

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各种基本应用电路的工作原理。
3. 掌握电子测量仪器的使用方法
4. 重点掌握使用示波器、交流耦合输入方式和直流耦合输入方式观察波形的的方法。
5. 重点掌握比例积分输入， 输出波形的测量和描绘方法。

二. 实验器件

类型	型号（参数）	数量
集成运算放大器	NE5532	1 片
电位器	1k Ω	1 只
电阻	100k Ω	2 只；
	10k Ω	3 只；
	5. 1k Ω	1 只；
	9. 1k Ω	1 只
电容	0. 22 μ f	1 只
导线		若干

三、课前预习

1. 复习运算放大器组成的反相比例、反相加法、比例积分运算电路的工 作原理。
2. 写出上述四种运算电路的 v_i 、 v_o 关系表达式。
3. 实验前计算好实验内容中得有关理论值， 以便与实验测量结果作比较。
4. 自拟实验数据表格。

四. 实验原理及参考电路图

任务 1：示波器各通道自检

要求：使用示波器自检端子输入信号，在示波器各通道得到输出清晰、完整、稳定，测量值正确的正方波（1KHz，5V 幅值）。（注意示波器的触发信源与触发电平选择）

任务 2：信号源使用

要求：使用信号源输出，在示波器通道 1 测得信号源输出的频率为 1KHz，峰峰值为 1V 的正弦波。

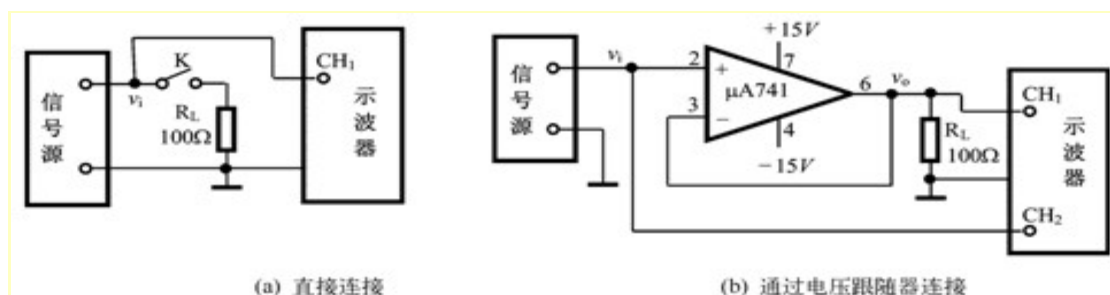
任务 3：信号源使用

要求：使用信号源输出，在示波器通道 2 测得信号源输出的频率为 10Hz，直流偏置为 200mv，峰峰值为 100mV 的锯齿波。（注意示波器的触发信源与触发电平选择，注意信号源的直流电平与占空比旋钮调节）

任务 4：电压跟随器作用研究及电路负载特性影响观察

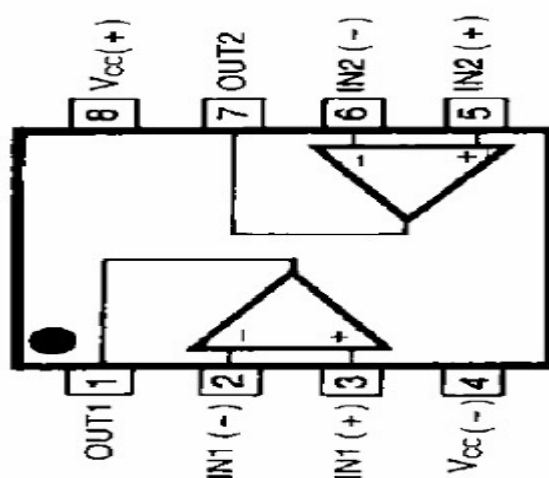
(1) 不使用运算放大器进行直接连接

(2) 通过电压跟随器连接电路

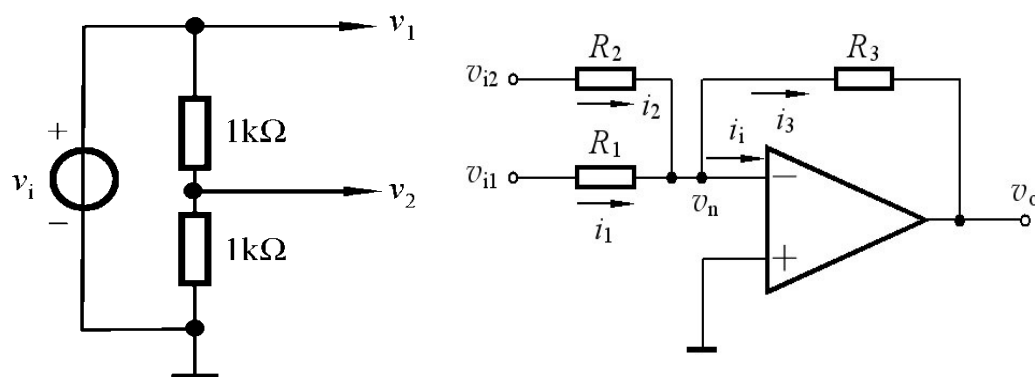


分析：不使用电压跟随器即直接连接的电路的负载效应会比较明显。输出电压和输入电压由于电源内阻效应会有较大差距；采用电压跟随器电路，该电路输入阻抗很高，输出阻抗很小，因此可视为电压源，是比较理想的阻抗变换电路。该运算放大器采用 NE5532，假设其为理想器件，输入电阻约为无穷大。通过计算理论上我们有： $V_o = V_i$ 。

其中，集成运算放大器 NE5532 的内部电路结构和引脚排列如图所示。（图源自 PPT）



任务 5：反向比例加法电路



反向比例加法运算电路如上图（图源自 PPT）所示，当运算放大器开环增益足够大时，其输入端为“虚地”， v_{i1} 和 v_{i2} 均可通过 R_1 、 R_2 转换成电流，实现代数相加，其输出电压

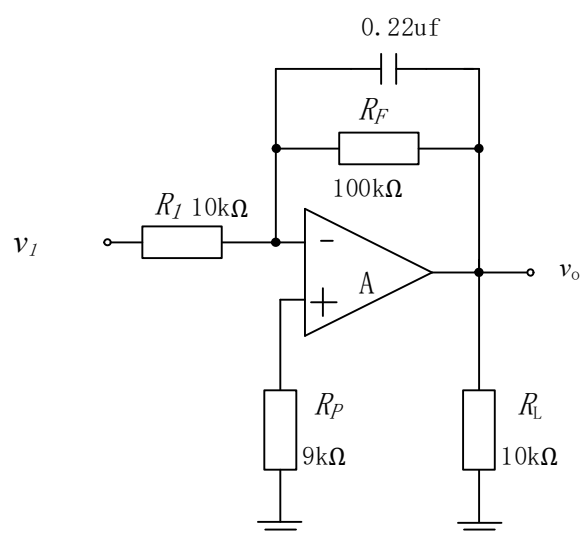
$$v_o = -\left(\frac{R_3}{R_1}v_{i1} + \frac{R_3}{R_2}v_{i2}\right)$$

当 $R_1 = R_2 = R$ 时

$$v_o = -\frac{R_3}{R}(v_{i1} + v_{i2})$$

为保证运算精度，除尽量选用精度高的集成运算放大器外，还应精心挑选精度高、稳定性好的电阻。 R_3 与 R 的取值范围可参照反比例运算电路的选取范围。

任务 6：反向比例积分运算电路



如上图，当运算放大器开环电压增益足够大，且 R_f 开路时，可认为 $i_R = i_C$ ，其

中

$$i_R = \frac{v_1}{R_1} \quad i_c = -C \frac{dv_o(t)}{dt}$$

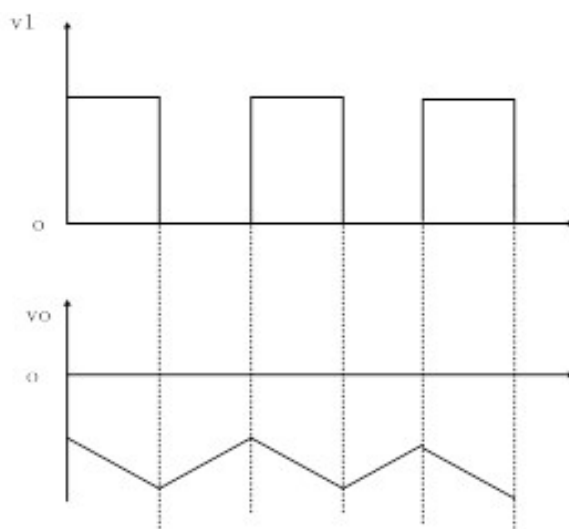
将 i_R, i_c 代入，并设电容两端初始电压为零，则

$$v_o(t) = -\frac{1}{R_1 C} \int_0^t v_1(t) dt$$

当输入信号 $v_1(t)$ 为幅度 V_1 的直流电压时，

$$v_o(t) = -\frac{1}{R_1 C} \int_0^t V_1 dt = -\frac{1}{R_1 C} V_1 t$$

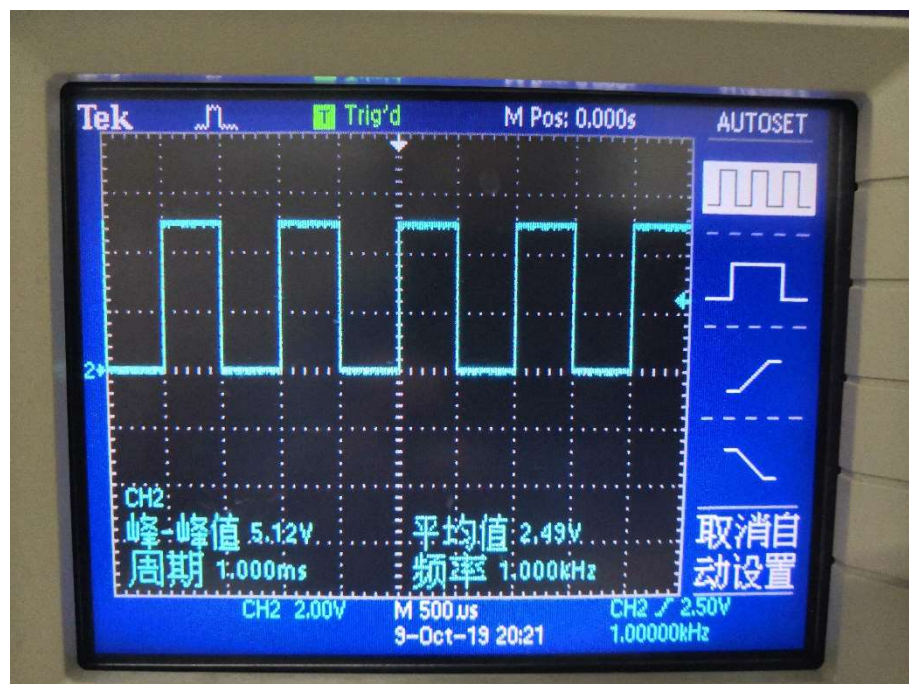
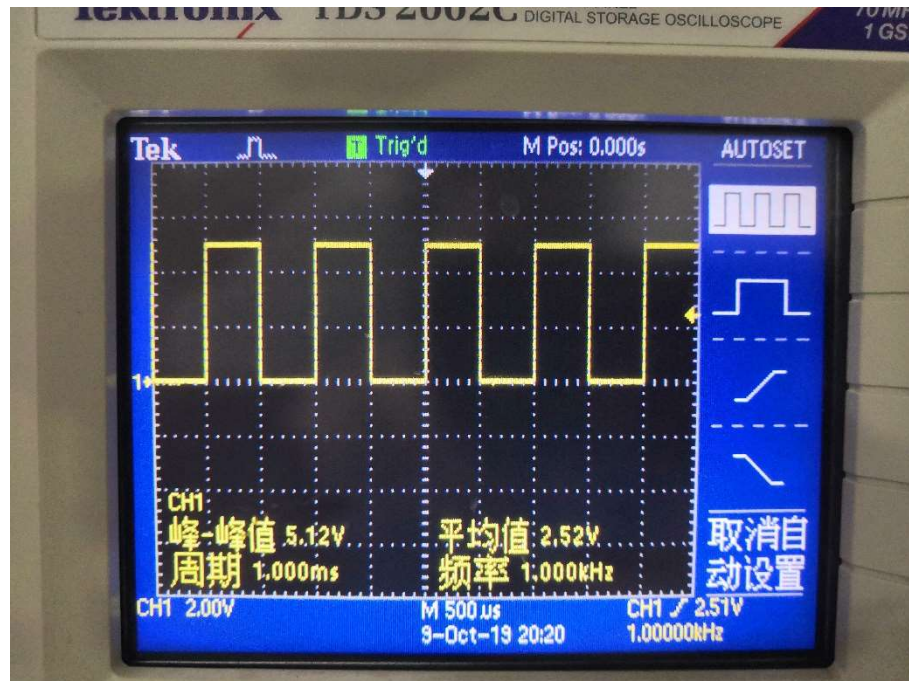
当输入信号 $v_1(t)$ 为正方波时，输出电压 $v_o(t)$ 的稳态波形如图所示。



五. 实验步骤及测量结果

1. 示波器各通道自检

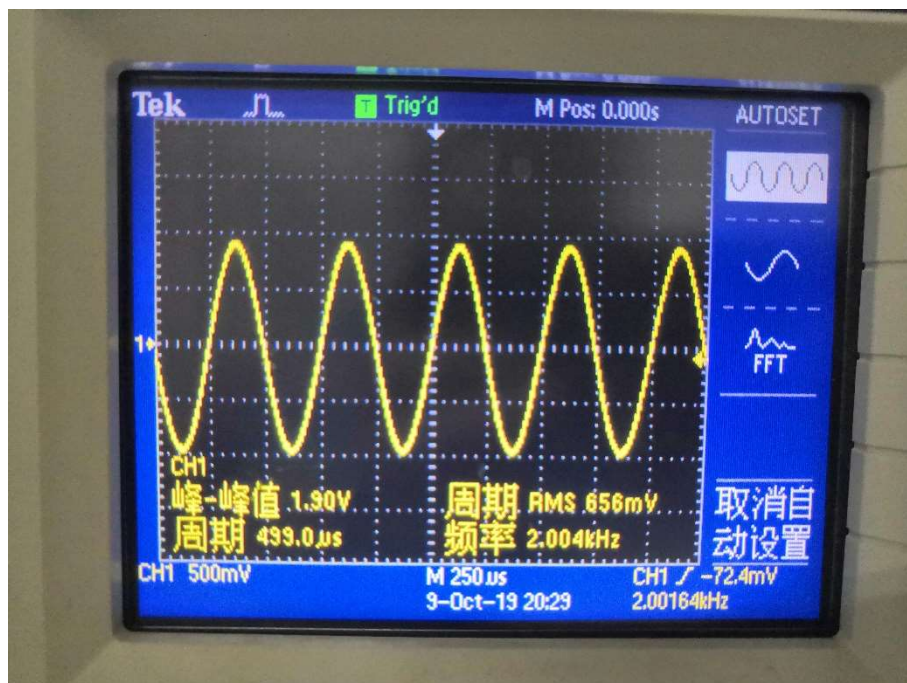
示波器自检端子输入频率 1KHz，5V 的信号，分别接到 CH1 和 CH2 通道上，得到如下结果



2. 信号源使用

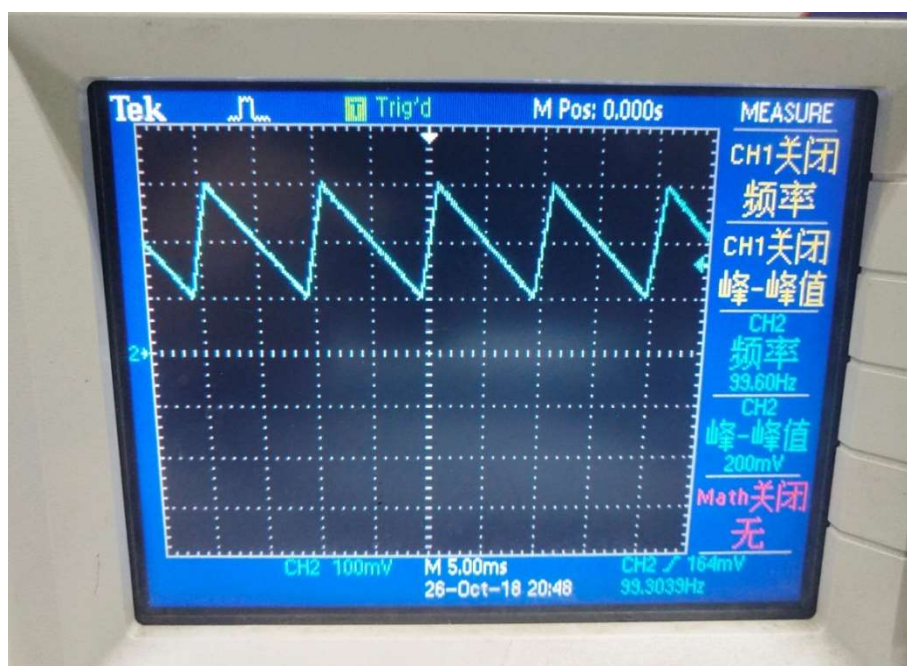
使用信号源输出频率为 1KHz，峰峰值为 1V 的正弦波。，在示波器通道 1 测得结果

如下:



3. 信号源使用

使用信号源输出频率为 10Hz, 直流偏置为 200mV, 峰峰值为 100mV 的锯齿波。在示波器通道 2 测得结果如下:



4. 研究电压跟随器的作用

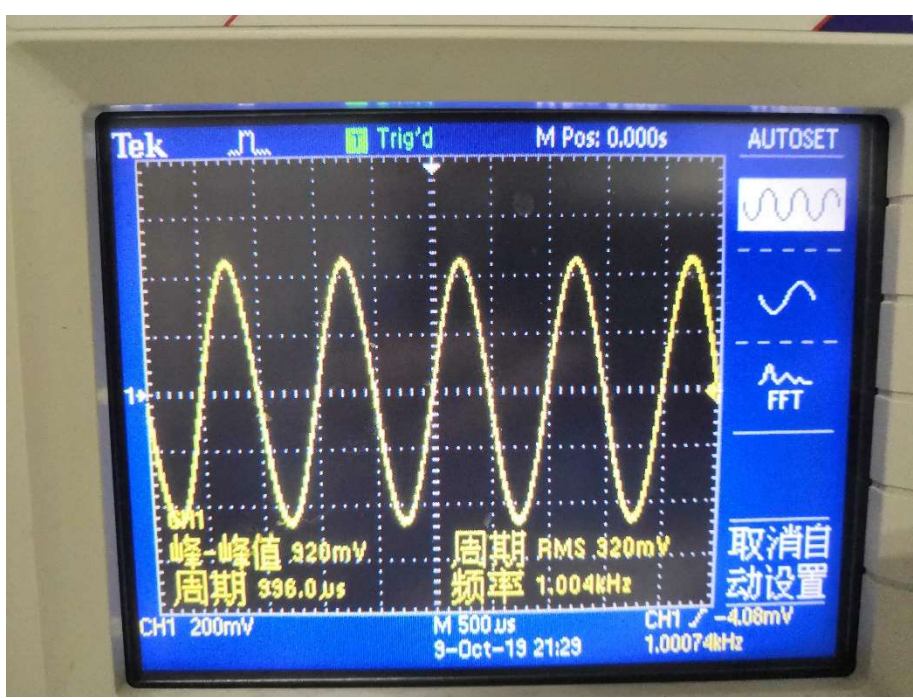
测量数据:

实际测量 $R_L=98.3\Omega$

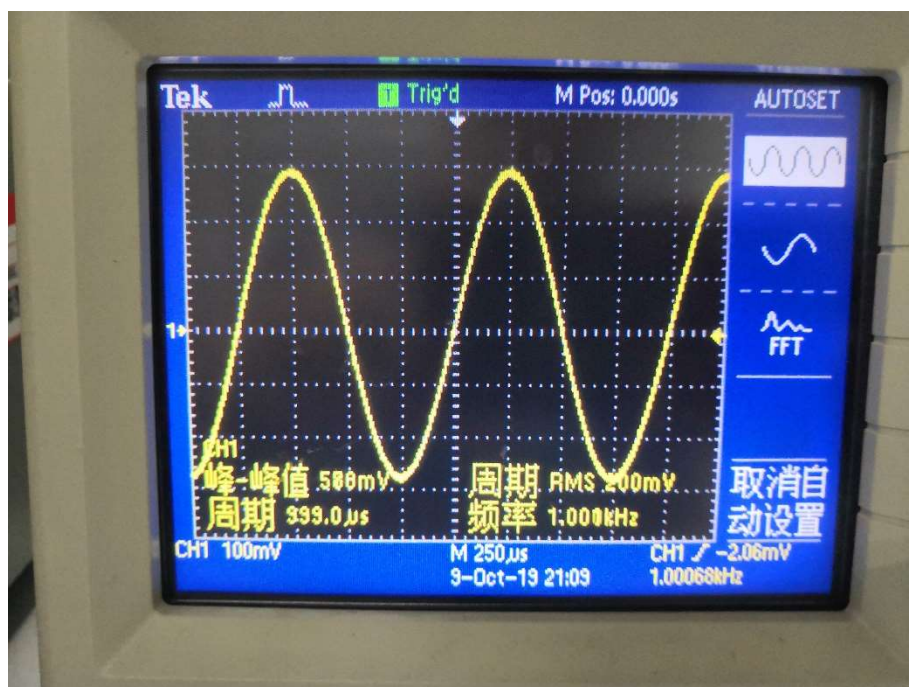
	不接 R_L		接入 R_L		计算 R_s
	V_{ipp}/V	V_{opp}/V	V_{ipp}/V	V_{opp}/V	
无电压跟随器	0.920		0.580		57.6 Ω
有电压跟随器	0.928	0.936	0.928	0.920	

结果：波形图

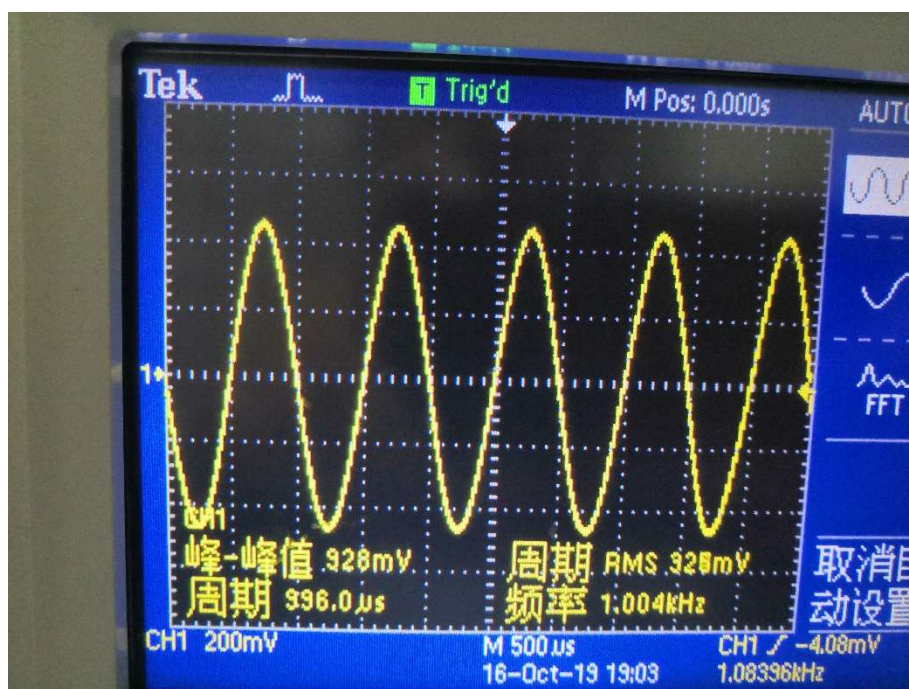
1. 无电压跟随器，不接 R_L

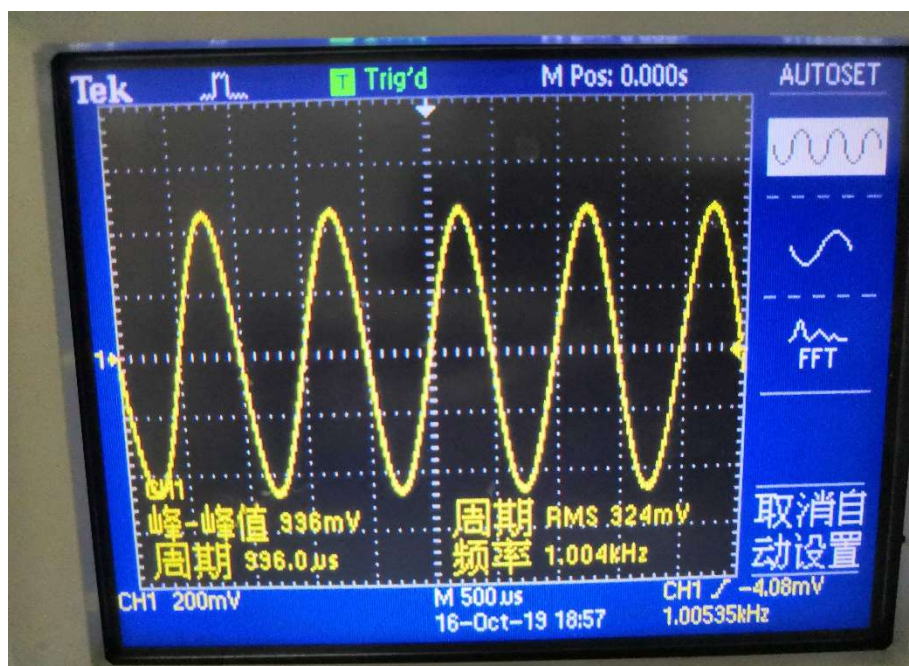


2. 无电压跟随器，接 R_L

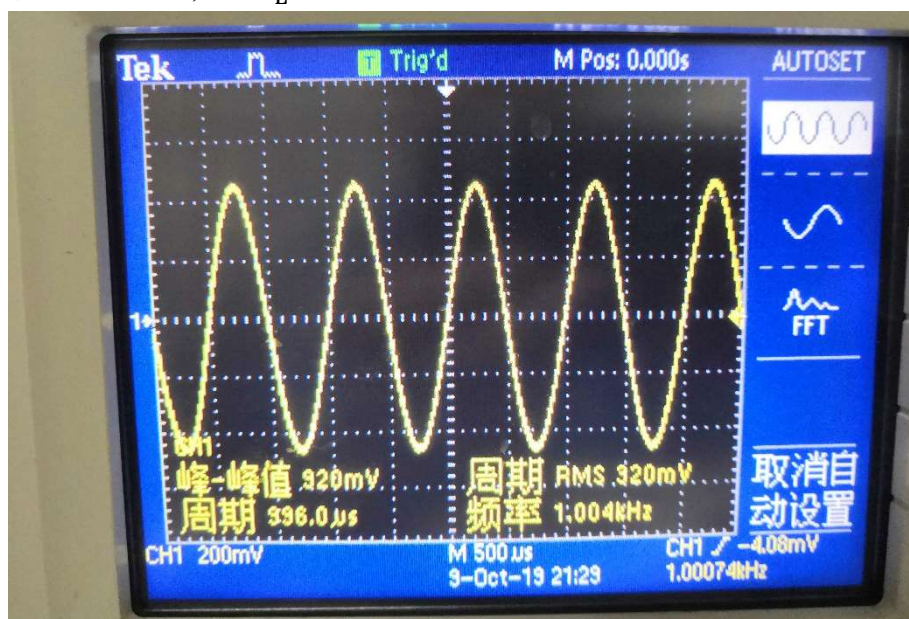


3. 有电压跟随器，不接 R_L





4. 有电压跟随器，接 R_L



R_s 计算:

$$R_s = \frac{V_i - V_o}{I} = \frac{V_i - \frac{V_o}{\frac{V_o}{R_L}}}{\frac{V_o}{R_L}} = \frac{(V_i - V_o)R_L}{V_o}$$

5. 反向比例加法运算电路测试

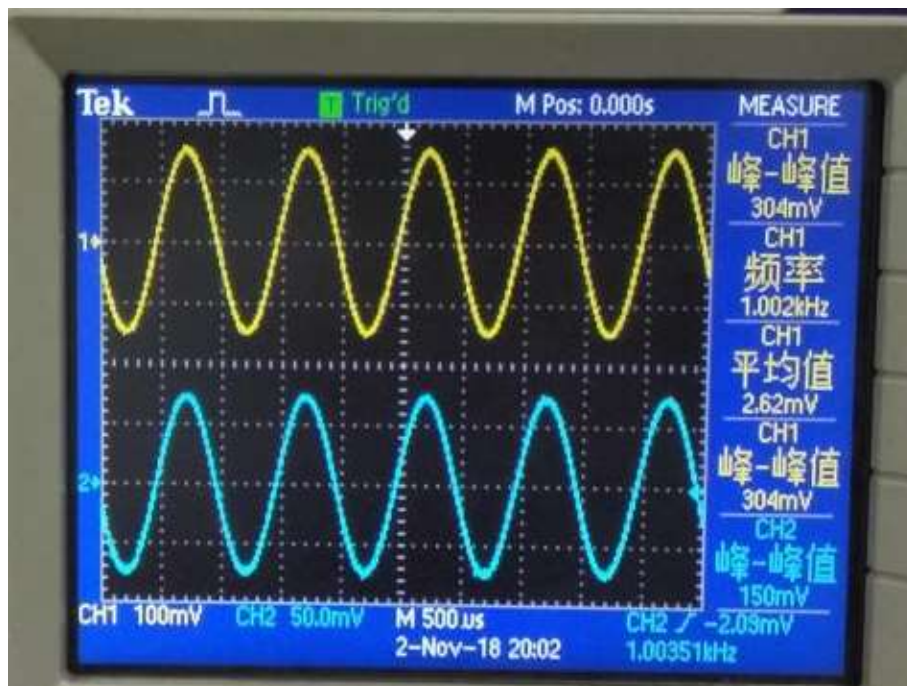
	实测值			理论值	相对误差	绝对误差/V
	V1pp/mV	V2pp/mV	Vopp/V	Vopp/V		
$R_{s2}=1k\Omega$	304	150	5.60	5.96	-6.0%	-0.36
$R_{s2}=500\Omega$	300	108	4.80	5.10	-5.9%	-0.30
实测电阻值	R1=9.83k Ω R2=5.04k Ω R3=98.2k Ω					

理论值计算：

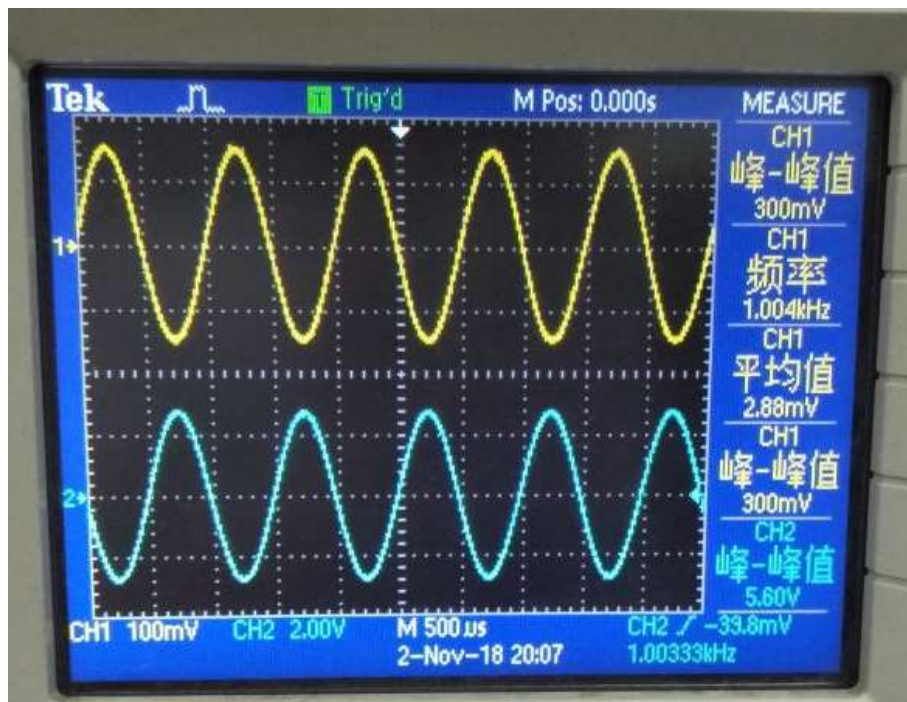
$$v_o = -\left(\frac{R_3}{R_1} v_{i1} + \frac{R_3}{R_2} v_{i2}\right)$$

波形图

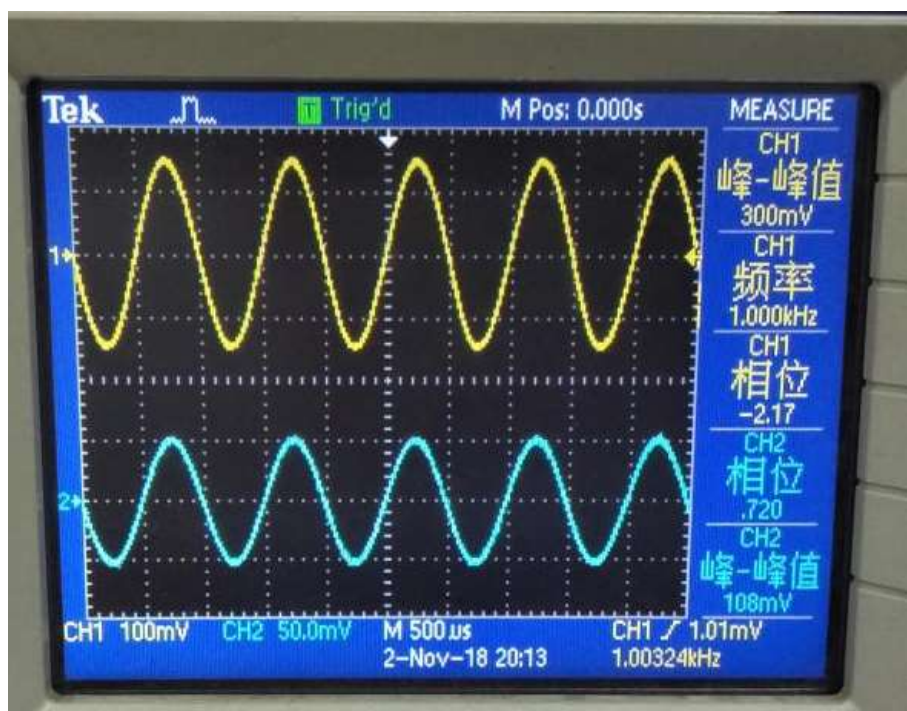
(1) $R_{s2}=1K\Omega$ 时所得 V1 和 V2 波形图



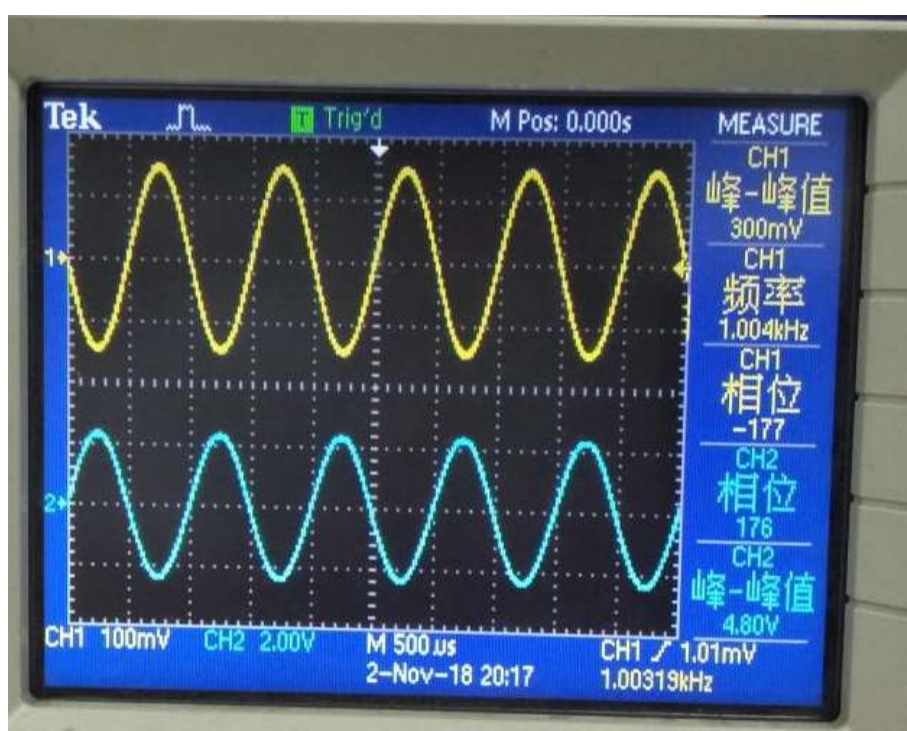
(2) $R_{s2}=1K\Omega$ 时所得 V1 和 V0 波形图



(3) $R_{s2}=500\Omega$ 时所得 V1 和 V2 波形图

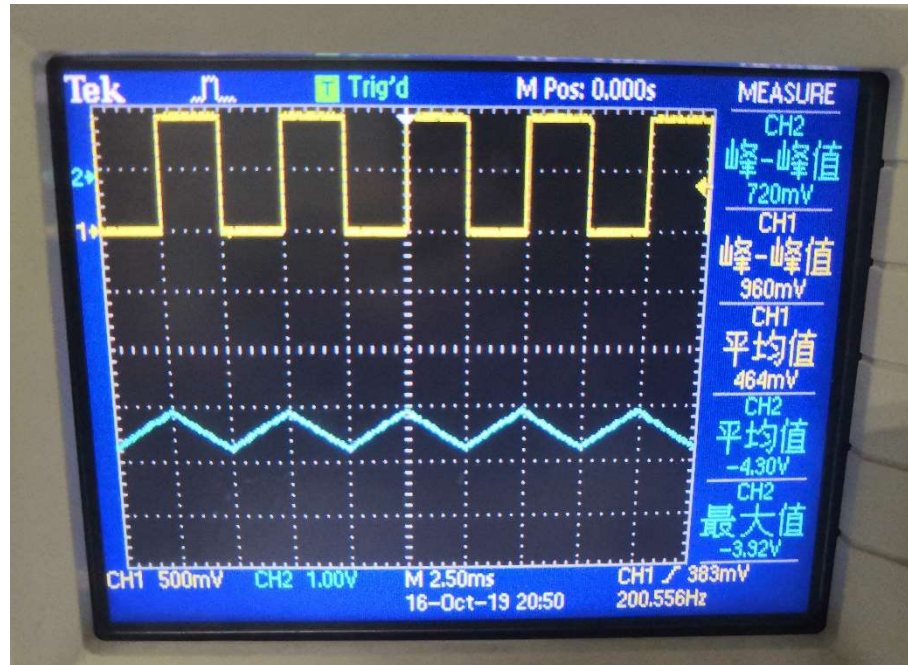


(4) $R_{s2}=500\Omega$ 时所得 V1 和 V0 波形图

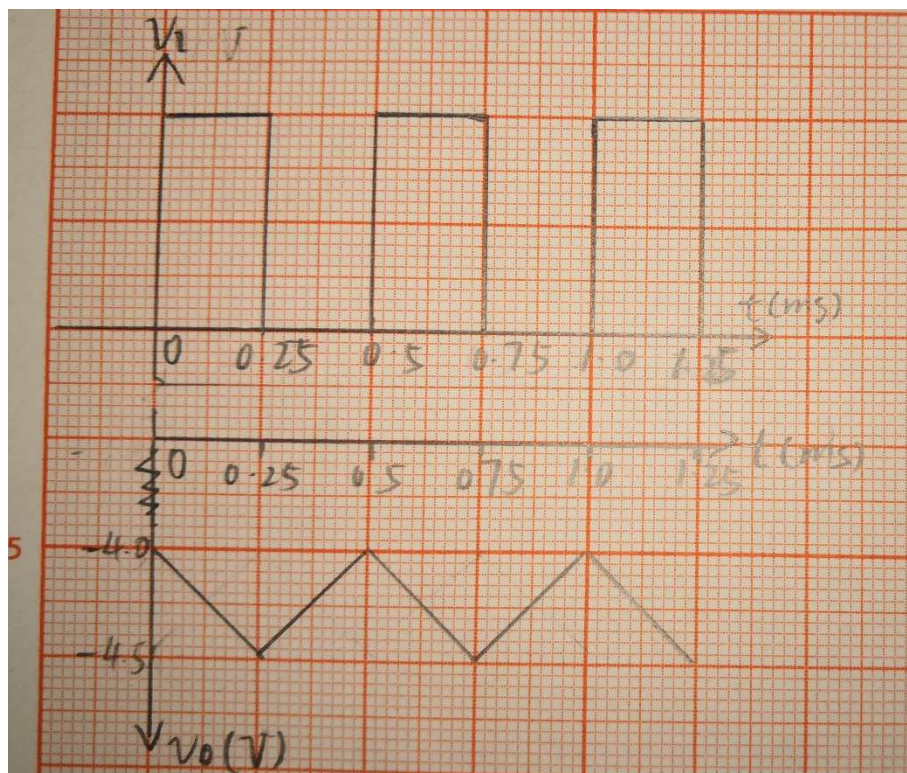


6. 比例积分电路测试

结果：波形图（CH1 为输入，CH2 为方波）



将波形在坐标纸上处理得到如下图



实验结果分析结论：输入波形为 1V 峰峰值的方波，输出波形为峰峰值约为 0.5V 的三角波，在误差允许范围内，满足积分电路的公式：

$$v_o(t) = -\frac{1}{R_1 C} \int_0^t v_i(t) dt + v_o(0)$$

六、问题分析及实验小结

1. 实验中的问题与分析

1. 运算放大器使用过程中会因正负电源错接而导致烧坏。实验时我们可以将正负电源的导线区分开来提醒自己。与正极相连的导线使用红线，负极相连的导线使用黑线。

2. 有时示波器的波形会出现大跳动。检查电路时，发现多数情况是导线没有插牢。所以，我们在将导线接入板子时，应留够合适的长度，并使用镊子来插线。

3. 部分电路的结构比较复杂，为了方便快捷的找出电路接线的问题，我们应充分利用面包板的结构，减少导线的使用。使用导线时也要横平竖直，尽量让导线紧贴面包板，避免“飞线”，这样不仅看起来美观，也方便了我们后面进行电路修改。

4. 实验中要注意“公共地”的连接，因为电压差是一个相对值，需要电路中有一个公共的参考点才有意义。

2. 实验小结与心得

在本次实验中，我们测试并使用了信号源与示波器，进行了一些含运算放大器电路的测量与分析，是对自己关于运算放大器知识的一次亲身实践。通过此次实验，我对运算放大器的实际作用及使用方法更加了解，对相应几个实验的原理有了更加清晰的认识；在实际操作的过程中，我也认识到了运算放大器在实际应用中要注意的一些问题，对它的一些相关性质有了更直观的了解；同时，这次实验也强化了我的一些基本的实验素养，对信号源、示波器等电子仪器的使用有了更深入的了解。同时，我也了解到“电子线路测试、分析与设计”这门课程的一些学习方法，体会到了亲手搭建较复杂电路的乐趣与成就感，对今后相关知识的学习和实际生活都很有帮助。