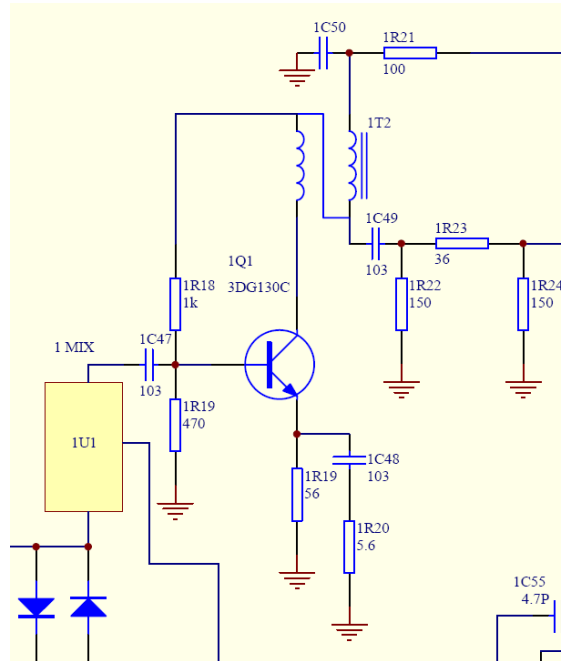


对 TH2000A 中负反馈放大器的分析

BG6RDF

一. 电路

该电路摘自 BD6RA 的 TH2000A，下面分析该电路的输入输出阻抗和增益。



1R18 是反馈电阻，文中用 R_f 标识

文中 R_s 是信号源阻抗，本电路中为 50 欧

文中 R_L 是负载电阻为 50 欧，折算到集电极为 200 欧

Gm 为跨导，公式为 $Gm = \frac{I_E(mA)}{26(mV)}$

二. 输入阻抗和增益

对输入阻抗和增益的分析依赖于下述假设：

1. 上图中 1Q1 电位为 E
2. 假设 1Q1 基极加上电压为 1V 的信号

分析 1T2 变压器中心抽头的电流，按照基尔霍夫电流定理(KCL)，可得出下面的等式：

$$0 = Gm + \frac{E/2 - 1}{R_f} + \frac{E}{R_L} \quad \text{Eq 1}$$

推导出

$$E = \frac{1 - Gm.R_f}{R_L + 2R_f} . 2R_L \quad \text{Eq 2}$$

基极电流公式：

$$I_{in} = \frac{E/2 - 1}{R_f} = \frac{E - 2}{2R_f} \quad \text{Eq 3}$$

所以输入阻抗为：

$$Z_{in} = \frac{2R_f}{E - 2} \quad \text{Eq 4}$$

将 Eq 2 代入 Eq 4 有

$$Z_{in} = -\frac{R_L + 2R_f}{GmR_L + 2} \quad \text{Eq 5}$$

又因为

$$Gm = \frac{1}{R_d} \quad \text{Eq 6}$$

$$R_d = r_e + r_d$$

将 Eq 6 带入 Eq 5 有

$$Z_{in} = R_d \cdot \frac{R_L + 2R_f}{R_L + 2R_d} \quad \text{Eq 7}$$

从 Eq 2 也可得出电压增益

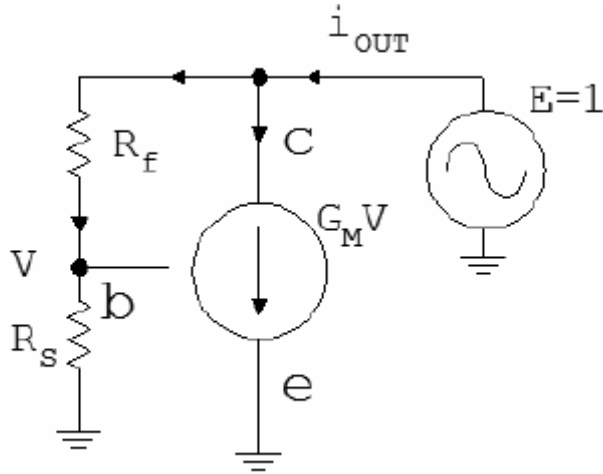
$$G_v = \frac{2R_L \cdot (R_d - R_f)}{R_d \cdot (R_L + 2R_f)}$$

根据实测，上图中集电极电流约为 30mA，则 R_d 近似为 6 欧， Z_{in} 约为 63 欧。 G_v 约为 -30，因为这里的增益是集电极的，通过变压器折算到输出为 -15，约 23dB，减去 pad 约 6dB 的衰减后，实际增益约为 17dB（W7ZOI 对该电路的表述是约 16dB，基本一致）。

三. 输出阻抗

上面计算了输入阻抗，下面计算输出阻抗：

假设在 1Q1 集电极施加一个 1V 的信号，则交流等效电路类似下图：



基极电压

$$V = \frac{\frac{E}{2} \cdot R_s}{R_f + R_s} \quad \text{Eq 8}$$

集电极电流

$$I_c = G_m \cdot V = \frac{G_m}{2} \cdot \frac{R_s}{R_f + R_s} \quad \text{Eq 9}$$

$$I_{out} = \frac{\frac{E}{2}}{R_f + R_s} + \frac{G_m}{2} \cdot \frac{R_s}{R_f + R_s} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1 + G_m R_s}{R_f + R_s} \quad \text{Eq 10}$$

$$Z_{out} = E / I_{out} = 2R_d \cdot \frac{R_f + R_s}{R_d + R_s} \quad \text{Eq 11}$$

用 Eq 11 计算上图的输出阻抗，约为 225 欧，注意这是集电极输出阻抗，通过 4: 1 输出变压器后，输出阻抗约为 56 欧。

从上面的推算可看出这种负反馈放大电路的输出依赖于信号源阻抗，输入阻抗依赖于负载阻抗。所以在输出端必须使用 PAD，确保阻抗匹配。

四. 匹配

在匹配的情况下有

$$R_s = R_L / 4 \quad \text{Eq 12}$$

由 Eq 7 可得出

$$R_d = \frac{R_s \cdot R_L}{R_L + 2R_f - 2R_s} \quad \text{Eq 13}$$

将 Eq 12 代入 Eq 13 得到

$$R_d = \frac{2R_s^2}{R_s + R_f}$$

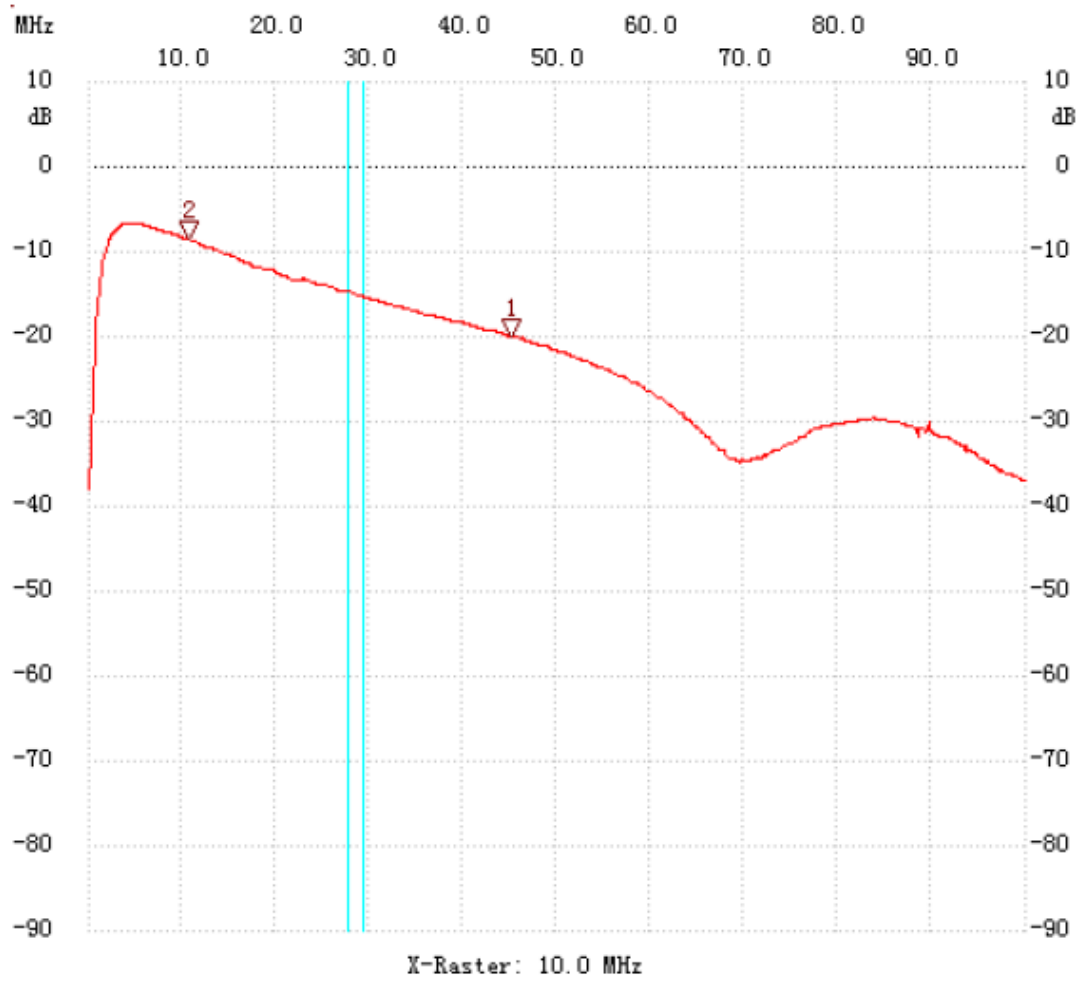
Eq 14

五. 实际测试

根据本文所讨论的电路，制作了测试电路，使用 NWT-500 进行测试。测试时，NWT-500 信号输出设置为衰减 30dB，放大器输出未接-6dB PAD。测试结果见附图。下面是根据测试结果制作的表格。

三极管型号	10.7MHz 增益	45MHz 增益
3DG130C	21.5dB	10dB
2N5109	24dB	17dB
MRF586	24dB	19dB
2SC5551	24dB	20dB

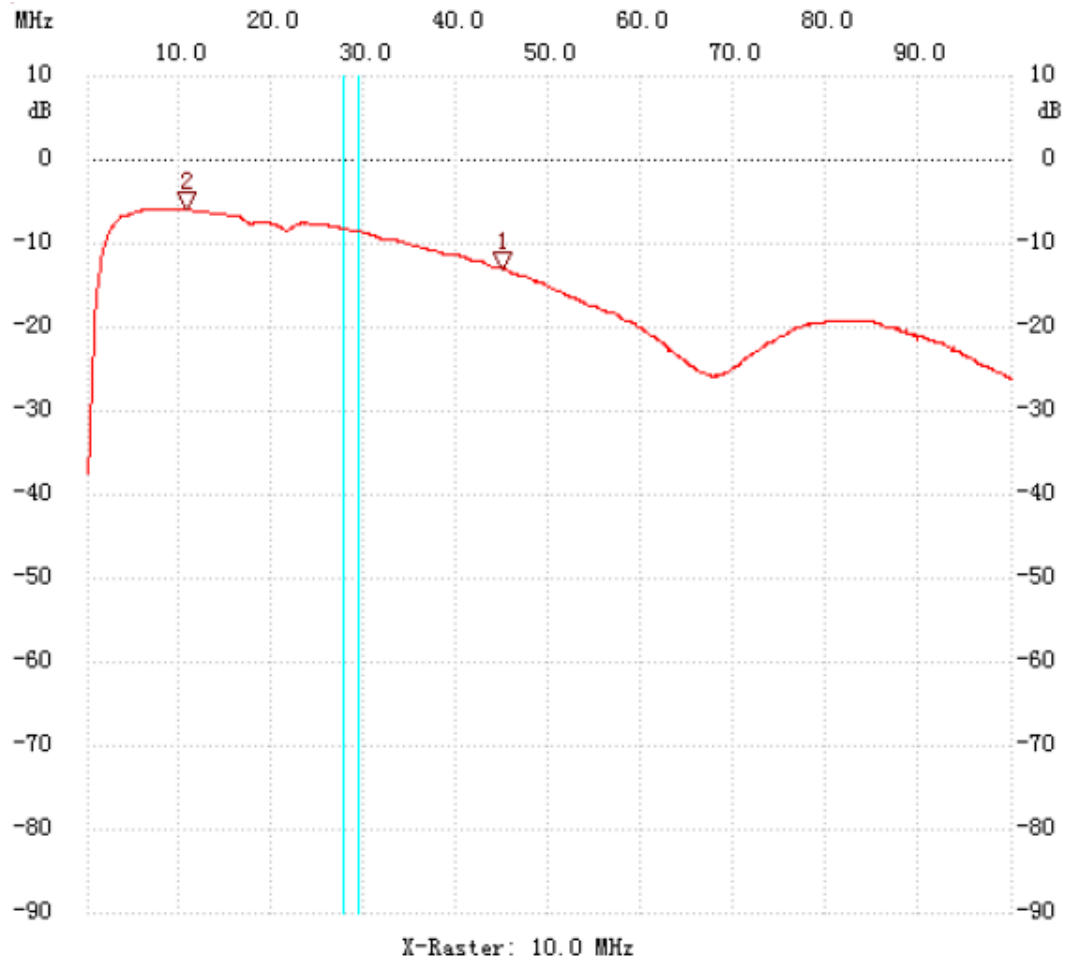
表 1: 各类三极管测试结果比较



Kursor 1:
45.254800 MHz
Kanall: -20.12dB

Kursor 2:
10.689400 MHz
Kanall: -8.57dB

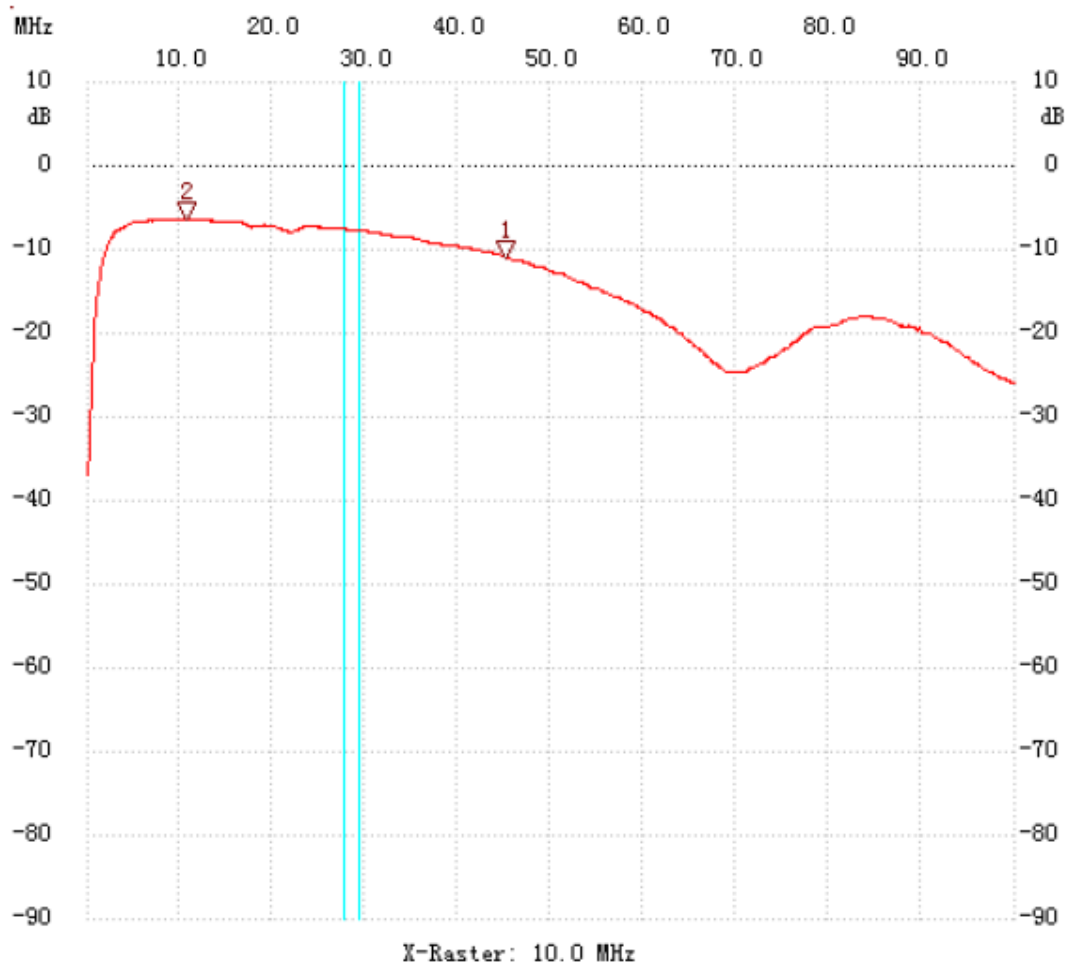
附图 1: 3DG130C 增益曲线



Kursor 1:
44.955100 MHz
Kanall: -13.15dB

Kursor 2:
10.689400 MHz
Kanall: -5.98dB

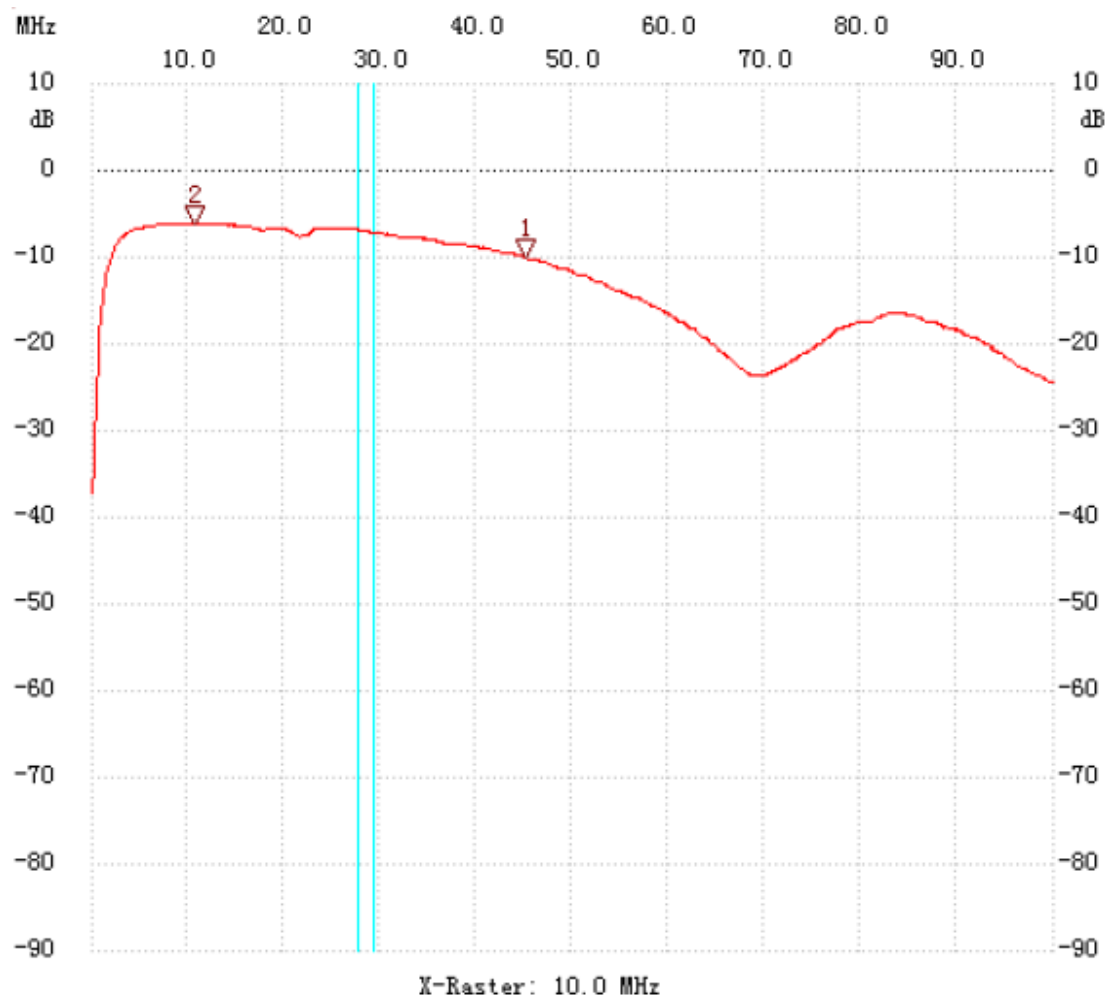
附图 2: 2N5109 增益曲线



Kursor 1:
45.254800 MHz
Kanall: -10.96dB

Kursor 2:
10.689400 MHz
Kanall: -6.38dB

附图 3: MRF586 增益曲线



Kursor 1:
45.254800 MHz
Kanall: -9.96dB

Kursor 2:
10.689400 MHz
Kanall: -6.18dB

附图 4: 2SC5551 增益曲线

参考:

1. http://w7zoi.net/Transistor_Models_and_the_FBA.pdf
2. http://w7zoi.net/fba_with_simple_model.pdf