

# 实验二 两级放大电路

## 实 验 报 告

姓名： 李显昱

学号： 2018011498

班级： 自 83

日期： 2020.3.26

## 目录

<b>1 实验目的</b>	<b>2</b>
<b>2 实验内容</b>	<b>2</b>
2.1 N 沟道结型场效应管 2N5486 的特性曲线（只做仿真测量）	2
2.2 共漏放大电路静态工作点的设置	2
2.3 共漏放大电路电压放大倍数的测量	3
2.4 两级放大电路动态特性的测量	3
2.5 选做：理论估算	7
<b>3 硬件推演部分</b>	<b>8</b>
3.1 第 2.3 节第 2 项实验内容的电路布局布线图	8
3.2 第 2.3 节第 3 项实验内容的操作步骤（言简意赅）	9
<b>4 整体数据表格整理（仿真 + 硬件）</b>	<b>10</b>
<b>5 思考题</b>	<b>10</b>
<b>6 实验小结</b>	<b>11</b>

## 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

### 2.1 N 沟道结型场效应管 2N5486 的特性曲线（只做仿真测量）

通过仿真来确定 N 沟道结型场效应管 2N5486 的一些基本参数。使用 IV 分析仪来测量 2N5486 的输出特性曲线。电路如图 1，输出特性曲线如图 1。

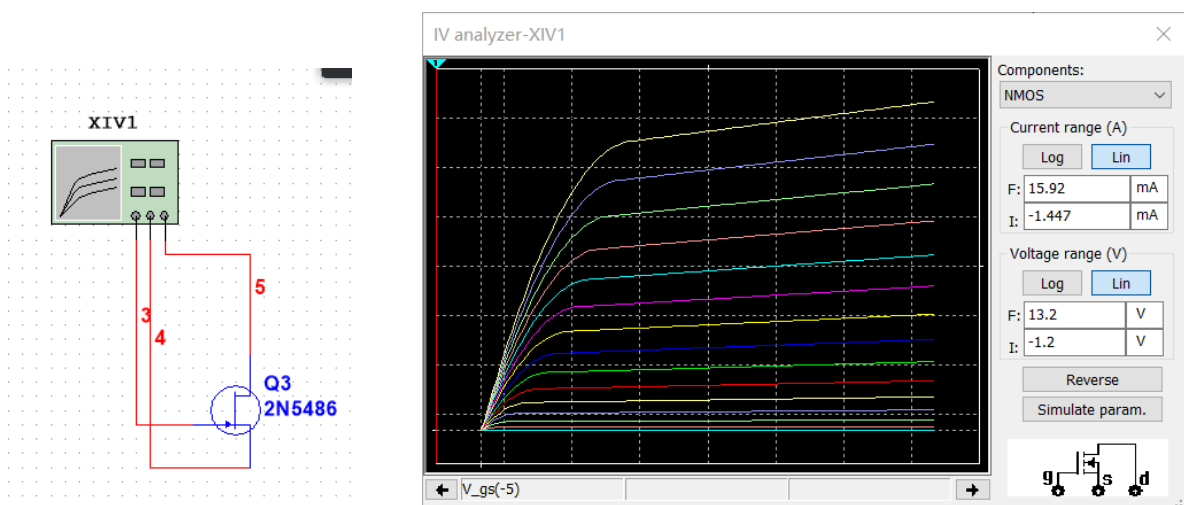


图 1: 测量 2N5468 的输出特性曲线电路图

图 2: 2N5468 的输出特性曲线

测量传输特性曲线的电路如图 3 所示。传输特性曲线可见图 4，且由图可以得到当  $i_D \approx 5\mu A$  时  $U_{GS(off)} = -3.7862V$ ，和老师提供的  $U_{GS(off)} = -3.7V$  相近。而由图 5 可得  $I_{DSS} = 14.4727mA$ ，和老师提供的估计值  $I_{DSS} = 14mA$  相近。

### 2.2 共漏放大电路静态工作点的设置

考虑到  $R_i = R_{g3} + R_{g1} // R_{g2} \geq 1M\Omega$ ，以及  $U_{GDQ} \leq -4V$  可得，初步将  $R_{g1}$  和  $R_{g2}$  定为百 k 量级的电阻，后经过实验，后选用  $R_{g1} = 300k\Omega$  和  $R_{g2} = 210k\Omega$ ，再利用对  $R_S$  的阻值进行参数扫描，得到如图 7，调整光标位置使得  $I_D = 2mA$ ，可得到  $R_S = 4.6909k\Omega$ 。随后，如图 8，对  $U_A$  以及  $U_S$  进行测量，得到  $U_A = 7.058V$  和  $U_S = 9.381V$ 。计算得到：

$$U_{GSQ} = U_A - U_S = 7.058 - 9.381 = -2.323V$$

再结合 N 沟道结型场效应管 2N5486 的输出曲线图 2 可以得到  $U_{GSQ}$  符合放大条件。同时，计算得到：

$$U_{GDQ} = 7.058 - 12 = -4.942V$$

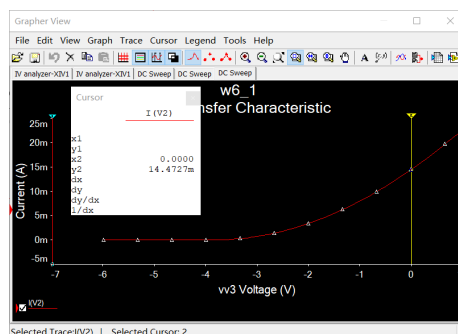
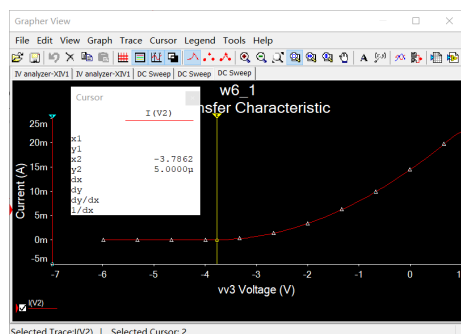
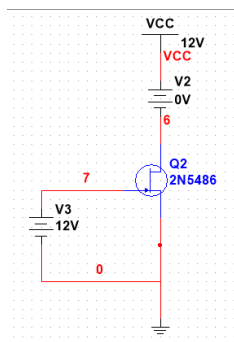


图 3: 测量 2N5486 的转移特性曲线  $U_{GS(off)}$

图 5: 2N5486 的转移特性曲线  $I_{DSS}$

图

再结合在实验 2.1 中仿真得到的  $U_{GS(off)} = -3.7862V$ , 得到  $U_{GDQ} \leq U_{GS(off)}$ , 此时该 N 沟道结型场效应管 2N5486 确实处于放大状态。

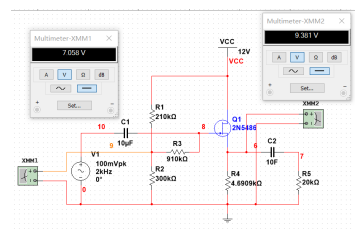
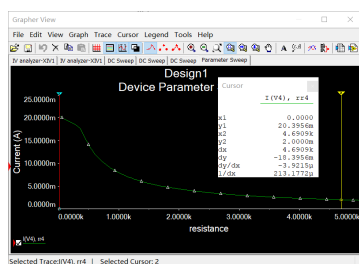
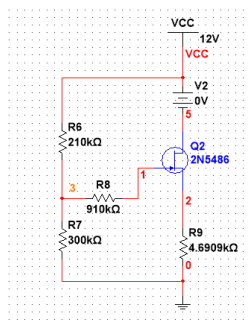


图 6:  $R_S$  参数扫描电路图

图 7:  $R_S$  参数扫描图

图 8: 静态工作参数测量电路图及测量值

图 9:  $I_C = 1mA$  时电压放大倍数测量

## 2.3 共漏放大电路电压放大倍数的测量

图 10为共漏放大电路电压放大倍数的测量电路图，其中输入信号与输出信号两侧接有示波器，红色波形信号为输入信号，蓝色波形信号为输出信号。测量时选用正弦波峰值为  $50mV$ ，通过图 11(a)和图 11(b)可以得到:

$$\dot{A}_u = \frac{U_{oppk}}{U_{ippk}} = \frac{89.667}{99.967} = 0.897$$

。

## 2.4 两级放大电路动态特性的测量

针对  $\dot{A}_u$  的测量，通过图 13(a)和图 13(b)可以得到:

$$\dot{A}_u = \frac{U_{oppk}}{U_{ippk}} = \frac{-2.810V}{19.921mV} = -141.057$$

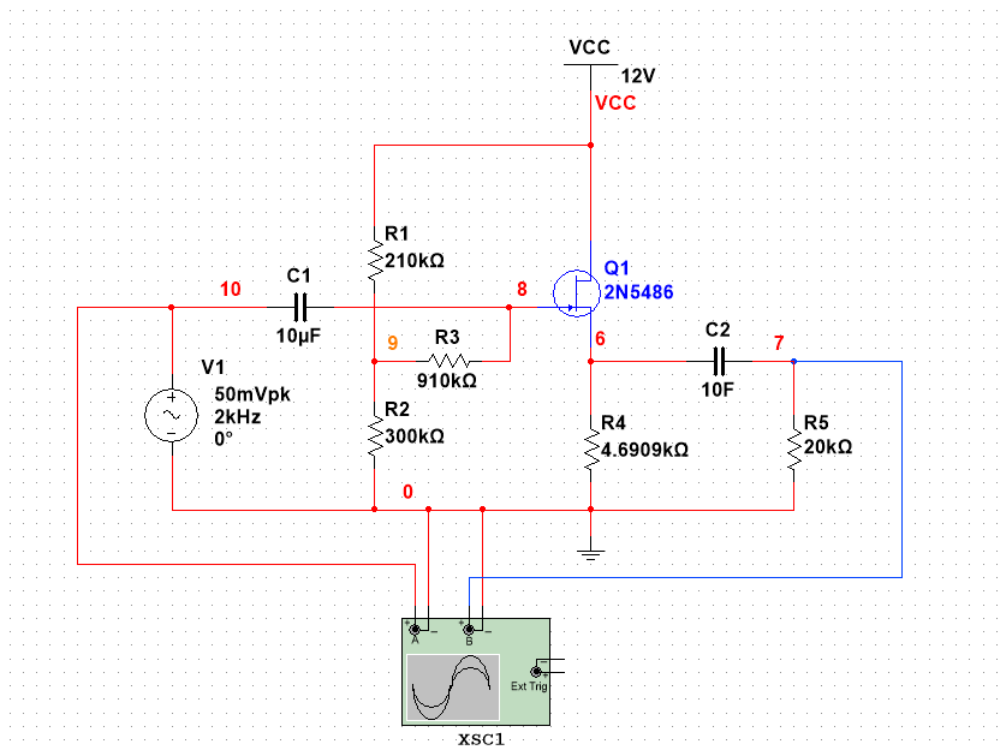
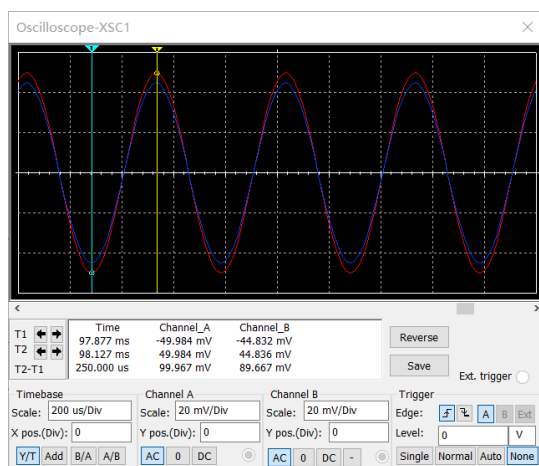
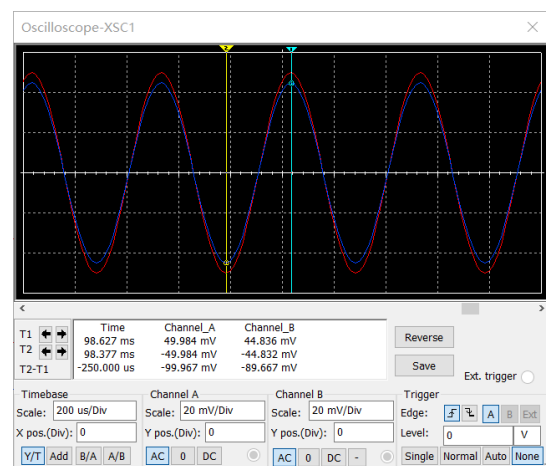


图 10: 共漏放大电路电压放大倍数测量电路图



(a) 输入电压



(b) 输出电压

图 11: 共漏放大电路电压放大倍数示波器波形图

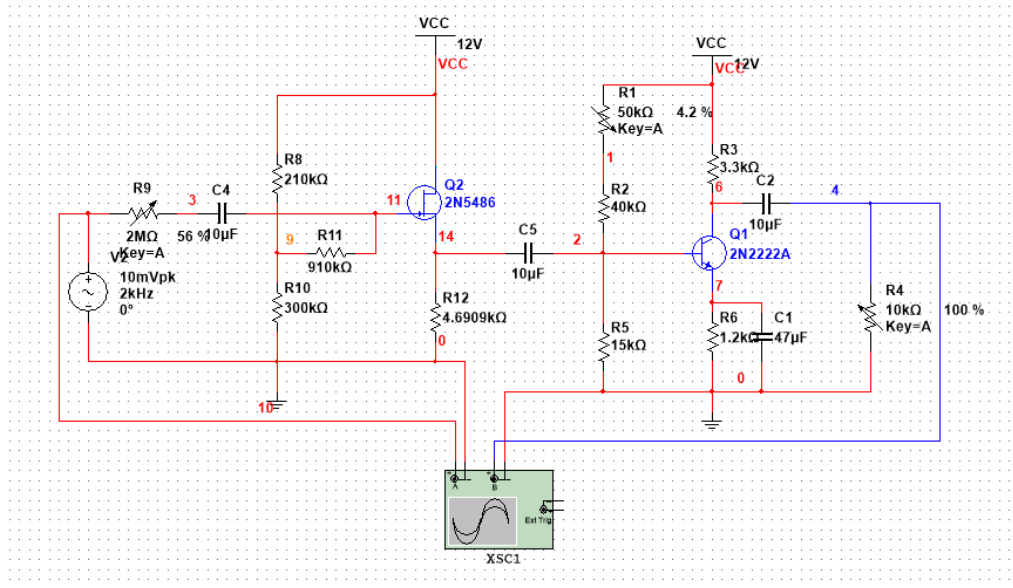
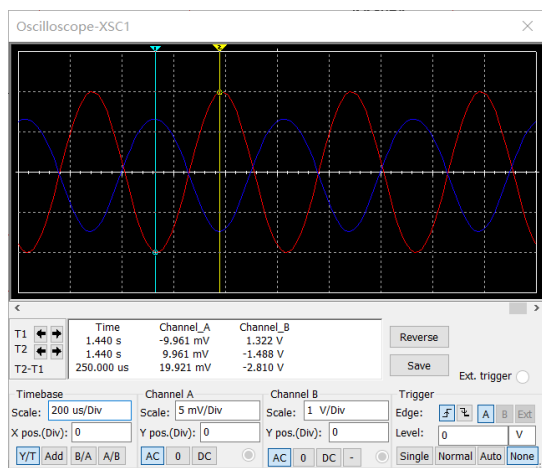
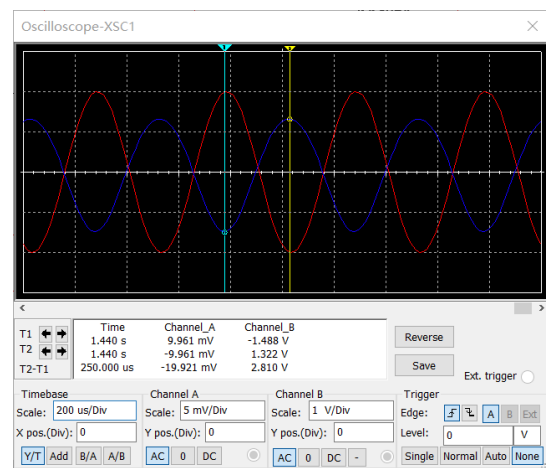


图 12: 两级放大电路动态特性的测量电路图



(a) 输入电压



(b) 输出电压

图 13: 两级放大电路测量电压放大倍数示波器波形图

因为此次仿真中得到的  $\dot{A}_u \leq -110$ ，所以没有调节  $R_{b1}$ ，所以此时  $I_{CQ} = 2\text{mA}$ ， $U_{CEQ} = 2.99\text{V}$ 。

针对两级放大电路的输入电阻  $R_i$ ，通过图 14(a)可以看到在输入端未加电阻时，测量得到的输出电压为  $U_{o1} = 1.321\text{V}$ ，再加有电阻之后，如图 14(b)得到此时输出电压为  $U_{o2} = 659.213\text{mV} \sim \frac{1}{2}U_{o1}$ ，所以此时可测得输入电阻：

$$R_i = 0.56 \times 2\text{M}\Omega = 1.12\text{M}\Omega$$

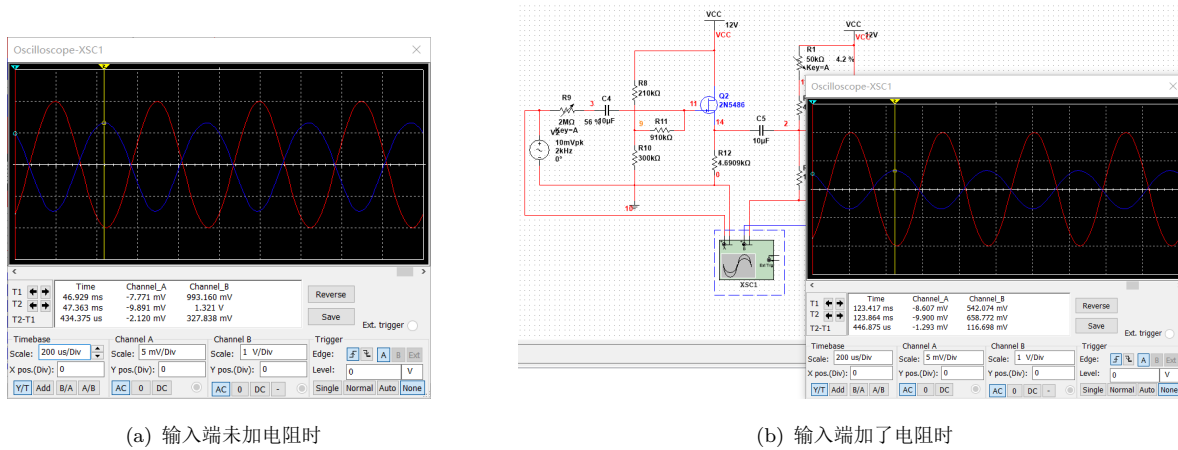


图 14: 两级放大电路测量输入电阻  $R_i$  示波器波形图

针对两级放大电路的输出电阻  $R_o$ ，通过图 15(a)可以看到在输入端未加电阻时，测量得到的输出电压为  $U_{o'} = 1.736\text{V}$ ，再加有电阻之后，如图 15(b)得到此时输出电压为  $U_{o1} = 868.090\text{mV} \sim \frac{1}{2}U_{o'}$ ，所以此时可测得输出电阻：

$$R_o = 0.314 \times 10\text{k}\Omega = 3.14\text{k}\Omega$$

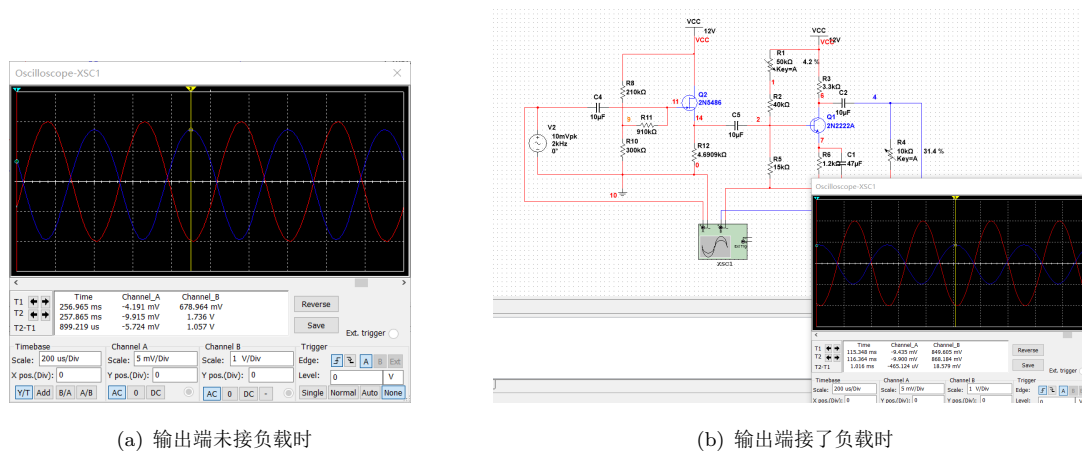
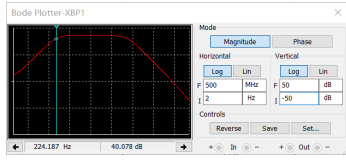
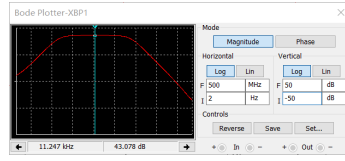


图 15: 两级放大电路测量输出电阻  $R_o$  示波器波形图

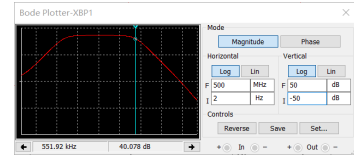
针对两级放大电路的  $f_L$  和  $f_H$  的测量，如图 16(a)和图 16(c)可得：

$$f_L = 224.187\text{Hz}$$

$$f_H = 551.92 \text{ kHz}$$

(a)  $f_L$  的测量

(b) 中频段的测量

(c)  $f_H$  的测量图 16: 利用波特仪对两级放大电路的  $f_L$  和  $f_H$  的测量

## 2.5 选做：理论估算

理论估算时  $U_{GS(off)} \approx -3.7\text{V}$ ,  $I_{DSS} \approx 14\text{mA}$ ,  $g_m \approx 2.6$ ,  $r_{bb'} \approx 220\Omega$ 。  
先对  $r_{be}$  进行计算:

$$r_{be} = R_{bb'} + \frac{\beta U_T}{I_{CQ}} = 220 + \frac{240 \times 26\text{mV}}{2\text{mA}} = 3.34\text{k}\Omega$$

由电路图可得:

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

其中  $R_{i2}$  为第二级电路的输入电阻, 其中  $R_{b1} = 41.22\text{k}\Omega$ :

$$R_{i2} = R_{b1} // R_{b2} // r_{be} = 2.562\text{k}\Omega$$

根据 N 沟道结型场效应管的特性可得:

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

根据电位关系:

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

同时:

$$U_G = \frac{R_{g1}}{R_{g1} + R_{g2}} V_{CC} = 7.059\text{V}$$

得到:

$$R_S = \frac{U_G - U_{GS}}{I_D} = \frac{U_G - (1 - \sqrt{\frac{I_D}{I_{DSS}}}) U_{GS(off)}}{I_D}$$

当  $I_D = 2\text{mA}$  时, 计算得到:

$$R_S = 4.6802\text{k}\Omega$$

$$U_S = R_S I_D = 9.360\text{V}$$

所以可以计算得到:

$$U_{GSQ} = -2.301\text{V}$$



$$U_{GDQ} = -4.941V$$

将以上结果代入  $\dot{A}_{u1}$  计算公式中可得：

$$\dot{A}_{u1} = \frac{2.6mS(4.6802k\Omega//2.562k\Omega)}{2.6mS(4.6802k\Omega//2.562k\Omega) + 1} = 0.81$$

第二级放大倍数：

$$\dot{A}_{u2} = -\frac{\beta(R_c//R_L)}{r_{be}} = -178.29$$

则：

$$\dot{A}_u = \dot{A}_{u1} \cdot \dot{A}_{u2} = -144.41$$

易知：

$$R_i = R_{g3} + R_{g2} // R_{g1} = 1.034M\Omega$$

$$R_o = R_c = 3.3k\Omega$$

### 3 硬件推演部分

#### 3.1 第 2.3 节第 2 项实验内容的电路布局布线图

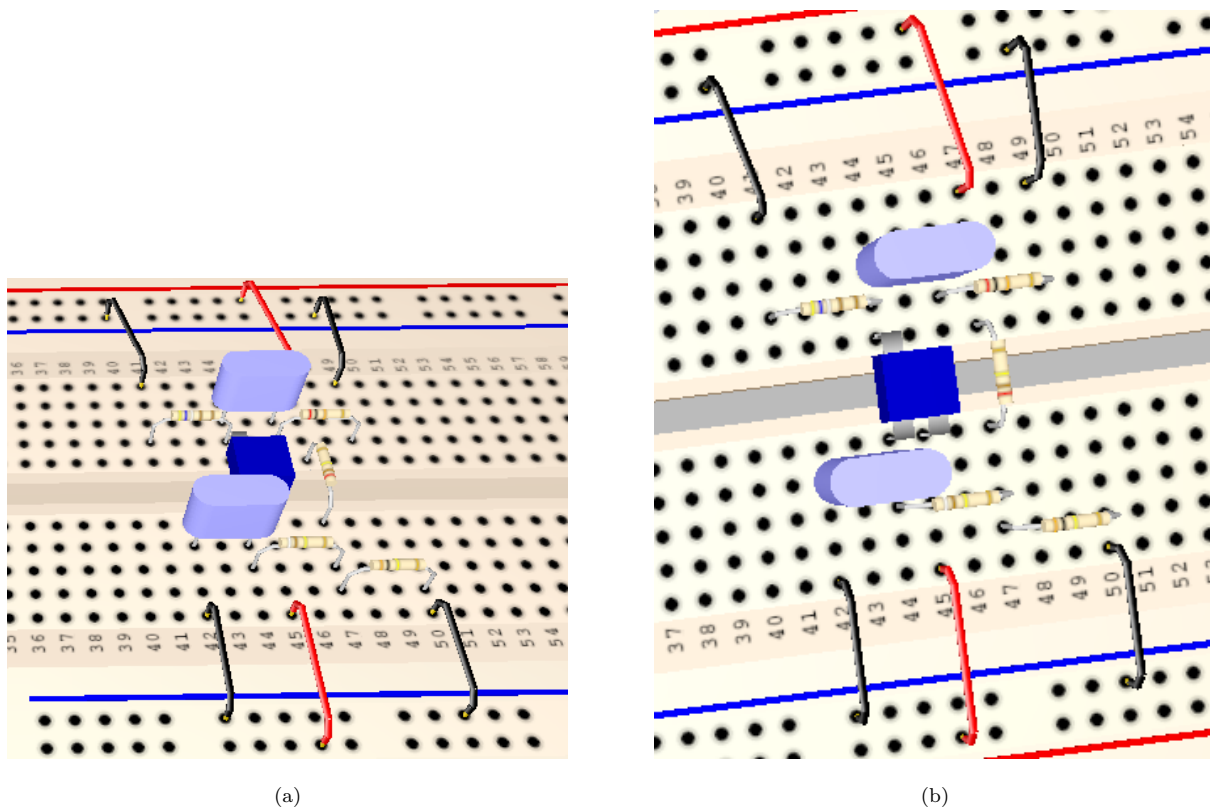


图 17: 第 2.3 节第 2 项实验内容的电路布局布线图

表 1: N 沟道结型场效应管 2N5486 的特性曲线

$I_{DSS}/mA$	$U_{GS(off)}/V$
14.4727	-3.7862

表 2: 共漏放大电路静态工作点的设置

	$R_{g1}/k\Omega$	$R_{g2}/k\Omega$	$R_s/k\Omega$	$U_A/V$	$U_S/V$	$U_{GSQ}/V$	$U_{GDQ}/V$
理论值	300	210	4.6802	7.059	9.360	-2.301	-4.941
仿真值	300	210	4.6909	7.058	9.381	-2.323	-4.942
实测值							

表 3: 共漏放大电路电压放大倍数的测量

	$U_{oppk}/mV$	$U_{ippk}/mV$	$\dot{A}_u$
理论值			0.81
仿真值	89.667	99.967	0.897
实测值			

表 4: 两级放大电路动态特性的测量

	$U_{oppk}/V$	$U_{ippk}/mV$	$\dot{A}_u$	$R_i/M\Omega$	$R_o/k\Omega$	$f_L/Hz$	$f_H/kHz$
理论值			-144.41	1.034	3.3		
仿真值	-2.810	19.921	-141.057	1.12	3.14	224.187	551.92
实测值							

表 5: 两级放大电路动态特性 (输入电阻) 的测量 (实测记录表)

$R_1/k\Omega$	$U_{o1}/V$	$U_{o2}/V$	$R_i/M\Omega$

表 6: 两级放大电路动态特性 (输出电阻) 的测量 (实测记录表)

$R_L/k\Omega$	$U'_o/V$	$U_{oL}/V$	$R_o/k\Omega$

### 3.2 第 2.3 节第 3 项实验内容的操作步骤（言简意赅）

**共漏放大电路电压放大倍数的测量** 将示波器两通道分别连入输入信号和输出信号，并且将连有输出信号的线改为蓝色，区分输入信号线（红线）。运行仿真，点开示波器，暂停仿真，将波形图的时间周期尺度和电压幅度尺度调到合适。移动光标，分别测量输入信号峰峰值以及输出信号峰峰值，随后进行计算，即可得到共漏放大电路电压放大倍数的测量。

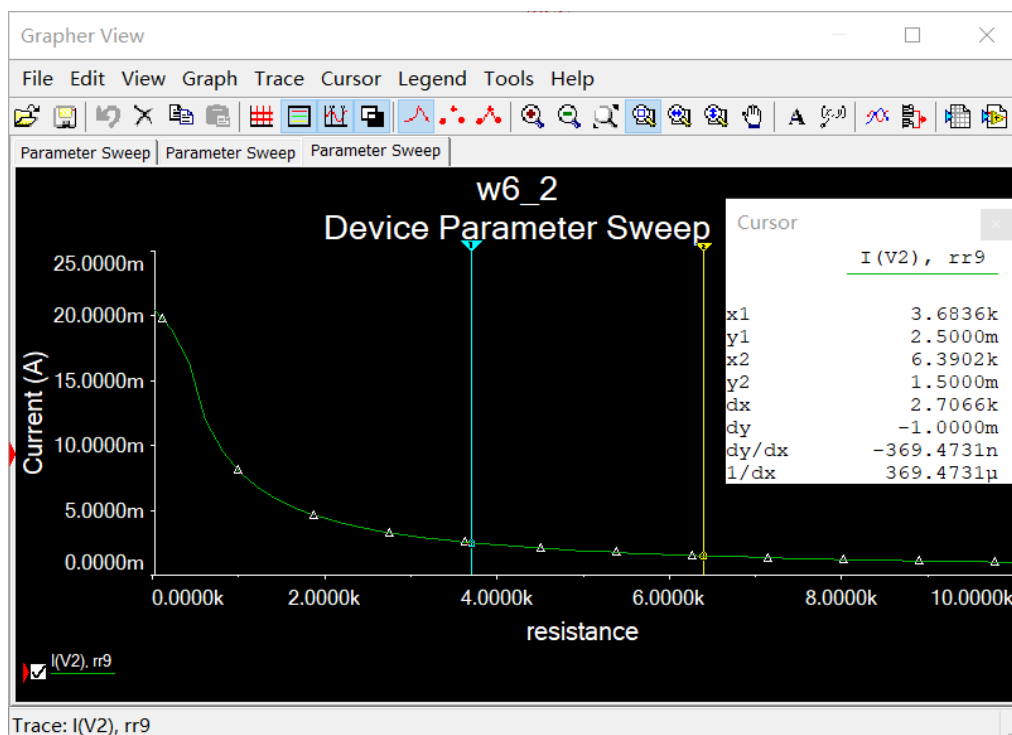


图 18: 漏极电流随源极电阻变化曲线

#### 4 整体数据表格整理（仿真 + 硬件）

#### 5 思考题

1. 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。

答：根据 N 沟道结型场效应管的特性可得：

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

根据电位关系：

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

得到：

$$R_S = \frac{U_G - U_{GS}}{I_D} = \frac{U_A - (1 - \sqrt{\frac{I_D}{I_{DSS}}})U_{GS(off)}}{I_D}$$

代入  $I_D = 1.5mA$  以及  $I_D = 2.5mA$ ，可以得到：

$$3.7082k\Omega \leq R_S \leq 6.4168k\Omega$$

根据仿真结果，可以得到：

$$3.6836k\Omega \leq R_S \leq 6.3902k\Omega$$

跟理论计算近似。

2. 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？

答：万用表内阻在  $M\Omega$  量级，而  $R_{g3} = 910k$ ，与万用表内阻接近，直接测量栅极电位会有较大误差。除此之外，考虑到电容，等效电阻为：

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

其中  $R_{g3} + R_{g1} // R_{g2}$  为  $M\Omega$  量级，电容的时间常数会很大，因此会出现测量  $U_G$  处电压时会一直处于放电状态。同时电路中由于场效应管栅极电流非常小，可以认为  $U_A = U_{GQ}$ ，于是通过测量 A 点电位来得到栅极电位。

## 6 实验小结

因为本次仍然是线上仿真实验，且实验本质上和第一次单管放大电路差别不大，除了关于测量共漏放大电路的栅极电位要注意的点是一个非常值得思考的问题，希望回学校之后能够实际操作再看一下现象（虽然老师上课有过展示）。

本次实验整体比较谨慎，没有上次因为看错题或者忘记调某些参数大量返工的现象。

通过这次实验，我对于场效应管以及多级放大电路有了更深的理解，感谢老师、助教们与同学们的帮助！