

实验二 两级放大电路仿真及实验

张蔚桐 2015011493 自 55

2017 年 4 月 12 日

1 预习任务

1.1 JFET 管的输入特性和传输特性的测试

如图 1所示是 N 沟道型 JFET 管 2N5486 的输入特性测试电路图, 对 V_1 进行直流参数仿真, 可以得到如图 3的仿真图像。

从图像可以得到, JFET 的 $U_{GS(off)} \approx -3.772V$

如图 2所示是 2N5486 的传输特性测试电路图, 仿真时将 IV 测试仪选择为 NMOS 管测量模式, 可以得到如图 4的仿真图像其中, 对图像静态工作点附近进行进一步细致的仿真可以得到如图 5所示的图像, 其中, 三条曲线分别为 $V_{gs} = -2.222, -2.778, -3.333V$ 时的特性图

因此,可以得到 2N5486 的 $I_{dss} = 14.4648mA, 1.4 < g_m < 2.4(mA/V^2)$, 其中 g_m 的变化比较大, 收仿真条件的限制只能给出近似的值

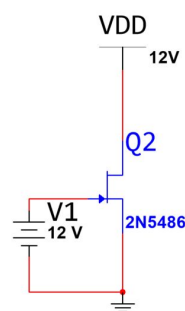


图 1: 输入特性测试电路

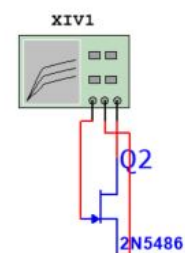


图 2: 传输特性测试电路

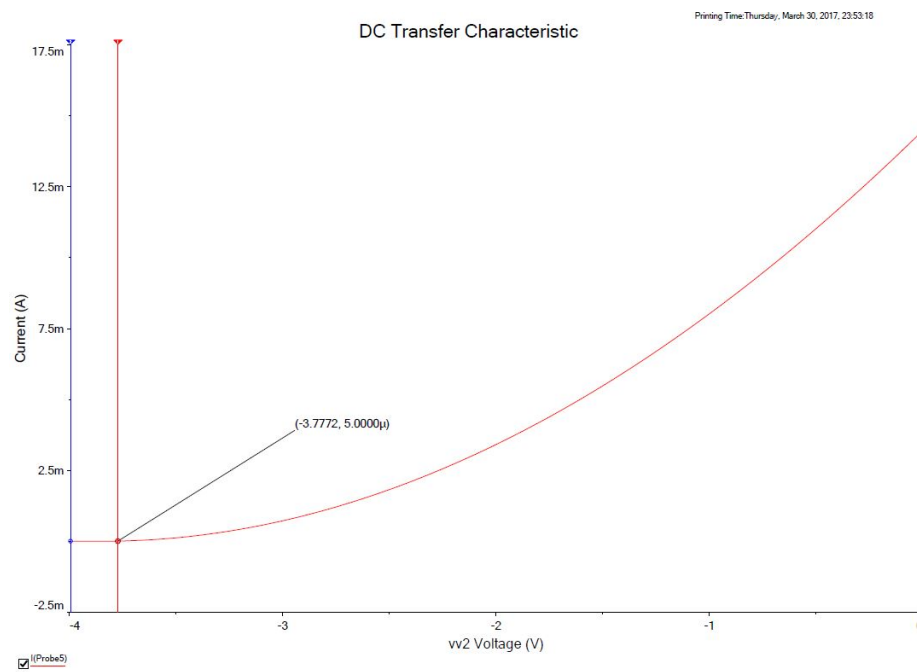


图 3: 2N5486 输入特性曲线

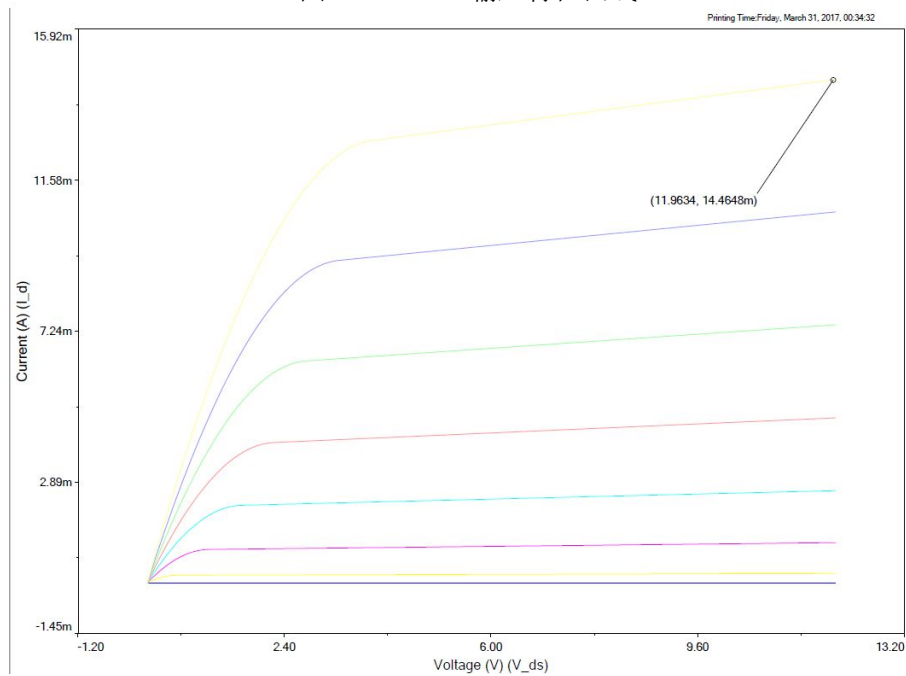


图 4: 2N5486 传输特性曲线

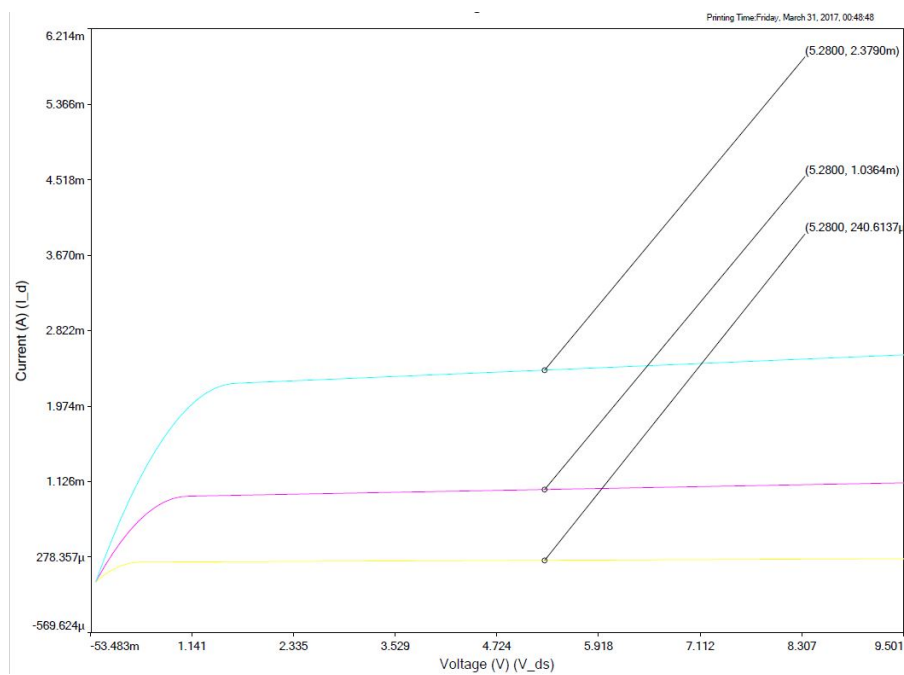
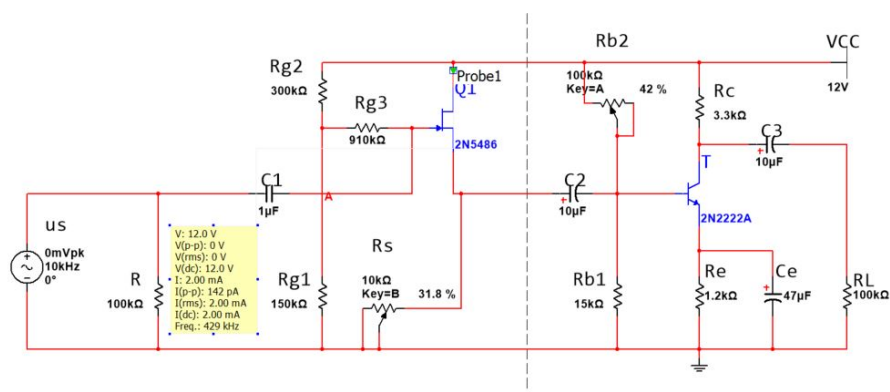
图 5: 工作点附近的 g_m 的测量

图 6: (两级) 放大电路电路图

1.2 JFET 单管 CD 电路的理论计算和仿真

1.2.1 静态参数的设置

如图 6 所示是已经搭建好的两级放大电路图，其中后级电路采用第一次实验中使用 9011 搭建的 CE 电路（这里使用 2N2222A 代替 9011）。实验电路参数满足 $I_{CQ} = 2\text{mA}$ 。具体的参数实现在上次实验中已经经过了理论计算和验证了，这里从略

这里着重分析前级电路的静态工作情况。首先可以近似得到 $U_a = 3\text{V}$ 实验要求 $I_{DQ} = 2\text{mA}$ 因此可以得到

$$I_{DQ} = \frac{I_{DSS}}{U_{GS(off)}^2} ((3 - I_{DQ}R_s)^2 - U_{GS(off)}^2)$$

可以解得 $R_s = 3.512\text{k}\Omega$

和图 6 的仿真结果 $R_s = 3.18\text{k}\Omega$ 相差不大

1.2.2 动态参数的测试

显然，电路的输入电阻 $R_i \approx 100\text{k}\Omega$ 如图 8 所示，电路测量电阻约为 $91\text{k}\Omega$ ，和估算值相近

根据 CD 电路的基本知识，我们可以得到 $A_u = \frac{g_m R_s}{1 + g_m R_s} = 0.88$ 如图 7 所示，可以测得仿真值大约为 0.91，和计算得到的值相近

1.3 两级放大电路的搭建和仿真

同上节，图 6 所示是已经搭建好的两级放大电路图，根据之前的实验分析可以直接得到 $R_i = 100\text{k}\Omega$, $R_o = 3.3\text{k}\Omega$ 而图 9,?? 是他们的仿真电路，仿真测得 $R_i = 91\text{k}\Omega$, $R_o = 3.08\text{k}\Omega$ 和理论计算基本相近

CD 电路电路下面讨论两级电路放大系数的问题，我们估计三极管 $\beta = 220$, $r_{be} = 3\text{k}\Omega$ 并设 CD 电路 $U_{gs} = U$ 可以得到：

$$\begin{aligned} U_i &= U + g_m U (R_s // R_{b1} // R_{b2} // r_{be}) \\ U_o &= \frac{\beta R_c g_m U (R_s // R_{b1} // R_{b2} // r_{be})}{r_{be}} \\ A &= \frac{\beta R_c g_m (R_s // R_{b1} // R_{b2} // r_{be})}{r_{be}} / (1 + g_m (R_s // R_{b1} // R_{b2} // r_{be})) = 184 \end{aligned} \quad (1)$$

如图??仿真可得电路放大系数为 168，误差可以接受。

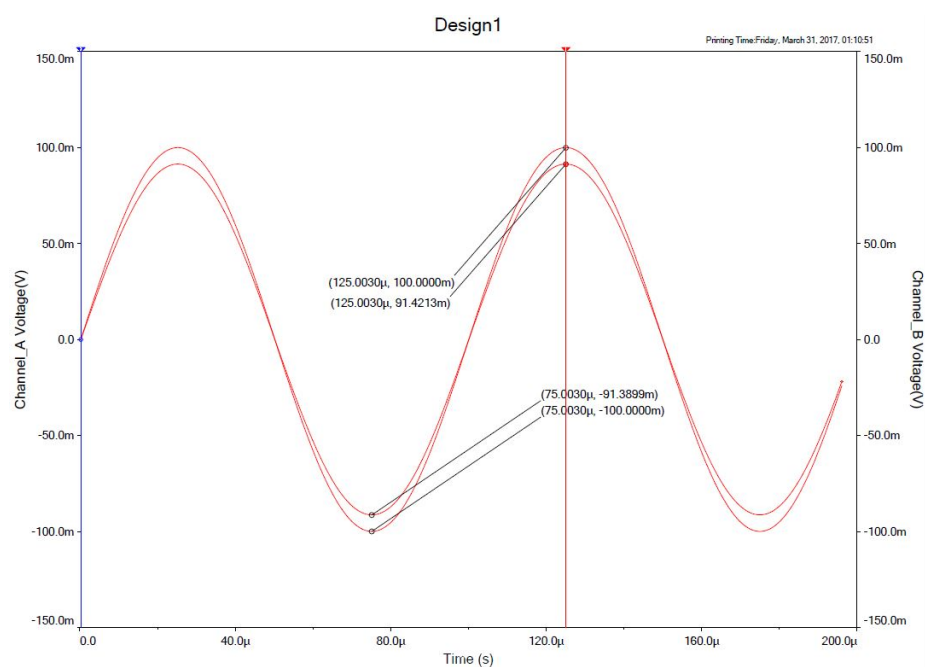


图 7: 单级 CD 电路的电压放大参数

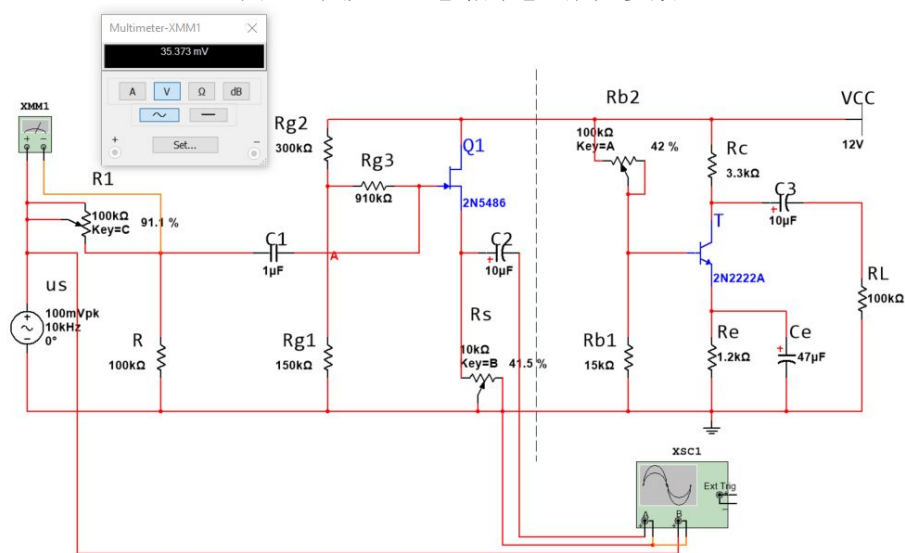


图 8: 单级 CD 电路的输入电阻

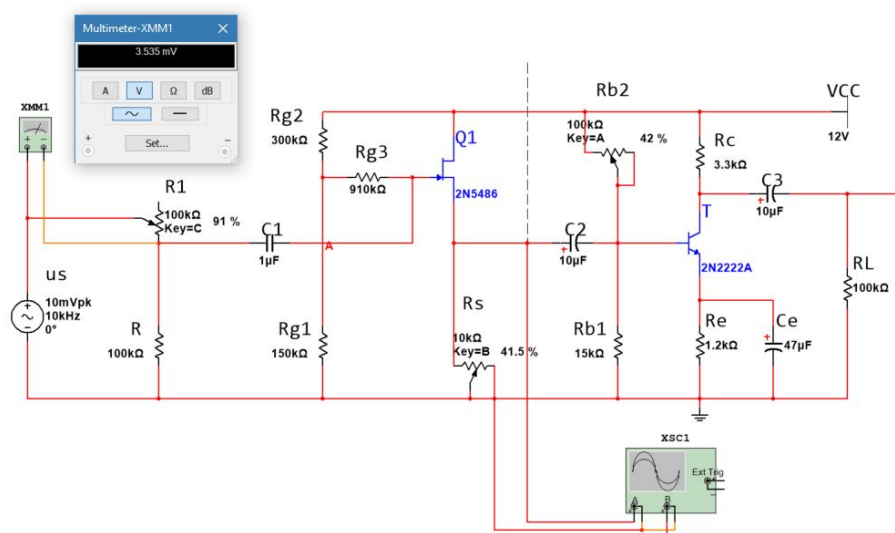


图 9: 两级放大电路的输入电阻测试图

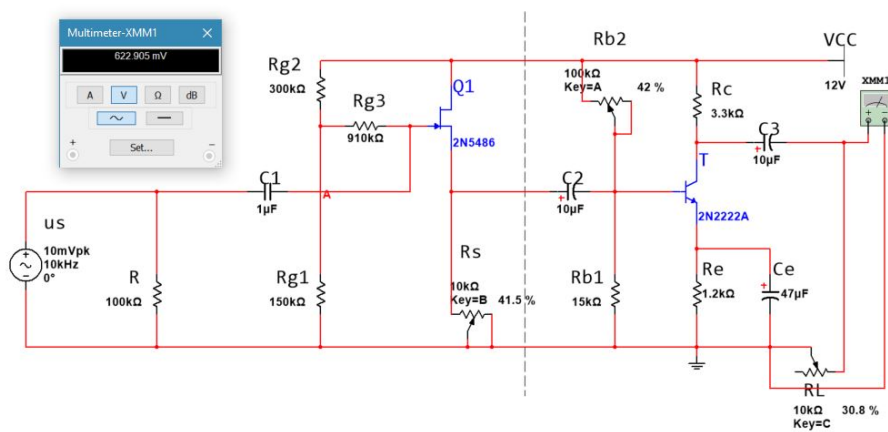


图 10: 两级放大电路的输出电阻测试图

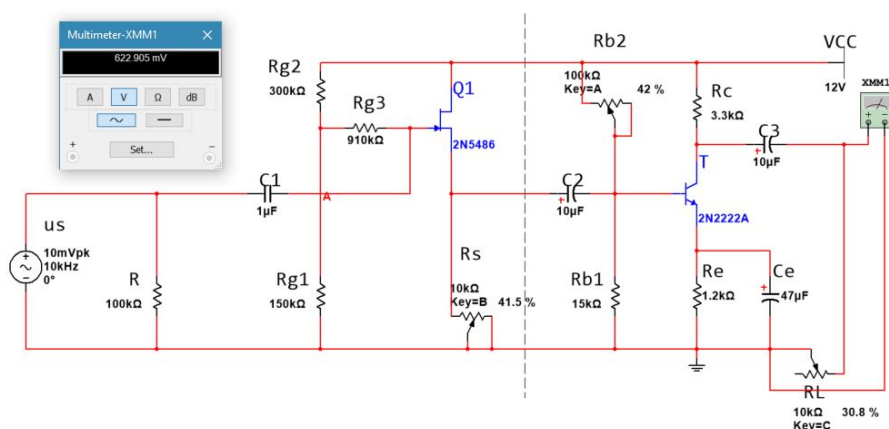


图 11: 两级放大电路的放大系数测试图

2 两级放大电路频率特性的测量

如图 12所示是两级放大电路的频率特性, 如图可以看出两级放大电路的低频 $f_L \approx 200\text{Hz}$, $f_H \approx 400\text{kHz}$, 仿真检查时出现了此处参数和其他同学不同的情况, 后来考虑原因为仿真软件版本和模型参数不同导致的, 不是仿真过程的问题

3 实验数据记录

3.1 JFET 静态工作点的调整

实验测得, 当 $R_s = 2.68\text{k}\Omega$ 时, JFET 进入设计时的工作状态, 此处和仿真计算的差异是存在的, 考虑 R_s 偏小的原因是面包板和学习箱连线的时候的接线不稳定和测量不够准确导致的

在此基础上, 按照实验要求测量得到 $U_D = 11.79\text{V}$, $U_S = 5.36\text{V}$, $U_G = 2.900\text{V}$, 发现 JFET 处于需要的恒流区工作

3.2 单管 CD 电路的调试

实验测得单管 CD 电路 $A_u = -0.85 + 0.925/2 = -0.8875$ 和仿真和计算得到的-0.88 相差不大, 同时测量得到 $R_i = 91.6\text{k}\Omega$, 和仿真计算得到的结果相同, 同时测量得到频率上下限为 $f_h = 7\text{MHz}$, $f_l = 10\text{Hz}$, 请教老师后觉得上限频率高于经验值, 可能是因为在测量高频成分的时候示波器的误差偏大, 同时输出信号质量也偏差, 不方便进行准确测量的原因

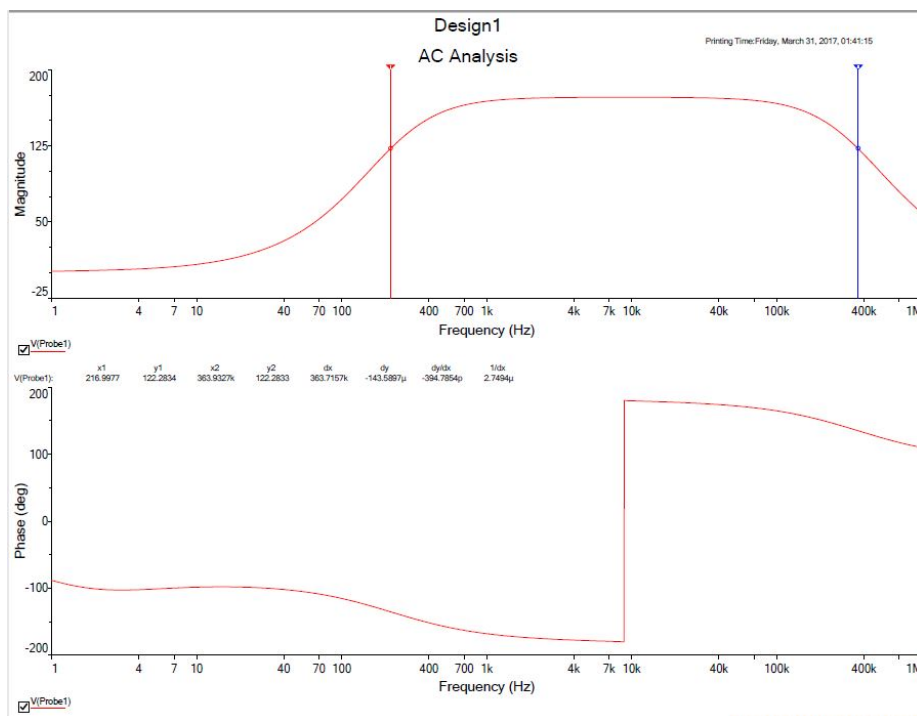


图 12: 两级放大电路的频率特性

3.3 两级放大电路的调试

实验测得两级放大电路的 $A_u = -\frac{145+165}{2} = -155$, 和仿真计算得到的值相差不多, 同时测量得到 $R_i = 91.6k\Omega$, 这个值应当是单管 CD 电路的输入电阻值, 实际测量也验证了理论计算, 同时得到输出电阻 $R_o = 3.08k$, 和前一个实验测量得到的输出电阻相同, 也和理论计算值相同。同时得到上下限截止频率 $F_l = 160Hz$, $F_h = 380kHz$, 和仿真得到的值相同

3.4 幅频特性的测量

在完成必做实验任务外, 同时完成了幅频特性的测量, 具体的分析将和前次实验对幅频的分析一并提交, 这里仅给出实验数据

4 实验总结和误差分析

4.1 误差分析

从测量数据中可以看出, 实验的误差还是在可控范围内的, 主要的误差存在在滑动变阻器阻值测量不准确, 接线不稳定导致的波形不稳定和接触

表 1: 两级放大电路的幅频特性的测量

f	输出电压峰峰值 V_i V	输入电压峰峰值 V_o V
10	600	27
30	800	27
100	1600	27
300	2800	27
1000	3006	27
3000	3180	26
10000	3200	28
30000	3040	27
100000	2270	27
300000	940	27
1000000	115	27

电阻偏大等。对于中频段，这些误差基本可以忽略不计，高频段和低频段这些误差相应增大

4.2 实验总结

本次试验较为顺利，没有出现电路故障。通过这次实验，我加深了对 JFET 放大电路的工作原理的了解。同时培养了相关电路搭建和调试的能力，同时进一步测量了两级放大电路的幅频特性，为相关的关于频率特性的研究增加了实验基础