

《通信电路与系统》实验指导书

南阳理工学院

实验三 混频器的设计与仿真

1、实验目的

掌握混频器原理、指标和设计方法，学会使用 ADS 软件对功率放大器进行仿真，掌握混频器的谐波分析。

掌握双平衡混频器原理、设计步骤、测试方法。

2、实验内容提要

设计双平衡混频器电路，用 ADS 软件对其设计结构进行仿真，并分析其结果,并分析本振功率对中频输出信号质量的影响，最终确定本振最佳功率。

2.1 混频器原理

混频器是一个三端口器件，其中 2 个端口输入、1 个端口输出。混频器分为无源混频器和有源混频器，无源混频器线性度好，可以工作在很高频率，但没有转换增益；有源混频器有转换增益，可以减小来自中频的噪声影响。

图 3.1 是超外差接收机示意图，混频器工作在下变频状况，2 个输入端分别称为本振端（LO）和射频端（RF），输出端称为中频端（IF）。

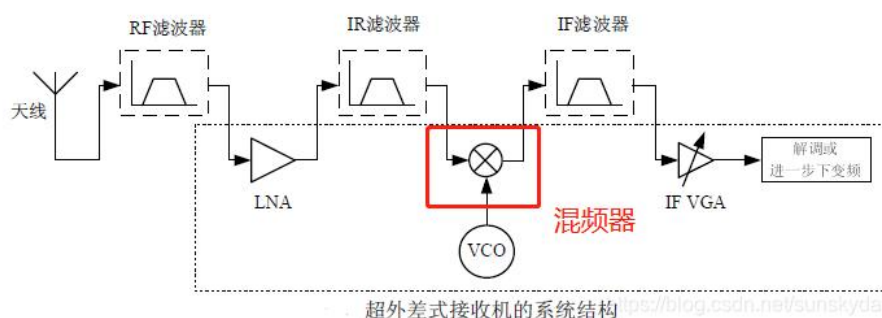


图 3.1 超外差接收机结构

混频是利用两个信号在时域上相乘来实现的。假设两个正弦型信号输入到一个乘法器中，则在乘法器的输出可以得到一个和频成分和一个差频成分，在数学上可以表示为：

$$(A \cos \omega_1 t)(B \cos \omega_2 t) = \frac{AB}{2} [\cos (\omega_1 - \omega_2)t + \cos (\omega_1 + \omega_2)t]$$

两个正弦型输入信号中，一个是固定幅度的本地振荡信号（LO），由本地振荡器提供；另一个是接收到的射频信号或者要发射的低频信号。

通过这两个信号的混频，可以得到一个差频成分（频率为 $\omega_1 - \omega_2$ ）和一个和频成分（频率为 $\omega_1 + \omega_2$ ），在 LO 信号幅度一定的情况下，差频成分与和频成分的幅度都正比于输入信号的幅度。该操作仅完成了频率转换，而幅度上不会引入失真。

在下变频器中，需要的信号为差频信号，通过一个带通滤波器可取出需要的差频成分，而滤除和频成分和其它干扰成分；而在上变频器中，需要的信号为和频信号，这时也可以通过一个带通滤波器取出和频成分，滤除差频成分和其它干扰成分。

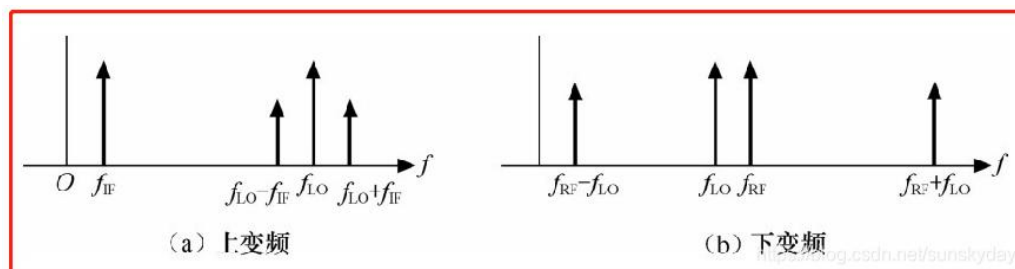


图 3.2 变频前后的频谱成分示意图

混频器虽然可以完成混频功能，但由于射频信号和本振信号直接相加，因此本振信号会馈通到射频信号通路上，射频信号和本振信号的隔离度不是很好。为了改善射频信号与本振信号之间的隔离度，可以将射频信号和本振信号加在不同的节点上，如图 3.3 所示。

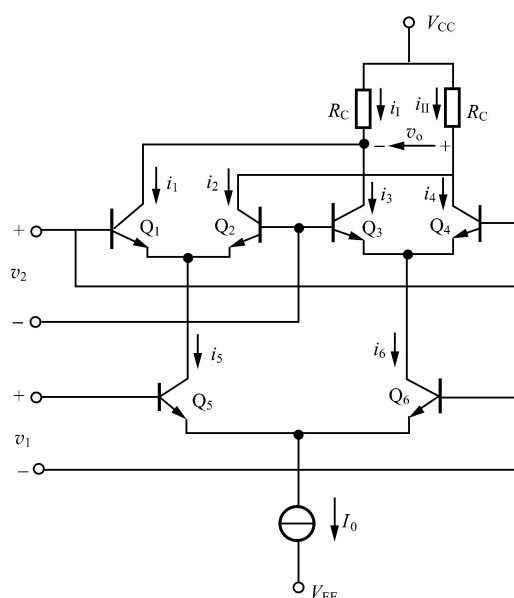


图 3.3 吉尔伯特双平衡混频器原理图

3、实验步骤

- (1) 新建一个工程“Mixer_wrk”。执行菜单命【File】-【New】-【Work-space】此时弹出一个新建工程向导，按照向导一步一步地设置。
- (2) 新建一个原理图。
- (3) 选择菜单“DesiganGuide”——>“Mixers”，在弹出页面中选择“Example Mixers”——>“MOS Gilbert Cell Mixer(Single-Ended)”(双击)，并在原理图界面上点击，得到一个

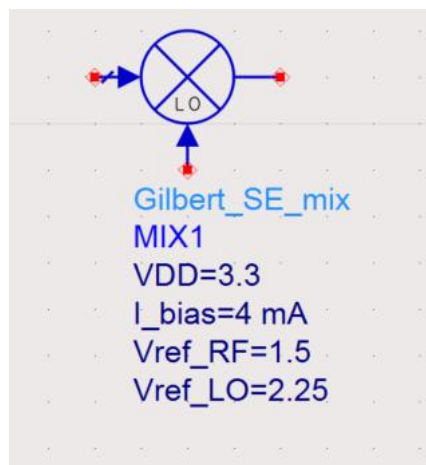
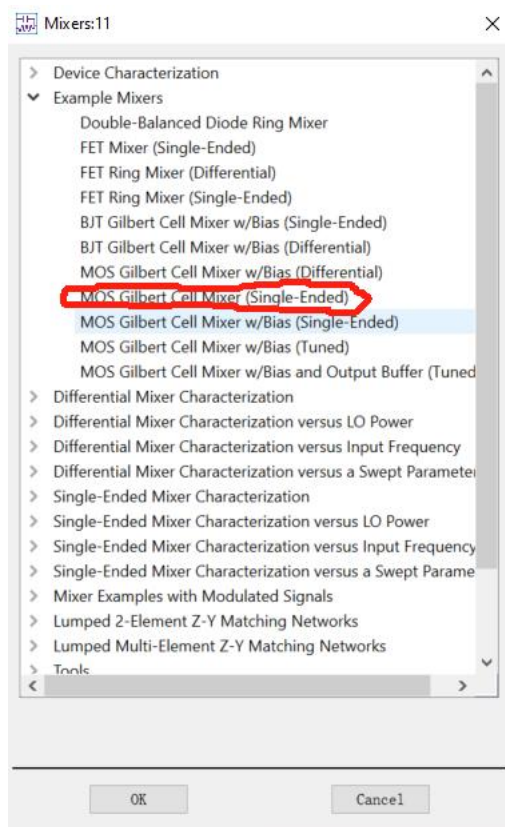


图 3.4 混频器设计向导

图3.5 吉尔伯特单端混频器符号

该混频器即为吉尔伯特双平衡混频器的符号。

(4) 接着验证混频器的功能，主要通过观测射频信号输入、本振信号输入和中频信号输出的频谱来验证混频功能。

选择“Source-Freq Domain”元件面板，从面板中选择两个功率源 P_1Tone，插入到原理图中，分别作为混频器的射频输入端和本振输入端。

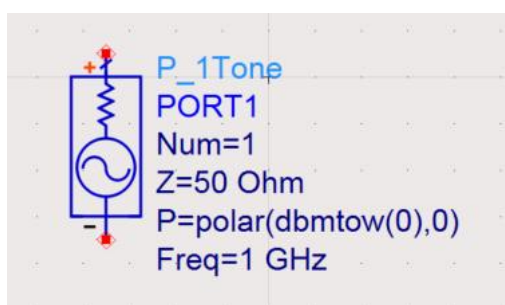


图 3.6 功率源选择

在原理图中双击功率源 P_1Tone，进行参数设置，如图 3.7 所示。

射频端 PORT1 的功率源设置为：

$P = \text{polar}(\text{dbmtow}(\text{RF_pwr}), 0)$ ，表示射频端输入信号的功率值为 RF_pwr dBm。

$\text{Freq} = \text{RF_freq}$ MHz，表示射频端输入信号的频率为 RF_freq MHz。

设置本振端 PORT2 的功率源。

$P = \text{polar}(\text{dbmtow}(\text{LO_pwr}), 0)$ ，表示本振端输入信号的功率值为 LO_pwr dBm。

Freq=LO_freq MHz，表示本振端输入信号的频率为 LO_freq MHz。

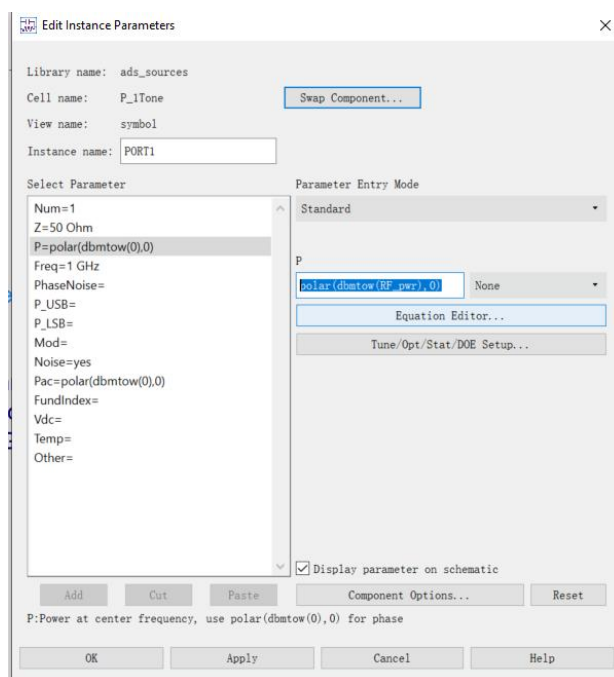


图3.7 功率源参数设置界面

(5) 在原理图窗口工具栏中单击[VAR]按钮，在原理图中插入一个变量控制器，双击变量控制器，如图 3.8 所示设置变量。

RF_pwr=-20，表示变量 RF_pwr 代表的射频输入功率为-20dBm。

LO_pwr=10，表示变量 LO_pwr 代表的本振输入功率为 10dBm。

RF_freq=900，表示变量 RF_freq 代表的射频输入频率为 900MHz。

LO_freq=1000，表示变量 LO_freq 代表的本振输入频率为 1000MHz。

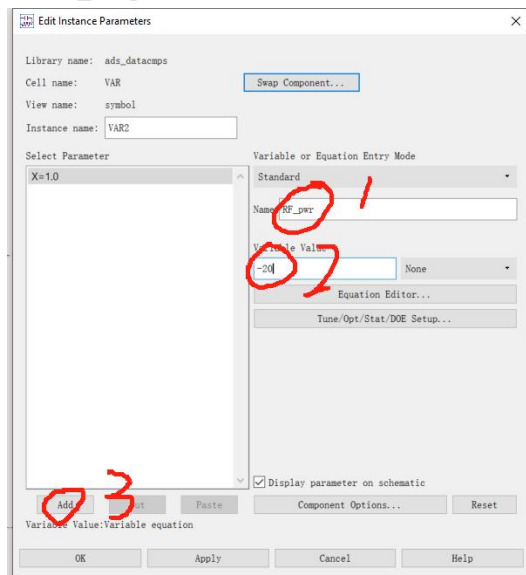


图 3.8 变量参数设置界面

6) 选择“Simulation-HB”元件面板，从面板中选择一个终端负载“Term”插入到原理图中，作为中频信号输出的终端。

(7) 在原理图工具栏中单击[GROUND]按钮，在原理图中插入 3 个地，与射频、本振和中频终端相连。

(8) 在工具栏中单击[Insert Wire/Pin Labels]按钮，在弹出的对话框中输入“vout”，在原理图中频输出连线上插入一个节点名“vout”，图 3.9 所示为完成的仿真原理图。

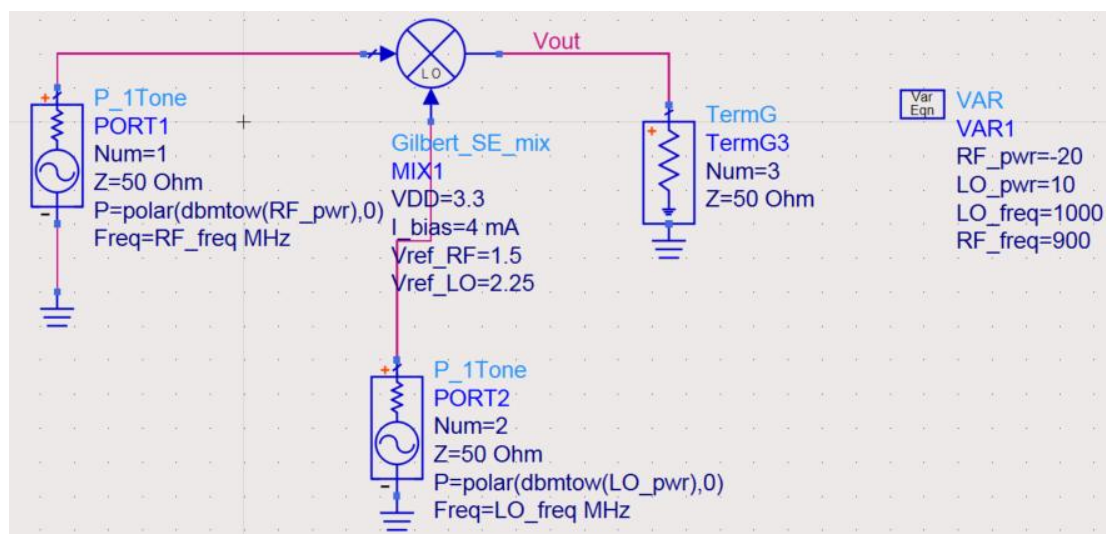


图 3.9 仿真原理图

(9) 建立原理图后，还需要插入仿真控制器才能进行仿真。选择“Simulation-HB”元件面板，在面板中选择一个谐波平衡法仿真控制器“HB”插入到原理图中，如图 3.10，双击谐波平衡法仿真控制器，如图 3.11 所示对其仿真参数进行设置。

Freq[1]=RF_freq MHz，表示基波频率[1]为射频输入频率。

Freq[2]=LO_freq MHz，表示基波频率[2]为本振输入频率。

Order[1]=3，表示基波频率[1]的谐波数为 3。

Order[2]=3，表示基波频率[2]的谐波数为 3。

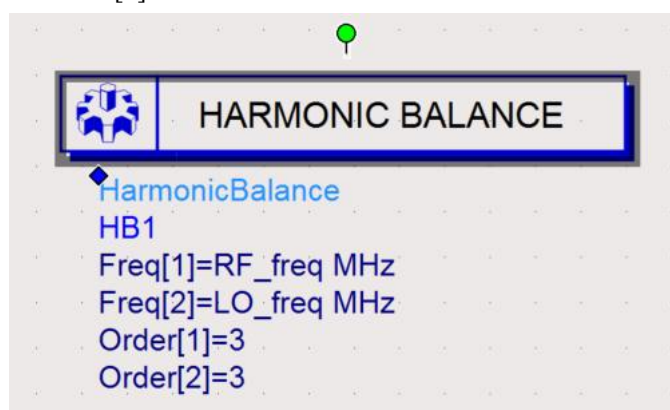


图 3.10 谐波仿真参数

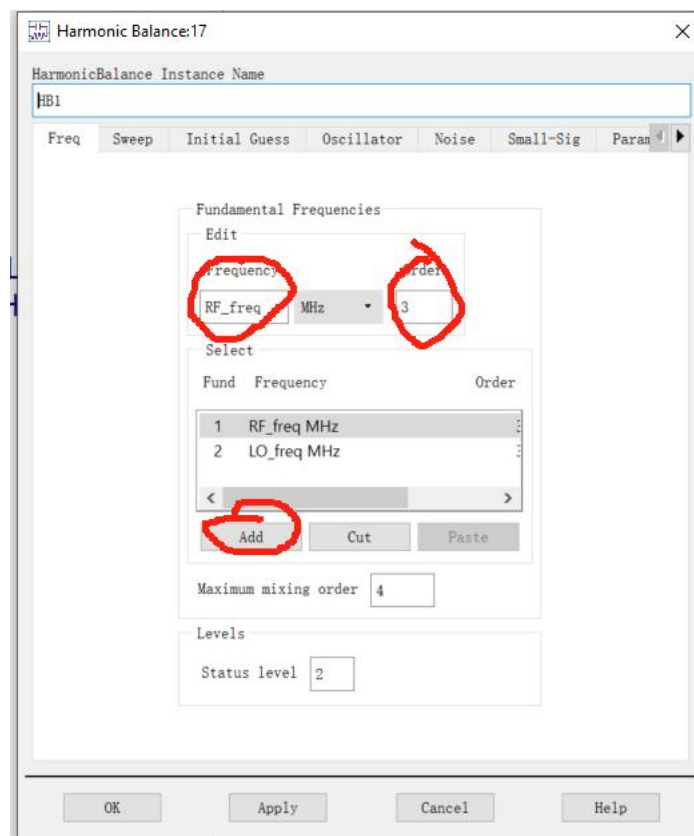


图 3.11 谐波仿真参数设置界面

(10) 完成谐波平衡法仿真控制器设置后, 就可以进行仿真了, 单击工具栏中的[Simulation]按钮开始仿真。仿真结束后自动弹出数据显示窗口。从数据显示面板中单击[Rectangular Plot]按钮, 插入一个矩形图。在弹出的“Plot Traces & Attributes”对话框中选择“vout”, 单击[Add]按钮, 弹出对话框, 在对话框中选择显示单位“Spectrum in dBm”。单击[OK]按钮返回“Plot Traces & Attributes”对话框, 再单击[OK]按钮, 显示“vout”输出频谱。在菜单栏选择[Maker]→[New]命令, 插入标注信息, 可以看到混频后输出的中频信号

(1000MHz-900MHz=100MHz) 的功率谱在众多频谱中最高, 为-0.997dBm, 如图 3.12 所示, 混频器设置正确。

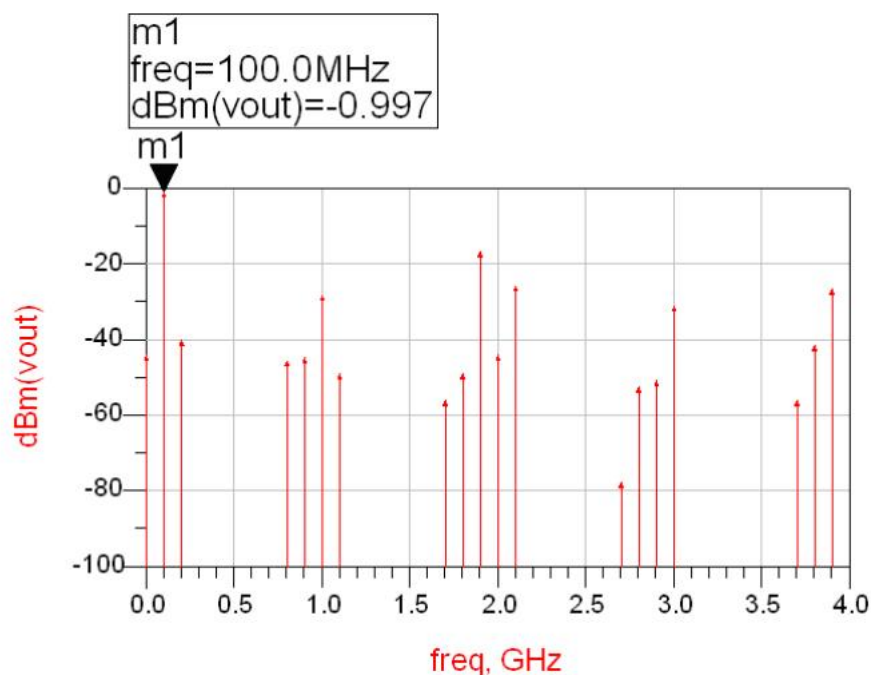


图 3.12 混频后输出中频信号频谱

(11) 从数据显示面板中选择[List]按钮，单击插入索引表。在弹出的“Plot Traces & Attributes”对话框中选择“vout”，单击[Add]按钮，再单击[OK]按钮，显示“vout”输出列表。这里是以绝对幅度和角幅度显示的数值，可以看到在 100MHz 中频输出信号的基波和高次谐波对应的频率和功率值。输出信号基波和高次谐波对应的频率和功率值如图 3.13 所示。

freq	vout
0.0000 Hz	0.002 / 0.000
100.0 MHz	0.282 / 79.382
200.0 MHz	0.003 / 49.561
800.0 MHz	0.002 / 6.010
900.0 MHz	0.002 / -100.609
1.000 GHz	0.012 / -168.523
1.100 GHz	0.001 / 79.868
1.700 GHz	4.852E-4 / 140.796
1.800 GHz	0.001 / -21.703
1.900 GHz	0.045 / 154.877
2.000 GHz	0.002 / 17.191
2.100 GHz	0.016 / 55.220
2.700 GHz	4.007E-5 / 103.260
2.800 GHz	7.241E-4 / 5.573
2.900 GHz	9.095E-4 / 117.681
3.000 GHz	0.009 / 149.405
3.700 GHz	4.891E-4 / 66.968
3.800 GHz	0.003 / 108.561
3.900 GHz	0.014 / 139.362

图 3.13 输出信号基波和高次谐波对应的频率和功率值

(12) 在混频器设计中，本振功率输出在很大程度上决定了最终中频输出信号的质量，所以在 功能仿真时也需要分析最佳的本振功率输入值。

双击谐波平衡法仿真控制器，在参数设置窗口中选择“Sweep”选项，如图 3.14 所示对其进行设置。

Parameter to Sweep=LO_pwr，表示扫描参数为本振功率信号。

Sweep Type=Linear，表示采用线性扫描方式。

Start=1，表示本振信号功率的扫描起始点为 1。

Stop=20，表示本振信号功率的扫描终点为 20。

Step-size=1，表示本振信号功率的扫描步长为 1。

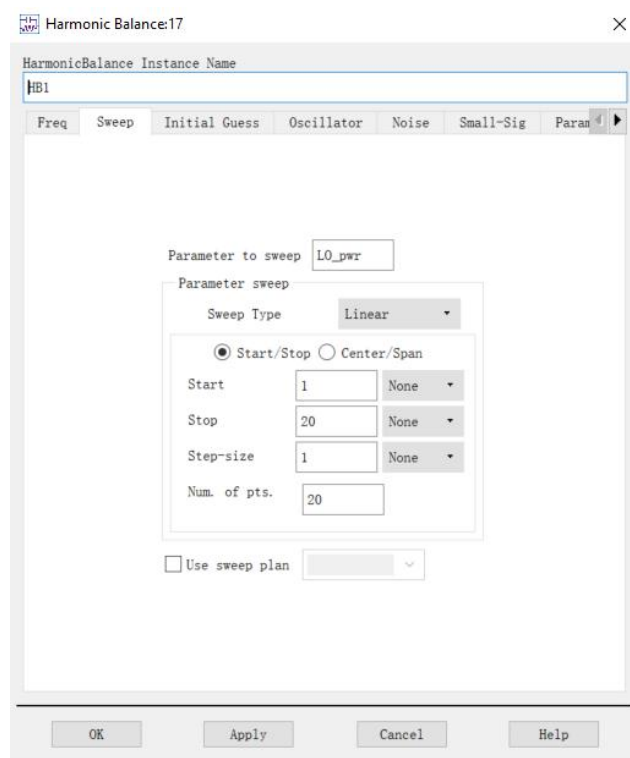


图 3.14 设置谐波平衡法仿真控制器扫描参数

完成设置后，单击工具栏中的[Simulation]按钮开始仿真。仿真结束后，数据显示窗口会自动更新上一步仿真中的矩形图，在菜单栏选择[Maker]→[New]命令，插入标注信息，如图 3.15 所示，可以看到混频后输出的中频信号在本振信号为 2dBm 时，输出最大为 0.378dBm。

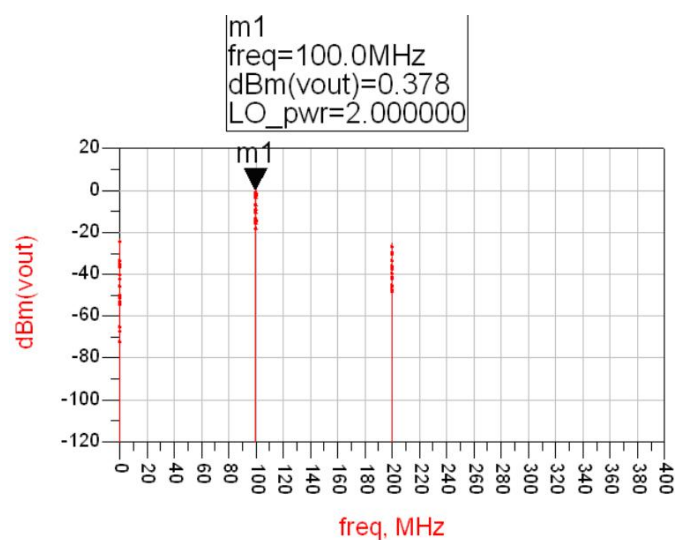


图 3.15 在本振信号为 2dBm 时的中频信号

4. 思考

如何抑制镜像频率干扰