

一、 实验目的和要求

- (1) 掌握自动增益控制放大器的实现方法和工作原理
- (2) 了解电路主要性能指标
- (3) 对放大器的增益、噪声系数、1dB 压缩点进行测量和分析

二、 实验原理

低噪声放大器（LNA）位于射频接收机的前端，它的噪声越小越好，另外，为了抑制接收机后面各级电路噪声对系统的影响，低噪声放大器需要具有一定的增益。由于受发射机功率大小、信号传输路径等的影响，接收信号的强弱是变化的，因此，放大器的增益应该是可调节的，如果由人工控制增益，实现起来不方便，也是很困难的。解决方法是采用自动增益控制电路（AGC），当放大器输入信号比较弱的时候，增益变大；而当输入信号比较强的时候，增益减小，使放大器的输出保持恒定。

1. 低噪声放大器的主要性能指标

(1) 增益：增益不能过大，也不能过小。过大会使下级电路的输入太大产生失真，过小又不能很好的抑制下面各级电路噪声的影响。且增益要自动可调。

(2) 噪声系数：噪声系数定义为系统输入信噪功率比与输出信噪功率比的比值，用分贝表示。多级放大器级联时，总的噪声系数为：

$$NF = NF_1 + \frac{NF_2 - 1}{G_1} + \frac{NF_3 - 1}{G_1 G_2} + \dots$$

噪声系数的测量普遍采用的方法有：使用噪声系数测量仪法、增益法和 Y 因子法，在此主要介绍增益法，这种方法主要基于频谱分析仪测量，主要适合高增益的或高噪声系数的情况。电路输入端接 50Ω 电阻，输出噪声功率谱使用频谱分析仪测量，其公式为：

$$NF(dB) = N_{out}(dBm/RBW) - 10\log(RBW) + 174dBm/Hz - Gain(dB)$$

(3) 非线性（1dB 增益压缩点）：定义 1dB 压缩点来衡量放大器的线性工作范围，1dB 压缩点定义为使增益比线性增益下降 1dB 时对应的输入、输出信号幅度值或功率值。

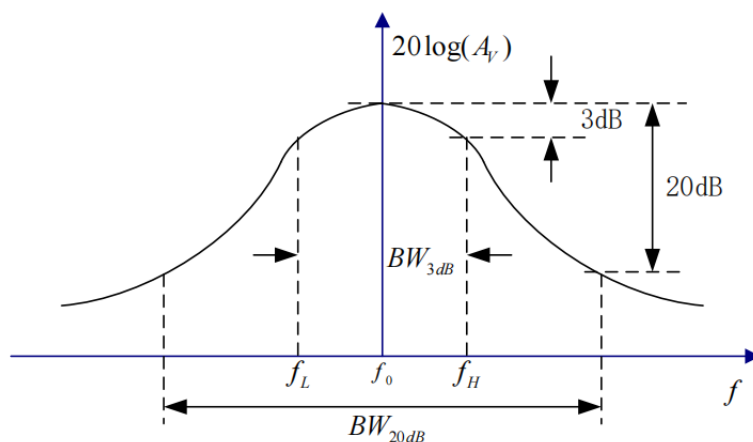


图 3.1.1 小信号调谐放大器幅频特性

图 1: 1dB 增益压缩点

2. AGC 主要性能指标

(1) 动态范围: 在给定输出信号幅值变化的范围内, 容许输入信号振幅的变化越大, 则表明 AGC 电路的动态范围越宽, 性能越好。AGC 电路的动态增益范围就是输入动态范围与输出动态范围之比, 也称为放大器的增益控制倍数, 用 MAGC 表示

$$MAGC = DiDo = (P_{imax}P_{imin})(P_{omax}P_{omin}) = (P_{omin}P_{imin})(P_{omax}P_{imax}) = G_{max}G_{min}$$

可见, 要扩大 AGC 电路的控制范围, 就要增大 AGC 电路的增益控制倍数 $MAGC$, 也就是要求 AGC 电路有较大的增益变化范围。增加 AGC 电路控制的级数可以扩大 AGC 电路的控制范围。

(2) 响应时间: 需要根据信号的性质和需要, 设计适当的响应时间。可采用调节环路带宽, 主要是调节低通滤波器的带宽的方式调整响应时间, 一般上限频率设计为 10 20Hz。

三、 实验电路分析

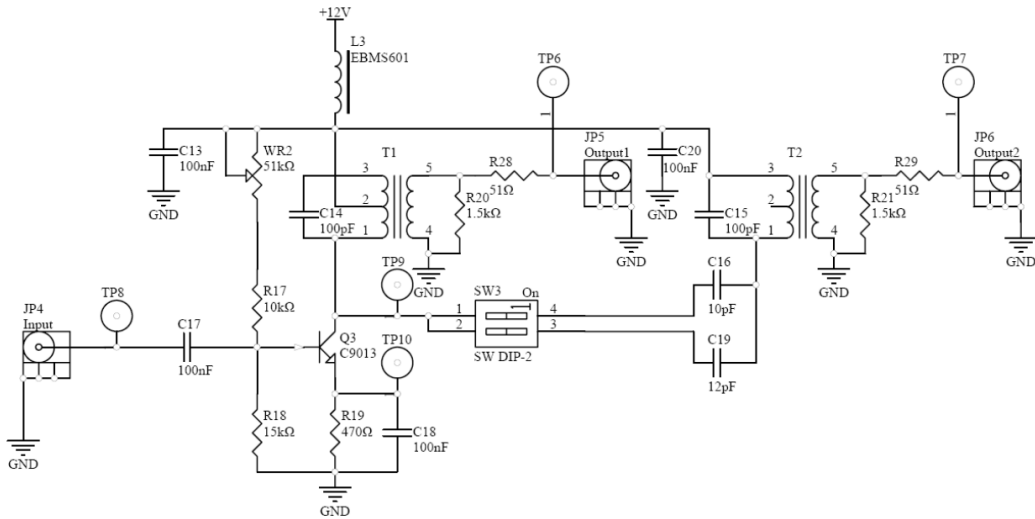


图 3.1.4 单、双调谐放大器实验电路

图 2: 两级级联 AD603 放大器

电路中两个 AD603 放大器级联，由电容 C9 耦合。采用顺序增益控制方式，两放大器 GNEG 管脚间的电压差为 1V 左右，由电阻 R13、R14、R15 分压得到。两放大器的增益分别由 R7、R8 确定，本实验电路中取值为 2.5kΩ，则单级最大增益约为 42dB，因此电路的最大增益可达 84dB。通过选取合适的 R7、R8，增益控制范围可在 20dB 内变动。电路中 Q2 和 R6 构成一个检波器，用于检测放大器输出信号幅度的变化；Q1 和外围电阻构成一个简单的恒流源电路，其集电极电流保持基本不变；流入电容 C4 的电流是 Q1 与 Q2 集电极电流的差值，Q2 集电极的电流随着输出信号幅度的增加而增加。自动增益控制电压 VAGC 是这个差值的时间积分，因此它随输出信号幅度的变化而变化，从而达到自动调整放大器增益的目的。电路稳定时，Q2 检波电流的平均值要与 Q1 的电流平衡。如果放大器输出幅度太小不能满足这个条件，VAGC 会增加，使得放大器增益增加，输出幅度变大，直到 Q2 与 Q1 的平均电流达到平衡。开关 SW4 及外围的电阻网络构成一可变衰减器。SW4 控制对输入信号的衰减量，设为“1000”（即接通第一路开关），衰减 0dB；设为“0100”，衰减 20dB；设为“0010”，衰减 40dB；设为“0001”，衰减 60dB；设为“0000”，衰减 80dB。开关 SW2 用以控制 AGC 环路。当开关 SW2 处于断开（Open）状态时，整个放大电路处于开环状态，增益由可变电阻 WR1 控制。当开关 SW2 处于闭合（Close）状态时，整个放大电路处于闭环状态，可以实现自动增益控制功能。

四、 实验设备

- (1) 实验办 No01 1 块
- (2) 信号源 1 台
- (3) 双踪示波器 1 台
- (4) 频谱分析仪（含 TG）1 台
- (5) 外用表 1 台

五、 实验数据与结果分析

1. 开环放大器的测量

1.1 最大开环增益的测量

高频信号源的输出连接到实验板的 JP2；设定高频信号源产生幅值为-40dBm，频率为 10.7MHz 的正弦信号；设定频谱分析仪的中心频率为 10.7MHz，扫描宽度为 100KHz，调节可变电阻 WR1，使输出信号最大且不失真，其测量结果如下图：

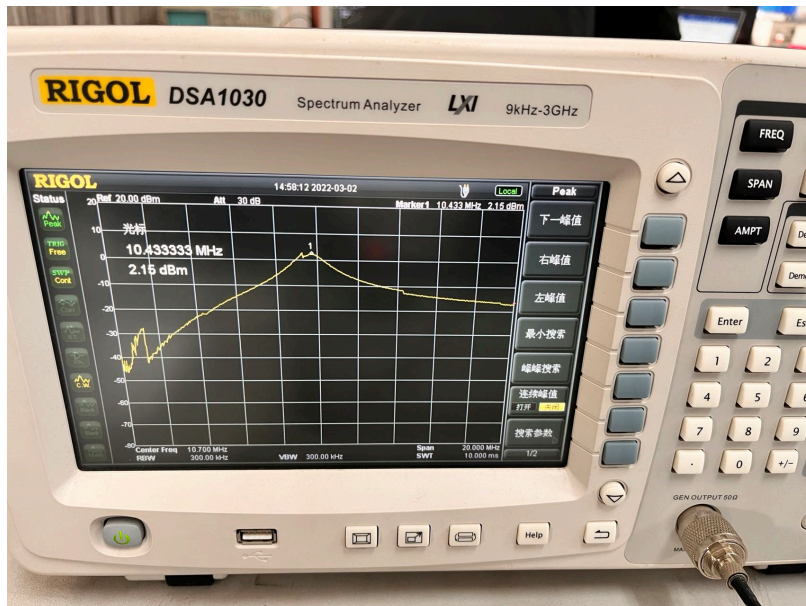


图 3: 输出信号

可以从图中读出，信号峰值为-5.91dBm，又因为前面设置了输入信号衰减 40dB，因此最大增益 $G = (-5.91) - (-40) + 40 = 74.09\text{dB}$ 。

1.2 噪声系数 NF 的测量

将电路板输入端与高频信号源断开，接 50Ω 电阻；设定可变衰减器衰减为 0dB（将 SW4 设为“1000”）；设定频谱分析仪扫描带宽为 100KHz，分辨率带宽为 100Hz，参考电平为-40dBm。用频谱分析仪测量放大器在 10.7MHz 频率点上的噪声功率值。测量结果如下图

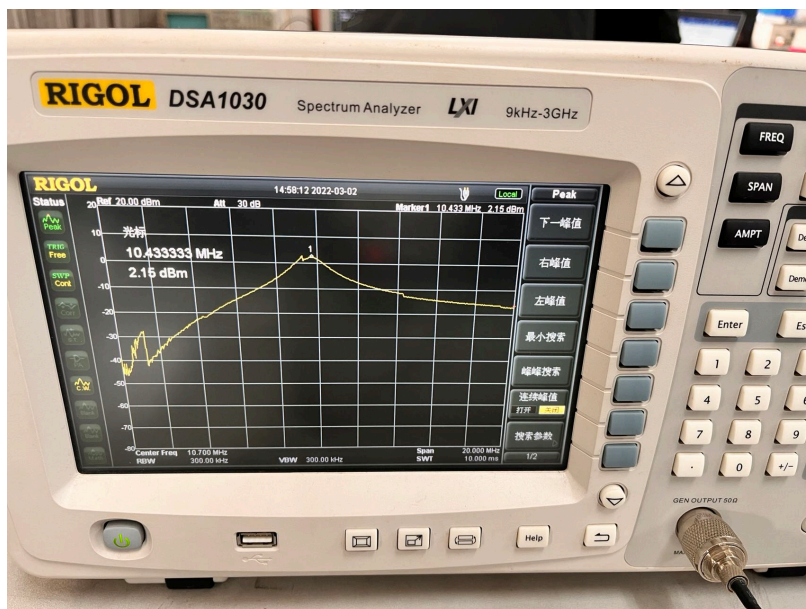


图 4: 噪声功率

可以从图中读出, 10.7MHz 频率点上的噪声功率值为-73.29dBm。根据公式 $NF(dB) = N_{out}(dBm/RBW) - 10 \log(RBW) + 174dBm/Hz - Gain(dB)$ 可以算出 $NF(dB) = -73.29 - 10 \log(100) + 174 - 74.09 = 6.62dB$ 噪声系数应当越小越好, 本电路的噪声系数较大。

1.3 1dB 增益压缩点的测量

首先需要设定放大电路的增益, 具体步骤为: 设定可变衰减器衰减为 40dB (将 SW4 设为 “0010”); 在 JP2 端由高频信号源输入大小为 0dBm, 频率为 10.7MHz 的正弦信号; 调节可变电阻 WR1, 使 JP3 端输出信号大小为 0dBm, 则此时放大器的增益为 40dB。进行 1dB 压缩点测量时, 调整高频信号源的输出功率在 0dBm 至 20dBm 之间变化 (实际输入在 -40dBm 至 -20dBm 之间变化), 以 1dBm 为步进。



图 5: 高频信号从 0dBm 至 20dBm 依次测量，示意图为 1dBm 时

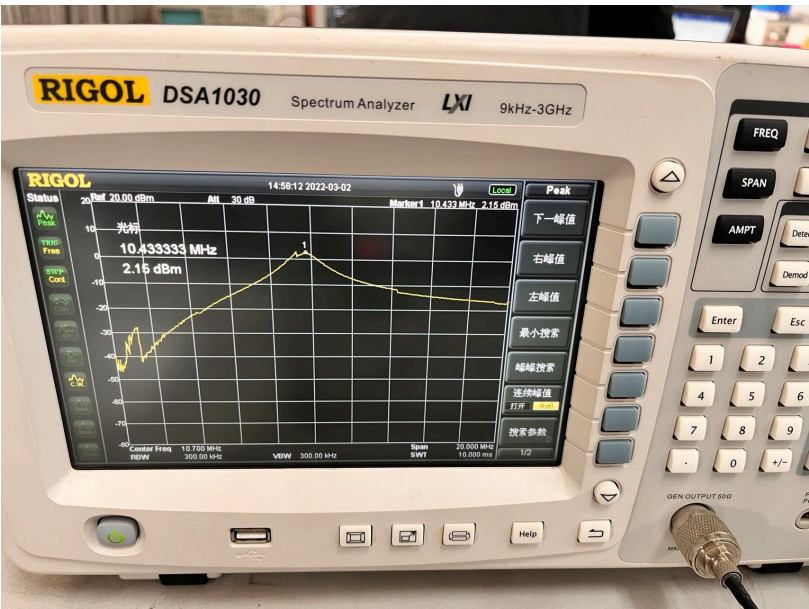


图 6: 高频信号 1dBm 时测量结果示意

记录对应的输入、输出信号功率值，填入下表：

输入功率 (dBm)	-40	-39	-38	-37	-36	-35	-34	-33	-32	-31
输出功率 (dBm)	0	0.98	1.86	2.7	3.47	4.32	5.2	6.03	6.89	7.62
增益 (dB)	40	39.98	39.86	39.7	39.47	39.32	39.2	39.03	38.89	38.62
输入功率 (dBm)	-30	-29	-28	-27	-26	-25	-24	-23	-22	-21
输出功率 (dBm)	8.1	8.42	8.57	8.7	8.76	8.81	8.8	8.8	8.73	8.73
增益 (dB)	38.1	37.42	36.57	35.7	34.76	33.81	32.8	31.8	30.73	29.73

从上表中可以看出，刚开始随着输入功率的增大，增益基本上为恒定值在 40dB 左右，然后到输入功率增大到-32dBm 时输出功率为 6.89dBm，增益仅为 38.89dBm，该点为 1dB 压缩点。小于该点的输入功率的小信号会工作在线性区域。

2. AGC 放大器特性测量

将开关 SW2 置于闭合状态，则放大器处于自动增益控制状态。当输入信号小于一定幅度时，AGC 放大器增益达到最大。随着输入信号的加大，放大器的增益逐渐减小，输出信号幅度保持基本不变。测量时，将输入信号衰减器设定为衰减 20dB；在 JP2 端由高频信号源输入大小为-50dBm，频率为 10.7MHz 的正弦信号，以 10dBm 为步进增加输入信号的功率，直到 30dB。

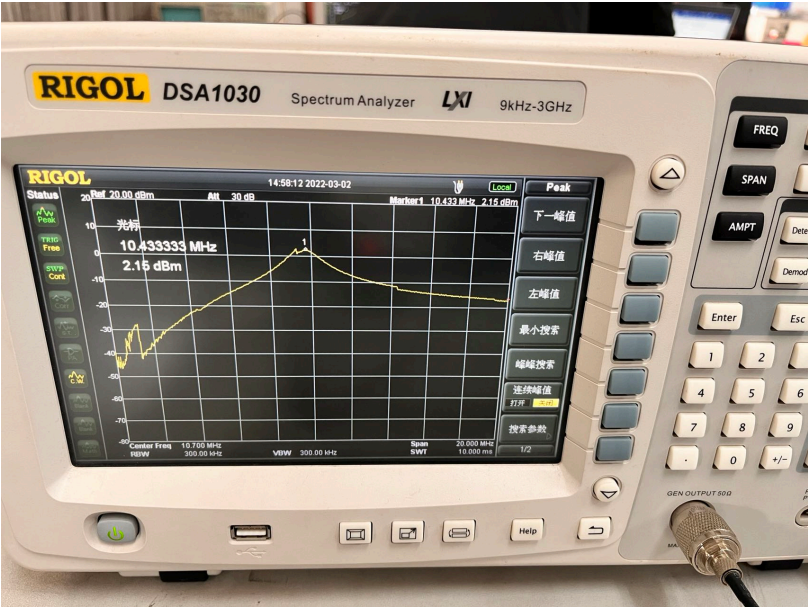


图 7: 因为最后无法达到 30dBm , 最后到 24dBm 左右为止

用频谱分析仪和示波器观察输出信号的大小，当输出信号功率不随输入信号功率的增加而增加时，放大器自动增益控制开始发挥作用。记录输入信号功率与输出信号功率填入下表：

输入功率 (dBm)	-70	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	3.98
输出功率 (dBm)	2.07	3.17	3.17	3.35	3.63	3.66	3.61	3.63	3.66
增益 (dB)	72.07	63.17	53.17	43.35	33.63	23.66	13.61	3.63	-0.32

从上表中可以看出，在输入信号为-70dBm 到-60dBm 增加时，输出信号有 1 dBm 左右的增加，当输入信

号大于-60dBm 时随着输入信号的逐渐增大，输出信号功率趋近于稳定不变，实现了自动增益控制。其最大增益 $G_{\max} = 72.07\text{dB}$, $G_{\min} = -0.32\text{dB}$, 动态范围 $\text{MAGC} = -0.32\text{dB} \sim 72.07\text{dB}$ 。

六、 思考题

1. 低噪声放大器的主要性能指标有哪些？
2. 结合实验电路，简述自动增益控制放大器的电路工作原理。
3. 实验电路中，为何要在放大器输入端设置可变衰减器？