

浙江大学实验报告

专业：电气 1304  
姓名：彭耀峰  
学号：3130103174  
日期：2015.4.21  
地点：东 3-211 D1\_

课程名称： 电路与电子技术实验 2 指导老师： 孙盾 成绩：  
实验名称： 集成运算放大器指标测试  
实验类型： 同组学生姓名：

- 一、实验目的和要求（必填）
- 二、实验内容和原理（必填）
- 三、主要仪器设备（必填）
- 四、操作方法和实验步骤
- 五、实验数据记录和处理
- 六、实验结果与分析（必填）
- 七、讨论、心得

一、实验目的

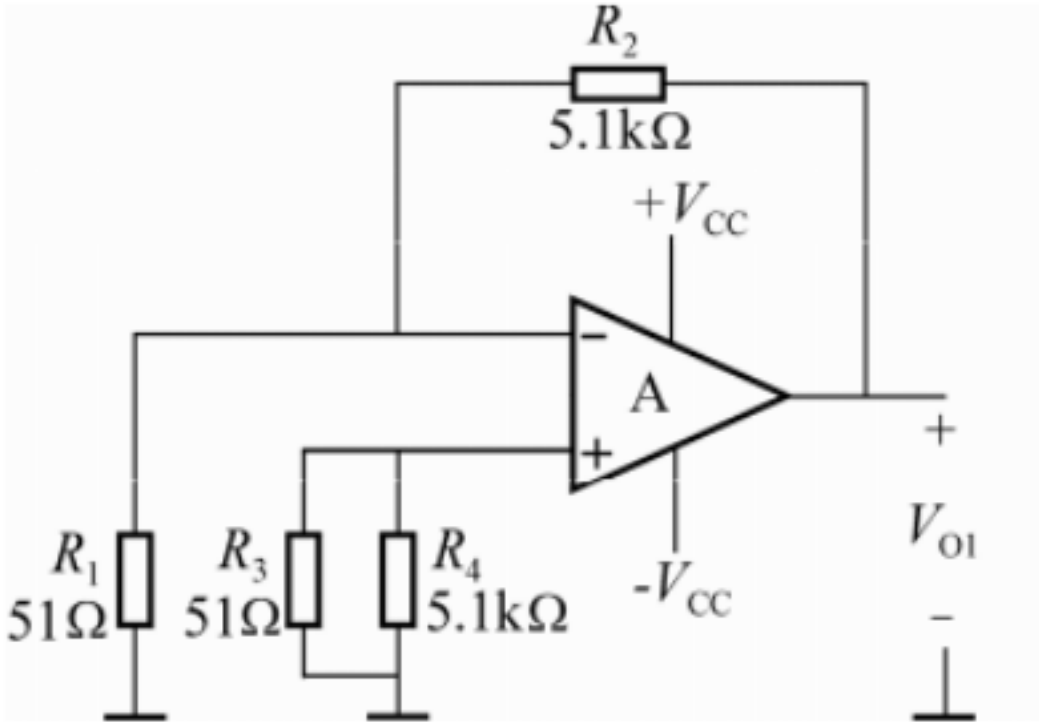
- 1、加深对集成运算放大器特性和参数的理解；
- 2、学习集成运算放大器主要性能指标的测试方法

二、实验内容和原理

集成运算放大器是一种高增益的直接耦合放大电路，在理想情况下，集成运放的  $A_{od} =$  、  $R_i =$  、  $V_{IO} = 0$ 、  $I_{IO} = 0$ 、  $K_{CMR} =$  。但是实际上并不存在理想的集成运算放大器。为了解实际运放与理想运放的差别，以便正确使用集成运放大器，有必要研究其实际特性，并对其主要指标进行测试。

- 1、输入失调电压  $V_{IO}$ ：输入信号为 0 时，输出端出现的电压折算到同相输入端的数值。电路如

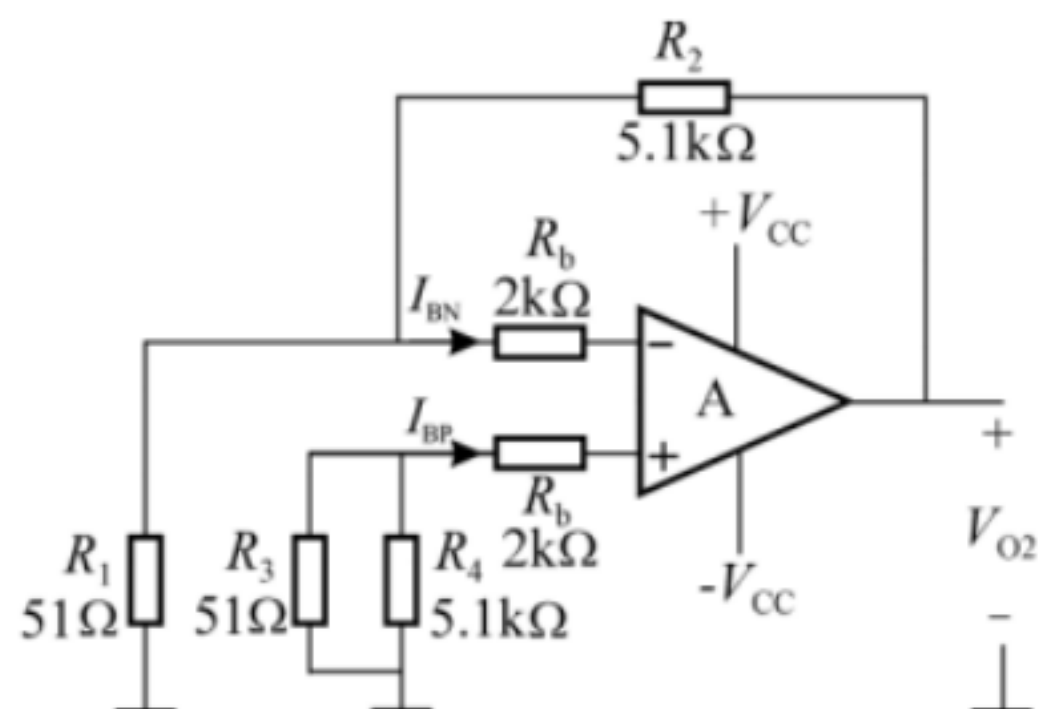
图，用万用表测出  $V_{O1}$ ，由  $V_{IO} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{O1}$ ，得出  $V_{IO}$ 。



- 2、输入失调电流：是指当输入信号为 0 时，运放的两个输入端的基极偏置电流之差，反映了运放内部差动输入级两个晶体管的失配度，电路如图，用万用表测出  $V_{O2}$ ，由

$$I_{IO} = |V_{O2} - V_{O1}| \frac{R_1}{(R_1 + R_2) R_b}$$

计算得出  $I_{IO}$ ；

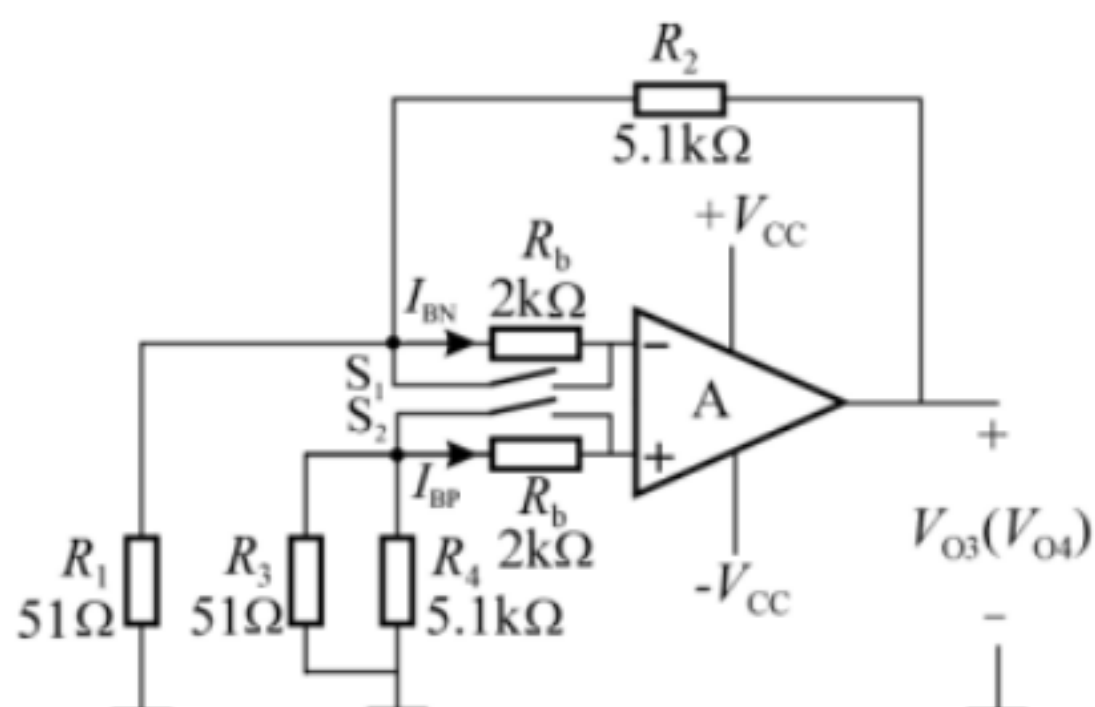


3、输入偏置电流  $I_{IB}$ ：为了使运放输入级放大器工作在线性区，所必须输入的一个直流电流，实验电路如图，当  $S_1$  断开、 $S_2$  闭合时，测得运放输出电压为  $V_{O3}$ ，当  $S_1$  闭合、 $S_2$  断开时，测得运

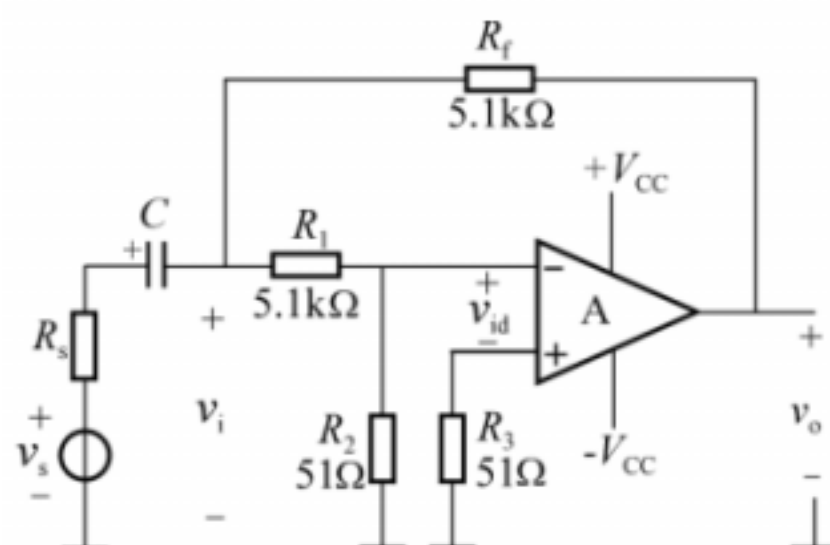
放输出电压为  $V_{O4}$ ，则  $I_{BN} R_b = \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) (V_{O3} - V_{O1})$ ，

$$-I_{BP} R_b = \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) (V_{O4} - V_{O1})，\text{两式相减得}$$

$$I_{IB} = \frac{1}{2} (I_{BN} + I_{BP}) = \frac{1}{2} (V_{O3} - V_{O4}) \frac{R_1}{(R_1 + R_2) R_b}$$



4、开环差模电压放大倍数  $A_{od}$ ：集成运放的开环差模电压放大倍数  $A_{od}$  可以采用直流信号源进行测量，但为了测试方便，通常采用低频（如几十赫兹以下）交流信号进行测量。具体的测量方法很多，一般采用同时引入直流反馈和交流反馈的测试方法，如图



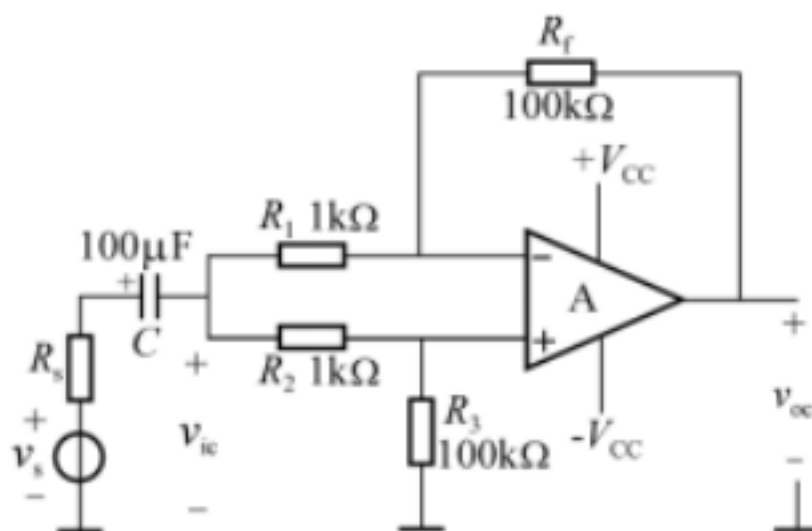
被测运放一方面通过  $R_f$ 、 $R_1$ 、 $R_2$  引入直流反馈，以抑制输出电压失调；另一方面，通过引入交流反馈，输入回路中的电阻  $R_1$  和  $R_2$  同时又起到对输入交流信号进行分压衰减的作用。同相端接地电阻  $R_3$  应与反相端所接电阻相匹配，以减小输入偏置电流的影响。开环差模电压增益为

$$A_{od} = \frac{V_o}{V_{id}} = \frac{V_o}{V_i \frac{R_2}{R_1 + R_2}}$$

但在测试过程中，需要用示波器观察监测波形不发生自激震荡

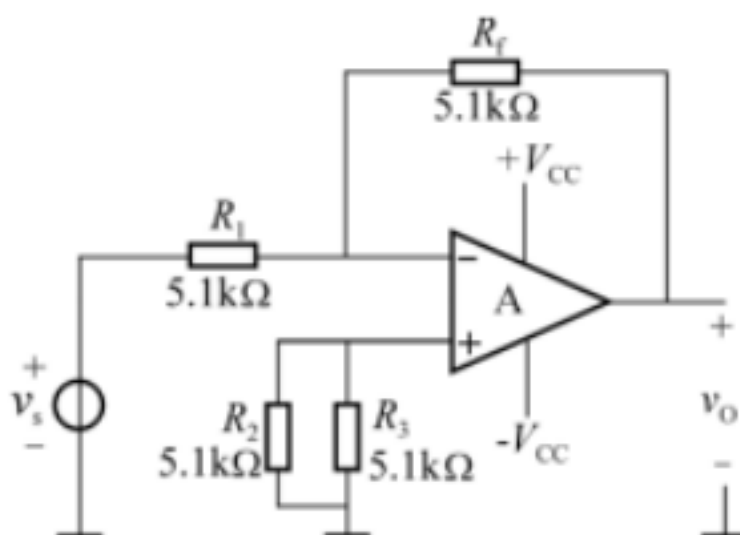
5、最大不失真输出电压  $V_{OMAX}$ ：测量电路图与  $A_{od}$  的测试电路相同，实验时，只需改变  $V_s$  幅度，并观察  $V_o$  是否开始出现削顶失真，从而确定运放在一定电源电压下的最大不失真输出电压幅度  $V_{OMAX}$ ，实验中也要用示波器监测  $V_o$  波形不发生自激震荡，保证运放工作在线性放大区；

6、共模抑制比  $K_{CMR}$  的测量：集成运放的共模抑制比是其差模电压放大倍数与共模电压放大倍数之比的绝对值，即  $K_{CMR} = \left| \frac{A_{od}}{A_{oc}} \right|$ ，实验电路如图， $A_{cd} = \frac{V_{oc}}{V_{ic}}$ ，即可算出  $K_{CMR}$



7、转换速率  $SR$  的测量；转换速率  $SR$  反映了集成运放对信号变化速度的适应能力。在大信号条件下，集成运放的输出电压随时间的最大变化率称为转换速率，即  $SR = \left| \frac{dv_o}{dt} \right|_{MAX}$ 。若输入信号是前沿陡峭的大幅度方波（峰峰值  $1V$ ），则由输出波形  $V_o$  的过渡区斜率（一般取  $0.9V_{OM}^+ \sim 0.9V_{OM}^-$ ），可得到被测运放的转换速率，如图所示。

$$SR = \frac{0.9V_{OM}^+}{\Delta t_2} = \frac{0.9V_{OM}^-}{\Delta t_1}$$



若测得正向与负向的转换速率不同，则应取其中数值较小者。

### 三、主要仪器设备

- 1、运放 LM358 一只；
- 2、示波器一台；
- 3、万用表一个；
- 4、电工电子实验箱一台；
- 5、导线若干；

### 四、操作方法和实验步骤

#### 1、输入失调电压 $V_{IO}$ ：

(1) 按照实验电路图连接电路，在连接稳压电源前，用万用表测量输出电压，将稳压电源的地与电路的地相连；

(2) 用万用表测量  $V_{O1}$ ， $V_{IO} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{O1}$ ；

#### 2、输入失调电流：

(1) 按照设计的运算电路进行连接；

(2) 用万用表测量  $V_{O2}$ ；

(3) 由  $I_{IO} = |V_{O2} - V_{O1}| \frac{R_1}{(R_1 + R_2)R_b}$  得出输入失调电流；

#### 3、输入偏置电流 $I_{IB}$ ：

(1) 按照设计的运算电路进行连接；

(2) 用示波器监测输出波形，避免输出电压达到饱和以及自激现象；

(3) 断开 S1，闭合 S2，用万用表测量输出电压  $V_{O3}$ ；

(4) 闭合 S1，断开 S2，用万用表测量输出电压  $V_{O4}$ ；

(5) 由  $I_{IB} = \frac{1}{2} (I_{BN} + I_{BP}) = \frac{1}{2} (V_{O3} - V_{O4}) \frac{R_1}{(R_1 + R_2)R_b}$  得出输入偏置电流

#### 4、开环差模电压放大倍数 $A_{od}$ ：

(1) 按照设计的运算电路进行连接，其中电容  $C=100\mu F$ ，电阻分别为 2K 和 200K；

(2) 用示波器监测输出波形，避免输出电压达到饱和以及自激现象；

(3) 输入 50Hz，100mVpp 的正弦交流电压，用示波器观察输出和输入波形，使运放工作在线性放大区，避免出现自激震荡；

(4) 读出  $V_o$  和  $V_{id}$ ，由  $A_{od} = \frac{V_o}{V_{id}} = \frac{V_o}{V_i \frac{R_2}{R_1 + R_2}}$  得出  $A_{od}$ ；

#### 5、最大不失真输出电压 $V_{OMAX}$ ：

(1) 使用测量差模电压放大倍数的电路；

(2) 输入 50Hz，100mVpp 的正弦交流电压，用示波器观察输出和输入波形，使运放工作在线性放大区，避免出现自激震荡；

(3) 不断增大输入电压幅值，当输出波形出现削顶失真时，记录  $V_o$ ；

#### 6、共模抑制比 $K_{CMR}$ ：

(1) 按照设计的实验电路进行连接；

(2) 静态测试，保证输出为零输出；

(3) 输入 50Hz，12Vpp 的正弦交流电压，用示波器观察输出和输入波形，使运放工作在线性放大区，避免出现自激震荡；

(4) 记录输入和输出电压的幅值；

(5) 由  $A_{cd} = \frac{V_{oc}}{V_{ic}}$  和  $K_{CMR} = \left| \frac{A_{od}}{A_{oc}} \right|$  得出共模抑制比；

#### 7、转换速率 SR：

(1) 连接转换速率 SR 的测量电路；

(2) 静态测试，保证零输入时为零输出；

(3) 输入 5kHz，20Vpp 的方波，用示波器观察输出和输入波形，使运放工作在线性放大区，避免出现自激震荡；

(4) 测量输出电压上升和下降边沿的时间；

(5) 由  $SR = \frac{0.9V_{OM}^+}{\Delta t_2} = \frac{0.9V_{OM}^-}{\Delta t_1}$  得出转换速率；

(6) 当二者大小不同时，取较小者；

## 五、实验数据记录和处理

### 1、输入失调电压 $V_{IO}$ ：

$$V_{O1} = -0.199V；$$

$$V_{IO} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{O1} = \frac{51}{51 + 5100} * (-0.199)V = 1.97mV$$

### 2、输入失调电流：

$$V_{O2} = -0.198V；$$

$$I_{IO} = |V_{O2} - V_{O1}| \frac{R_1}{(R_1 + R_2)R_b} = 0.001 * \frac{51}{(51 + 5100) * 2000} A = 4.95nA$$

### 3、输入偏置电流 $I_{IB}$ ：

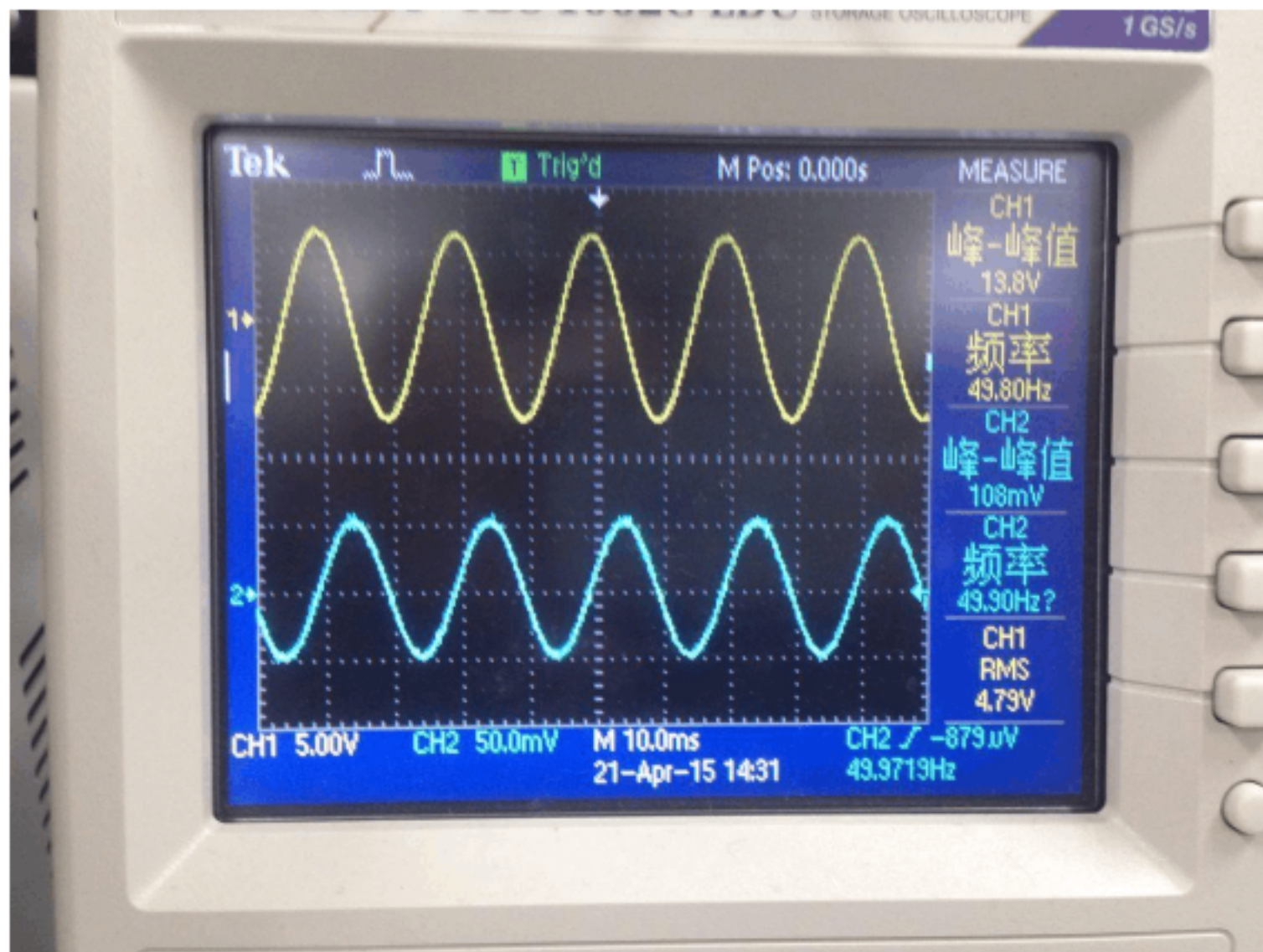
$$V_{O3} = -0.202V；$$

$$V_{O4} = -0.197V；$$

$$I_{IB} = \frac{1}{2} |V_{O3} - V_{O4}| \frac{R_1}{(R_1 + R_2)R_b} = \frac{1}{2} * 0.005 * \frac{51}{(51 + 5100) * 2000} A = 12.4nA$$



4、开环差模电压放大倍数  $A_{od}$  :



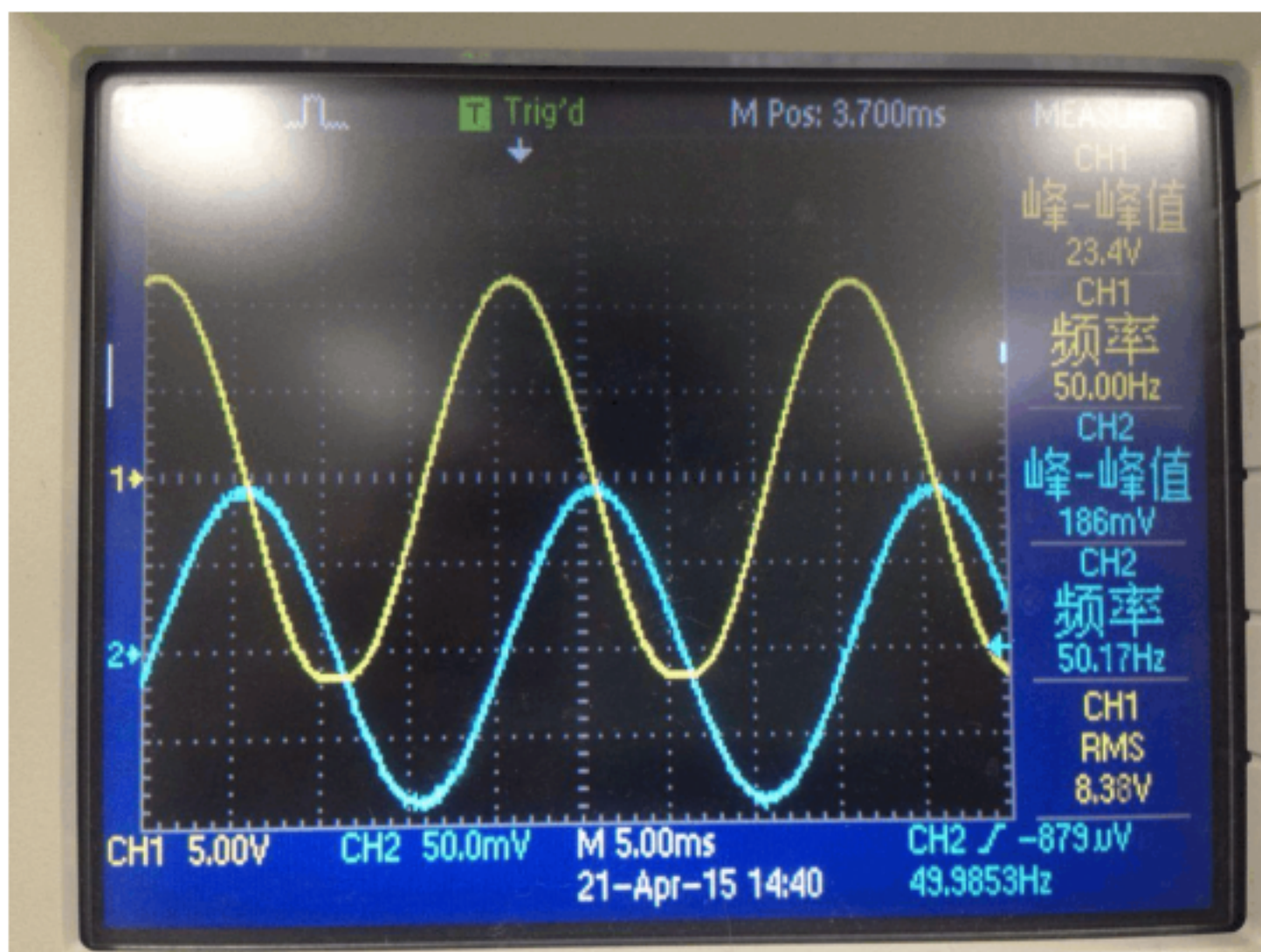
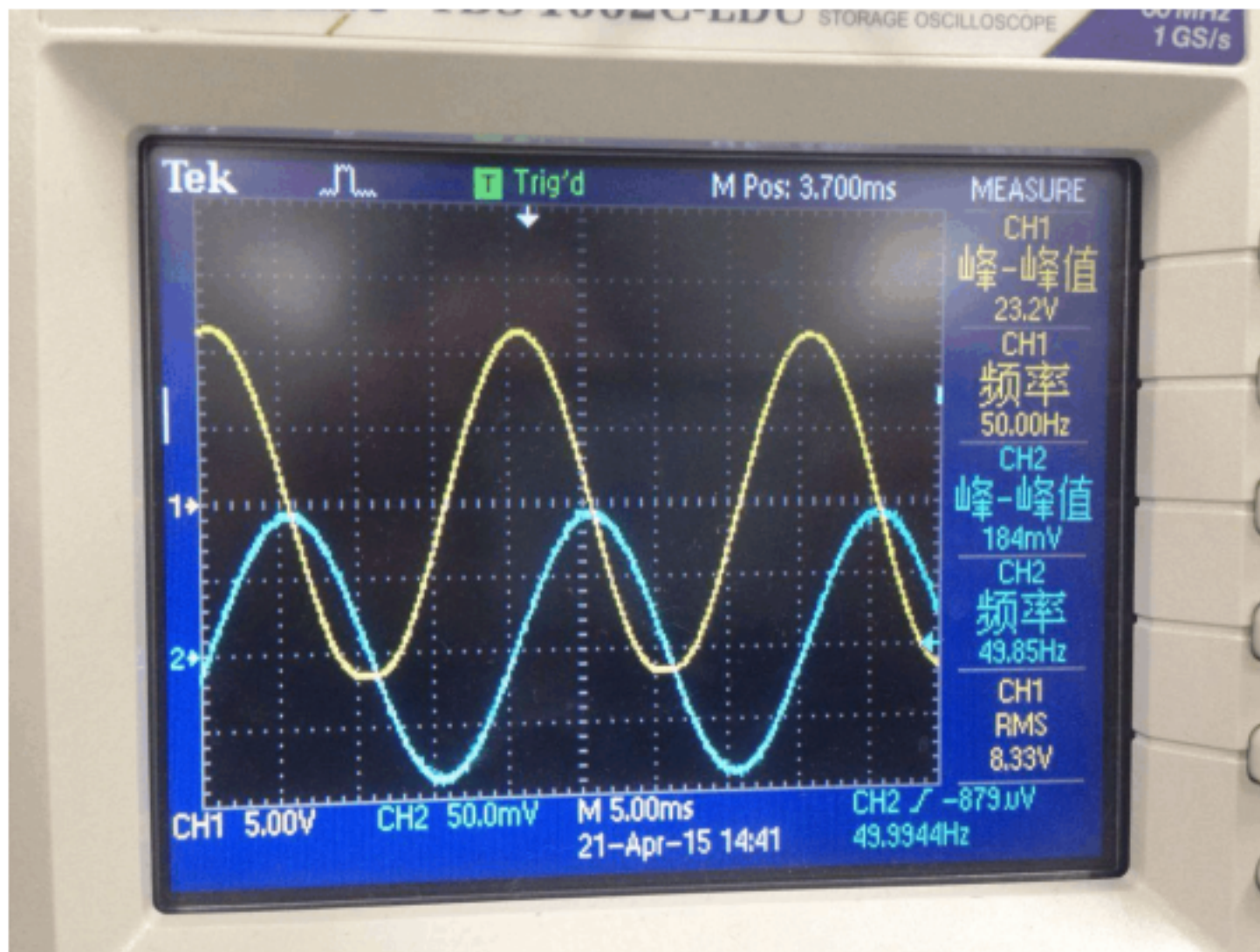
$$V_o = 13.8V ;$$

$$V_{id} = 0.108V ;$$

$$A_{od} = \frac{V_o}{V_{id}} = \frac{V_o}{V_i \frac{R_2}{R_1 + R_2}} = \frac{13.8}{0.108 * \frac{2}{200 + 2}} = 12905.6$$

5、最大不失真输出电压  $V_{OMAX}$  :

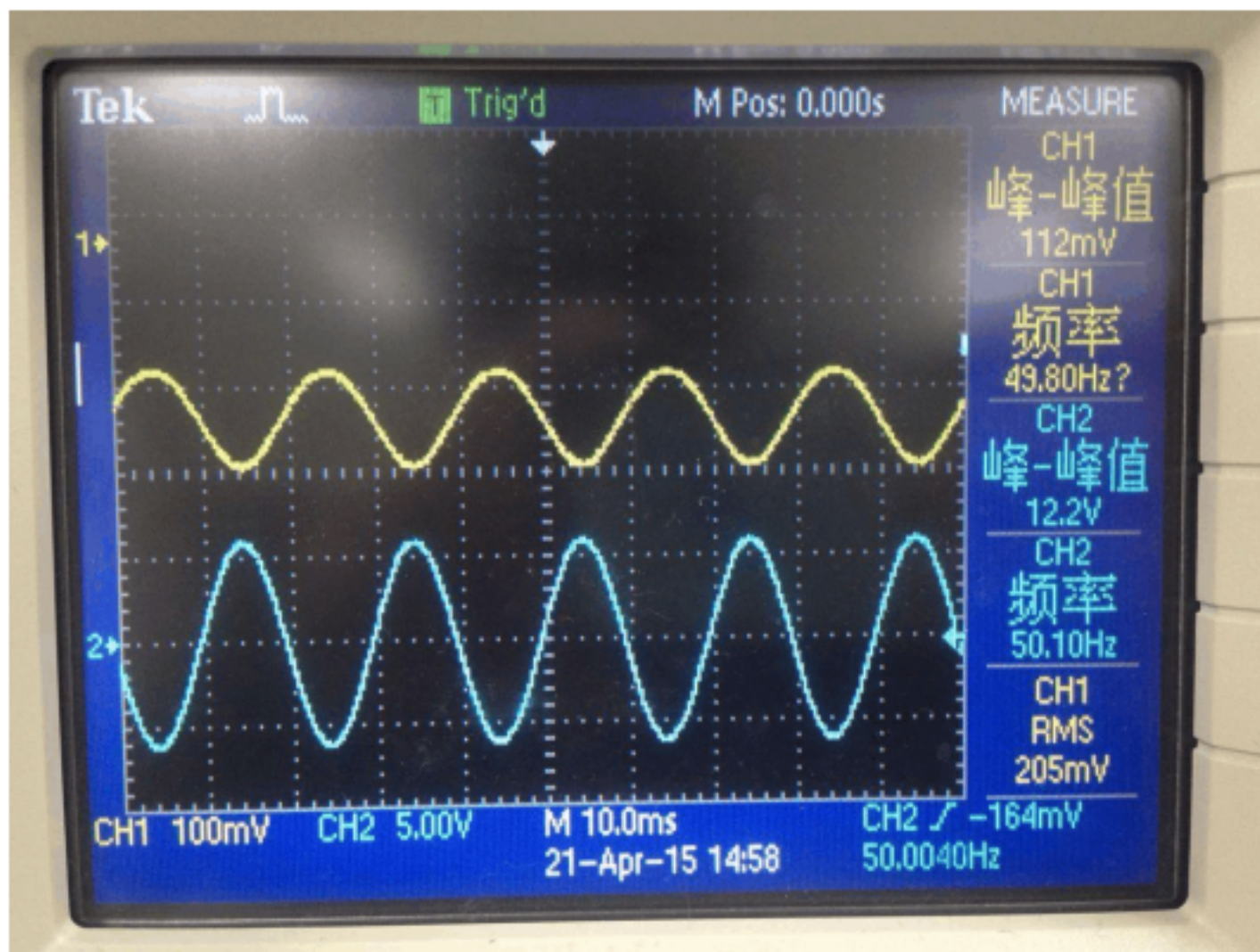




由以上两张图可知，最大不失真输出电压为  $V_{OMAX} = 23.2V$

6、共模抑制比  $K_{CMR}$  :



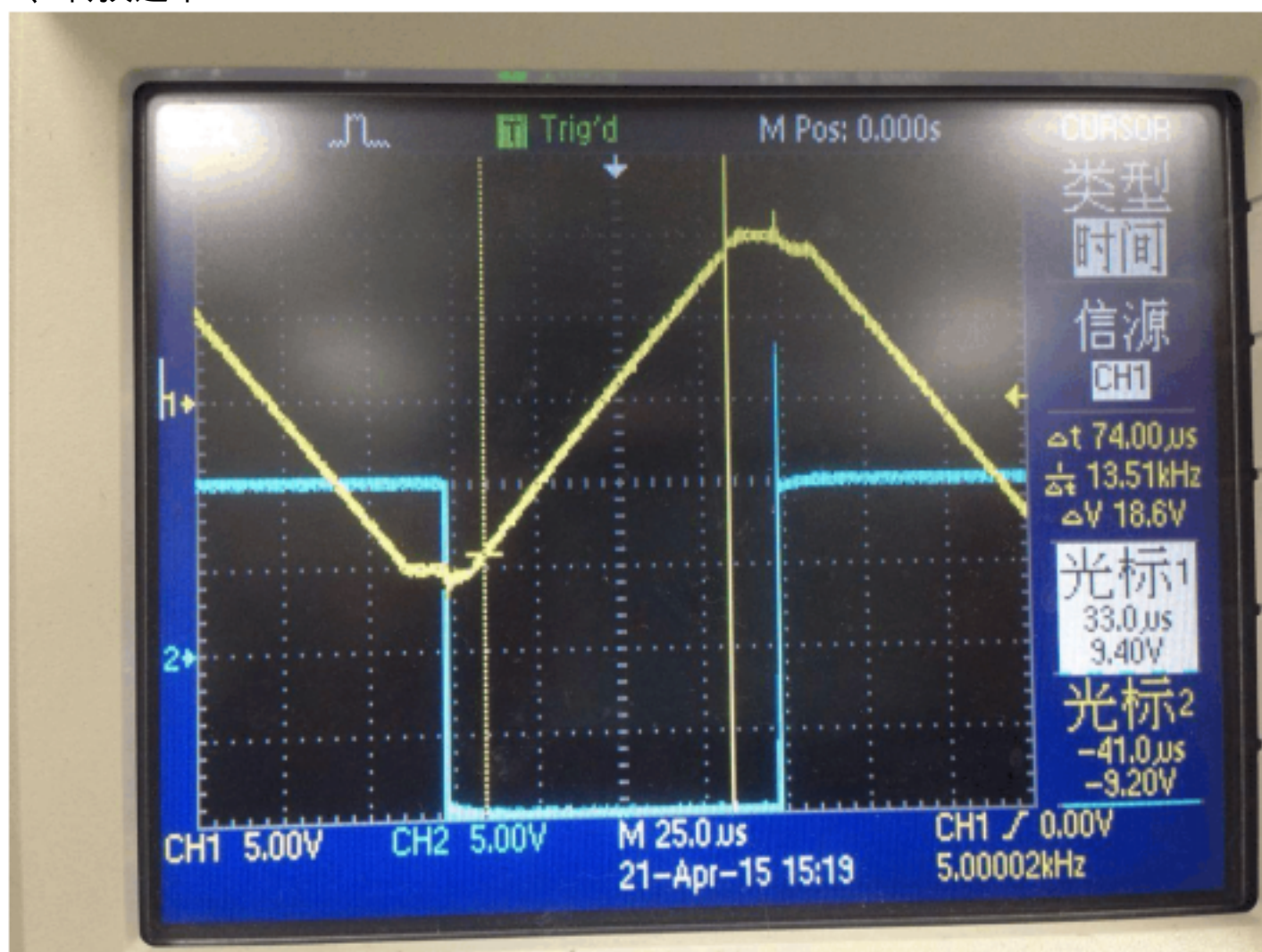


$$V_{OC} = 116\text{mV} ; \quad V_{IC} = 12.2\text{V} ;$$

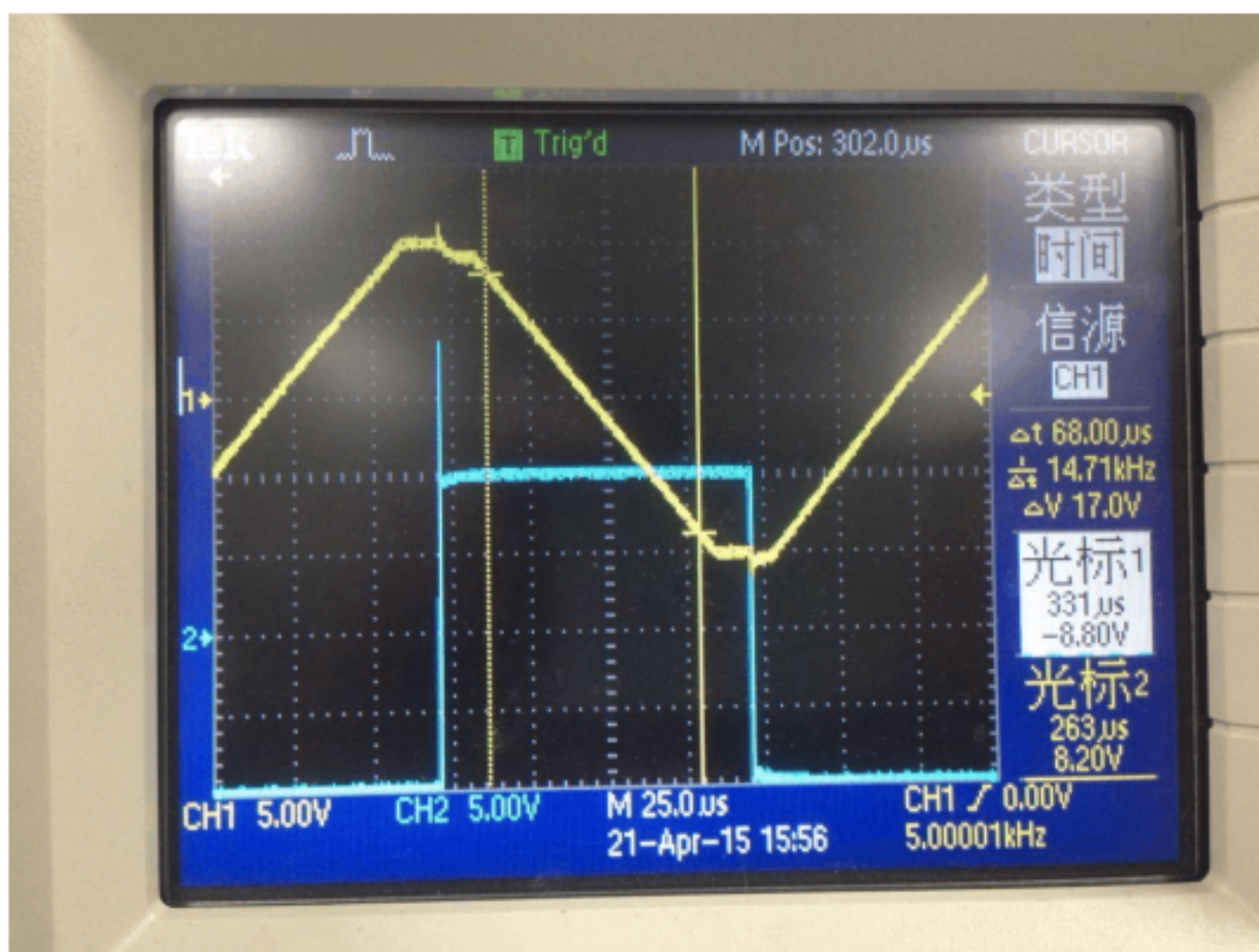
$$A_{cd} = \frac{V_{oc}}{V_{ic}} = \frac{0.116}{12.2} = 0.009508$$

$$K_{CMR} = \left| \frac{A_{od}}{A_{oc}} \right| = \frac{12905.6}{0.009508} = 1.357 * 10^6$$

7、转换速率 SR :







$$SR_2 = \frac{0.9V_{OM}^+}{\Delta t_2} = \frac{(9+9)V}{74\mu s} = 2.432 \times 10^5 V/s$$

$$SR_1 = \frac{0.9V_{OM}^-}{\Delta t_1} = \frac{(8.8+8.2)V}{68\mu s} = 2.5 \times 10^5 V/s$$

因此取  $SR = 2.432 \times 10^5 V/s$

## 六、实验结果与分析

- 1、LM358 芯片中的运算放大器的输入失调电压  $V_{IO}$  为 1.97mV ;
- 2、LM358 芯片中的运算放大器的输入失调电流  $I_{IO}$  为 4.95nA ;
- 3、LM358 芯片中的运算放大器的输入偏置电流  $I_{IB}$  为 12.4nA ;
- 4、LM358 芯片中的运算放大器的开环差模电压放大倍数  $A_{od}$  为 12905.6 ;
- 5、LM358 芯片中的运算放大器的最大不失真输出电压的峰-峰值为 23.2V ;
- 6、LM358 芯片中的运算放大器的共模抑制比  $K_{CMR}$  为  $1.357 \times 10^6$  ;
- 7、LM358 芯片中的运算放大器的转换速率  $SR$  为  $2.432 \times 10^5 V/s$  ;

## 七、讨论、心得

- 1、将所测得的数据与典型指标值进行比较。

答：LM358 芯片中的运算放大器的转换速率  $SR$  标注为  $0.3V/\mu s$  , 而实际测得的转换速率  $SR$  为  $0.2432V/\mu s$ 。

- 2、在测试运放的开环差模电压增益时，为什么必须引入直流负反馈？

答：因为当没有信号输入时，LM358 芯片中的运算放大器有输出失调电压。只有通过  $R_f$ 、 $R_1$ 、 $R_2$  引入直流负反馈，才能抑制输出电压失调，才能准确测出输出电压的幅值。

- 3、为什么在输出端必须用示波器监视波形？

---

答：防止运算放大器的输出端产生自激振荡而影响测量。

#### 4、分析实验中遇到的现象

答：在测  $V_{O1}$  和  $V_{O2}$  时，由于万用表精度的限制，两者的值相差很小，可能会对  $I_{IO}$  造成较大的误差。

5、测量开环增益、最大不失真输出、共模抑制比实验中信号的频率不一样是否对实验的结果有影响？

答：有影响。

集成运算放大器的开环差模电压放大倍数可以采用直流信号源进行测量，但为了测试方便，通常采用低频交流信号进行测量。但若频率太高，则会对实验结果有较大影响。

集成运算放大器的最大不失真输出电压受运算放大器工作频率的限制。随着频率的升高，由于转换速率一定，运算放大器的最大不失真输出电压将减小。

共模抑制比的测量中需要测量集成运算放大器共模电压放大倍数，故频率也应和开环差模电压放大倍数的测量时的频率相一致