



射频放大器的设计

仿真与测试

班级：_____

学号：_____

姓名：_____

一、实验目的

1. 了解描述射频放大器的主要性能参数及类型
2. 掌握放大器偏置电路设计方法
3. 了解最小噪声、最大增益放大器的基本设计方法
4. 掌握放大器输入、输出网络的基本结构类型
5. 掌握用 ADS 进行放大器仿真的方法与步骤

二、实验原理

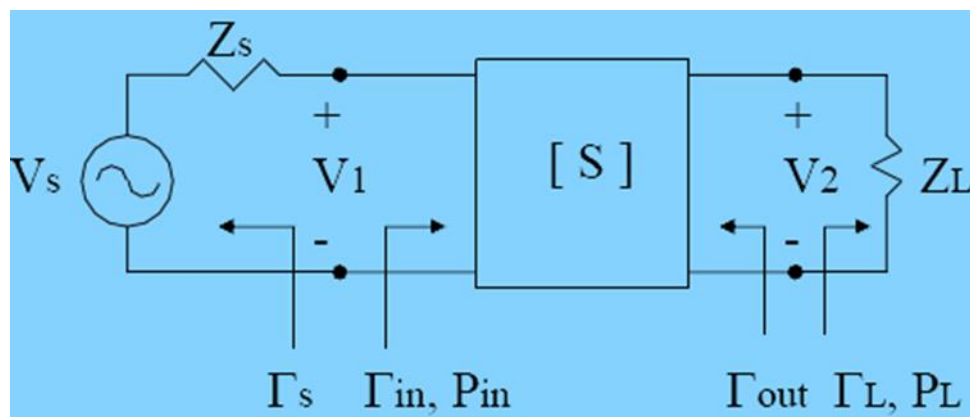
微波晶体管放大器一般有低噪声放大器、宽带放大器和功率放大器，可以提高信号的功率和幅度。

低噪声低噪声放大器的主要作用是放大天线从空中接收到的微弱信号，减小噪声干扰，以供系统解调出所需的信息数据。

功率放大器一般在系统的输出级，为天线提供辐射信号。

微波低噪声放大器的主要技术指标有：噪声系数与噪声温度、功率增益、增益平坦度、工作频带、动态范围、输入输出端口驻波和反射损耗、稳定性和 1dB 压缩点。

1. 二端口网络的功率与功率增益及主要指标



$$\Gamma_{in} = S_{11} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_L}{1 - S_{22}\Gamma_L}$$
$$\Gamma_{out} = S_{22} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_S}{1 - S_{11}\Gamma_S}$$

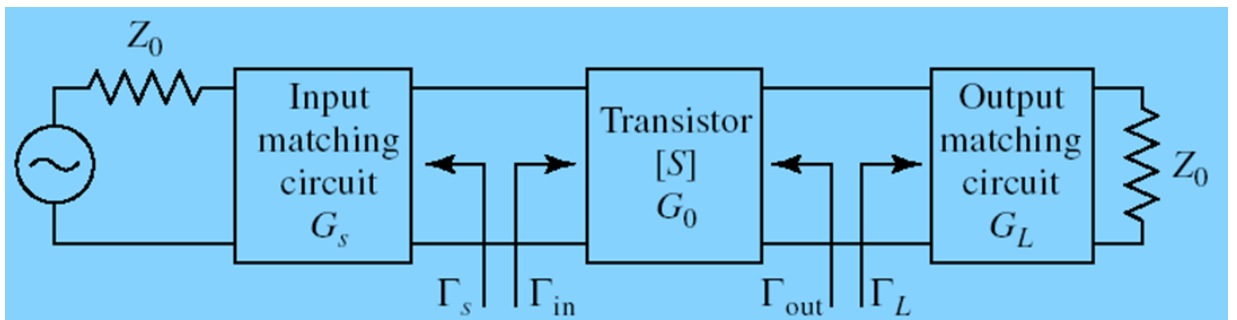
送到网络的平均功率：

$$P_{in} = \frac{|V_s|^2}{8Z_0} \frac{|1 - \Gamma_s|^2}{|1 - \Gamma_s \Gamma_{in}|^2} (1 - |\Gamma_{in}|^2)$$

送到负载的平均功率：

$$P_L = \frac{|V_s|^2}{8Z_0} \frac{|S_{21}|^2 (1 - |\Gamma_L|^2) |1 - \Gamma_s|^2}{|1 - S_{22} \Gamma_L|^2 |1 - \Gamma_s \Gamma_{in}|^2}$$

2. 放大器的稳定性



- 无条件稳定：

不管源阻抗和负载阻抗如何，放大器输入输出端反射系数的模都小于 1，网络无条件稳定（绝对稳定）。

- 条件稳定：

在某些范围源阻抗和负载阻抗内，放大器输入输出反射系数的模小于 1，网络条件稳定（潜在不稳定）。

3. 最大增益放大器设计(共轭匹配)

源和负载与晶体管之间达到共轭匹配时，可实现最大增益。

$$G_{T_{max}} = \frac{1}{1 - |\Gamma_s|^2} |S_{21}|^2 \frac{1 - |\Gamma_L|^2}{|1 - S_{22} \Gamma_L|^2} = \frac{|S_{21}|}{|S_{12}|} (K - \sqrt{K^2 - 1})$$

$$\Gamma_s = \frac{B_1 \pm \sqrt{B_1^2 - 4|C_1|^2}}{2C_1} \quad \Gamma_L = \frac{B_2 \pm \sqrt{B_2^2 - 4|C_2|^2}}{2C_2}$$

$$B_1 = 1 + |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 - |\Delta|^2 \quad B_2 = 1 + |S_{22}|^2 - |S_{11}|^2 - |\Delta|^2$$

$$C_1 = S_{11} - \Delta S_{22}^* \quad C_2 = S_{22} - \Delta S_{11}^*$$

1) 单向情况：

$$G_{TU_{\max}} = \frac{1}{1 - |S_{11}|^2} |S_{21}|^2 \frac{1}{1 - |S_{22}|^2}$$

2) 无条件稳定：

$$G_{T_{\max}} = \frac{|S_{21}|}{|S_{12}|} (K - \sqrt{K^2 - 1})$$

3) 最大变换功率增益也称匹配增益

4) $K < 1$ 条件稳定 源与负载不能同时共轭匹配

4. 低噪声放大器设计—放大器的噪声系数圆

对于给定的噪声系数（噪声参量 N ）。则可定义等噪声系数圆：

$$C_F = \frac{\Gamma_{opt}}{N+1} \quad R_F = \frac{\sqrt{N(N+1 - |\Gamma_{opt}|^2)}}{N+1}$$

5. 宽带晶体管放大器设计

增加带宽的常用方法：

- 补偿匹配网络 —— 输入输出网络复杂
- 电阻性匹配网络 —— 增益降低、噪声变大
- 负反馈 —— 增益和噪声均恶化
- 平衡放大器 —— 直流供电功率翻倍
- 分布放大器 —— 电路庞大，增益较低

三、 实验内容

作业 1：

❖ 用微带短截线匹配方法设计3GHz最大增益放大器。

Ex.11.3 （忽略 S_{12} ）

f (GHz)	S_{11}	S_{21}	S_{12}	S_{22}
3.0	$0.80 \angle -89^\circ$	$2.86 \angle 99^\circ$	$0.03 \angle 56^\circ$	$0.76 \angle -41^\circ$
4.0	$0.72 \angle -116^\circ$	$2.60 \angle 76^\circ$	$0.03 \angle 57^\circ$	$0.73 \angle -54^\circ$
5.0	$0.66 \angle -142^\circ$	$2.39 \angle 54^\circ$	$0.03 \angle 62^\circ$	$0.72 \angle -68^\circ$

-
- 1.判断稳定性
 - 2.计算放大器增益
 - 3.设计输入、输出匹配网络

作业 2:

❖设计一个6GHz放大器，要求增益为6dB，
在此增益下具有最小的噪声系数。

该放大器的S参数为 书本习题： 11.14

$$S_{11} = 0.6 \angle -60^\circ, S_{21} = 2.0 \angle 81^\circ, S_{12} = 0, S_{22} = 0.7 \angle -60^\circ$$

$$F_{\min} = 2.0 \text{dB}, \Gamma_{\text{opt}} = 0.62 \angle 100^\circ, R_N = 20 \Omega$$

❖选做 书本习题： 11.15
设计噪声系数为2.5dB，且在此噪声系数下
具有最大增益。

-
- 1.判断稳定性
 - 2.计算并分配增益
 - 3.画出输入等增益圆与等噪声系数圆，选择 Γ_s
 - 4.根据最大输出增益，选择 Γ_L
 - 5.输入匹配、输出匹配

作业 3:

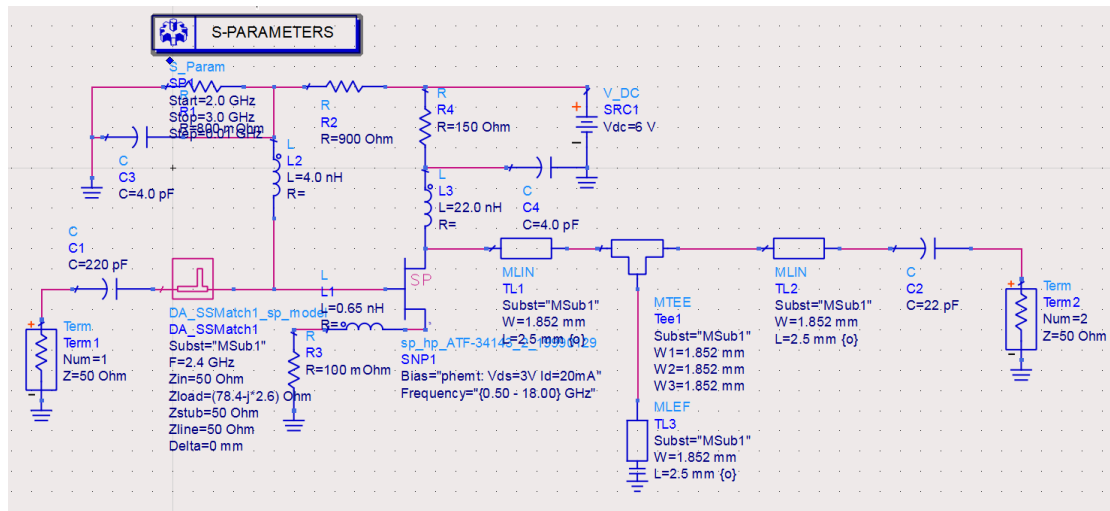
完成最小噪声放大器的设计。

指标：2.4GHz，噪声小于 0.35，两个端口的反射小于-15dB。

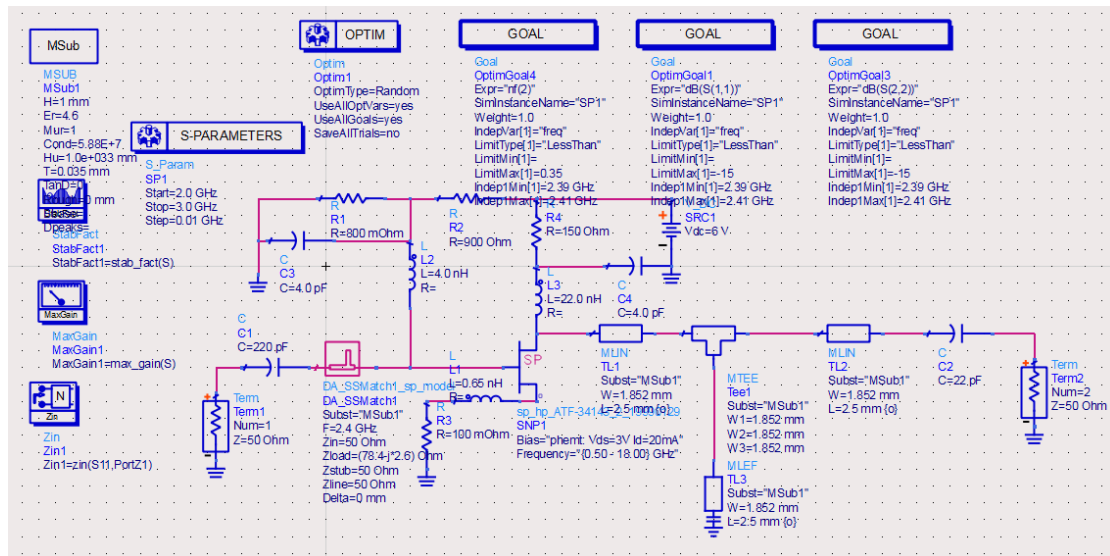
要求：给出优化目标的设置，最后的原理图，以及仿真结果。

四、实验步骤

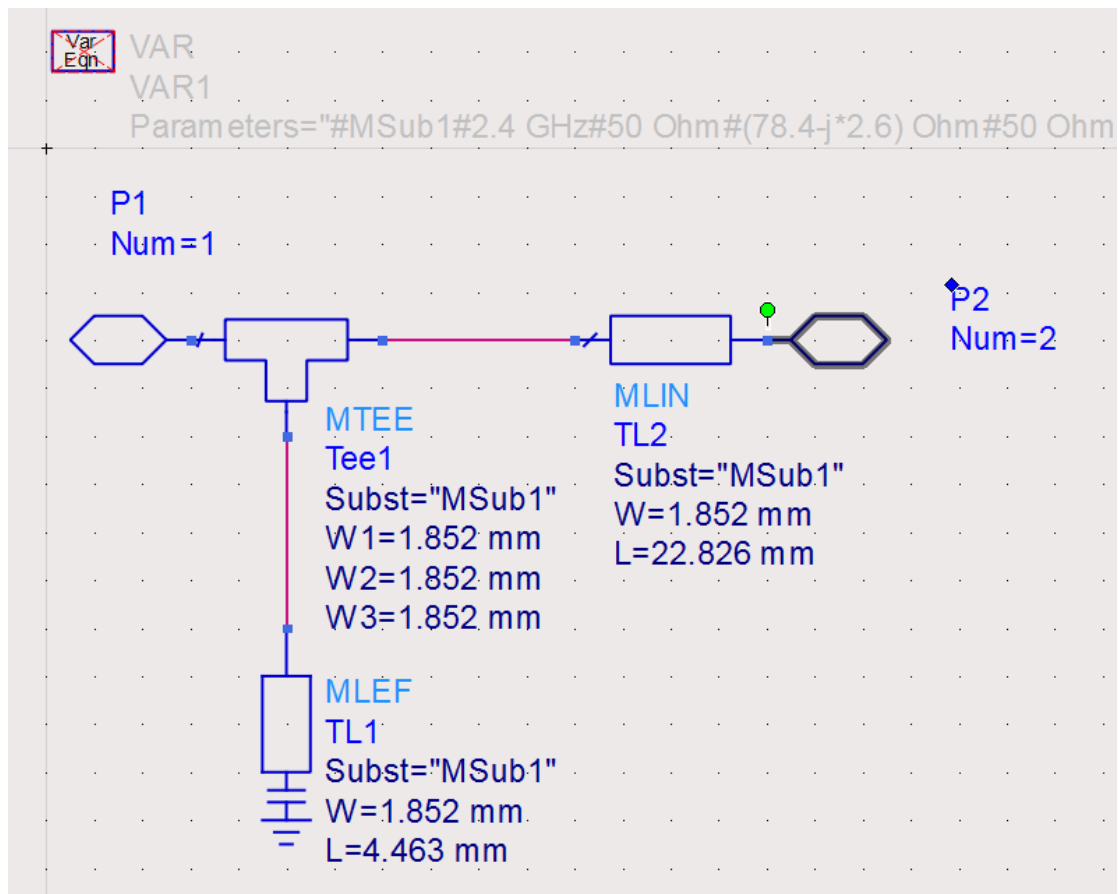
1. 设计原理图：



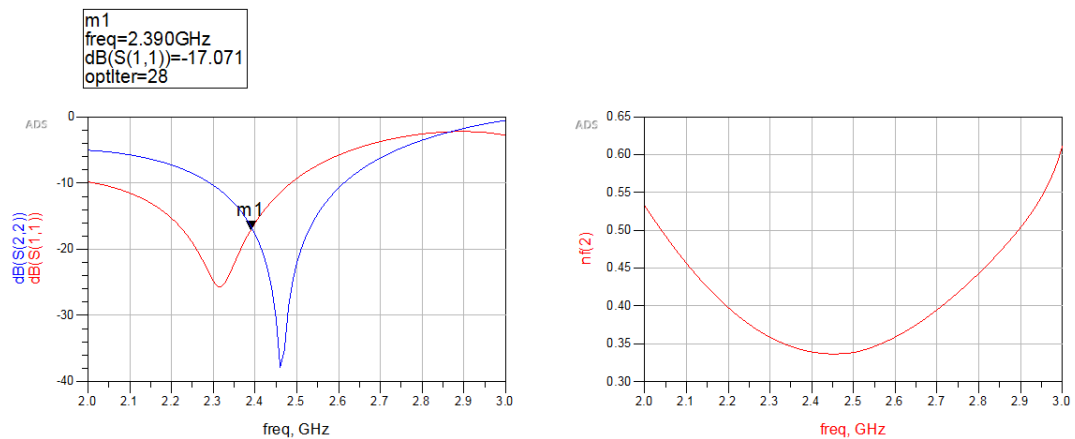
2. 优化目标的设置：



3. 生成的匹配网络:



4. 仿真结果:



可以看到：在 2.4GHz 时，噪声系数小于 0.35，两个端口的反射小于-15dB，满足设计要求。

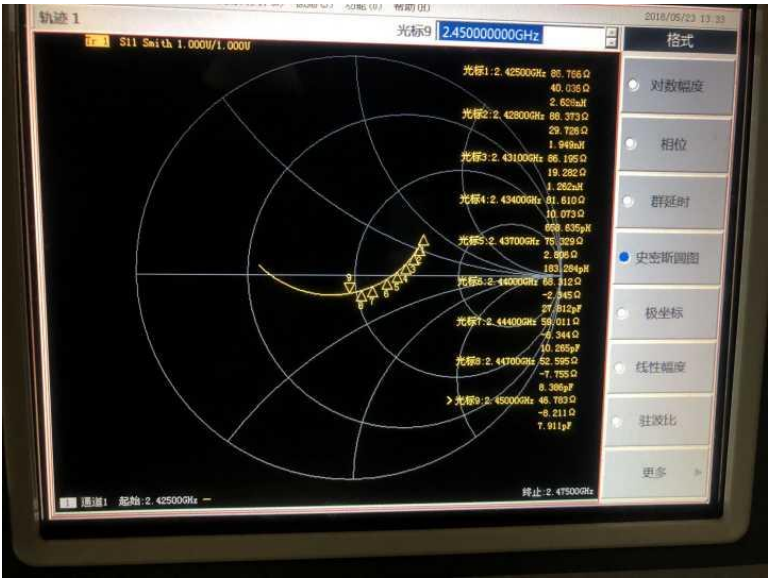
五、 自制天线测量结果

频	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
率	25	28	31	34	37	40	44	47	50	54	58	61	64	68	75
(G															
Hz)															
回	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
损	8.3	9.3	10.	12.	13.	16.	19.	21.	20.	16.	13.	11.	10.	8.8	6.8
(dB	98	28	53	32	56	23	87	03	63	47	67	95	37	92	90
)			2	4	2	8	5	2	2	8	1	1	4		
输	88.	87.	86.	81.	76.	69.	57.	52.	46.	38.	32.	29.	26.	23.	18.
入	56	46	93	93	53	03	63	04	01	73	56	06	47	03	79
阻	2+j	8+j	28	6+j	8+j	2-	2-	8-	2-	1-	1-	7-	1-	1+j	2+j
抗	36.	26.	+j1	10.	2.4	j1.	j5.	j6.	j7.	j4.	j3.	j2.	j0.	1.4	4.7
	58	43	8.5	04	69	03	43	96	33	73	32	65	42	07	31
	1	2	62	8		2	2	6	2	1	5	0	1		
驻	2.2	1.9	1.7	1.6	1.4	1.3	1.1	1.1	1.1	1.3	1.5	1.7	1.8	2.1	2.6
波	02	43	83	21	97	38	85	36	78	44	46	21	94	49	74

回损:



输入阻抗(史密斯圆图):



驻波:

