

# 《通信电路与系统》实验指导书

南阳理工学院

## 实验四 2.4G发射机的设计与仿真

### 1、实验目的

掌握射频发射机原理、指标和设计方法，学会使用ADS软件对射频电路进行链路级仿真，掌握射频电路系统的谐波分析。

掌握射频通信系统链路预算方法。

### 2、实验内容提要

发送机主要完成基带模拟信号到射频的处理过程，主要功能包括调制、上变频、功率放大和滤波。发送机的方案大致分为：直接变换法和两步法。直接变换法是将调制和上变频合二为一，在一个电路里完成； 两步法是将调制和上变频分开，先在较低的中频上进行调制，然后将已调信号上变频搬移到发射的载频上。本节主要讨论使用直接变换发送机的设计和仿真方法完成以下仿真任务。

- 完成一个2.4GHz直接变换发送机的结构设计，观测输出频谱。
- 对发送机进行增益预算分析。

### 3、具体的设计和仿真步骤。

(1) 运行ADS，在ADS主窗口中选择[File] → [New Project]命令，在弹出的“New Project”对话框默认工程路径“C:\users\default\”后输入工程名“System\_sim\_lab”。之后在“Project Technology”栏中选择“ADS Standard:Length unit-millimeter”，表示工程中采用的长度单位为mm。在对话框中单击[OK]按钮，完成工程建立，同时自动弹出原理图窗口。

(2) 在原理图窗口中选择[File] → [Save Design]命令，将原理图窗口保存为“transmitter”，开始原理图的设计。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，分别作为发送机的输入源和本振输入源。

如图1所示设置输入源PORT1的功率源。

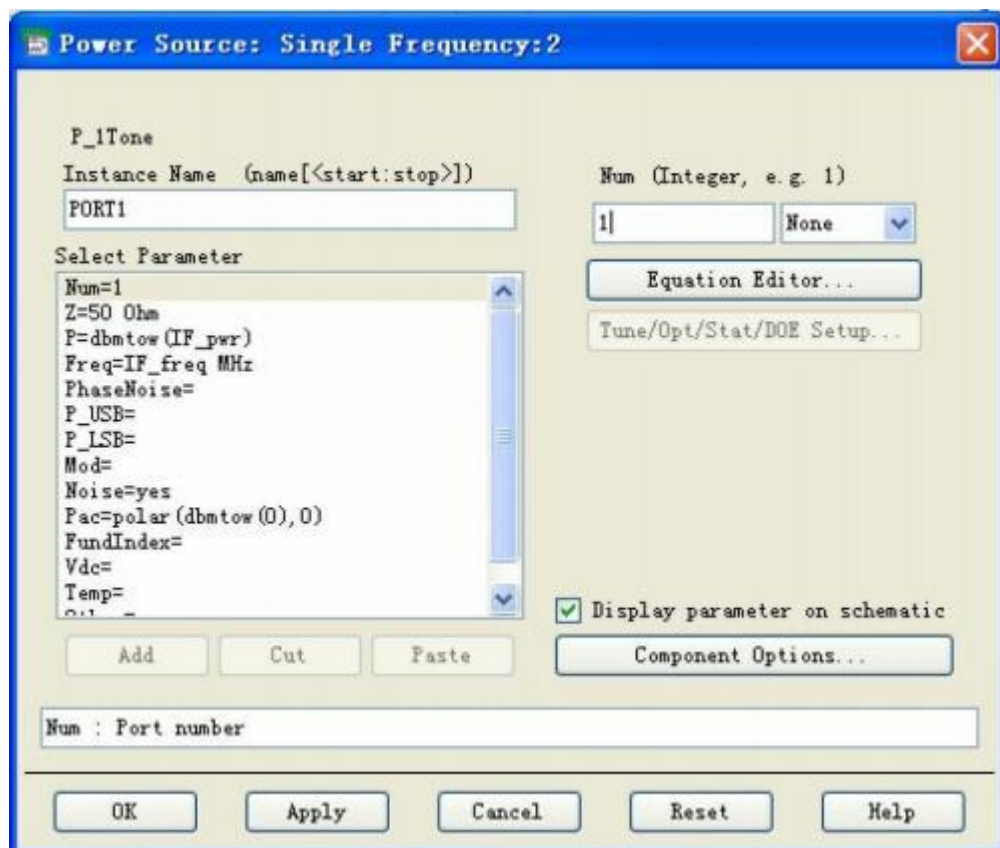


图1 输入端PORT1的功率源设置

$P=\text{dbmtow}(\text{IF\_pwr})$ ，表示输入信号的功率值为IF\_pwr dBm。  $\text{Freq}=\text{IF\_freq}$  MHz，表示输入信号的频率为IF\_freq MHz。 如图2所示设置本振源PORT2的功率源。

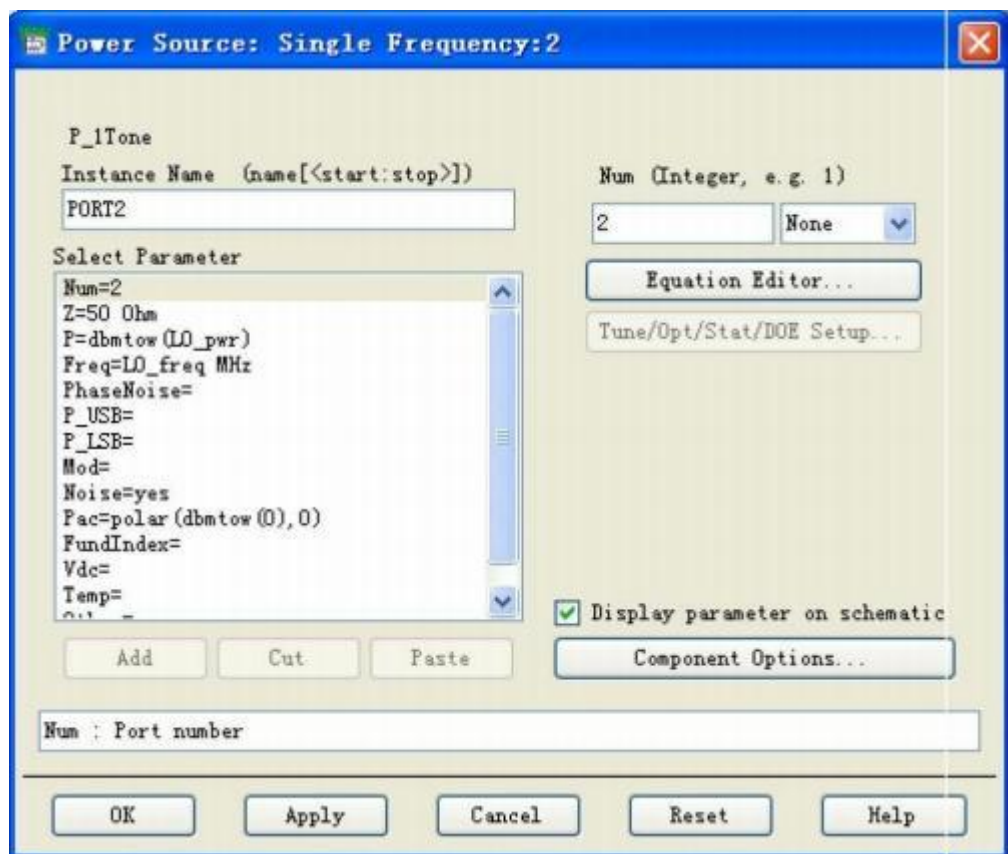


图2 本振源PORT2的功率源设置

$P=dbmtow(LO\_pwr)$ ，表示本振源输入信号的功率值为 $LO\_pwr$  dBm。

$Freq=LO\_freq$  MHz，表示本振源输入信号的频率为 $LO\_freq$  MHz。

(3) 选择“System-Amps & Mixers”元件面板，从面板中选择两个 放大器“Amp”和一个混频器“Mixer”插入原理图中。两个放大器分别作为中频模拟放大器和射频功率放大器使用，在原理图中双击元件进行设置。

如图3所示设置中频模拟放大器Amp1。

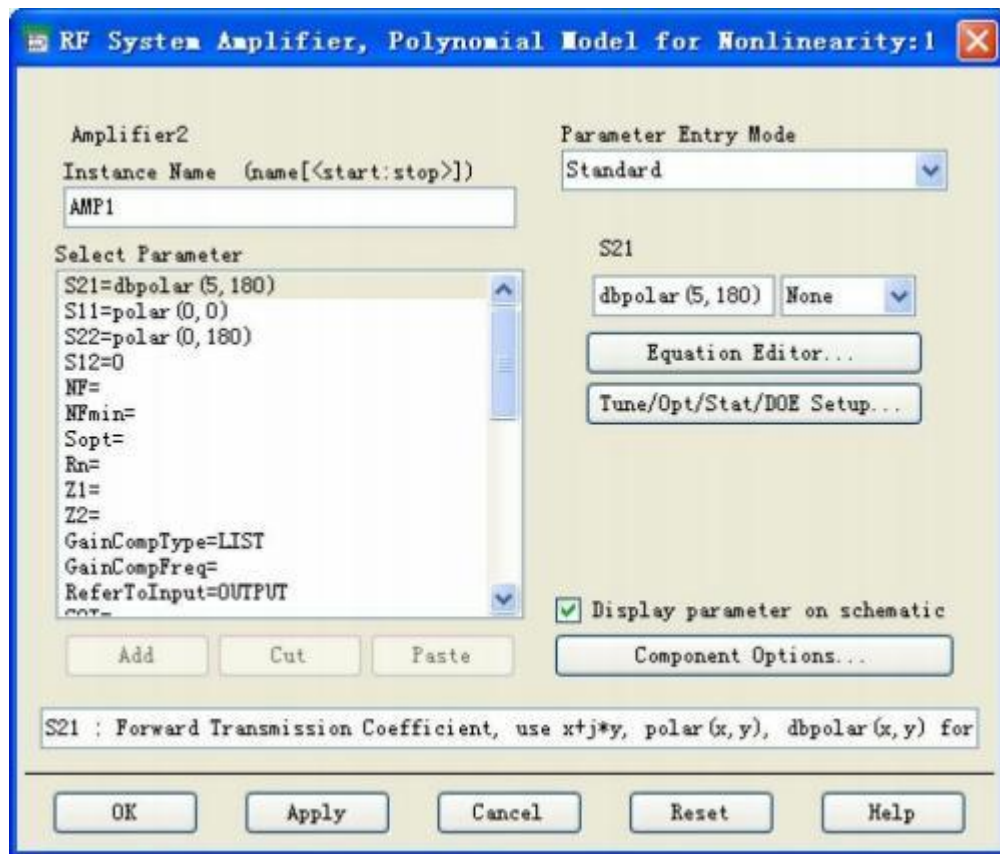


图3 设置中频模拟放大器Amp1

$S_{21}=\text{dbpolar}(5,180)$ ，表示中频放大器的增益为5dB，输出信号相位为 $180^\circ$ 。

$S_{11}=\text{polar}(0,0)$ ，表示中频放大器为理想放大器，无反射波。

$S_{22}=\text{polar}(0,180)$ ，表示中频放大器从输出端口向输入端口观察时，无反射波。

$S_{12}=0$ ，表示中频放大器反向增益为0。

如图4所示设置射频功率放大器Amp2。

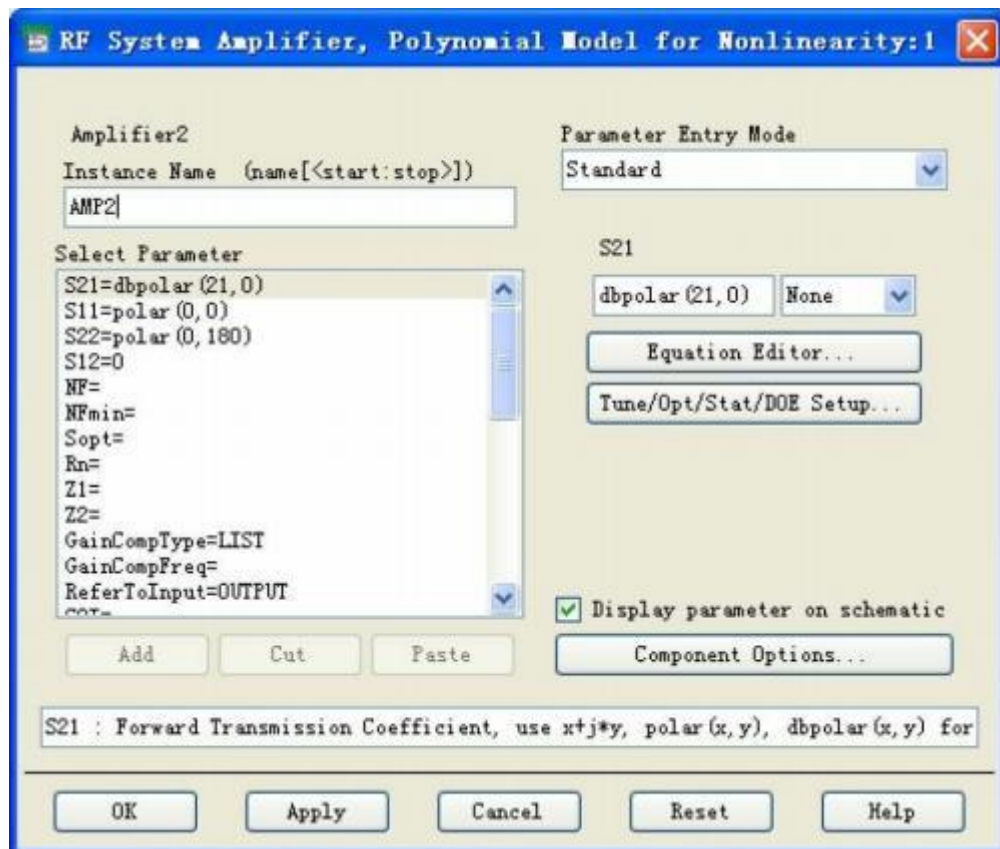


图4 设置射频功率放大器Amp2

$S_{21}=\text{dbpolar}(21,0)$ ，表示射频功率放大器的增益为21dB，输出信号 相位为 $0^\circ$ 。

$S_{11}=\text{polar}(0,0)$ ，表示射频功率放大器为理想放大器，无反射波。

$S_{22}=\text{polar}(0,180)$ ，表示射频功率放大器从输出端口向输入端口观察时，无反射波。

$S_{12}=0$ ，表示射频功率放大器反向增益为0。

如图5所示设置混频器MIX1。

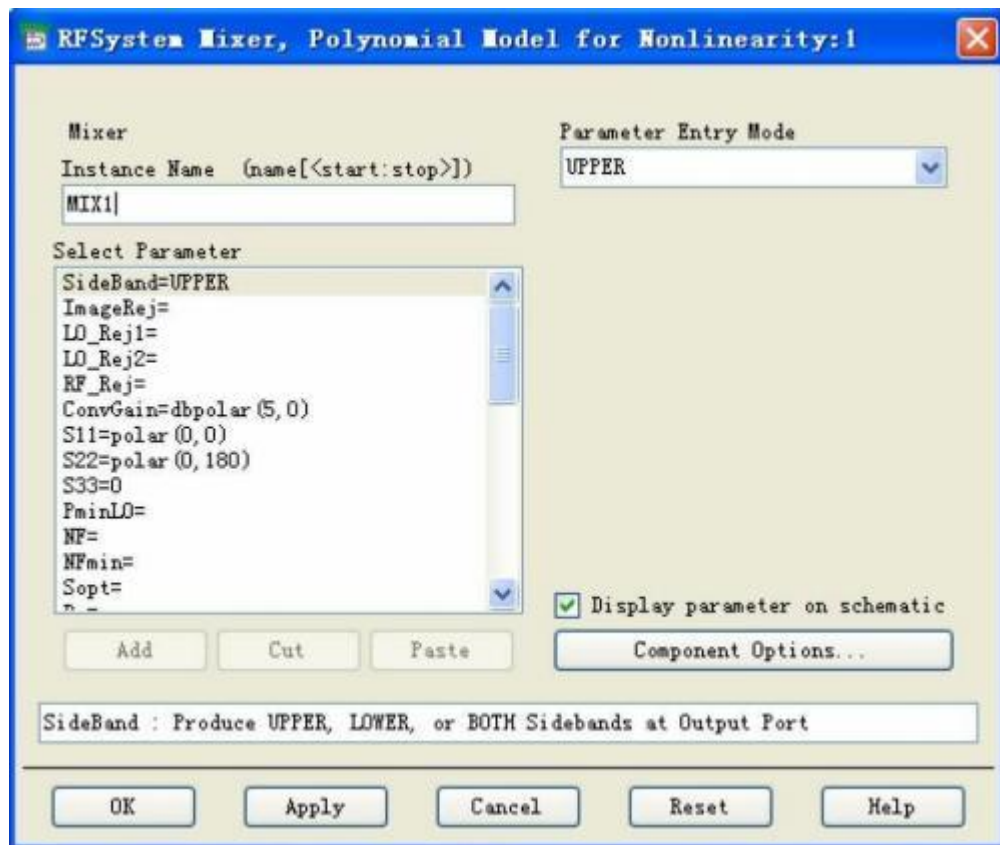


图5 设置混频器MIX1

Sideband=UPPER，表示混频器完成上变频功能。

ConvGain=dbpolar(5,0)，表示混频器变频增益为5dB。

S11=polar(0,0)，表示混频器输入端无反射波。

S22=polar(0,180)，表示混频器从输出端向输入端无反射波，且信号相位为180°。

S33=0，表示本振端无反射波。

(4) 选择“Filter-Bandpass”元件面板，从面板中选择两个切比雪夫带通滤波器插入原理图中，分别作为中频带通滤波器和射频带通滤波器

使用，在原理图中双击元件进行设置。

如图6设置中频带通滤波器BPF1。

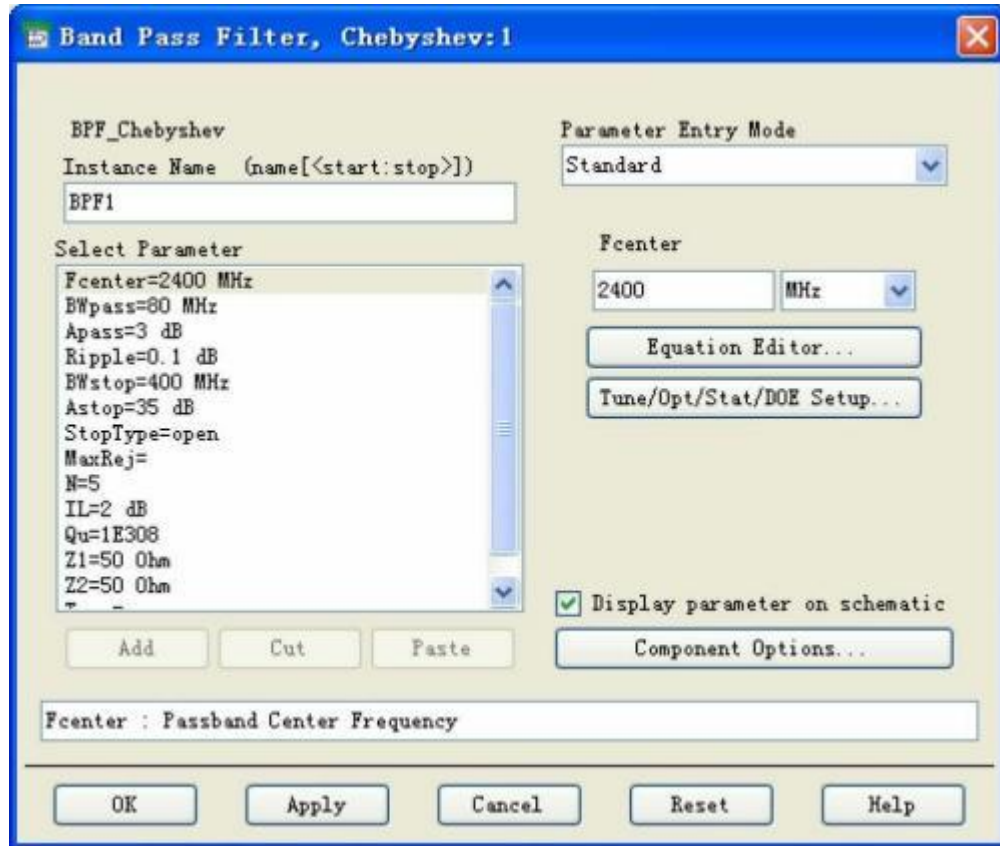


图6 设置中频带通滤波器BPF1

Fcenter=2400MHz，表示带通滤波器的中心频率为2400MHz。

BWpass=80MHz，表示带通滤波器3dB带宽为80MHz。

Apass=3dB，表示带通滤波器通带内衰减为3dB。

Ripple=0.1dB，表示带通滤波器通带内纹波为0.1dB。

BWstop=400MHz，表示带通滤波器阻带带宽为400MHz。



$A_{stop}=35\text{dB}$ ，表示带通滤波器阻带衰减为35dB。

$N=5$ ，表示带通滤波器为五阶滤波器。

$IL=2\text{dB}$ ，表示带通滤波器插入损耗为2dB。

$Z_1=50\Omega$ ，表示带通滤波器输入阻抗为50Ω。

$Z_2=50\Omega$ ，表示带通滤波器输出阻抗为50Ω。

如图7所示设置射频带通滤波器BPF2。

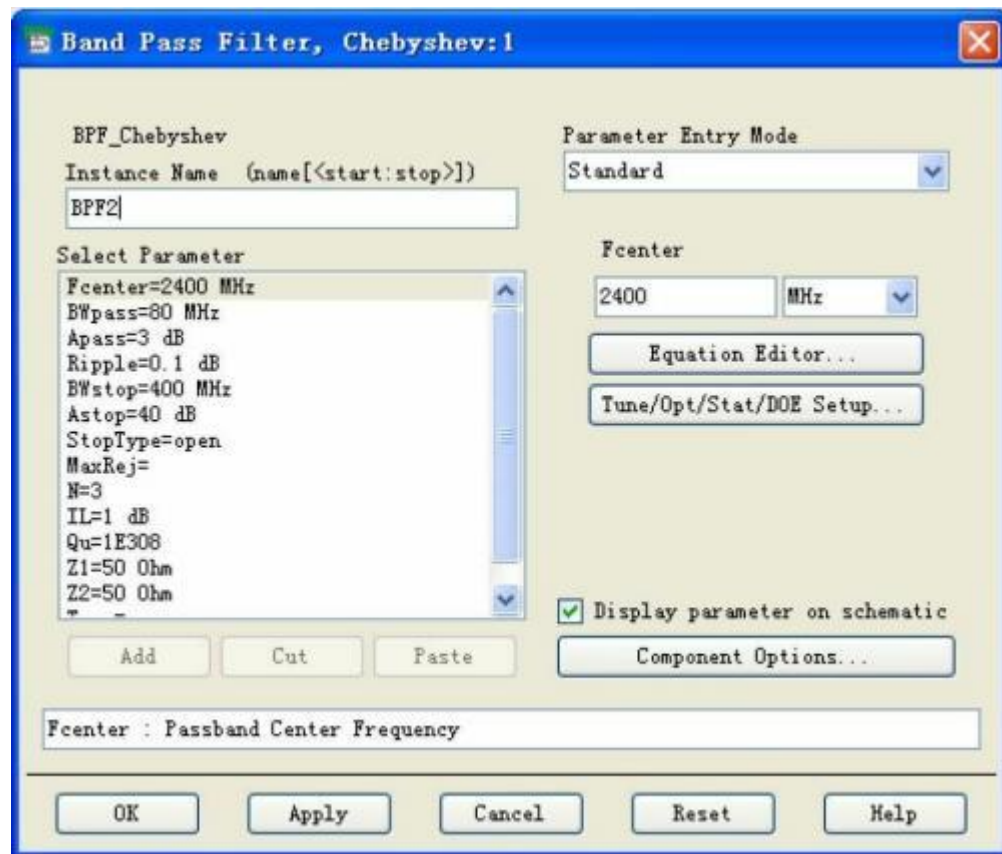


图7 设置射频带通滤波器BPF2

$F_{center}=2400\text{MHz}$ ，表示射频带通滤波器的中心频率为2400MHz。

$BW_{pass}=80\text{MHz}$ ，表示射频带通滤波器3dB带宽为80MHz。

$A_{pass}=3\text{dB}$ ，表示射频带通滤波器通带内衰减为3dB。

$Ripple=0.1\text{dB}$ ，表示射频带通滤波器通带内纹波为0.1dB。

$BW_{stop}=400\text{MHz}$ ，表示射频带通滤波器阻带带宽为400MHz。

$A_{stop}=40\text{dB}$ ，表示射频带通滤波器阻带衰减为40dB。

$N=3$ ，表示射频带通滤波器为三阶滤波器。

$IL=1\text{dB}$ ，表示射频带通滤波器插入损耗为1dB。

$Z1=50\Omega$ ，表示射频带通滤波器输入阻抗为 $50\Omega$ 。

$Z2=50\Omega$ ，表示射频带通滤波器输出阻抗为 $50\Omega$ 。

(5) 选择“Simulation-S\_Param”元件面板，从面板中选择一个终端“Term”插入原理图中，作为发送机输出终端。再从“Lumped Components”元件面板中选择一个 $50\Omega$ 电阻作为本振输入电阻。在工具栏中单击[GROUND]按钮插入三个地，之后单击[Insert Wire]按钮将元件连接起来，如图8所示，并为发送机的输入和输出分配线名 $V_{in}$ 、 $V_{out}$ ，完成原理图。

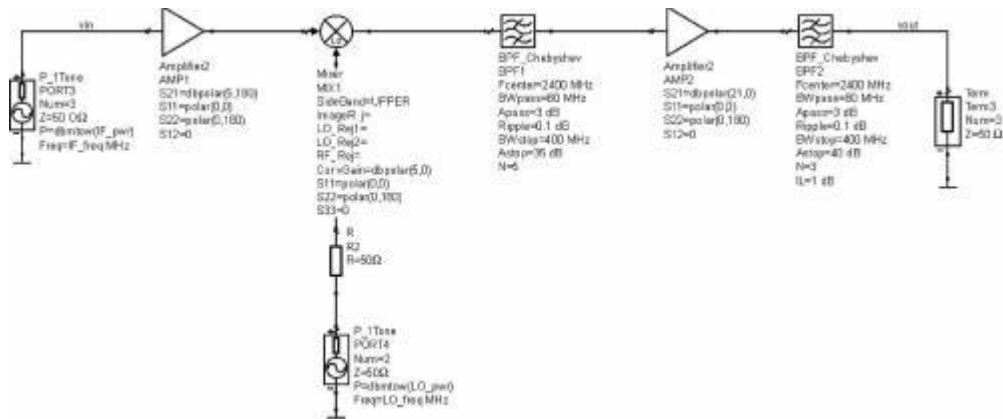


图8 2.4G射频发送机原理图

(6) 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9所示设置变量。

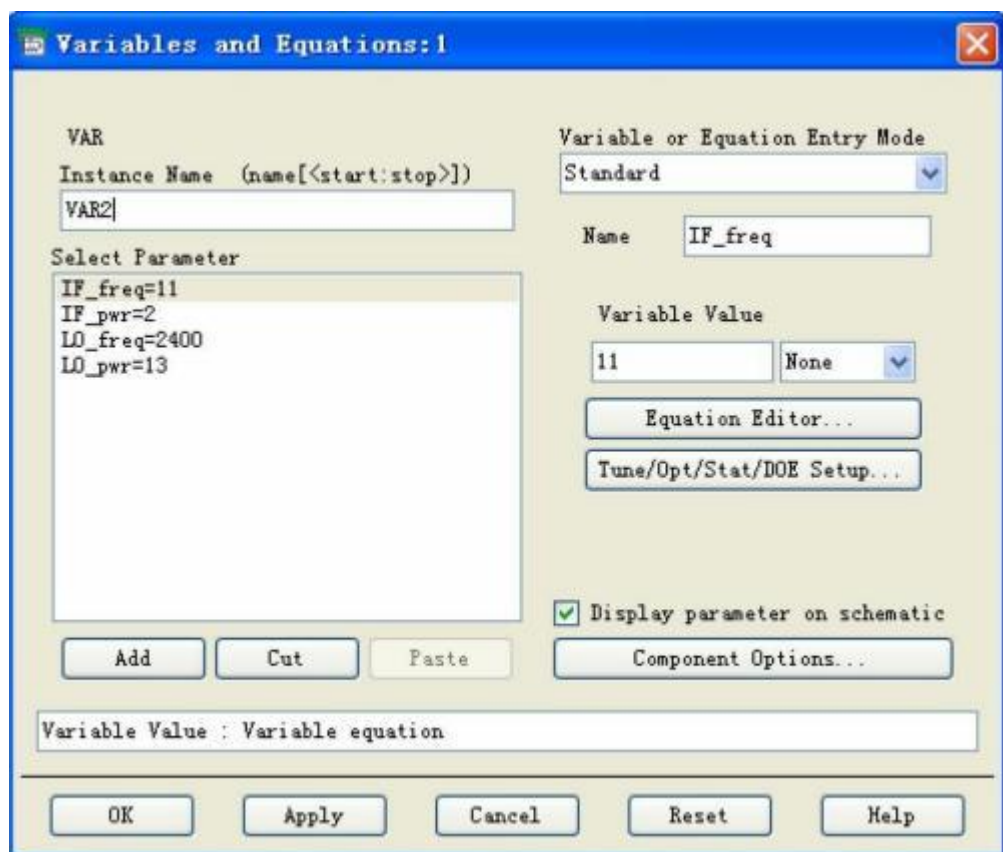


图9 完成设置的变量控制器

IF\_freq=11，表示变量IF\_freq代表的中频输入频率为11MHz。

IF\_pwr=2，表示变量IF\_pwr代表的中频输入功率为2dBm。

LO\_freq=2400，表示变量LO\_freq代表的本振输入频率为 2400MHz。

LO\_pwr=13，表示变量LO\_pwr代表的本振输入功率为13dBm。

(7) 为了观测输出频谱，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，双击谐波平衡法仿真控制器，如图10所示对其仿真参数进行设置。

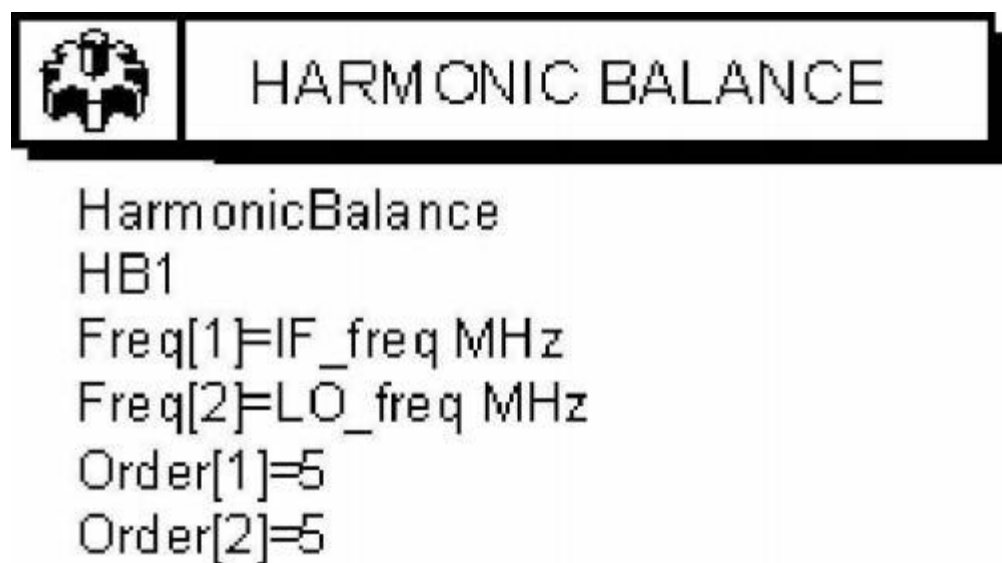


图10 完成设置的谐波平衡法仿真控制器

Freq[1]=IF\_freq MHz，表示基波频率[1]为中频输入频率。

Freq[2]=LO\_freq MHz，表示基波频率[2]为本振输入频率。

Order[1]=5，表示基波频率[1]的谐波数为5。

Order[2]=5，表示基波频率[2]的谐波数为5。

如图11所示，最终完成发送机频谱仿真原理图。

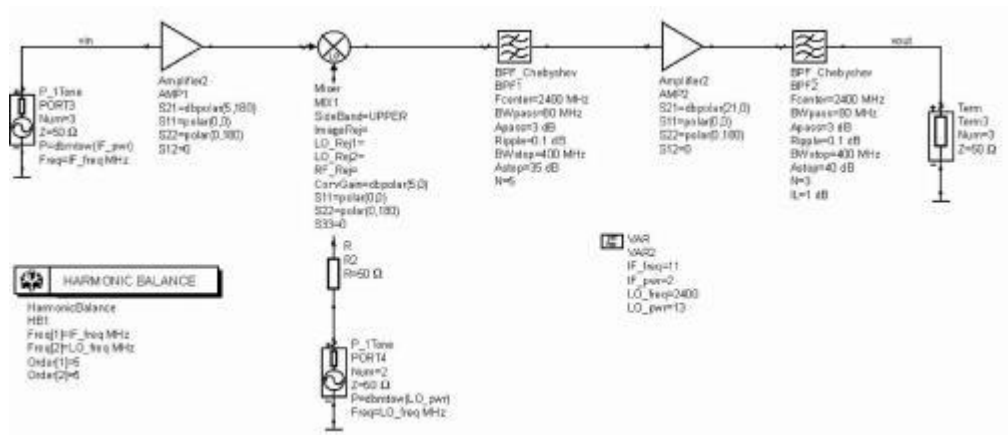


图11 发送机频谱仿真原理图

(8) 完成谐波平衡法仿真控制器设置后，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“vin”，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“vin”输出频 谱。在菜单栏中选择[Maker]→[New]命令，插入标注信息，如图12所示，可以看到输入的11MHz中频信号频谱为2dBm。

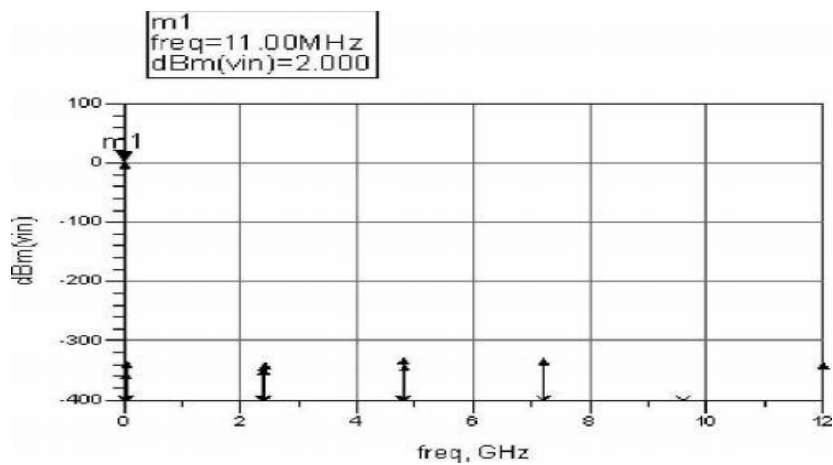


图12 输入的11MHz中频信号频谱

如图13所示，再添加一个输出信号的频谱，可见本振信号 2400MHz将中频信号 11MHz调制至2411MHz上进行发送，发送机功能设置正确。

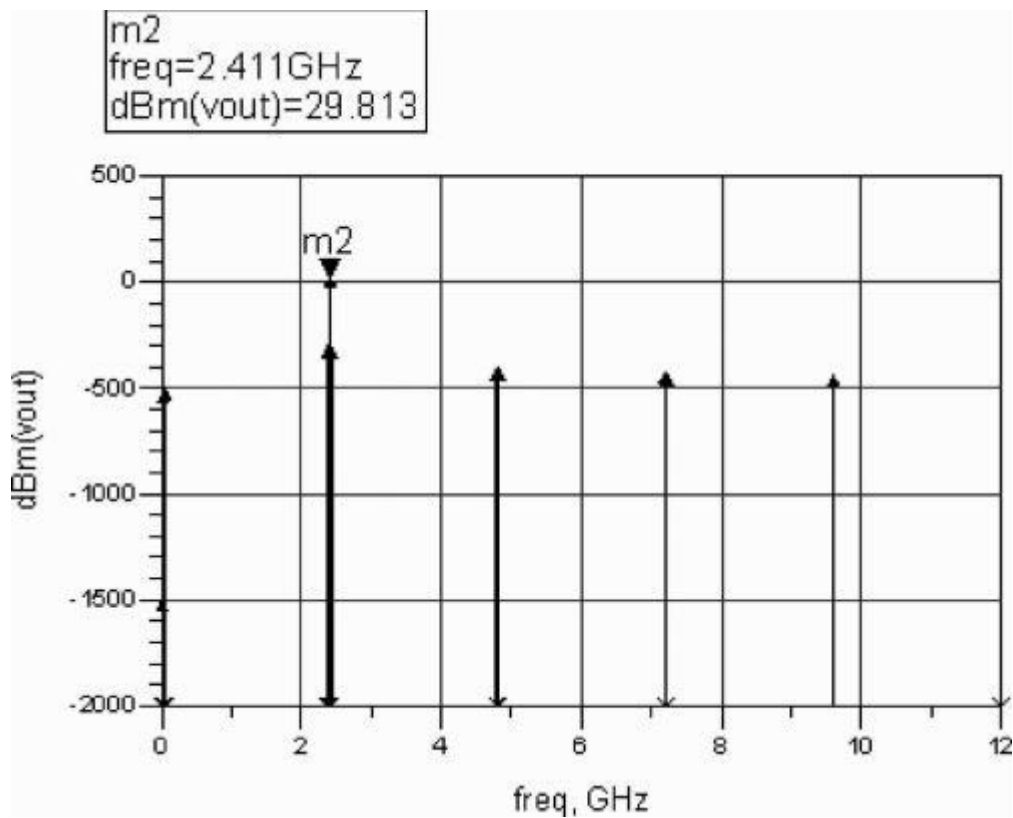


图13 添加一个输出信号的频谱

修改输出频谱观测范围为2.2~2.6GHz，如图14所示，可见对中频信号三次谐波的抑制良好，达到约280dB。

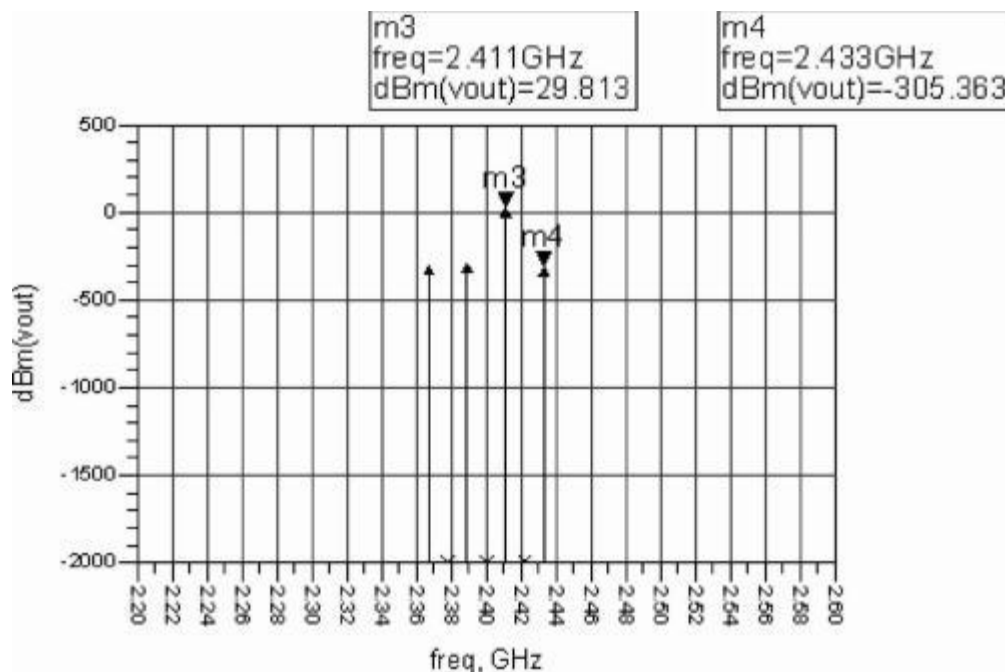


图14 中频信号三次谐波抑制



AC  
AC1  
FreqConversion=yes  
OutputBudgetIV=yes  
Freq=11 MHz

图15 设置完成的交流仿真控制器

(9) 完成发送机频谱仿真后， 再进行发送机的预算增益仿真。将原 理图另存为“transmitter\_budget”，删 除谐波平衡法仿真控制器。

从“Simulation-AC”元件面板中选择一个交流仿真控制器“AC”，插入原理 图中，双击控制器进行设置，如图 15所示。

Freq=11MHz，表示交流仿真单

频率点仿真方式。

FreqConversion=yes，表示交流仿真的同时进行频率转换。

OutputBudgetIV=yes，表示交流仿真中执行预算分析。



(10) 在菜单栏中选择[Simulate] → [Generate Budget Path]命令，如图16所示，弹出“Generate Budget Path”对话框，在对话框中选择起始端为输入端PORT1，终止端为输出端Term2，单击[Generate]按钮，生成增益预算路径，如图17所示。

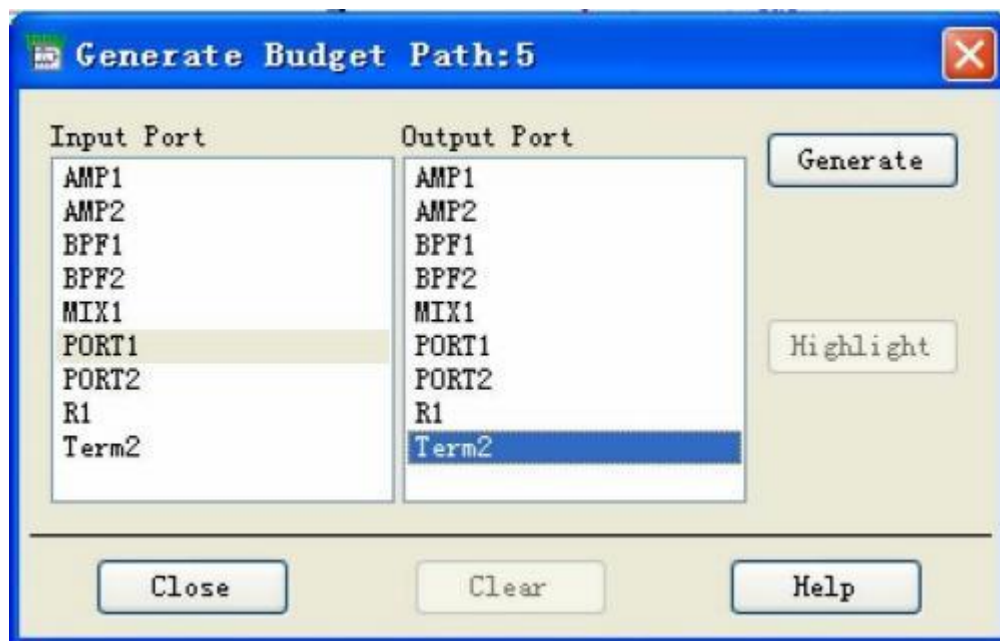


图16 “Generate Budget Path”对话框



图17 增益预算路径

(11) 从“Simulation-AC”元件面板中选择一个增益预算控制器“BudGain”，插入原理图中，如图18所示，设置其输入端为“PORT1”，预算路径为已建立的“budget\_path”。

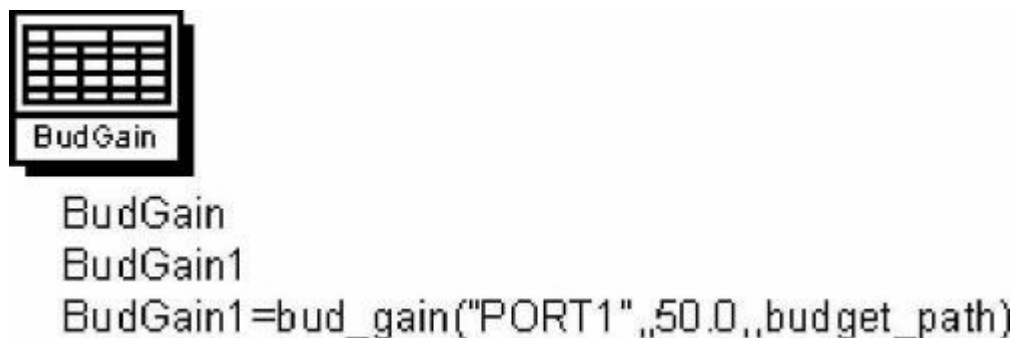


图18 增益预算控制器

(12) 完成设置后，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“BudGain1”，单击[Add]按钮，在该对话框中双击“BudGain1”弹出“Trace Options”对话框，如图19所示。在“Trace Expression”选项中 将“BudGain1”改为“BudGain1[0]”，表示指定单一频率数组仿真。单击 [OK]按钮返回“Plot Traces & Attributes”对话框，再单击[OK]按钮，显示 增益预算链路。在菜单栏选择[Maker] → [New]命令，插入标注信息，如 图20所示，可以看到在发送机输出端的增益达到27.815dB。对于 2dBm的输入信号，该发送机可将信号放大至约30dBm进行输出，增益良好。

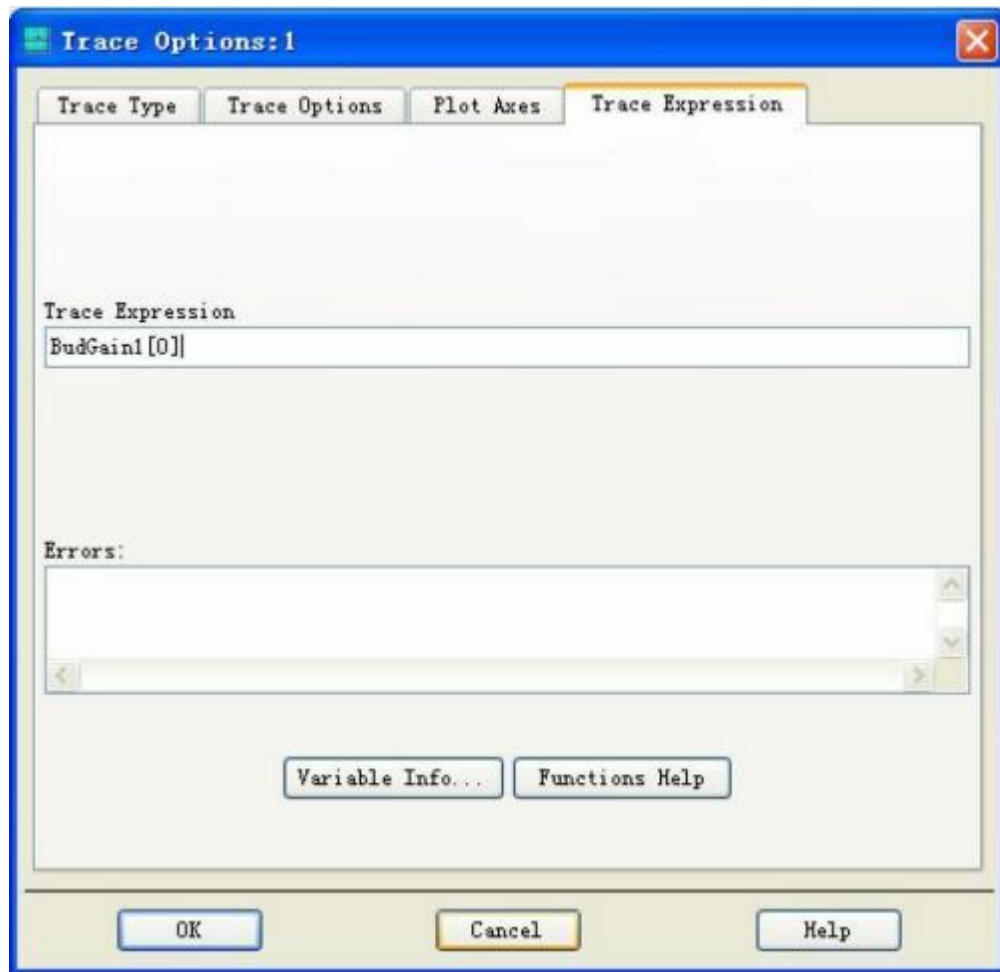


图19 将“BudGain1”改为“BudGain1[0]”

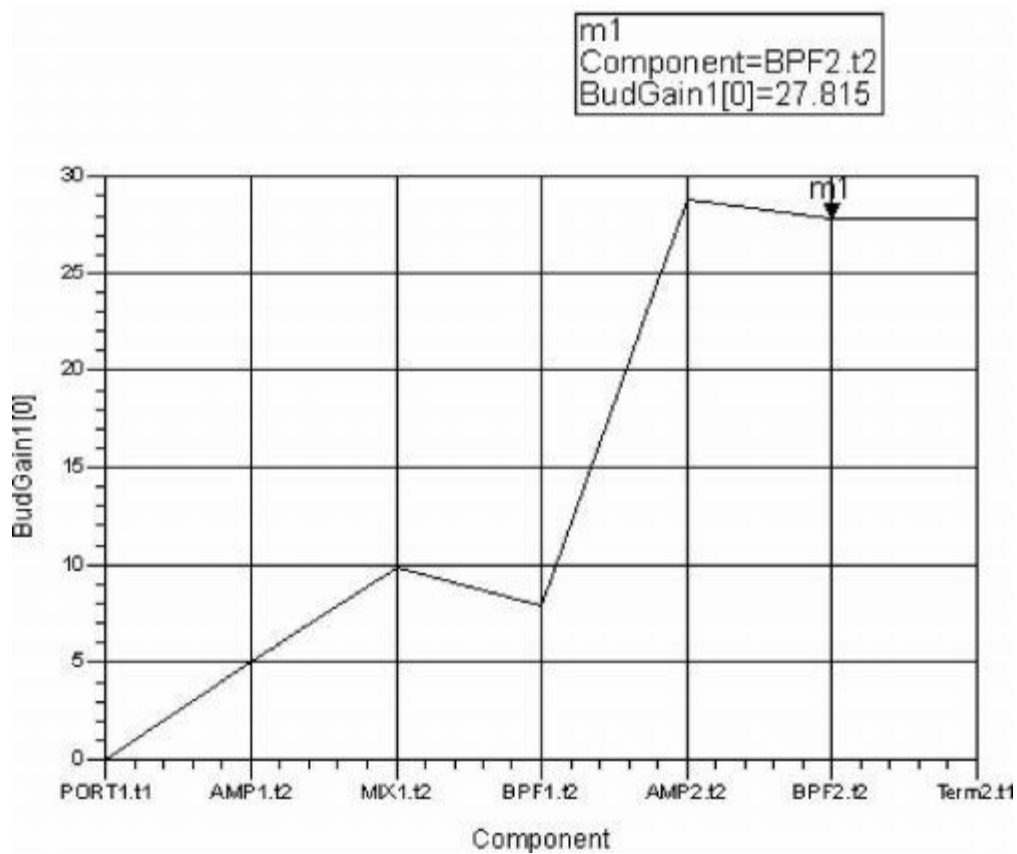


图20 发送机增益预算输出

这样就完成了对发送机频谱和增益预算的分析，达到了发送机的基本功能和指标要求。