



混频器的仿真设计

班级：_____

学号：_____

姓名：_____

一、实验目的

1. 理解微波混频器的主要性能指标；
2. 掌握微波混频器的分析方法及基本应用；
3. 掌握单端微波二极管和单平衡混频器的结构特点、电路形式和工作原理；
4. 掌握用 ADS 进行混频器仿真的方法与步骤。

二、实验原理

混频器是微波集成电路接收系统中必不可少的部件。在微波通信、雷达、遥控、遥感、侦察与电子对抗系统以及微波测量系统中，将微波信号用混频器降到中低频来进行处理。

1. 混频器电路的基本要求

- 1) 信号功率和本振功率应同时加到混频二极管上；
- 2) 二极管要有直流通路和中频输出通路；
- 3) 二极管和信号回路应尽可能匹配，以便获得较大的信号功率；
- 4) 本振与混频器之间的耦合量应能调节，以便选择合适的工作状态；
- 5) 中频输出端应能滤掉高频分量（信号和本振）。

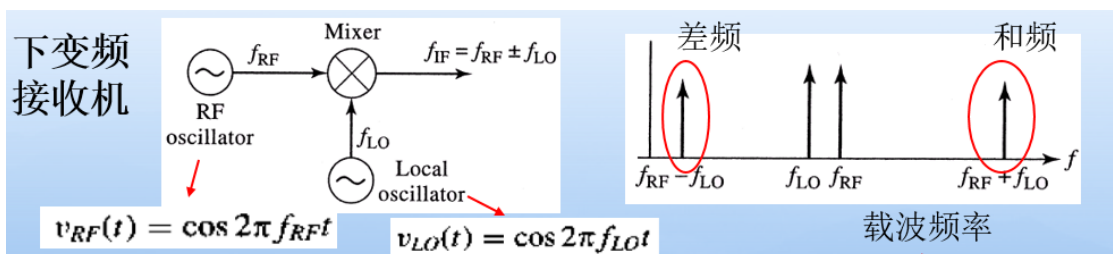
2. 混频器电路的主要技术指标

变频损耗、噪声系数、端口隔离度、驻波比、动态范围、三阶交调系数、镜频抑制制度、交调失真。

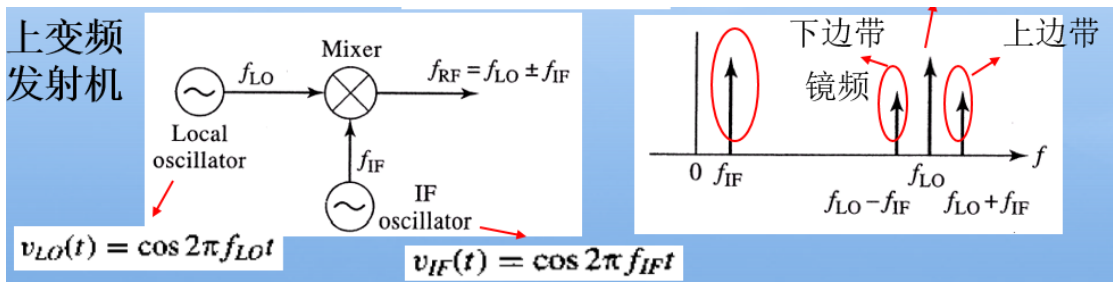
3. 混频器的基本概念

$$(A \cos 2\pi f_{RF} t)(B \cos 2\pi f_{LO} t) = \frac{AB}{2} [\cos (f_{RF} - f_{LO})t + \cos (f_{RF} + f_{LO})t]$$

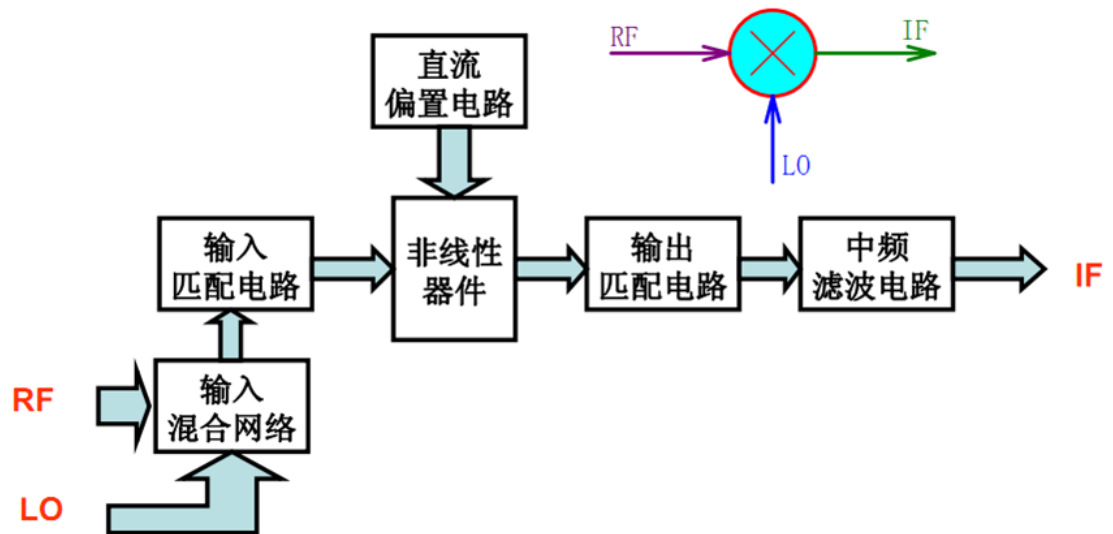
下变频接收机：



上变频发射机：



4. 混频器的基本电路结构



1) 混频管二极管

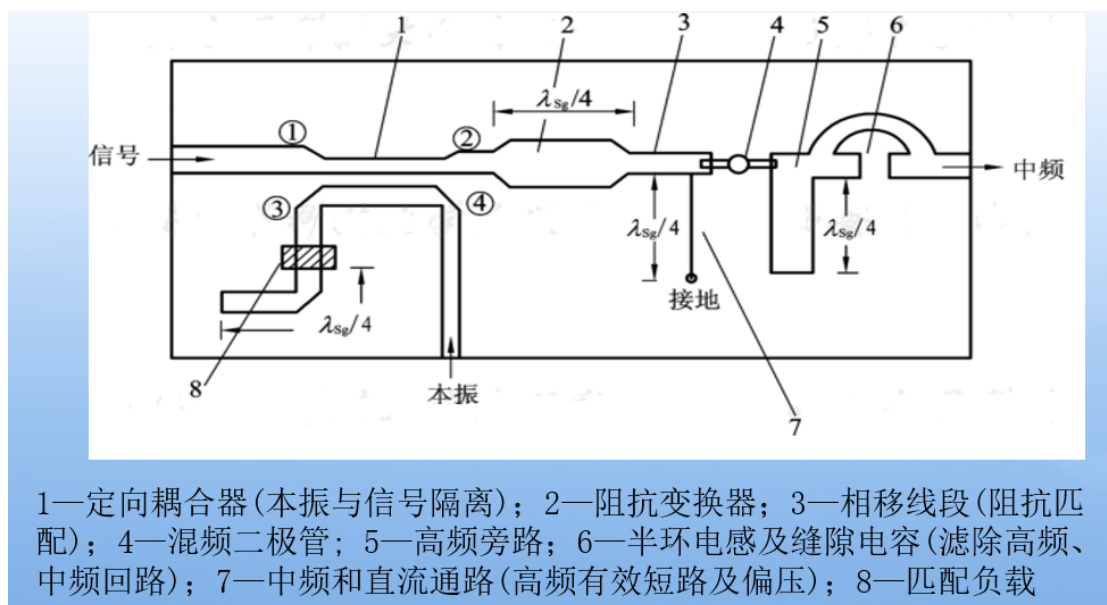
通常非线性变频管采用二极管（非线性电阻二极管：肖特基势垒二极管），本振输入功率约 2~10mW，变频损耗约-4dB 左右，噪声系数约 4-6dB.

非线性电容二极管：变容管、阶跃恢复二极管等, 利用结电容对所加电压的非线性变化来实现频率变换。一般为 15-25mW，变频损耗约-6dB 左右

晶体管（微波场效应管，MESFET）：

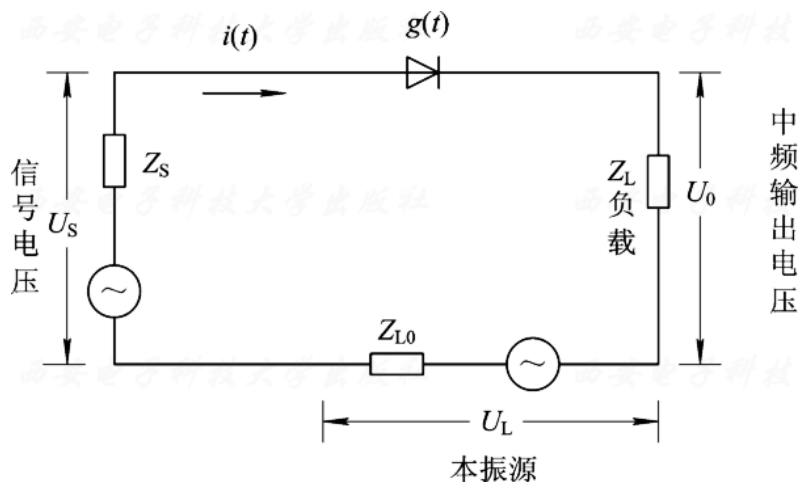
采用肖特基势垒二极管做变频元件：变频损耗相对较高，但是它结构简单，便于集成化，工作频带宽，可能达到几个甚至几十个倍频程。它的噪声较低而且工作稳定，动态范围大，不容易出现饱和。

2) 单端混频器(用于要求不高的场合, 比较简单)



设计微带线长度时是以信号频率对应的微带波导波长为基准的。由于信号频率和本振频率很接近, 按信号波长设计对本振传输带来的影响不大; 另一方面是由于信号功率比较弱, 电路设计务必要保证信号的损失最小, 因此只能牺牲部分本振功率。

5. 二极管的非线性电阻混频机理



混频二极管上加大功率本振、小功率信号及直流偏置(或零偏压)时:

电流在工作点用泰勒级数展开:

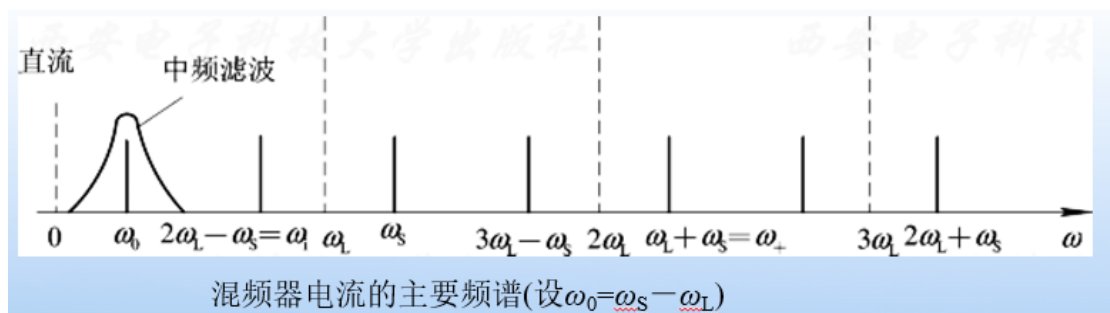
$$\begin{aligned}
 i &= f(E_0 + U_L \cos \omega_L t + U_s \cos \omega_s t) \\
 &= f(E_0 + U_L \cos \omega_L t) + f'(E_0 + U_L \cos \omega_L t) U_s \cos \omega_s t \\
 &\quad + \frac{1}{2!} f''(E_0 + U_L \cos \omega_L t) (U_s \cos \omega_s t)^2 + \dots
 \end{aligned}$$

定义二极管的时变电导 $g(t)$ 为:

$$g(t) = \left. \frac{di}{dv} \right|_{v=E_0+U_L \cos \omega_L t} = f'(v) = f'(E_0 + U_L \cos \omega_L t) = \alpha I_s e^{\alpha(E_0 + U_L \cos \omega_L t)}$$

$$i = g(t)U_s \cos \omega_s t = g_0 U_s \cos \omega_s t + \sum_{n=1}^{\infty} g_n U_s \cos(n\omega_L \pm \omega_s t)$$

$$g_n = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} g(t) \cos(n\omega_L t) d(\omega_L t)$$



- 在混频器中产生了无数的组合频率分量，若负载 Z_L 采用中频带通滤波器，就可以取出所需的中频分量而将其他组合频率滤掉（ $I_i = g_i U_s$ ）
- 混频过程中，本振是强信号，它产生了无数的谐波，但其谐波功率大约随 $1/n^2$ 变化（ n 为谐波次数）
- 信号频率与本振频率产生的和频 $\omega_+ = \omega_L + \omega_s$ 、差频 $\omega_0 = \omega_s - \omega_L$ 、镜频（关于本振） $\omega_i = 2\omega_L - \omega_s = \omega_L - \omega_0$ 分量。如果在输入电路中将镜频反射回二极管并重新与本振混频，即可再次产生中频 $\omega_L - \omega_i = \omega_0$ （镜频回收以减小变频损耗）。

三、 实验内容

设计 C 波段微带混频器，分析其非线性特性。

技术指标：

射频信号（RF）：3.6 GHz

本振频率（LO）：3.8 GHz

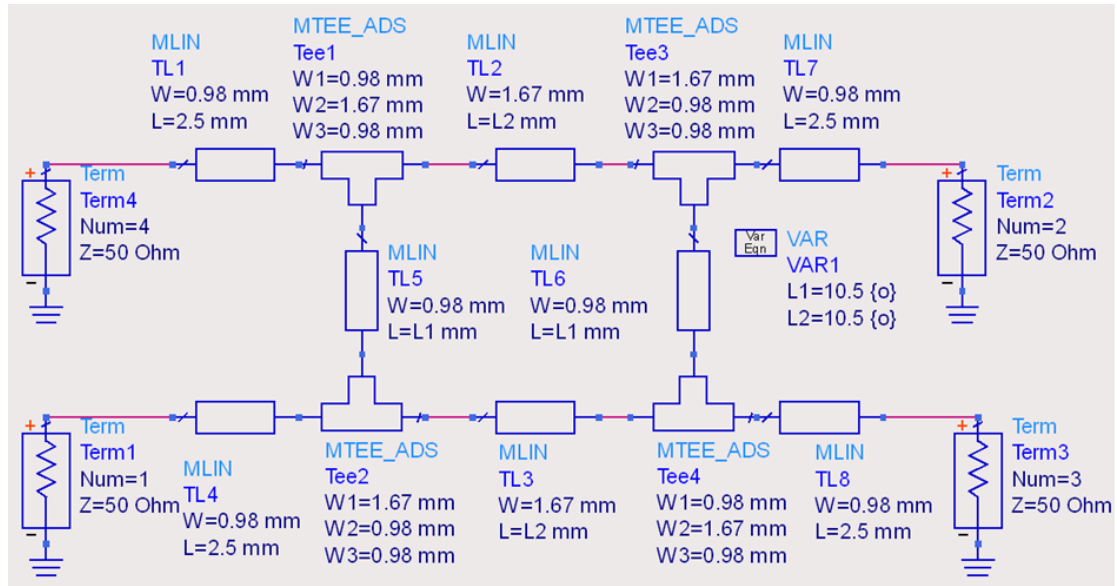
中频频率（IF）：200MHz

噪音系数：<15dB

四、实验步骤

1. 设计 3dB 定向耦合器：

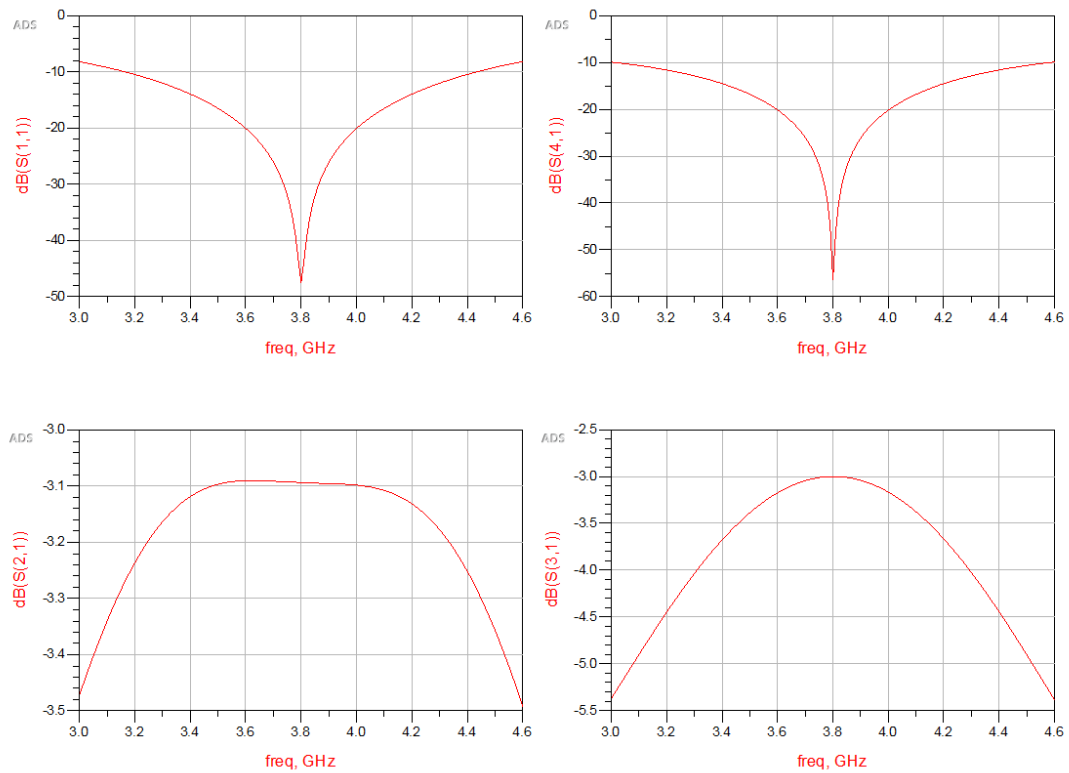
建立新的工程以及设计，画出原理图，并用 LineCalc 工具计算微带线的宽度和长度：



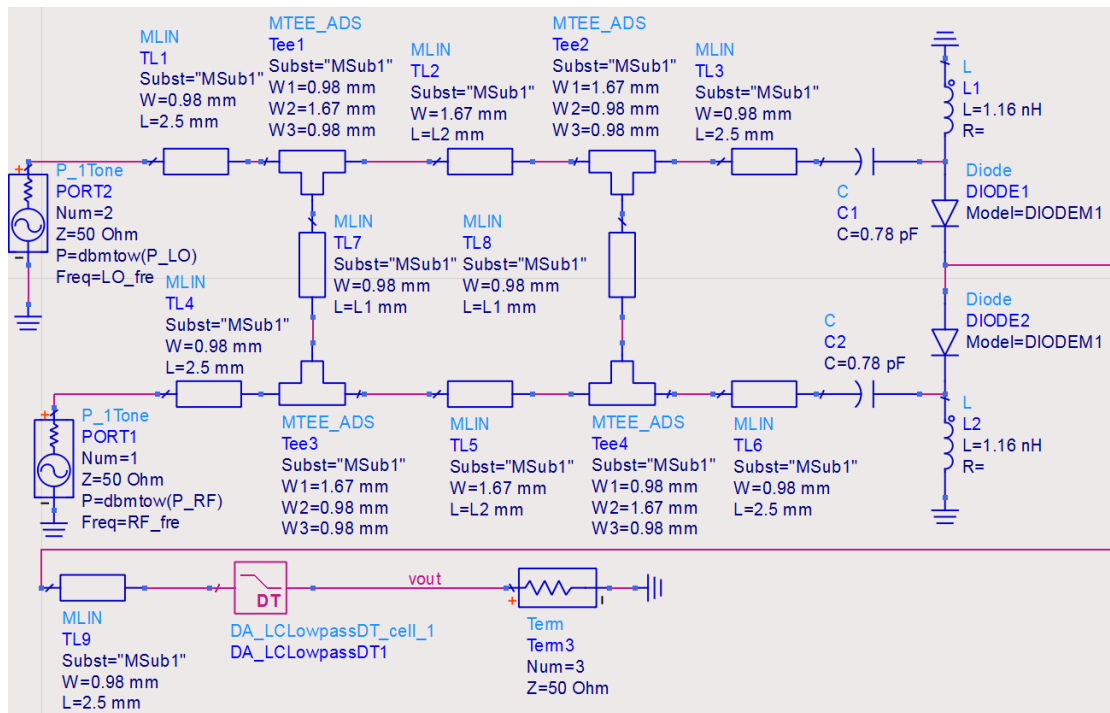
2. 设置优化目标并进行仿真：

	Goal 1	Goal 2	Goal 3	Goal 4
Expr	$\text{dB}(\text{S}(1,1))$	$\text{dB}(\text{S}(2,1))$	$\text{dB}(\text{S}(3,1))$	$\text{dB}(\text{S}(4,1))$
SimInstanceName	SP1	SP1	SP1	SP1
IndepVar[1]	freq	freq	freq	freq
LimitType[1]	<	>	>	<
LimitMin[1]		-3.2	-3.2	
LimitMax[1]	-30			-40
Indep1Min[1]	3.7 GHz	3.7 GHz	3.7 GHz	3.7 GHz
Indep1Max[1]	3.9 GHz	3.9 GHz	3.9 GHz	3.9 GHz

3. 仿真结果:

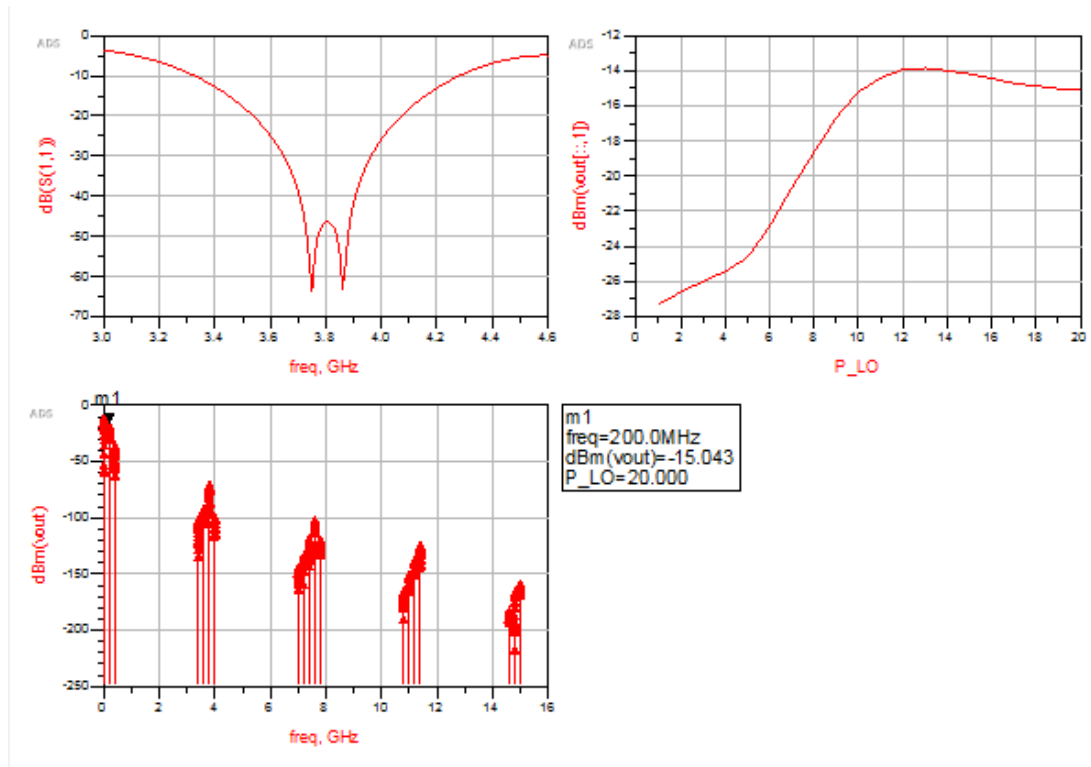


4. 设计完整的混频器电路:

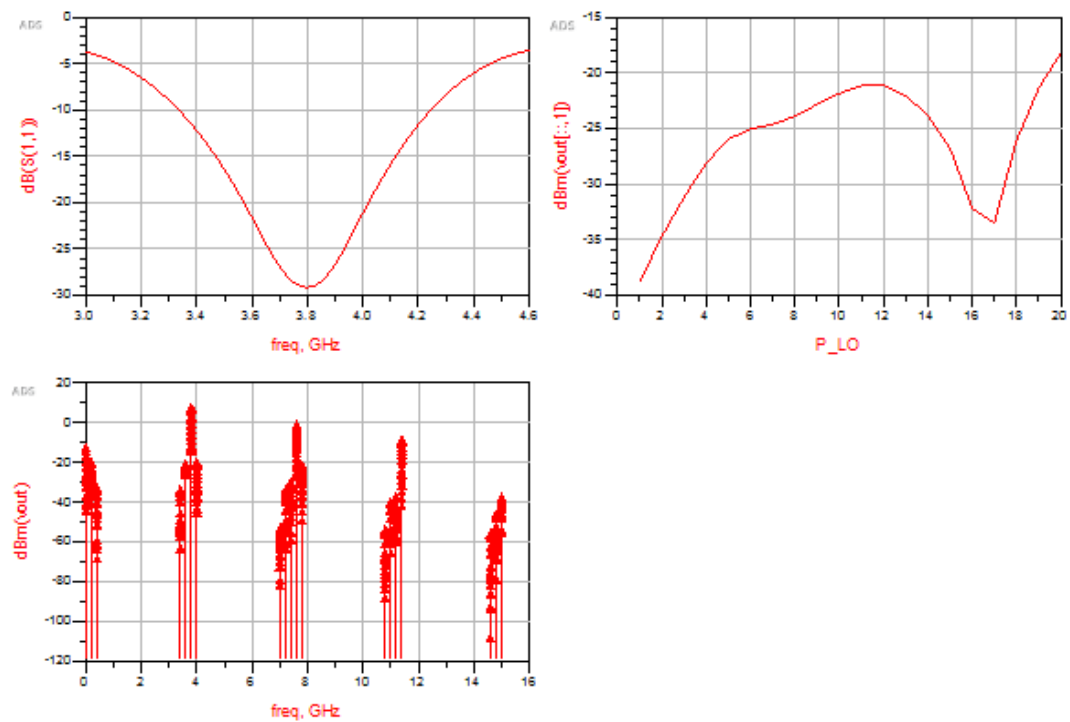


5. 滤波器设计:

执行菜单命令【Designed Guide】，【Filter】，在对话框中设置相应的参数，仿真：

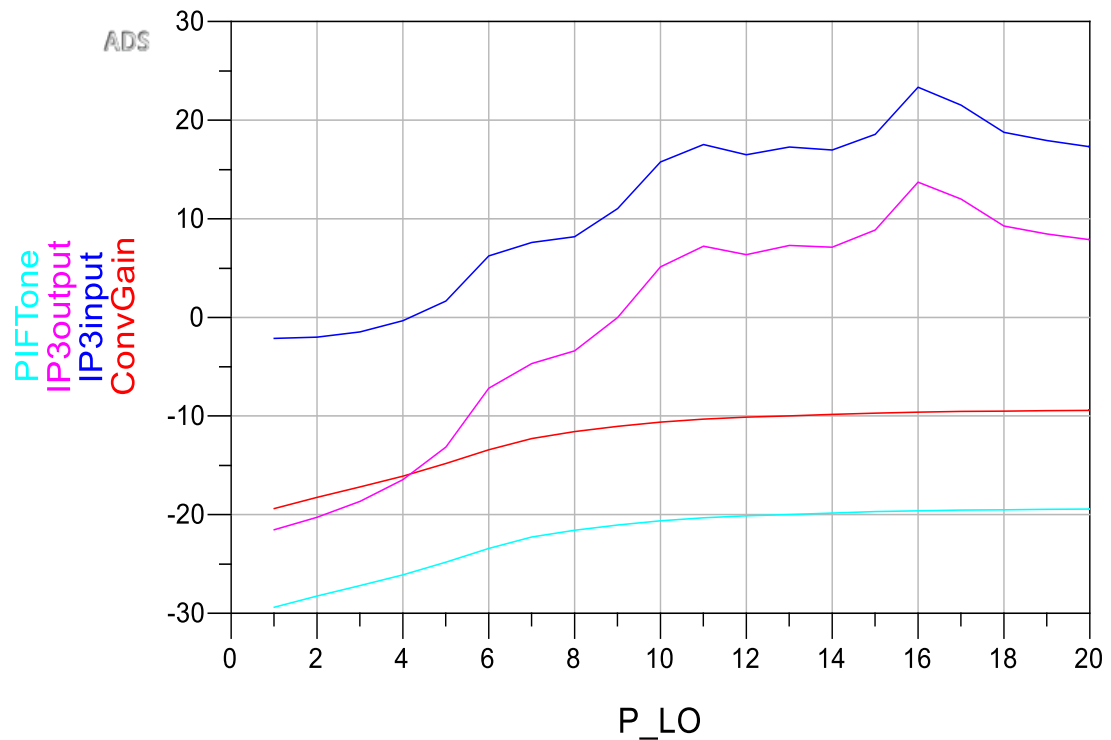


与没有滤波器的结果进行比较:



6. 混频器的三阶交调点分析：

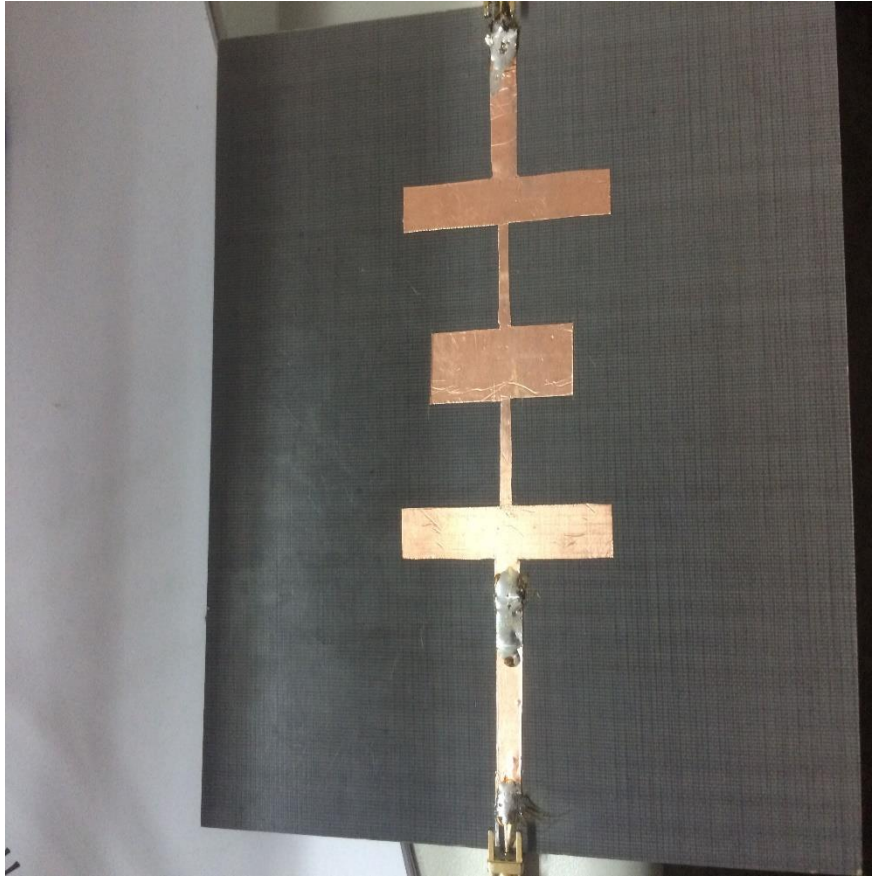
修改 VAR1、HB，删除端口 1 并替换为 P_nTone，之后【Simulation-HB】、【MeasEqn】，观察结果：



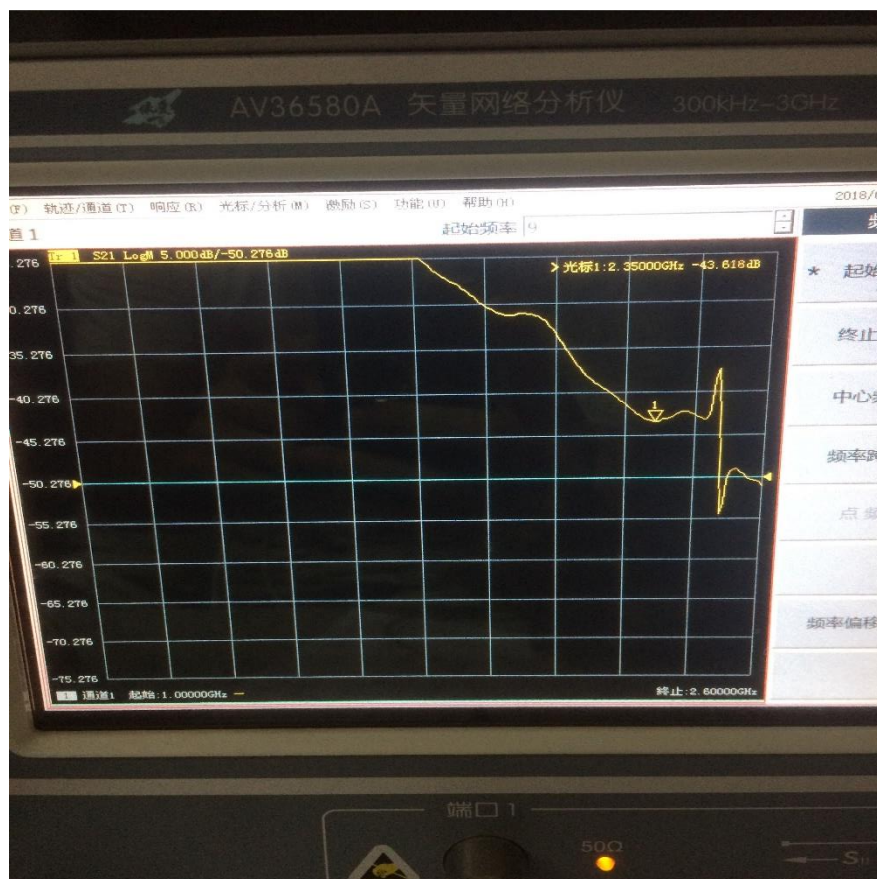
<u>PifTone</u>	输出中频成分的功率测量方程
<u>IP3input</u>	输入三阶交调点的测量方程
<u>IP3output</u>	输出三阶交调点的测量方程
<u>ConvGain</u>	混频器转换增益的测量方程

五、 自制滤波器测量结果

实物图：



幅频特性:



相频特性:

