

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>赵晓燕</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	7
2.5	多级放大电路频率分析	8
3	实验数据整理	9
3.1	放大电路静态工作点测量	9
3.2	放大电路动态参数测量	9
3.3	多级放大电路电压放大倍数的分析	13
3.4	多级放大电路频率的定性分析	15
4	实验数据汇总	16
5	误差分析	17
5.1	静态工作点	17
5.2	电压放大倍数	17
5.3	输入、输出电阻	17
5.4	截止频率	18
6	实验中出现的故障以及故障原因	18
7	总结与分析	18
7.1	发射极电阻对放大电路动态参数的影响	18
7.2	放大电路主要性能指标的测量方法	19
8	思考题	19
8.1	思考题一	19
8.2	思考题二	20
8.3	思考题三	20

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1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

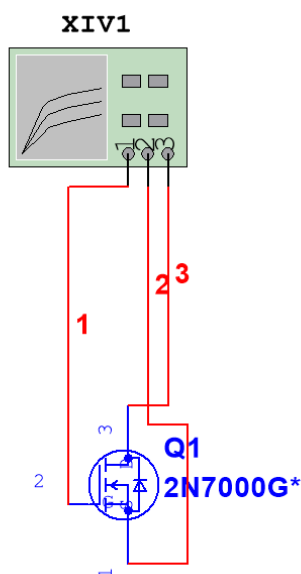
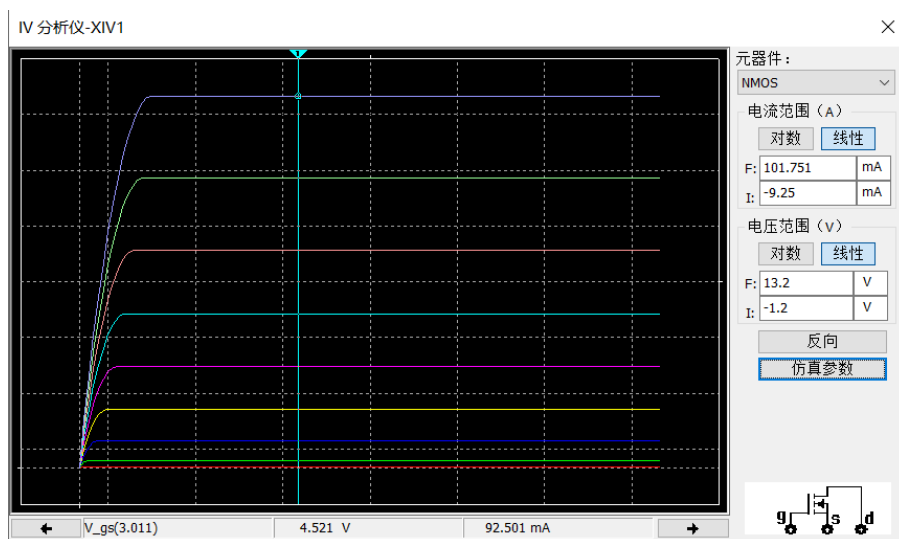


图 2: 2N7000G 输出特性曲线



如图3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

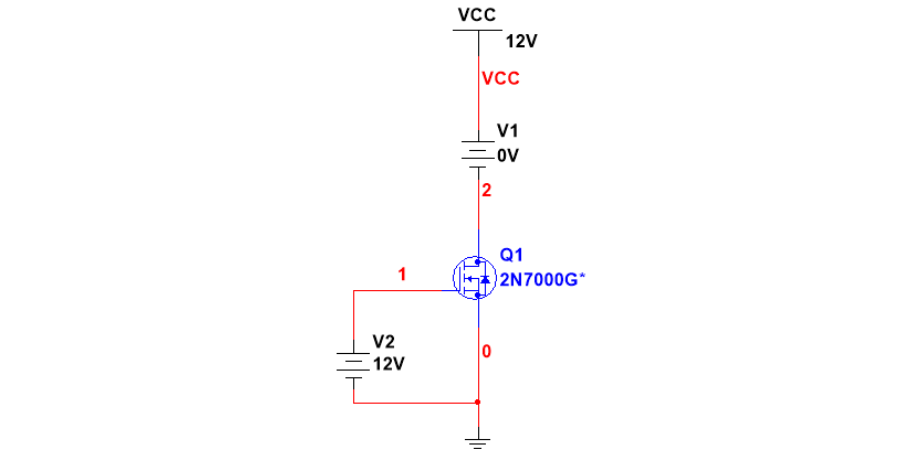
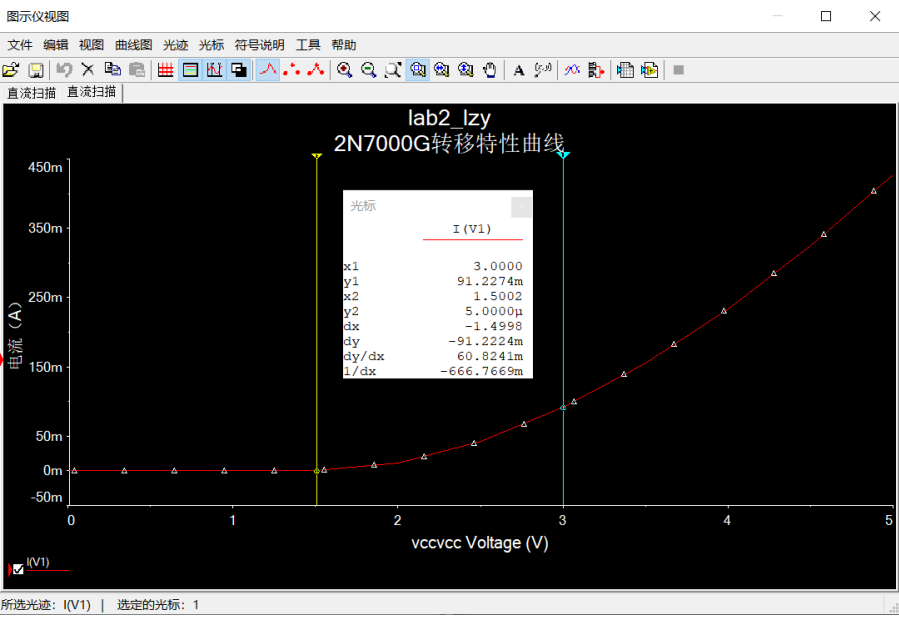


图 4: 2N7000G 转移特性曲线



根据测量结果，可以读出 $U_{GS(th)} = 1.5002V$ ， $I_{DO} = 91.2274mA$ 。将测量结果填入表1中。

2.2 两级放大电路静态工作点

直流通路下，有公式：

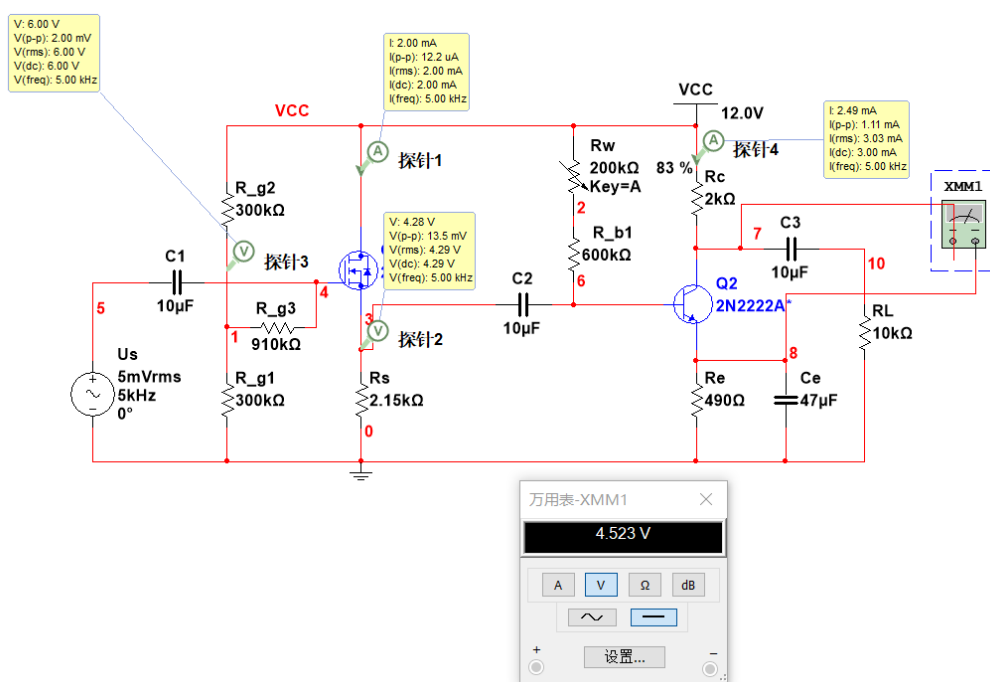
$$\begin{cases} k_n = \frac{I_{DO}}{U_{GS(th)}^2} = 40.543 \text{ mA/V}^2 \\ I_{DQ} = k_n (U_{GSQ} - U_{GS(th)})^2 \\ U_{GQ} = \frac{R_{g1}}{R_{g1} + R_{g2}} V_{CC} \\ U_{SQ} = I_{DQ} R_S \end{cases} \quad (1)$$

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

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

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:

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

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

在第二级放大电路中, 由实验一数据可得 $I_{CQ} = 3 \text{ mA}$ 时相应理论值: $R_{b1} = 785.9 \text{ k}\Omega$, $U_{CEQ} = 4.520 \text{ V}$ 。
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:

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

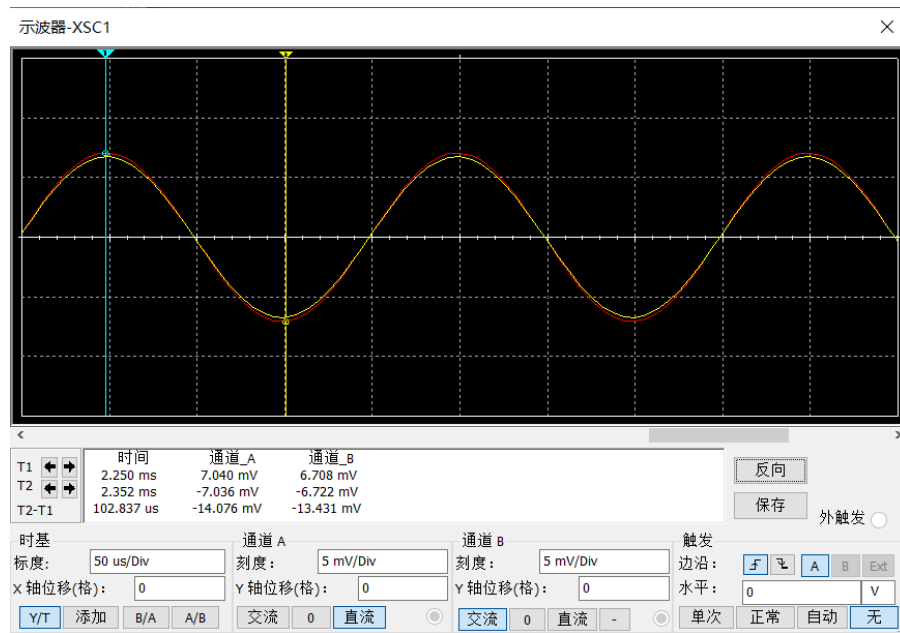
检验知满足两级电压放大倍数 $|A_u| \geq 110$ ，输入电阻 $R_i \geq 1 \text{ M}\Omega$ 。

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}

利用示波器分别连接输入端、输出端测量电压放大倍数 (与实验一相同)，所示波形如图6、7所示。

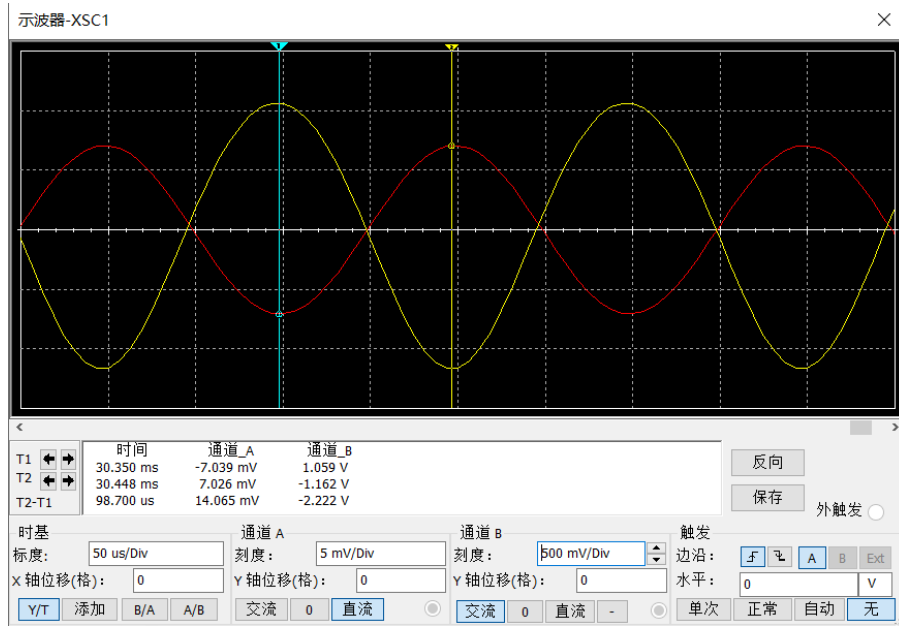
图 6: 测量 A_{u1} 仿真波形图



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

- 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



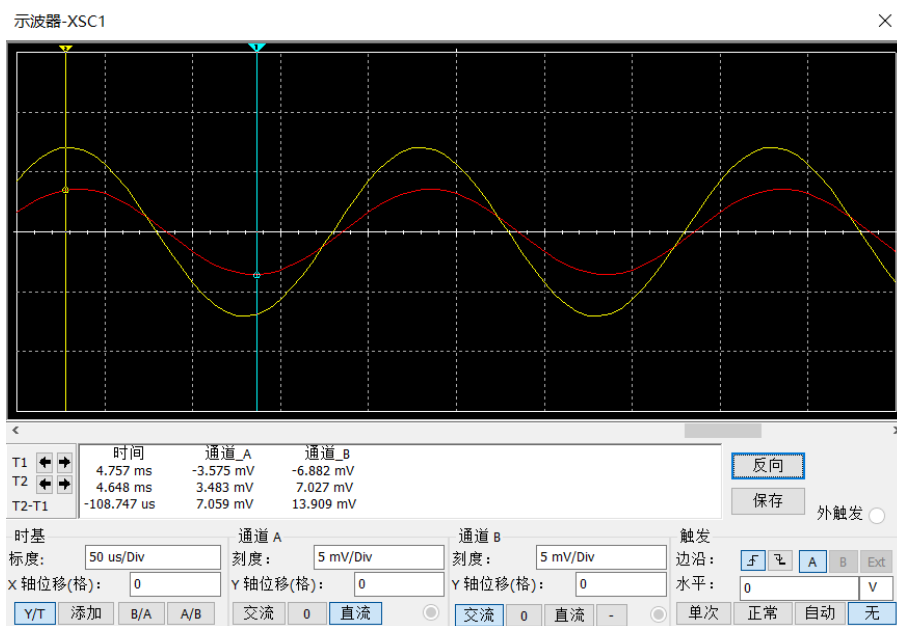
$$A_u = \frac{U_o}{U_i} = -\frac{1.162V}{7.039mV} = -165.08$$

- 输入电阻 R_i

接入取样电阻 $R_1 = 1M\Omega$, 分别利用示波器测量 R_1 左右两端的波形 (与实验一相同), 所示波形如图8所示。

需要注意的是, 仿真时输入电阻的测量方式与实际实验时不同, 这是由于在仿真中示波器、MOS 管均为理想元件, 故仿真时能够采用该方式测量, 实际情况下需要考虑到大输入电阻对测量带来的影响。

图 8: 测量输入电阻 R_i 仿真波形图



根据公式计算可得:

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

- 输出电阻 R_o

根据理论计算值, 接入负载电阻 $R_L = 2k\Omega$, 分别测量 $R_L = 2k\Omega$ 、 R_L 开路时的输出电压 (与实验一相同), 所示波形如图9、10所示。

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

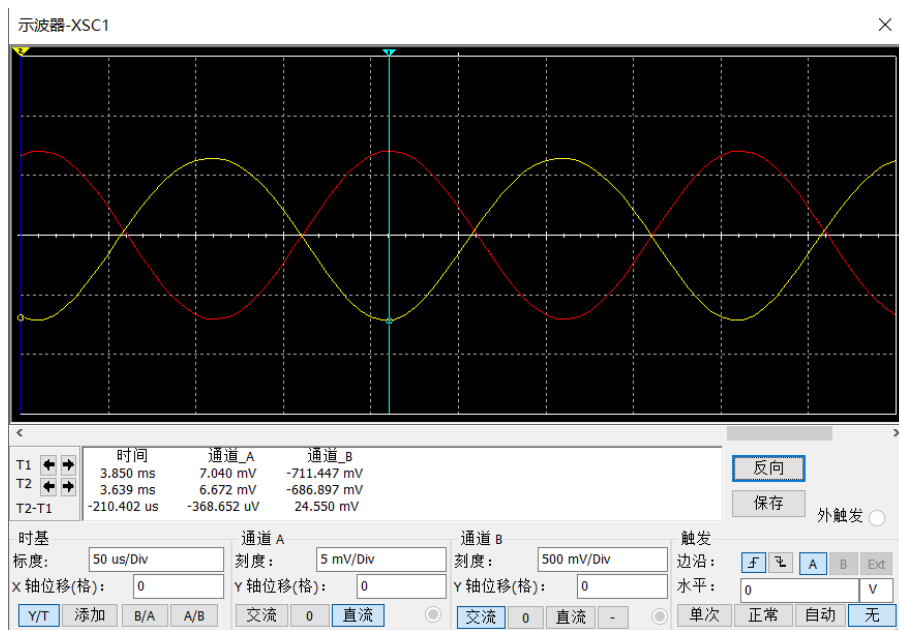
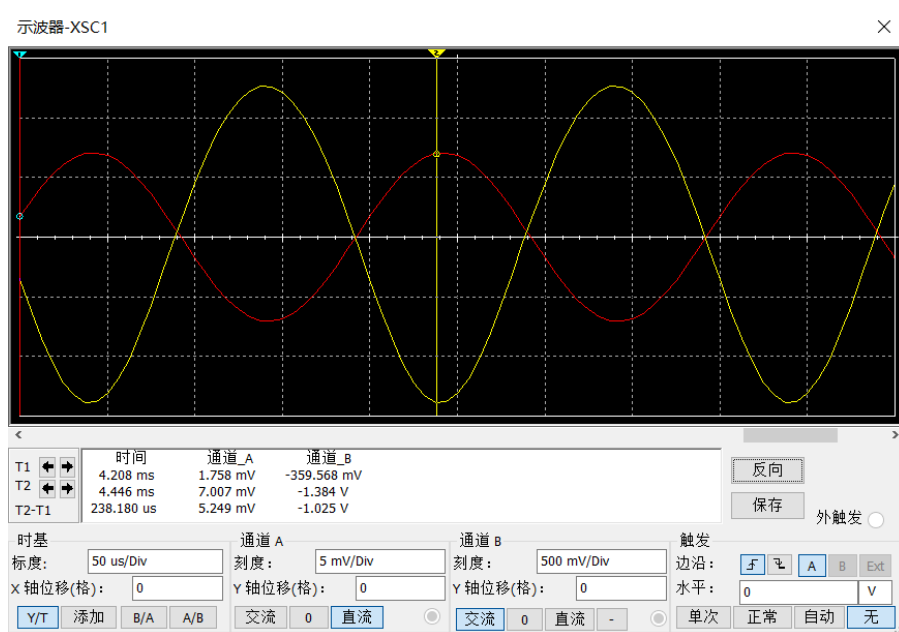


图 10: 测量输出电阻 R_o 仿真波形图 ($R_L = \infty\Omega$)



根据公式计算可得:

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

将理论计算值与测得的动态参数一并填入表3中。

2.4 两级放大电路电压放大倍数测量

分别测量两级放大电路的电压倍数，测量波形图分别如图11、12所示。

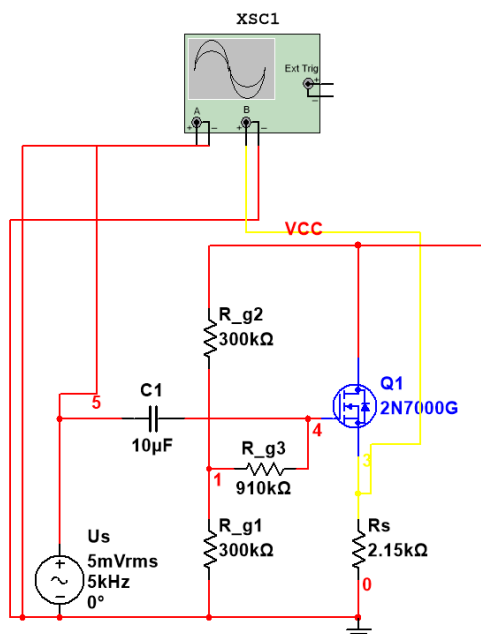


图 11: 测量 \dot{A}_{u1} 电路图

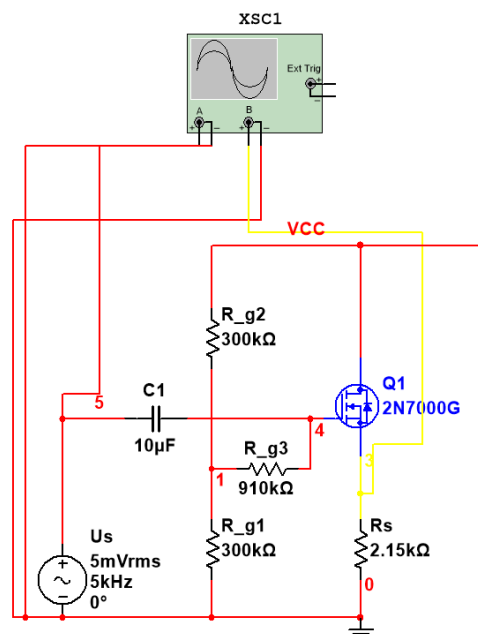
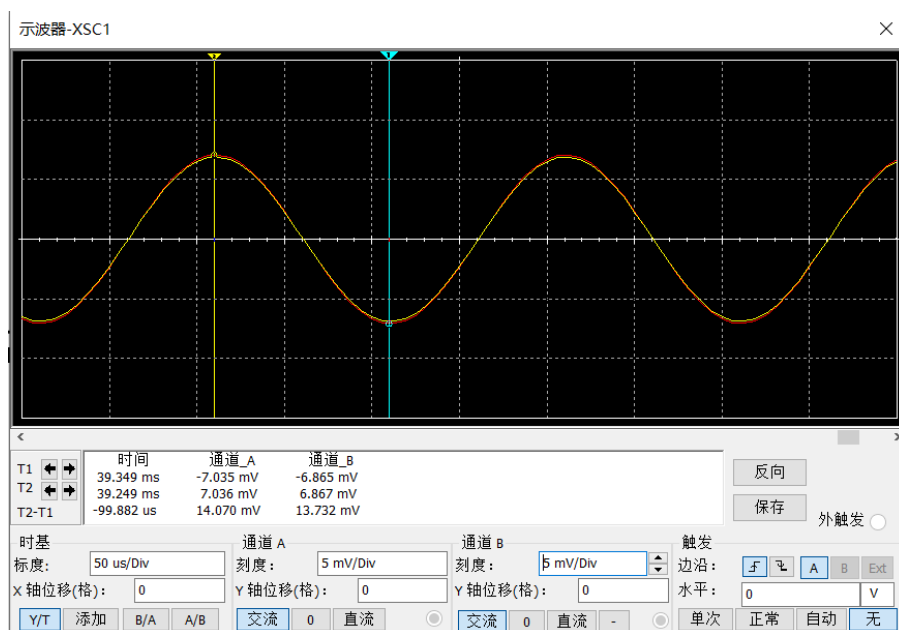


图 12: 测量 \dot{A}_{u2} 电路图

示波器示数如图13、14所示。

- 第一级电路电压放大倍数 \dot{A}_{u1}

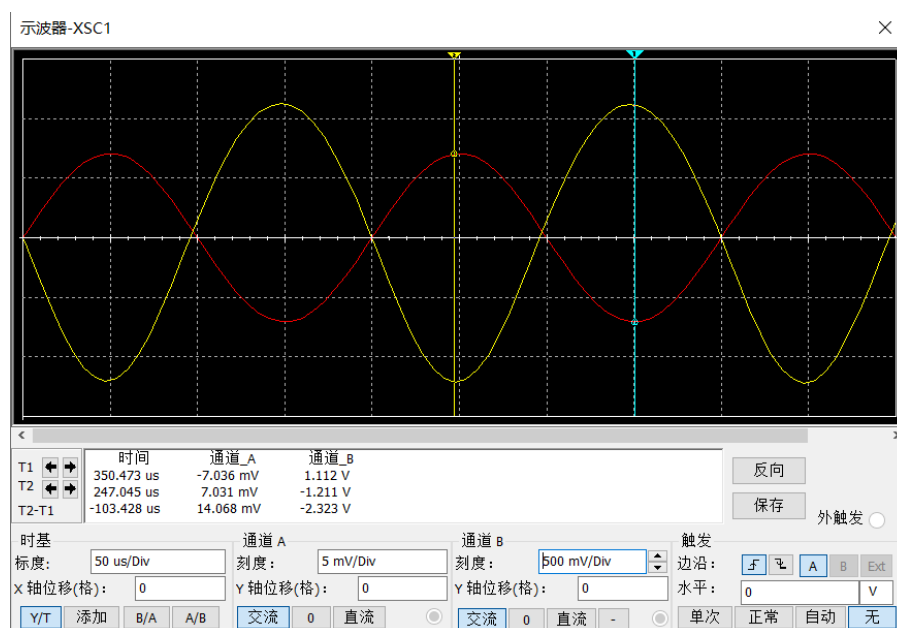
图 13: 测量 \dot{A}_{u1} 仿真波形图



$$\dot{A}_{u1} = \frac{U_o}{U_i} = \frac{6.867mV}{7.036mV} = 0.9760$$

- 第二级电路电压放大倍数 \dot{A}_{u2}

图 14: 测量 A_{u2} 仿真波形图



$$\dot{A}_{u2} = \frac{U_o}{U_i} = -\frac{1.211mV}{7.036mV} = -172.11$$

根据示波器测得的 \dot{A}_{u1} 、 \dot{A}_{u2} ，可计算得

$$\dot{A}_{u1} \cdot \dot{A}_{u2} = 0.9760 \times (-172.11) = -167.98$$

将仿真所得数据填入表格4的仿真值栏中。

2.5 多级放大电路频率分析

与实验一类似，接入波特仪测量多级放大电路的频率特性，测量波形图如图15、16、17所示。

图 15: f_{max} 测量波形图

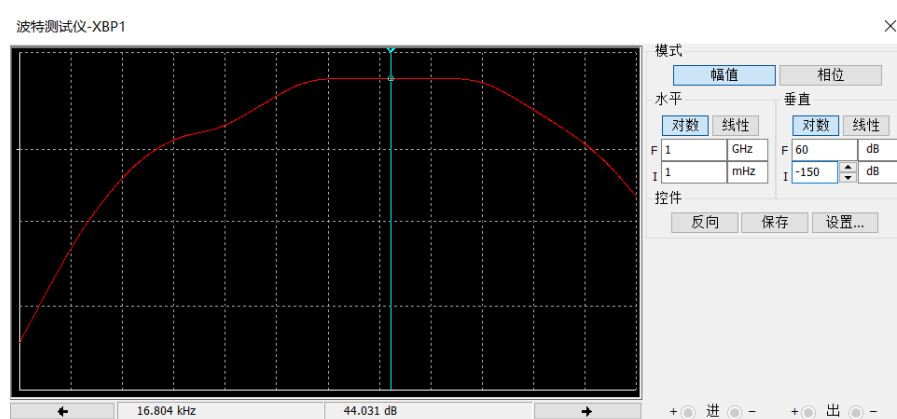


图 16: f_L 测量波形图

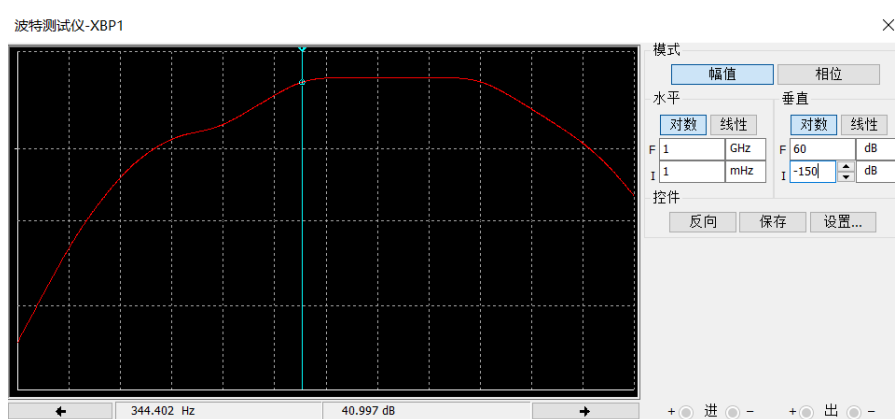
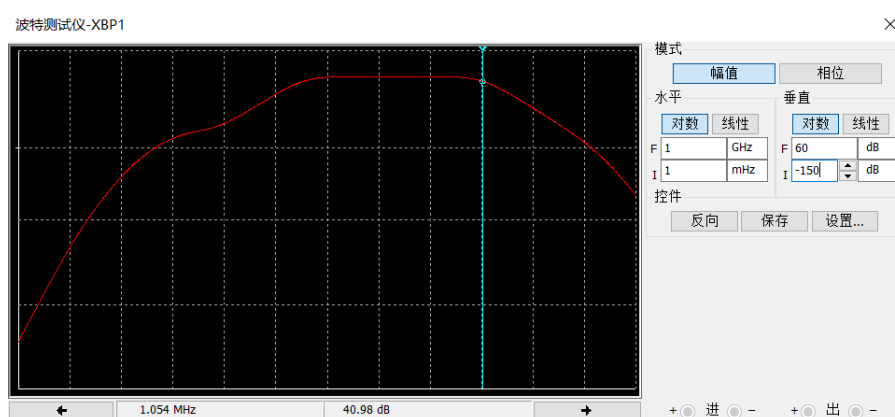


图 17: f_H 测量波形图



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

将仿真所得数据填入表格5的仿真值栏中。

3. 实验数据整理

3.1 放大电路静态工作点测量

实际实验时，按照仿真测量时的数据，取 $R_{g1} = R_{g2} = 300\text{k}\Omega$ ，并取 R_S 的值略大于仿真测量时的数据 (实际实验时先取 $R_S = 4\text{k}\Omega$ ，观察到电路工作正常后逐渐减小 R_S 的值，最终取 $R_S = 2.385\text{k}\Omega$)。此时，测量得 $I_{DQ} = 1.80\text{mA}$ ，符合实验中 $I_{DQ} \approx 2\text{mA}$ 的要求。利用万用表电压档正确测量第一级放大电路各点电位值 (包括 U_A 、 U_S 、 U_{GSQ} 、 U_{GDQ})，将上述数据填入表2的实测值中。

由于阻容耦合放大电路前一级与后一级静态工作点相互独立，按照与实验一相同的方式调节、测量第二级共射放大电路，使得 $I_{CQ} = 3\text{mA}$ ，并将测得数据 (包括 $U_{CEQ} = 4.43\text{V}$ $R_{b1} = 784\text{k}\Omega$) 填入表2中。

3.2 放大电路动态参数测量

- 第一级放大倍数 \dot{A}_{u1}

由于共漏放大电路的输入级、输出级均为小信号，故需要使用通道 1 测量两次。示波器波形如图18、19所示。

图 18: \dot{A}_{u1} 测量波形图 (输入端)

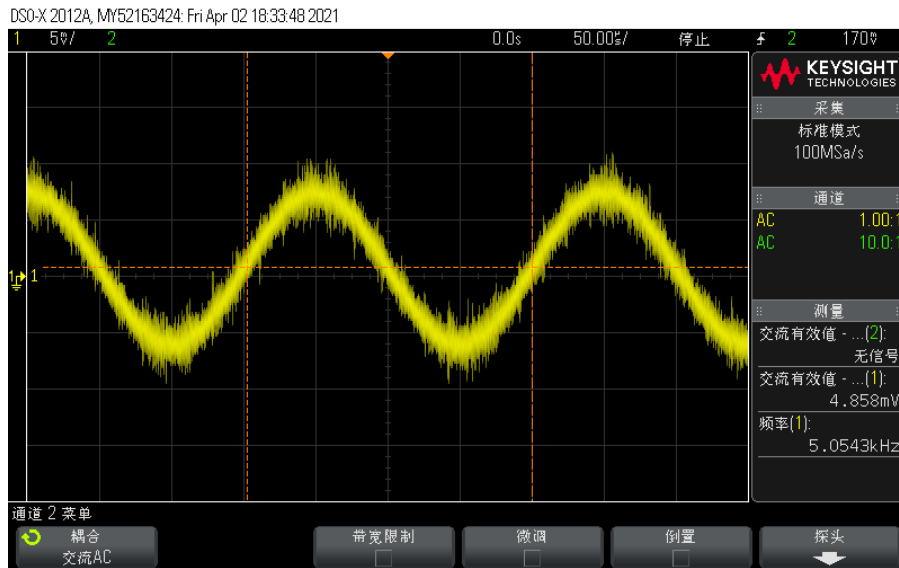
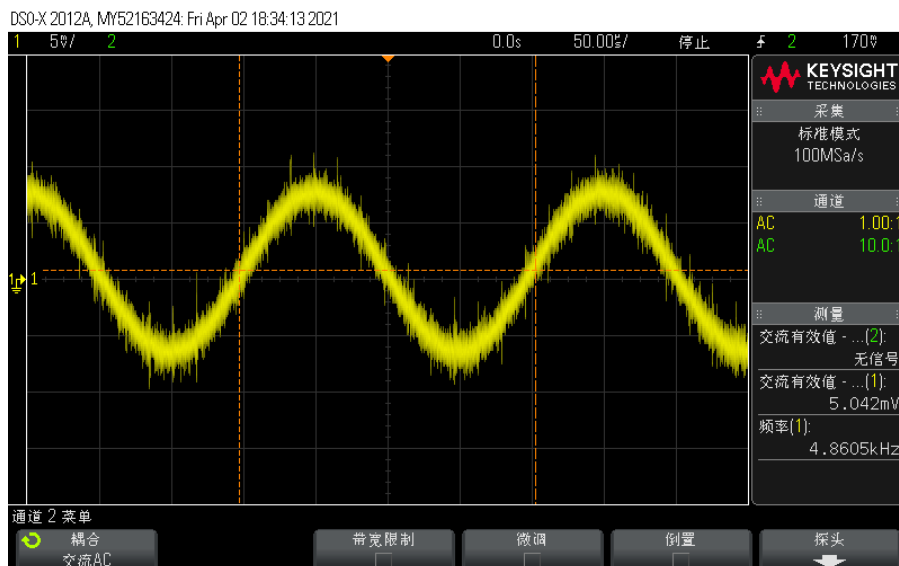


图 19: \dot{A}_{u1} 测量波形图 (输出端)



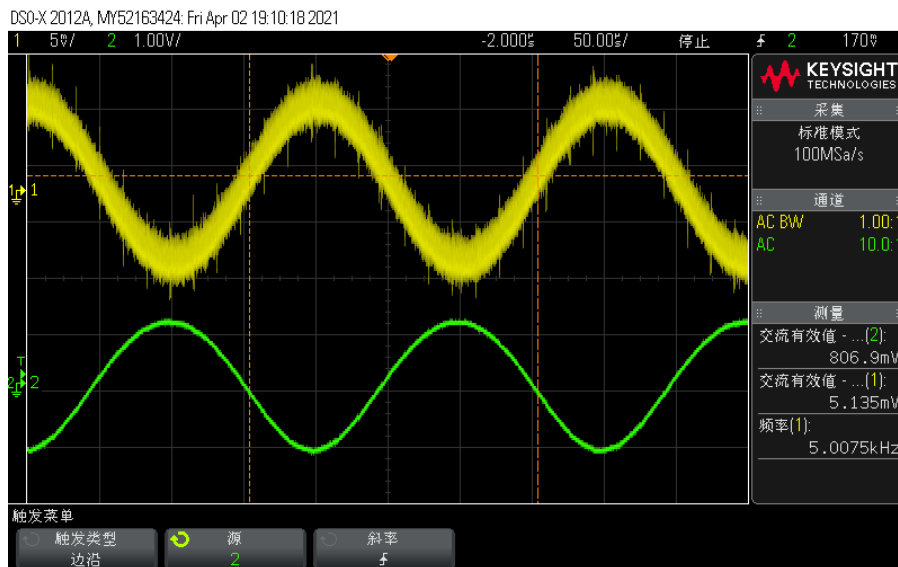
根据测得的交流有效值，计算可得：

$$\dot{A}_{u1} = \frac{U_{o1}}{U_{i1}} = \frac{4.858}{5.042} = 0.9635$$

- 两级放大倍数 \dot{A}_u

将示波器两通道分别接在输入端、输出端，其波形如图20所示。

图 20: \dot{A}_u 测量波形图



根据测得的交流有效值，计算可得：

$$\dot{A}_u = \frac{U_o}{U_i} = -\frac{806.9}{5.135} = -157.14$$

- 输入电阻 R_i

测量输入电阻采用大输入电阻的测量方法，在 U_i 与信号源之间串入电阻 $R_1 = 1M\Omega$ ，分别在连入 R_1 、 R_1 短路的情况下测量输出端的有效值并监控输入、输出波形。示波器波形如图21、22所示。

图 21: R_i 测量波形图 ($R_1 = 1M\Omega$)

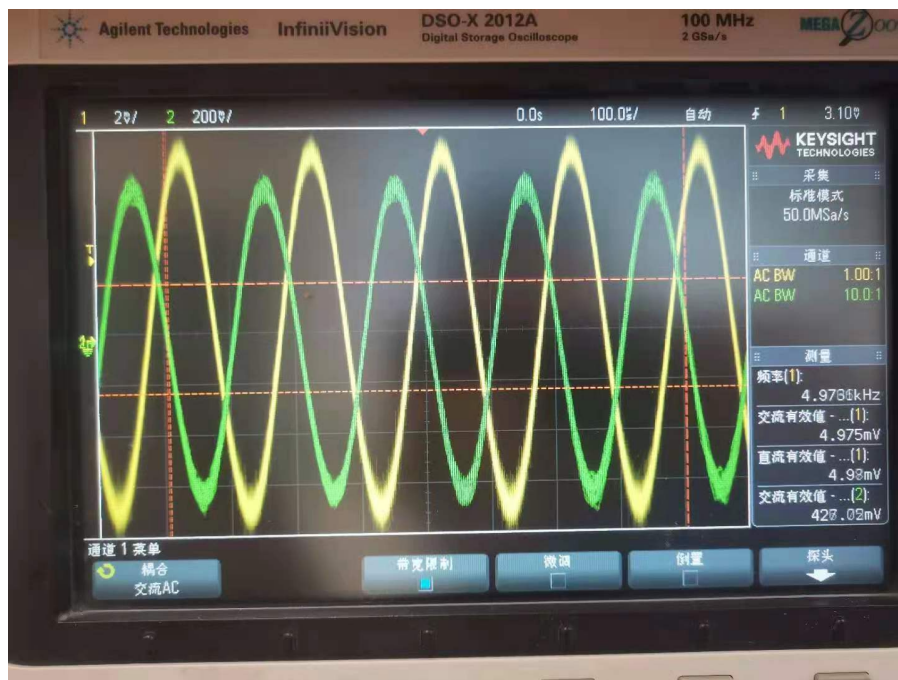
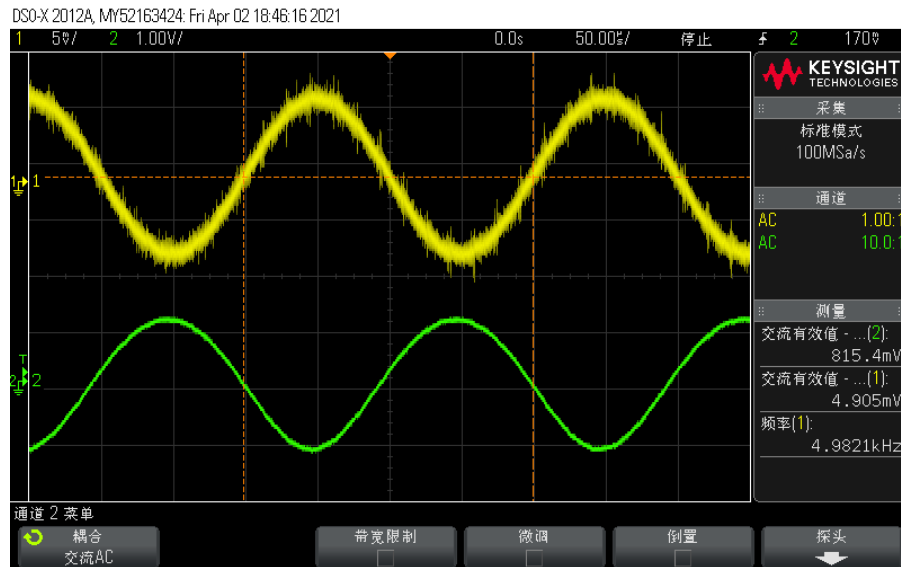


图 22: R_i 测量波形图 ($R_1 = 0$)



根据示波器读数，计算得测得的输入电阻为：

$$R_i = \frac{U'_o}{U_o - U'_o} R_1 = \frac{427.0}{815.4 - 427.0} \times 1M\Omega = 1.099M\Omega$$

- 输出电阻 R_o

测量输出电阻的方式与实验一相同，接入负载电阻阻值 $R_L = 2k\Omega$ ，分别测量接入 R_L 、 R_L 开路时电路输出电压的交流有效值，并监控输入、输出波形。示波器波形如图23、24所示。

图 23: R_o 测量波形图 ($R_L = 2k\Omega$)

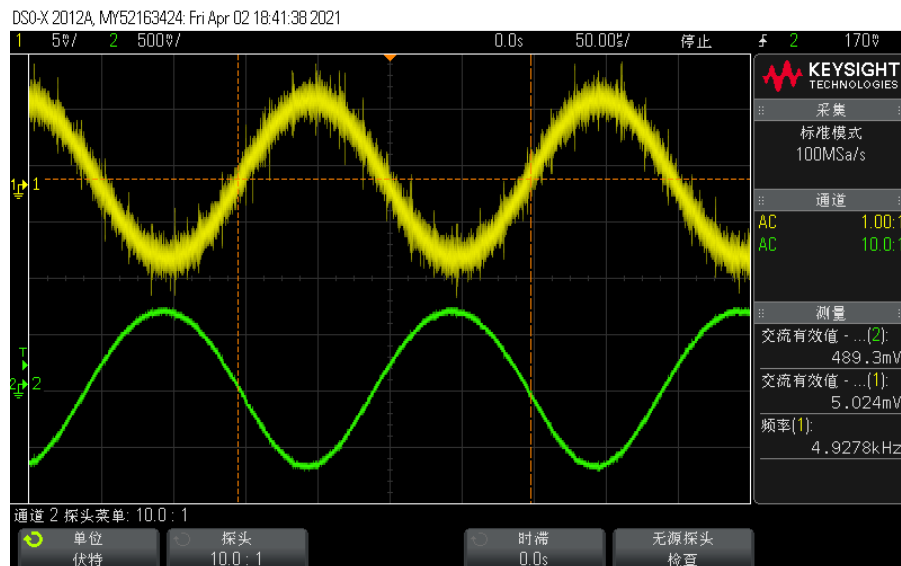
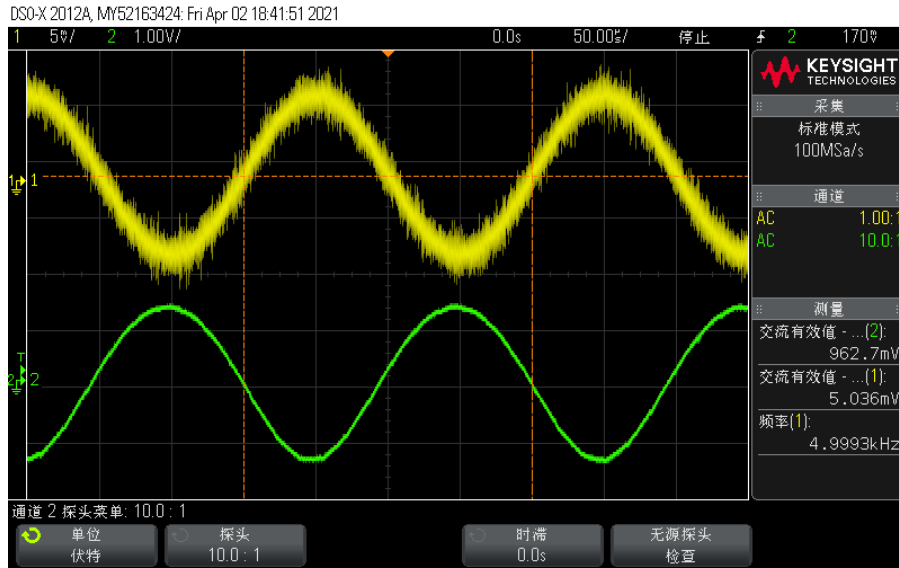


图 24: R_o 测量波形图 ($R_L = \infty$)



根据示波器读数，计算得测得的输出电阻为：

$$R_o = \frac{U'_o - U_o}{U_o} R_L = \frac{962.7 - 489.3}{489.3} \times 2k\Omega = 1.94k\Omega$$

将上述测得数据填入表3的实测值中。

3.3 多级放大电路电压放大倍数的分析

- 第一级放大倍数 A_{u1}

将第一级、第二级之间的连接断开，按此前测量第一级放大倍数的相同方式测量断开后的共漏放大电路的放大倍数。示波器波形如图25、26所示。

图 25: A_{u1} 测量波形图 (输入端)

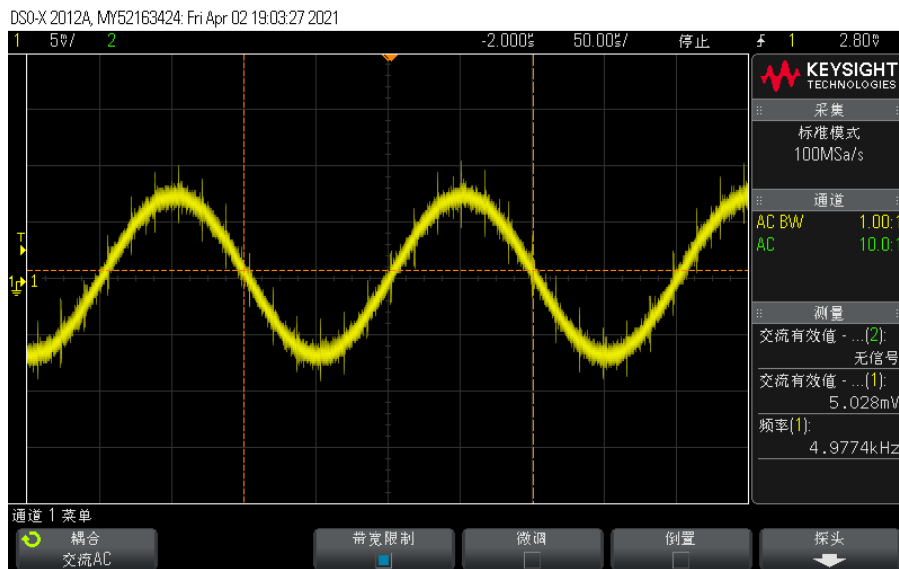
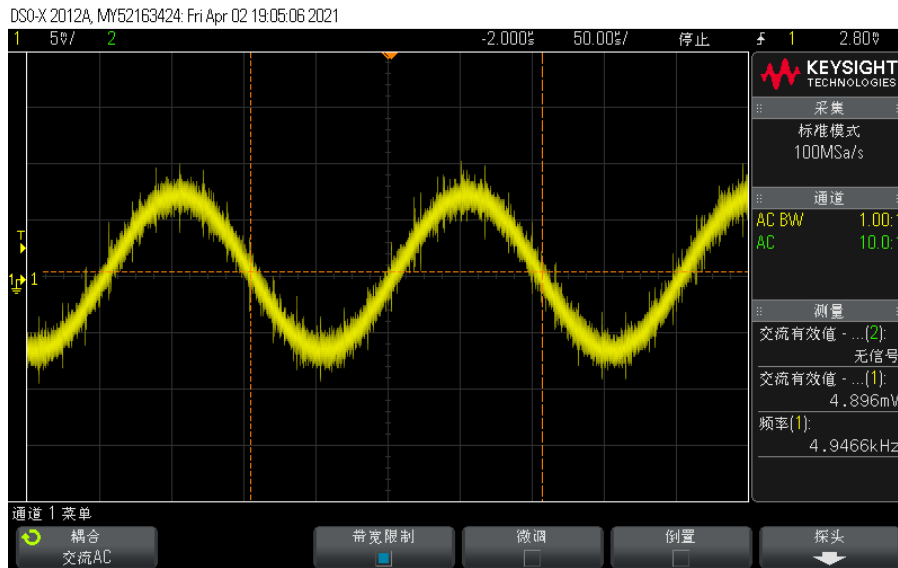


图 26: \dot{A}_{u1} 测量波形图 (输出端)



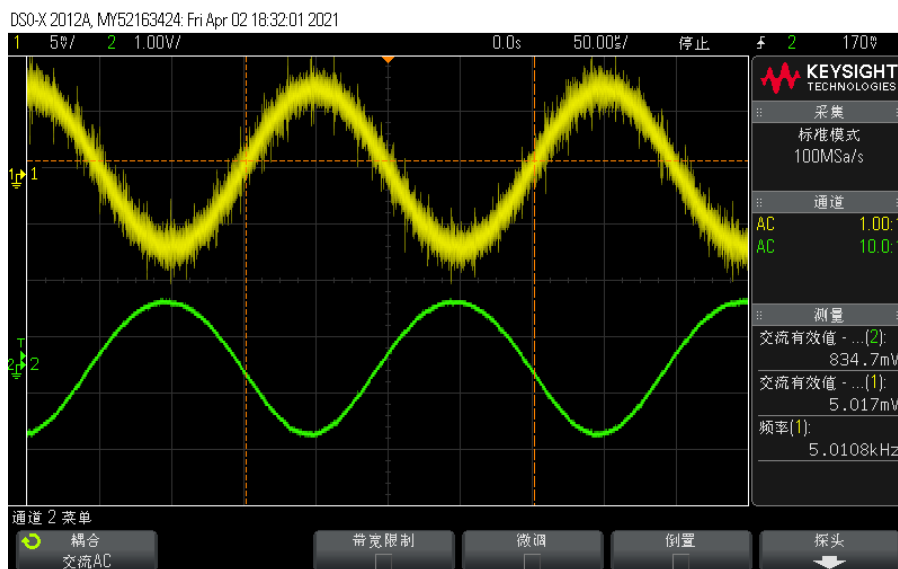
根据测得的交流有效值，计算可得：

$$\dot{A}_{u1} = \frac{U_{o1}}{U_{i1}} = \frac{4.896}{5.028} = 0.9737$$

- 第二级放大倍数 \dot{A}_{u2}

测量断开后的共射放大电路的放大倍数，示波器波形如图27所示。

图 27: \dot{A}_{u2} 测量波形图



根据测得的交流有效值，计算可得：

$$\dot{A}_u = \frac{U_o}{U_i} = -\frac{834.7}{5.017} = -166.37$$

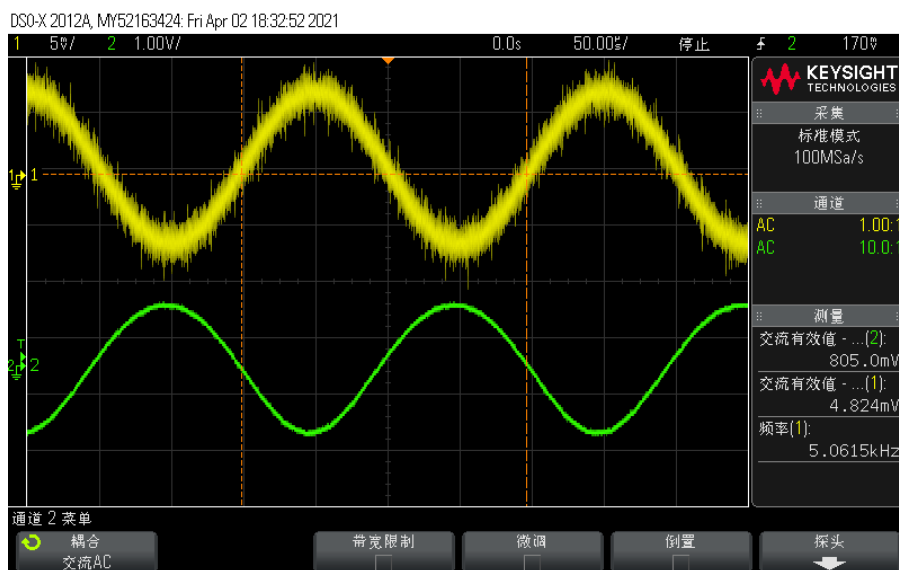
将上述测得数据填入表4的实测值中。

根据测得每一级的电压放大倍数，可以计算多级放大电路的电压放大倍数 $\dot{A}_u = \dot{A}_{u1} \cdot \dot{A}_{u2} = -161.99$

3.4 多级放大电路频率的定性分析

首先测量频率 $f = 5\text{kHz}$ 时的电压有效值，示波器波形如图28所示。

图 28: $f = 5\text{kHz}$ 时的输入、输出波形

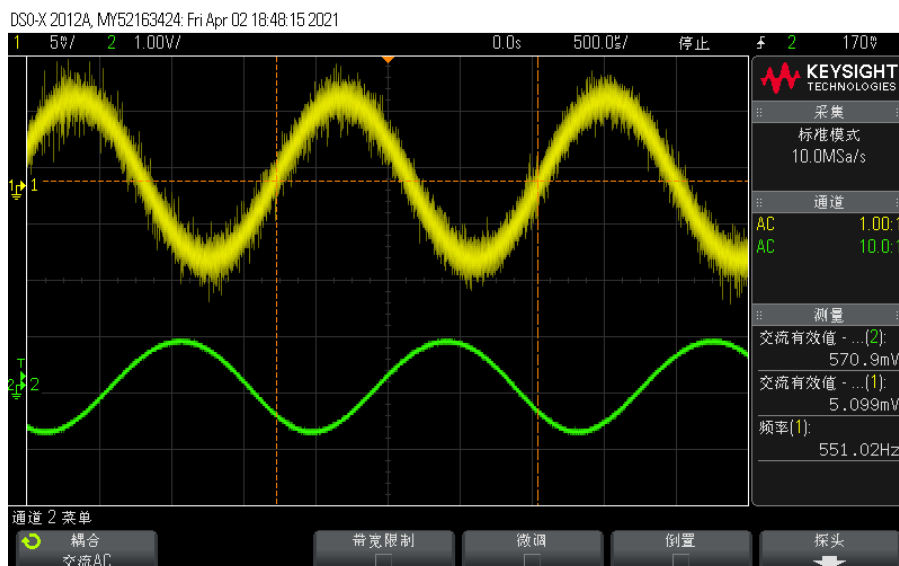


根据波形，可得出交流电压有效值 $U = 805.0\text{mV}$ ，因此若需测量上限、下限截止频率，需要调节输入信号的频率使得 $U = 805.0 \times \frac{\sqrt{2}}{2} \approx 569\text{mV}$

- 下限截止频率

测量下限截止频率的波形如图29所示。

图 29: 下限截止频率 f_L

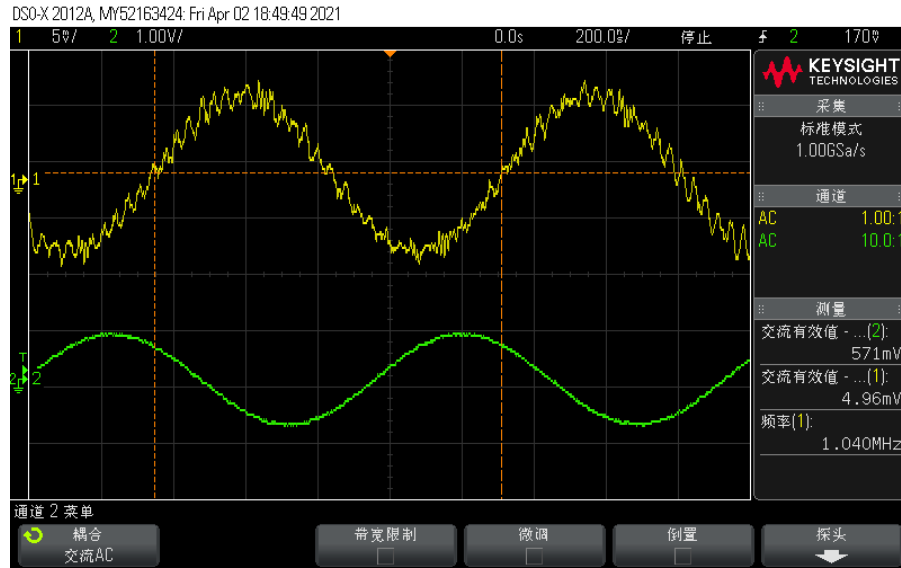


根据波形，可得出下限截止频率 $f_L = 551.02\text{Hz}$ 。

- 上限截止频率

测量上限截止频率的波形如图30所示。

图 30: 上限截止频率 f_H



根据波形，可得出下限截止频率 $f_H = 1.040MHz$ 。

将上述测得数据填入表5的实测值中。

4. 实验数据汇总

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	1.099
$R_o/k\Omega$	2.00	1.89	1.94

表 4: 多级放大电路放大倍数分析

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	551.02
f_H/MHz	1.054	1.040

5. 误差分析

5.1 静态工作点

实验中 MOS 管的栅极漏电流会对共漏放大电路的静态工作点测量造成较大的影响。当 $R_{g1} = R_{g2} = 300k\Omega$ 时, 测得 $U_A = 5.85V$, 表明 R_{g1} 和 R_{g2} 上的压降不相等, 使得栅极电位低于理论值。此外, 为避免流过 MOS 管的电流过大, 需要适当增大源极电阻 R_S 的值 (实验中取 $R_S = 2.385k\Omega$), 会对 I_{DQ} 、 U_{GDQ} 等值造成一定的影响。

共射放大电路的分析方法与实验一相同, 此处不再赘述。

5.2 电压放大倍数

分析测量值可知, 共漏放大电路的 A_{u1} 测量较为准确, 误差较小; 共射放大电路 A_{u2} 测量误差相对较大, 这也导致两级放大电路 A_u 存在一定的测量误差。这可能是由于共射放大电路的放大倍数与晶体管参数相关性较强, 且晶体管的等效模型较为复杂, 使得仿真、理论计算与实际测量的晶体管模型存在差异。

对比直接测量与断开分别测量的结果, 可知分别测量每一级时, 共漏放大电路 A_{u1} 增大, 这可能是由于 A_{u1} 的值受负载影响, 且随负载增大而增大。由于 A_{u1} 的测量值偏大, 也导致 $A_{u1} \cdot A_{u2}$ 的值大于直接测量所得的 A_u , 符合理论分析。

5.3 输入、输出电阻

输入电阻测得的 R_i 偏大。这可能是由于信号源内阻 R_s 导致。根据测量原理公式:

$$\frac{U'_o}{U_o - U'_o} = \frac{R_i}{R_1}$$

若考虑 R_s ，将使得 R_1 偏大，因而 R_i 也偏大。

实验测得的输出电阻较为准确，略小于理论值。这可能是由于晶体管 r_{ce} 与 R_L 并联，减小了 R_L 的等效值导致，由于 r_{ce} 的值较大，相比而言可以忽略，故对输出电阻的测量值影响不大。

5.4 截止频率

实验测得的下限截止频率大于仿真值，上限截止频率略小于仿真值。这可能是由于仿真时模型与实际晶体管的结构不同、其他电路元件的差异而造成的误差。且由于测量上限截止频率时频率较高，示波器频率变化的范围较大，截图展示可能对最终测得结果造成一定的误差。

与实验一测得的截止频率进行对比， f_L 减小， f_H 减小。根据理论分析，多级放大电路的 f_H 应小于各级放大电路的 f_H ， f_L 应大于各级放大电路的 f_L ，实际测得 f_H 明显符合此趋势， f_L 不符合此趋势。可能由于测量误差、输入信号幅值误差等原因造成。

6. 实验中出现的故障以及故障原因

由于此次实验在实验一的基础上进行，大部分测量方法与实验一相似，故实验进行得较为顺利。概括而言，主要出现了以下几点故障。

- 测量静态工作点时，发现 U_A 和 U_G 的电位存在较大差异，在实验过程中，我并未过多关注该现象，认为可能是栅极漏电流导致，并采用实验讲义的测量方法进行测量。在撰写报告时，我认识到这一差异有较为详细的原因（详见思考题）。
- 在测量动态参数时，我发现示波器的波形很不稳定，有很大程度的抖动。在助教的帮助下，我排除了示波器探头、电容好坏等问题后，发现原因是场效应管电容 C_1 并未接在 G 点，而是接在 A 点处，在改接电容位置后，问题即得到解决。这启示我尽管曾进行了大量的电子实验，仍需要仔细检查每一次的接线。
- 在测量输入电阻时，接入大电阻 R_1 后，发现输入波形衰减到几乎无法测量，输出波形也产生了一定的断裂。仔细阅读讲义后，我意识到输入探头应接在信号源两端。此外，适当减小接入大电阻 R_1 的阻值可以适当减小输出波形的断裂情况。

7. 总结与分析

7.1 发射极电阻对放大电路动态参数的影响

根据实验一中的数据，显然可以看出，当接入发射极电阻后，电路的放大倍数减小，输入电阻明显增大，输出电阻变化不大。

$$\begin{cases} A_u = -\frac{\beta(R_C // R_L)}{r_{be} + (1 + \beta)R_{e1}} \\ R_i = R_{b1} // (r_{be} + (1 + \beta)R_{e1}) \\ R_o = R_C \end{cases} \quad (3)$$

由理论分析，可知 R_e 增大时，放大倍数 A_u 绝对值减小，等效输入电阻增大， R_e 不影响输出电阻。然而，由于发射极电阻的直流负反馈作用，增大发射极电阻可使得放大电路更稳定，并在一定程度上消除温漂对静态工作点的影响。

R_e 的接入将使得输入回路电阻增大, 考虑 C_e 所在回路的时间常数, 这将使得电路的下限截止频率降低。此外, R_e 将使晶体管极间电容 $C_{\pi'}$ 所在回路电阻增大, 上限截止频率降低。由于电路的放大倍数减小, 由增益带宽积原理, 电路的通频带将增大。

7.2 放大电路主要性能指标的测量方法

- 静态工作点

测量静态工作点时, 将输入信号短路, 测量相应电位、电流值即可, 在将电路调整至正确的静态工作点后, 其操作较为简单。需要注意若放大电路中含有大电阻、大电容时, 需要考虑连入万用表对测量造成的影响。

- 放大倍数

测量电压放大倍数的方法较为简单, 利用示波器同时观测输入、输出信号波形, 读取波形的有效值或峰峰值, 利用公式 $\dot{A}_u = \frac{u_o}{u_i}$ 即可得 \dot{A}_u 的值。

- 输入电阻

测量输入电阻时, 在被测电路的输入回路中串入已知阻值的电阻 R_1 , 用示波器分别观测 R_1 两端的波形 (此处注意由于 R_1 两端电压大小均较小, 故都需采用 $\times 1$ 探头进行测量), 利用公式 $R_i = \frac{U_i}{U_i' - U_i} R_1$ 即可求出输入电阻。

若电路的输入电阻较高, 需要采用高阻值情况下的输入电阻测量方法, 在输入回路串入与输入电阻同一数量级的电阻 R_1 , 分别在电阻接入、短路的情况下测量输出信号的有效值, 利用公式 $R_i = \frac{U_o'}{U_o - U_o'} R_1$ 即可求出输入电阻。

- 输出电阻

测量输出电阻时, 将负载电阻 R_L 开路, 测量开路输出电压 u_o' , 再接入与输出电阻阻值接近的负载电阻 R_L , 测量带载输出电压 u_{oL} , 利用公式 $R_O = R_L (\frac{U_o'}{U_o} - 1)$ 即可求出输出电阻。

- 上下限截止频率

首先测量电路在正常频率下的输出电压有效值 U_m , 计算 $U_m' = \frac{\sqrt{2}}{2} U_m$, 调节输入信号频率直至 U_m 到达理论计算值, 读出此时的输入信号频率即可分别测量 f_H 、 f_L 。

8. 思考题

8.1 思考题一

为使共漏放大电路的静态工作电流为 $1.5mA \sim 2.5mA$, 源极电阻 R_S 应该在什么范围内取值? 请结合仿真结果进行分析。

- 理论计算

根据理论公式:

$$\begin{aligned} I_D &= I_{DSS} \left(\frac{U_{GS}}{U_{GS(th)}} - 1 \right)^2 \\ U_{GS} &= U_{GQ} - I_D R_S \end{aligned} \quad (4)$$

可解得:

$$R_S = \frac{U_{GQ} - U_{GS(th)}(1 + \sqrt{\frac{I_D}{I_{DSS}}})}{I_D} \quad (5)$$

取 $U_{GQ} = 6.00V$ ，可解得：

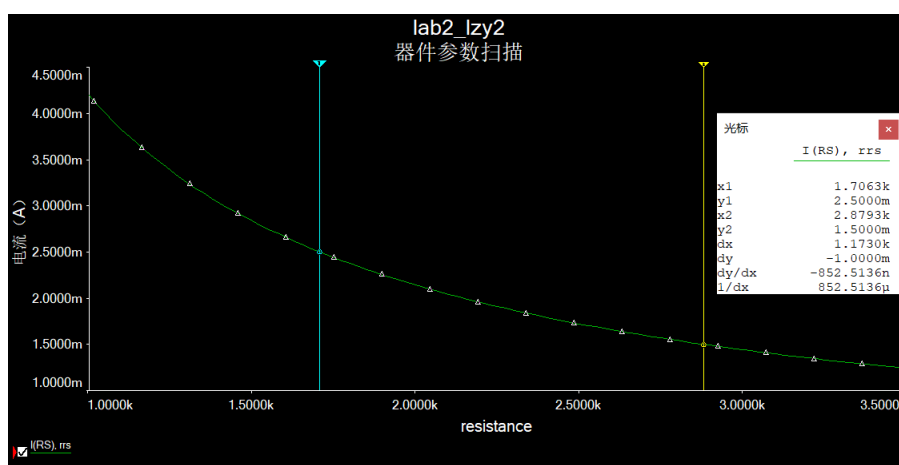
$$1.7003k\Omega \leq R_S \leq 2.8711k\Omega$$

其估算值与实测值 $I_D = 1.8mA$ 时， $R_S = 2.385k\Omega$ 相符合。

• 仿真结果

对电路进行仿真，仿真结果如图31所示。

图 31: 思考题一仿真结果



根据仿真结果，可知仿真所得 $1.7063k\Omega \leq R_S \leq 2.8793k\Omega$ ，符合理论计算结果。

8.2 思考题二

已知实验室配备的万用表内阻约为 $1M\Omega$ ，在调试共漏放大电路的静态工作点时，为什么通过测量 A 点电位来得到栅极电位，而不直接测栅极电位？

若将万用表接在栅极 G 点，由于 $1M\Omega$ 与共漏放大电路 $R_{g3} = 910k\Omega$ 阻值相当，考虑到电阻的分压关系，此时栅极电位的测量值将减小至约为 A 点的一半。此外，分析电路图，由于 R_{g3} 通过万用表内阻接地，其与 R_{g1} 为并联关系，减小了 R_{g1} 的等效阻值，使得测得的电位值进一步减小。综上所述，若直接测栅极电位，将会使得测量值明显小于真实值。

另一方面，考虑电容 C_1 回路的等效电阻减小，该回路的时间常数减小，估算其值约为 $1M\Omega$ ，时间常数 $\tau \approx 10s$ ，因而 RC 系统需一段时间重新达到稳态，影响读数稳定性。

若在 A 点处测量，由于 R_{g1} 的值相对较小，万用表内阻的影响较小，因此应当在 A 点处测量电位来得到栅极电位。

8.3 思考题三

分压电阻 R_{g1} 、 R_{g2} 应该如何取值？

其一，需要保证栅极电位大于 MOS 管开启电压 $U_{GS(th)} \approx 1.5V$ ，由分压关系：

$$U_G = \frac{R_{g1}}{R_{g1} + R_{g2}} V_{CC} > 1.5V$$

可得 $\frac{R_{g1}}{R_{g2}} \geq \frac{1}{7}$

其二，需保证输入电阻大于 $1M\Omega$ 。由于 $R_{g3} = 910k\Omega$ ，故需要使 $R_{g1} // R_{g2} > 90k\Omega$ 。

其三， R_{g1} 与 R_{g2} 的值不能过大，以避免栅极漏电流与流过 R_{g1} 、 R_{g2} 支路大小相似，而对 R_{g1} 、 R_{g2} 的分压关系造成较大影响。因此，最好取得 R_{g1} 、 R_{g2} 大约为数百 $k\Omega$ 。

实验中实际取 $R_{g1} = R_{g2} = 300k\Omega$ ，符合要求，且实际测量可知取值合理。