

# 低噪声放大器(LNA)

## 一、实验目的

- (1) 深入理解低噪声放大器（LNA）的工作原理、功能、作用和性能指标。
- (2) 学习使用频谱分析仪的工作原理和使用方法。
- (3) 掌握低噪声放大器性能指标的测试方法。

## 二、实验仪器

1、数字示波器	TDS210	0~60MHz	1台
2、频谱分析仪	GSP-827	0~2.7GHz	1台
3、直流稳压电源	SS3323	0~30V	1台
4、实验电路板	自制		1块

## 三、实验电路

低噪声放大器放大器电路和印制板图如图所示，电路板上包含两个放大器：一个单级低噪声放大器和一个两级低噪声放大器。

### 1. 匹配电路

输入匹配电路的类型可以分为共轭匹配和噪声匹配两种。共轭匹配是将源的反射系数通过阻抗匹配网络变换成放大器  $S_{11}$  的共轭。由放大器单向化功率增益的计算式可知，在这种匹配下，放大器可以达到最大的单向化功率增益。而噪声匹配是将源反射系数通过阻抗变换网络变换成一个能使晶体管达到最佳噪声性能的反射系数  $\Gamma_{opt}$ 。由于微波晶体管的噪声匹配和共轭匹配

点相差较远，不能同时达到，因此需要在两者之间做合理的折衷。在输入匹配点的选择上可以侧重于噪声匹配，并调整匹配网络（主要是输入匹配网络）的元件参数，使噪声系数尽量小。

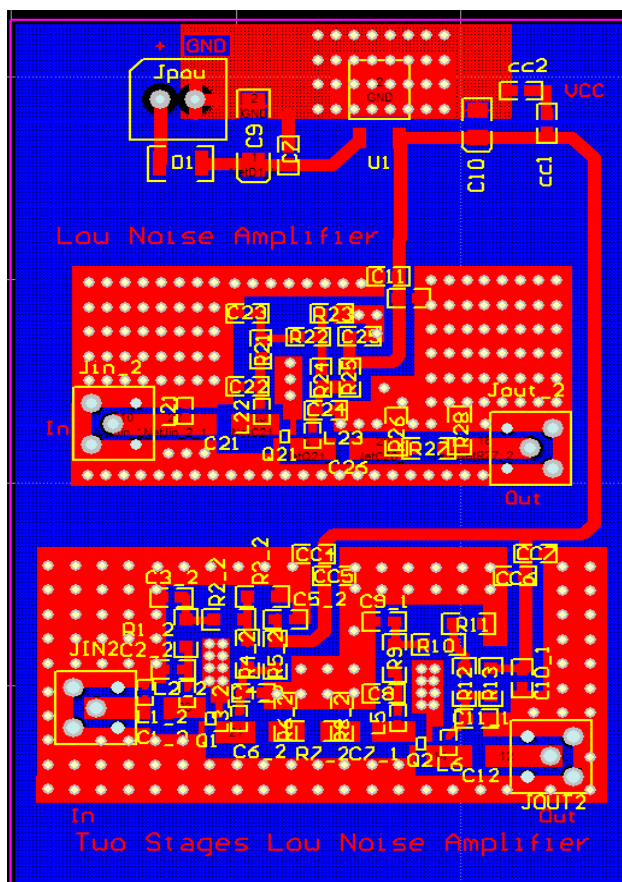
随着频率的升高，微波晶体管的增益会逐渐降低直至失去放大能力，因此晶体管的低频稳定性相对于高频显得很重要，故有必要限制放大器低频的增益以提高低频稳定性。基于以上的原因，放大器的输入匹配电路应当采用高通阻抗匹配网络，通过高通匹配网络限制放大器在较低频段的增益。以两级放大器为例，输入端高通阻抗匹配网络由一个串联电容  $C_{21}$  和两个并联电感  $L_{21}$ 、 $L_{22}$  组成。另外， $C_{21}$  还起到隔直流电容的作用，两级放大器的静态工作点互不影响。 $L_{22}$  另一个作用是对场效应管的栅极加偏置电压。这里使用电感的作用是使得直流偏置电压几乎无损失的通过给管子提供偏置电压，

而对于将要放大的射频信号来说，电感的阻抗非常大以至于射频信号几乎不能通过，从而达到了隔离交流和直流通路的目的。为了在射频通路上使 L21、L22、C21 形成  $\Pi$  型的匹配网络，L22 还需要一个高频旁路电容即 C22。

多级放大器的级间匹配电路的主要目的是为了尽可能减小传输中的信号功率损失。因此第一级的输出和第二级的输入均需要匹配到 50 欧姆。输出匹配的目的是为达到最佳的输出反射损耗和最大增益。输出阻抗匹配网络采用  $\Pi$  型高通结构，由串联电容 C36 和并联电感 L33、L34 组成。L23 同时作为馈电用电感为管子的漏极提供偏置电压。

## 2. 稳定性设计

在源极和地之间增加感性的串联反馈可以对输入反射损耗和低频稳定性起有利的作用。加入源极感性反馈后，低频的稳定性显著提高，同时输入截断点也增高。源极的感性反馈通常是由一段从源极引脚到地的微带线构成的，如图中 LL21、LL22、LL31、LL32 所示，通过合适的选择微带线的长度可以有效的控制源极感性反馈的大小。为了提高放大器的稳定性，通常还可以在其不稳定的端口增加一个串联或并联的电阻。因此可以在级间加入  $\Pi$  型的阻性 3dB 衰减网络。这种衰减网络的特点是，由三个电阻（R26、R27、R28）连接成“ $\Pi$ ”的形状，从其输入端口或输出端口看进去，阻抗都是 50 欧姆，通过网络的信号强度会衰减 3dB。加入衰减网络的另一个好处是能减小级间匹配的難度。





## 四、实验原理及内容

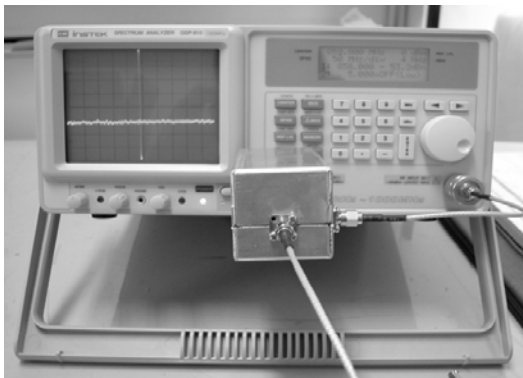
### 1、阻抗匹配测量

测试说明：在设计低噪声放大器时须着重于输入匹配网络的设计，以便求得有较低的噪声系数及较佳的输入返回损耗，因此设计低噪声放大器之首要重点为同时对最佳信号源反射系数( $\Gamma_{opt}$ )与 $S_{11}$ 取得匹配，亦即希望 $\Gamma_{opt}$ 与 $S_{11}$ 能取得共轭。然而对于一只晶体管在一偏压条件下，其 $\Gamma_{opt}$ 与 $S_{11}$ 不见得皆可获得共轭，因此在电路设计上我们可以使用共射极电感串联反馈电路架构。射频电路的阻抗匹配测量和低频电路的阻抗测量完全不同，低频电路一般是通过测量输入回路中的电压、电流来求得输入阻抗，而射频电路是通过测量反射信号的大小来衡量阻抗匹配情况，一般是测开路时的全反射信号电平和接通负载时的反射信号电平之比，即反射损耗，反射损耗越大说明阻抗越匹配。

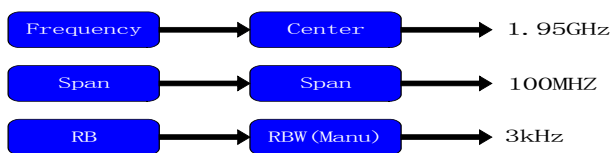
用频谱分析仪测量输入阻抗匹配情况时需要一个返回损失桥(Bridge)配合工作，返回损失桥的作用是将跟踪信号发生器TG(频谱分析仪自带的)输出的正向传输信号和由放大器反射的反向传输信号分离开，由同轴电缆将反射信号送到频谱分析仪测量电平的大小。

测量时应先将开路时的全反射信号校准到一个合适的电平值，校准的过程实际上测量和记录了全反射信号的大小以及返回损失桥、电缆、接头的误差，当接入放大器后的反射信号幅度会由仪器利用已有记录自动修正返回损失桥、电缆、接头的影响，提高测量精度。测量步骤如下：

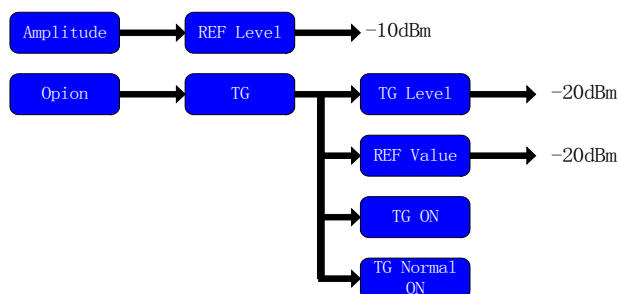
(1) 电路连接。依下图所示将频谱分析仪架设好；将Bridge的射频信号输入端口接至频谱分析仪之TG输出端；将Bridge之反射信号输出端口利用RF Cable连接至频谱分析仪之RF输入端。



(2) 将频谱分析仪的中心频率、测量范围、分辨率频宽(RBW)依下图分别设定为1.95GHz、100 MHz、3kHz。



(3) 频谱分析仪的校准。将连接于 Bridge 之 RF 输出端的 RF Cable 开路，然后依下图所示之按键步骤启动频谱分析之 TG (Tracking Generator) 功能(在 OPTION 中)，校正频谱分析仪。**注意：TG 输出信号的幅度可以改变，但在该实验中，放大器允许的输入信号幅度比较小，信号太大时容易损坏，请不要超过-20dBm。**



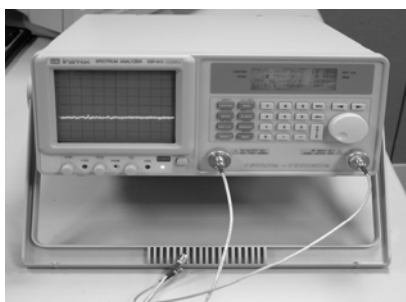
(4) 测量。在被测放大器的输出端接上负载终端，将连接于 Bridge 的 RF 输出端的 RF Cable 接于被测电路的输入端来量测其输入返回损耗，**记录图形。判读对应1.92GHz、1.95GHz、1.98GHz频率点的反射损耗。**

(5) 用同样方法测量两级放大器。

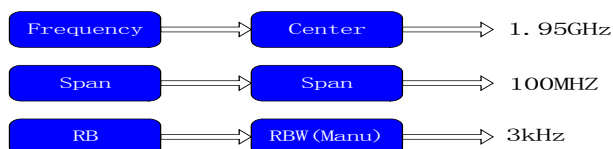
## 2、放大器增益与频率特性测量

测试说明：频谱分析仪中内置了一个跟踪信号发生器，该信号发生器的输出幅度经设定后保持不变，频率则由start频率线性的变到stop频率，测量时该信号被加到放大器的输入端，放大器的输出信号接到频谱分析仪的输入端测量幅度，仪器自动记录每个频点的幅度并换算成增益在屏幕上显示出来即为幅频特性曲线。但在接入放大器之前要先对跟踪信号进行校准，即先将跟踪信号的输出接到射频输入口，将跟踪信号校准到一个合适的电平值，校准的过程实际上测量和记录了跟踪信号的大小以及返回损失桥、电缆、接头的误差，当接入放大器输出信号时，幅度会由仪器利用已有记录自动修正返回损失桥、电缆、接头的影响，提高测量精度。

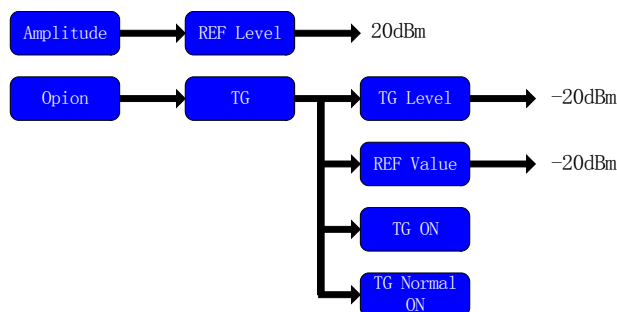
(1) 电路连接。依下图所示将频谱分析仪架设好；将频谱分析仪的TG 输出端与RF 输入端分别藉由一个N-to-SMA 之转接头接上一条RF Cable。



(2) 仪器测量参数的设置。将频谱分析仪之中心频率、量测范围、与分辨率频宽 (RBW) 依下图所示之按键步骤将其分别设定为1.95GHz、100MHz、3 kHz。



(3) 频谱分析仪的校准。将连接于TG 的RF Cable 与连接于RF 输入埠的RF Cable 串接起来，然后依下图所示之按键步骤启动频谱分析之TG (Tracking Generator) 功能，校正频谱分析仪。



(4) 测量。将连接于TG 的RF Cable 接于被测电路的输入端，而连接于RF 输入端的RF Cable 接于被测电路的输出端来测量放大器的增益和频率特性曲线，记录图形，判读对应1.92GHz、1.95GHz、1.98GHz频率点的增益。

(5) 用同样方法测量两级放大器

## 五、试验报告要求

### 1、格式与要求：

- (1) 题目
- (2) 实验目的
- (3) 实验仪器（记录所使用仪器与主要技术指标，特别是与本试验有关的技术指标）
- (4) 实验电路分析（说明本实验对象即电路的工作原理）
- (5) 实验原理与步骤（说明被测指标的意义和测量方法、接线图等，写出实验步骤和各步骤得到的实验结果、数据等）
- (6) 结果分析（对实验数据进行处理、分析，得出电路指标、特性曲线、变化趋势或其他结果，并与理论分析或计算相比较，说明结果正确与否及误差来源。

2、思考题：以下思考题请在实验预习和实验中加以考虑，并在实验报告中予以回答。

- (1) 请说明频谱分析仪的 Amplitude 下的 “ref level” 与 TG 下的 “

TG level” 以及 TG 下的 “ref level” 有何联系和区别？

(2) 请说明频谱分析仪的 “RBW” 与 ” VBW” 有何区别？

(3) 放大器输入端的返回损耗的测量有何意义？

(4) 放大器各频率点的增益是否相同？频带宽度是如何定义的？