

实验二 两级放大电路

实验报告

姓名: 赵文亮
学号: 2016011452
班级: 自64
桌号: 229—6
日期: 2018年4月13日

目录

1	实验目的	1
2	实验内容	1
2.1	实验必做	1
2.2	实验选做	2
3	实验要求	2
4	预习要求	2
4.1	估算图 1 两级放大电路的动态参数	2
4.2	对电路进行仿真测量	5
4.2.1	静态参数	5
4.2.2	动态参数	6
4.2.3	选做任务	7
4.3	数据记录表格	10
4.3.1	静态工作点	10
4.3.2	动态参数	10
4.3.3	选做任务	11
5	波形截图	12
5.1	必做任务部分波形	12
5.2	选做任务部分波形	12
6	数据处理	13
6.1	静态工作点	13
6.2	动态参数	13
6.3	选做任务	15
7	实验中的故障及解决方法	16
8	实验总结	17
8.1	总结、分析发射极电阻对放大电路动态参数的影响	17
8.2	总结放大电路主要性能指标的测量方法	17
8.2.1	静态参数	17
8.2.2	动态参数	17
9	思考题	18

1 实验目的

1. 了解 N 沟道结型场效应管的特性和工作原理。
2. 熟悉两级放大电路的设计和调试方法。
3. 学习使用 Multisim 分析、测量场效应管和两级放大电路的方法。

2 实验内容

本次实验内容分为必做和选做两部分。在搭接与测量硬件电路前，要求先进行理论计算和电路仿真。测量结束后对实测值、仿真值、理论计算值进行对比，分析测量误差大小及产生误差的主要原因。

2.1 实验必做

实验电路如图1所示，设计并实现一个由共漏放大电路和共射放大电路组成的两级放大电路。通过调节电阻 R_{g1} 、 R_{g2} 、 R_s 和 R_{b1} 改变电路静态工作点；并要求电路的动态参数两级电压放大倍数 $\dot{A}_u \geq 110$ ，输入电阻 $R_i \geq 1\text{M}\Omega$ 。

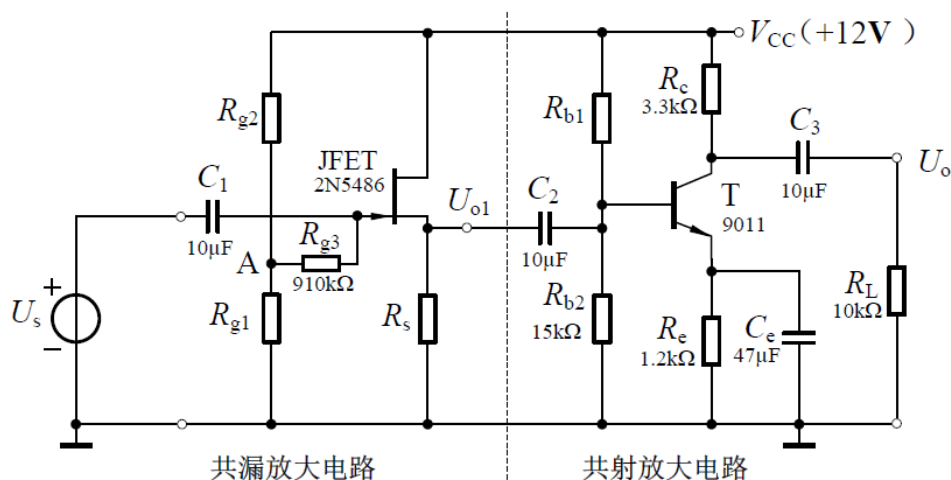


图 1 两级放大电路

1. N 沟道结型场效应管 2N5486 的特性曲线（只做仿真测量）
测量 2N5486 的输出特性和转移特性曲线进行仿真，并测量 I_{DSS} 使 i_D 约等于 $5\mu\text{A}$ 时的 $U_{GS(off)}$ 。2N5486 的主要参数见附录。
2. 放大电路静态工作点
(1) 第一级电路：设计与调节电阻 R_{g1} 、 R_{g2} 、 R_s ，使得 I_{DQ} 约为 2mA ， $U_{GDQ} < -4\text{V}$ ，记录 U_A 、 U_S 、 U_{GDQ} 。 R_{g1} 、 R_{g2} 的建议阻值为大于等于 $100\text{k}\Omega$ 。

(2) 第二级电路：调节 R_{b1} ，使 I_{CQ} 约为 mA ， $U_{CEQ} = 2 \sim 3\text{V}$ 。记录 U_{CEQ} 。

3. 放大电路的主要性能指标。

输入信号有效值 $U_s \approx 5\text{mV}$ 、频率 $f \approx 10\text{kHz}$ ，测量 \dot{A}_{u1} 、 \dot{A}_u 、 R_i 、 R_o 。

2.2 实验选做

多级放大电路频率的定性分析：

1. 将图 1 中两级放大电路的第一级与第二级电路断开，分别测量第一级和第二级的电压放大倍数 \dot{A}_{u1} 、 \dot{A}_{u2} 。两级放大电路的电压放大倍数是否为 $\dot{A}_{u1} = \dot{A}_{u1} \cdot \dot{A}_{u2}$ ？为什么？
2. 测量两级放大倍数的 f_L, f_H ，与实验一单管放大电路中 f_L, f_H 比较。

3 实验要求

1. 实验中要将直流电源、信号源、示波器等电子仪器和实验电路共地，以免引起干扰。
2. 测量 R_w 的阻值时，必须断电、断开电阻所在支路的连线。
3. 测量放大电路的各项动态性能指标时，要始终用示波器监视输入、输出波形。只有在输入输出信号不失真的情况下进行测量才有意义。
4. 请注意电解电容的正负极，将正极接入电路中电位相对较高的一端。
5. 两级放大电路的输入电阻 $R_i \geq 1\text{M}\Omega$ 。测量时，需要使用高阻值输入电阻的测量方法。（见实验一附录）。
6. 测试图 1 电路的静态工作点时应通过测量 A 点电位得到 U_{GQ} 。

4 预习要求

4.1 估算图 1 两级放大电路的动态参数

在理论计算之前，需要先通过仿真来确定 JFET 的一些基本参数。使用 IV 分析仪来测量 2N5486 的输出特性曲线。如图 2 所示。

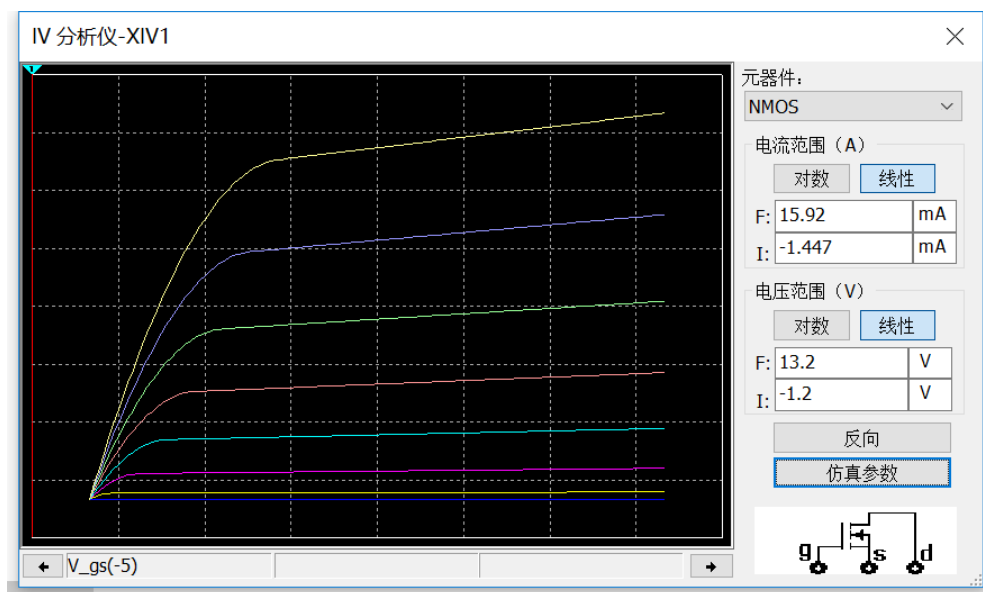


图 2 2N5486的输出特性曲线

测量传输特性曲线的电路如下图所示。

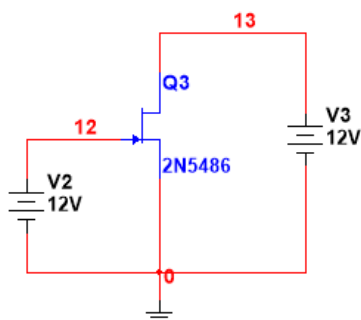


图 3 传输特性测量电路

使用直流扫描功能，对V2进行扫描，以通过V3的电流（漏极电流）为因变量，即可得到传输特性曲线：

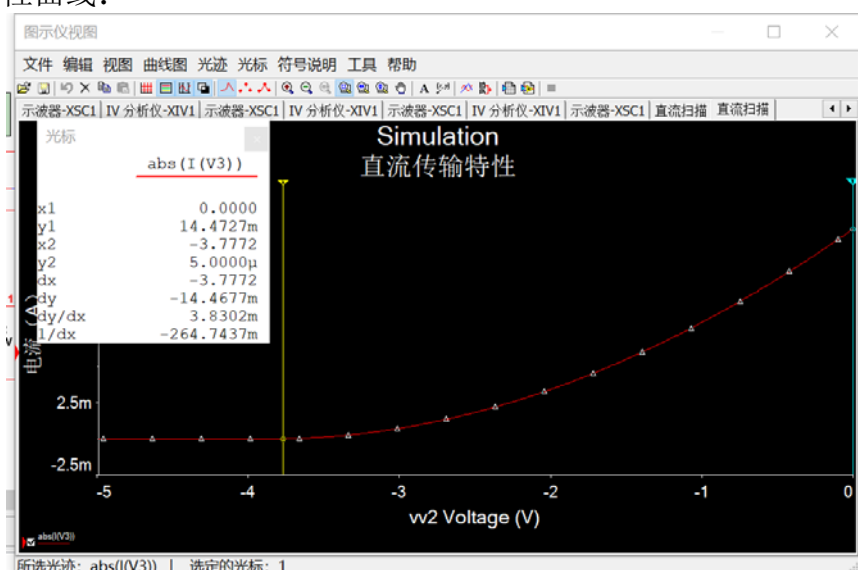


图 4 传输特性测量曲线

使用光标选取 i_D 约为 $5\mu A$ 的点，可知 $U_{GS(off)} = -3.78V$ ；测量 $U_{GS} = 0$ 处的漏极电

流，可得 $I_{DSS} = 14.473\text{mA}$ 。下面进行理论估算：

首先计算 g_m ：

$$g_m = \frac{2}{-U_{GS(\text{off})}} \sqrt{I_{DQ} I_{DSS}} = \frac{2}{3.78} \sqrt{14.473\text{m} \times 2\text{m}} \text{ S} = 2.85\text{mS}$$

再计算 r_{be} ：

$$r_{be} = r_{bb'} + \frac{\beta U_T}{I_{CQ}} = 800 + 230 \times \frac{26\text{m}}{2\text{m}} \Omega = 3.790\text{k}\Omega。$$

其中 $r_{bb'}$ 按照实验一中的取值范围 $650\Omega \sim 950\Omega$ 取中间值 800Ω 。

根据电路图不难得出

$$\dot{A}_{u1} = \frac{g_m \dot{U}_{GS}(R_s // R_{i2})}{g_m \dot{U}_{GS}(R_s // R_{i2}) + \dot{U}_{GS}} = \frac{g_m(R_s // R_{i2})}{g_m(R_s // R_{i2}) + 1}$$

其中 R_{i2} 是第二级电路的输入电阻。经过仿真调试可知 $R_{b1} = 40\text{k}\Omega$

$$R_{i2} = R_{b1} // R_{b2} // r_{be} = 2.812\text{k}\Omega。$$

本次实验中 $R_s = 4.7\text{k}\Omega$ ，则

$$\dot{A}_{u1} = \frac{2.85\text{mS}(4.7\text{k}\Omega // 2.812\text{k}\Omega)}{2.85\text{mS}(4.7\text{k}\Omega // 2.812\text{k}\Omega) + 1} = 0.8337$$

第二级的放大倍数

$$\dot{A}_{u2} = -\frac{\beta(R_c // R_L)}{r_{be}} = -150.57$$

则

$$\dot{A}_u = \dot{A}_{u1} \cdot \dot{A}_{u2} = -190.54 \times 0.817 = -125.53$$

易知：

$$\begin{aligned} R_i &= R_{g3} + R_{g2} // R_{g1} \\ R_o &= R_c \end{aligned}$$

本次实验中 $R_{g1} = 300\text{k}\Omega$ ， $R_{g2} = 220\text{k}\Omega$ ， $R_c = 3.3\text{k}\Omega$ 。代入计算可得：

$$R_i = 1.037\text{M}\Omega$$

4.2 对电路进行仿真测量

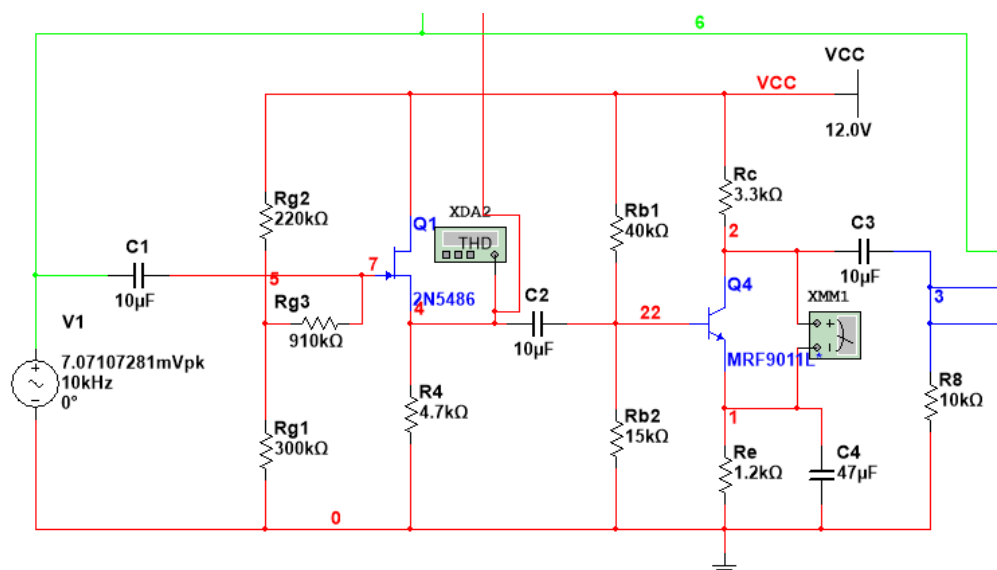


图 5 仿真电路图

4.2.1 静态参数

使用探针可以方便地测量各个静态参数，如图 6 所示。

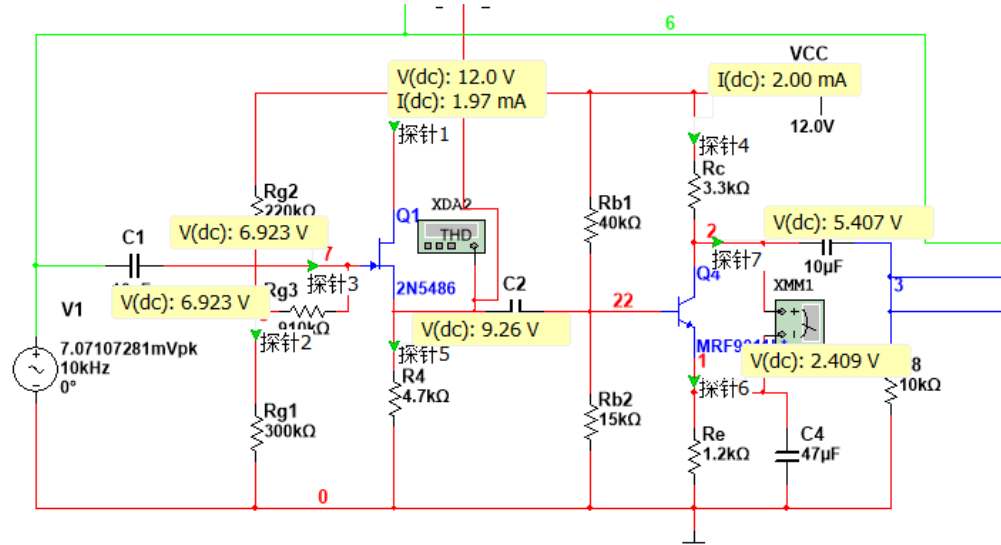


图 6 静态参数测量

从中可以方便地读取和计算得到静态参数。

第一级电路

$$I_{DQ} = 1.97\text{mA}, U_{GDQ} = -5.077\text{V}, U_{GSQ} = -2.337\text{V}, U_A = 6.923\text{V}, U_S = 9.26\text{V}$$

第二级电路

$$I_{CQ} = 2.00\text{mA}, U_{CEQ} = 2.998\text{V}$$

4.2.2 动态参数

放大倍数 \dot{A}_{u1}, \dot{A}_u

使用示波器分别测量输入电压以及各级放大电路输出。第一级输出与输入波形的关系如图 7 所示。

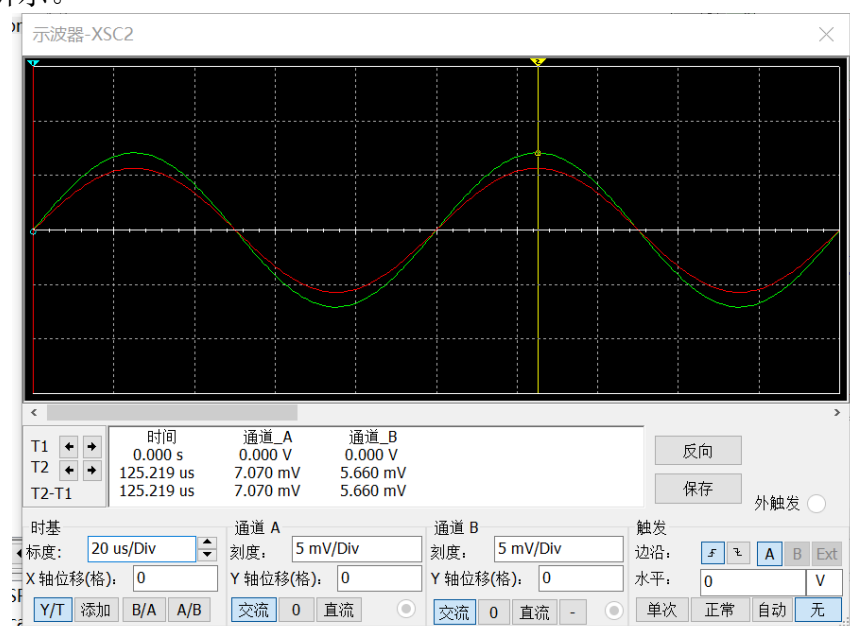


图 7 第一级放大电路放大倍数测量

可以求得：

$$\dot{A}_{u1} = \frac{5.660\text{m}}{7.070\text{m}} = 0.801$$

同理测得第二级输出与整个电路输入的波形如图 8 所示。

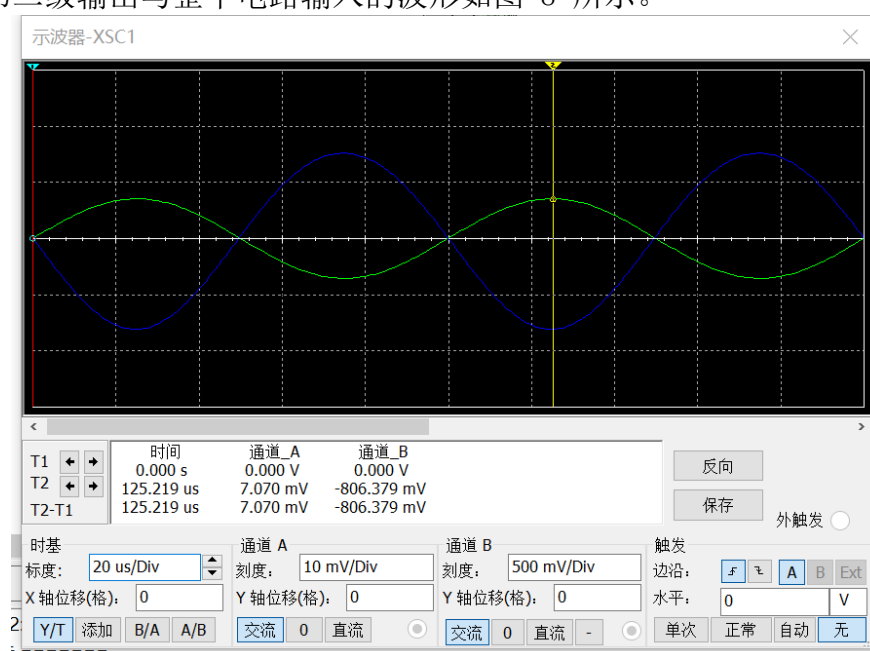


图 8 电路总放大倍数测量

则

$$\dot{A}_u = -\frac{806.376\text{m}}{7.070\text{m}} = -114.06$$

输入输出电阻

测量输入电阻的电路如图 9。

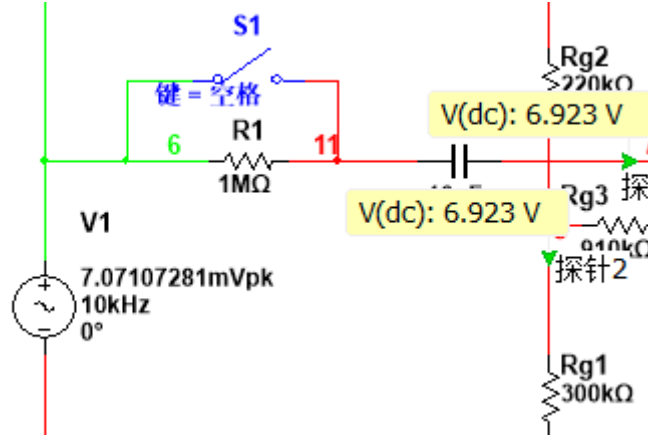


图 9 输入电阻测量

开关S1断开时，测得输出电压峰值 $U_{o2} = 395.209\text{mV}$ ；开关S1闭合时，测得输出电压峰值 $U_{o1} = 758.950\text{mV}$ 。进而可以得到：

$$R_i = \frac{U_{o2}}{U_{o1} - U_{o2}} R_1 = \frac{395.209}{758.950 - 395.209} \cdot 1\text{M}\Omega = 1.087\text{M}\Omega$$

下面测量输出电阻。负载开路时，测得输出电压峰值 $U'_o = 980.233\text{mV}$ ，接入负载 $R_L = 3.3\text{k}\Omega$ 后测得带负载输出电压 $U_{oL} = 520.860\text{mV}$ 。则

$$R_o = \left(\frac{U'_o}{U_{oL}} - 1 \right) R_L = \left(\frac{980.233}{520.860} - 1 \right) \times 3.3\text{k}\Omega = 2.91\text{k}\Omega$$

4.2.3 选做任务

1. 单独测量两级放大电路的放大倍数。将两级电路拆开，分别测量放大倍数，波形如图 10 和图 11。可得此时第一级的放大倍数

$$\dot{A}_{u1} = \frac{6.452}{7.070} = 0.913$$

第二级的放大倍数

$$\dot{A}_{u2} = \frac{937.625}{-7.070} = -132.62$$

而

$$\dot{A}_{u1} \cdot \dot{A}_{u2} = -121.08 \neq \dot{A}_u$$

二者并不相等。

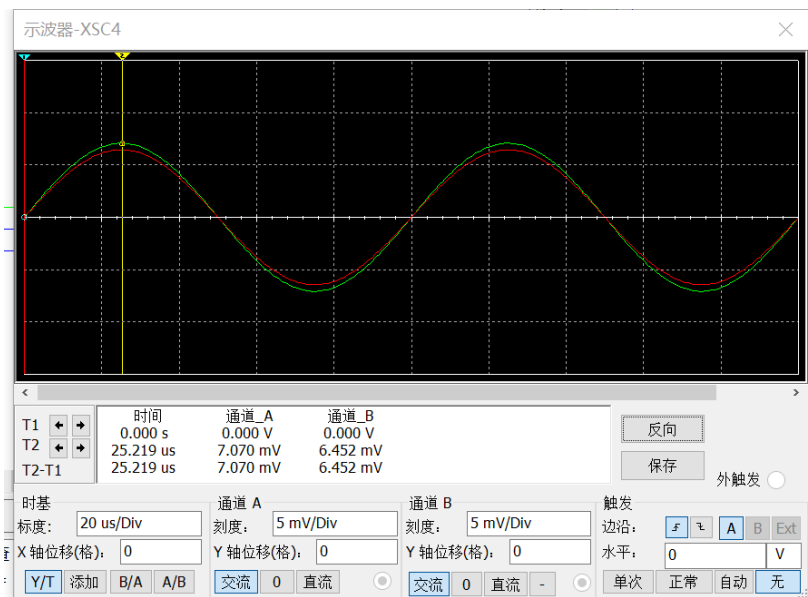


图 10 单独测量第一级放大倍数

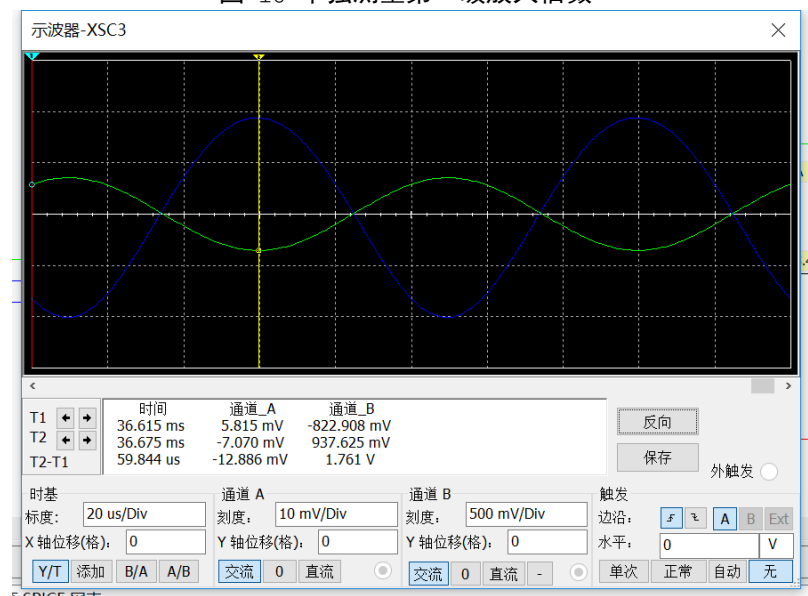


图 11 单独测量第二级放大倍数

2. 测量两级放大电路的截止频率。使用波特仪进行测量，结果如图 12 和图 13 所示。可知

$$f_H = 4.366\text{MHz}$$

$$f_L = 175.429\text{Hz}$$

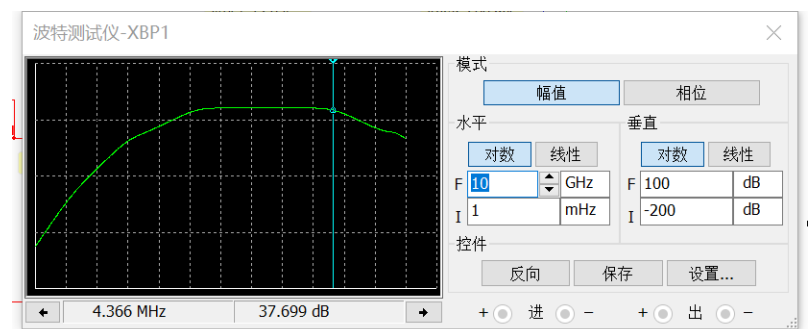


图 12 测量高频截止频率

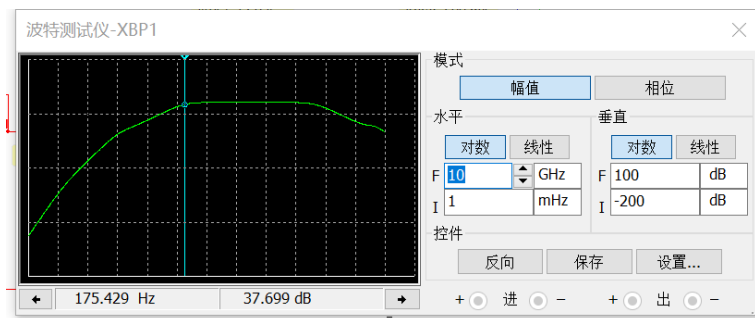


图 13 测量低频截止频率

4.3 数据记录表格

4.3.1 静态工作点

第一级电路

	I_{DQ}/mA	U_{GDQ}/V	U_{GSQ}/V	U_A/V	U_S/V
理论值	2	-5.077	-2.477	6.923	9.4
仿真值	1.97	-5.077	-2.337	6.923	9.26
实测值					

第二级电路

	I_{CQ}/mA	U_{CEQ}/V
理论值	2	3
仿真值	2.00	2.998
实测值		

4.3.2 动态参数

放大倍数

	U_i/mV	U_{o1}/mV	U_o/mV	\dot{A}_{u1}	\dot{A}_u
理论值	5	4.169	627.65	0.8337	-125.53
仿真值	5	4.002	570.19	0.8010	-114.06
实测值					

输入电阻

	U_{o2}/mV	U_{o1}/mV	$R_1/\text{M}\Omega$	$R_i = \frac{U_{o2}}{U_{o1} - U_{o2}} R_1/\text{M}\Omega$
理论值				1.037
仿真值	359.209	758.950	1	1.087
实测值				

输出电阻

	U'_o/mV	U_{oL}/mV	$R_L/\text{k}\Omega$	$R_o = \left(\frac{U'_o}{U_{oL}} - 1 \right) R_L/\text{k}\Omega$
理论值				3.3
仿真值	980.233	520.860	3.3	2.91
实测值				

动态参数汇总

	\dot{A}_{u1}	\dot{A}_u	$R_i/\text{M}\Omega$	$R_o/\text{k}\Omega$
理论值	0.8337	-125.53	1.037	3.3
仿真值	0.8010	-114.04.06	1.087	2.91
实测值				

4.3.3 选做任务

各级电路放大倍数

	U_{i1}/mV	U_{o1}/mV	\dot{A}_{u1}
理论值	5	4.652	0.930
仿真值	5	4.562	0.913
实测值			

	U_{i2}/mV	U_{o2}/mV	\dot{A}_{u2}
理论值	5	752.85	-150.57
仿真值	5	663.00	-132.62
实测值			

截止频率

f/Hz							
$ \dot{A}_u $							

f/Hz							
$ \dot{A}_u $							

	f_H/MHz	f_L/Hz
理论值		
仿真值	4.366	175.429
实测值		

5 波形截图

实验中的部分波形如下。

5.1 必做任务部分波形

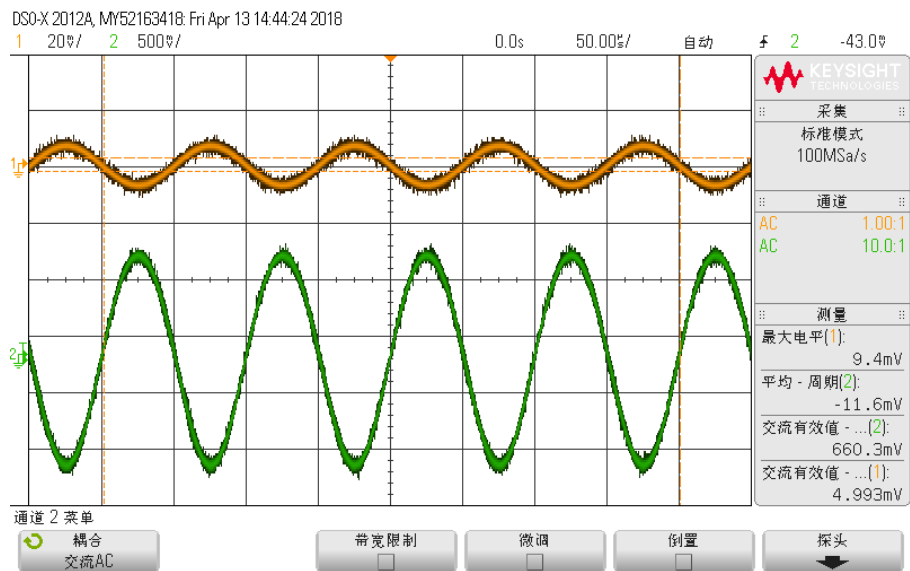


图 14 两级电路放大倍数测量波形

5.2 选做任务部分波形

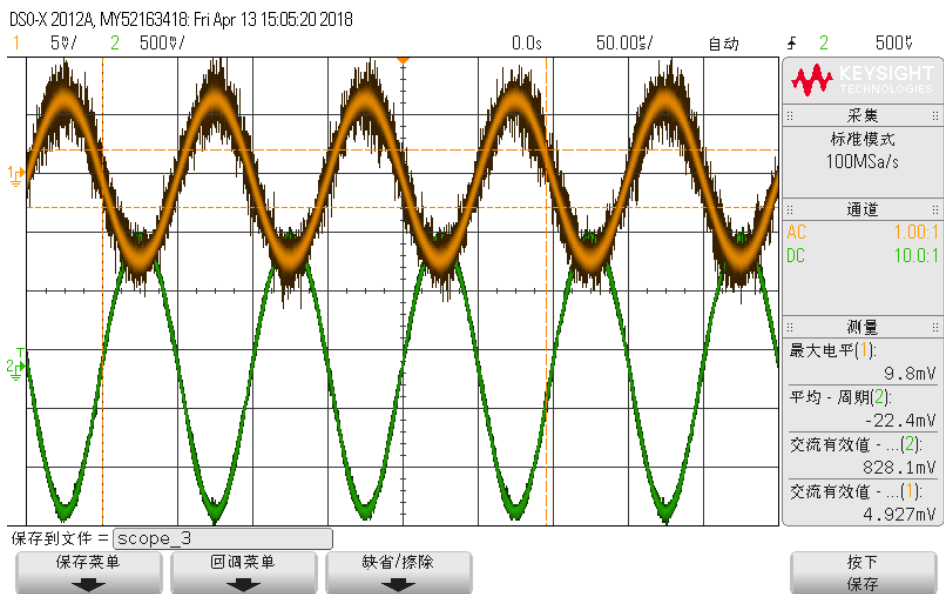


图 15 第二级电路放大倍数测量波形

6 数据处理

6.1 静态工作点

第一级电路

第一级放大电路的静态工作点测量结果如表 1 所示。从中可见理论值、仿真值和实测值十分接近。

表 1 第一级电路静态工作点

	I_{DQ}/mA	U_{GDQ}/V	U_{GSQ}/V	U_A/V	U_S/V
理论值	2	-5.077	-2.477	6.923	9.4
仿真值	1.97	-5.077	-2.337	6.923	9.26
实测值	2.015	-5.16	-2.63	6.74	9.37

第二级电路

第二级放大电路的静态工作点测量结果如表 2 所示。由于静态工作点设置的不同，其静态参数实测值与理论值和仿真值有所偏差。事实上，由于本次实验对静态工作点的要求并不是十分严格，只要保证 $I_{CQ} \approx 2\text{mA}$ 即可。所以，我在实验中并没有利用电位器调节 I_{CQ} 的值，而是直接按照仿真得到的参数搭接电路。测量得到 $I_{CQ} = 2.07\text{mA}$ 完全符合要求。在此情况下， U_{CEQ} 的理论值应该变为

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}(R_c + R_e) = 11.90 - 2.07 \times (1.2 + 3.3)\text{V} = 2.585\text{V}$$

其中 V_{CC} 取实测的学习机上的电源电压值11.90V，可见于实测值十分接近。

表 2 第二级电路静态工作点

	I_{CQ}/mA	U_{CEQ}/V
理论值	2	3
仿真值	2.00	2.998
实测值	2.07	2.589

6.2 动态参数

放大倍数

放大倍数测量数据如表 3 所示。通过比理论值、仿真值和实测值可以发现，三者之间都存在一定的偏差。通过比较发现，实测值中的第一级放大倍数比理论值和仿真值要小，而总的放大倍数要比理论值和仿真值要大。事实上，

放大倍数的取值和实际元件的参数相关性很大，而无论是仿真还是理论计算都是把一组固定的模型参数代入计算，而这些参数和实验中实际采用的元件的参数可能有所不同。另一方面，元件的参数会受到实际环境的影响（例如温度）。总的来说，这些误差还是在我们预料之内的，可以接受。

表 3 放大倍数测量数据

	U_i/mV	U_{o1}/mV	U_o/mV	\dot{A}_{u1}	\dot{A}_u
理论值	5	4.169	627.65	0.8337	-125.53
仿真值	5	4.002	570.19	0.8010	-114.06
实测值	4.982	3.856	662.1	0.774	-132.90

输入电阻

输入电阻测量数据见表 4。其中本次实验需要注意的是，该电路的输入电阻是 $\text{M}\Omega$ 量级，属于大电阻，需要使用测量输出电压的方法间接测量。具体方法见第 6 页 4.2.2 节中的仿真测量步骤。实际测量中我发现，如果在输入端串联一个 $1\text{M}\Omega$ 的电阻，输出的波形无法稳定。这是因为本来输入的信号就是 5mV 的小信号，再经过一个大电阻分压后实际的输入电压会变得更小。而越是小的信号收到电路中的噪声等影响产生的相对波动就越大，这些噪声经过电路后会和信号一起被放大。为了解决这个问题，我在输入端串联了一个不那么大的电阻，同时又保证与输入电阻的数量级相当，以免结果偏差过大。我采用 $0.3\text{M}\Omega$ 的电阻作为 R_1 ，事实证明可以得到稳定的波形。测得输入电阻为 $0.994\text{M}\Omega$ ，比理论计算值略小。后来我咨询秦老师，老师说这个数值在规定的范围内。

表 4 输入电阻测量数据

	U_{o2}/mV	U_{o1}/mV	$R_1/\text{M}\Omega$	$R_i = \frac{U_{o2}}{U_{o1} - U_{o2}} R_1/\text{M}\Omega$
理论值				1.037
仿真值	359.209	758.950	1	1.087
实测值	507.2	660.3	0.3	0.994

输出电阻

输出电阻测量数据见表 5。从中可知实测值与理论值比较接近，而仿真值和理论值相差较大。这可能是因为仿真中的三极管的参数 r_{ce} 较小，导致在仿真中测量的输出电阻较小。事实上，通过之前的三极管输出特性也可以看到，Early效应特别明显。而实际三极管的输出特性曲线在放大区并没有那么明显的上翘，即 r_{ce} 实际较大。

表 5 输出电阻测量数据

	U'_o/mV	U_{oL}/mV	$R_L/\text{k}\Omega$	$R_o = \left(\frac{U'_o}{U_{oL}} - 1 \right) R_L/\text{k}\Omega$
理论值				3.3
仿真值	980.233	520.860	3.3	2.91
实测值	872.4	442.9	3.287	3.188

动态参数汇总

将动态参数的理论值、仿真值和实测值整理如表所示。

表 6 动态参数数据汇总

	\dot{A}_{u1}	\dot{A}_u	$R_i/\text{M}\Omega$	$R_o/\text{k}\Omega$
理论值	0.8337	-125.53	1.037	3.3
仿真值	0.8010	-114.06	1.087	2.91
实测值	0.774	-132.90	0.994	3.188

6.3 选做任务

各级电路放大倍数

将两级电路断开分别测量放大倍数，结果分别整理如表 7 和表 8 所示。

表 7 单独测量第一级电路放大倍数结果

	U_{i1}/mV	U_{o1}/mV	\dot{A}_{u1}
理论值	5	4.652	0.930
仿真值	5	4.562	0.913
实测值	4.949	4.349	0.879

表 8 单独测量第二级电路放大倍数结果

	U_{i2}/mV	U_{o2}/mV	\dot{A}_{u2}
理论值	5	752.85	-150.57
仿真值	5	663.00	-132.62
实测值	4.895	828.9	-169.30

我们仍然可以看到，第一级放大电路的放大倍数的实测值要低于理论值和仿真值，而第二级的放大倍数实测值要高于理论值和仿真，这也再一次验证了之前的推论。这里我们关注两级放大电路的乘积：

$$\dot{A}_{u1} \cdot \dot{A}_{u2} = 0.879 \times (-169.30) = -148.81 \neq -132.90 = \dot{A}_u$$

这是因为两级电路接在一起时，第一级的放大倍数的表达式中会包含第二级电路的输入电阻，而分开测量时则不包含。这就实际上导致了两级电路连在一起时，第一级的放大倍数较小。事实上，如果我们在上式中将 \dot{A}_{u1} 换成带后级输入

电阻的放大倍数0.774，则可以得到：

$$\dot{A}'_{u1} \cdot \dot{A}_{u2} = 0.774 \times (-169.30) = -131.04 \approx \dot{A}_u$$

这更加验证了刚才的分析。

截止频率

不同频率下放大倍数如表 9 所示。首先测量中频（此处取 $f = 10\text{kHz}$ ）时的电压放大倍数为 $|\dot{A}_u| = 132.03$ ，可知 $|\dot{A}_u|/\sqrt{2} = 93.36$ 。测量一系列频率以及对应的放大倍数，从下表中可以读出截止频率。整理如表 10 所示。

表 9 幅频特性测量数据

f/Hz	100	135	10k	500k	505k	510k	1M
$ \dot{A}_u $	80.66	93.32	132.03	93.52	93.36	92.96	59.09

表 10 截止频率测量结果

	f_H/MHz	f_L/Hz
理论值	6.097	61.70
仿真值	4.366	175.429
实测值	505k	135

可见，和第一次实验一样，实测值会低于仿真值，尤其是在高频段。与上次实验对比可得，本次实验中的带宽变窄了，这是因为多级放大电路的低频截止频率的平方约为各级低频截止频率的平方和，故低频截止频率增大；同理高频截止频率减小。理论计算值在数量级上与仿真值比较接近，但是仍有些许差别。这是因为理论计算是我采用了数据手册中的参数，可能与Multisim中的参数不同。

7 实验中的故障及解决方法

本次实验比较顺利，遇到的问题较少：

1. 波形重叠。刚开始调节波形时，我发现无论是输出还是输入波形都不是很稳定，具体表现在似乎有两相位相差180的波形叠加而成。我很快意识到这可能是触发源选择的问题，于是及时修改了触发源，便解决了问题。
2. 放大倍数不够。刚开始测量时，我发现我的放大倍数甚至不到100。于是我开始一级一级地通过示波器进行测量，发现第二级的放大倍数很小。根据放大倍数的表达式，我首先反应到可能是负载电阻的阻值问题。我测量了 R_L 的阻值，发现果然不是要求的 $10\text{k}\Omega$ 。我将其换成正确的电阻之后顺利解

决了问题。后来我回忆起来，可能是上次实验测输出电阻的时候将负载电阻换成了一个与输出电阻阻值接近的电阻后忘记换回来。

8 实验总结

8.1 总结、分析发射极电阻对放大电路动态参数的影响

1. 一方面，发射极电阻会影响放大电路的静态工作点，发射极电阻越大，其基极电流就会越小，进而导致 r_{be} 增大，放大倍数减小。
2. 另一方面，如果发射极电阻没有被旁路电容短路，则会使得电路的放大倍数严重减小，而输入电阻增大。根据增益带宽积的概念，其上限截止频率 f_H 会增大。

8.2 总结放大电路主要性能指标的测量方法

8.2.1 静态参数

1. 将小信号源短路。
2. 使用万用表或示波器对静态参数进行测量。

8.2.2 动态参数

放大倍数 \dot{A}_u

使用示波器测量输入信号 U_i 和输出信号 U_o 的有效值，注意需要保证波形没有失真。通过公式

$$\dot{A}_u = \frac{U_o}{U_i}$$

可以计算出来 \dot{A}_u 。

输入电阻 R_i

在输入回路中串联一个电阻 R_1 ，并测量电阻 R_1 两端对地电压 U_i 和 U_i' 。此处 R_1 应该取的接近于输入电阻。则

$$R_i = \frac{U_i}{U_i' - U_i} \cdot R_1$$

特别地，如果输入电阻特别大，则需要在输入端串联一个电阻 R_1 ，并测量通过串入前后输出电压 U_{o1} 和 U_{o2} ，即可通过公式

$$R_i = \frac{U_{o2}}{U_{o1} - U_{o2}} R_1$$

计算出输入电阻。

输出电阻 R_o

测量负载开路的电压 U_o' ；接着选取一个与 R_o 接近的负载，测得输出电压 U_{oL} 。则

$$R_o = \left(\frac{U_o'}{U_{oL}} - 1 \right) R_L$$

截止频率 f_L, f_H :

首先在中频段找到放大倍数的最大值 $\dot{A}_{u(\max)}$ ，并计算出截止频率对应的放大倍数为 $|\dot{A}_{u(\max)}|/\sqrt{2}$ 。在低频段和高频段找到放大倍数为 $|\dot{A}_{u(\max)}|/\sqrt{2}$ 的两个频率 f_L, f_H 。如果考虑输出电压的变化，要注意每次调节频率时都要调节信号源的幅度使得输入电压不变；如果考虑放大倍数的变化，应该每次测量时通过输出电压和输入电压来计算放大倍数。

9 思考题

1. 为使共漏放大电路的静态工作电流为1.5mA~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。

根据JFET的特性，有

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS(off)}} \right)^2$$

由电位关系，有

$$U_G = U_{GS} + I_D R_s$$

则

$$R_s = \frac{U_G - U_{GS}}{i_D} = \frac{U_G - \left(1 - \sqrt{\frac{I_D}{I_{DSS}}} \right) U_{GS(off)}}{I_D}$$

分别代入 $I_D = 1.5\text{mA}$ 和 $I_D = 2.5\text{mA}$ ，解得 R_s 的取值范围：

$$3.6528\text{k}\Omega \leq R_s \leq 6.3241\text{k}\Omega$$

在Multisim中，对 R_s 进行参数扫描，也可以得到取值范围。

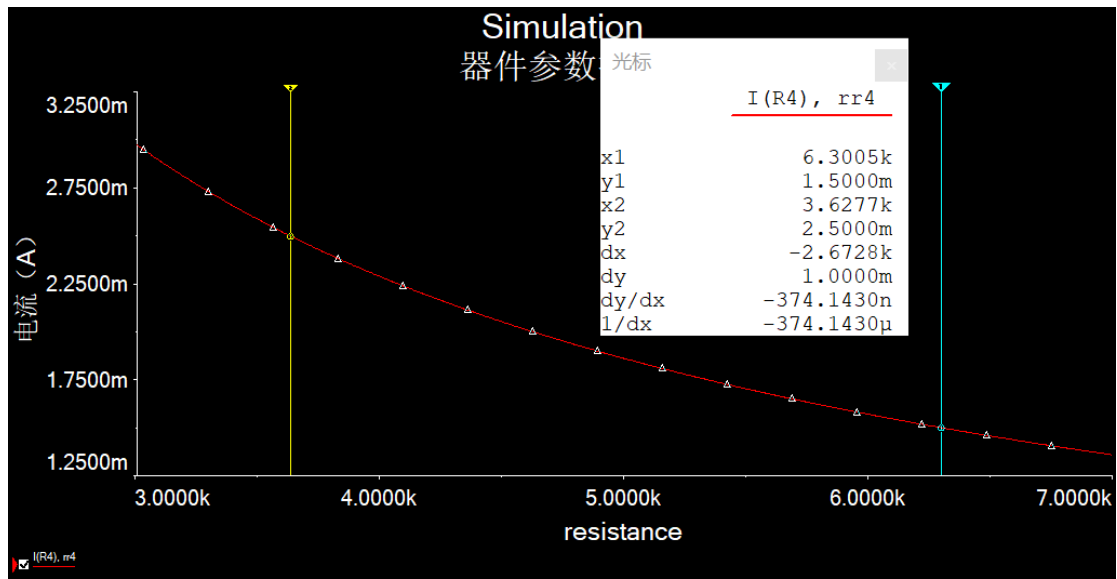


图 16 漏极电流随源极电阻变化曲线

从图 16 可以得到

$$3.6277\text{k}\Omega \leq R_s \leq 6.3005\text{k}\Omega$$

与理论计算值十分接近。

2. 已知实验室配备的万用表内阻约为 $1\text{M}\Omega$ ，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？

由于万用表内阻很大，如果在栅极出测量则相当于在栅极连接一个大电阻接地。而由于 R_{g3} 的阻值较大，约为 $1\text{M}\Omega$ ，栅极电位会近似变为原来的一

半。而且考虑电容 C_1 的时间常数，其回路电阻就变成了

$$R_{eq} = (R_{g3} + R_{g2} // R_{g1}) // R_V$$

其中 R_V 为万用表内阻， $(R_{g3} + R_{g2} // R_{g1})$ 即为整个放大回路的输入电阻，约为 $1M\Omega$ 。可见时间常数非常大，这就导致了接入万用表测量时，其读数会不断减小，而且在短时间内无法达到稳态。实际测量时我也尝试了这种做法，果然会出现上述问题。

另一方面，如果在A点测量，则栅极仍然不取电流，故A点电位与栅极电位相等；而由于 R_{g1} 电阻与万用表内阻相比较小，接入万用表导致A点电位的影响可以忽略，这样就可以较为准确的测量到栅极的电位。

3. 分压电阻 R_{g1} 、 R_{g2} 应该如何取值？

分压电阻 R_{g1} 、 R_{g2} 用来控制静态工作点和调节输入电阻。从输入回路中不难得到：

$$U_G = V_{CC} \cdot \frac{R_{g1}}{R_{g1} + R_{g2}}$$

本实验要求 $U_{GDQ} < -4V$ ，则有 $U_G < 8V$ 。在此条件下，只需要条件源极电阻，即可得到符合要求的静态工作点。由此可以求得：

$$\frac{R_{g1}}{R_{g2}} < 2$$

另一方面，可以将 R_{g1} 、 R_{g2} 等比例增大，既可以增大输入电阻又不会影响静态工作点。本实验中要求输入电阻大于 $1M\Omega$ ，所以只要 $R_{g2} // R_{g1} > 90k\Omega$ 即可实现。