

# 电子技术实验

## 实验报告

(2020 - 2021 学年度      春季学期)

实验名称      实验二：两级放大电路

姓名	<u>刘祖炎</u>
学号	<u>2019010485</u>
院系	<u>自动化系</u>
教师	<u>叶朝辉</u>
时间	<u>2021 年 4 月 2 日</u>

# 目录

1	实验目的	1
2	预习报告	1
2.1	测量 2N7000G 的特性曲线 . . . . .	1
2.2	两级放大电路静态工作点 . . . . .	2
2.3	两级放大电路动态参数 . . . . .	3
2.4	两级放大电路电压放大倍数测量 . . . . .	6
2.5	多级放大电路频率分析 . . . . .	8
2.6	数据记录表格 . . . . .	9

## 1. 实验目的

- 了解 N 沟道绝缘栅型场效应管的特性和工作原理。
- 熟悉两级放大电路的设计和调试方法。
- 学习使用 Multisim 分析、测量场效应管和两级放大电路的方法。

## 2. 预习报告

### 2.1 测量 2N7000G 的特性曲线

将 2N7000G 的模型参数  $U_{GS(th)}$  设置为 1.5V，如图3所示搭建仿真电路，对 2N7000G 的输出特性曲线进行仿真，仿真结果如图2所示。

图 1: 测量 2N7000G 输出特性曲线仿真电路图

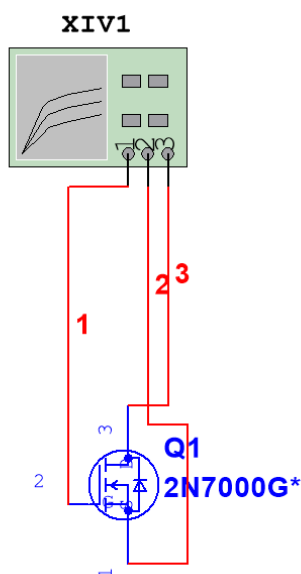
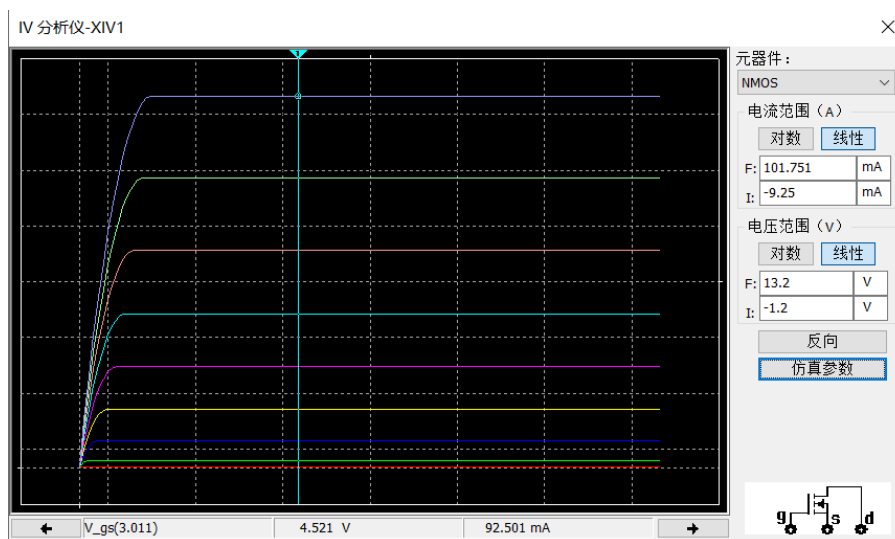


图 2: 2N7000G 输出特性曲线



如图??所示搭建仿真电路，对 2N7000G 的转移特性曲线进行仿真，并测量  $I_D = 5\mu A$  时的  $U_{GS(th)}$  和  $U_{GS} = 2 \times U_{GS(th)}$  的  $I_{DO}$ ，仿真结果如图4所示。

图 3: 测量 2N7000G 转移特性曲线仿真电路图

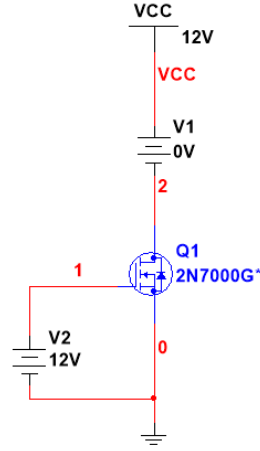
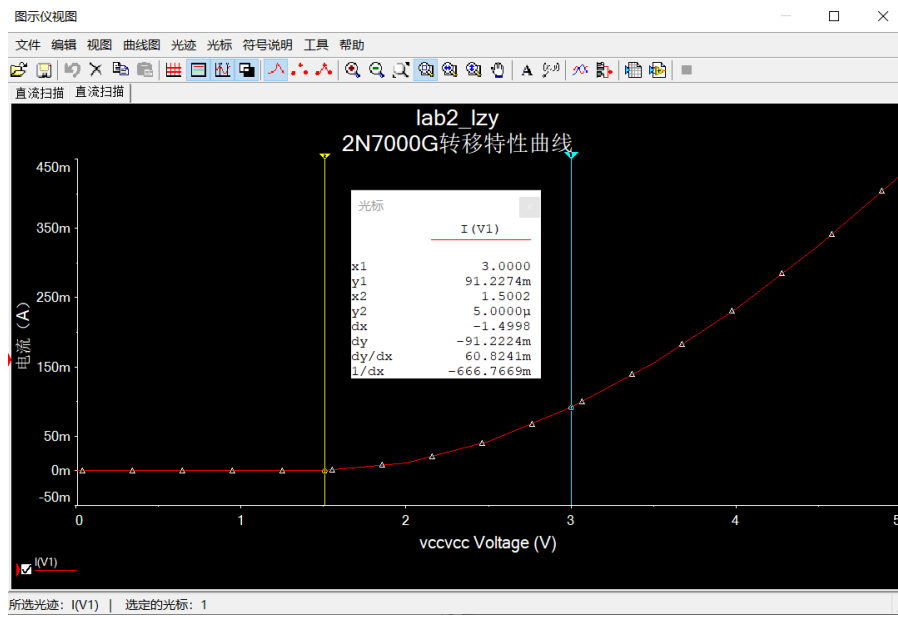


图 4: 2N7000G 转移特性曲线



根据测量结果，可以读出  $U_{GS(th)} = 1.5002V$ ， $I_{DO} = 91.2274mA$ 。

## 2.2 两级放大电路静态工作点

直流通路下，有公式：

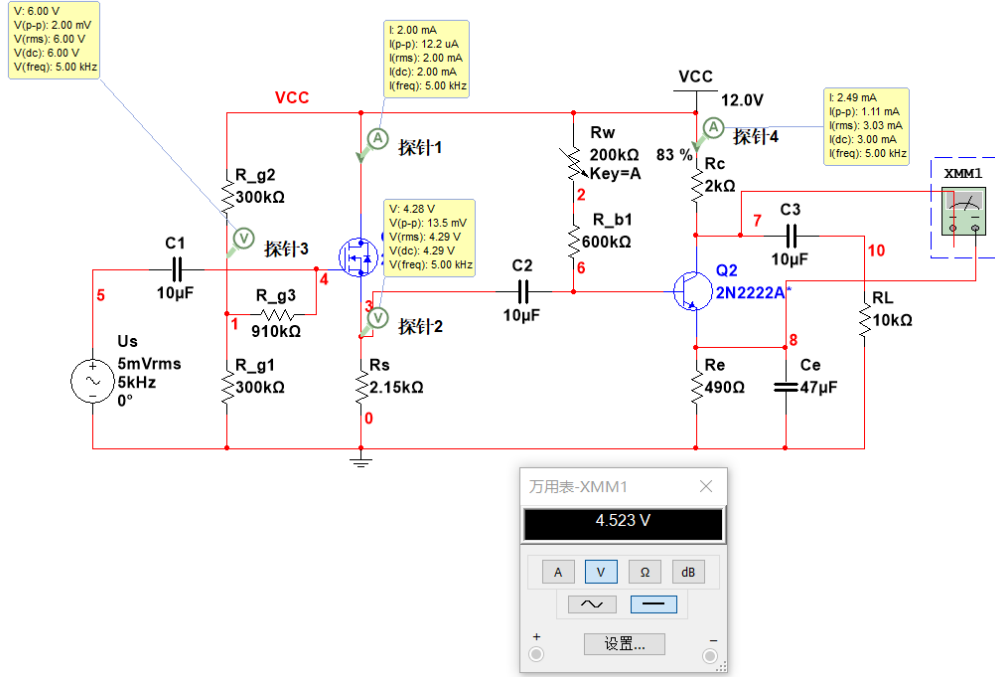
$$\begin{cases} k_n = \frac{I_{DO}}{U_{GS(th)}^2} = 40.543mA/V^2 \\ I_{DQ} = k_n(U_{GSQ} - U_{GS(th)})^2 \\ U_{GQ} = \frac{R_{g1}}{R_{g1} + R_{g2}} V_{CC} \\ U_{SQ} = I_{DQ} R_S \end{cases} \quad (1)$$

由于  $I_{DO} = 91.222mA$ ,  $I_{DQ} = 2.0mA$ ,  $V_{CC} = 12.0V$   
不妨取  $R_{g1} = R_{g2} = 300k\Omega$ ,  $U_{GQ} = 6.0V$ , 此时解得:

$$U_{GSQ} = 1.722V, U_{SQ} = 4.278V, R_S = \frac{U_{SQ}}{I_{DQ}} = 2.139k\Omega, U_{GDQ} = -6V$$

依照上述所取  $R_{g1}, R_{g2}, R_S$  参数值搭建仿真电路, 仿真电路图以及仿真结果如图5所示。

图 5: 测量 2N7000G 转移特性曲线仿真电路图



根据仿真结果, 可得仿真数据为:

$$R_{g1} = R_{g2} = 300k\Omega, R_S = 2.15k\Omega, I_{DQ} = 2mA, U_G = 6.00V, U_S = 4.29V, U_{GSQ} = 1.71V, U_{GDQ} = -6.00V$$

$$U_{CEQ} = 4.523V, R_{b1} = 766k\Omega$$

在第二级放大电路中, 由实验一数据可得  $I_{CQ} = 3mA$  时相应理论值:  $R_{b1} = 785.9k\Omega$ ,  $U_{CEQ} = 4.520V$ 。  
将上述理论值与仿真结果一并填入表2中。

### 2.3 两级放大电路动态参数

取  $R_{bb'} = 800\Omega$ , 可对相关动态参数进行理论计算:

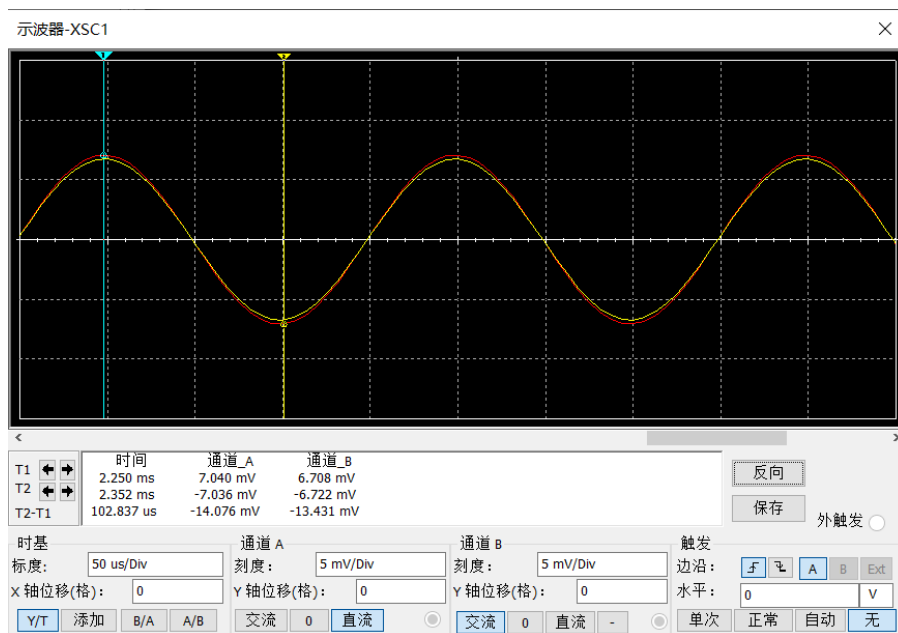
$$\left\{ \begin{array}{l} g_m = \frac{2}{U_{GS(th)}} \sqrt{I_{DQ} I_{DQ}} = 18.010 \text{ mS} \\ r_{be} = R_{bb'} + \beta \frac{U_T}{I_{CQ}} = 2880.0 \Omega \\ R_i = R_{g3} + R_{g1} // R_{g2} = 1.060 \text{ M}\Omega \\ R_{i2} = R_{b1} // r_{be} = 2869 \Omega \\ R_o = R_C = 2 \text{ k}\Omega \\ A_{u1} = \frac{g_m (R_S // R_{i2})}{g_m (R_S // R_{i2}) + 1} = 0.9567 \\ A_{u2} = \frac{-\beta (R_C // R_L)}{r_{be}} = -138.89 \\ A_u = A_{u1} \cdot A_{u2} = -\frac{g_m (R_S // R_{i2})}{g_m (R_S // R_{i2}) + 1} \cdot \frac{\beta (R_C // R_L)}{r_{be}} = -132.88 \end{array} \right. \quad (2)$$

检验知满足两级电压放大倍数  $|A_u| \geq 110$ ，输入电阻  $R_i \geq 1 \text{ M}\Omega$ 。

利用与静态工作点时相同的电路，进行仿真测量上述参数：

- 第一级电路电压放大倍数  $A_{u1}$

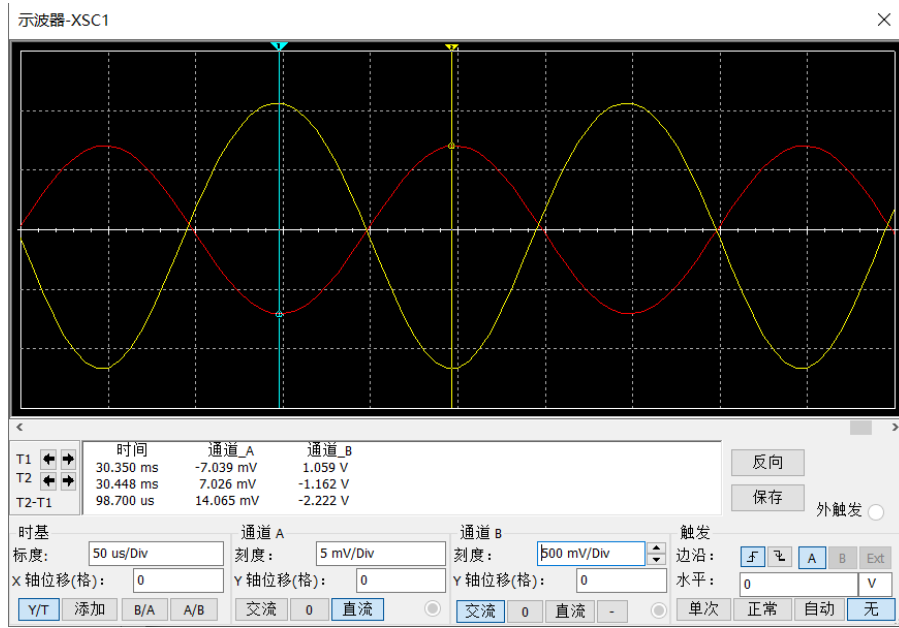
图 6: 测量  $A_{u1}$  仿真波形图



$$A_{u1} = \frac{U_o}{U_i} = \frac{6.722 \text{ mV}}{7.040 \text{ mV}} = 0.9548$$

- 两级放大电路电压放大倍数  $A_u$

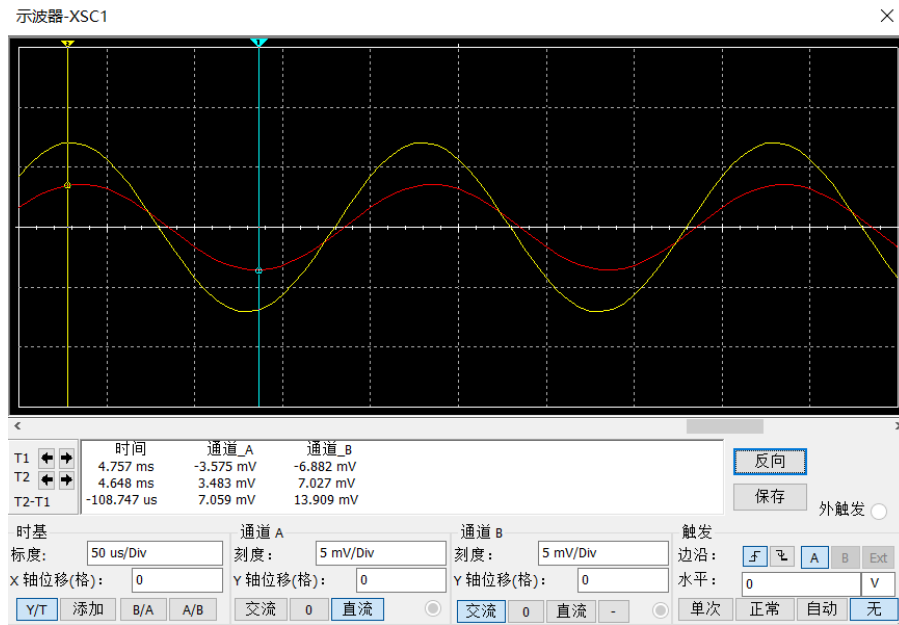
图 7: 测量  $A_u$  仿真波形图



$$A_{u1} = \frac{U_o}{U_i} = -\frac{1.162V}{7.039mV} = -165.08$$

- 输入电阻  $R_i$

图 8: 测量输入电阻  $R_i$  仿真波形图



$$R_i = \frac{U_i}{U'_i - U_i} R_1 = 1M\Omega \times \frac{3.575}{7.027 - 3.575} = 1.036M\Omega$$

- 输出电阻  $R_o$

图 9: 测量输出电阻  $R_o$  仿真波形图 ( $R_L = 2k\Omega$ )

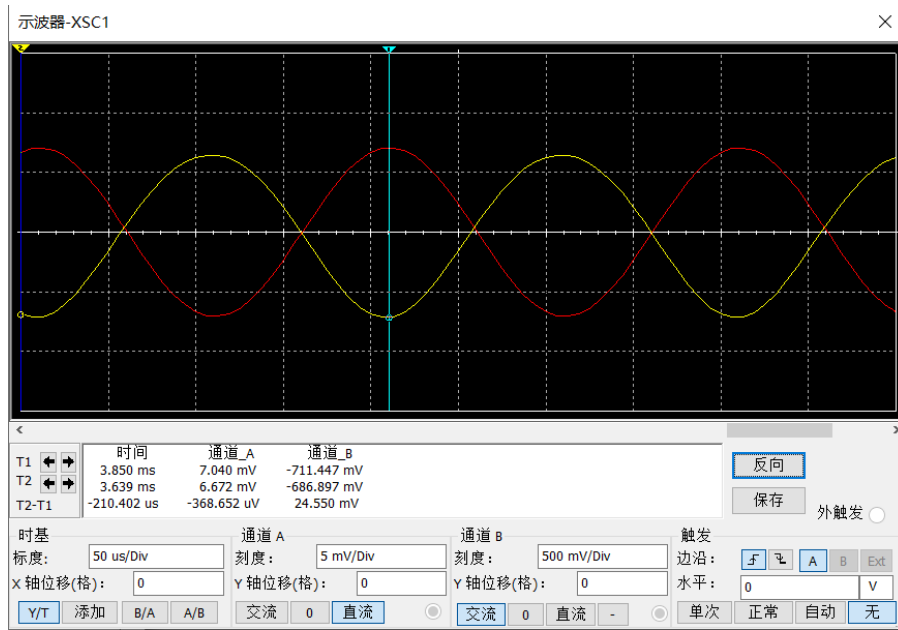
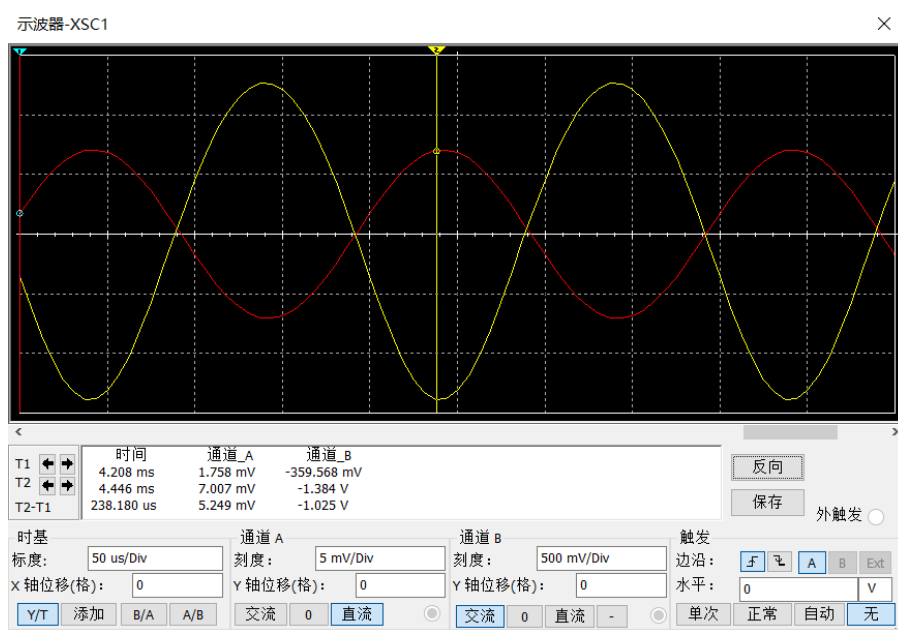


图 10: 测量输出电阻  $R_o$  仿真波形图 ( $R_L = \infty\Omega$ )



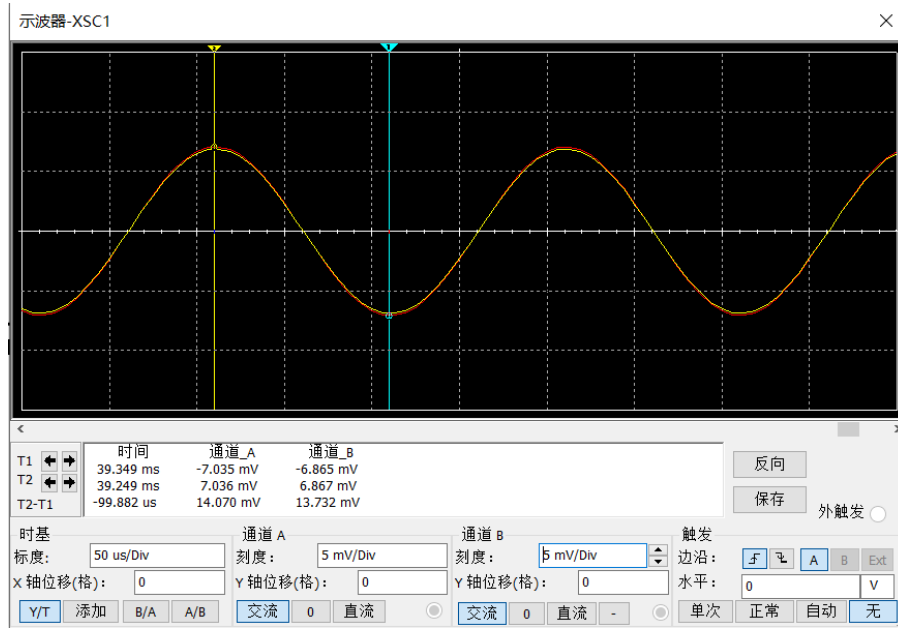
$$R_o = R_L \left( \frac{U'_O}{U_O} - 1 \right) = 2k \times \left( \frac{1.384}{0.711} - 1 \right) = 1.89k\Omega$$

## 2.4 两级放大电路电压放大倍数测量

- 第一级电路电压放大倍数  $A_{u1}$

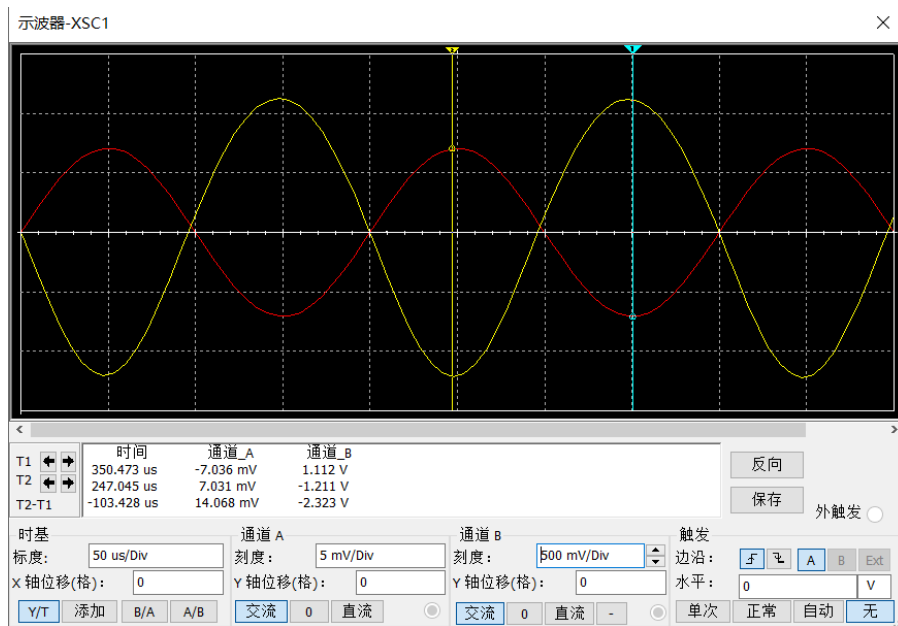


图 11: 测量  $A_{u1}$  仿真波形图



$$A_{u1} = \frac{U_o}{U_i} = \frac{6.867mV}{7.036mV} = 0.9760$$

图 12: 测量  $A_{u2}$  仿真波形图



$$A_{u1} = \frac{U_o}{U_i} = -\frac{1.211mV}{7.036mV} = -172.11$$

## 2.5 多级放大电路频率分析

图 13:  $f_{max}$  测量波形图

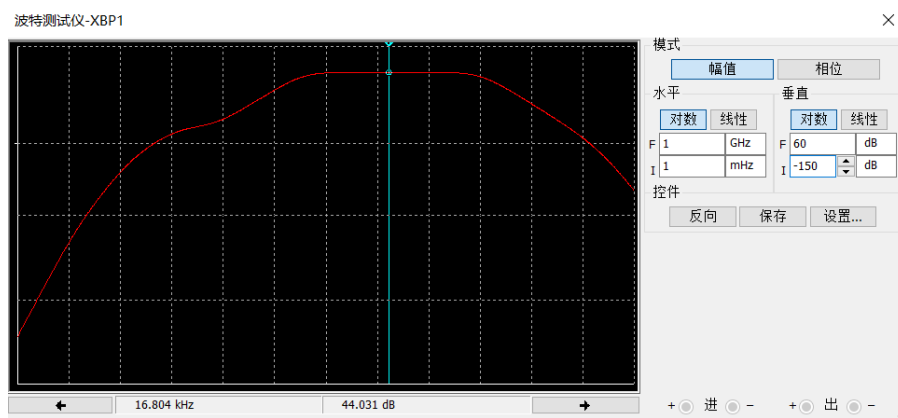


图 14:  $f_L$  测量波形图

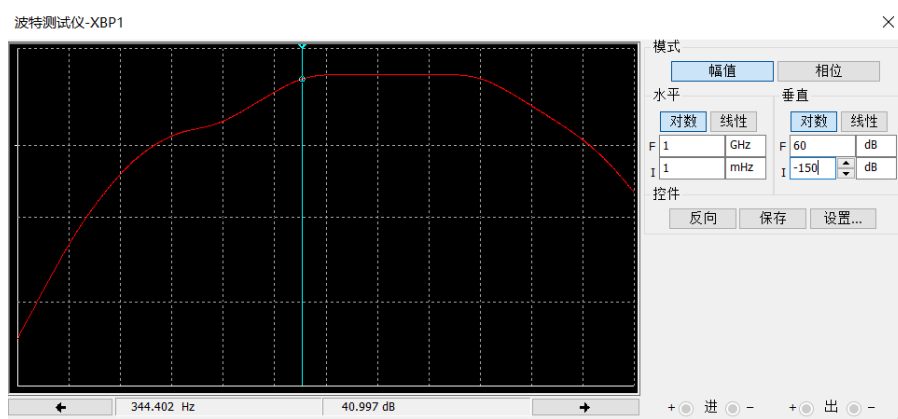
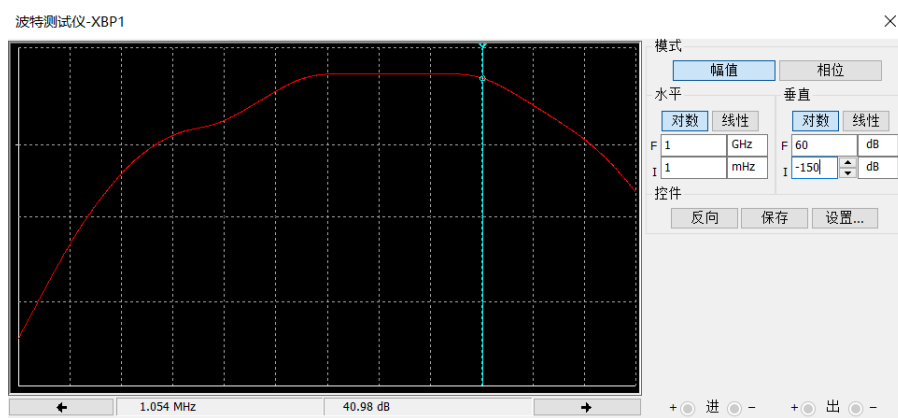


图 15:  $f_H$  测量波形图



读图可知, 仿真所得  $f_L = 344.402\text{Hz}$ ,  $f_H = 1.054\text{MHz}$ 。

## 2.6 数据记录表格

表 1: 2N7000G 参数仿真

参数	$U_{GS(th)}$	$I_{DO}$
仿真值	1.5002V	91.2274mA

表 2: 静态工作点数据表格

参数	理论值	仿真结果	实测值
$R_{g1}/k\Omega$	300	300	300
$R_{g2}/k\Omega$	300	300	300
$R_S/k\Omega$	2.14	2.15	2.385
$I_{DQ}/mA$	2	2	1.80
$U_A(U_G)/V$	6.00	6.00	5.85
$U_S/V$	4.28	4.29	4.29
$U_{GSQ}/V$	1.72	1.71	1.66
$U_{GDQ}/V$	-6.00	-6.00	-5.89
$U_{CEQ}/V$	4.520	4.523	4.43
$R_{b1}/k\Omega$	785.9	766	784

表 3: 两级放大电路主要性能指标

参数	理论值	仿真结果	实测值
$A_{u1}$	0.9567	0.9548	0.9635
$A_u$	-132.88	-165.08	-157.14
$R_i/M\Omega$	1.060	1.036	1.049
$R_o/k\Omega$	2.00	1.89	1.94

表 4: 选做实验

参数	理论值	仿真结果	实测值
$A_{u1}$	0.9747	0.9760	0.9737
$A_{u2}$	-138.89	-172.11	-166.37
$A_{u1} \cdot A_{u2}$	-135.38	-167.98	-161.99

表 5: 两级放大电路频率响应

参数	仿真结果	实测值
$f_L/Hz$	344.402	570.9
$f_H/MHz$	1.054	1.03