

文章编号: 2095-4980(2016)02-0233-03

X 频段 FET 混频器的仿真设计

王 鹏

(电子科技大学 电子工程学院, 四川 成都 611731)

摘 要: 主要研究 X 频段下变频场效应管(FET)混频器的设计与仿真, 利用谐波平衡法和变换矩阵法对 FET 漏极混频器的工作原理进行分析, 根据设计要求选取合适的 FET 管, 运用先进设计系统(ADS)软件对电路进行设计、仿真优化和加工测试。测试结果表明, 在射频频率为 12.3 GHz~13.2 GHz, 中频频率为 1.6 GHz~2.5 GHz 时, 变频损耗小于 5 dB。

关键词: 场效应管混频器; 谐波平衡法; 变换矩阵法

中图分类号: TN927.2

文献标识码: A

doi: 10.11805/TKYDA201602.0233

Simulation and design of X-band FET drain mixer

WANG Peng

(School of electronic engineering University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu Sichuan 611731, China)

Abstract: The simulation and design of X-band down-converter Field Effect Transistor(FET) mixer is presented. The basic principle of FET drain mixer is analyzed by the harmonic balance method and the transform matrix method. How to choose the appropriate FET transistor is based on the requirement for design. The circuit is designed, simulated and optimized with Advanced Design System(ADS) software. With Radio Frequency(RF) of 12.3 GHz–13.2 GHz and Intermediate Frequency(IF) of 1.6 GHz–2.5 GHz, the conversion loss is less than 5 dB.

Key words: Field Effect Transistor drain mixer; harmonic balance method; transform matrix method

混频器广泛应用于微波电路当中, 尤其是作为超外差接收机中的关键部件, 它的指标很大程度上决定了整个系统的性能。混频器利用非线性器件将信号频率变换成多个频率输出实现频率变换, 然后使用滤波器来选取所需要的中频信号。FET 有源混频器电路分为: 栅混频、漏混频、源混频等^[1]。漏极混频器的本振信号加在漏极端口, 射频信号加在栅极端口, 这样栅极和漏极 2 端口间固有的隔离度高, 而且结构相对简单, 制作方便, 同时具有更小的变频损耗甚至会有变频增益, 所以本文采用漏极混频器。

1 漏极混频器的工作原理

漏极混频器的电路原理框图如图 1 所示^[2]。射频 RF 信号由 FET 的栅极输入, 本振(Local Oscillator, LO)信号由 FET 的漏极输入, 同时中频(IF)信号由漏极输出, FET 在 LO 功率的驱动下进入非线性工作区, 达到混频的目的。IF 端口的低通滤波器保证了所需信号的提取和高频信号的功率回收。同时必要的直流偏置电路很好地防止了 LO 信号和 RF 信号进入直流源^[3]。

对混频器严格的理论分析, 一般采用大信号—小信号分析方法(又称变换矩阵法)^[4]。这一分析方法的步骤是: 先使用谐波平衡法对由大的本振信号激励的混频器进行分析, 再进行变换矩阵分析, 即是将等效电路中的非线性元件变换为小信号线性、时变元件, 再作小信号分析。在进行大信号分析时, 如果本振周期变化通过电阻区和饱和区, 则漏栅跨导 g_m 为 U_d 的非线性函数, 有极小值和极大值^[5]。漏源导纳 g_d 被调制, 因非线性跨导和漏极跨导而发生混频, g_m 和 g_d 采用傅里叶级数表示为^[6]:

$$g_m(t) = \sum_k g_{mk} e^{jk2\pi f_{LO}t} \quad (1)$$

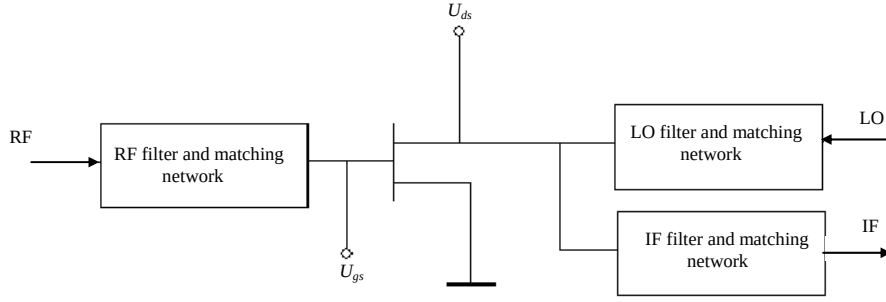


图 1 Schematic diagram of mixer

图 1 混频器原理图

$$g_d(t) = \sum_k g_{dk} e^{jk2\pi f_{LO}t} \quad (2)$$

g_{mk} 和 g_{dk} 可以用谐波平衡法计算, 其变换矩阵可以表示为:

$$[i_d] = [g_m][U_g] + [g_d][U_d] \quad (3)$$

由于中频输出为 $f_{RF} - f_{LO}$, 则可计算出该频点处的输出电流幅度。由于 RF 信号的电流幅度值较低, 各阶混频产物大于三阶, 可忽略高次谐波, 即 $n=0, k=0,1$, 式(3)可以简化为:

$$i_{d1} = g_{m1}U_{g0} + g_{d0}U_{d1} + g_{d1}U_{d0} \quad (4)$$

$$i_{d0} = g_{m0}U_{g0} + g_{d1}U_{d-1} + g_{d0}U_{d0} + g_{d-1}U_{d1} \quad (5)$$

如果 RF 信号与栅极端匹配, 则有:

$$P_{RF} = \frac{1}{2}(U_{g0} \times 2\pi f_{RF} \times C_{gs})^2(R_g + R_s + R_i) \quad (6)$$

式中: P_{RF} 为混频器的射频信号输入功率; U_{g0} 为栅极固定偏压。则混频器的变频增益可以大致表示为:

$$G_c = \frac{R_i i_{d1}^2}{2P_{RF}} \quad (7)$$

2 X 波段漏极混频器的仿真设计

本文采用 Avago 公司的 PHEMT 管 ATF36163 进行电路设计。主要技术指标为: 输入频率 12.3 GHz~13.2 GHz, 输出频率 1.6 GHz~2.5 GHz, 变频损耗小于 5 dB。整个电路结构包括以下几部分^[7]: a) RF 滤波及匹配网络^[8]: 通过 π 型匹配电路来实现 RF 端口的电路匹配, 同时在 RF 端口添加一段耦合微带电路, 来实现隔直作用; b) IF 滤波及匹配网络: 通过一个宽阻带滤波器来实现对高频信号的抑制及回收; c) LO 滤波及匹配网络: 通过一个平行耦合线带通滤波器来完成 LO 与 RF 端口的隔离; 4) 直流偏置电路: 通过扇形微带线来实现对高频信号的抑制, 防止高频信号进入直流源。在 ADS 中对各个端口电路进行匹配网络设计并仿真, 微波介质基板采用 Rogers 5880。图 2 为低通滤波器和带通滤波器的仿真模型。这 2 个滤波器是通过 HFSS 软件来进行的仿真, 之后将仿真结果导入 ADS 软件。

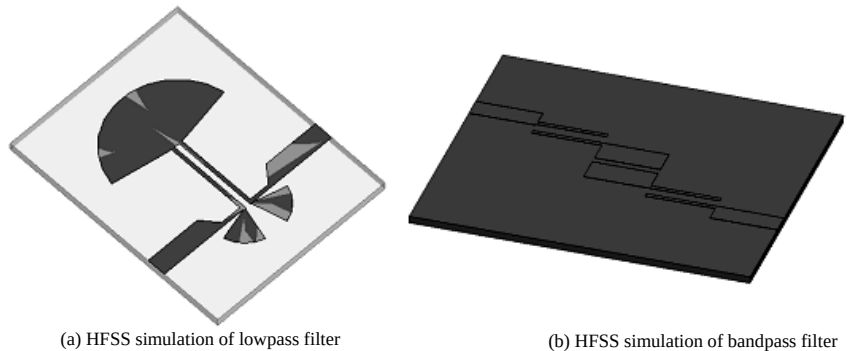
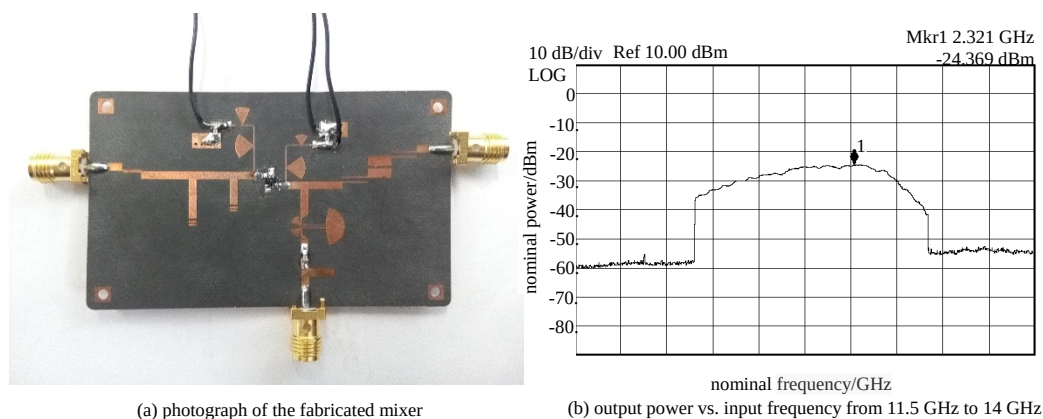


图 2 Simulation of lowpass filter and bandpass filter

图 2 低通和带通滤波器模型

3 X 波段漏极混频器的加工测试

图 3(a)为 X 波段混频器的实物加工图,图 3(b)为测试结果图。由测试结果图中可以看出在射频频率为 12.3 GHz~13.2 GHz,输入功率为-20 dBm 时,变频损耗小于 5 dB。



(a) photograph of the fabricated mixer

(b) output power vs. input frequency from 11.5 GHz to 14 GHz

Fig.3 Photograph and measured results
图 3 变频增益随 RF 频率和 LO 功率的变化

4 结论

本文通过 HFSS 软件对无源器件如滤波器进行仿真设计,之后通过 ADS 软件实现了 X 波段 FET 漏极混频器的设计与仿真。漏极混频器电路结构比较简单,较易实现,有着更少的变频损耗,因此在射频接收机前端有着良好的应用前景。

参考文献:

- [1] MAAS S A. Microwave Mixers[M]. 2nd ed. Mass,Boston,London:Artech House Publishers, 1993.
- [2] 王爱猛. Ka 频段 PHEMT 混频器研究[D]. 成都:电子科技大学, 2002. (WANG Aimeng. Study on the PHEMT mixer in Ka-band[D]. Chengdu,China:University of Electronic Science and Technology of China(UESTC), 2002.)
- [3] 王芹英. K 频段 FET 漏极混频器仿真设计与实现[D]. 北京:北京遥测技术研究所, 2012. (WANG Qinying. The simulation and implementation of FET drain mixer in K-band[D]. Beijing:Beijing Telemetry Technology Research Institute, 2012.)
- [4] 孙晓玮. GaAs MMIC MESFET 混频器性能比较[J]. 固体电子学研究与进展, 2000,20(1):100-115. (SUN Xiaowei. The comparison of the GaAs MMIC MESFET Mixers[J]. Research & Progress of SSE Solid State Electronics, 2000,20(1):100-115.)
- [5] CAYROU J Ch,GAYRAL M,GRAFFEUIL J,et al. Simple expression for conversion gain of MESFET drain mixers[J]. Electronics Letters, 1993,29(17):1514-1516.
- [6] SHASTRY P N,CULLERTON E. A novel wideband GaAs FET source injected distributed mixer[C]// Microwave Conference. [S.l]:IEEE, 2006:1533-1536.
- [7] MEHDI M,RUMELHARD C,POLLEUX J L,et al. A novel technique for obtaining LO and RF(LSB) rejection in 25 GHz-40 GHz microwave up conversion mixers based on the concepts of distributed and double balanced mixing[C]// Gallium Arsenide and Other Semiconductor Application Symposium. [S.l]:IEEE, 2006:569-572.
- [8] 龙中华. 高线性微波混频器的研究与设计[D]. 成都:电子科技大学, 2013. (LONG Zhonghua. The research and design on high linear microwave mixer[D]. Chengdu,China:University of Electronic Science and Technology of China(UESTC), 2013.)

作者简介:



王 鹏(1989-),男,山西省忻州市人,硕士,主要研究方向为微波电路.email:wp007911@126.com.