

实验报告

课程名称: 模拟电子技术实验 实验名称: 实验六: 集成运放的线性和非线性应用

专业-班级: 自动化1班 学号: 210320111 姓名: 吕家昊

实验日期: 2023 年 6 月 4 日 评分: _____

教师评语:

助教签字: _____

教师签字: _____

日期: _____

实验预习

实验预习和实验过程原始数据记录

预习结果审核：_____ 原始数据审核：_____

（预习时，需计算理论数据，并且使用仿真软件进行仿真，完成预习报告中的仿真部分，可另附一预习仿真报告作为预习报告）

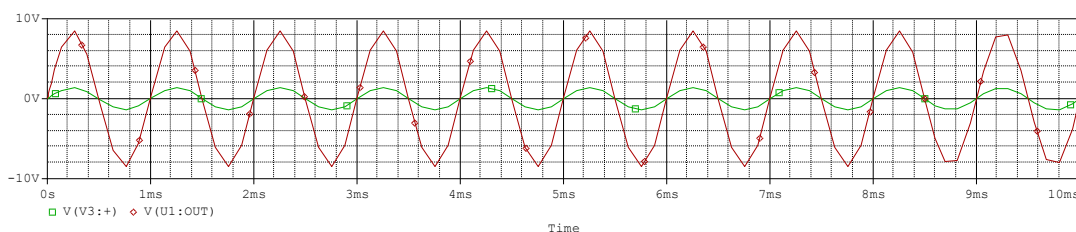
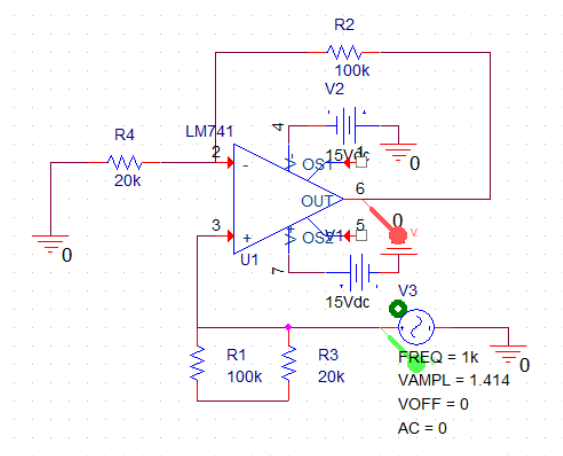
注意：所有的波形都必须拍照保存，用于课堂检查和课后分析。

1、同相比例放大电路

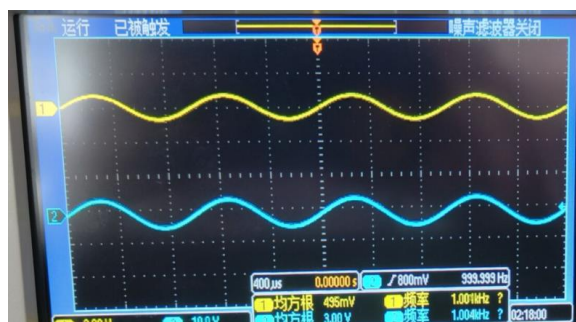
表 6-2 同相比例放大电路测试数据表格

输入电压有效值	0.5V	1V	2V
理论计算值 U_o	3.0V	6.0V	11.625V
实测值 U_o	2.95V	5.91V	10.6V
误差	0.05V	0.09V	1.025V

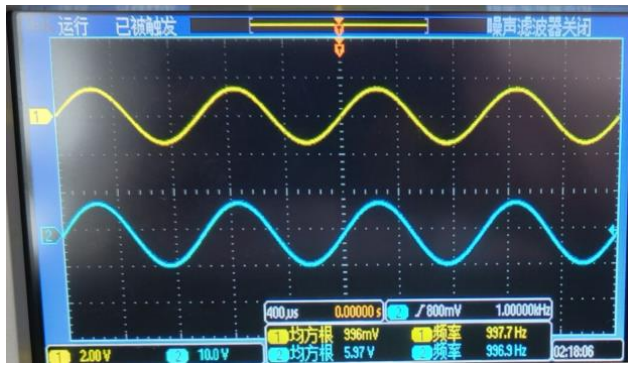
仿真预习：仿真电路图（交流输入电压有效值 1V）：仿真波形图（交流输入电压有效值 1V）：



用示波器观察上述三种情况下 u_i 和 u_o 的波形，并保存波形 u_i 和 u_o 。



$U_i=0.5V$



$U_i=1V$



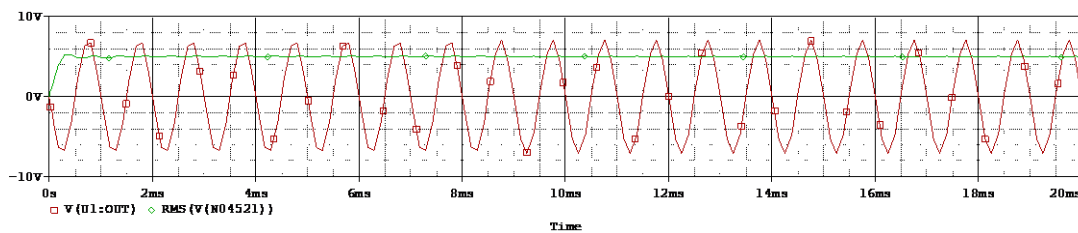
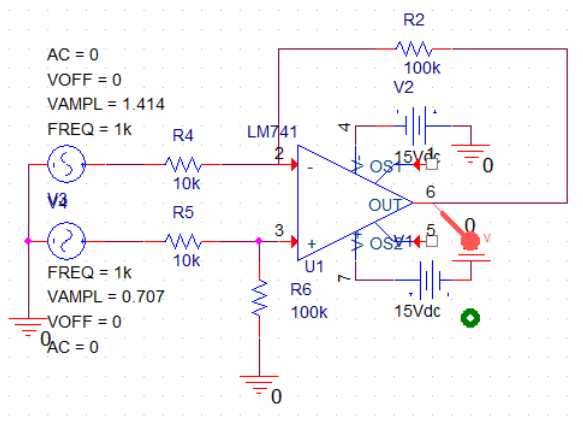
$U_i=2V$

2、减法器电路

表 6-3 减法运算电路

有效值 U_{i1}	有效值 U_{i2}	有效值 U_o (测量)	有效值 U_o (理论)	误差
0.5V	1V	5.35V	5.0V	0.35V
0.5V	1V(90°)	10.7V	11.2V	0.5V

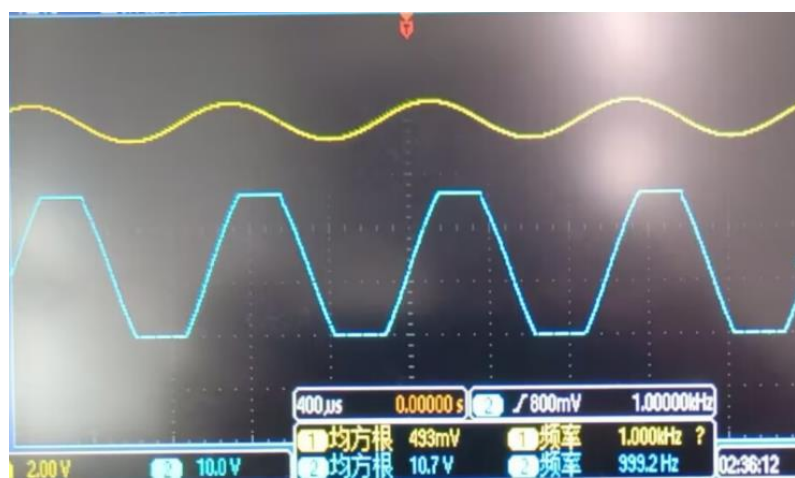
仿真预习 (同相位): 仿真电路图 ($U_{i1}=0.5V$, $U_{i2}=1V$): 仿真波形图 ($U_{i1}=0.5V$, $U_{i2}=1V$):



用示波器观察两种情况下的 u_{i2} 和 u_o 的波形，并保存波形 u_{i2} 和 u_o 。



同相位



相位差 90°

3、加法器电路

表 6-4 反相加法运算电路

直流信号源 U_{i1}/V	直流信号源 U_{i2}/V	U_o (测量) /V	U_o (理论) /V	误差
2V	0.5V	-4.79V	-4.5V	0.29V
2V	1V	-5.72V	-6.0V	0.28V

4、电压跟随器电路

表 6-5 电压跟随器电路测试数据表

测试条件	$R_1=10k\Omega$ $R_f=10k\Omega$ R_L 开路		$R_1=10k\Omega$ $R_f=10k\Omega$ $R_L=50\Omega$	
	直流分量	交流分量	直流分量	交流分量
理论计算值 U_o	1.0V	100mV	1.0V	100mV
实测值 U_o	1.0029V	99.72mV	1.0029V	99.70mV
误差	29mV	0.28mV	29mV	0.28mV

用示波器观察两种情况下的 u_i 和 u_o 的波形，并保存波形 u_i 和 u_o 。



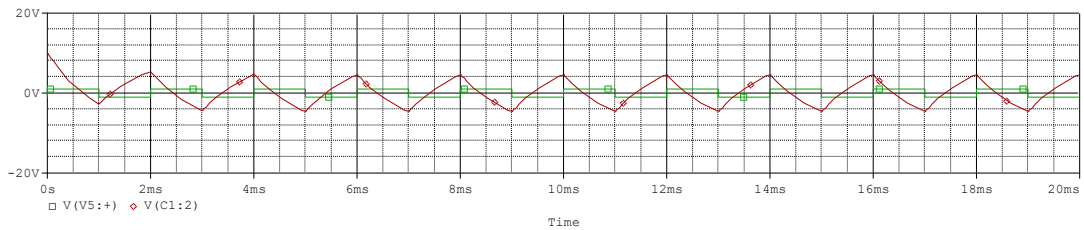
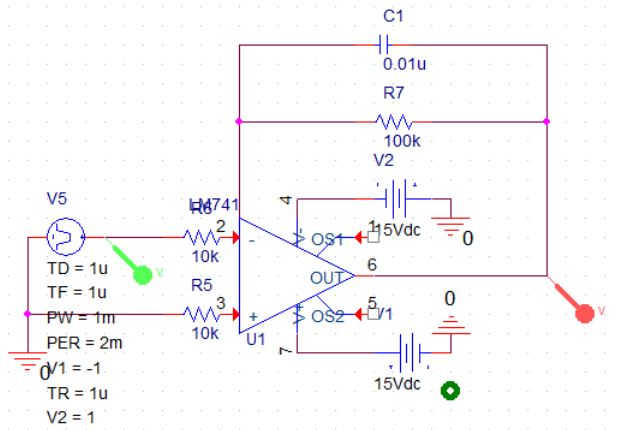
5、积分电路

推导出 u_o 的表达式。

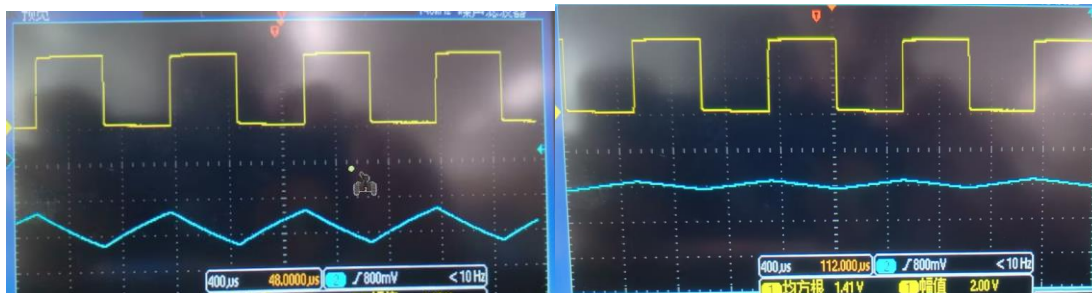
$$\frac{u_i}{R_1} = -C \frac{du_o}{dt} \quad u_o = -\frac{1}{CR} \int u_i dt$$

仿真预习：仿真电路图（电容 $0.01\mu\text{F}$ ）：

仿真波形图（电容 $0.01\mu\text{F}$ ）：



用示波器观察两种情况下 u_i 和 u_o 的波形，并保存波形 u_i 和 u_o 。



$C=0.01\mu\text{F}$

$C=0.1\mu\text{F}$

6、微分电路

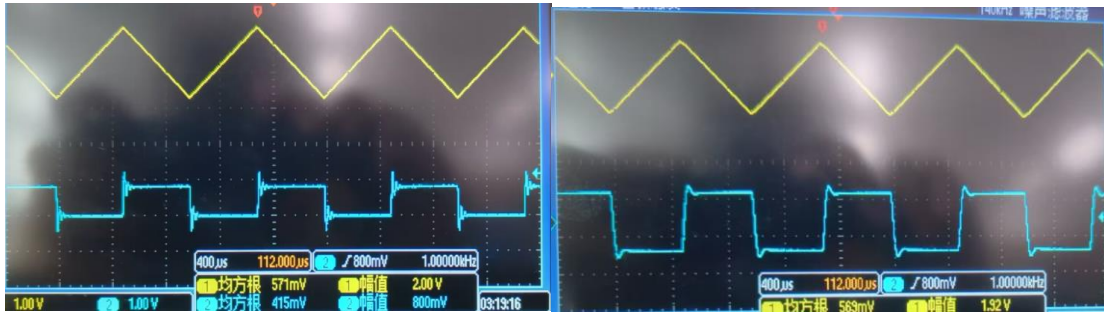
$$i = C \frac{dV_C}{dt}, \quad iR_1 + V_C = U_i, \quad iR_f = -V_o$$

$$\text{联立得 } V_C = U_i (1 - e^{-\frac{t}{CR_1}})$$

$$V_o = -CR_f \left[\frac{U_i}{CR_1} e^{-\frac{t}{CR_1}} + \frac{dU_i}{dt} (1 - e^{-\frac{t}{CR_1}}) \right]$$

推导出 u_o 的表达式 $e^{-\frac{t}{CR_1}}$ 即 $e^{-10^6 t}$ 故 $V_o = -CR_f \frac{dU_i}{dt}$

用示波器观察两种情况下 u_i 和 u_o 的波形，并保存波形 u_i 和 u_o 。



$C=0.01\mu\text{F}$

$C=0.1\mu\text{F}$

7、电压过零比较器电路

用示波器观察 u_i 和 u_o 的波形，并保存波形 u_i 和 u_o 。



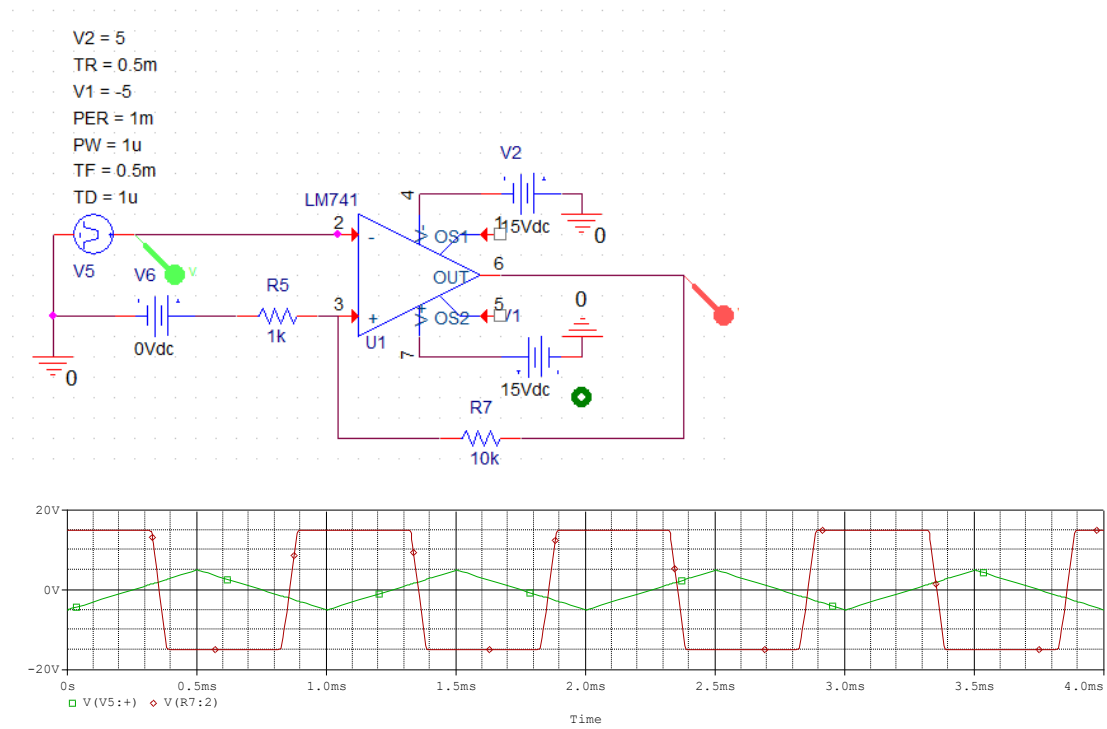
利用示波器 X-Y 方式测量并保存电压传输特性曲线。



8、滞回比较器电路

仿真预习：仿真电路图 ($U=0V$):

仿真波形图 ($U=0V$):



用示波器观察 $U=0V$ 时, u_i 和 u_o 的波形, 并保存。



一、实验目的

1. 掌握集成运算放大器的正确使用方法；
2. 掌握集成运算放大器的工作原理和基本特性；
3. 掌握利用运算放大器常用单元电路的设计和调试方法；
4. 掌握电压比较器电路的特点和电路的输出规律；
5. 掌握集成运算放大器非线性应用电路传输特性曲线的绘制步骤和方法。

二、实验设备及元器件

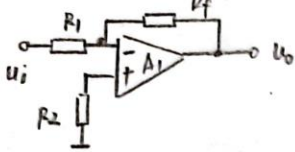
名称	数量	型号
线性直流稳压电源	1 台	DP832A
手持万用表	1 台	Fluke 287C
示波器	1 台	Tek MSO2012B
信号发生器	1 台	Tek AFG1062 或 DG4062
交流毫伏表	1 台	SM2030A
电阻	若干	100Ω*1; 10kΩ*4; 20kΩ*2; 100kΩ*2; 5.1kΩ*1
电容	若干	0.01μF×2 0.1μF×2
集成运放	2 只	LM741×1 TL071CP*1
双向稳压管	1 只	2DW231 (6.2V×1)
直流信号源	1 块	STT2016 (-5V~+5V)
短接桥和连接导线	若干	P8-1 和 50148
实验用 9 孔插件方板	1 块	300mm*298mm

三、实验原理（重点简述实验原理，画出原理图）

集成运算放大器是具有高开环电压放大倍数的多级直接耦合放大器。它具有体积小、功耗低、可靠性高等优点，广泛应用于信号的运算、处理和测量以及波形的发生等方面。

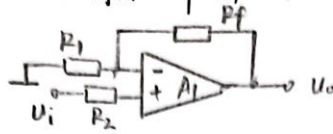
1. 运放线性运用

① 反相比例运算电路



信号由反相输入, $A_{uf} = -\frac{R_f}{R_1}$

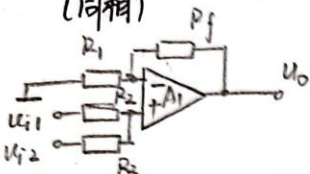
② 同相比例运算电路



信号由同相输入, $A_{uf} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$

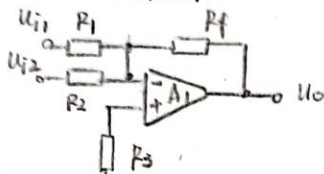
③ 加法运算电路

(同相)



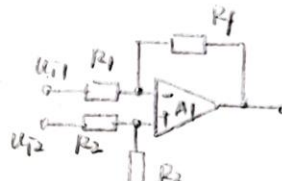
$$U_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) (R_2 \parallel R_3) \left(\frac{U_{i1}}{R_2} + \frac{U_{i2}}{R_3}\right)$$

(反相)



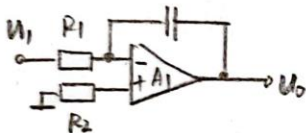
$$U_o = -\left(\frac{R_f}{R_1} U_{i1} + \frac{R_f}{R_2} U_{i2}\right)$$

④ 减法运算电路



$$U_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) \frac{R_3}{R_2 + R_3} U_{i2} - \frac{R_f}{R_1} U_{i1}$$

⑤ 积分运算电路



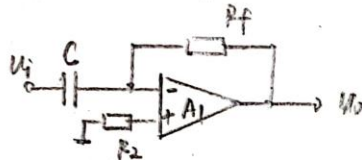
$$U_o(t) = -\frac{1}{R_1 C} \int U_i(t) dt$$

输入方波时输出为三角波

若 $R_1 C$ 过大, 一定时间内输出电压过饱和

若 $R_1 C$ 过小, 未到积分时间要求便饱和

⑥ 微分运算电路



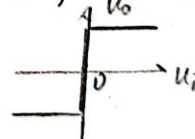
$$U_o(t) = -R_f C \frac{dU_i(t)}{dt}$$

2. 运放非线性运用

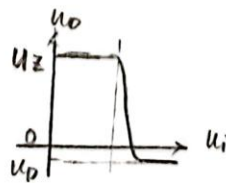
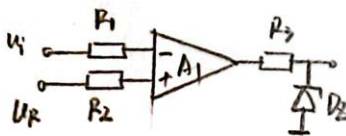
若开环或引入正反馈, $U_o \neq A_{uo}(U_+ - U_-)$

此时 $U_+ > U_-$, $U_o = +U_{om}$; $U_+ < U_-$, $U_o = -U_{om}$

电压传输特性曲线



电压比较器



$U_i < U_{ref}$, D_Z 反向导通, $U_o = U_z$

$U_i > U_{ref}$, D_Z 正向导通, $U_o = -U_p$

四、实验过程

(叙述具体实验过程的步骤和方法, 记录实验数据在原始数据表格, 如需要引

用原始数据表格，请标注出表头，如“实验数据见表 1-1”）

本次实验过程可简述。

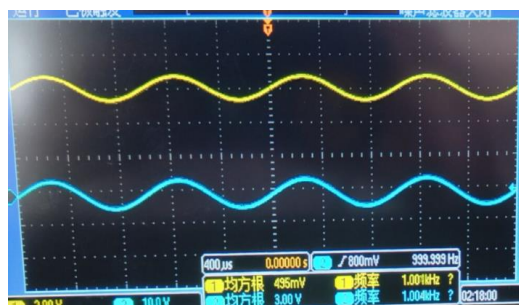
使用运放搭建负反馈电路，按原理图接线， u_i 接入 1kHz 信号源，记录 u_i 与 u_o 波形。

五、实验数据分析

（按指导书中实验报告的要求用图表或曲线对实验数据进行分析处理，并对实验结果做出判断，如需绘制曲线请在坐标纸中进行）

1、同相比放大电路

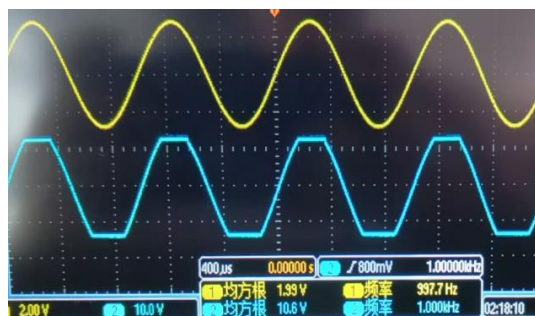
记录同一时序下的输入输出波形图，用示波器观察输入电压和输出电压的相位关系，得出实验和理论分析结论。



$U_i=0.5V$



$U_i=1V$



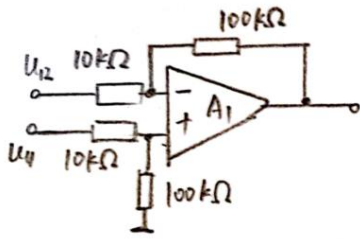
$U_i=2V$

输出电压与输入电压相位相同。

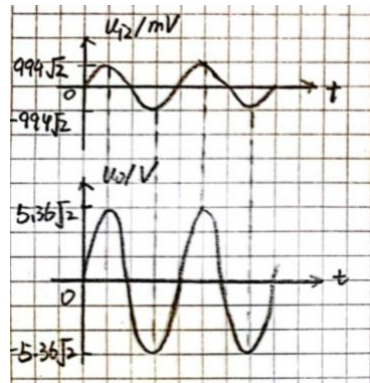
$u_i=2V$ 时， u_o 理论幅值为 $12 \sqrt{2}V > 15V$ ，由于运放输出电压有限，波形顶部变平。

2、减法器电路

画出实验电路图：

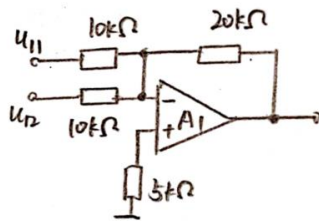


画出同一时序下的输入输出波形图：

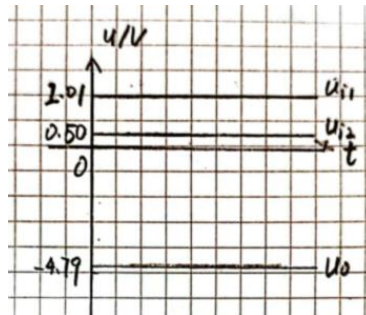


3、加法器电路

画出实验电路图：

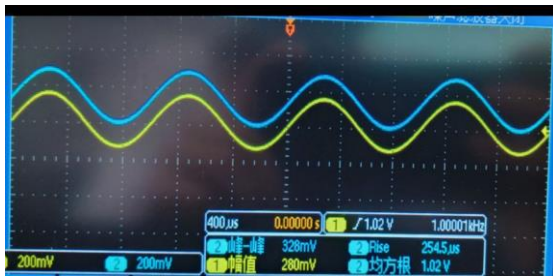


画出同一时序下的输入输出波形图：



4、电压跟随器电路

记录同一时序下的输入输出波形图，用示波器观察输入电压和输出电压的相位关系，得出实验和理论分析结论。



输出电压相位与输入电压相同。
当接 R_L 时，波形产生失真。

5、积分电路

记录同一时序下的输入输出电压波形图：



① 将电容更改为 $0.1\mu\text{F}$ ，观察输出波形的变化。



输出幅值明显减小，这是由于 u_i 相同时， $|u_o|$ 与 RC 成反比。

6、微分电路

记录同一时序下的输入输出电压波形图：

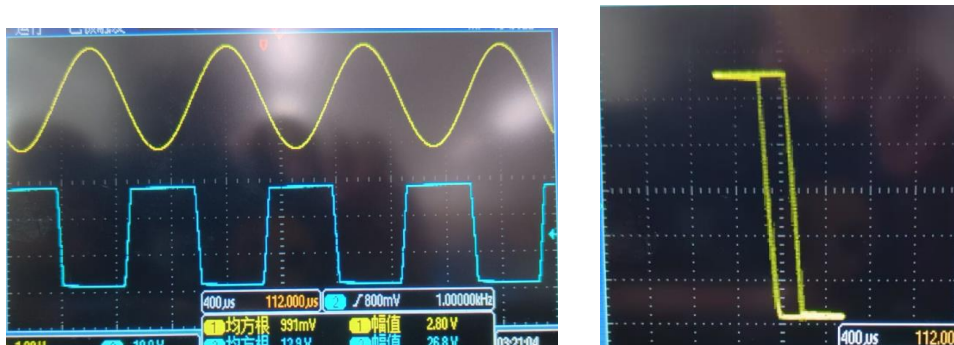


① 将电容更改为 $0.1\mu\text{F}$ ，观察输出波形的变化。
方波幅值增大，上升沿附近振荡频率明显降低。

7、电压过零比较器电路

记录同一时序下的输入输出电压波形：

画出电压传输特性图：



在输入电压过零处展开，观察输出波形的变化斜率，时间等参数，并思考输出波形翻转斜率和运放的哪个参数有关？ 波形翻转斜率与压摆率有关。

8、滞回比较器电路

表 6-6 滞回比较器的测量

U/V	测量值				计算值
	T/µs	T _H /µs	u _{i+} /V	u _{i-} /V	$d = \frac{T_H}{T}$
-3	1009	236	-1.22	-4.11	23.4%
-1	1010	358	0.760	-1.96	35.4%
0	1010	526	1.48	-1.40	52.1%
2	1012	671	3.24	1.26	66.3%
3.5	1011	822	4.74	1.68	81.3%

U=0V 时，记录同一时序下 u_i 和 u_o 的波形图



10、(*选做) 运算放大器的参数 (V_{om} VS f_s)

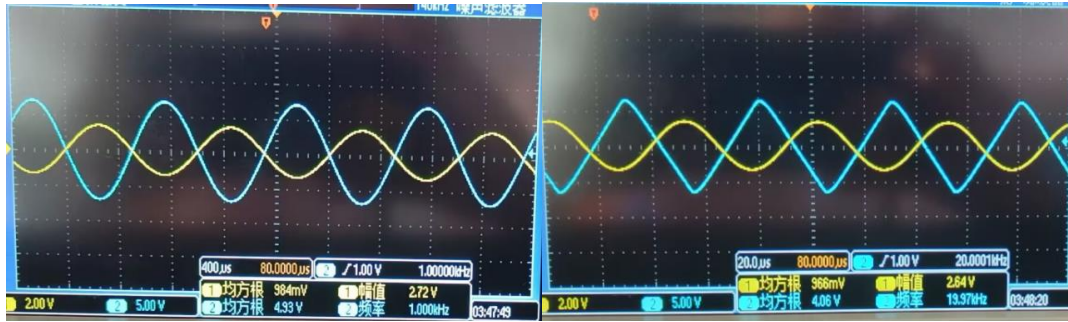
采用 µA741 反相比例放大电路频率变化测试

u _i 有效值	u _i 频率	u _i 有效值	u _o 频率	放大倍数	u _i 和 u _o 波形
1V	1kHz	4.93V	1.000kHz	4.93	需要记录为①号波形
1V	10kHz	4.87V	10.00kHz	4.87	
1V	20kHz	4.07V	20.02kHz	4.07	需要记录为②号波形
0.2V	20kHz	974mV	20.01kHz	4.87	需要记录为③号波形
0.2V	50kHz	930mV	50.00kHz	4.65	
0.2V	100kHz	701mV	99.84kHz	3.01	需要记录为④号波形

采用 TL071CP 反相比例放大电路频率变化测试

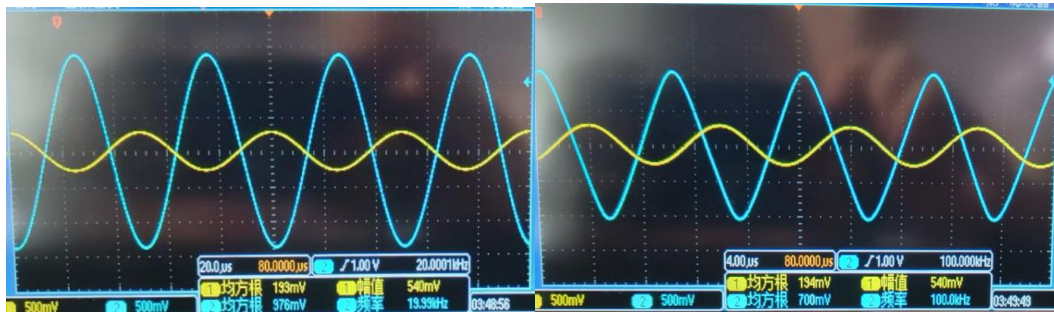
①号波形

②号波形



③号波形

④号波形



六、问题思考

(回答指导书中的思考题)

- 电阻、电容本身就可组成积分器，为什么还要用运算放大器。
电阻、电容为无源元件，无法使电压放大倍数 $|A| >= 1$ 。
另一方面，电阻与电容构成的积分器输出电压不仅与输入有关，也与负载有关。
- 反相比例放大器和同相比例放大器的输出电阻，输入电阻各有什么特点？试用负反馈概念解释之。
反向比例放大器为并联负反馈，输入电阻为 R_1 ；同向比例放大器为串联负反馈，输出电阻无穷大。
两者均为电压反馈，输出电阻为 R_f 。
- 在电压过零比较器电路中，在输出交流信号过零处，输出信号翻转的斜率和什么有关系。
输出信号斜率与压摆率有关。