪声影响,如果混频器开关对的晶体管不匹配,驱动级也会产生 $1/f$ 噪声, $1/f$ 噪声会泄漏至输出,出现直流失调。

(4) 接收机前端的偶数阶非线性.[1] 讨论过线性度问题便可知,将射频信号经非线性电路系统处理以后,它的直流项将由 2 阶非线性的作用而受到影响,并有一个低频 2 阶交调项出现,它们都叠加在有用信号上,引起直流漂移现象的产生。

因此在设计零中频接收机的混频器时,采用有源双平衡混频器即吉尔伯特型混频器[2] (图 1) 可以实现 LO-IF 高度的隔离.从分析泄漏、 $1/f$ 噪声和 2 阶交调等在混频器输出产生低频成分引起直流漂移的机制可知,开关对共源节点的寄生电容大小、开关管的理想化开关近似程度以及开关对中 CMOS 晶体管的匹配程度等,决定直流漂移的影响大小.而在设计工作时可以通过:(1) 优化寄生电容的版图设计;(2) 优化本振信号幅度;(3) 优化开关管尺寸;(4) 对称性版图设计(采用共心型设计)等方法和措施来减小泄漏、 $1/f$ 噪声和 2 阶交调引入的直流失调[3].为了降低混频器的 $1/f$ 噪声及改善 2 阶交调性能,科技人员提出了一些新的技术[4-5].

如图 2 所示,在开关对源极注入一个大小固定的静态偏置电流,通过减小开关对流过的偏置电流也可以减小开关对中的晶体管由于同时导通其晶体管的 $1/f$ 噪声产生的低频输出成分。

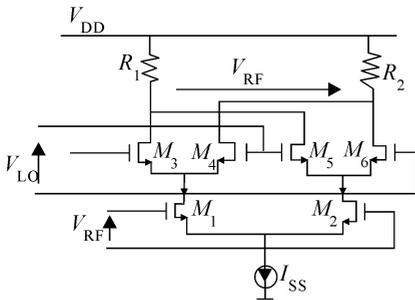


图 1 吉尔伯特型混频器

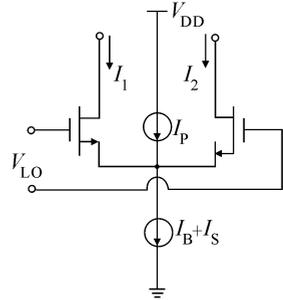


图 2 静态电流注入技术

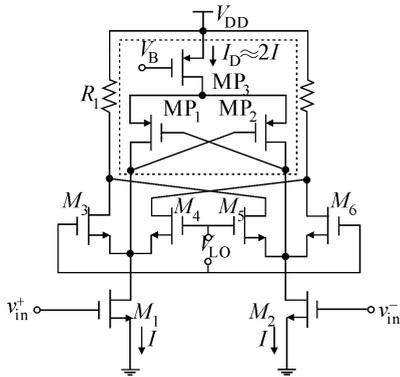


图 3 动态电流注入技术

考虑到静态偏置电流源工作时加入额外的白噪声,且由驱动级向开关对看去的源阻抗会因此静态偏置电流减小而增大,共源节点的寄生电容因而增大,对应的解决方法是采用共源节点动态电流注入法,即仅在开关对晶体管接近同时导通时,共源节点才开始注入该电流,避免静态偏置电流源工作时加入额外的白噪声而引起的问题,电路如图 3 所示.实验证明,采用这种技术可大大降低混频器的 $1/f$ 噪声,却对白噪声性能几乎没有影响.图 4 是共源节点谐振与 2 阶线性度性能改善的电路.通过采

取串联电感 L_{sw} 在共源节点上的措施,用这个电感来吸收对寄生电容充放电的电流,减小寄生电容充放电过程中的电流对混频器混频工作过程的干扰.采取引入电容 C_{FAT} 的措施,去掉 2 组开关对之间的耦合.引入这个电容 C_{FAT} 以后,电路中通过电感 L_{sw} 的电流就可直接流过 C_{FAT} ,故而避免了由于失调电压进入开关对晶体管,因 2 阶非线性而引起的直流失调.而且开关对因高频效应而引入的白噪声和 $1/f$ 噪声也因该 LC 滤波器的接入而减小,从而降低混频器的噪声.晶体管 M_{deg} 和电容 C_{deg} 并联使混频器有较高的 3 阶交调性能和 2 阶交调性能。

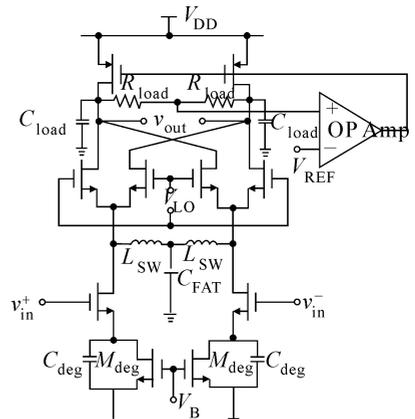


图 4 共源节点谐振与 2 阶线性度性能改善技术

2 零中频混频器电路实现与仿真

考虑当前的主流技术和设计成本,采用 CMOS 工艺,设计了一款 1.8 V 电源电压的零中频 Gilbert 型有源双平衡混频器,电路原理如图 5 所示。

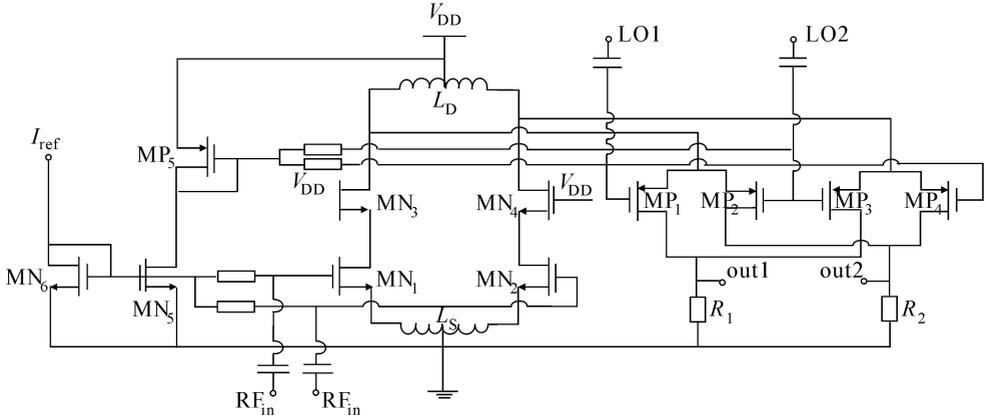


图 5 零中频 Gilbert 型有源混频器电路原理图

电路中的输入级是一个共源共栅结构,由 MN_1 和 MN_2 , MN_3 和 MN_4 组成。采用这种共源共栅的结构,是为了极大地隔离本振和射频电路,使本振和射频电路端口的泄漏减至最少。与前级相匹配的措施是用 L_s 改变输入阻抗来实现。因开关管共源节点的寄生电容的影响而引起的间接 $1/f$ 噪声以及线性度这类问题,利用 L_d 和开关管共源节点寄生电容的谐振来解决。它们谐振于工作频率,使得这个寄生电容被谐振掉了。另外,为减少 NMOS 管闪烁噪声因子的影响,考虑 PMOS 管的闪烁噪声因子比 NMOS 管的低很多,故采用 4 个 PMOS 管组成开关级,这 4 个 PMOS 管是 MP_1 , MP_2 , MP_3 , MP_4 , 因此开关管的 $1/f$ 噪声被大大减少了。因多晶硅电阻基本不引入闪烁噪声,故采用多晶硅电阻为输出级。应用中,输出级外端加接 1 个负载电容便组成低通滤波网络,各高阶谐波成分得以滤除。

在电源电压为 1.8 V,本振信号输入功率为 3 dBm 的条件下,应用 Cadence 软件、采用 CMOS 工艺进行设计仿真,仿真结果显示,混频器在 1 MHz, 100 kHz, 10 kHz 处的单边带噪声系数为 6.109, 6.71, 10.631 dB; 频率转换的增益为 11.389 dB; 输入的 3 阶交调点为 4.539 dBm。具体参数见表 1。

表 1 零中频 Gilbert 型有源混频器参数

参数	测试条件	TT(27 °C, 1.8 V)	SS(85 °C, 1.6 V)	FF(-40 °C, 2 V)
NF _{ssb} /dB	IF=1 MHz	6.109	7.54	4.98
NF _{ssb} /dB	IF=100 kHz	6.71	8.03	5.70
NF _{ssb} /dB	IF=10 kHz	10.631	11.51	10.06
GV/dB		11.389	11.38	10.45
IIP3/dBm		4.539	4.98	2.71
P1dB/dBm		-4.33	-4.03	-7.58
IIP2/dBm		93.78	—	—
RF-LO/dB		-106.9	—	—
LO-RF/dB		-106.9	—	—
Current/mA		5.82	4.37	8.73

3 结语

通过对零中频接收机混频器的直流漂移的电路设计技术的分析,采用动态电流注入、共源节点谐振、改善 2 阶线性度性能技术,应用 CMOS 工艺,利用 Cadence 设计了一款 1.8 V 电源电压折叠式 Gilbert 型有源混频器的电路并进行仿真。仿真结果显示,混频器在 1 MHz, 100 kHz, 10 kHz 处的单边带噪声系数为 6.109, 6.71, 10.631 dB; 频率转换的增益为 11.389 dB; 输入 3 阶交调点为 4.539 dBm。结果表明,设计出的零中频接收机混频器可望得到实际应用。

Weighted Minimization for Compressive Sensing Image Reconstruction in Wavelet Domain

ZHANG Jun

(School of Information Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: Compressive sensing has received much attention in the signal processing field for it can reconstruct a signal or image from surprisingly few samples. In this paper, the author investigates the wavelet domain image reconstruction problem and proposes a weighted l_i minimization algorithm to reconstruct the images. The proposed method utilizes not only the sparsity of signals, but also incorporates the structure information of images in wavelet domain. Hence, compared with the classical compressive sensing algorithm, the proposed method has better recoverability. Simulation results show that the proposed method has achieved the same equality image from few samples, which demonstrates the validity of the proposed method.

Key words: compressive sensing; image reconstruction; wavelet; basis pursuit

(责任编辑 向阳洁)

(上接第 78 页)

参考文献:

- [1] 余志平, 周润德. 射频微电子 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [2] GILBERT B. A Precise Four-Quadrant Multiplier with Subnanosecond Response. IEEE [J]. Solid-State Circuits, 1968 (3): 365 - 373.
- [3] 池保勇, 余志平, 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.
- [4] PARH J S. Design and Analysis of Low Flicker-Noise CMOS Mixers for Direct-Conversion Receivers [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2006, 54(12): 4 372 - 4 380.
- [5] 周少华. 基于吉尔伯特型的 CMOS 射频混频器的设计 [J]. 吉首大学学报: 自然科学版, 2011, 32(3): 51 - 54.

Design of CMOS Zero IF Mixer Based on Gilbertl

ZHANG Wu-long¹, ZHOU Shao-hua²

(1. Yongzhou Hospital of Traditional Chinese Medicine, Yongzhou 425000, Hunan China; 2. Hunan Engineering Vocational Technical College, Changsha 410151, China)

Abstract: The dynamic current injection, the common source node resonance, improved two order linearity performance technology, and CMOS technology being applied, an active folding Gilbert zero IF mixer with the supply voltage at 1.8 V was designed. The circuit simulation showed that at 1 MHz, the SSB noise figure of the mixer was 6.109 dB; at 100 kHz, the SSB NF was 6.71 dB; and at 10 kHz, 10.631 dB. Frequency conversion gain was 11.389 dB; input three order intermodulation point was 4.539 dBm.

Key words: Gilbert mixer; zero IF; CMOS process; design

(责任编辑 陈炳权)