

一. 实验目的

- 1. 掌握 MOS 单管放大电路的各种指标
- 2. 学会使用 Pspice 仿真软件的使用
- 3. 掌握 MOS 单管放大电路的设计与实际调试的方法。

二. 实验元器件

类型	型号（参数）	数量
MOS 管	2N7000	1 只
电位器	470k Ω	1 只
电阻	1k Ω , 51 Ω , 5.1k Ω , 100k Ω ,	1 只; 1 只; 2 只 ; 2 只
电容	1uF, 4.7uF, 37uF	各 1 只

三. 预习要求

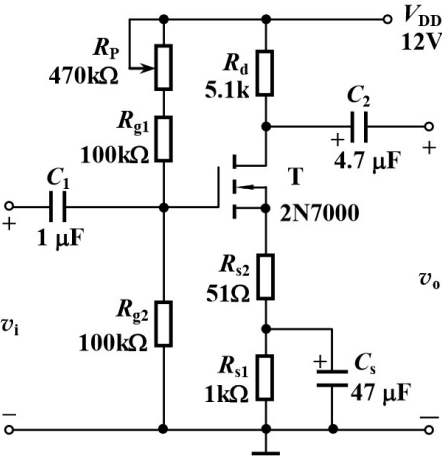
- 1. 设计 MOS 单管的电阻，电容值，满足放大指标
- 2. 使用 Pspice 仿真软件对所设计的放大电路进行仿真。
- 3. 在面包板上搭建电路，准备测试放大电路的性能指标

四. 实验原理及参考电路

本实验采用 2N7000 MOS 管以及阻容耦合实现对交流小信号的方法。

1. 放大电路的设计

(1)放大指标要求: $A_v > 10$ $R_i > 50k\Omega$ $f_L < 100Hz$ $R_o < 5.1k\Omega$ $f_H > 100kHz$
原理图如下图所示:



(2) 阻值与容值的设计

已知
 $V_{DD} = 12V$
 $R_L = 5.1k\Omega$
 $V_{rms} = 15mV$
 $R_{si} = 50\Omega$

$$K_n = 12.5 \text{mA/V}^2$$

$$V_{tn} = 1.75 \text{V}$$

<1>根据理论计算: $A_v = -(R_d \parallel R_L) g_m$

$$R_i = R_{g1} \parallel R_{g2}$$

$$R_o = R_d$$

可取 $R_d = 5.1 \text{k}\Omega$

再根据 $R_i > 50 \text{k}\Omega$, 故先令 R_{g1}, R_{g2} 都不小于 $100 \text{k}\Omega$

然后调节 R_{g1}/R_{g2} 的值, 以此来决定 MOS 管栅极的电位。

<2>接下来处理上下限截止频率。当 $C_1 = 1 \mu\text{F}$, $C_2 = 4.7 \mu\text{F}$, $C_s = 47 \mu\text{F}$ 时, 有

下限截止频率计算公式如下:

$$f_{L1} = \frac{1}{2\pi(R_{si} + R_g)C_{b1}} \quad f_{L2} = \frac{g_m}{2\pi C_s} \quad f_{L3} = \frac{1}{2\pi(R_d + R_L)C_{b2}}$$

$$f_L = \max(f_{L1}, f_{L2}, f_{L3})$$

$$\text{则 } f_{L1} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times (50 \Omega + 5.1 \text{k}\Omega) \times 1 \mu\text{F}} = 2.2 \text{Hz}$$

$$f_{L2} = \frac{9.64 \text{mA/V}}{2 \times 3.14 \times 47 \mu\text{F}} = 32.6 \text{Hz}$$

$$f_{L3} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times (2 \text{k}\Omega + 5.1 \text{k}\Omega) \times 4.7 \mu\text{F}} = 14.9 \text{Hz}$$

因此, $f_L = 32.6 \text{Hz}$, 满足低频要求。

对于上限截止频率, 其计算公式为:

$$f_H = \frac{1}{2\pi R'_{si} C}, \text{ 其中:}$$

$$C = C_{gs} + (1 + g_m R'_L) C_{gd}$$

$$R'_{si} = R_{si} \parallel R_g \quad R'_L = R_d \parallel R_L$$

计算可得: $f_H = 18 \text{MHz}$,

$f_H > 100 \text{kHz}$, 满足指标。

(3) 经计算并仿真后, 最终确定 $R_{g1} = 240 \text{k}\Omega$, $R_{g2} = 100 \text{k}\Omega$

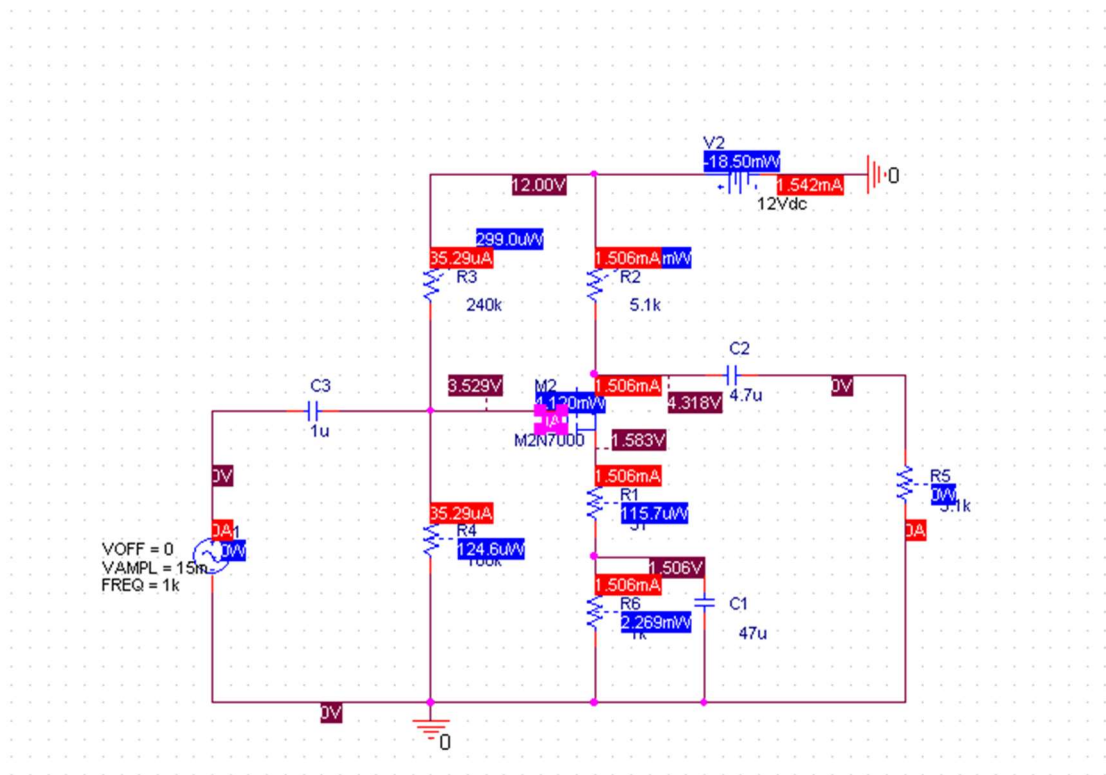
$$R_s = 1 \text{k}\Omega$$

$$C_1 = 1 \mu\text{F}, C_2 = 4.7 \mu\text{F}, C_s = 47 \mu\text{F}$$

此时各项指标均达到要求。

2.Pspice 电路仿真, 验证设计的性能

(1) 电路图以及静态工作点

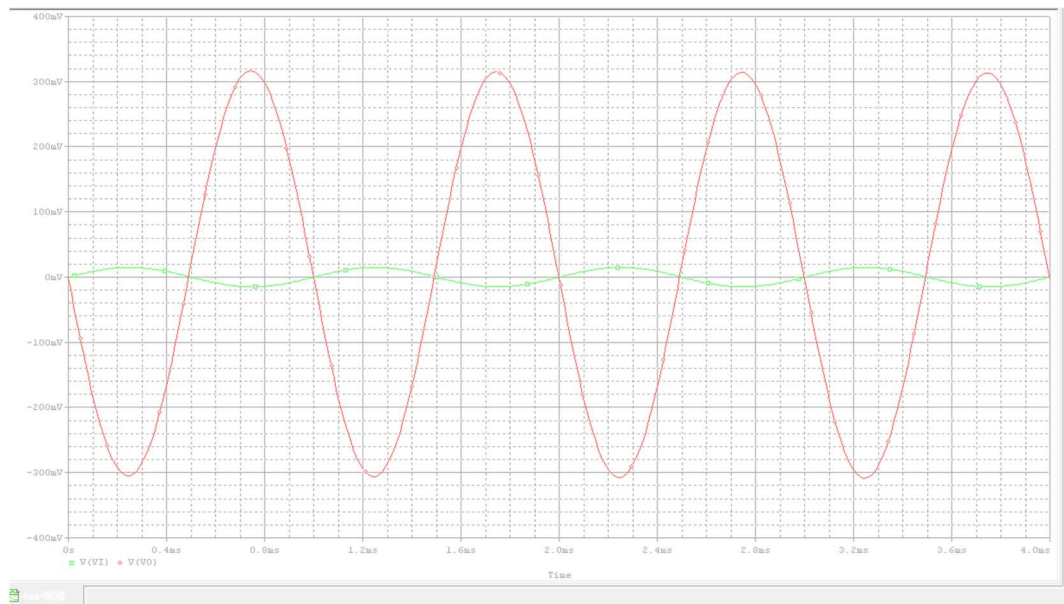


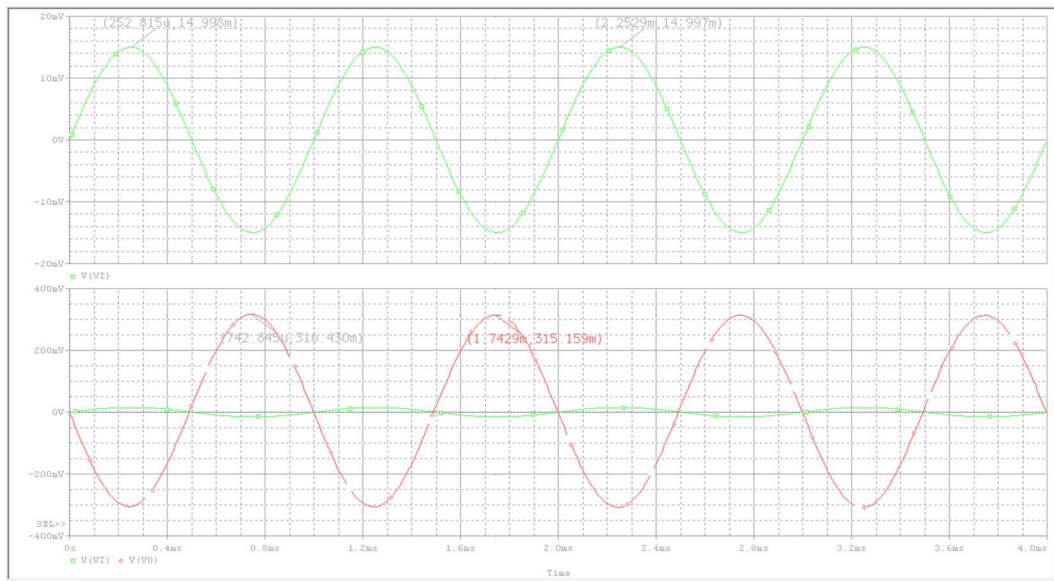
静态工作点: $I_{DQ} = 1.506mA$

$V_{DSQ} = 2.735V$

$V_{GSQ} = 1.946V$

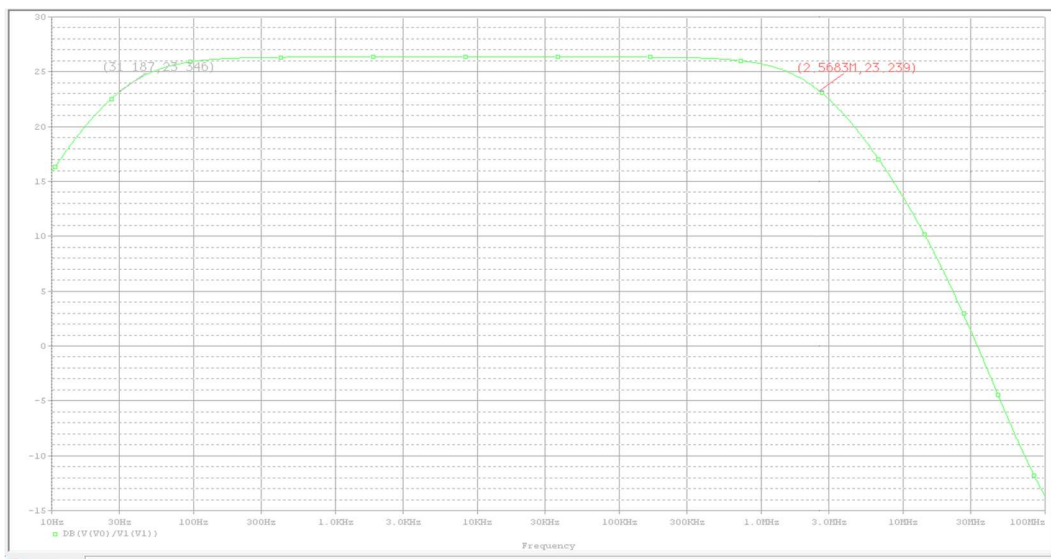
(2) 输入输出电压波形





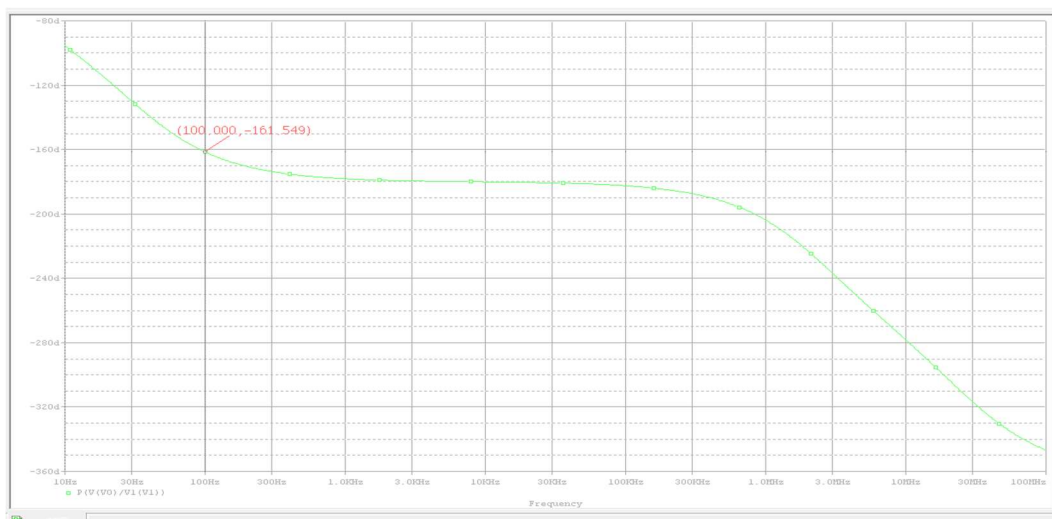
输出信号与输入信号反相，放大倍数约为 21 倍

(3) 幅频响应



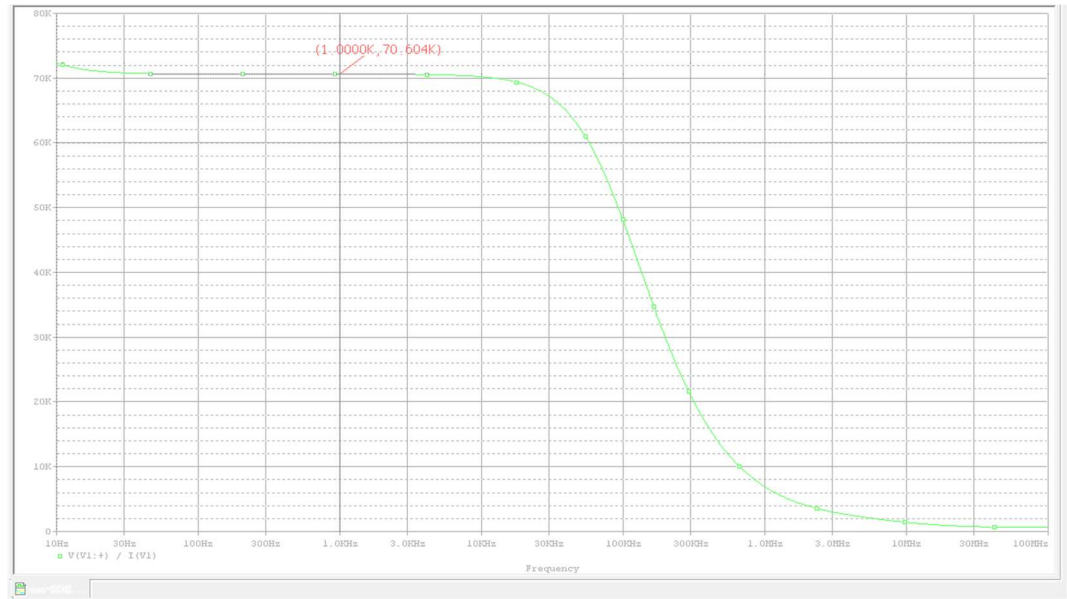
输出信号在中频区的放大倍数基本不变，通带宽约为 4MHz。

(4) 相频响应



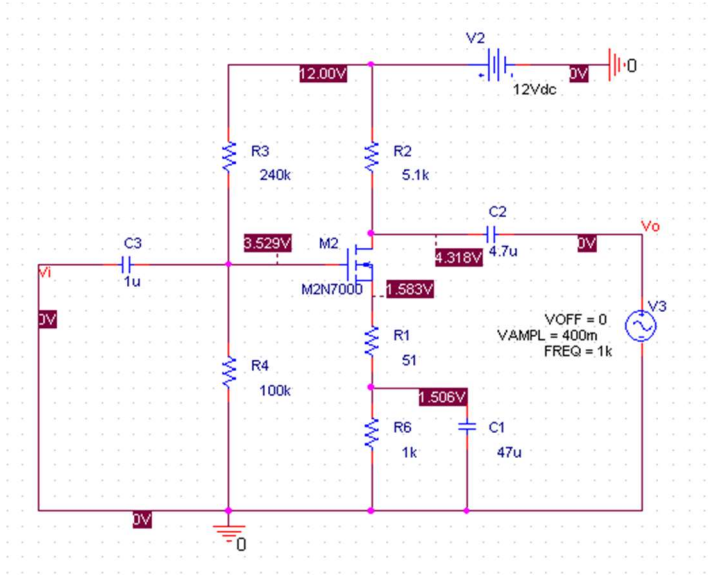
输出信号在中频区滞后输入信号 161°.

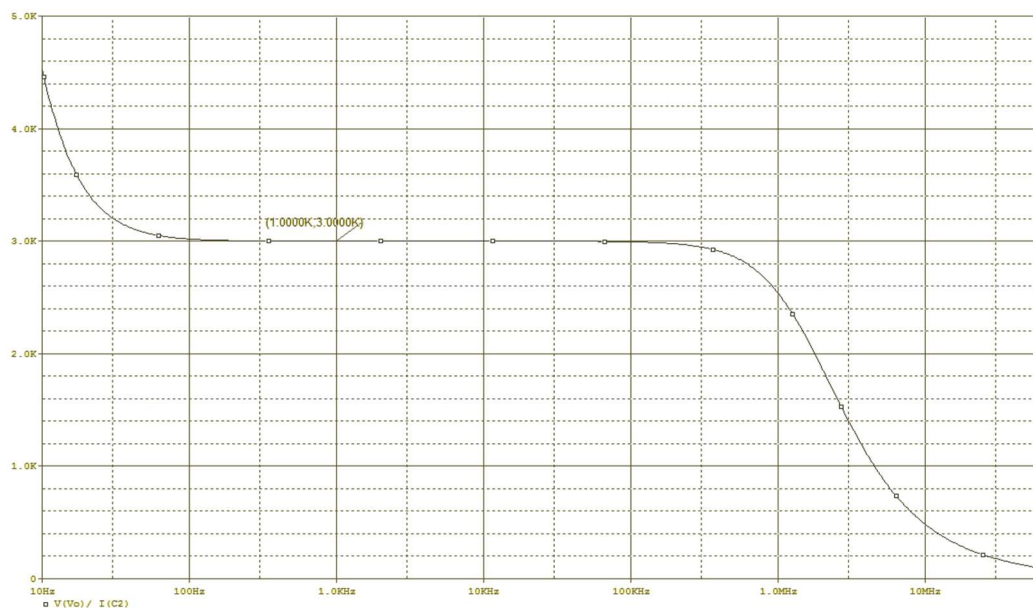
(5) 输入电阻



输入电阻在中频区电阻为 70.6kΩ，且基本不变；在高频区，输入电阻迅速减小。

(6) 输出电阻

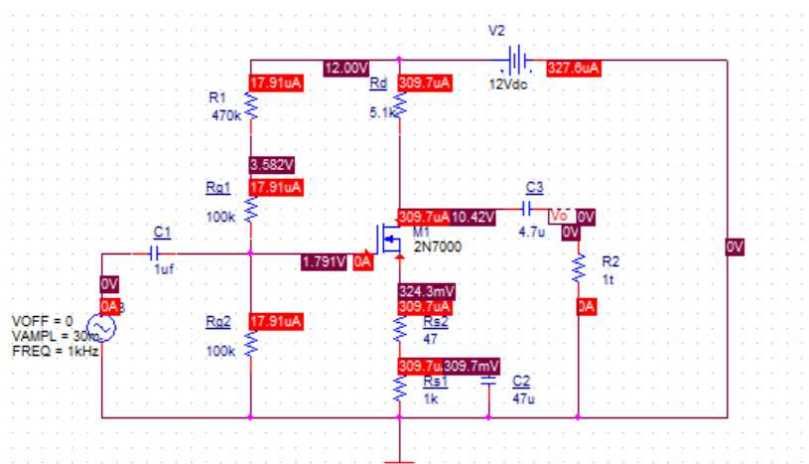




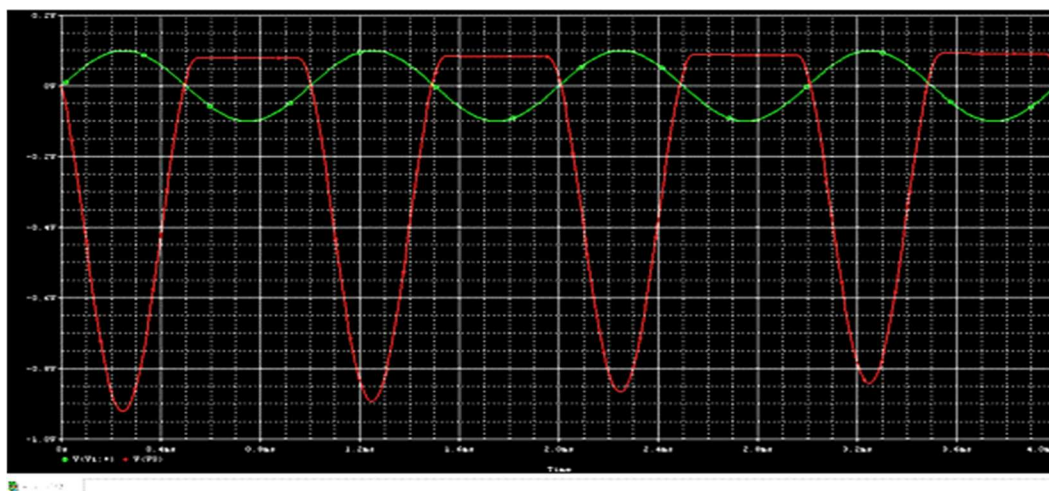
输出电阻在中频区几乎保持 $3k\Omega$ 不变; 在高频区, 随频率升高, 输入电阻逐渐减小。

(7) 非线性失真观察

a) 将 R_p 调整为最大值 $470k$ 欧姆, 静态分析结果如下:

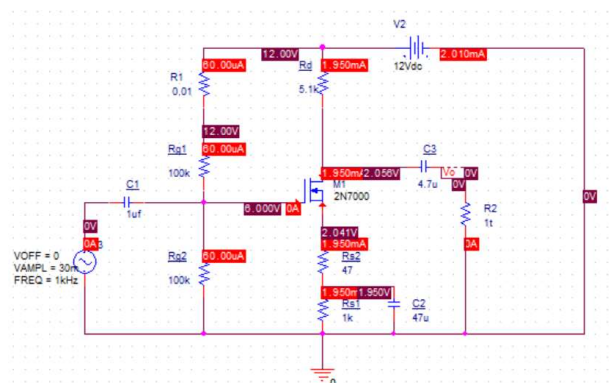


瞬态分析结果如下:

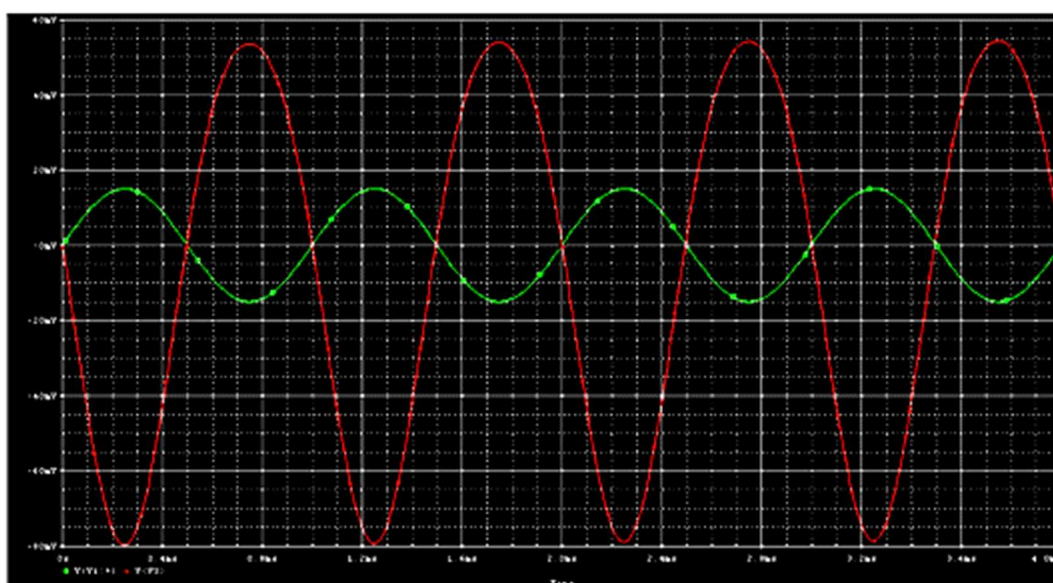


由图可知输出的正半周出现明显的饱和失真

2) 将 R_p 调整为最小值 0.01 欧姆，静态分析结果如下：



瞬态分析结果如下：

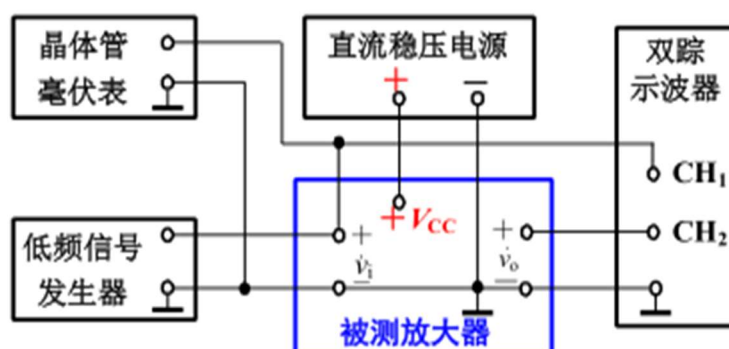


易观察到输出波形图出现明显的截至失真

五. 硬件实验内容

1. 电路的安装

- (1)按照原理图搭建放大电路，其中，将 R_{g1} 改为 470k Ω 的滑动变阻器初始调到 140k Ω 附近。
- (2)按照下图连接放大电路的外围供电以及测试电路。



2. 静态调试：Q 电的测量与调整

- (1) 接通电源，将电路输入端接地，测量静态工作点
- (2) 用万用表直流档位测量 MOS 管的 G,S,D 极的电位 V_{GQ}, V_{SQ}, V_{DQ}
- (3) 根据三个极的电位判断晶体管的工作区
- (4) 调节电位器 R_{g1} ，使晶体管工作在线性放大状态。

3. 动态调试：Q 电的测量与调整

- (1) 输入信号 $V_{ipp} = 30mV, f_i = 1kHz$ 的正弦波
- (2) 用示波器观察放大器的输出 V_o
 V_o 可能有以下几种失真情况：
<1>饱和失真： V_o 底部被削波，应增大 R_{g1}
<2>截止失真： V_o 顶部被压缩，应减小 R_{g1}
- (3) 调节 R_{g1} ，是放大器的输出 V_o 不失真。
- (4) 改变输入信号的 $V_{ppi} = 120mV$ ，调节 R_{g1} 使输出基本不失真
此时移去信号源，分别测量放大器的静态工作点

4. 交流信号放大性能指标测试

- (1) 电压增益 A_v :

实验测量时，输入不失真的频率为 1kHz 的正弦波，用示波器测量输出电压 V_{opp} 与输入电压 V_{ipp} 。改变信号源幅度，记录 5 组数据，最后利用公式求出 $A_v = V_{opp}/V_{ipp}$

- (2) 输入电阻 R_i :

用示波器的两个通道测出 V_s, V_i ，利用公式：

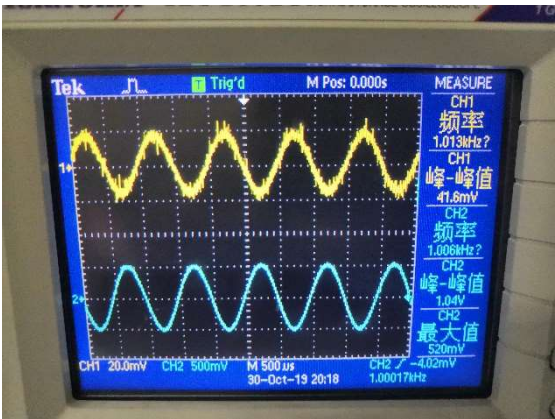
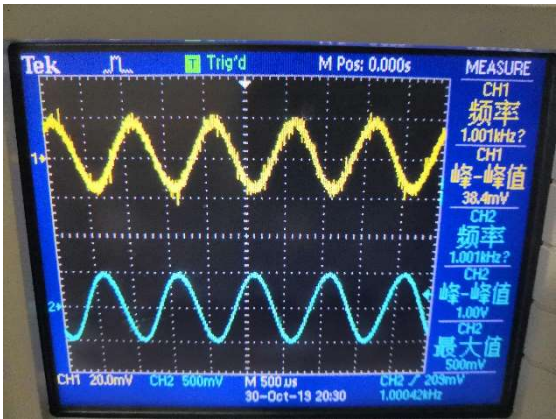
$$R_i = \frac{V_i}{V_s - V_i} R$$

六. 实验结果及分析

静态工作点：

$$V_{GQ}=2.88V, V_{SQ} = 1.257V, V_{DQ} = 3.57V$$

电压增益：



负载情况	V_{ipp}/mV	V_{opp}/V	$ A_v $
负载开路	38.4	1.00	26.04
$R_L=47k\ \Omega$	41.6	1.04	25.00

输入输出电阻：

测量放大电路的输入电阻：信号源与放大电路直接相连， $V_{O1}=1.04V$ ，使放大电路与 $R=47K\ \Omega$ 的电阻串联后连接信号源， $V_{O2}=616mV$ ，计算得： $R_i=V_{O2}/(V_{O1}-V_{O2}) * R=68.28K\ \Omega$ 。
测试放大电路的输出电阻，通过负载开路以及负载连接电路，计算输出电阻 $R_o=5.51K\ \Omega$

频率响应：

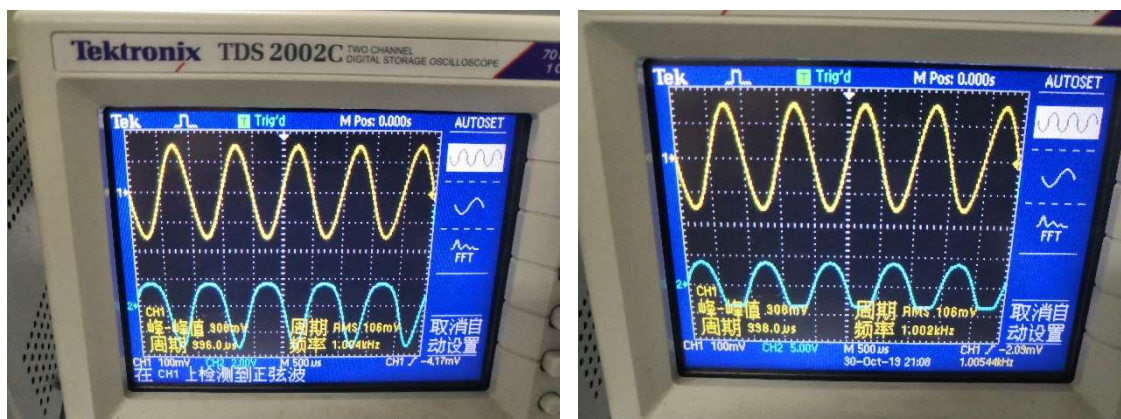
测量数据如下（表 6.2.4-1）

频率 f/Hz	20	30.2	100	300	1k	10k	30k	100k	300k	440k	1M	10M
V_{ipp}/mV	37.4	37.6	39.2	39.2	41.6	41.6	39.4	40.0	40.0	40.0	40.0	39.4
V_{opp}/mV	504.0	660	900	980	1040	1040	1020	1020	860	700	616	386
A_v/dB	13.5	17.6	22.9	25.0	25.0	25.0	25.9	25.5	21.5	17.5	15.4	9.8

由数据可知，下限截止频率为 $f_L = 100.0Hz$ ，上限截止频率为 $f_H > 100kHz$ 。
二者均满足频率指标要求。

■ 失真状态下的波形和静态工作点

(1) 观察失真波形:



(2) 失真状态下的静态工作点:

失真 波形	实测值			计算值			失真 类型
	VG/V	Vs/V	VD/V	IDQ=Vs/Rs /mA	VGSQ=VG-Vs /V	VDSQ=VD-Vs /V	
	1.643	0.253	9.563	324.8uA	1.423V	9.310V	饱和失真
	5.675	2.094	2.198	1.893mA	3.581V	0.104V	截止失真

七. 实验小结

本次实验中, 我们进行了 MOSFET 共源放大电路设计、安装、调试及测试。

在实际搭建电路前, 我们利用仿真软件进行了电路的设计与分析, 对 Pspice 中的一些基本功能有了一定的了解, 体验了利用电路仿真软件进行电路设计的基本流程。课堂上, 我们学习了 PSpice 软件使用、MOSFET 放大电路的设计方法、MOSFET 放大电路静态工作点设置与调整方法、MOSFET 放大电路性能指标的测试方法及调试技术, 对负反馈对放大电路性能的影响有了一定的了解与认识。

通过此次实验, 我对 MOSFET 放大电路的工作原理、它在实际工作时的一些限制与问题与它所构成电路的一些重要参数有了更深层次的了解; 对仿真设计在电路设计中的重要作用有深入的体会; 对相关电路的搭建方法有了更加深刻的认识。这次实验对我以后相关知识的学习有很大的帮助与指导作用。

八. 实验中出现的问題、分析及解决方案

- (1) 输入信号太小, 示波器中观察到明显的噪声, 通过改变采样方式改为平均值采样, 使得噪声明显降低
- (2) 调节电位器时, 旋转一圈的阻值变化很大, 使用时应注意缓慢的旋转。