

2.4 GHz 收发系统射频前端的 ADS 设计与仿真

陈 丽

(昆明陆军学院 作战模拟仿真教研室 云南 昆明 650207)

摘 要:针对无线移动通信环境中的应用,使用 ADS 软件设计了一种 2.4 GHz 收发系统的射频前端,射频前端中的关键模块均根据实际的集成射频模块的参数设计。使用 ADS 软件对设计的射频前端进行预算仿真、S 参数仿真、大信号 S 参数仿真、谐波平衡仿真等。由仿真可以得出射频发送端的总增益为 17.783 dB,效率为 16%。接收端的灵敏度为 -92.08 dBm,带宽为 6 MHz。仿真结果表明,设计的射频前端符合实际的无线移动通信环境的要求。

关键词:ADS;2.4 GHz 收发系统;射频前端;射频模块;增益;效率;灵敏度;带宽

中图分类号:TN911

文献标识码:A

文章编号:1004-373X(2009)19-023-04

ADS Design and Simulation of Radio Front End of 2.4 GHz Transceiver

CHEN Li

(Kunming Military Academy of PLA, Kunming, 650207, China)

Abstract: The design and simulation of radio front end of a 2.4 GHz transceiver using Advanced Design System (ADS) for wireless mobile communication application is presented. The key modules in RF system are designed by using the parameters of actual integrated RF modules. Some simulations have been done by using ADS, such as Budget simulation, S parameter simulation, LSSP simulation, HB simulation and so on. Through simulation, the total gain of transmitter is 17.783 dB, the efficiency is 16%. The sensitivity of receiver is -92.08 dBm, bandwidth is 6 MHz. The simulation results show that this RF end accord with real wireless mobile communication demand.

Keywords: ADS; 2.4 GHz transceiver; radio front end; RF module; gain; efficiency; sensitivity; bandwidth

0 引言

近年来,随着无线通信业务的迅速发展,通信频段已经越来越拥挤。1985年美国联邦通信委员会(FCC)授权普通用户可以使用 902 MHz, 2.4 GHz 和 5.8 GHz 三个“工业、科技、医学”(ISM)频段^[1]。ISM 频段为无线通信设备提供了无需申请在低发射功率下就能直接使用的产品频段,极大地推动了无线通信产业的发展。虽然目前无线数字通信技术已经相当成熟,但射频设计仍然是移动通信设计的瓶颈。射频电路的设计主要围绕着低成本、低功耗、高集成度、高工作频率和轻量化等要求而进行。ISM 频段的射频电路的研究对未来无线通信的发展具有重大的意义。国内外许多文献都对此作了研究,文献[2]介绍了在无线高速数据通信环境下,2.4 GHz 发射机的设计。文献[3]介绍了一种低功耗的 CMOS 集成发射机的设计。

ADS(Advanced Design System)软件是 Agilent 公司在 HPESOF 系列 EDA 软件基础上发展完善的大型综合设计软件。它功能强大能够提供各种射频微波

电路的仿真和优化设计广泛应用于通信航天等领域。本文主要介绍了如何使用 ADS 设计收发系统的射频前端,并在 ADS 的模拟和数字设计环境下进行一些仿真。

1 发射端的建模与仿真

由于设计是建立在实验室中已有的中频调制和解调的硬件基础上的,因此发射端和接收端不考虑信号的调制和解调过程。实验室中的中频调制模块可以输出大概 8~10 dBm 的 40 MHz 已调中频信号,经过分析选择,该发射端的各个模块均参考 MAXIM 公司的集成模块的参数而设计。本地振荡器采用的是 MAX2700。MAX2700 是压控振荡器,通过设计合适的外围电路可以使它输出 2.4 GHz 的信号。混频器采用的是 MAX2660,MAX2660 是有源混频器,可以提供一定的增益。功率放大器采用的是 MAX2240,MAX2240 的最大输出功率是 15.3 dBm。发射端所用到的滤波器可以使用 ADS 软件中的滤波器设计工具进行设计。由于实际的滤波器的插入损耗大概为 1~2 dB,该设计中取滤波器的插入损耗均为 1 dB。通过在 ADS 软件中的模拟电路设计环境进行建模。

在该发射端模型中,中频信号为 40 MHz, -10 dBm 大小的信号。在 ADS 的模拟设计环境下,对该发射端进行设计并作预算仿真,该仿真主要是为了测量各个模块的增益、噪声系数、三阶互调截点等。该仿真过程如图 1 所示。

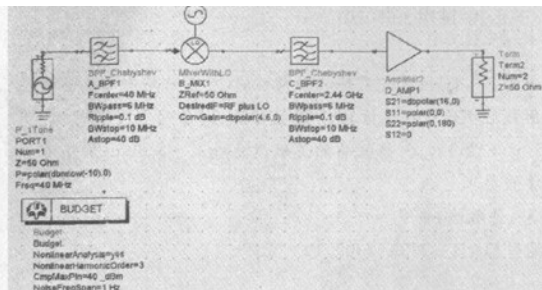


图 1 发送端模型

从表 1 仿真结果中可以看出,整个发射端的总增益为 17.783 dB。输入的中频信号为 -10 dBm,所以功率放大器输出的射频信号大小为 7.783 dBm。

表 1 发送端的预算仿真结果

仿真选项	滤波器 1	混频器	滤波器 2	放大器
输出功率 /dBm	-11.007	-7.217	-8.217	7.783
输出增益 /dB	-1.007	2.783	1.783	17.783

2 接收端的建模与仿真

接收端在设计中要考虑增益、噪声系数、灵敏度等因素,比发射端的设计更为复杂。由于接收端包含很多有源器件,有源器件的非线性对整个接收系统会产生很大的影响,比如当只输入一个信号时会出现增益压缩,当输入两个以上的信号时会出现互相调制等。在本设计中,中频解调模块大概也需要 8~10 dBm 的信号大小,经过分析,低噪声放大器采用的是 MAX2641,MAX2641 的增益为 13.5 dB,噪声系数为 1.5 dB。混频器采用的是 MAX2682,MAX2682 的增益为 7.9 dB,噪声系数为 13.4 dB,本地振荡器与发送端的相同。使用 ADS 对接收端进行建模,如图 2 所示。

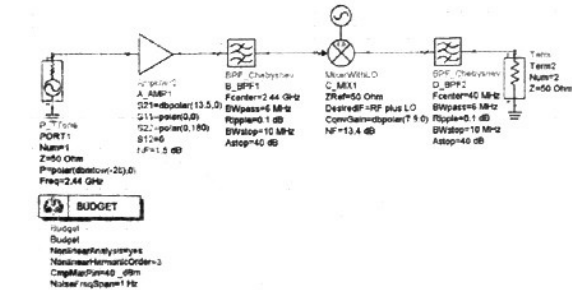


图 2 接收端模型

由于各个模块的参数均为已知,通过计算可以得出系统总的噪声系数,三阶互调截点等。

噪声系数定义为系统输入信噪功率比 (SNR)_i = P_i/N_i 与输出信噪功率比 (SNR)_o = P_o/N_o 的比值,常用 F 表示。噪声系数表征了信号通过系统后,系统内部噪声造成信噪比恶化的程度。噪声系数常用 NF (单位为 dB) 表示。根据噪声系数的级联式^[4]:

$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_{p1}} + \frac{F_3 - 1}{G_{p1}G_{p2}} + \dots \quad (1)$$

可以计算出系统总的噪声系数,系统总的噪声系数就是从图 3 中的低噪声放大器向输出端方向看过去,所表现出的噪声系数,也可以理解为当接收信号由低噪声放大器传输到输出端,接收端对信噪比的恶化程度。利用公式(1)经过计算得到系统的噪声系数 F=2.582 dB, NF=4.12 dB。

三阶截点 IP₃, 定义为三阶互调功率达到和基波功率相等的点,此点所对应的输入功率表示为 IIP₃, 此点所对应的输出功率表示为 OIP₃。根据三阶互调截点的级联式^[5]:

$$\frac{1}{IIP_3} = \frac{1}{(IIP_3)_1} + \frac{A_1^2}{(IIP_3)_2} + \dots \quad (2)$$

可得,系统总的 IIP₃ = -9.75 dBm。

同样在模拟设计环境下,对接收端进行预算仿真,仿真结果如表 2 所示。

表 2 接收端的预算仿真结果

仿真选项	低噪声放大器	滤波器 1	混频器	滤波器 2
输出功率 /dBm	11.612	10.612	18.205	17.205
输出增益 /dB	-18.388	-19.388	-11.795	-12.795
输入 TOI /dBm	-10.124	4.2	3.2	1.000
噪声系数 /dB	1.5	1.535	4.147	4.151

从表 2 的仿真结果可以看出整个接收端的增益为 17.205 dB,假设接收天线接收到的信号为 -30 dBm,则接收到的中频信号大小为 -12.795 dBm。中频信号的仿真值略低于中频接收端所需要的信号大小,这可以用驱动放大器来增加信号的大小。另外由仿真结果可以看出接收端总的噪声系数为 4.151 dB,而计算出的结果为 4.12 dB。仿真的接收端的三阶输入截点为 -10.124 dBm,而计算出的为 -9.75 dBm。以上结果有一定的差异,该差异是由增益压缩等因素所引起的。

接收机的一个重要指标是灵敏度,它定义为:在给定的信噪比的条件下,接收机所能检测的最低输入信号电平。灵敏度与所要求的输出信号质量即输出信噪比有关,还与接收机本身的噪声大小有关。接收机的灵敏度可由下式计算得出^[6]:

$$p_{in,min}(dBm) = N_{RS}(dBm/Hz) + NF(dB) + (SNR)_{o,min}(dB) + 10\log B \quad (3)$$

假设接收机输入端满足共轭匹配,由源内阻 R_s 产生的噪声输送给接收机的噪声功率为其额定输出,即:

$$N_{RS} = \frac{4KT_aR_s}{4R_s} = KT_a \quad (4)$$

假设 $T_a = 290$ K,则 $N_{RS} = -174$ dBm/Hz。所以灵敏度可表示为:

$$p_{in,min}(dBm) = -174 dBm/Hz + NF(dB) + (SNR)_{o,min}(dB) + 10\log B \quad (5)$$

在本设计中, $NF = 4.12$ dB, $B = 6$ MHz,当 $(SNR)_{o,min} = 10$ dB时,由式(5)计算可得: $p_{in,min} = -92.08$ dBm。

接收机所接收的信号强弱是变化的,通信系统的有效性取决于它的动态范围,即高性能的工作所能承受的信号变化范围^[7]。动态范围的下限是灵敏度,上限由最大可接受的信号失真决定。在本设计中考虑的是低噪声放大器的输入端的动态范围。动态范围可由式(6)得到:

$$DR_f(dB) = \frac{1}{3}[2IIP_3(dBm) + F_i(dB)] - [F_i(dB) + (SNR)_{o,min}(dB)] \quad (6)$$

利用式(6)计算可得: $DR_f = 51.58$ dB。

利用 ADS 软件对接收端进行 S 参数仿真,该仿真可以用于测量各个器件的 S 参数等。在本仿真中,可以看成是当 2~3 GHz,以 1 MHz 为步长的各个频率分量通过该接收端时,接收端对各个频率分量的增益或衰减大小的仿真。仿真模型及仿真结果如图 3,图 4 所示。

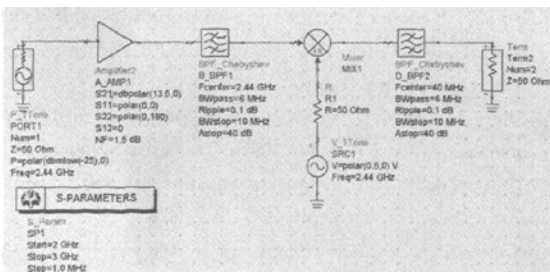


图3 S参数仿真模型

从图 4 可以看到接收到的有用射频信号和该信号所对应的镜像频率信号的大小。由于在混频器前有抑制镜像频率信号的带通滤波器,所以镜像频率信号与有用射频信号相比非常小。如果没有混频器前的滤波器则会出现图 4(b)的仿真结果。镜像频率信号与混频器混频后会得到与中频信号频率相同的干扰信号,这一干

扰信号无法通过滤波器移除,这样就会形成对有用信号的干扰,使信噪比下降。因此在混频器前放置高 Q 值的滤波器对抑制镜像干扰非常重要^[8]。

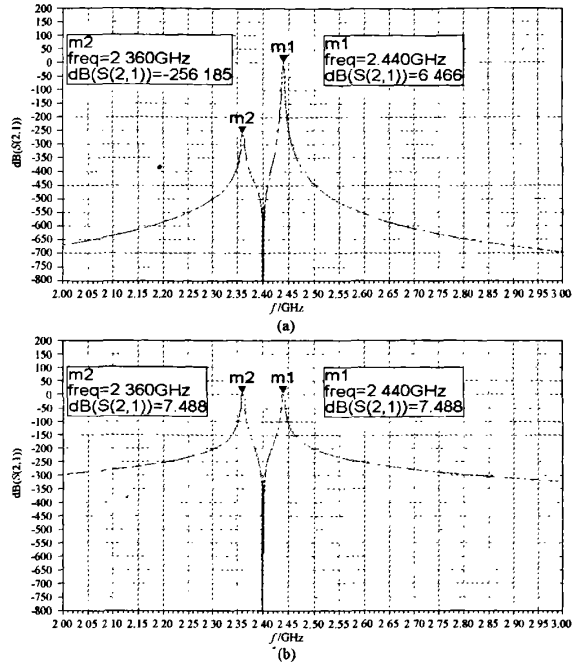


图4 S参数仿真结果

利用 ADS 软件对接收端进行大信号 S 参数仿真,用此工具对接收端进行仿真主要是为了测试接收端的 1 dB 增益压缩点 P_{1dB} 。仿真的结果如图 5 所示。

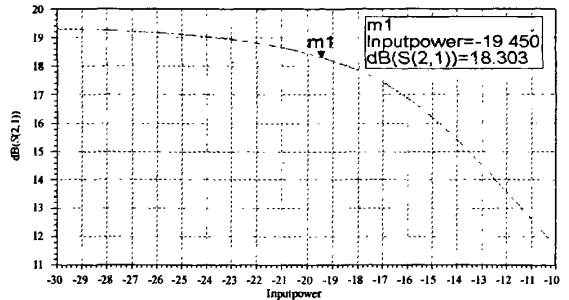


图5 大信号 S 参数仿真结果

由仿真结果可以看出当输入的信号功率为 -19.45 dBm时,接收端的总增益压缩 1 dB。

将发射端与接收端连接起来,并加入发射天线和接收天线,就可以构成整个收发系统的射频前端模型。然后对整个射频前端进行了谐波平衡仿真,仿真的原理图如图 6 所示,仿真结果如图 7 所示。

由于信号频率很高,如果通过发射天线发射到自由空间中,经过传输会产生巨大的损耗,该损耗可由式(7)算出^[9]:

$$L_t = 10 \lg(4\pi d f / \lambda)^2 \quad (7)$$

假设传输的距离为 $d=1$ m, 则 $L_t \triangleq 40$ dB。实际的传输路径并不是自由空间, 而是比自由空间更为复杂的通信环境, 在无线通信的损耗预测中, 可以用 Okumura 或是 Egli 模型进行估计^[10]。在仿真中设置接收天线的增益为 10 dB, 以使接收到的信号达到中频解调的要求。由上面的仿真结果可以看出信号通过整个射频前端时的信号频率和大小的变化, 设计的射频前端可以满足无线通信的要求。

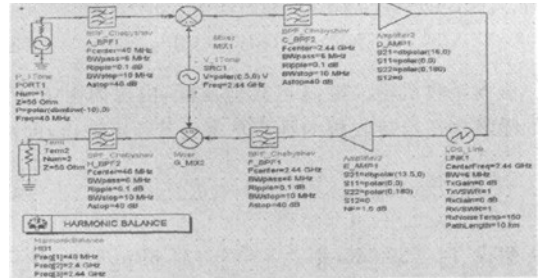


图 6 收发系统的射频前端电路

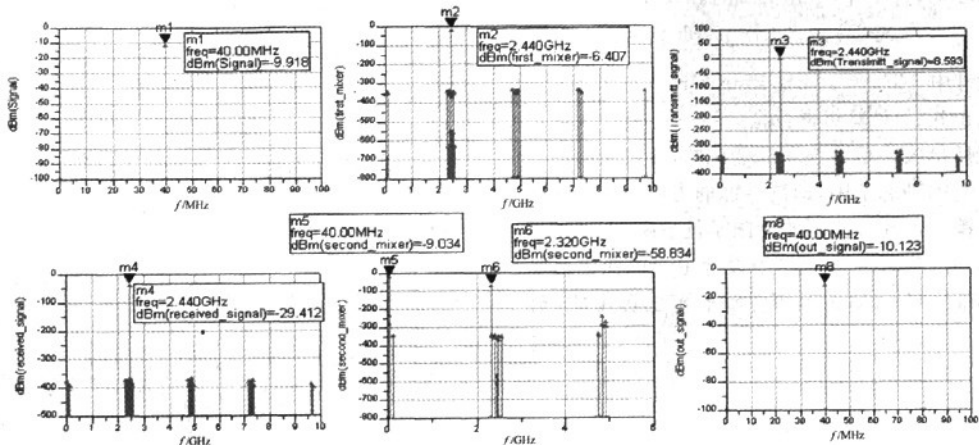


图 7 仿真结果

3 结 语

通过对实际的集成射频模块的选择, 以及利用 ADS 对射频前端的仿真, 可以得到系统的一些重要性指标, 通过对这些性能指标进行分析, 可以得出设计的射频收发端是可行的, 可以满足实际无线通信环境对射频系统的要求。另外, 为了能够在实际的应用中使收发前端实现最佳的性能, 设计可以对噪声与非线性的影响作进一步的分析, 通过分析可以选用更合适的射频模块或对电路进行一些改进, 以满足特殊的信道对射频前端的要求。

参 考 文 献

[1] Dunleavy L, Flikkema P, Kuppusamy A. Characterization and Simulation of a 915 MHz Wireless Receiver[A]. Proc. 50th ARFTG Conference[C]. 1997, 32: 42 - 53.
 [2] Apostolos Georgiadis. Design of a 2.4 GHz Radio Transceiver for High Speed Wireless Data Networks[D].
 [3] Alireza Zolfaghari. A Low-power 2.4 GHz CMOS Transceiver for Wireless LAN Applications[D].
 [4] Su Qingxin, Liu Jigang, Chai May. RI: Components in 3 G Mo-

bile Communication Systems[A]. Proceedings of 12th National Conference on Electronic Components[C]. 2002: 15 - 18.
 [5] Darabial H. A 2.4 GHz CMOS Transceiver for Bluetooth [A]. ISSCC Dig. of Tech. Papers[C]. 2001: 89 - 91.
 [6] Jérôme Le Ny, Bhavana T, Jonathan M. A 1.9 GHz Low Noise Amplifier[A]. EECS 522 Analog Integrated Circuits Project[C]. 2002: 1 - 6.
 [7] Young J K, Bolme G, Lyles J, et al. LANSCE 201 MHz and 805 MHz RF System Experience[A]. IEEE Particle Accelerator Conference[C]. 2007: 2 412 - 2 414.
 [8] Minea M, Grafu F D, Cormos A C. Reliable Integrated Communications for Urban Intelligent Transport Systems[A]. Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services[C]. Serbia, 2007: 617 - 620.
 [9] Lowry P B, LaMarc Humpherys S, Malwitz J Nix J. A Scientometric Study of the Perceived Quality of Business and Technical Communication Journals[J]. IEEE Trans. on Professional Communication, 2008, 50(4): 352 - 378.
 [10] Muhammad K, Murphy T, Staszewski R B. Verification of Digital RF Processors; RF, Analog, Baseband and Software [J]. IEEE Journal of Solid - State Circuits, 2007, 42(5): 992 - 1 002.

作者简介 陈 丽 女, 1976 年出生, 硕士。中国人民解放军昆明陆军学院作战模拟仿真教研室讲师。