

实验二：MOS管放大电路（插板）

专业班级：通信2101班

姓名：罗畅

学号：U202113940

实验名称

MOS管放大电路（插板）

实验目的

- 了解MOS管共源放大电路工作原理
- 掌握共源放大电路参数调整方法
- 掌握共源放大电路的基本原理与参数测量方法
- 掌握分立元件复杂电路搭建与调试方法

实验元器件

MOSFET晶体管：2N7000；电阻：1k Ω ，5.1k Ω ，100k Ω ；电容：1 μ F，4.7 μ F，47 μ F；电位器：470k，100k，100

实验原理

MOSFET共源极放大电路

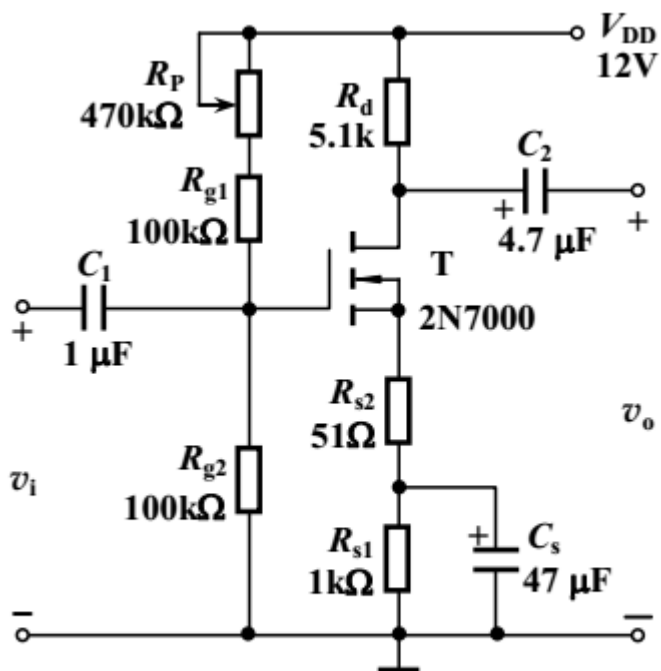


图 3.3.6 共源极放大电路

- 图3.3.6为N沟道增强型MOSFET共源极放大电路，其静态工作点可由下式估算：

式3.3.3

$$V_{GSQ} = \frac{R_{g2}}{R_{g1} + R_{g2}} \times V_{DD} - I_{DQ} R_s$$

$$I_{DQ} = K_n (V_{GS} - V_{TN})^2$$

$$V_{DSQ} = V_{DD} - I_{DQ} (R_d + R_s)$$

- 动态性能指标可由下式估算：

式3.3.4

$$A_v = -g_m R_d$$

$$R_i = R_{g1} // R_{g2}$$

$$R_o = R_d$$

- 数据手册通常会给出 V_{TN} 和某工作点下的 g_m 。对于MOS管2N7000，当 $I_D = 200\text{mA}$ 时， $g'_m = 100\text{mS}$ ，则由(3.3.3)第二式可得

$$K_n = \frac{(g'_m/2)^2}{I_D} = 12.5\text{mA/V}^2$$

而(3.3.4)第一式中的 g_m 是电路静态工作点下MOS管的互导，同样由式子

$$r_{ds} = \frac{\partial v_{DS}}{\partial i_D} \Big|_{V_{GS}}$$

可得

$$g_m = g'_m \sqrt{\frac{I_{DQ}}{I_D}}$$

即

$$g_m = 10 \sqrt{\frac{I_{DQ}}{2}} ms$$

此外 V_{TN} 在0.8-3V之间，这里取 $V_{TN}=1.75V$

设置静态工作点时，调整电位器 R_p ，使 V_p 为5-6V

实验任务

一、测试静态工作点

- 按照图3.3.6连接后，检查无误后接通电源。
- 用数字万用表的直流电压档测量电路的 V_D （漏极对地电压）
- 调整电位器 R_P ，使 V_D 为5~6V
- 再测出电路的 V_G （栅极对地电压）和 V_S （源极对地电压），填入表3.3.2中，并计算静态工作点Q（ I_{DQ} 、 V_{GSQ} 、 V_{DSQ} ）。

表 3.3.2 静态工作点

实测值			计算值		
V_G/V	V_S/V	V_D/V	$I_{DQ}= V_S / R_S$ /mA	$V_{GSQ}= V_G- V_S$ /V	$V_{DSQ}= V_D- V_S$ /V
实测电阻值		$R_{g1} =$, $R_{g2} =$, $R_d =$, $R_s =$			

注意：接下来的测试不要再改动静态工作点

二、测试放大电路的输入、输出波形和通带电压增益

- 按照下图搭建放大电路实验测试平台
- 调整信号源，使其输出峰一峰值为30mV、频率为1kHz 的正弦波，作为放大电路的 v_i ，分别用示波器的两个通道同时测试 v_i 和 v_o
- 在实验报告上定量画出 v_i 和 v_o 的波形（时间轴上下对齐）
- 分别测试负载开路 and $R_L=5.1k\Omega$ 两种情况下的 v_i 和 v_o ，完成表3.3.3。

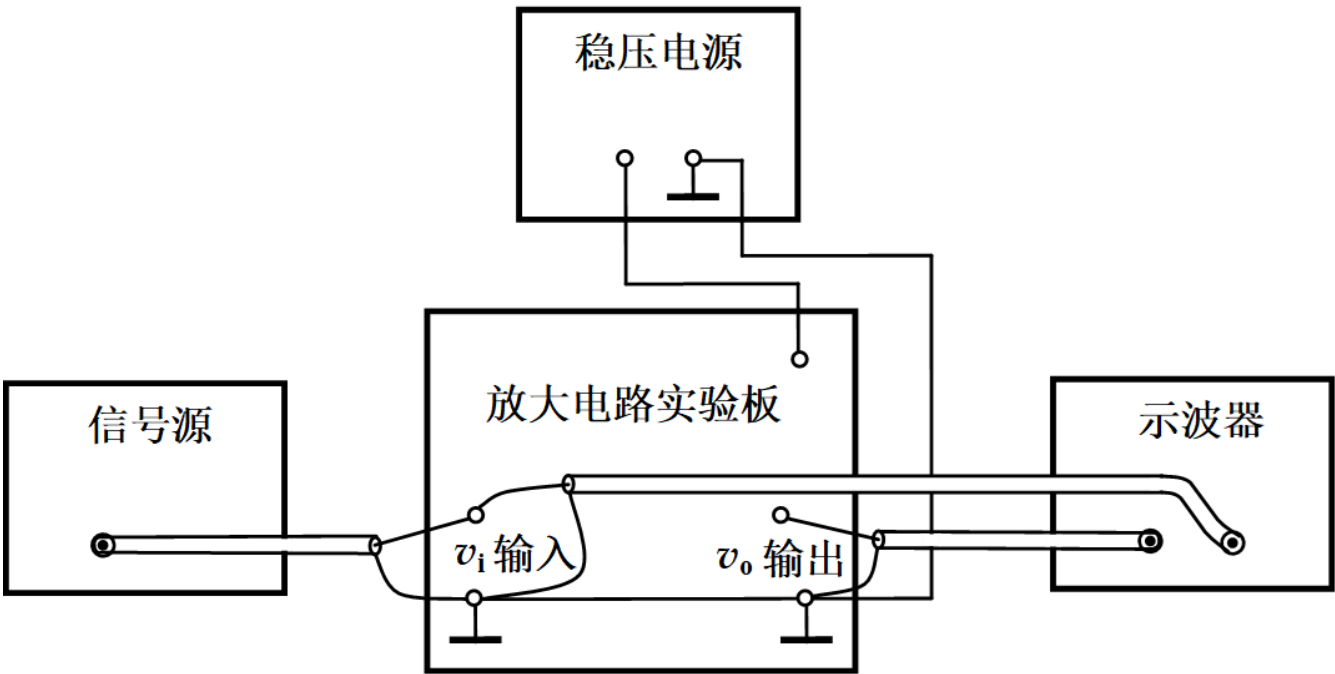


表3.3.3

表 3.3.3 电压增益 ($f=1kHz$)

负载情况	v_i 峰-峰值 V_{ipp} /mV	v_o 峰-峰值 V_{opp} /mV	$ A_v = V_{opp}/V_{ipp}$	$ A_v $ 的理论值	相对误差
负载开路	30				
$R_L=5.1k\Omega$	30				

三、测试放大电路的输入电阻

- 采用在输入回路中串入已知电阻的方法测量输入电阻。

- 由于MOSFET放大电路的输入电阻较大，所以当测量仪器的输入电阻不够大时，采用图3.2.8所示的方法可能存在较大误差，改用如图3.3.7所示的测量输出电压的方法更好
- R 取值尽量与 R_i 接近(此处可取 $R=51\text{ K}\Omega$)。信号源仍旧输出峰峰值30mV、1kHz正弦波
- 用示波器的一个通道始终监视 v_i 波形，用另一个通道先后测量开关 S 闭合和断开时对应的输出电压 v_{o1} 和 v_{o2} ，则输入电阻为

$$R_i = \frac{v_{o2}}{v_{o1} - v_{o2}} R$$

- 测量过程要保证 v_o 不出现失真现象

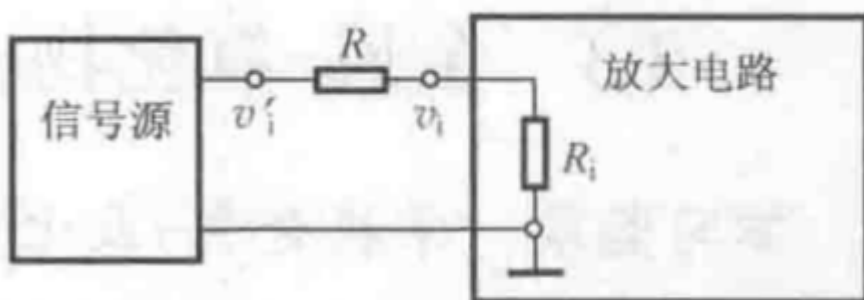


图 3.2.8 输入电阻测试局部示意图

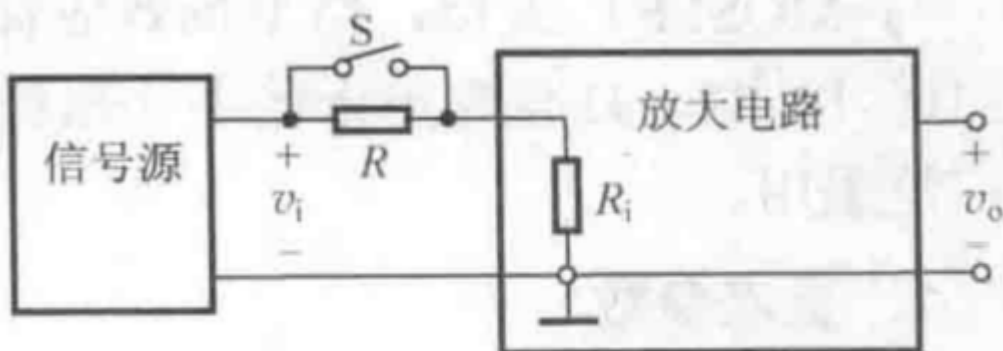


图 3.3.7 高输入电阻测试局部示意图

四、测试放大电路的输出电阻

- 采用改变负载的方法测试输出电阻。

- 分别测试负载开路输出电压 v'_o 和接入已知负载 R_L 时的输出电压 v_o 测量过程同样要保证 v_o 不出现失真现象。实际上在表3.3.3 中已得到 v'_o 和 v_o 则输出电阻为

$$R_o = \frac{v'_o - v_o}{v'_o} \times R_L$$

R_L 越接近 R_o 误差越小

五、测试放大电路的通频带

- 在图3.3.6 中，输入 v_i 为峰-峰值30mV、1kHz的正弦波，用示波器的一个通道始终监视输入波形的峰-峰值，用另一个通道测出输出波形的峰-峰值。
- 保持输入波形峰峰值不变，调节信号源的频率，逐渐提高信号的频率，观测输出波形的幅值变化，并相应适时调节示波器水平轴的扫描速率，保证始终能清晰观测到正常的正弦波。
- **持续提高**信号频率，直到输出波形峰-峰值降为1kHz时的**0.707倍**，此时信号的频率即为上限频率 f_H ，记录该频率；
- 类似地，**逐渐降低**信号频率，直到输出波形峰峰值降为1kHz时的**0.707 倍**，此时的频率即为信号频率 f_L ，记录该频率，完成表3.3.4。
- **要特别注意**，测试过程必须时刻监视输入波形峰-峰值，若有变化，需调整信号源的输出幅值，保持 v_i 的峰-峰值始终为30mV。

通频带(带宽)为 $BW=f_H-f_L$ 。

表 3.3.4 通频带（ $V_{ipp}=30mV$ ）

信号频率 f	f_L	-	f_H
		1kHz	
输出波形 峰-峰值 V_{opp}			
$ A_v $			

六、观察失真波形

- 调整信号源频率调回1kHz，分别用示波器的两个通道同时观测 v_i 和 v_o ，不断调整电位器 R_P ，观察 v_o 波形的变化，直至出现明显的非线性失真。
- 在表3.3.5中定性画出失真波形形状，并用万用表的直流电压档测量电路的 V_D 、 V_G 和 V_S 填入表3.3.5，计算静态工作点Q (I_{DQ} 、 V_{GSQ} 、 V_{DSQ})。
- 再反方向调整 R_P ，直至 v_o 波形出现另一种非线性失真现象，再次测量静态工作点，完成表3.3.5的内容。（注意，如果调不出失真现象，可以适当增大输入信号的幅值，再调整 R_P ）

表 3.3.5 失真时的静态工作点

失真波形	实测值			计算值			失真类型
	V_G/V	V_S/V	V_D/V	$I_{DQ}= V_S / R_s$ /mA	$V_{GSQ}= V_G- V_S$ /V	$V_{DSQ}= V_D- V_S$ /V	

实验记录

一、测试静态工作点

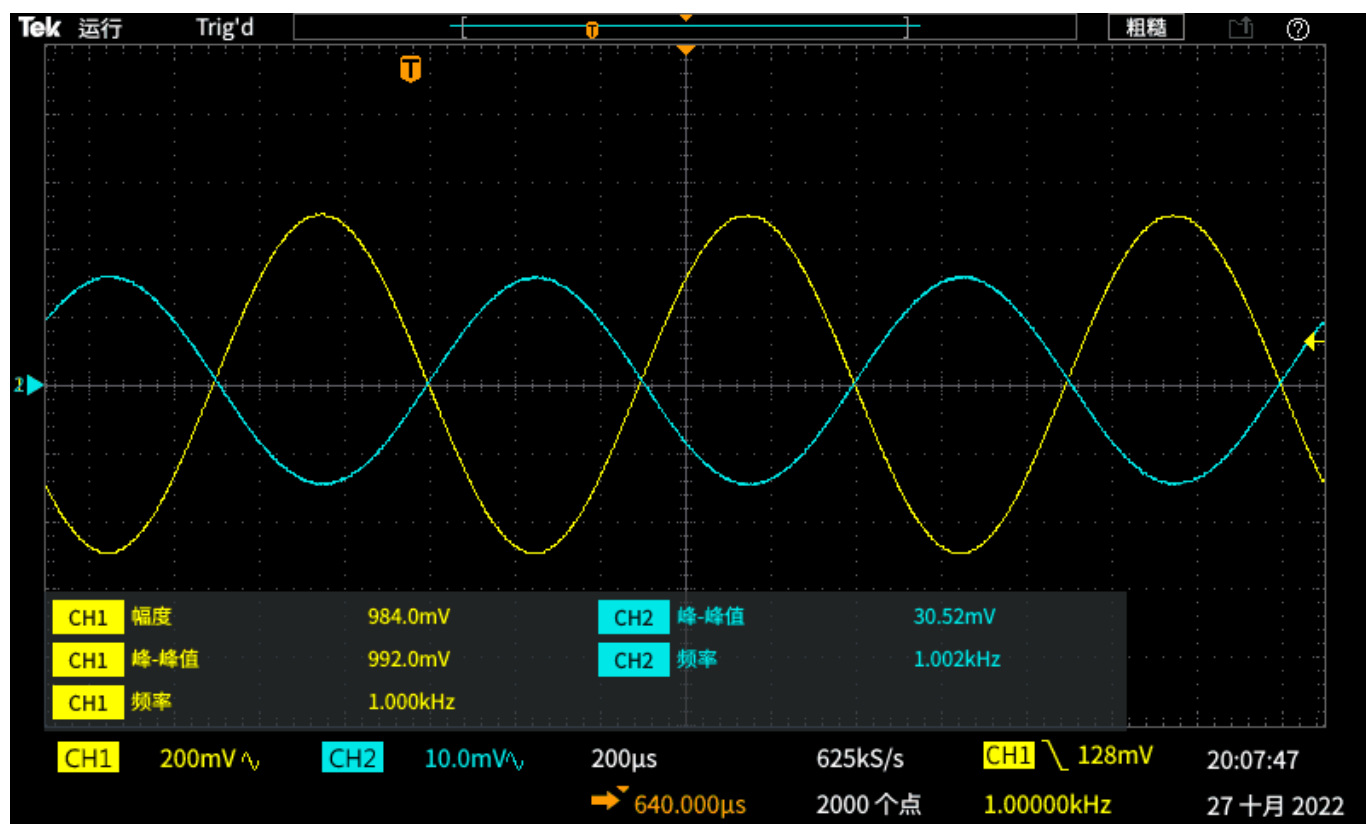
表3.3.2记录如下：

表 3.3.2 静态工作点

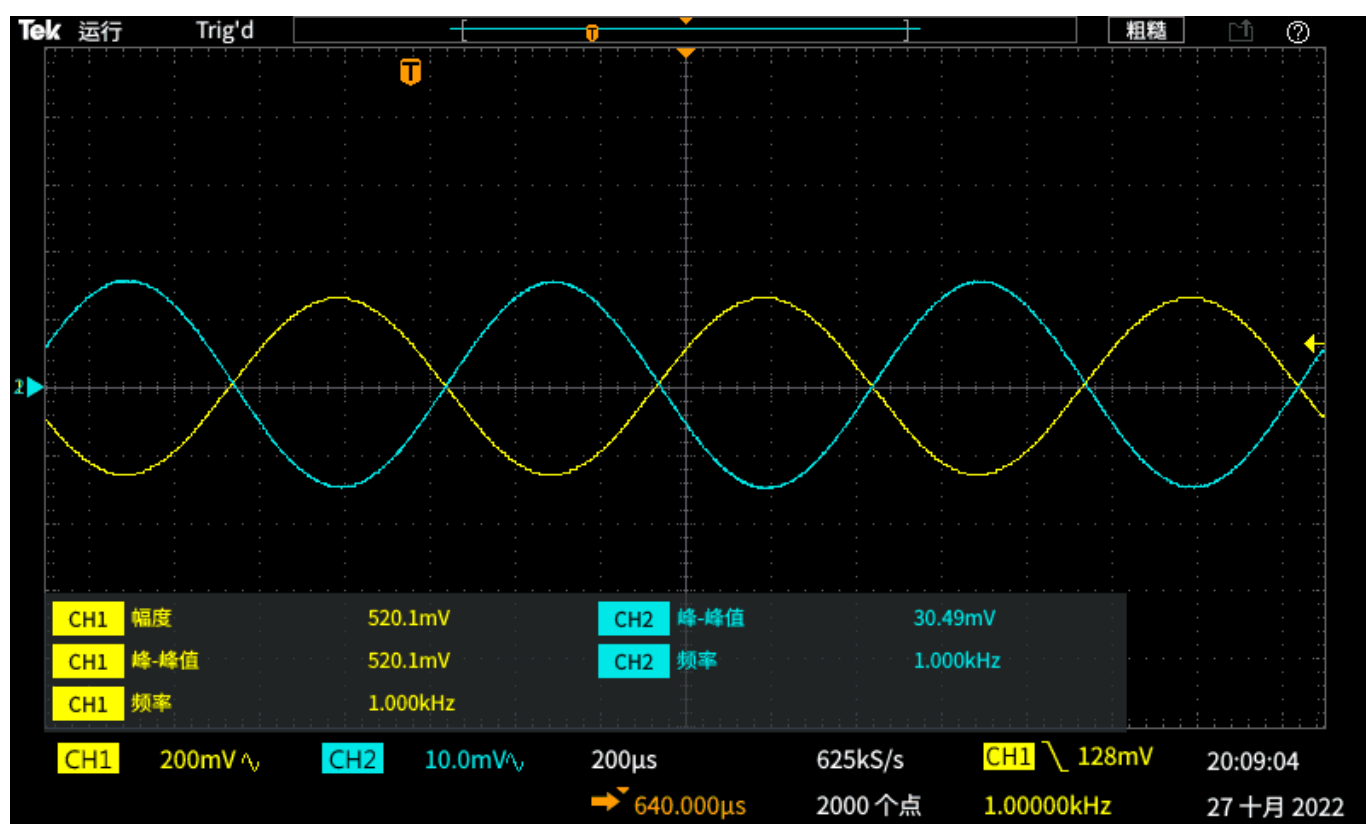
实测值			计算值		
V_G/V	V_S/V	V_D/V	$I_{DQ}= V_S / R_s$ /mA	$V_{GSQ}= V_G- V_S$ /V	$V_{DSQ}= V_D- V_S$ /V
2.8196	1.2793	5.9406	1.2268	1.5403	4.6613
实测电阻值		$R_{g1}=99.415k$, $R_{g2}=19.006k$, $R_d=5.025k$, $R_s=1.0428k$			

二、测试放大电路的输入、输出波形和通带电压增益

示波器图示如下：



无 RL （负载开路）



负载 $RL = 5.1k\Omega$

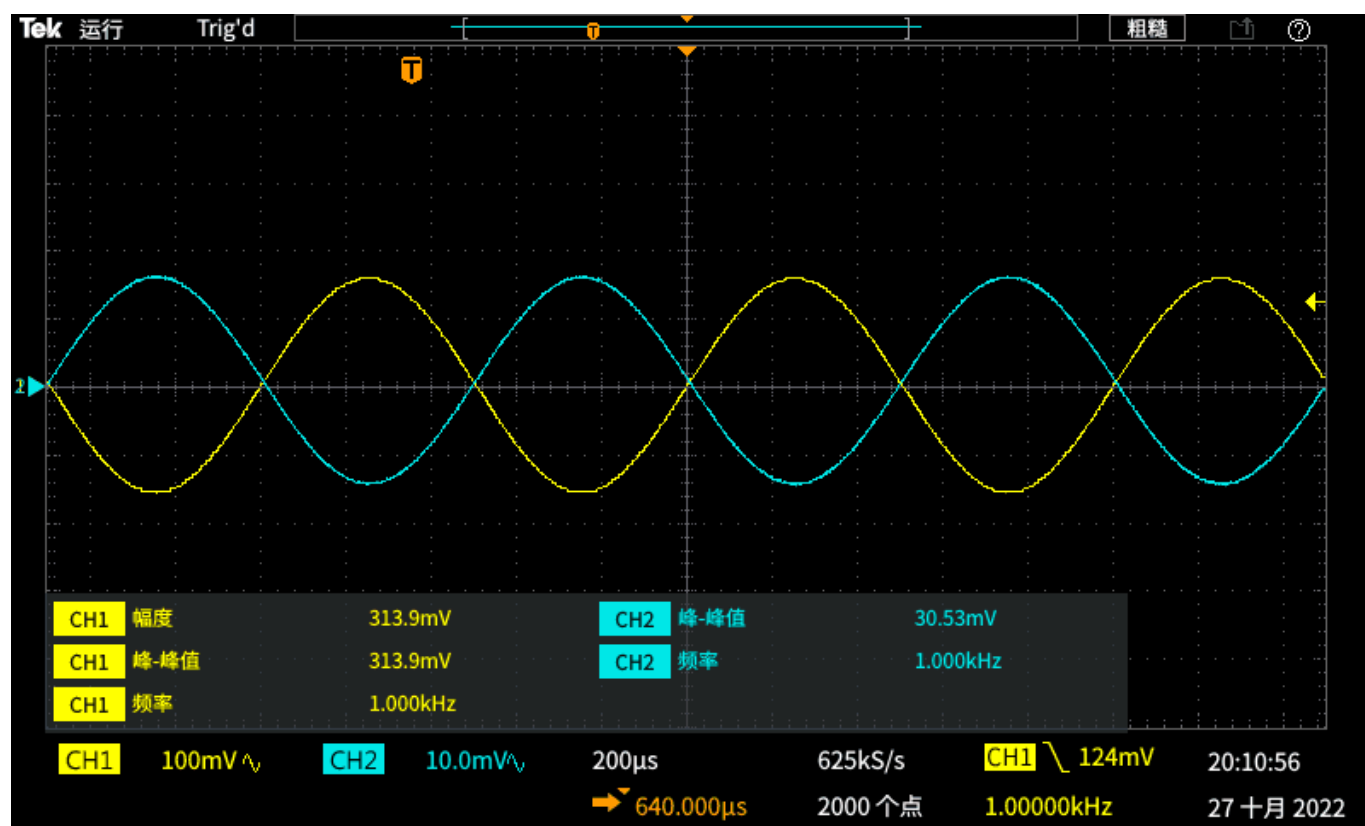
表3.3.3记录如下：

表 3.3.3 电压增益 ($f=1\text{kHz}$)

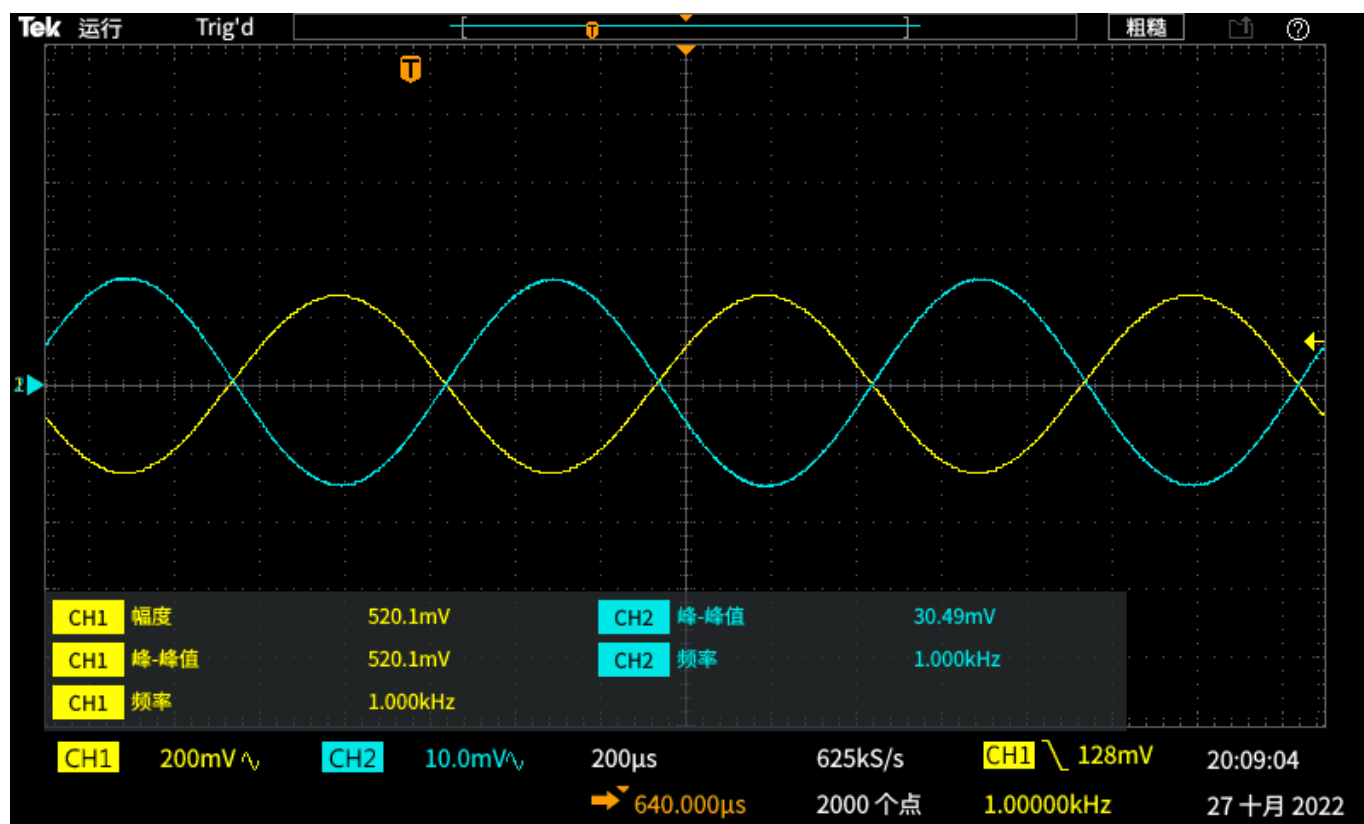
负载情况	v_i 峰-峰值 V_{ipp} /mV	v_o 峰-峰值 V_{opp} /mV	$ A_v = V_{opp}/V_{ipp}$	$ A_v $ 的理论值	相对误差
负载开路	30	984.0	32.8	39.94	17.87%
$R_L=5.1\text{k}\Omega$	30	520.1	17.3	19.97	13.37%

三、测试放大电路的输入电阻

实验测量示波器图示如下：



接入 $R = 51\text{k}\Omega$



不接 R

由

$$R_i = \frac{v_{o2}}{v_{o1} - v_{o2}} R$$

有

$$R_i = \frac{313.9}{520.1 - 313.9} \times 51k = 77.6377k$$

又

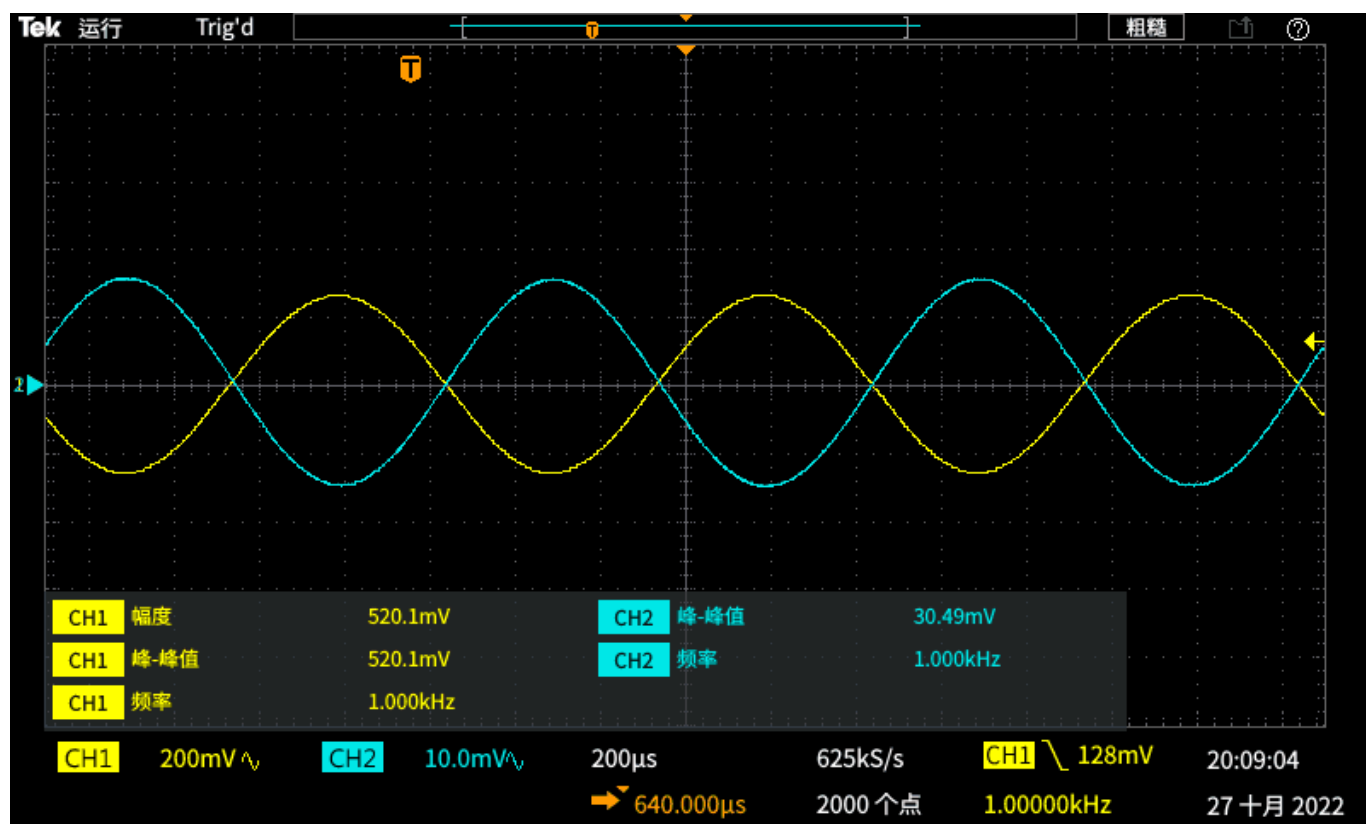
理论值 $R_i = (R_{g1} + R_p) // R_{g2} = 76.3467k$

则相对误差为

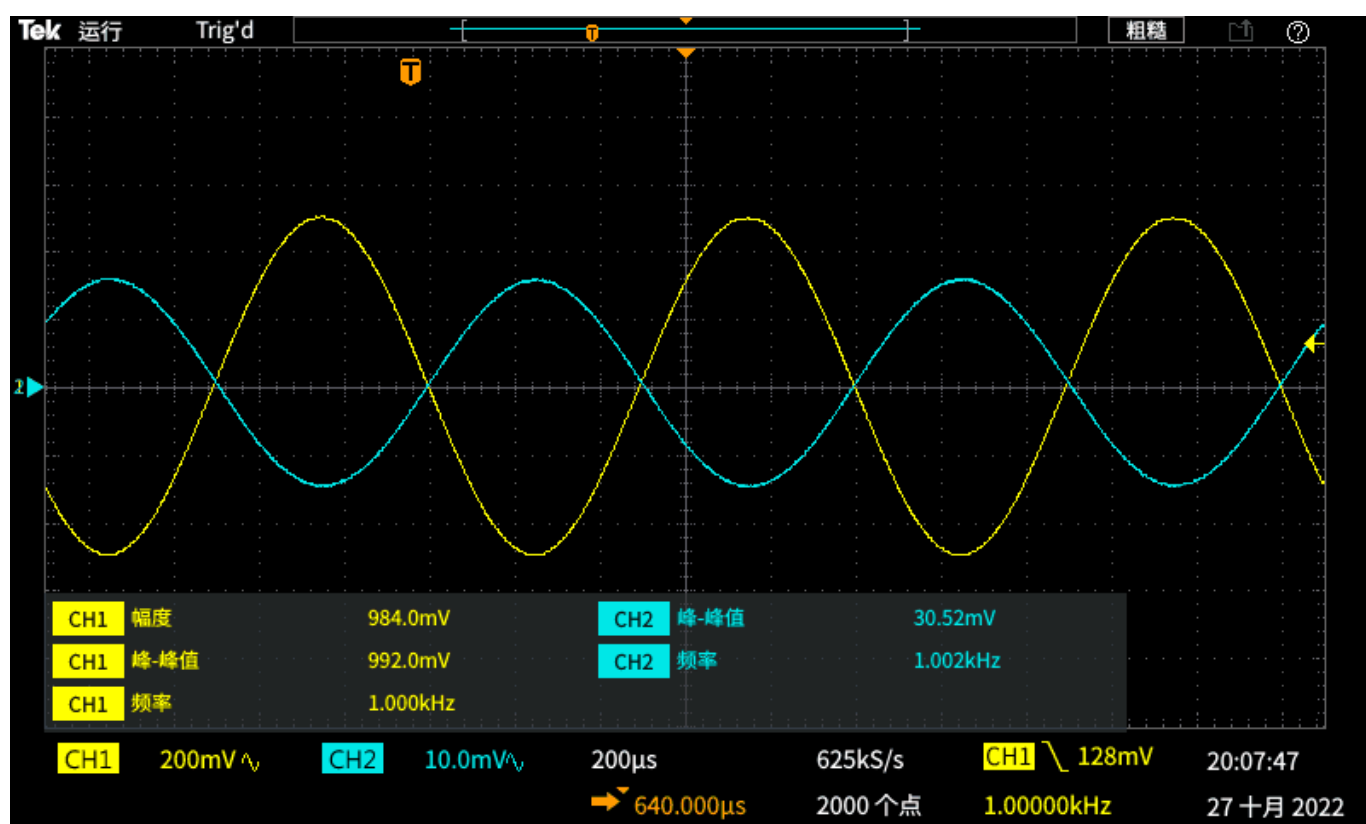
$$\frac{77.6377 - 76.3467}{76.3467} = 1.691\%$$

四、测试放大电路的输出电阻

实验示波器测量图示如下：



有 RL



无 RL

由

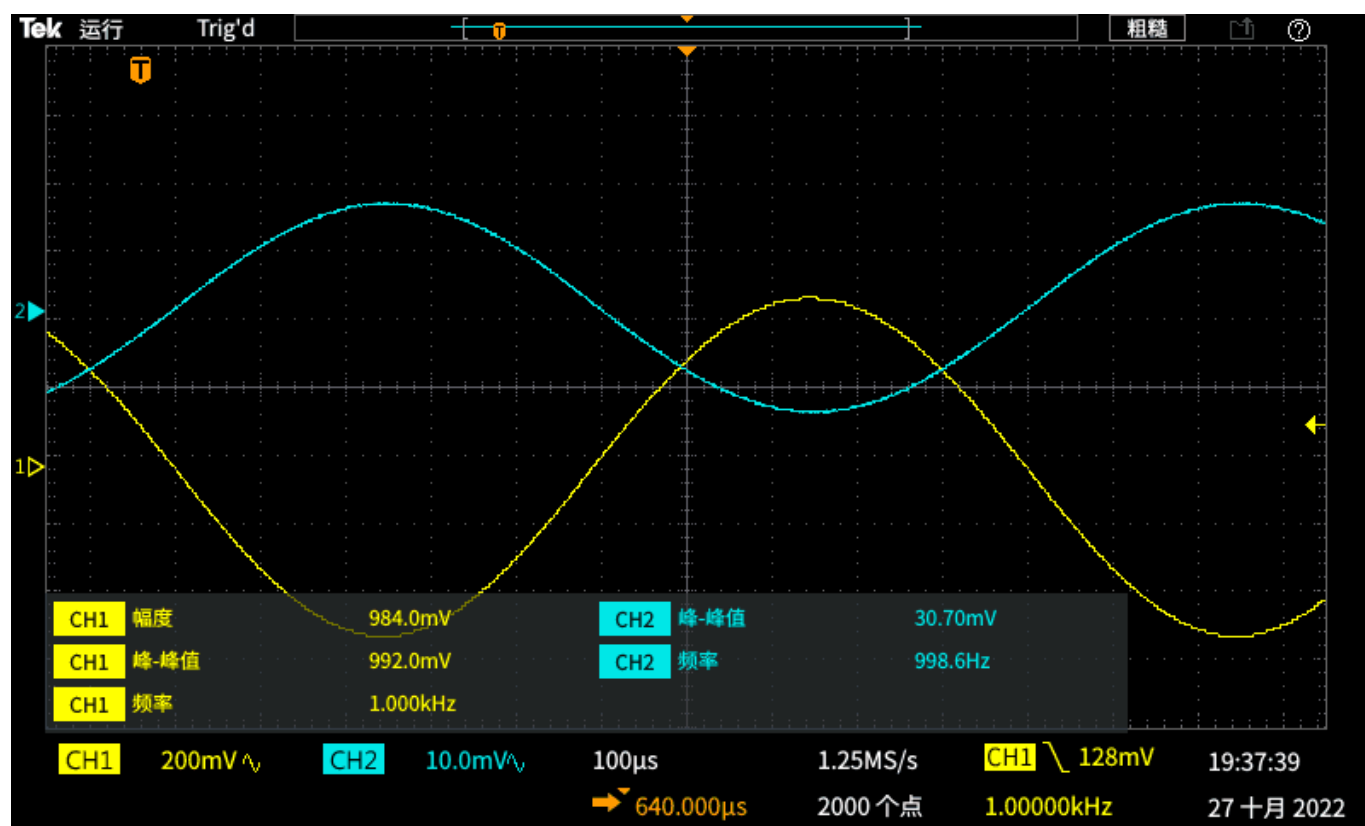
$$R_o = \frac{v'_o - v_o}{v'_o} \times R_L$$

有

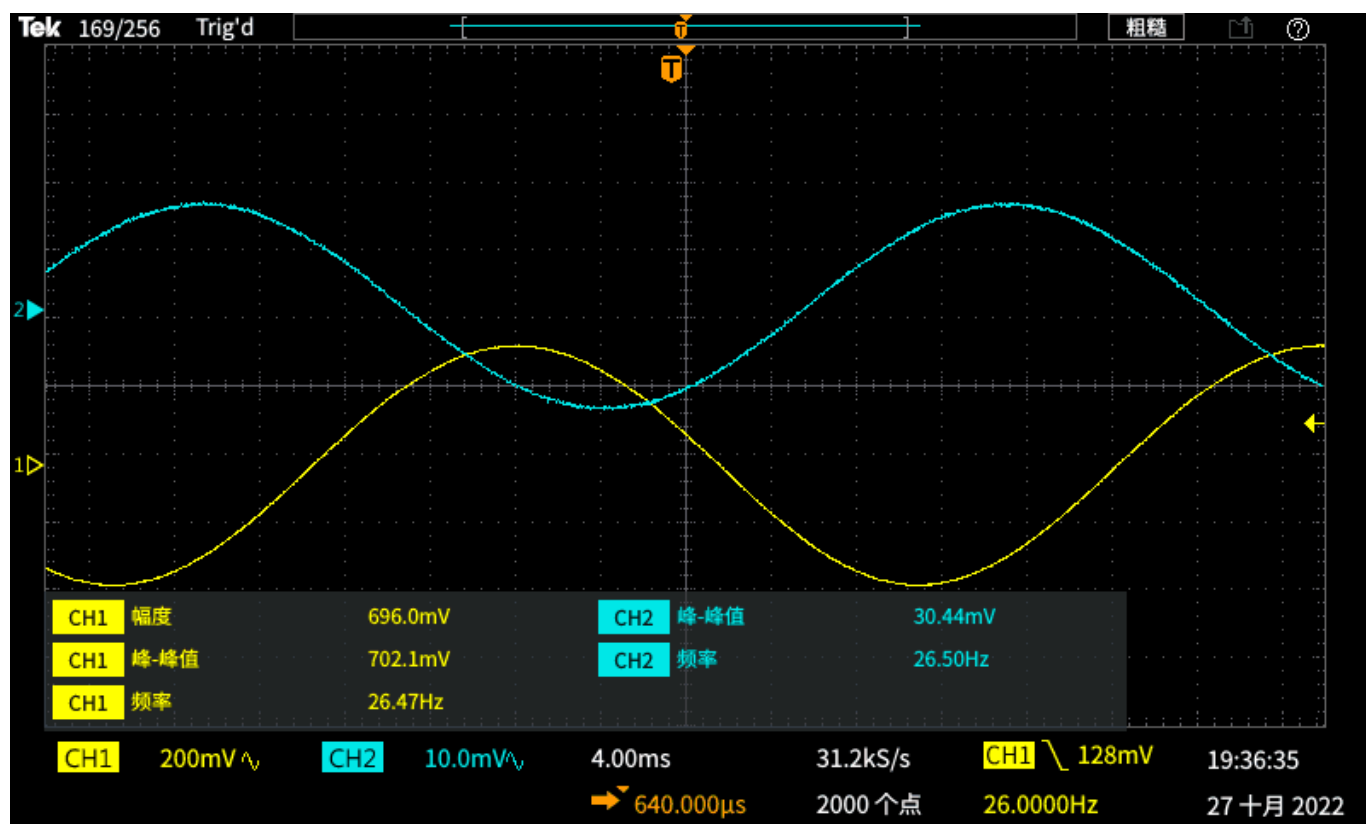
$$R_o = \frac{984.0 - 520.1}{984.0} \times 5.1k = 2.4044k$$

五、测试放大电路的通频带

实验示波器测量图示如下：



$$1kHz, v_{opp} = 984.0mV$$



$$26Hz, v_{opp} = 696.0mV$$



$$700kHz, v_{opp} = 696.1mV$$

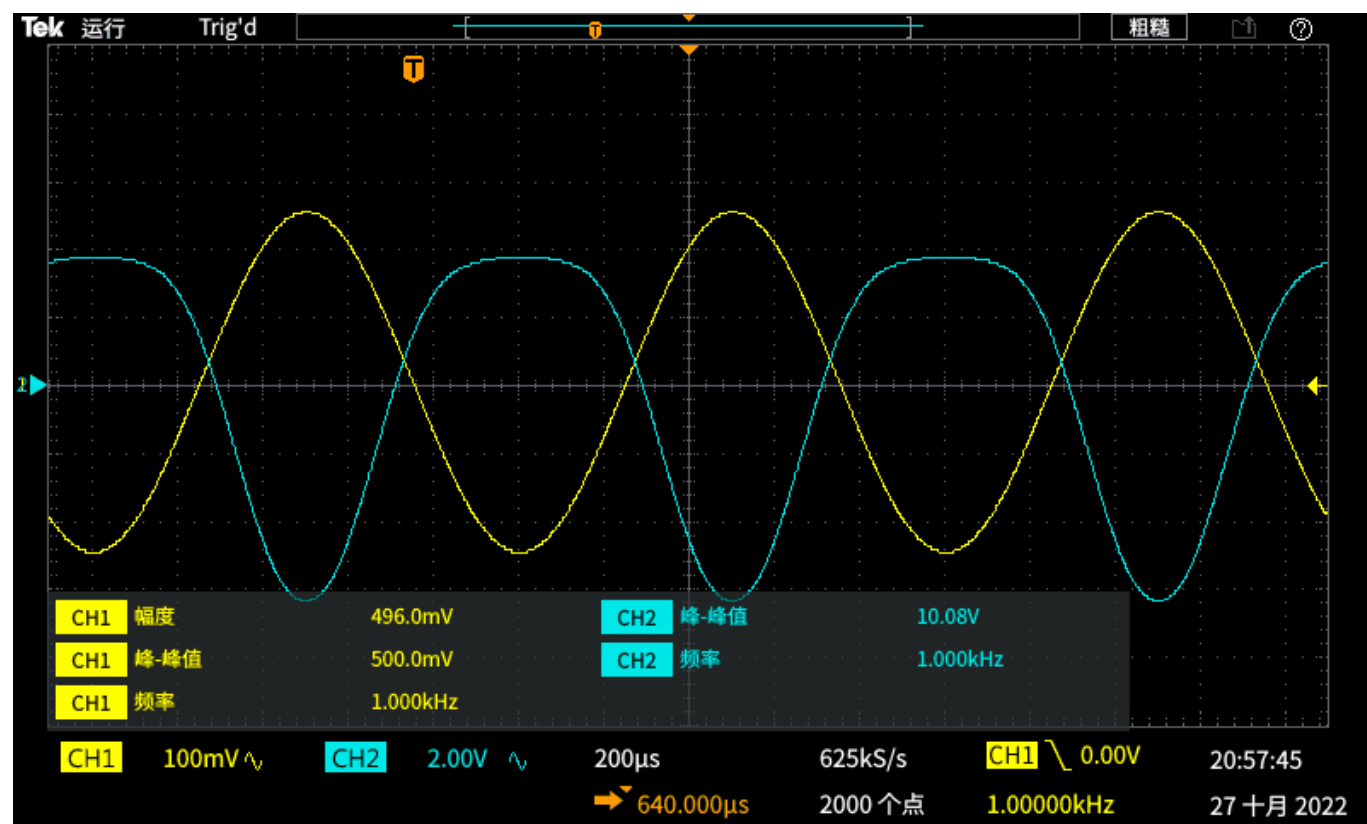
实验记录表3.3.4如下：

表 3.3.4 通频带 ($V_{ipp} = 30\text{mV}$)

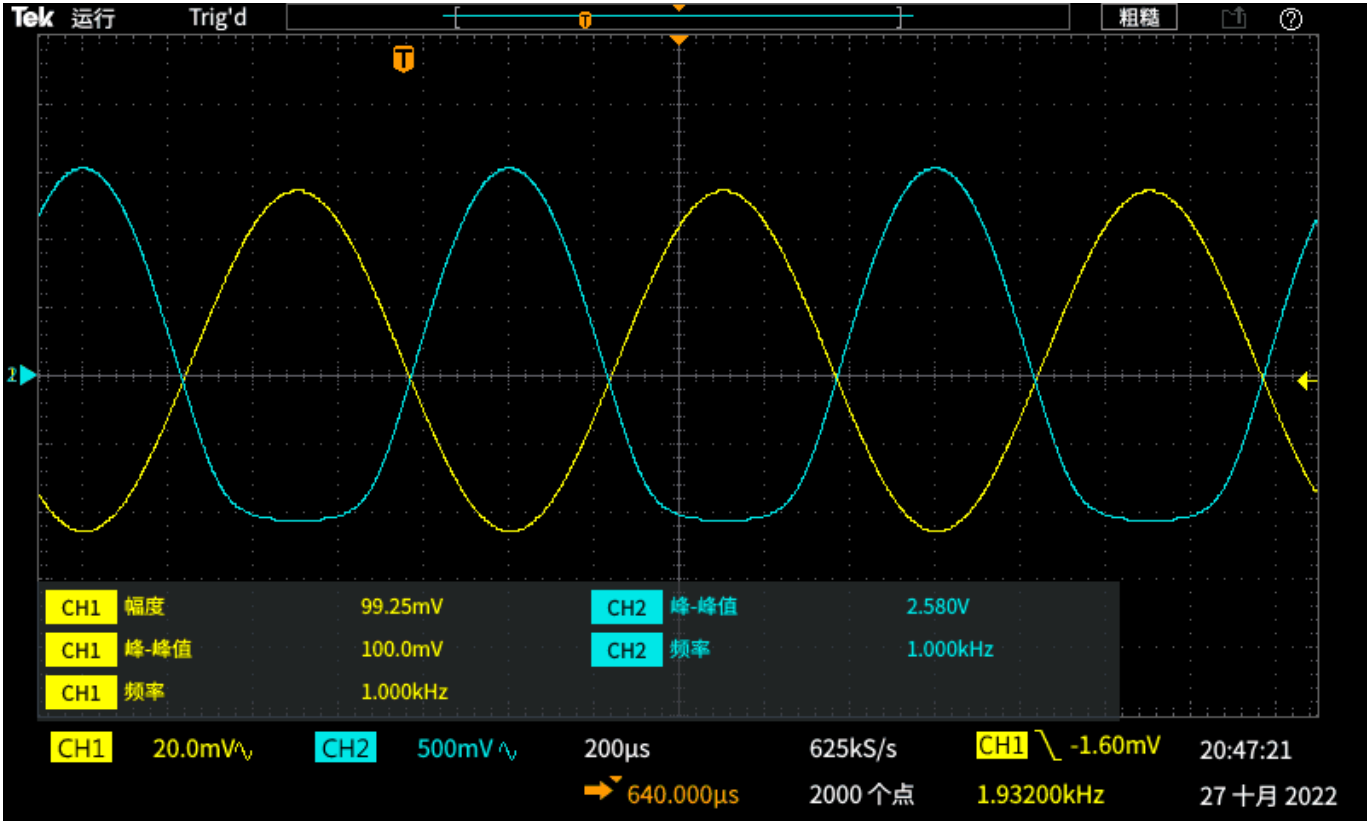
信号频率 f	f_L	-	f_H
	26	1kHz	700kHz
输出波形 峰-峰值 V_{opp}	696.0	984.0	696.1
$ A_v $	23.2	32.8	23.2

六、观察失真波形

实验示波器测量图示如下：



截止失真



饱和失真

实验记录表3.3.5如下

表 3.3.5 失真时的静态工作点

失真波形	实测值			计算值			失真类型
	V_G/V	V_S/V	V_D/V	$I_{DQ} = V_S / R_S$ /mA	$V_{GSQ} = V_G - V_S$ /V	$V_{DSQ} = V_D - V_S$ /V	
0017	3.4486	1.8488	2.3834	1.7729	1.5988	0.5346	饱和
0018	2.2337	0.8037	8.1176	0.7707	1.43	7.3139	截止

实验小结

这次实验增强了我对MOSFET的理解，亲身学习并调试出了两种失真波形，复习并更好的理解了模电的知识,实验过程中发现理解实验原理，掌握MOS管的工作原理和相关计算方法以及相关仪器

的使用方法至关重要。