
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 二 次实验

实验名称： 增益自动切换电压放大电路的设计

院（系）： 电子科学与工程学院 专业： 电子科学与技术

姓 名： 顾豪阳 学 号： 06220143

实 验 室： 103 实验组别：

同组人员： 实验时间： 2022 年 4 月

评定成绩： 审阅教师：

实验目的

- 1. 进一步熟悉 Multisim 软件仿真功能；
- 2. 掌握利用运算放大器构成单门限比较器、迟滞比较器和窗口比较器电路各元件参数的计算方法；
- 3. 掌握峰值检波的电路，二极管检波电路和精密整流电路的工作原理和基本电路结构；
- 4. 掌握数字信号与模拟信号的级联、切换的方法。

实验内容

用运算放大器设计一个电压放大电路，其输入阻抗不小于 $100\text{k}\Omega$ ，输出阻抗不大于 $1\text{k}\Omega$ ，并能够根据输入信号幅值切换调整增益。电路应实现的功能与技术指标如下：

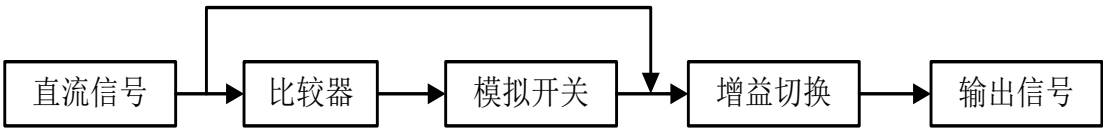
- 1. 基本要求
 - (1) 放大器能够具有 0.1、1、10 三档不同的增益，可以用连线改变增益，或者以拨动开关切换增益，或者用模拟电子开关切换增益。
 - (2) 输入一个幅度为 $0.1\sim 10\text{V}$ 的可调直流信号，要求放大器输出信号电压在 $0.5\sim 5\text{V}$ 范围内，设计电路根据输入信号的幅值自动切换调整增益值。
- 2. 提高要求
 - (1) 输入一个交流信号，频率 10kHz ，幅值范围为 $0.1\sim 10\text{V}$ （峰峰值 U_{pp} ），要求输出信号电压控制在 $0.5\sim 5\text{V}$ （峰峰值 U_{pp} ）的范围内。

电路设计

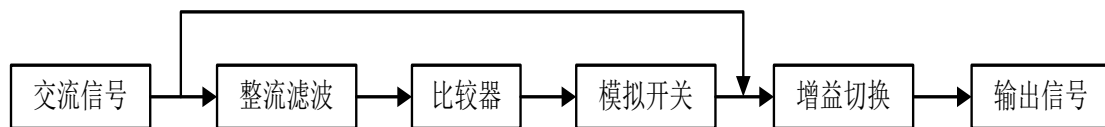
(1) 根据实验内容、技术指标及实验室现有条件，自选方案设计出原理图，分析工作原理，计算元件参数：

A) 结构框图

基础要求部分结构框图：



提高要求部分结构框图：



B) 设计思路:

基础要求:

(1) 输入信号电压与基准电压比较，输出高低电平。

(2) 开关电路：利用 CD4052 开关利用上一级输出的高低电平输入到其 A、B 地址端，选择放大、保持不变、缩小的电路。

(3) 放大部分：将 CD4052 的输出接到运放上，利用其反馈到比较电路，在通过比较电路输出最终信号，通过先将输入电压分压得 0.1 倍，再分别通过放大 100 倍，10 倍，1 倍即可获得 10 倍，1 倍，0.1 倍。

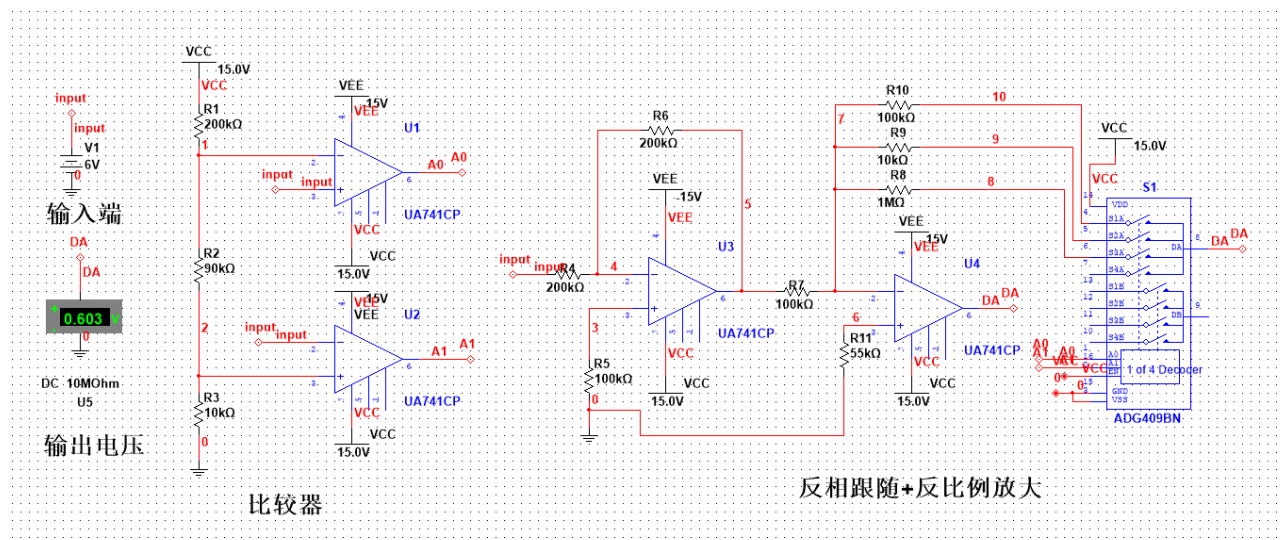
提高要求:

提高要求需在基本要求的基础上增加一个峰值检测电路，峰值检测主要是对交流正弦信号进行整流滤波，从而测得信号的峰值，再输入到比较电路，将参考电压改为原来的一半，进行与直流信号源相同的操作。

C) 仿真电路图:

通过 multisum 仿真图及电路各参数如下

基础部分:



工作原理:

比较部分:

如图所示，上一级的输出端接在两个运放的正输入端与负输入端。串联的三

个电阻分别分压 0.5V, 4.5V, 上面的比较器负输入端为 4.5V, 下面的 LM741 负输入端为 0.5V。所以, 当输入电压小于 0.5V 时, A1、A0 输出电压分别为高、低电平; 当输入电压在 0.5V~5V 时, A1、A0 输出电压分别为低、低电平; 当输入电压大于 5V 时, A1、A0 输出电压分别为低、高电平。

放大部分:

从上一级输出的 A1、A0 分别接到 CD4052 的地址端 A1 与 A0。从运放输出端 6 输出。

当信号源峰值小于 0.5V 时, 由比较电路可得 A1 与 A0 为 1、0, 通过查看 CD4052 数据手册可知, 选通开关 S3A, 所以, 通过 S3A 将输入电压接到运放正输入端, 再通过输出与反馈电阻从 S3A 到负输入端从而放大 10 倍。

当信号源峰值在 0.5V~5V 时, 由比较电路可得 A0 为 0, A1 为 0, 通过查看 CD4052 数据手册可知, 选通开关 S1A, 所以, 通过 S1A 将输入电压接到运放正输入端, 再通过输出到 S1A 经反馈电阻到负输入端从而保持。

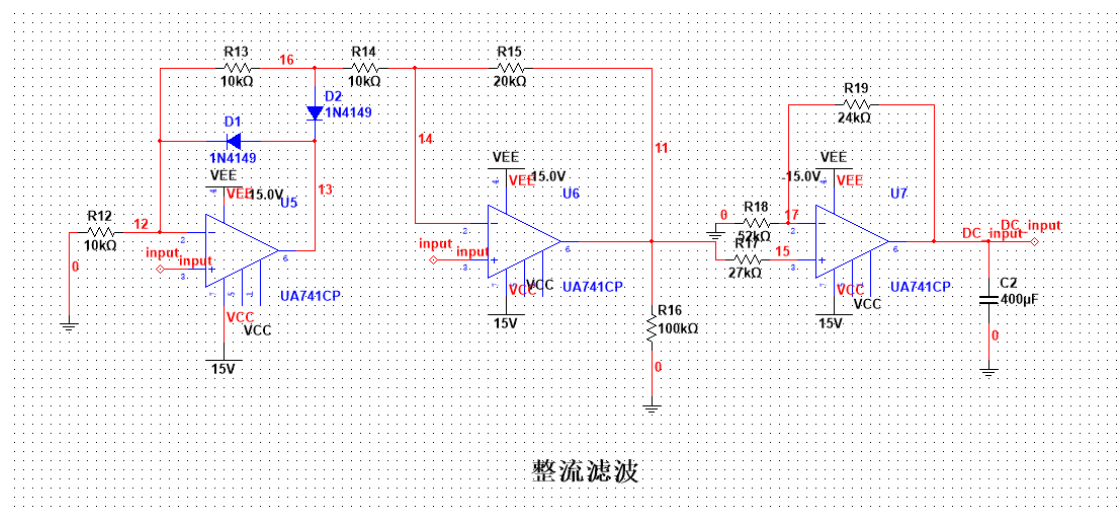
当信号源峰值大于 5V 时, 由比较电路可得 A1 与 A0 为 0、1, 通过查看 CD4052 数据手册可知, 选通开关 S2A, 所以, 通过 S2A 将输入电压接到运放正输入端, 再通过输出与反馈电阻从 S2A 到负输入端从而缩小 10 倍。

提高部分:

工作原理:

在基础部分电路中加入整流电路即可

精密全波整流电路:



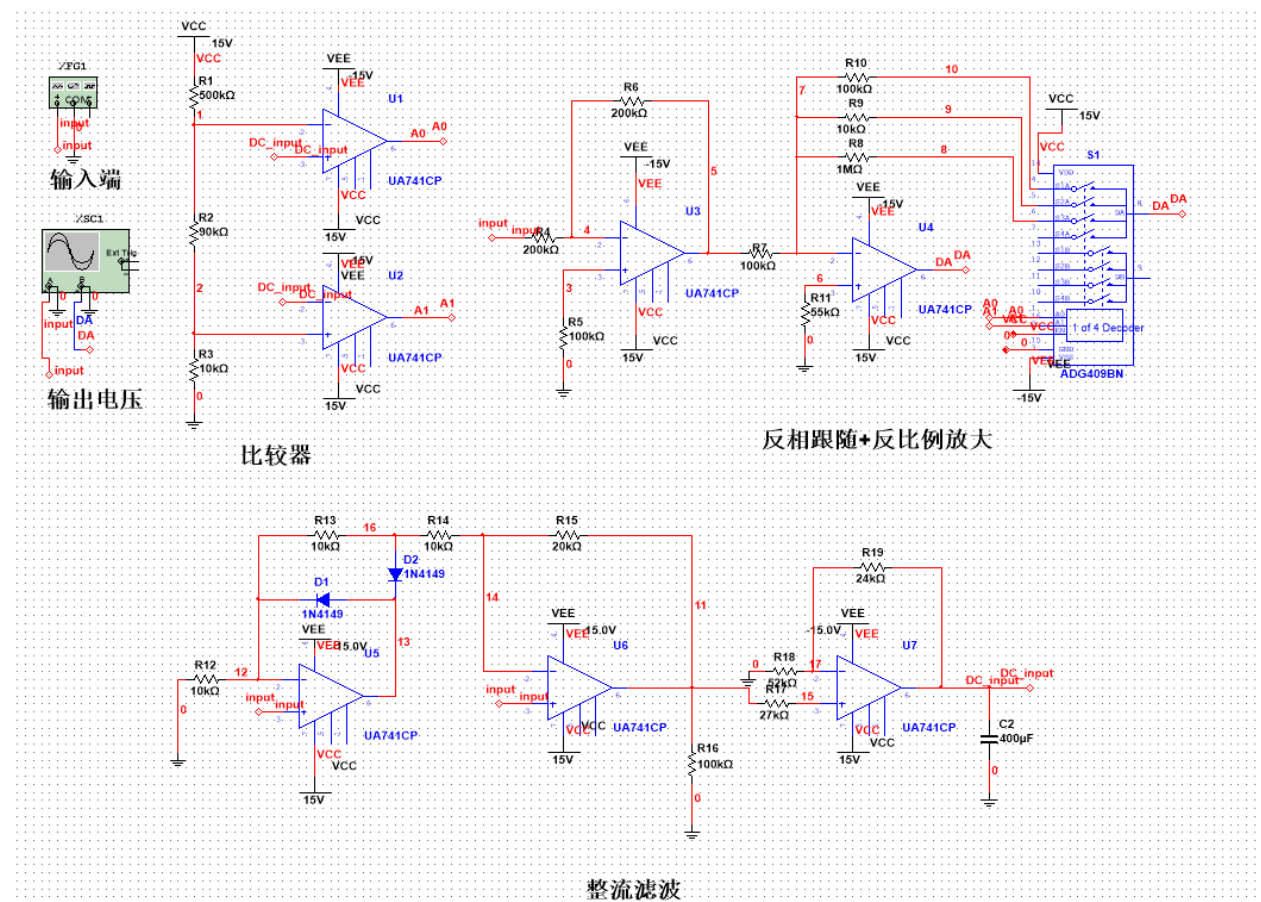
当输入 $U_i > 0$ 时, 741 输出端 6 输出电压小于 0, 二极管 D1 导通、D2 截止, 等价为跟随器, 所以 U_o 近似等于 U_i 。

当输入 $U_i < 0$ 时，741 输出端 6 输出电压大于 0，二极管 D1 截止、D2 导通，运放组成反相比值运算器，所以 $U_o = -(R_2/R_1) U_i$ ，由于 $R_1 = R_2$ ，所以 $U_o = -U_i$ 。

随后将输出的波形输入至下一级运放进行反相。由于此时直接进行滤波输出的是输入波形的有效值，因此还需要接入一级同向比例放大电路来使输出的直流电平达到输出电压的峰值。

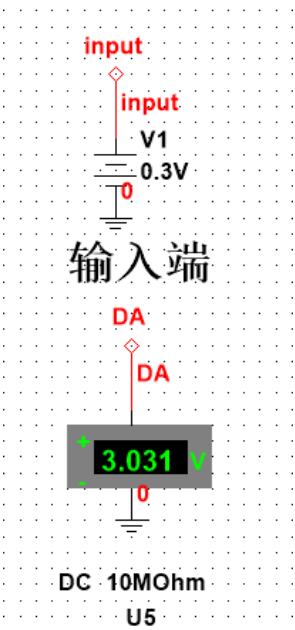
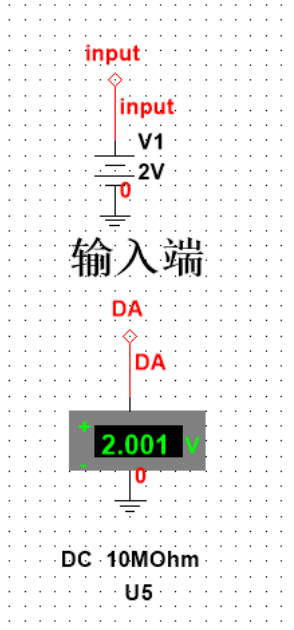
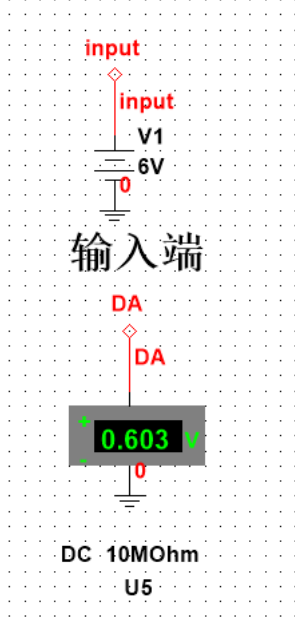
将输出的整流并同相放大后的波形输入至电容中，对电容 C1 充电，使得电容两端电压近似为输入电压的峰值。

整体电路如下图：



(2) 利用 EDA 软件进行仿真，并优化设计（对仿真结果进行分析）。

基础要求部分：

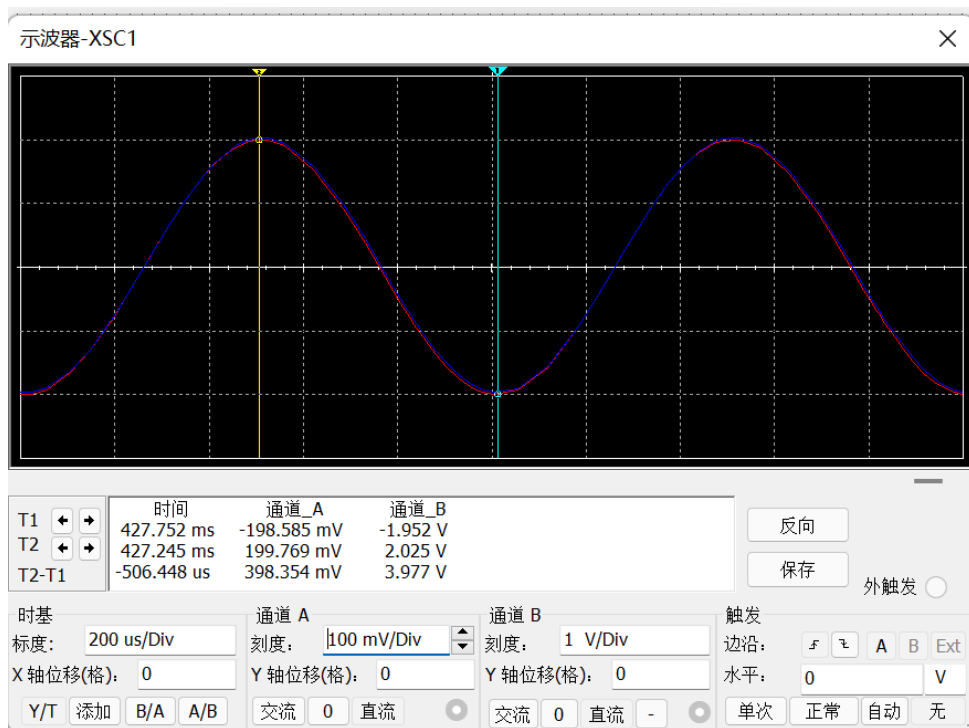
放大 10 倍	放大 1 倍	放大 0.1 倍
 <p>输入端</p> <p>输出电压</p>	 <p>输入端</p> <p>输出电压</p>	 <p>输入端</p> <p>输出电压</p>

表格 1

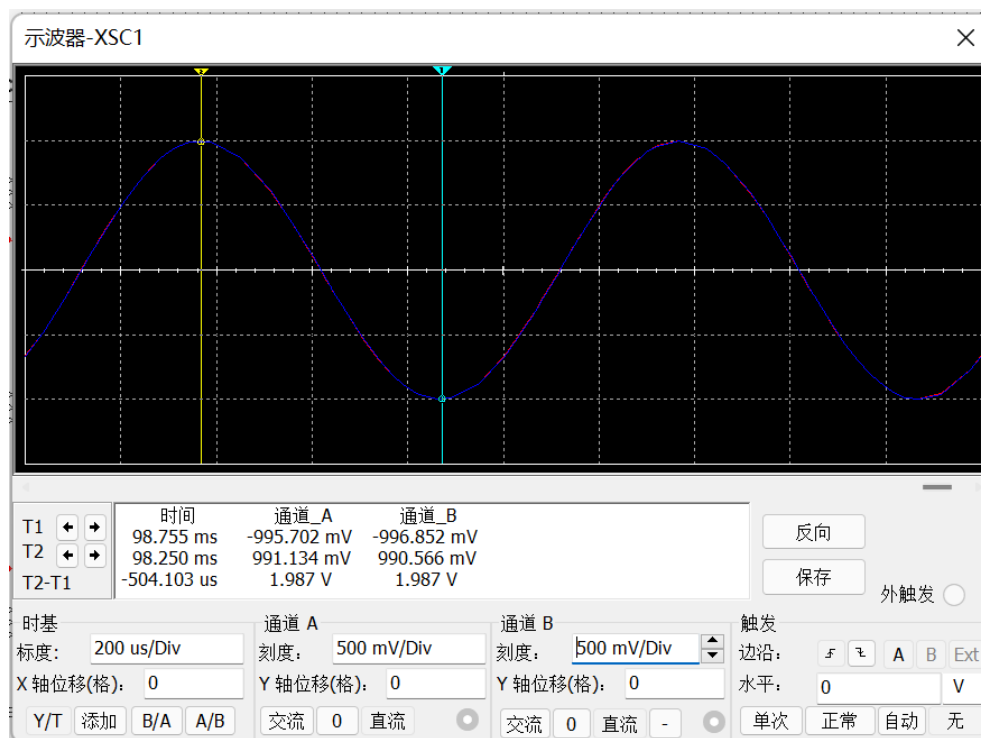
提高要求部分：

放大 10 倍	放大 1 倍	放大 0.1 倍
Vpp=0.4V； 见图一	Vpp=2V； 见图二	Vpp=6V； 见图三

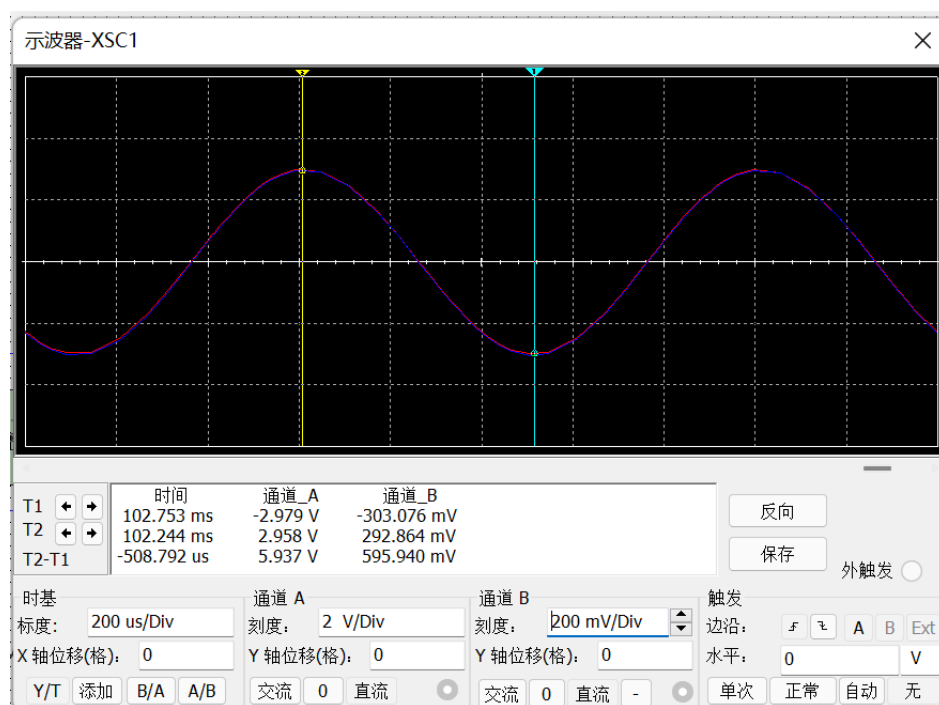
表格 2



图一



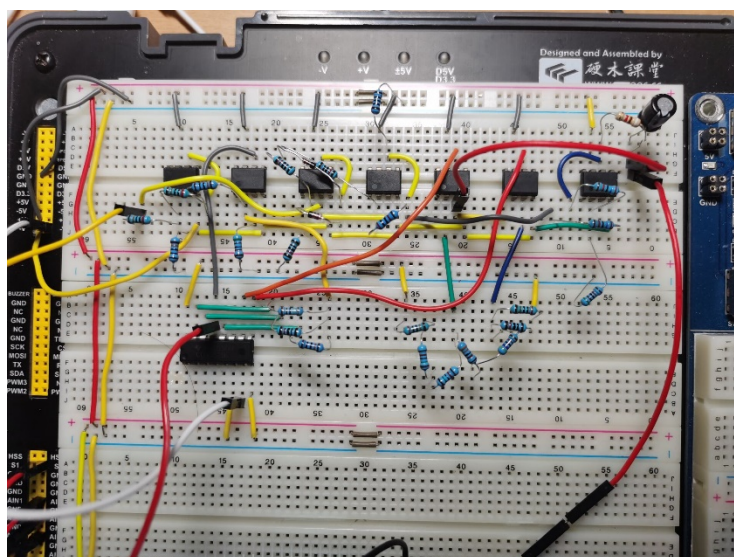
图二



图三

硬件电路功能与指标，测试数据与误差分析（实验要求）

(1) 硬件实物图（照片形式）：



(2) 制定实验测量方案（例如测量条件，使用仪器仪表等等）：

测量方式：

1、输入直流信号，函数发生器改变输入电压在 0.1~0.5V、0.5~4.5V、4.5~10V 分别各选择两个电压，利用万用表电压档测量输入电压与输出电压，并测量基准电压 0.5V 和 4.5V 时的结果。

2、将基准电压减半，输入交流信号，同样测量三个范围内的输入电压的输出结果，以及跳变点 0.5V 与 4.5V 时的结果。

(4) 测试的数据和波形并与仿真设计结果比较分析：

基本要求（直流）：

直流测量记录表			
Ui/V	Uo/V	Au	
		测量值	理论值
5.76	0.58	0.1004	0.1
3.04	0.30	0.0992	0.1
4.96	4.89	0.9839	1
0.496	0.48	0.9677	1
0.488	4.80	9.8361	10
0.110	1.01	9.2830	10

分析：在误差允许范围内，所测数据基本符合理论值，但实际电路中，CD4052 存在内阻，并且信号源不可避免会存在直流分量，所以对增益有影响，并且对×10 档的影响最大，原因可能是实际电路中电阻的阻值并不精确，与理想情况存在一定差距。

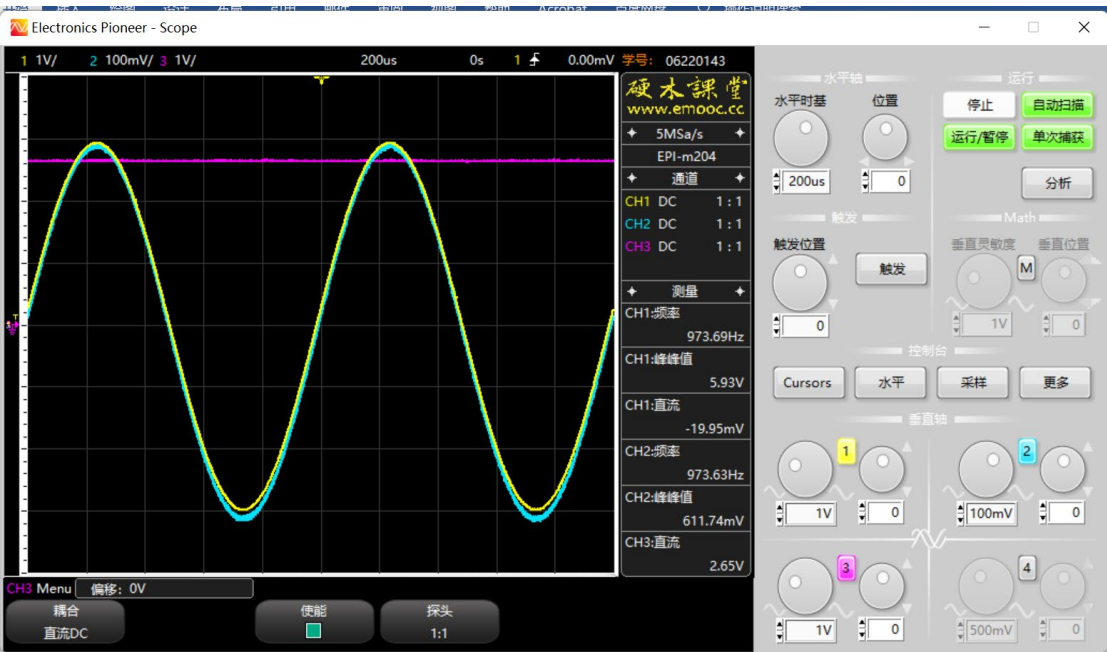
与此同时，也要注意输入的电压不能过大，当直流分量过大时，会超过运放的工作电压，造成放大倍数达不到理想值。

提高要求（交流）：

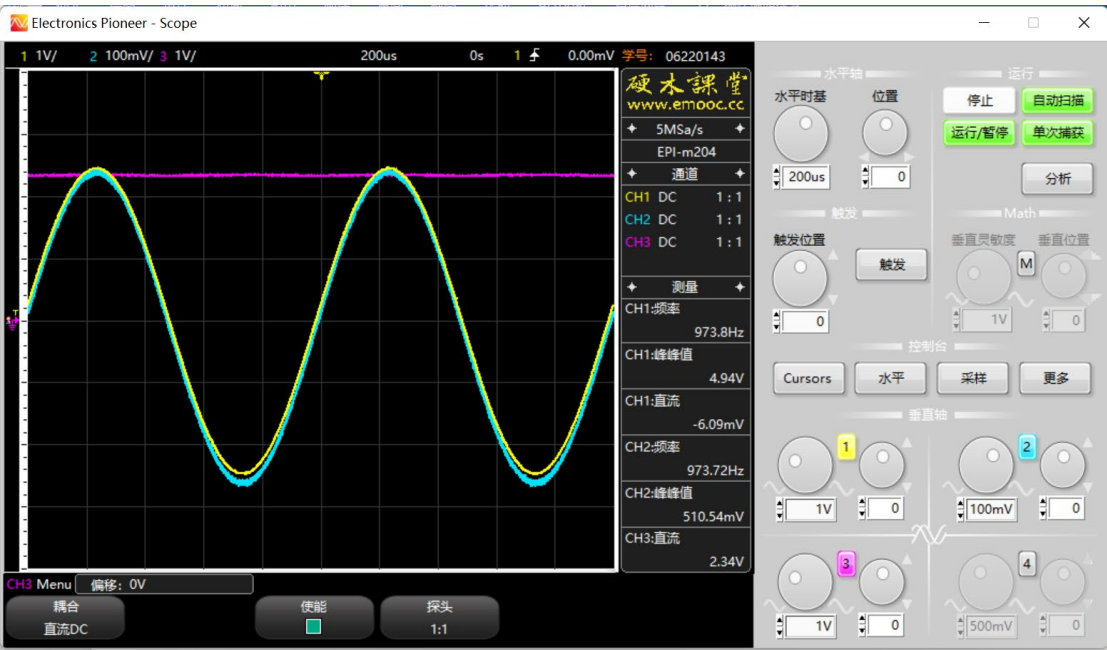
交流测量记录表				
Ui/V	Uo/V		Au	
峰峰值（Vpp）	峰峰值（Vpp）	波形	测量值	理论值
5.93	0.611	见下图①	0.103	0.1
4.94	0.51	见下图②	0.103	0.1
4.44	4.48	见下图③	1.01	1
1.99	2.01	见下图④	1.01	1

0.48	4.86	见下图⑤	10.12	10
0.20	2.01	见下图⑥	10.05	10

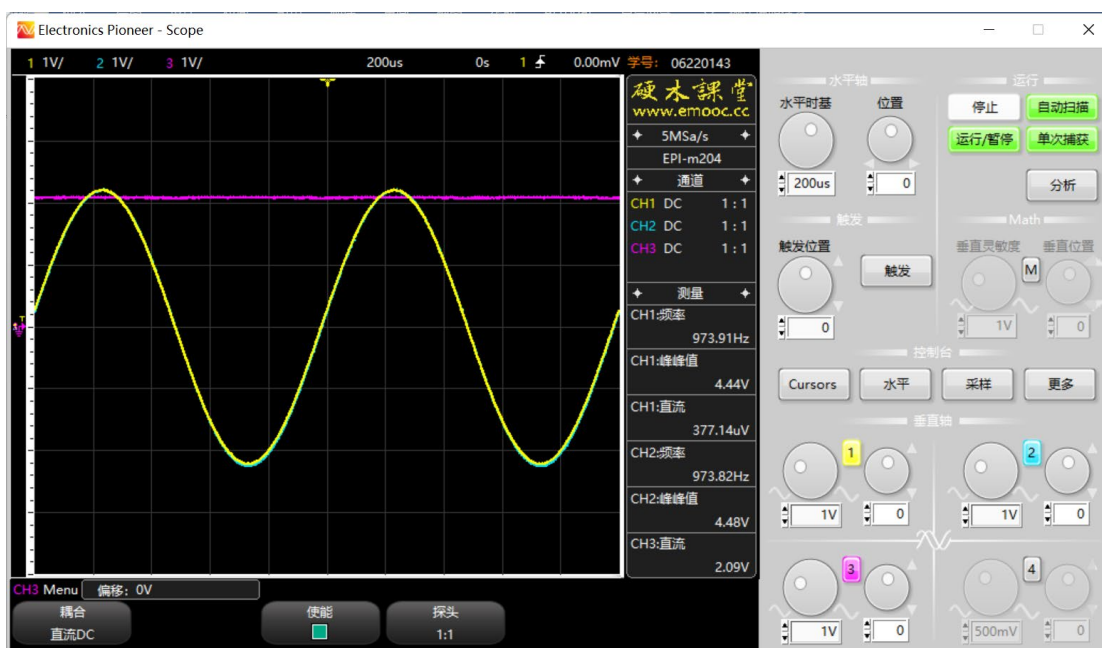
波形图中通道一为输入端，通道二为输出端，通道三为整流滤波之后的直流输出端。



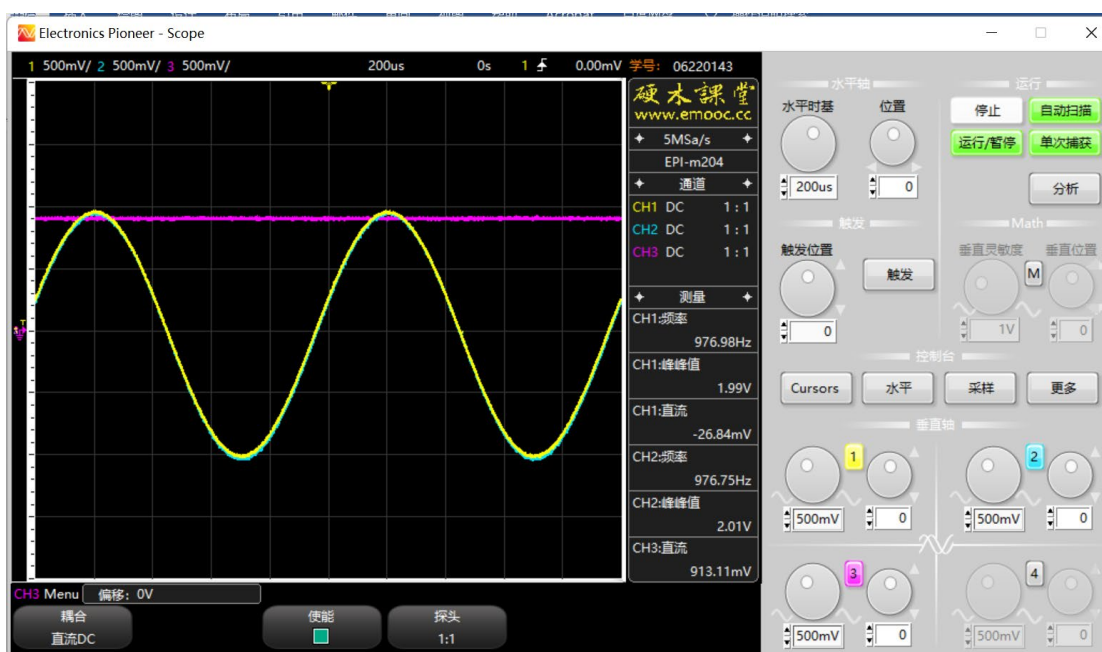
图①



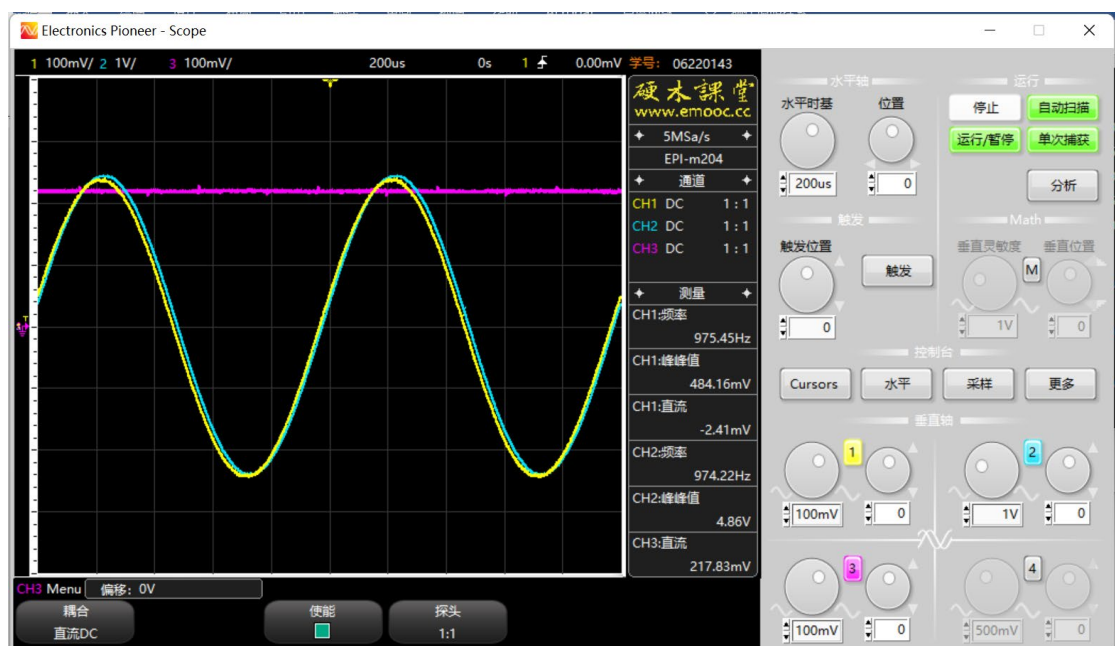
图②



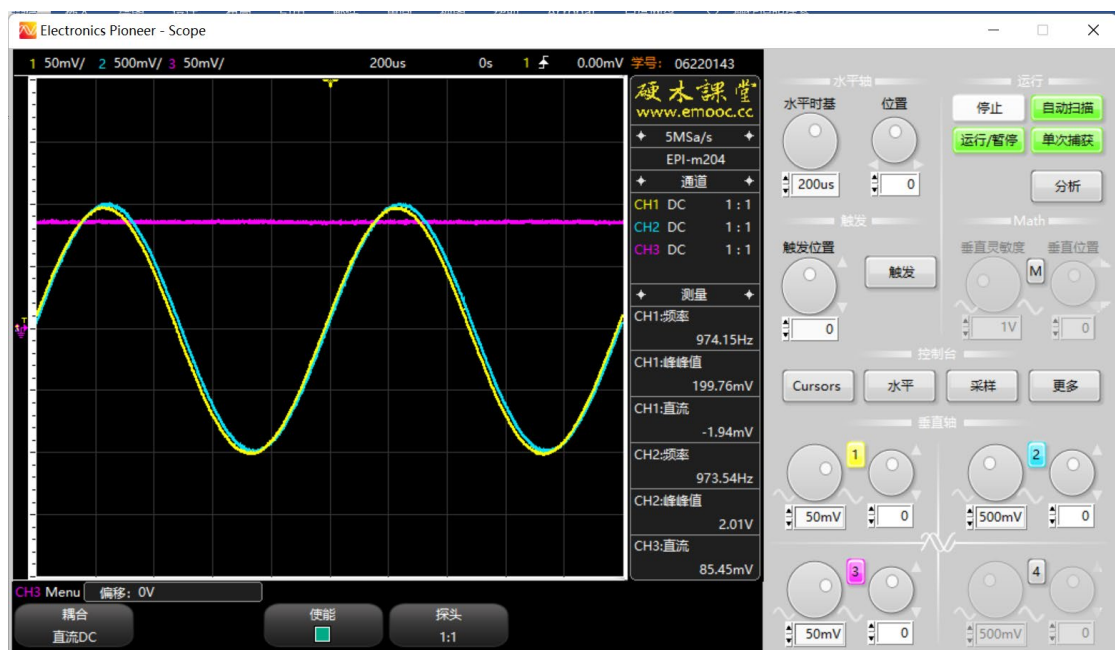
图③



图④



图⑤



图⑥

经过分析可以得出放大倍数和放大波形误差都在允许的范围之内，并且放大的临界值也接近理论值。但是 $\times 10$ 档的输出波形有些毛刺，不太平整，可能是即将到达运放的最大工作电压了。

(5) 调试中出现的故障、原因及排除方法：

1. 调试中发现整流滤波后的直流输出无法达到峰值，经过分析发现直流输出大概在输入电流的 0.707 倍，经过分析，根据能量守恒，因为整流后输出的能量需要和输入电容中储存的能量是相等的。

解决方法：在直流输出之后加入同相比例放大电路，经过调整反馈电阻，使得最后的输出近似等于输入峰值。

2.尝试自己修改电路的输入频率，会发现当输入频率过高时，放大电路出来的电压会有一个明显的相位差，而且放大倍数也有非常明显的影响，达不到应有的放大倍数。经过分析可得，是因为运算放大器有自身的工作频率，并且有其频率带宽积，当工作频率过大时，运算放大器的放大效果就会收到明显影响。

解决办法：选择合适的输入频率。

3.在精密全波整流之后，利用电容进行滤波处理，却发现滤波出来的直流特性并不好，直线不够平。经过分析，认为是因为电容太小，导致充放电时间过长，会产生明显的上升和下降波形。

解决办法：选择最大的电容。

4.实验室提供的电阻阻值不精确，导致比较电路分压效果不理想。

解决办法：使用滑动变阻器进行调节

实验总结

本次实验的成功实现主要是掌握了分块搭建电路的方法，现在仿真中分块搭建并测试电路，然后利用 Multisim 非常友好的功能（原理图中将每个器件的引脚标出来了）一步步搭建实物电路，这样能很大程度上减少失误。

若仍然出现了问题，则也应该像之前提到的方法，分块分析问题出在哪个模块，然后用示波器、万用表测量输入输出端的特性找出问题。找问题的时候也要注意封装好的芯片是否在合适的工作电压之内，这是光检查电路检查不出来的。

当电路找出问题后还需要进行微调，因为实物和仿真存在差别（这也是模电实验最突出的特点），这样的误差一般都在 10%-20%之间，我们需要对电路框架进行调整以达到要求。

此外，在仿真中，推荐使用网络标签进行分块处理，这样也会使得电路布线变得非常简洁明了，也方便我们检查错误。如果电路复杂，也推荐每个部分进行封装。