

# 对 CDG2000 中 Post Mixer Amplifier 的分析

BG6RDF

CDG2000 中的 Post Mixer Amplifier 具有噪声小, IP3 高的特点, 很有特色。下面参考有关资料对该放大器进行分析。

## 一. 放大器电路

该放大器的原始电路这里就不重复了, 图 1 是简化的电路, 将原图中的四个 J310 场效应管简化为一个。

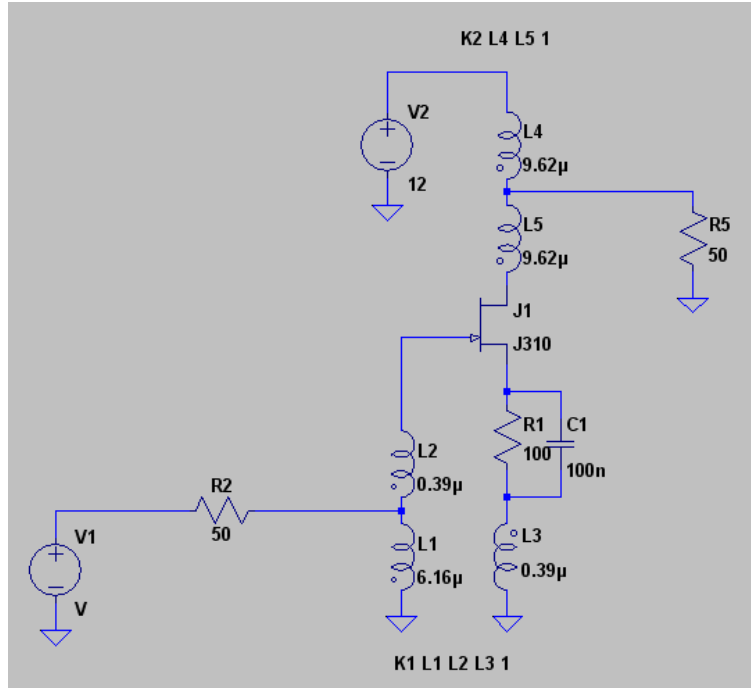


图 1: 简化的电路

从图 1 中可以看到该电路是一个变压器负反馈放大电路, 图中标注的输入变压器 K1 的电感量是按照 L1:L2:L3=4T:1T:1T 在 BN61-202 上绕制进行估算的。输出变压器 K2 的电感量是按照 L4:L5=5T:5T 在 BN61-202 上进行估算的。为便于进行分析, 图 1 交流等效电路可表示为图 2。

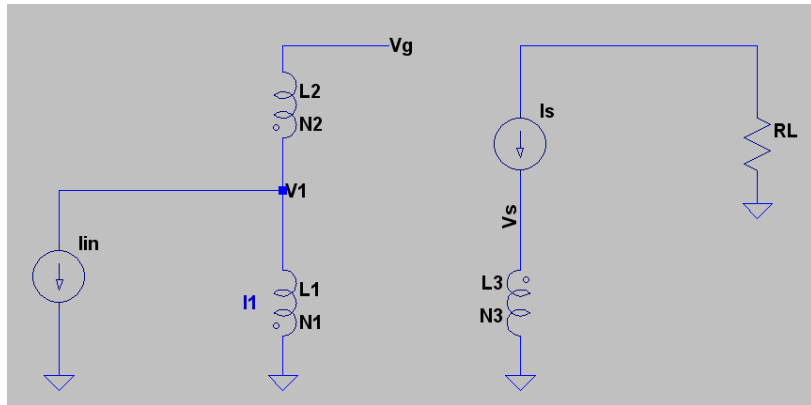


图 2: 交流等效电路

图 2 中输入变压器的匝数分别为 N1, N2, N3。J310 栅极电压 Vg, 源极电压 Vs, 输入电压 V1。栅极可视为开路, 所以初级电流源 I1=Iin, 源极电流 Is。RL 为 200 欧。

## 二. 电路分析

下面针对图 2 对电路进行分析。

若将输入变压器 K1 视为理想变压器，且 L2 开路则有：

$$V_1 \cdot I_1 = -V_s \cdot I_s \quad \text{公式 1}$$

$$V_1 / V_s = -N1 / N3 \quad \text{公式 2}$$

$$(V_g - V_1) / V_s = -N2 / N3 \quad \text{公式 3}$$

由公式 1, 2 可得出：

$$I_1 = I_s \cdot \frac{N3}{N1} \quad \text{公式 4}$$

由公式 3 可得出：

$$V_g = -V_s \frac{N2}{N3} + V_1 = -\frac{V_s \cdot N2}{N3} - \frac{V_s \cdot N1}{N3} = -\frac{V_s}{N3} (N1 + N2) \quad \text{公式 5}$$

若 J310 的跨导为  $g_m$ ，则：

$$I_s = g_m (V_g - V_s) \quad \text{公式 6}$$

将公式 5 代入公式 6 则有：

$$I_s = -g_m V_s \frac{N1 + N2 + N3}{N3} \quad \text{公式 7}$$

下面计算输入阻抗：

$$R_{in} = V_1 / I_1 = \frac{-V_s \cdot N1 / N3}{I_s \cdot N3 / N1} = -\frac{V_s}{I_s} \cdot \frac{N1^2}{N3^2} = \frac{N1^2}{N3} \cdot \frac{1}{g_m (N1 + N2 + N3)} \quad \text{公式 8}$$

下面计算功率增益：

$$G_p = P_{out} / P_{in}$$

由公式 1 和公式 7 可得：

$$I_s = g_m \cdot \frac{N1 + N2 + N3}{N3} \cdot \frac{P_{in}}{I_s} \Rightarrow I_s^2 = g_m \cdot P_{in} \cdot \frac{N1 + N2 + N3}{N3}$$

$$G_p = P_{out} / P_{in} = I_s^2 \cdot R_L / P_{in} = g_m \cdot \frac{N1 + N2 + N3}{N3} \cdot R_L \quad \text{公式 9}$$

下面就图 1 中 J310 的偏置进行实际计算：

首先按照公式 10 计算静态电流：

$$I_s = \frac{V_p}{(2 \cdot R_s^2 \cdot I_{dss})} \cdot (V_p + \sqrt{V_p^2 - 4 \cdot R_s \cdot I_{dss} \cdot V_p}) - \frac{V_p}{R_s} \quad \text{公式 10}$$

上式中  $R_s$  为图 1 中所示 100 欧姆， $V_p$  为夹断电压，取 -3V， $I_{dss}$  为饱和漏电流取 35mA，这样  $I_s$  约为 12mA。

再按照公式 11 计算跨导：

$$g_m = -2 \cdot \frac{I_{dss}}{V_p} \cdot \left(1 - \frac{V_{gs}}{V_p}\right)$$

公式 11

上式中  $V_{gs}$  为栅源电压，约等于  $12\text{mA} \times 100 \text{ 欧} = -1.2\text{V}$ ，因此  $g_m$  约等于  $14\text{mS}$ 。因为 CDG2000 采用了 4 个 J310 并联，因此  $g_m$  约为  $56\text{mS}$ 。这样  $R_{in}$  约为  $47 \text{ 欧}$ ， $G_p$  约为  $18\text{dB}$ （比 CDG2000 文档高  $4\text{dB}$ ，可能是 CDG2000 的文档中的增益包含了放大器后的电阻衰减器，但与仿真的结果一致性很好）。

### 三. 仿真

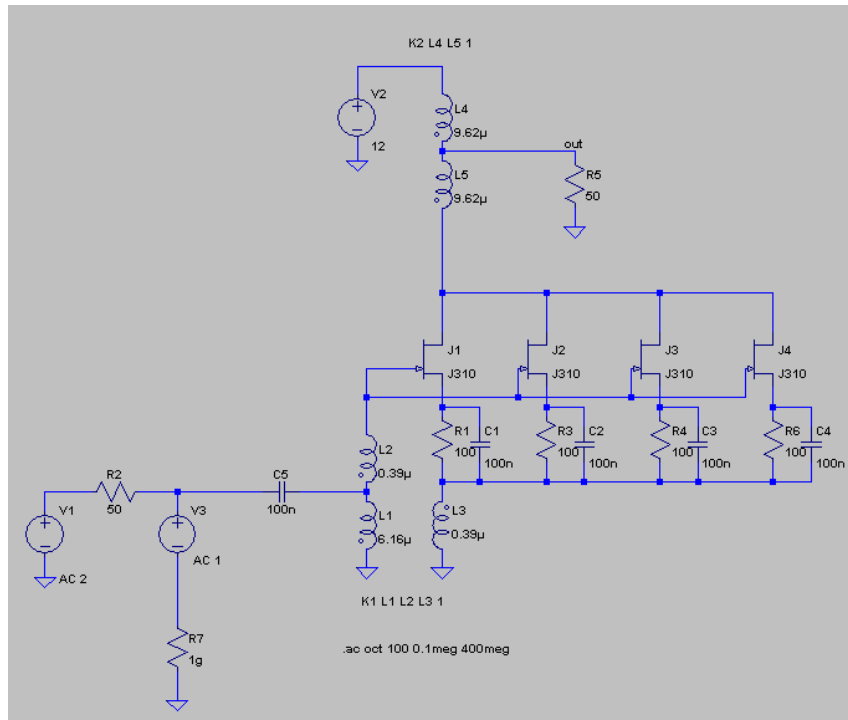


图 3: 仿真电路

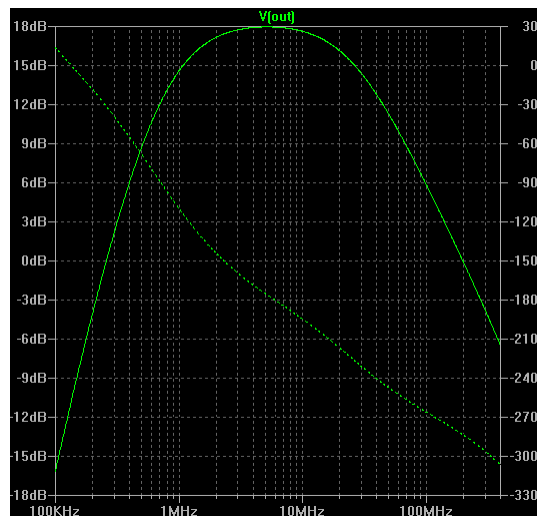


图 4: 增益曲线

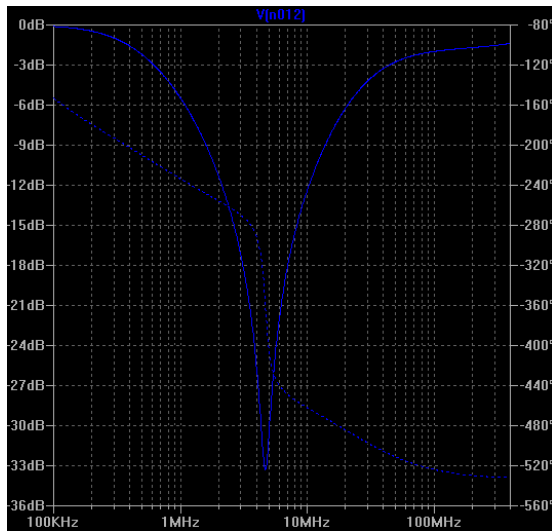


图 5: S11 曲线

#### 四. 实验

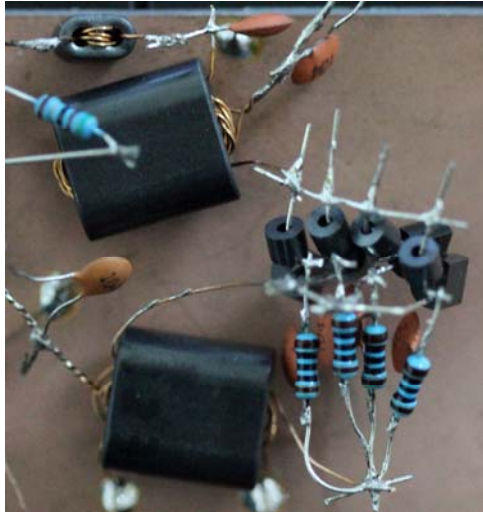


图 6: 实验板(实测单管静态漏电流为 13mA 左右)

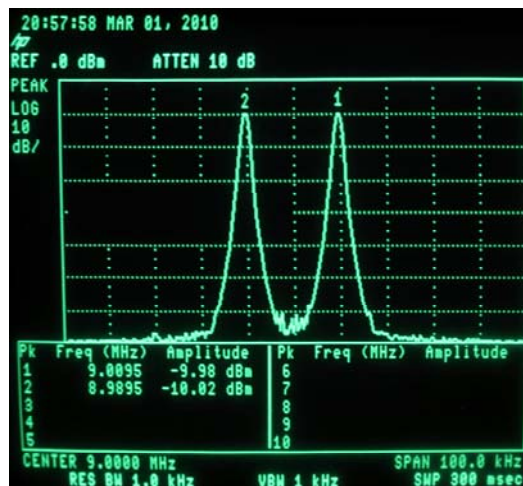


图 7: 输入幅度为 -10dBm, 相差 20KHz 的两个 9M 左右的信号

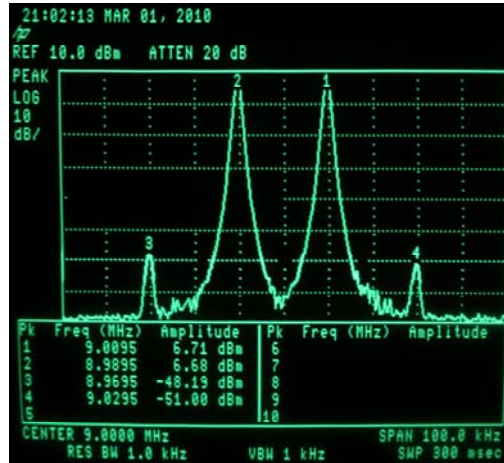


图 8: 经过放大器后的输出

根据图 8 计算可知, 实验板的增益约为 17dB, IIP3 约为 17dBm 左右 (CDG2000 的有关文档中称该电路的 IIP3 为 13dBm)。

参考资料:

1. *Introduction to Radio Frequency Design* W7ZOI
2. *Experimental Methods in RF Design* W7ZOI