

湖南工业大学

课 程 设 计

资 料 袋

____计算机与通信____学院（系、部） 2013 ____ ~ 2014 ____ 学年第 ____ 2 ____ 学期

课程名称____微波通信课程设计____指导教师____邱银安____职称____副教授____

学生姓名____蒋培玉____专业班级____通信 1204 班____学号____12408200411____

题 目____微波放大器的设计____

成 绩____起止日期 2015 年 05 月 18 日 ~ 2015 年 05 月 31 日

目 录 清 单

序号	材料名称	资料数量	备注	
1	课程设计任务书	1		
2	课程设计说明书	1		
3	课程设计图纸			张
4				
5				
6				

湖南工业大学

课程设计任务书

2014—2015 学年第 2 学期

计算机与通信 学院 通信工程 专业 1204 班级

课程名称：微波通信课程设计

设计题目：微波放大器的设计

完成期限：自 2015 年 5 月 18 日至 2015 年 5 月 31 日共 2 周

内 容 及 任 务	一、设计目的	
	1. 了解射频放大器的基本原理与设计方法。	
	2. 利用实验模块实际测量以了解放大器的特性。	
	3. 学会使用微波软件对射频放大器的设计和仿真，并分析结果。	
内 容 及 任 务	二、设计任务(内容)	
	● 熟悉放大器原理等理论知识。	
	● 熟悉放大器设计相关理论知识。	
	三、设计工作量	
进 度 安 排	1 周完成	
	起止日期	工作内容
	5 月 18 至 5 月 20 号	组员分组、讨论任务分配、查资料理解理解课题
	5 月 21 至 5 月 26 号	详细分析放大器原理、设计放大器电路
	5 月 27 号 5 月 30 号	实验室验证电路和测试实验结果（或结果分析）
	5 月 31 号	设计总结、书写实验报告

指导教师（签字）：_____

年 月 日

系（教研室）主任（签字）：_____

年 月 日



湖南工业大学
HUNAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

微波通信

设计说明书

微波放大器的设计

起止日期： 2015 年 5 月 18 日 至 2015 年 5 月 31 日

学 生 姓 名 蒋培玉

班 级 通信 1204 班

学 号 12408200411

成 绩

指 导 教 师 (签 字)

计算机与通信学院

2015 年 5 月 31 日

课题名称	微波锁相振荡器的设计												
组长	袁珍	同组人员	蒋培玉、付向宇、欧素珍、于薇										
课题的主要内容和要求	<div>1. 设计目的</div> <div>1. 了解射频放大器的基本原理与设计方法。</div> <div>2. 利用实验模块实际测量以了解放大器的特性。</div> <div>3. 学会使用微波软件对射频放大器的设计和仿真，并分析结果。</div> <div>2. 设计内容</div> <div>熟悉放大器原理等理论知识。</div> <div>熟悉放大器设计相关理论知识。</div>												
时间安排与完成情况	<table><tr><th>起止日期</th><th>工作内容</th></tr><tr><td>5 月 18 至 5 月 20 号</td><td>组员分组、讨论任务分配、查资料理解理解课题</td></tr><tr><td>5 月 21 至 5 月 26 号</td><td>详细分析锁相环原理、设计锁相环电路及压控振荡器电路</td></tr><tr><td>5 月 27 号 5 月 30 号</td><td>实验室验证电路和测试实验结果（或结果分析）</td></tr><tr><td>5 月 31 号</td><td>设计总结、书写实验报告</td></tr></table>			起止日期	工作内容	5 月 18 至 5 月 20 号	组员分组、讨论任务分配、查资料理解理解课题	5 月 21 至 5 月 26 号	详细分析锁相环原理、设计锁相环电路及压控振荡器电路	5 月 27 号 5 月 30 号	实验室验证电路和测试实验结果（或结果分析）	5 月 31 号	设计总结、书写实验报告
起止日期	工作内容												
5 月 18 至 5 月 20 号	组员分组、讨论任务分配、查资料理解理解课题												
5 月 21 至 5 月 26 号	详细分析锁相环原理、设计锁相环电路及压控振荡器电路												
5 月 27 号 5 月 30 号	实验室验证电路和测试实验结果（或结果分析）												
5 月 31 号	设计总结、书写实验报告												
参考资料	<div>【1】 吴群 宋朝晖.《微波技术》 [M]. 哈尔滨工业大学出版社. 2004. 30~37.</div> <div>【2】 范寿康等， 《微波技术与微波电路》[M]. 北京机械工业出版社. 2003. 254-275.</div>												

目录

1 设计实验设备.....	2
2 基本原理.....	2
3 硬件测量.....	5
4 软件仿真.....	7
5 实例分析.....	8
6 设计总结.....	10
7 参考文献.....	11

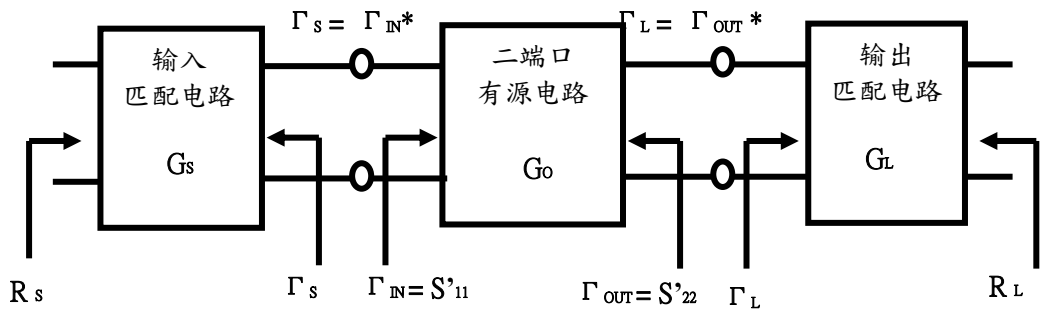
微波放大器设计

一、设计实验设备

项次	设备名称	数量	备注
1	扫频信号源、示波器	1 套	亦可用标量网络分析仪
2	放大器模块	1 组	RF2KM7-1A
3	50 Ω BNC 及 1M Ω BNC 连接线	4 条	
4	直流电源连接线	1 条	DC-1
5	MICROWAVE 软件	1 套	微波软件

二、基本原理

一个射频晶体放大器电路可分为三大部分：二端口有源电路、输入匹配电路及输出匹配电路，如图 1 所示。一般而言，二端口有源电路采用共射极（或共源极）三极管（BJT、FET）电路，此外，还包括直流偏压电路。而输入匹配电路及输出匹配电路大多采用无源电路，即利用电容、电感或传输线来设计电路。一般放大器电路，根据输入信号功率不同可以分为小信号放大器、低噪声放大器及功率放大器三类。而小信号放大器依增益参数及设计要求，可分成最大增益及固定增益两类。而就 S 参数设计而言，则可有单向设计及双边设计两种。本单元仅就小信号放大器来说明射频放大器之基本理论及设计方法。



$$S'_{11} = S_{11} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_L}{1 - S_{22}\Gamma_L} \quad \text{图 1 放大器电路方框图} \quad S'_{22} = S_{22} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_S}{1 - S_{11}\Gamma_S}$$

（一）单边放大器设计 (Unilateral Amplifier Design)

所谓单边设计即是忽略有源器件 S 参数中的 S_{12} ，即是 $S_{12}=0$ 。此时可得：

$$S'_{11} = S_{11} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_L}{1 - S_{22}\Gamma_L} \quad \Gamma_{IN} = S_{11} \quad \text{及} \quad \Gamma_{OUT} = S_{22}$$

则放大器之单边转换增益 (Unilateral Transducer Gain, G_{TU}) 为：

$$G_{TU} = G_S G_O G_L$$

$$\text{其中 } G_s = \frac{1-|\Gamma_s|^2}{|1-S_{11}\Gamma_s|^2} \quad G_o = |S_{21}|^2 \quad G_L = \frac{1-|\Gamma_L|^2}{|1-S_{22}\Gamma_L|^2}$$

假若电路又符合下列匹配条件：

$$\Gamma_s = S_{11}^* \quad \text{及} \quad \Gamma_L = S_{22}^*$$

则可得到此放大器电路之最大单边转换增益 (Maximum Unilaterla Transducer Gain, $G_{TU, \max}$):

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

(二) 双边放大器设计 (Bilateral Amplifier Dseign)

双边设计即是考虑有源器件 S 参数中的 S_{12} ，即是 $S_{12} \neq 0$ 。此时可得：

$$\Gamma_{IN} = S'_{11} = S_{11} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_L}{1-S_{22}\Gamma_L} \quad \text{及} \quad \Gamma_{OUT} = S'_{22} = S_{22} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_s}{1-S_{11}\Gamma_s}$$

若利用最大增益匹配法（亦称共轭阻抗匹配法），则可得

$$\Gamma_s = \Gamma_{IN}^* \quad \text{及} \quad \Gamma_L = \Gamma_{OUT}^*$$

经过推导可利用下列公式计算出最佳输入反射系数 Γ_{sm} 和最佳输出反射系数 Γ_{Lm} ：

$$\Gamma_{Sm} = \frac{\bar{C}_1 \cdot [B_1 \pm \sqrt{B_1^2 - 4 \cdot |C_1|^2}]}{2 \cdot |C_1|^2}, \quad \Gamma_{Lm} = \frac{\bar{C}_2 \cdot [B_2 \pm \sqrt{B_2^2 - 4 \cdot |C_2|^2}]}{2 \cdot |C_2|^2}$$

其中

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

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

$$C_1 = S_{11} - \Delta \cdot \bar{S}_{22}$$

$$C_2 = S_{22} - \Delta \cdot \bar{S}_{11}$$

$$\Delta = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21}$$

(三) 单边设计评价因子 (Unilateral Figure of Merit , M)

在判断有源元件是否适用单边设计时，主要看它的评价因子是否够小。一般而言，当 M 值小于 0.03 或 -15dB 时即可采用单边设计。

其计算公式如下：

$$M = \frac{|S_{12}| \cdot |S_{21}| \cdot |S_{11}| \cdot |S_{22}|}{(1-|S_{11}|^2) \cdot (1-|S_{22}|^2)}$$

最大增益误差比则为：

$$\frac{1}{(1+M)^2} < \frac{G_T}{G_{TU, \max}} < \frac{1}{(1-M)^2}$$

其中 G_T 是有源元件的转换增益 (Transducer Gain)

$$G_T = \frac{(1-|\Gamma_s|^2) \cdot |S_{21}|^2 \cdot (1-|\Gamma_L|^2)}{|(1-S_{11}\Gamma_s)(1-S_{22}\Gamma_L) - S_{12}S_{21}\Gamma_s\Gamma_L|^2}$$

(四) 放大器的稳定条件 (Stability Criteria)

(1) 无条件稳定 Unconditionally stable)

一个好的放大器设计电路除考虑增益和输出匹配外,还需要考虑放大器在工作频段中是否为无条件稳定,以避免电路产生振荡。如图 5-2 (a) 所示:

对于一个放大器电路而言,其有源器件在 $\Gamma_s=0$ 及 $\Gamma_L=0$ 情况下,无条件稳定的充要条件为

$$K > 1, \quad |S_{11}| < 1 \text{ 且 } |S_{22}| < 1$$

其中 K 称为稳定因子 (stability factor)

$$K = \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |\Delta|^2}{2 \cdot |S_{12}S_{21}|}$$

(2) 条件稳定 (Conditionally stable)

当有源器件不符合上述无条件稳定的三大规定时,即称为条件稳定。在此情况下,在输入端平面及输出端平面,必存一些不稳定区域,如图 2 (b) 所示:

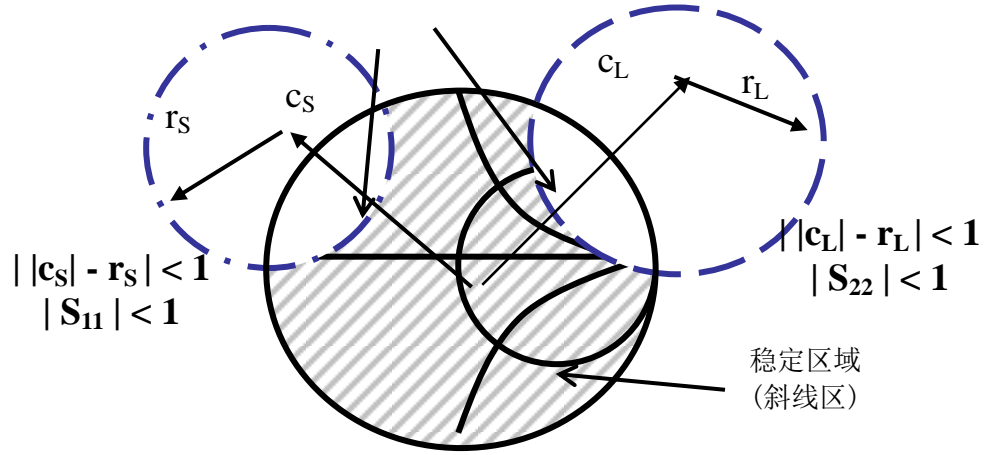


图 2 条件稳定圆示意图

而在设计输出匹配电路时,务必避免使用这些区域,以免造成放大器电路自激。

其对应无条件稳定的条件为

$$||c_s| - r_s| > 1, \quad |S_{11}| < 1 \text{ 且 } ||c_L| - r_L| > 1, \quad |S_{22}| < 1$$

而条件稳定则是

$$||c_s| - r_s| < 1, \quad |S_{11}| < 1 \text{ 或 } ||c_L| - r_L| < 1, \quad |S_{22}| < 1$$

(A) 输出稳定圆 (Load Stability Circle):

$$|\Gamma_L - c_L| = r_L$$

$$\text{半径 } r_L = \frac{|S_{12}S_{21}|}{|S_{22}|^2 - |\Delta|^2}; \quad \text{圆心 } c_L = \frac{\overline{C_2}}{|S_{22}|^2 - |\Delta|^2}$$

(B) 输入稳定圆 (Source Stability Circle):

$$|\Gamma_s - c_s| = r_s$$

$$\text{半径 } r_s = \frac{|S_{12}S_{21}|}{|S_{11}|^2 - |\Delta|^2} ; \quad \text{圆心 } c_s = \frac{\overline{C_1}}{|S_{11}|^2 - |\Delta|^2}$$

(五) 设计步骤:

步骤一: 设定放大器工作频率(f_0)与输出阻抗(R_s, R_L)。一般射频放大器的输出阻抗设定为 50Ω 。

步骤二: 根据电源选用晶体管, 同时设定晶体管的偏压条件(V_{CE}, I_C), 决定出在该条件下的晶体管的 S 参数($S_{11}, S_{21}, S_{12}, S_{22}$), 并设计适用它的偏压电路。

步骤三: 将步骤二所获得的 S 参数代入上述公式计算出下列设计参数。

稳定因子, K

单边设计评价因子, M

最大单边转换增益, $G_{TU, \max}$

输入稳定圆的圆心, C_s 及半径, r_s

输出稳定圆的圆心, C_L 及半径, r_L

最佳输入反射系数 Γ_{Sm}

最佳输出反射系数 Γ_{Lm}

步骤四: 检查 K 值是否小于 1。若 K 值大于 1, 则为无条件稳定可进行下一步骤。若小于 1, 则须将输入输出稳定圆标示于单位圆的史密斯圆图上, 以便在设计输出匹配电路时, 避免使用到不稳定区域(如图 5-2(b))所示。

步骤五: 检查 M 值是否够小。

(1) 若 M 值接近 0.03(-15dB)则适用单边设计, 可得

$$\Gamma_s = S_{11}^* \quad \text{及} \quad \Gamma_L = S_{22}^*$$

最大增益即为 $G_{TU, \max}$

(2) 若 M 值大于 0.03(-15dB)则须用双边设计, 可得

$$\Gamma_s = \Gamma_{Sm} \quad \text{及} \quad \Gamma_L = \Gamma_{Lm}$$

最大增益即为 $G_{T, \max}$

步骤六: 利用步骤五所得 Γ_s 及 Γ_L 设计输出匹配电路

三、硬件测量

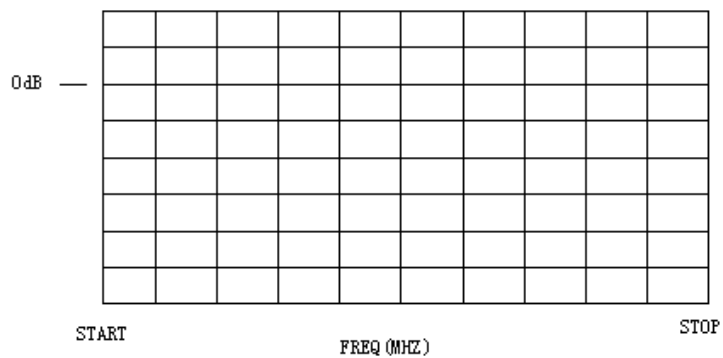
1、对 LNA, MMIC 放大器的 S11 及 S21 测量以了解 MMIC 放大电路的特性。对 LNA, BJT 放大器的 S11 及 S21 测量以了解射频 BJT 放大电路的特性。

2、准备电脑, 测量软件, 扫频仪、同轴检波器、示波器、相关模块, 若干小器件等。

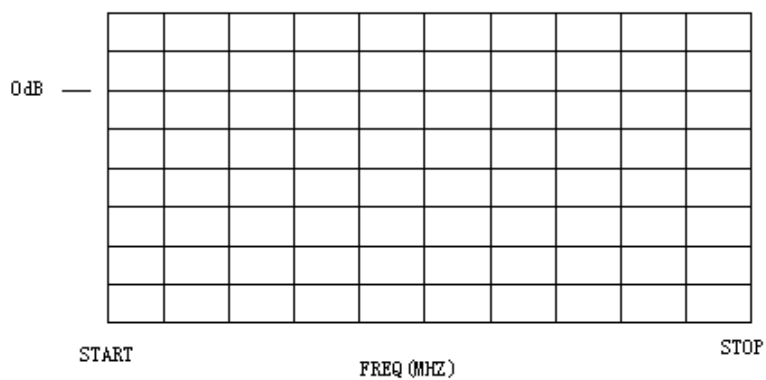
3、测量步骤:

一、用标量网络分析仪的测量方法:

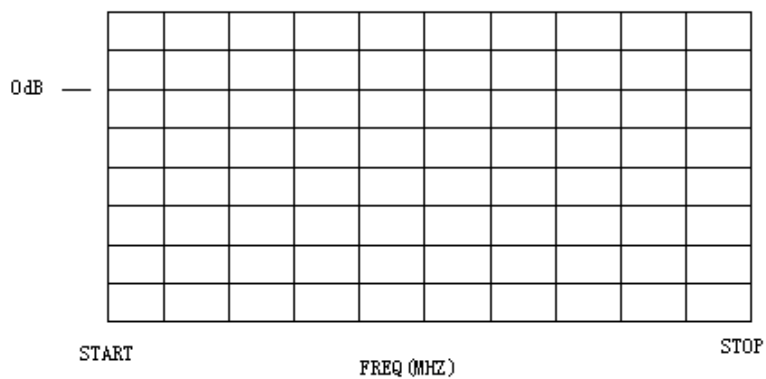
(1) LNA 的 P1 端子的 S11 测量: 设定频段: BAND-4; 用 DC-1 连接线将后面 12VDC 输出端子连接起来; 对模块 P1 端子做 S11 测量, 并将测量结果记录于表 (1) 中。



(2) LNA 的 P1 及 P2 端子的 S21 测量: 设定频段: BAND-4; 对模块 P1 及 P2 端子做 S21 测量, 并将测量结果记录于表 (2) 中。



(3) LNA 的 P3 端子的 S11 测量: 设定频段: BAND-4; 对模块 P3 端子做 S11 测量, 并将测量结果记录于表 (3) 中。



(4) LNA 的 P3 及 P4 端子的 S21 测量: 设定频段: BAND-4; 对模块 P3 及 P4 端子做 S21 测量, 并将测量结果记录于表 (4) 中。

3. 最后进行仿真，结果应接近实际测量所得到的仿真图形。
4. 电路图(推荐以下)，接着是相应的仿真图。

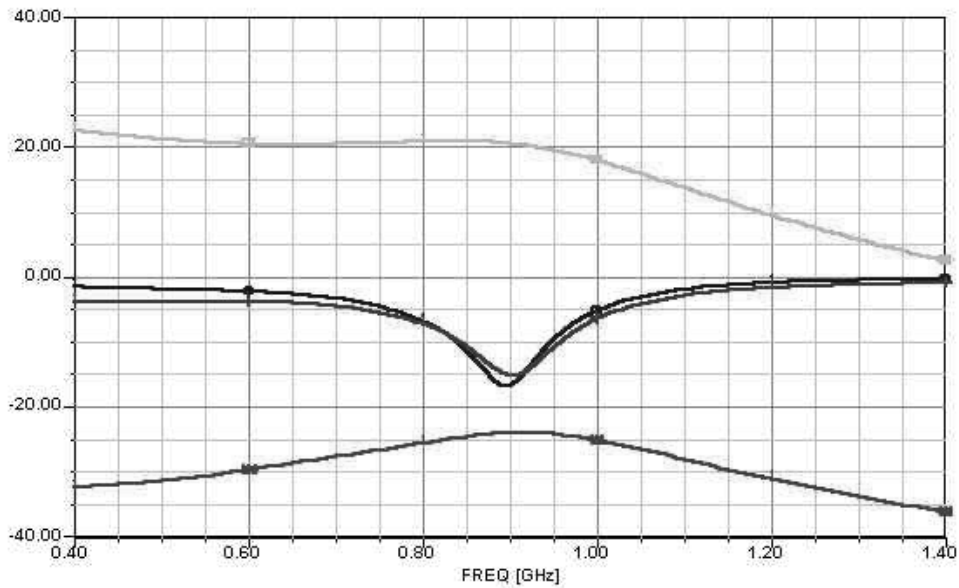


图 3 模拟结果

五、实例分析

试利用 ATF-35143 设计一 2000MHz 放大器。其中电源为 5VDC，输出阻抗为 50Ω 。ATF-35143 的 S 参表 ($V_{GS}=2V$, $I_{DS}=10mA$, $Z_o=50\Omega$, $T_A=25^\circ C$) 如下列：

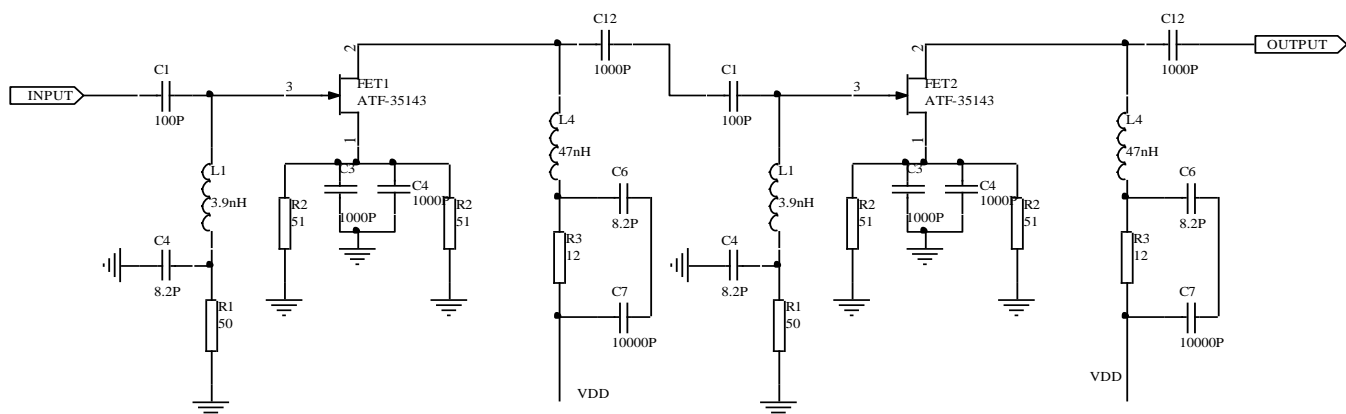
Frequency (GHz)	S ₁₁		S ₂₁		S ₁₂		S ₂₂	
	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.
0.5	0.49	-153	12.7	98	0.030	50	0.42	-35
0.6	0.48	-159	10.7	94	0.034	52	0.39	-35
0.7	0.48	-163	9.3	90	0.037	53	0.38	-35
0.8	0.47	-167	8.2	87	0.040	55	0.37	-36
0.9	0.47	-170	7.3	85	0.044	56	0.36	-37
1.0	0.47	-171	6.6	82	0.047	57	0.37	-38
1.5	0.44	177	4.9	71	0.065	59	0.40	-42
2.0	0.41	163	3.4	61	0.083	58	0.42	-45

ATF-35143 技术参数

1.9GHz; 2V, 15Ma

0.4dB 噪声系数, 18dB 增益 $P_{1dB}=11dBm$

低相位噪声



ATF-35143 Electrical Specifications

TA = 25 °C, RF parameters measured in a test circuit for a typical device

Symbol	Saturated Drain Current		Units	Min.	Typ.	Max
Idss	Pinchoff Voltage	VDS = 1.5 V, VGS = 0 V	mA	40	65	80
VP	Quiescent Bias Current	VDS = 1.5 V, Ids =10% Idss	V	-1	-0.5	-0.4
Id	Transconductance	VGS = 0.45 V, VDS = 2 V	mA		15	
gm	Gate to Drain Current	VDS = 1.5 V, gm = Idss /VP	mmho	90	120	
IGDO	Gate Leakage Current	VGD = 5 V	μ A			250
Igss		VGD = VGS = -4 V	mA		10	150
NF	Noise Figure[3]	f = 2 GHz VDS = 2 V, IDS = 15 mA VDS = 2 V, IDS = 5 mA	dB		0.4 0.5	
		f = 900MHz VDS = 2 V, IDS = 15 mA VDS = 2 V, IDS = 5 mA	dB		0.3 0.4	
Ga	Associated Gain[3]	f = 2 GHz VDS = 2 V, IDS = 15 mA VDS = 2 V, IDS = 5 mA	dB	16.5 14	18 16	19.5 18
		f = 900MHz VDS = 2 V, IDS = 15 mA VDS = 2 V, IDS = 5 mA	dB		20 18	
OIP3	Output 3rd Order Intercept Point	f = 2 GHz VDS = 2 V, IDS = 15 mA VDS = 2 V, IDS = 5 mA	dB		21 14	
		f = 900MHz VDS = 2 V, IDS = 15 mA VDS = 2 V, IDS = 5 mA	dB		19 14	
P1dB	1 dB Compressed Intercept Point	f = 2 GHz VDS = 2 V, IDS = 15 mA VDS = 2 V, IDS = 5 mA	dB		10 8	
		f = 900MHz VDS = 2 V, IDS = 15 mA VDS = 2 V, IDS = 5 mA	dB		9 9	

设计结果:

经公式计算结果,有源器件的 K 值在工件频率上大于 1,为无条件稳定。此结果也可由输出输入稳定圆来验证。输入稳定圆的圆心距离大小 $|c_s| = 2.675$, 大于其半径大小 $r_s = 1.644$, 输出稳定圆的圆心距离大小 $|c_L| = 4.123$, 也大于其半径大小 $r_L = 3.085$, 故可证得为无条件稳定。而计算所得单边设计评价因子 $M=0.08>0.03$, 所以不可以用单边设计, 而须采用双边设计。

经双边设计计算公式, 可得:

最佳输入反射系数 $\Gamma_{sm}=0.821 \angle 172.6^\circ$

最佳输出反射系数 $\Gamma_{Lm}=0.787 \angle 41.2^\circ$

最大转换增益 $G_{Tmax}=20.821\text{dB}$ 。

本例中最佳输入反射系数和最佳输出反射系数经匹配 F_0 , 再加入偏压电路后, 可得该放大器电路及模拟结果。

六、设计总结

在这次的课程设计中,让我收获非常之多。这次的课程设计和以往不同,以往我们班上都是做一个课题,而这次是每组一个课题,所以也无法从同学那里获得经验。后来通过参考微波放大器的设计指导书以及上网查找资料来完成的。看到自己把所出现的错误一个个的改出来,心里真的很是欣慰。我体会到了自己和其他成员完成一次任务的成就感,更重要的是我体会到了认真对待一件事并好好完成的愉悦感,这将对我以后产生很大的帮助。

通过这一次课程设计,我学到的东西比以往上课学到的还多。这让我明白,理论永远是理论,要是没有实践,理论永远是一张空纸。我们要从实践中学到更过的东西。而实践又要以理论为基础的,要是微波通信知识学得不扎实,做出来的设计也是漏洞百出。所以,我们要将理论和实践结合起来,把我们在课堂上学到的东西运用在实际中,这样才能提高我们自身的能力。

在接到任务时,其实心里有点恐惧,感觉自己没有能力做出来,就想着反正可以去网上搜,也就不怎么着急。后来想到如果总是依赖互联网,而不去努力,自己永远不可能提高,于是开始自己尝试着做。

在学习微波通信的时候,老师就一直强调,学习需要细心和耐心,特别是设计较复杂内容的时候,真正在设计时还是会粗心。在整个设计过程中,还有很多是由于粗心而导致的错误,也有很多是对以前知识的遗忘,这就告诫自己以后做什么事情都要仔细认真,不要大大咧咧。即使再有能力,不认真,不付出努力,所谓的能力也终究只能是空有一身本领。

七、参考文献

- 【1】 吴群 宋朝晖.《微波技术》 [M]. 哈尔滨工业大学出版社. 2004. 30~37.
- 【2】 范寿康等, 《微波技术与微波电路》 [M]. 北京机械工业出版社. 2003. 254-275.