

浙江大学

本科实验报告

project 2: 收发信机系统仿真与优化

课程名称:	射频电路与系统
姓名:	
学院:	信息与工程学院
专业:	
学号:	
指导老师:	皇甫江涛

January 3, 2024

目 录

一、零中频接收机设计与仿真	3
1. 接收机的频带选择性仿真结果	3
2. 接收机信道选择性仿真	5
3. 接收机系统预算增益仿真	5
4. 接收机的下变频分析	6
二、零中频接收机设计优化	7
三、外差式发射机设计与仿真	8
四、遇到的问题与总结	10

一、 零中频接收机设计与仿真

最前端的微波带通滤波器采用 4 阶切比雪夫通带滤波器, 中心频率为 2140MHz, 3dB 带宽为 80MHz, 止带宽为 400MHz, 期望能够得到-25dB 的带外衰减。另外, 通带波纹为 0.1dB, 插入损耗为-1dB。

LNA 的增益为 21dB, 噪声系数为 2dB, 故我们将所选的 Amplifier 设置为 $S21=dbpolar(21,180)$, $NF=2dB$ 。

下变频部分的混频器选用 System-Amps & Mixer palette 中的 behavioral Mixer, 注意不要错选成 Mixer2, 它是用来进行非线性分析的, 而 Mixer 才是用来进行频率转换的。将混频器的边带设为 LOWER, 增益为 10dB, NF 为 13dB。本振在 Sources-Freq Domain palette 选一电压源, 由于接收机中频为 0, 故本振频率应和输入信号频率一致, 这里设为变量 LO_freq, 输出电压设为 1V。

由于要将接收信号分为同相和正交两路, 所以本振信号也要分为两路, 一路直接和接收信号混频, 一路先经移相器移相 90° , 再进入混频器混频, 所以还要用到移相器和功率分离器。

接下来的模拟基带部分分两条支路, 每条都由一个信道选择低通滤波器和基带放大器级联而成。信道选择滤波器采用 5 阶切比雪夫低通滤波器, 通带波纹为 0.01dB, -3dB 频率转折点为 1.92MHz, 止带截止频率为 5MHz, 期望得到 36dB 的邻道衰减。基带放大器的增益在 0 66dB 之间可调, 所以也设为变量 G5, NF 为 15 dB。最后在基带输出端加入端口 Term2 和 Term3。

最终得到的零中频接收机原理图如图所示。

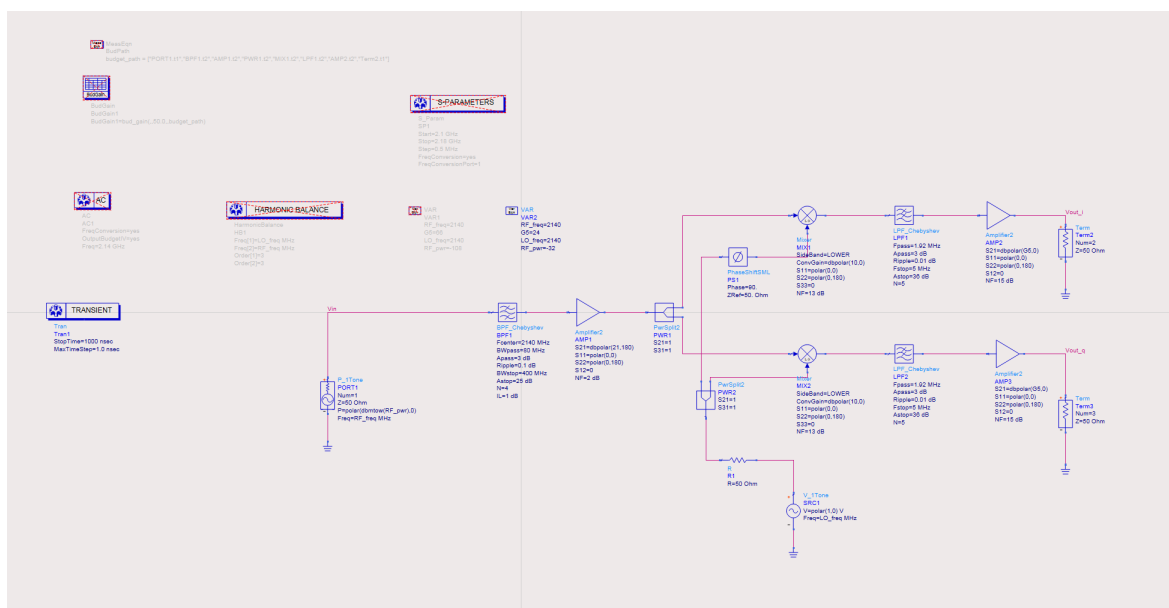


Figure 1: 收发机原理图

1. 接收机的频带选择性仿真结果

我们使用 S 参数仿真进行接收机的系统选择性分析。首先是接收机的频带选择性分析, $S_parameter$ Simulation Controller 设置为从 1GHz 到 3GHz 以 10MHz 为步进进行仿真。

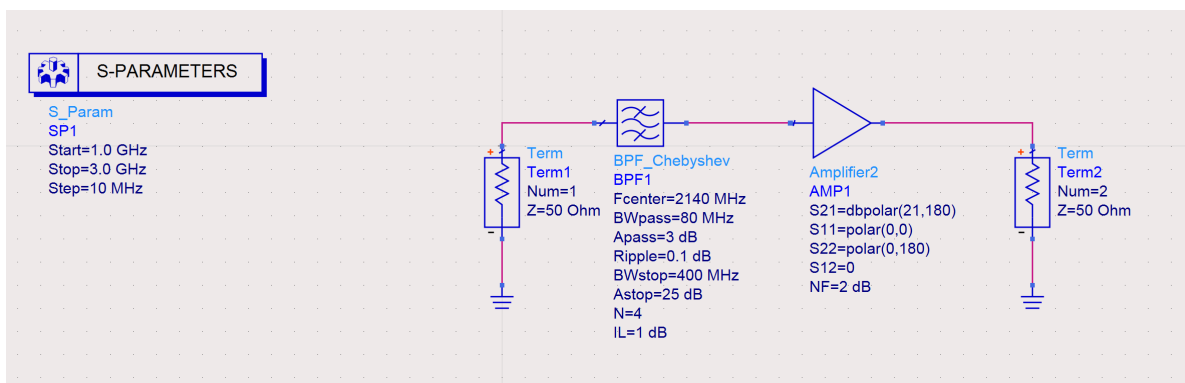


Figure 2: 频带选择性仿真原理图

对其进行 S-P 仿真，可以得到如图 3 仿真结果。

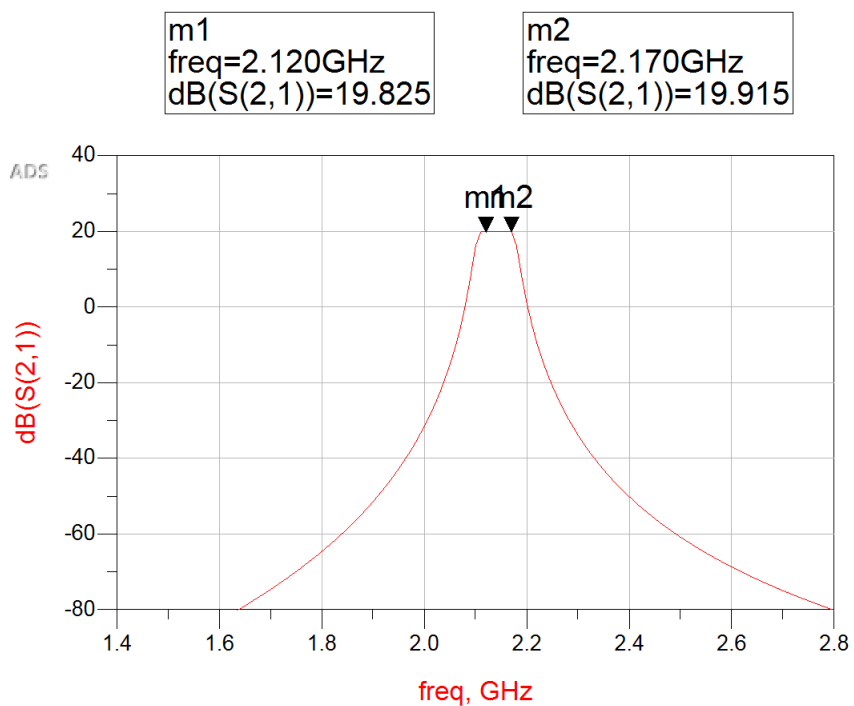


Figure 3: 频带选择性仿真结果

接收机在频带选择滤波器的中心频率拥有 20dB 的最大增益，也就是 LNA 的增益减去微波带通滤波器的插入损耗。在偏离中心频率 70MHz 处可得到 25dB 左右的衰减。

接收机射频前端的接收带宽为 6MHz，和 WCDMA 系统对移动终端下行链路的要求是相吻合的，而且通带内的波动不超过 0.125dB。

2. 接收机信道选择性仿真

对 S_parameter Simulation Controller 的 Parameters 栏进行设置, 启动 AC frequency conversion, 并将 S-parameter freq.conv.port 设为 1 端口。

以一个交流功率源模拟从射频输入端的天线双工器输出的接收信号, 输入功率和信号频率在 VAR 中赋值, 这里用的是接收机所能接收的最低信号电平-108dBm, 因此将基带 VGA 定为最大增益 66dB。

得到如图所示的仿真结果。

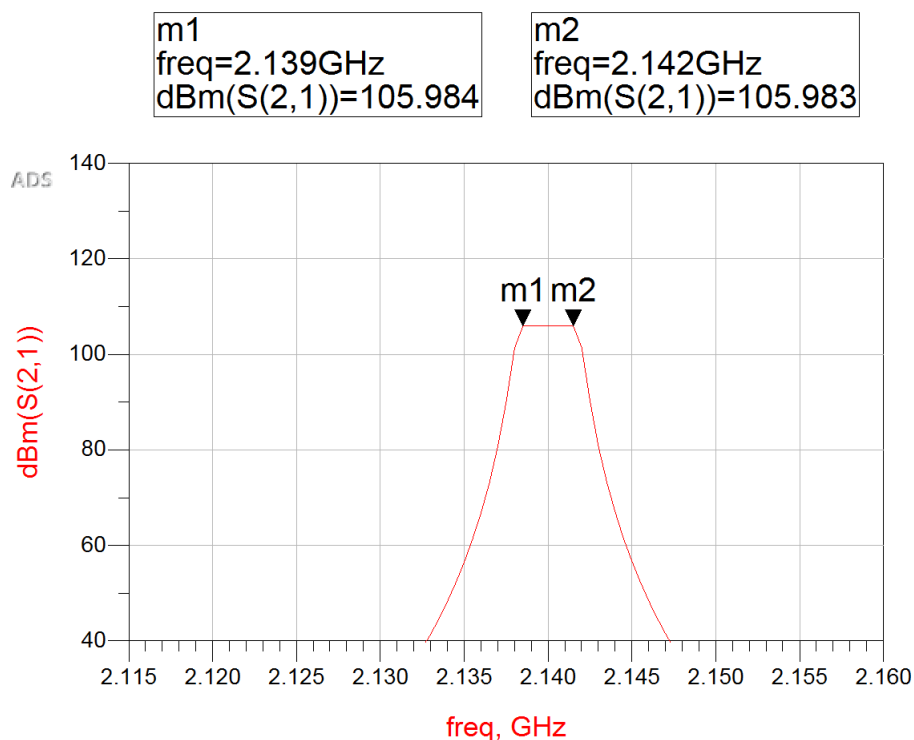


Figure 4: S21

从图中可以看到, 中心频率 2.14GHz 处的增益为 105dBm, 为系统的最大增益; 邻道抑制达到了 49.4dB, 优于设计目标; 通频带宽为 3MHz, 一般接收的信息都集中在离中心频率 2MHz 的范围内, 因此不会导致接收到的信号产生较大的失真; 通带内的波动不大于 0.15dB。

3. 接收机系统预算增益仿真

因为这里进行的是行为级仿真, 混频器的非先性特征是已知的, 所以我们就用交流分析来进行仿真。频率栏设为 Single point, 频率为 2.14GHz, Parameters 栏中的 Enable AC frequency conversion 和 Perform budget dimulation 都要激活。

仿真会在接收机总增益最大和最小两种情况下进行以得到较为全面的分析结果。当 VGA 增益为最大值 66dB 时, 信号源的功率电平为接收机的灵敏度-108dBm (已考虑了天线双工器的损耗), 反之, 当 VGA 的增益最小时, 信号源应输入接收机所能接收的最大功率。

预算分析还有两项很重要的设置是预算路径设定和建立预算增益方程。选择好输入端 RF_source 和输出端 Term2 (因为 I/Q 两支路的增益分配完全相同, 故任意仿真其中的一条即可), 点击 Generate 和 Highlight 就可设置好预算路径, 同时系统将自动生成预算增益方程。

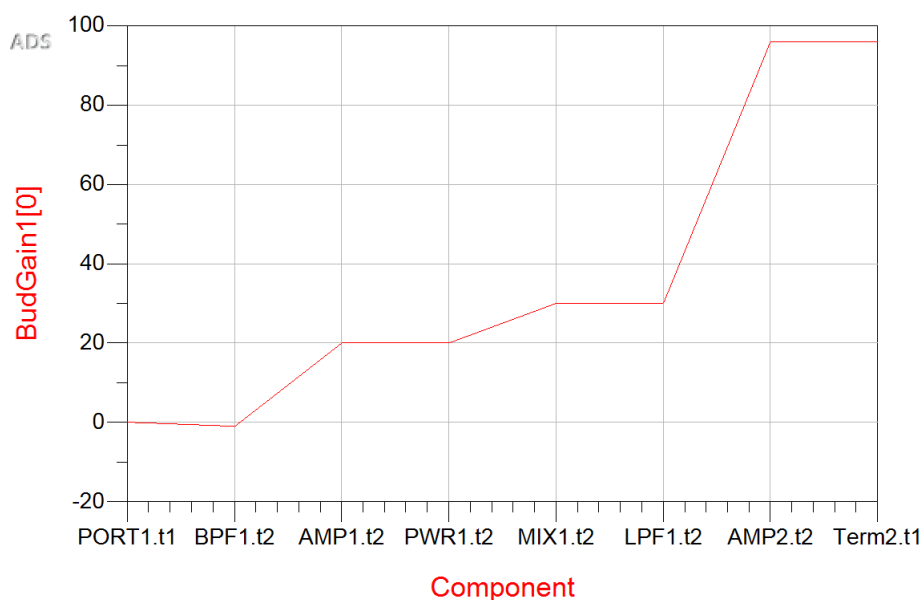


Figure 5: 预算增益仿真结果

也可表示为表图。

Component	BudGain1[0]
PORT1.t1	-7.949E-5
BPF1.t2	-1.000
AMP1.t2	65.000
PWR1.t2	65.000
MIX1.t2	75.000
LPF1.t2	75.000
AMP2.t2	141.000
Term2.t1	141.000

Figure 6: 预算增益仿真结果 (表)

4. 接收机的下变频分析

这里使用的是谐波平衡仿真 (Harmonic Balance Simulation, HB Simulation)，我们在接收机输入端插入一个载频为 2140MHz，电平为-40dBm 的交流信号作为信源，同样的，本地振荡器也使用交流功率信号源。另外需要对输入、输出端进行编辑，分别命名为 Vin、Vout_i 和 Vout_q。

然后插入 HB controller，如图进行频率设定。注意 HB 仿真中为了能够正确进行非线性分析，HB controller 中的频率变量必须和原理图中的信源频率相一致，如果有多个频率需要设定，Freq[1] 必须是输出功率电平最高的信源。所以这里必须是本振频率，Order 指的是谐波个数。

其仿真结果如图所示。

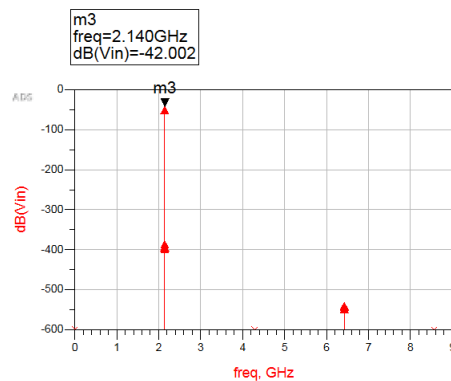


Figure 7: 射频输入信号频谱曲线

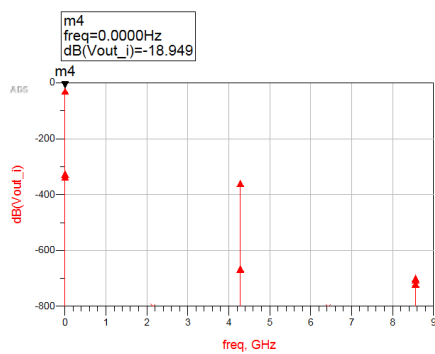


Figure 8: 基带输出信号的频谱曲线 1

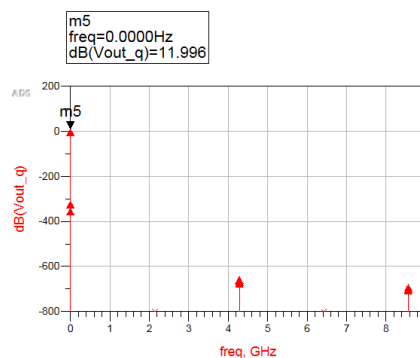


Figure 9: 基带输出信号的频谱曲线 2

二、 零中频接收机设计优化

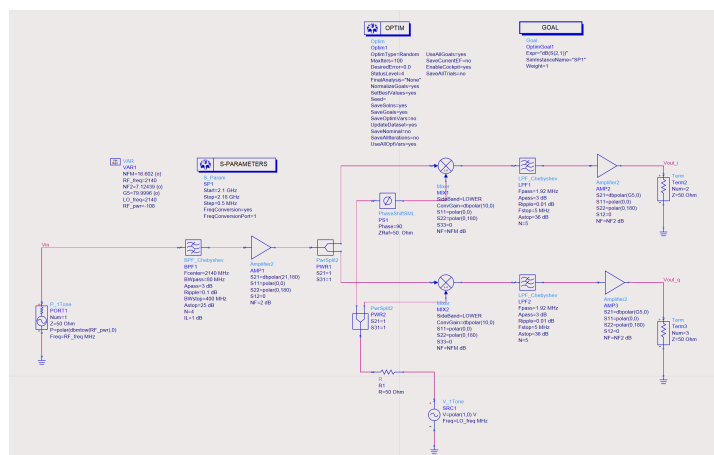


Figure 10: 收发机优化后原理图

对该零中频接收机, 我设计优化器 S21 的值, 使其能够在 110dB 以上, 相应的优化原理图如图所示。

其仿真结果也如图所示。

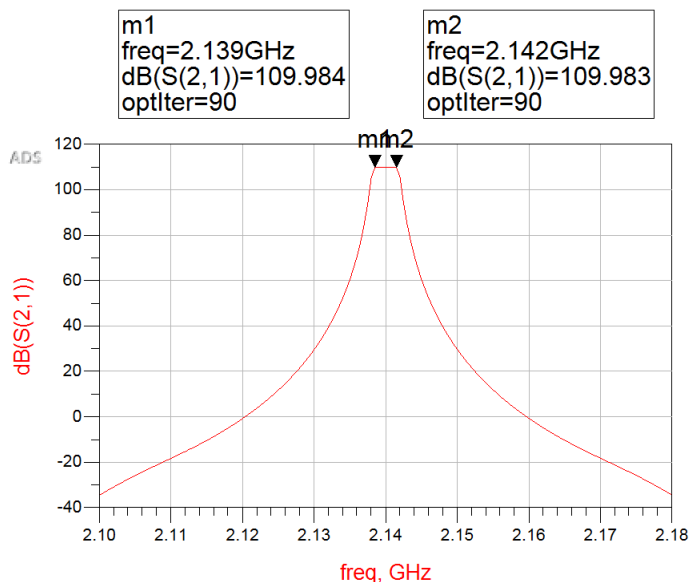


Figure 11: 收发机 S21 优化结果

可以看出, 由于设置了 1.0 的宽度和优化的极限, 最终的 dB (S21) 为 109dB, 带内抖动很小, 满足设计需求。

三、 外差式发射机设计与仿真

这里发射机的设计方案将调制和上变频分开, 先在较低的中频 (10.7MHz) 上调制, 原理图中就以调制器的输出为发射机射频前端的输入, 然后经中频放大器放大 (增益为 5dB) 再将其上变频搬移到发射的载频 (1950MHz) 上。

二次上变频后必须再通过一个带通滤波器滤除其中的一个不必要的边带, 然后经功放放大到发射机需要的发射功率电平上, 最后经过一个带通滤波器滤波后发射。

这里所用的两个带通滤波器一个设定为 4 阶切比雪夫带通滤波器, 一个设定 5 阶的, 插入损耗分别为 -1dB 和 -2dB。

上变频器的变频损耗为 -6dB, 另外我们取振荡器输出功率为 +13dB, 本振频率为 1960.7MHz。输入为 1.5dBm 的交流信号。

其原理图如图所示。

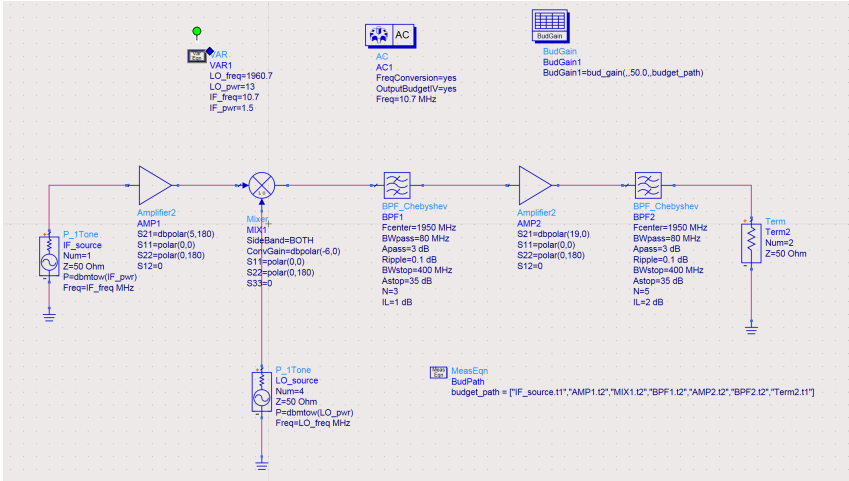


Figure 12: 外差式发射机原理图

对该发射机进行预算增益仿真，其仿真结果如图所示。

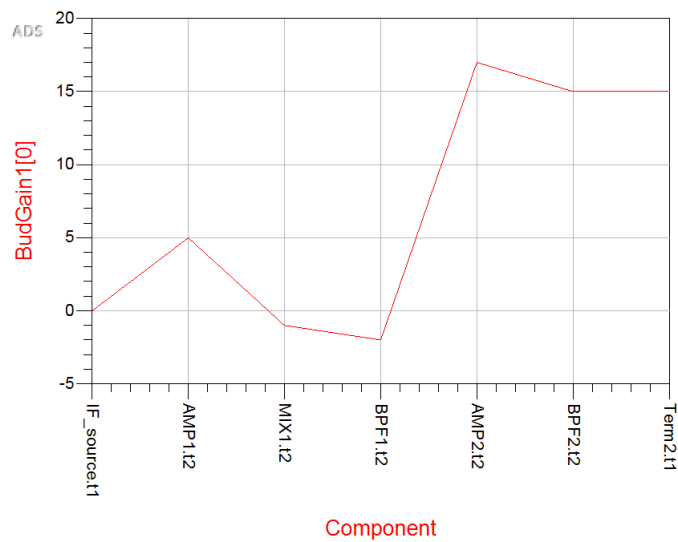


Figure 13: 发射机预算增益仿真结果

其列表如下所示。

Component	BudGain1[0]
IF_source.t1	9.643E-16
AMP1.t2	5.000
MIX1.t2	-1.000
BPF1.t2	-2.000
AMP2.t2	16.999
BPF2.t2	14.999
Term2.t1	14.999

Figure 14: 发射机预算增益仿真结果 (表)

四、 遇到的问题与总结

通过本次对收发信机的系统仿真,我认识到,对于一整个射频系统而言,完全从基础元件进行仿真是不现实的,系统仿真将多个模块的内部视为黑箱,只对几个需要的参数进行设计,从而极大的减轻了工作量。

通过,在对其进行优化时,也发现 ADS 的自动优化也有所局限,仅对几个参数进行优化时,有可能难以达到优化要求,这是就可能需要进行人为控制的优化了。