

东南大学电工电子实验中心

实 验 报 告

课程名称: 模拟电子电路实验

第一次实验

实验名称: 基本比例放大电路

院（系）： 自动化 专 业： 自动化

姓 名: 邹滨阳 学 号: 08022305

实 验 室: 金智楼电子技术 4 室 105 实验组别: 无

同组人员： 无 实验时间：2024 年 4 月 11 日

评定成绩: 审阅教师:

基本比例放大电路

一、 实验目的

- 1、 理解运算放大器基本参数的意义，并能正确选择和使用运算放大器；
- 2、 熟悉运算放大器构成反相、同相比例放大电路的基本结构；
- 3、 掌握基本比例放大电路的性能指标和电路参数之间的关系；
- 4、 掌握放大电路交、直流特性的测量方法；
- 5、 掌握放大电路最大输出电压、最大输出电流的测量方法；
- 6、 掌握比例放大电路的故障检查和排除方法；
- 7、 掌握基本比例放大电路的设计及电路调试方法。

二、 实验原理（主要写用到的的理论知识点，不要长篇大论）

基本概念：

运算放大器（运放）是一种广泛应用于模拟电子电路的器件，具有高电压增益、高输入阻抗和低输出阻抗的特点。它通常用于构建直接耦合多级放大器。典型的运放包括单运放（如 $\mu A741$ ）和多运放（如 LM324），其符号可以用三角形或方形表示。

运算放大器在工作时通常需要加深度负反馈电路以确保稳定性。在工程设计中，通常将运算放大器视为理想器件，即各项技术指标理想化，例如开环差模电压增益无穷大、输入电阻无穷大、输出电阻为零等。

重要特征：

理想运算放大器线性应用的两个重要特征是“虚短”和“虚断”，即同相输入端和反相输入端的电位相等，并且输入电流为零。这些特征简化了运算放大器在线性状态下的分析设计。

理想与实际：

尽管实际运放无法完全达到理想状态，但随着集成电路技术的发展，实际集成运放逐渐接近理想运放。然而，不同运放之间仍存在着一定程度的偏差。

应用与误差：

虽然实际运放参数不可能达到理想值，但通过合理选择运放型号和其他元器件参数，在大多数情况下可以满足工程设计的误差要求。

反相比例放大电路：

利用运放构成的反相比例放大电路可以根据输入电压与反馈电阻之比来放大输入信号，其放大倍数为负的反馈电阻与输入电阻的比值。

同相比例放大电路：

同相比例放大电路利用运放构成，其放大倍数与反馈电阻与输入电阻之比有关，但与反相比例放大电路不同的是，其放大倍数为正值。

三、 预习思考：

查阅 $\mu A741$ 运放的数据手册，自拟表格记录相关的直流参数、交流参数和极限参数，解释参数含义。

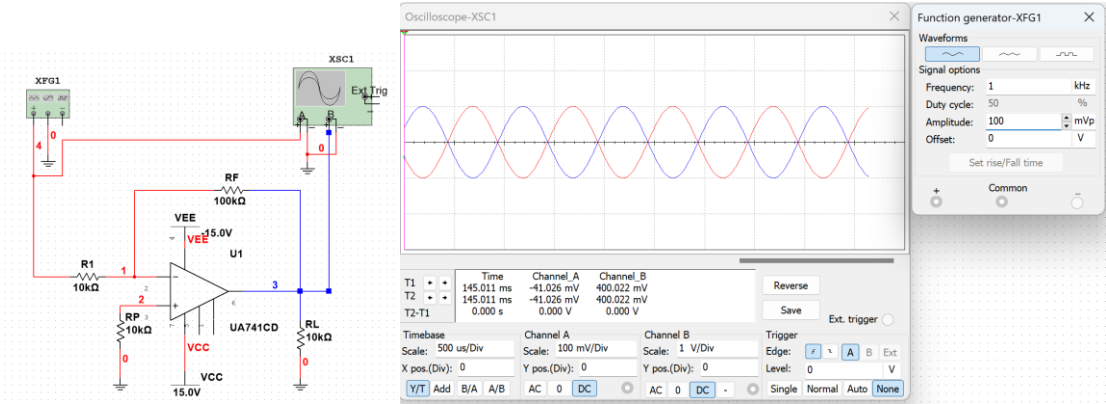
参数名称		参数值	参数意义及设计时应该如何考虑
直流参数	输入失调电压 U_{I0}	典型值1mV 最大值6mV	输入信号经过放大器时,输出中会出现的偏差电压。在设计时需要考虑这个偏差对系统性能的影响, 尽量选择较小的失调电压。
	输入偏置电流 I_{IB}	典型值80nA 最大值500nA	输入信号进入放大器后,放大器本身内部产生的电流。在设计时需要考虑这些电流对电路工作点的影响, 尽量降低偏置电流。
	输入失调电流 I_{IO}	典型值20nA 最大值200nA	输入信号进入放大器时, 放大器本身内部产生的电流差异。设计时应考虑这些电流对放大器输出的影响, 尽量降低失调电流。
	失调电压温漂 αU_{I0}	典型值0.26uV/度 最大值1uV/度	输入失调电压随温度变化的速率。在设计时需要考虑温度对放大器性能的影响, 尽量选择温度稳定性好的器件。
	共模抑制比 K_{CMR}	最小值70dB 典型值90dB	放大器对共模信号的抑制能力。设计时应考虑系统中的共模干扰, 选择具有足够高共模抑制比的放大器。
	开环差模电压增益 A_{VD}	200V/mV	放大器开环状态下对差模信号的增益。在设计时应考虑系统要求的增益范围, 选择合适的放大倍数。
	输出电压摆幅 U_{OM}	最小值±12V 典型值±14V (RL=10kΩ)	放大器能够输出的最大电压范围。在设计时需要确保输出电压不会超出放大器的工作范围, 同时考虑负载电阻的影响。
	差模输入电阻 R_{ID}	最小值0.3MΩ 典型值2MΩ	放大器对差模信号的输入电阻。在设计时应根据输入信号源的内阻和放大器的输入电阻匹配, 以确保信号传输的准确性。
	输出电阻 R_o	典型值75Ω	放大器的输出端内部电阻。设计时应考虑输出电阻对负载的影响, 选择适当的输出端负载以获得所需的输出电压。
交流参数	增益带宽积G. BW	1MHZ	放大器的增益与频率之积。在设计时应考虑信号的频率范围以及所需的放大倍数, 选择适当的放大器带宽积。
	转换速率 S_r	典型值0.5V/μS	放大器在输出端能够跟随输入信号变化的速率。在设计时应考虑信号的变化速率, 选

			择具有足够转换速率的放大器。
极 限 参 数	最大差模 输入电压 U_{Ior}	6mV	放大器能够处理的最大差模输入电压。设计时应确保输入信号不会超出放大器的工作范围，避免损坏放大器或导致输出失真。
	最大共模 输入电压 U_{Icr}	最小值 $\pm 12V$ 典型值 $\pm 13V$	放大器能够处理的最大共模输入电压范围。在设计时应考虑输入信号的共模干扰，确保信号不会超出放大器的工作范围。
	最大输出电流 I_{os}	典型值 $\pm 25mA$ 最大值 $\pm 40mA$	放大器能够输出的最大电流。在设计时应根据负载要求和输出电压摆幅选择合适的放大器，避免输出电流超过放大器的能力范围。
	最大电源电压 U_{sr}	+18V -18V	放大器能够承受的最大电源电压范围。在设计时应选择符合放大器电源要求的电源，确保电源电压不会超出放大器的工作范围。

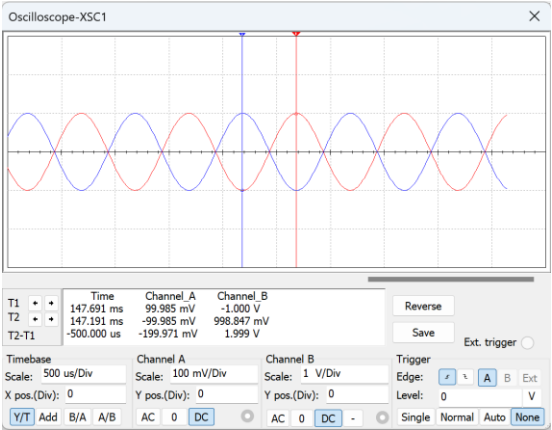
仿真实验

(1) 测量电路的交流放大倍数

完成仿真电路的设计：

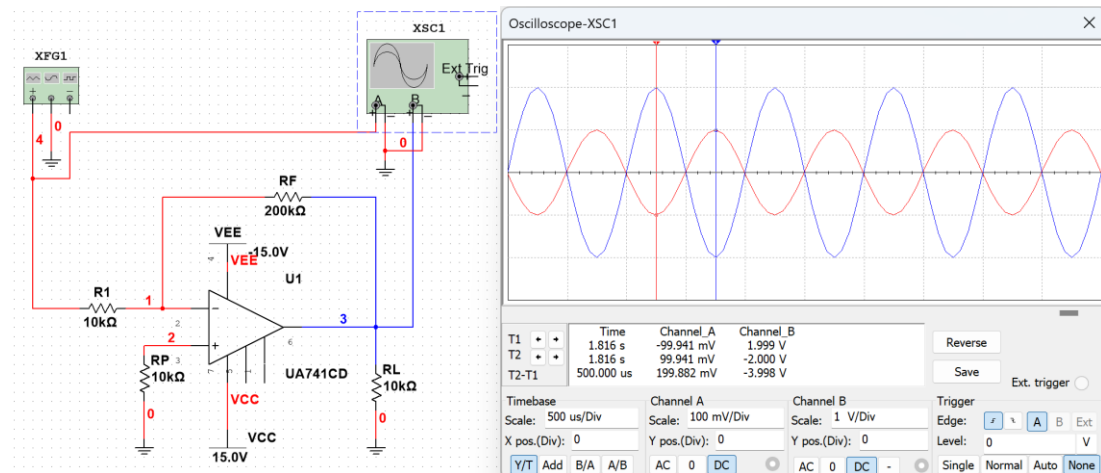


可以看到形成了输出信号和输入信号的电压比值近似为 10 倍，且两个信号的相位正好相反利用光标完成更进一步的数据测试：

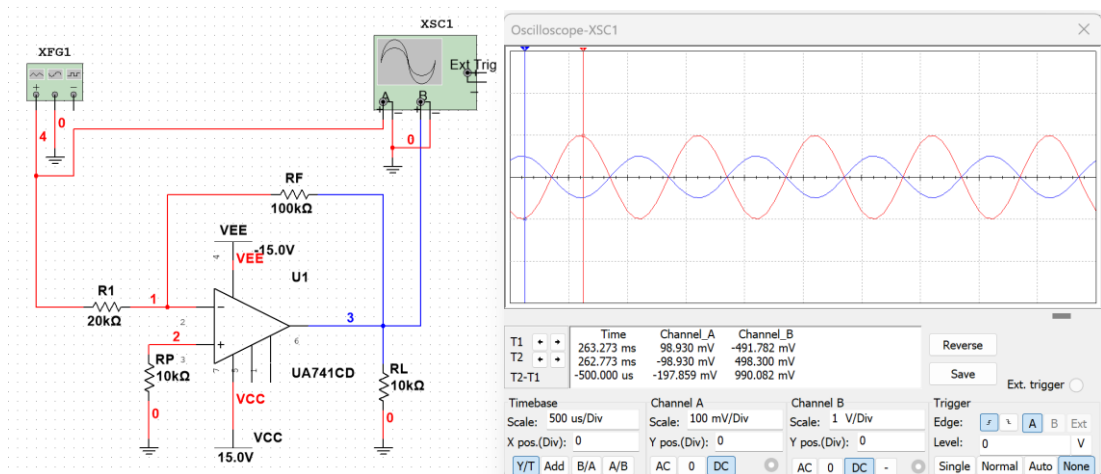


根据表格要求仿真测量不同 R_1 与 R_F 电阻值下的 U_o 与 U_i ，并计算 A_u

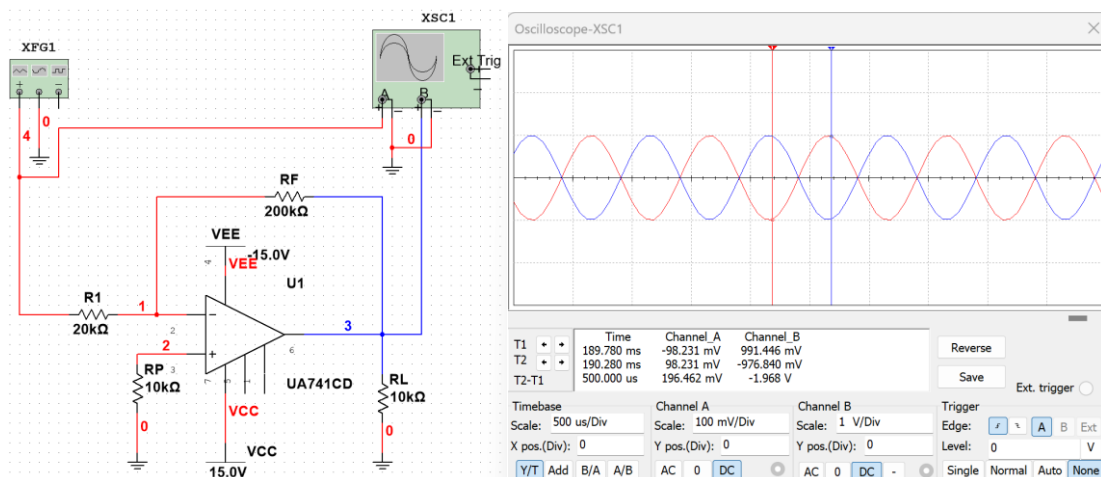
$R_1=10K\ \Omega$ $R_F=200K\ \Omega$



$R_1=20K\ \Omega$ $R_F=100K\ \Omega$



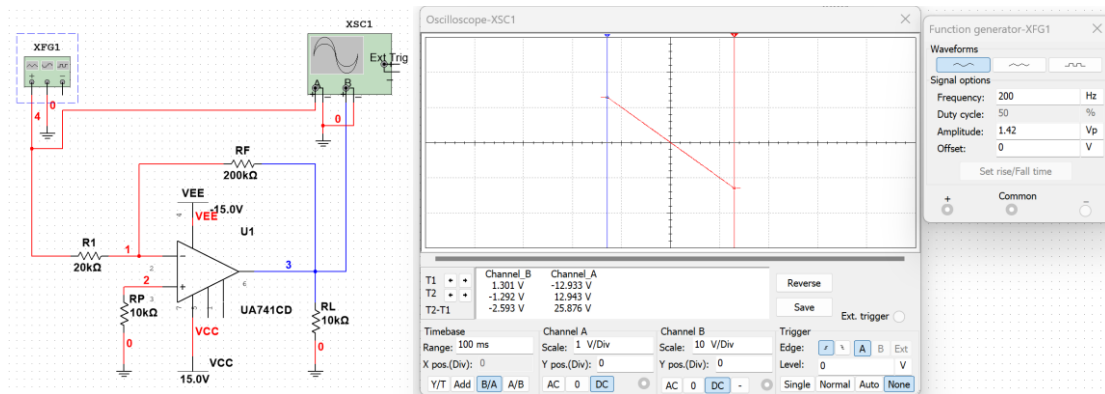
$R_1=20K\ \Omega$ $R_F=200K\ \Omega$



R1 (kΩ)	RF (kΩ)	ui (mV)	uo (mV)	Au (仿真)	Au (理论计算)
10	100	99.985	-1000	-10.0015	-10
10	200	99.941	-1999	-20.0018	-20
20	100	98.930	-491.782	-4.971	-5
20	200	98.231	-976.840	-9.9443	-10

(3) 电压传输特性测量

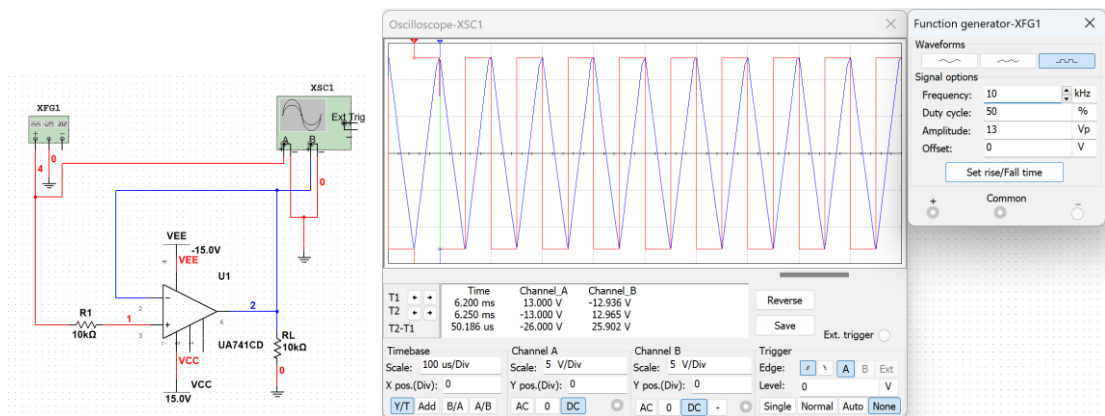
完成仿真电路的搭建



对传输特性数据进行测量

测量参数名称	仿真值	实物测量值	分析总结
输出最大电压值 Uom1	12.943		
Uom1 对应的输入电压值 Uim1	-1.292		
输出最小电压值 Uom2	-12.933		
Uom2 对应的输入电压值 Uim2	1.301		
线性区的斜率 $K = \Delta U_{om} / \Delta U_{im}$ (增益 Au)	$-25.876 / 2.593 = -9.979$		

(5) 运算放大器特性的测量

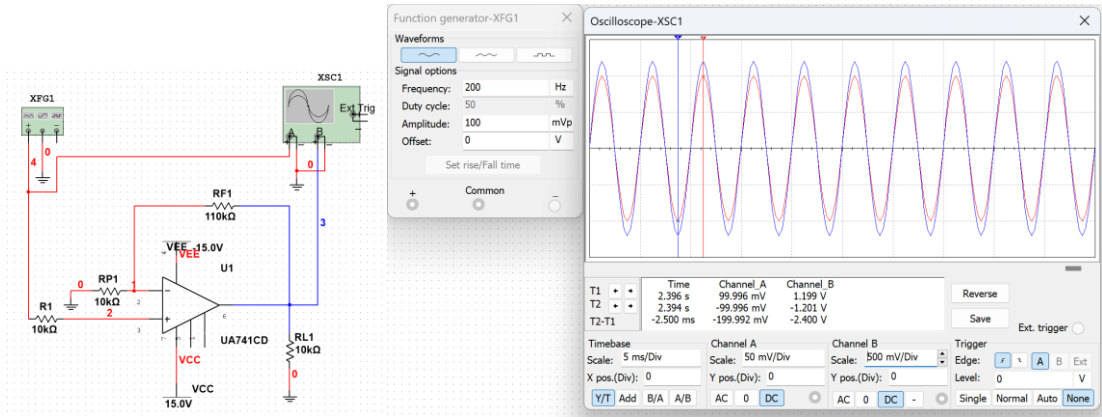


	三角波峰 峰 值 (V)	时间间隔 t (μs)	转换速率计 算 值 ($\text{V}/\mu\text{s}$)	数据手册参 数 值 SR ($\text{V}/\mu\text{s}$)	分析总结
仿真值	25.902	50.186	0.51612	典 型 值	
实物测量值				0.5V/ μs	

四、选做实验

1、实验内容

设计一个同相比例放大电路，电路要求：增益 $A_u=11$,输入电阻 $R_i\geq 100\text{k}\Omega$ 。

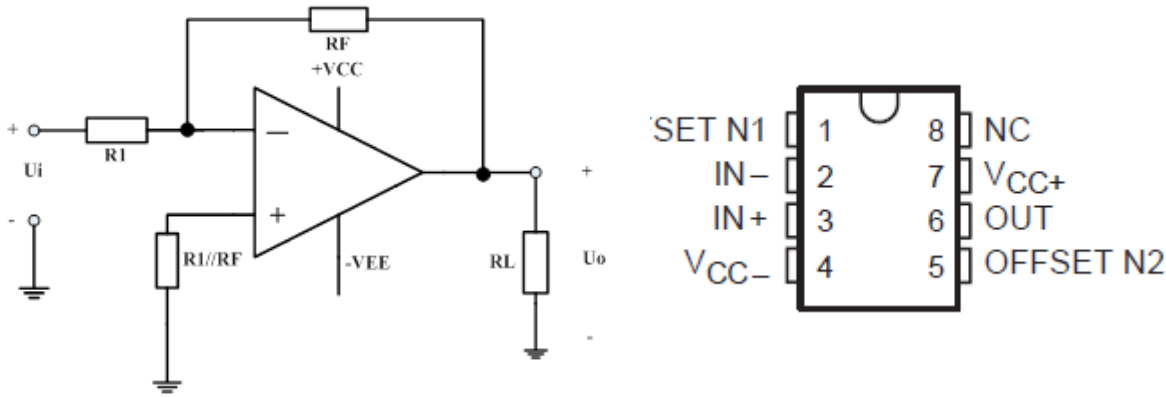


经过验证发现我们实验器材中没有 $R_{F1}=110\text{k}\Omega$ ，所以选取 $100\text{k}\Omega+10\text{k}\Omega$ 的电阻来实现

四、 实验内容

1. 实验内容一（见在线实验 1）:

反相输入比例运算电路各项参数测量实验（预习时，查阅 $\mu\text{A}741$ 运放的数据手册，自拟表格记录相关的直流参数、交流参数和极限参数，解释参数含义）。



$\mu\text{A}741$ 管脚图

图 1.1 反相输入比例运算电路

(1) 直流特性测量:

	直流特性测量记录表		
信号源输出	U_i/V （实测）	U_o/V	A_u

			测量值	理论值
-2				-10
-0.5				-10
0.5				-10
2				-10

实验结果分析：

(2) 交流特性测量：

交流特性测量记录表					
信号源输出	U _i (实测)	U _o		增益	
峰峰值 (mV _{pp})	峰峰值 (mV _{pp})	峰峰值 (mV _{pp})	波形	A _u	误差
200					
300					
400					
4000			(请测量记录最大不失真输出波形)		

实验结果分析：

(3) 设定输入信号频率为 100Hz 的正弦波，调整输入信号幅度，用示波器 X-Y 方式，测量电路电压的传输特性曲线，计算传输特性的斜率和转折点值。

(4) 增益改变的测量：

增益改变的测量记录表							
R ₁ K Ω	R _F K Ω	信号源输出 (mV _{pp})	U _i mV _{pp} (实测)	U _o mV _{pp}	A _u 实验值	A _u 理论值	误差
0.1	1	200				-10	
10	200	200				-20	
20	20	200				-1	
20	10	200				-0.5	

(5) 运放特性测量——最大输出电压：

自拟表格测量此时的运放交流特性和最大输出电压：

最大输出电压值	实验测量值 (V)	数据手册中的参数(V)	分析总结
正向最大输出电压值		+18V -18V	
反相最大输出电压值			

实验结果分析：

(6) 运放特性测量——最大输出电流：

R_L (Ω)	最大电压值 U_{omax} (V)	计算最大输出 电 流 (mA)	数据手册中的 参 数 (mA)	分析总结
220			典型值 $\pm 25\text{mA}$ 最大值 $\pm 40\text{mA}$	
100				

实验结果分析：

2. 实验内容（见在线实验 2）：

- (1) 设计一个同相比例放大电路，电路要求：增益 $A_u=11$, 输入电阻 $R_i \geq 100\text{k}\Omega$ ，输出电阻 $R_o < 1\text{k}\Omega$, 预习时设计好电路图，并用 Multisim 软件仿真，见预习部分。
- (2) 完成同相比例放大电路的设计及仿真
- (3) 测量同相比例放大电路的交流、直流特性

(7) 直流特性测量：

直流特性测量记录表				
信号源输出	U_i/V (实测)	U_o/V	A_u	
			测量值	理论值
-2				11
-0.5				11
0.5				11
2				11

实验结果分析：

(8) 交流特性测量：

交流特性测量记录表			
信号源输出	U_i (实测)	U_o	增益

峰峰值 (mVpp)	峰峰值 (mVpp)	峰峰值 (mVpp)	波形	Au	误差
200				11	
300				11	
400				11	
4000			(请测量记录最大不失真输出波形)	11	

实验结果分析:

(4) 测量运放的最大输出电压和最大输出电流

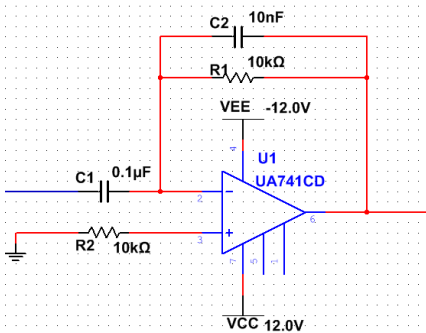
最大输出电压值	实验测量值 (V)	数据手册中的参数(V)	分析总结
正向最大输出电压值		+18V -18V	
反相最大输出电压值			

R _L (Ω)	最大电压值 U _{omax} (V)	计算最大输出 电 流 (mA)	数据手册中的参 数 (mA)	分析总结
220			典型值±25mA 最大值±40mA	
100				

(5) 其他参数指标的测量，如增益如何调整、电源电压对运放最大输出电压的影响等。

3. 实验内容（见在线实验 3）:

- (1) **微分电路：**用 $\mu A741$ 运放，按图示电路结构和参数： $R_1=10k\Omega$ ， $R_2=10k\Omega$ ， $C_1=0.1\mu F$ ， $C_2=10nF$ 。连接好电路，确保正确无误，运放使用正负 12V 电源供电，检查正确后可以加电开始实验。



微分电路性能测量与研究记录表

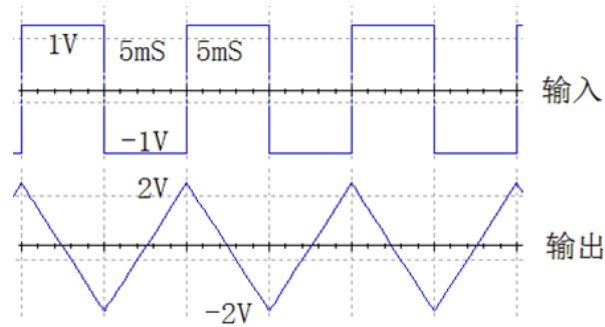
输入波形	方波			三角波	正弦波
输入波形 参数	频率=200Hz 幅度=1Vpp $R_1=10k\Omega$ $C_2=10nF$	频率=200Hz 幅度=1Vpp $R_1=20k\Omega$ $C_2=10nF$	频率=200Hz 幅度=1Vpp $R_1=10k\Omega$ $C_2=1\mu F$	频率=200Hz 幅度=1Vpp $R_1=10k\Omega$ $C_2=10nF$	频率=200Hz 幅度=1Vpp $R_1=10k\Omega$ $C_2=10nF$

U_i					
U_o					

实验结果分析: (提示: **微分电路性能测量:** 在微分电路的输入端加上不同的信号波形, 利用双踪示波器观察输入和输出的波形, 记录波形及参数, 分析波形之间的关系。

微分电路性能研究: 改变反馈电阻 R_1 , 由原来的 $10k\Omega$, 改为 $20k\Omega$, 可以调整微分电路的时间参数, 观察波形的变化, 记录波形相关参数, 分析实验结果; 如果电容 C_2 选择不合理, 会导致输出波形发生何种变化? 如果 C_2 由 $10nF$ 改为 $1\mu F$, 观察波形的变化, 记录波形相关参数, 分析实验结果。)

(2) **积分电路:** 设计一个波形变换电路, 由输入方波转换成输出三角波, 波形参数如图所示。完成转换电路的设计及仿真测量; 按仿真设计的电路参数完成电路的连接; 如果需要得到输出三角波不同的斜率或输出幅度, 如何调整参数; 如果输入波形的占空比不为 0.5, 输出波形会发生什么变化? 其他自主测量与发现 (输出波形顶部或底部被削平的原因, 工作频率和积分关系……); 拟定实验方案、设计记录表格、分析数据波形(见在线实验第 3 单元的作业)。



答:
请自拟积分电路性能测量与研究记录表

实验结果分析:

五、 实验总结

六、 实验建议 (欢迎大家提出宝贵意见)