

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 4 次实验

实验名称: 波形的产生、分解与合成

院 (系): 电子科学与工程学院

专 业: 电子科学与技术

姓 名: 孙寒石 学 号: 06219109

实 验 室: 104 实验组别:

同组人员: 实验时间: 2021 年 5 月 17 日

评定成绩: 审阅教师:

波形的产生、分解与合成

一、实验目的

1. 掌握方波信号产生的基本原理和基本分析方法，电路参数的计算方法，各参数对电路性能的影响；
2. 掌握由运算放大器组成的 RC 有源滤波器的工作原理，熟练掌握 RC 有源滤波器的基本参数的测量方法和工程设计方法；
3. 掌握移相电路设计原理与方法
4. 掌握比例加法合成器的基本类型、选型原则和设计方法。
5. 掌握多级电路的级联安装调试技巧；
6. 熟悉 Multisim、滤波器设计等软件高级分析功能的使用方法。

二、实验内容

设计并安装一个电路使之能够产生方波，并从方波中分离出主要谐波，再将这些谐波合成为原始信号或其他周期信号。

- (1) 设计一个方波发生器，要求其频率为 500Hz，幅度为 5V；
- (2) 设计合适的滤波器，从方波中提取出基波和 3 次谐波；
- (3) 设计移相电路，使高次谐波与基波之间的初始相位差为零。
- (4) 设计一个加法器电路，将基波和 3 次谐波信号按一定规律相加，将合成后的信号与原始信号比较，分析它们的区别及原因。

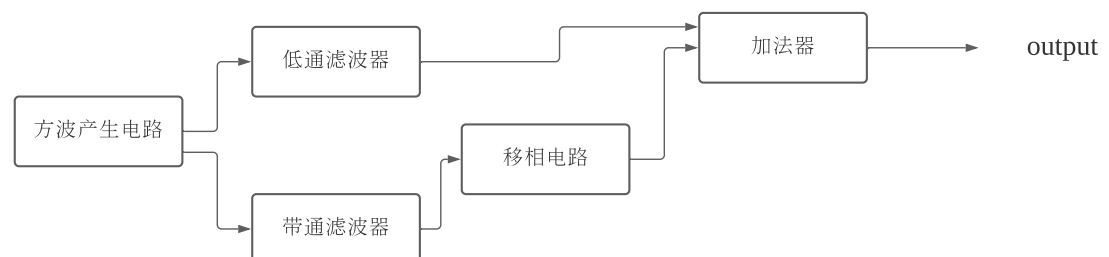
注意：电子报告必须上传提交到 MOOC 实验第 7 单元的作业中。

电阻、电容都得是标称值，而不是软件中任意输入的电阻、电容值。

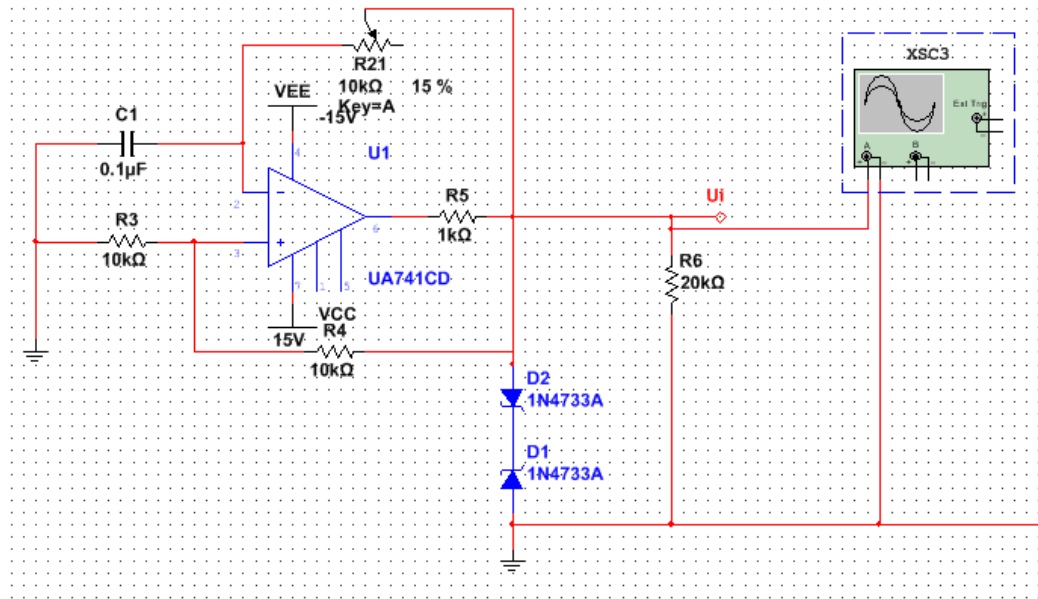
三、电路设计（预习要求）

- (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：

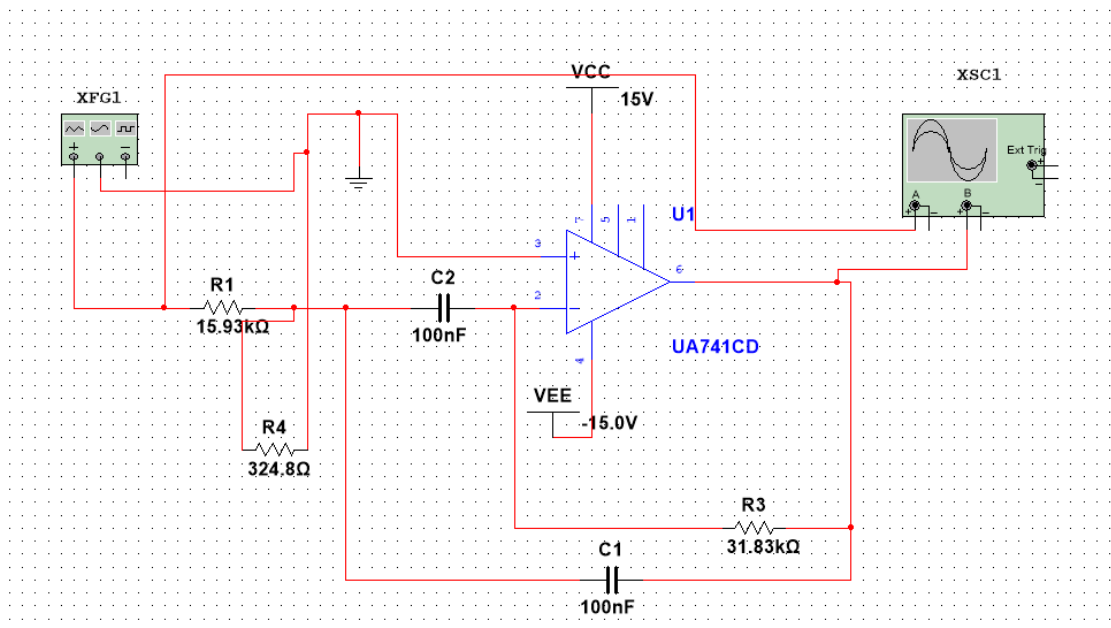
电路结构框图：



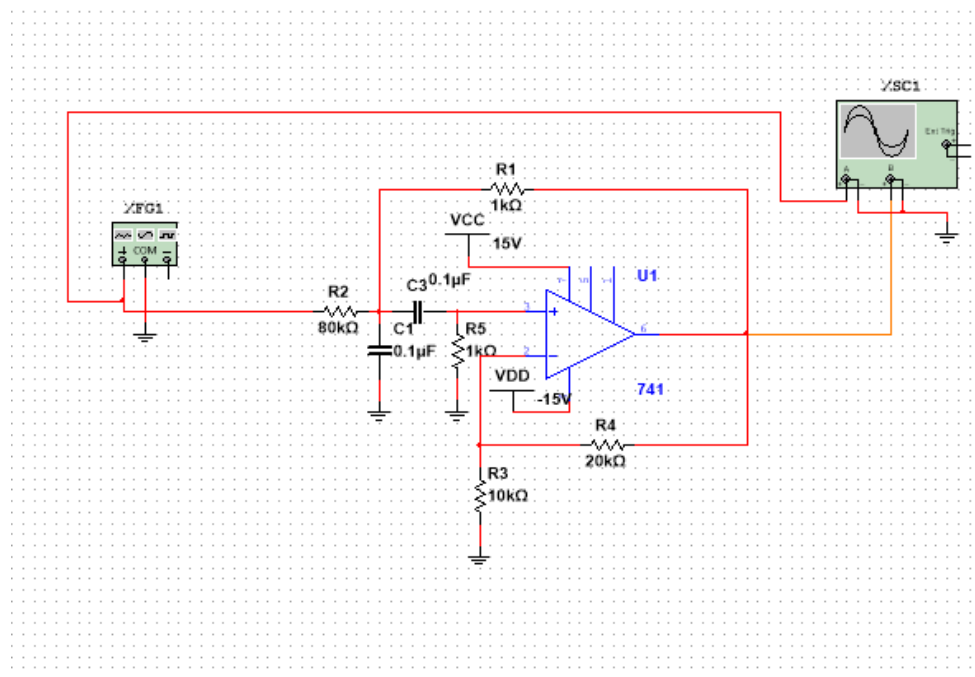
方波产生电路：



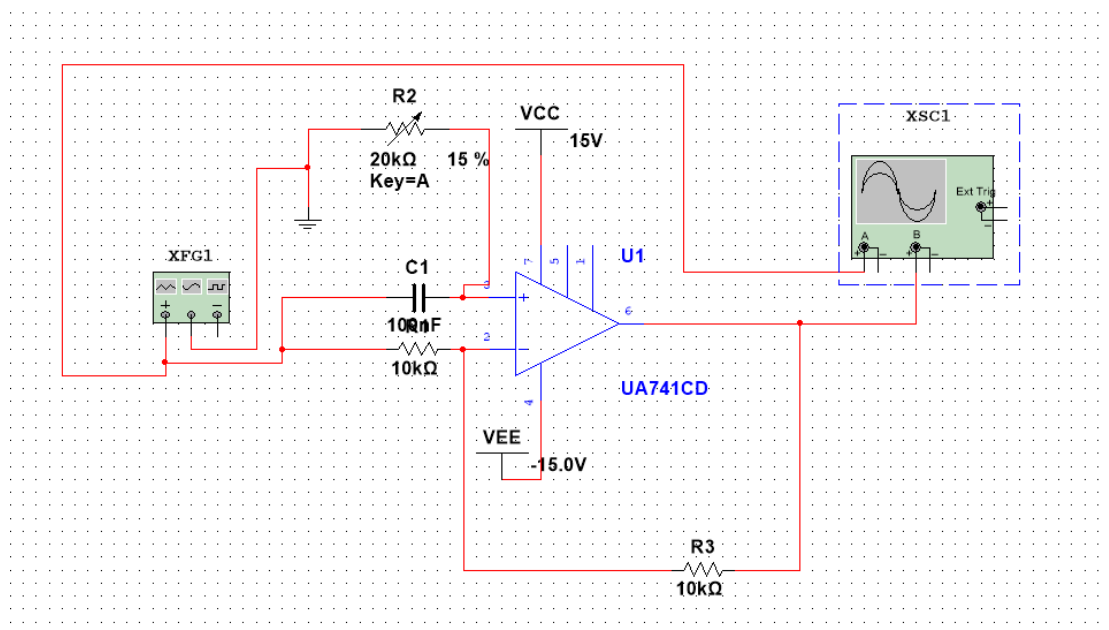
低通滤波器：



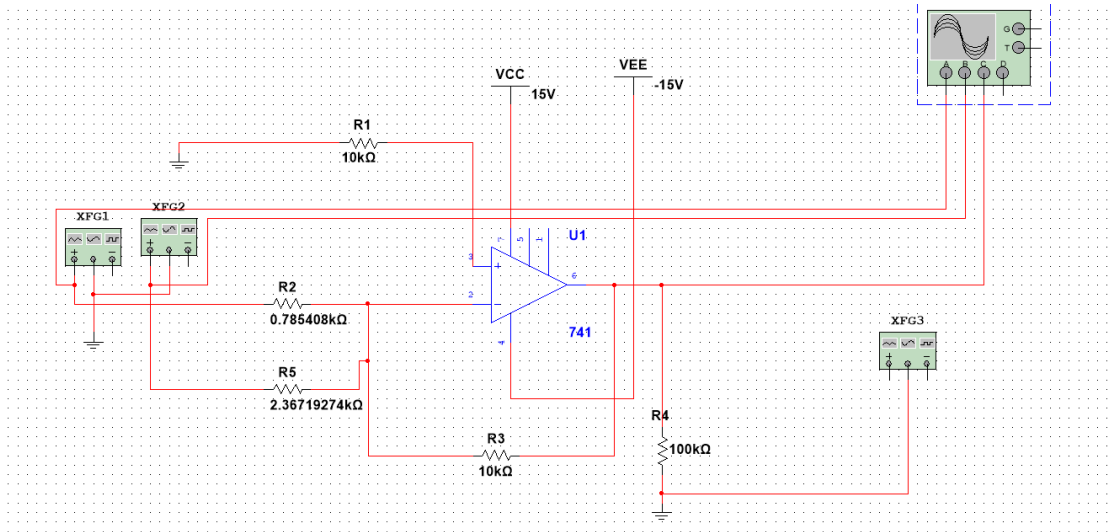
带通滤波器:



移相电路:



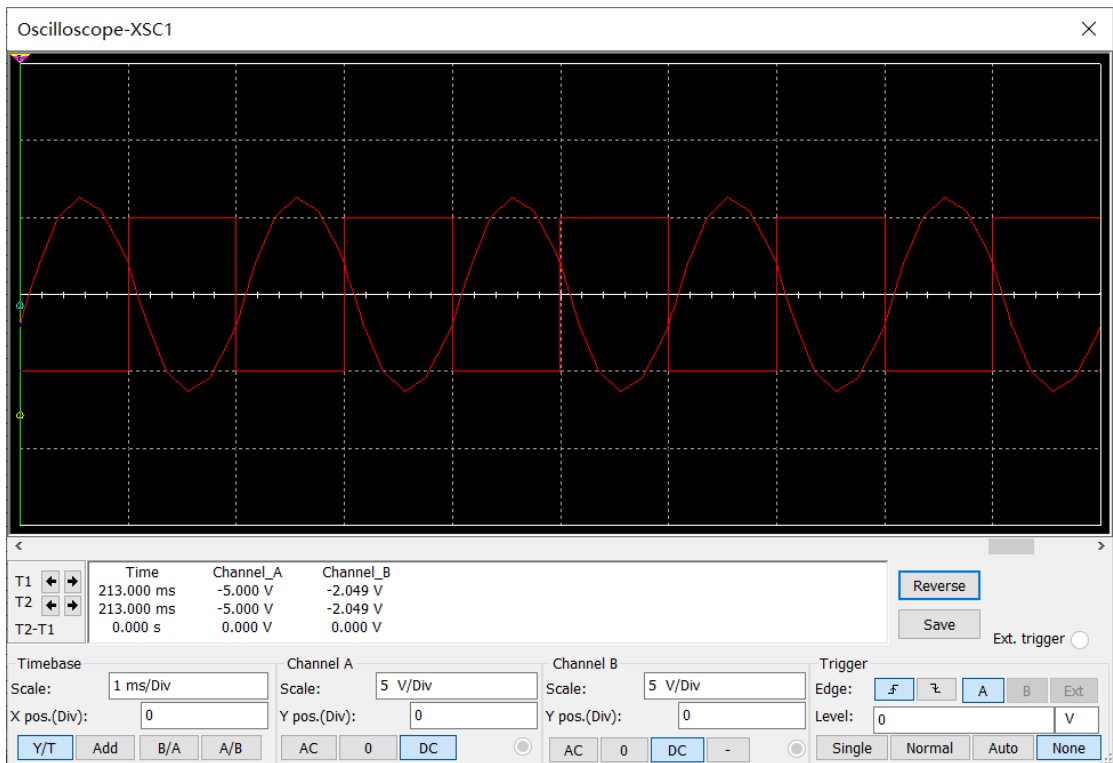
加法器



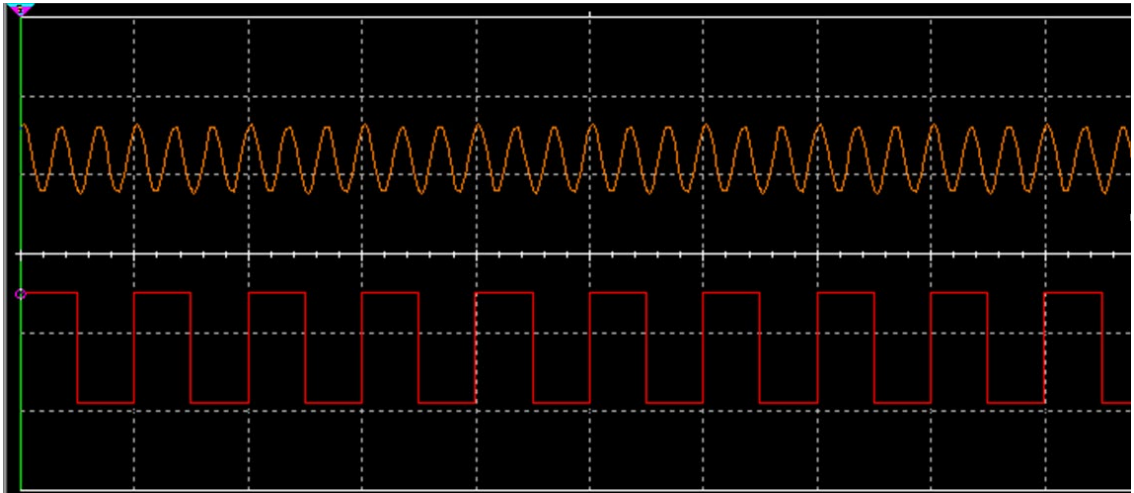
(2) 利用 EDA 软件进行仿真，并优化设计（对仿真结果进行分析）。

低通滤波器仿真：

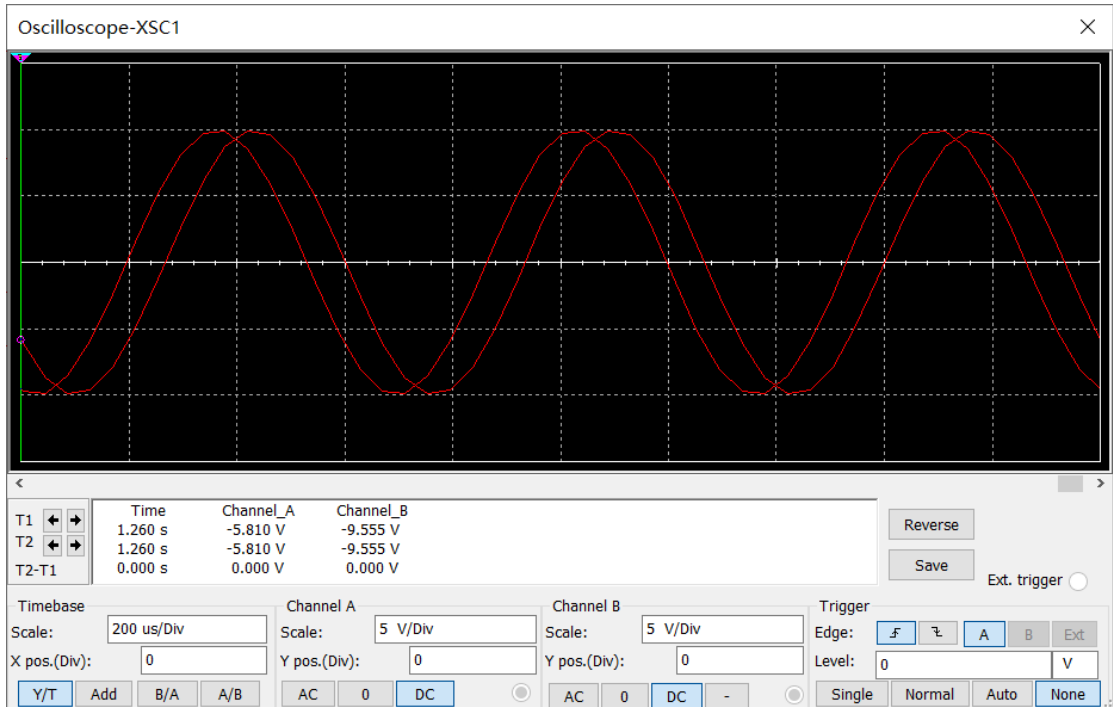
是反相的低通滤波器，所有相角差 90 度左右



带通滤波器：
是同相的低通滤波器

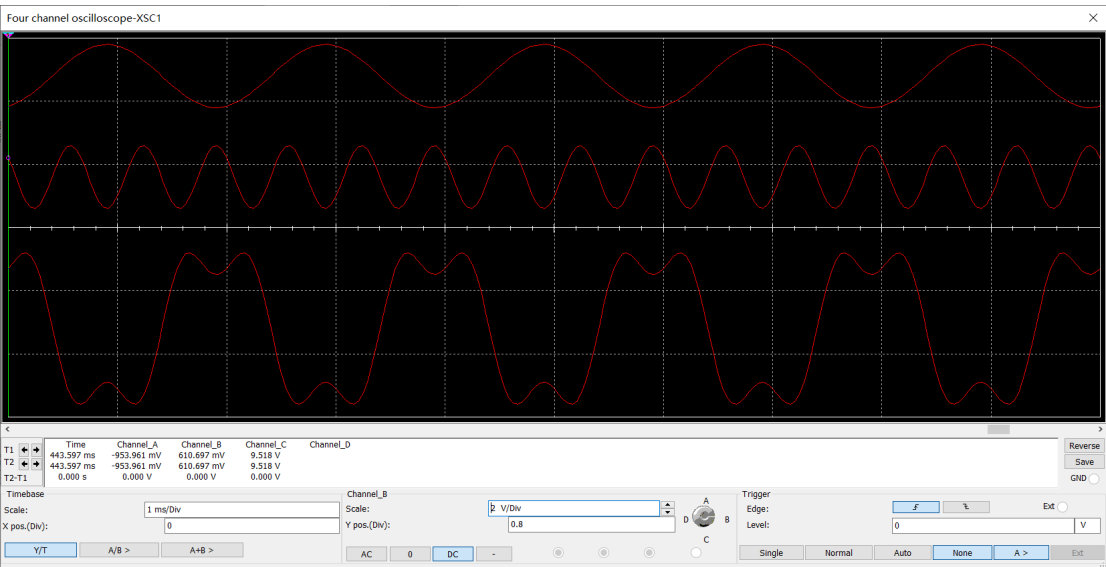
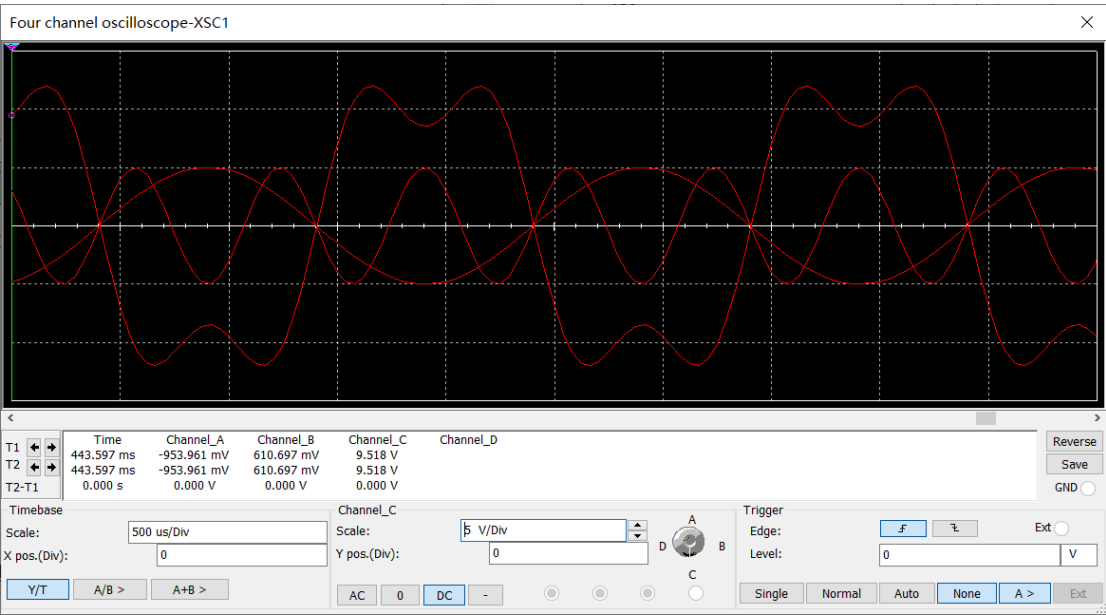


移相电路仿真：
可以看到，通过调节电阻，可以达到移相的功能



加法器：

经过计算得到响应的放大倍数，放大后，得到以下曲线和加法器叠加后的结果，可以看出，基波和三次谐波叠加已经很像方波的样子了。

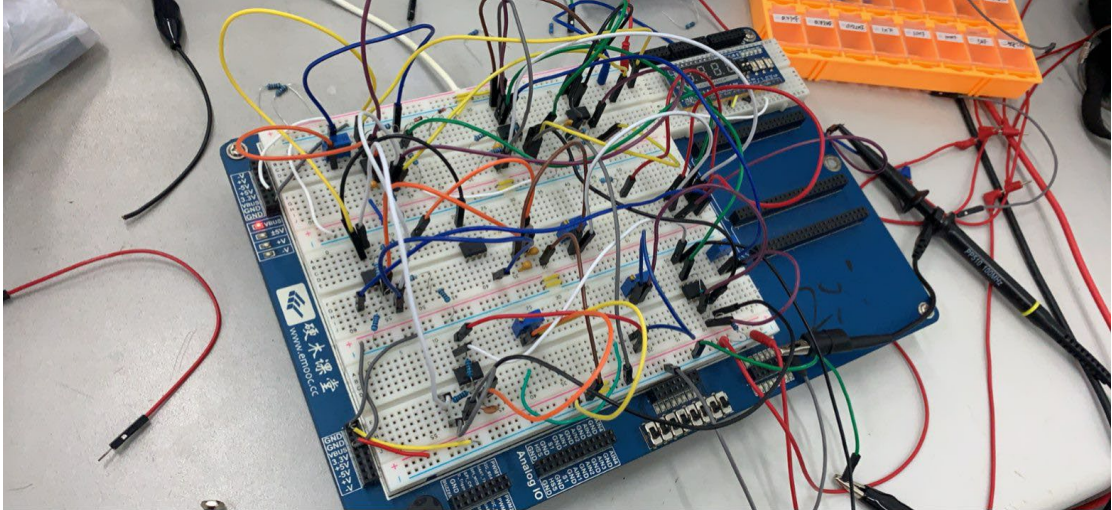


(3) 列出系统需要的元器件清单（请设计表格列出）：

元件名称	数目	元件名称	数目	元件名称	数目
电容 104	6	电阻 100k Ω	4	电阻 330 Ω	3
uA741	5	电容 103	2	电阻 51k Ω	2
电阻 10k Ω	5	电阻 33k Ω	1	电阻 9.1k Ω	2
电阻 20k Ω	4	电阻 22k Ω	1	电阻 200 Ω	4
电位器	5	电阻 1k Ω	4		

四、 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）：

测量条件：保持稳定的电压，使用示波器监测。

使用仪器仪表：直流稳压源，示波器，万用表，细调螺丝刀（调节电位器使用）用示波器检查基波、谐波、矩形波与叠加波，调整基波与谐波所移相位的大小。同时观察叠加波的效果，最后使用 FFT 进行频谱分析。

(3) 调试电路的方法和技巧：

- 在调试电路的时候，要记录每次的变化，最好进行多次重复调试，确保可复现性，而不是意外出现；

- 修改电路结构时，一定要断电操作，否则可能会给电路带来损伤。

- 分模块检查电路，检查某一级电路时，将该块与其他模块间断开，单独检查。

- 首先检查电路搭建的是否正确，正负电源是否接正确（检测芯片引脚电压、以准确判断是否连接正常）、检查共地，以及电阻电容之间有无短路情况。必要时还要检查芯片是否损坏。

- 由于有一些的阻值没办法准确，所以获得在仿真正确时的电路的参数在实验中还必须进行一些细微的调整，此时就要边观察示波器，一边调整电位器的电阻，此时先判断电阻值变大还变小会使结果更接近理论值，逐次逼近得到参数的最佳取值。

- 对于输出的最后结果的加法器来说，调试的最好方法就是：利用叠加定理，把其中一个输入短路，然后根据算出的数值对另外一个输出的峰峰值或者是有效值进行调整，最后将其相加观察结果。

(4) 测试的数据和波形并与仿真设计结果比较分析:

信号的产生、分解与合成													
方波			谐波								合成		
频率	幅度	波形	基波频率	基波幅度	波形	3次谐波频率	3次谐波幅度	移相后,3次谐波与基波相位差	波形	FFT	频率	幅度	波形
501.4Hz	12.40V	图 1	502.3Hz	10V	图 2	1.481KHz	22V	362.3° (2.3°)	图 3, 4	图 5	496.0Hz	2.07V	图 6, 7, 8

方波:

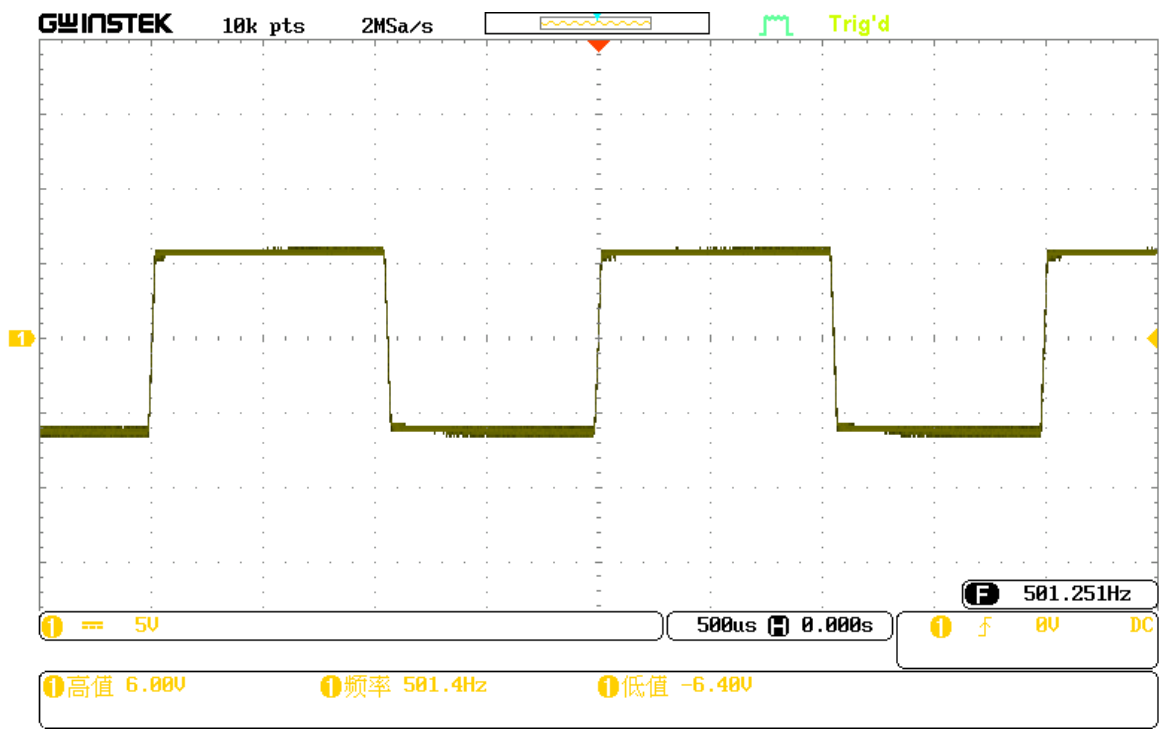


图 1

基波:

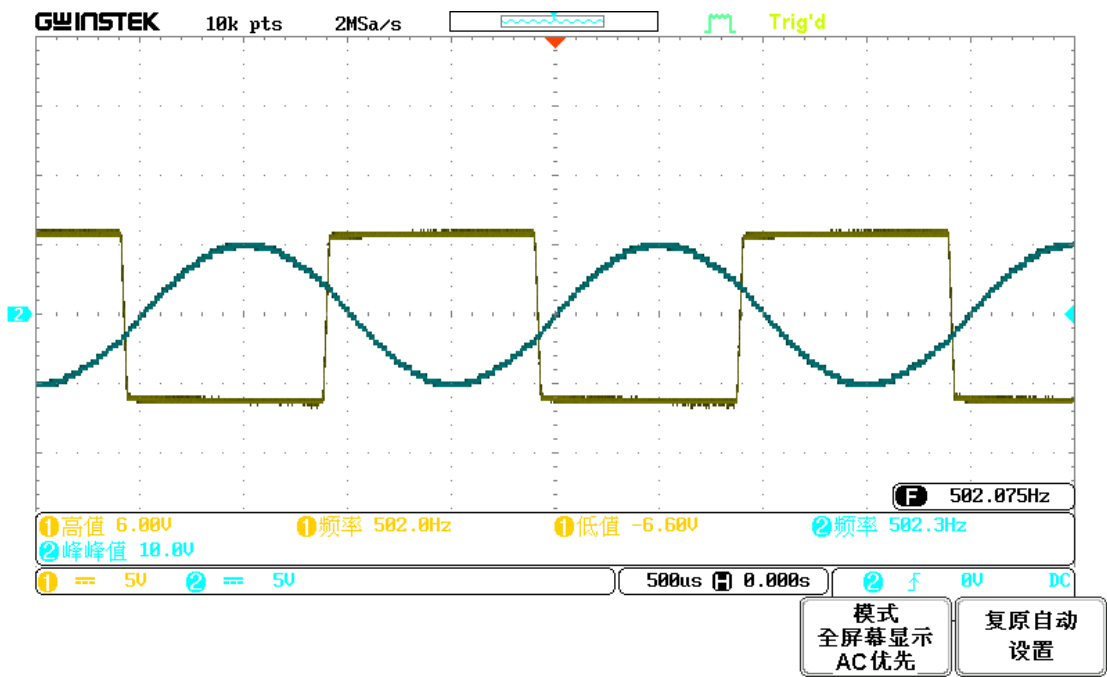


图 2

三次谐波:

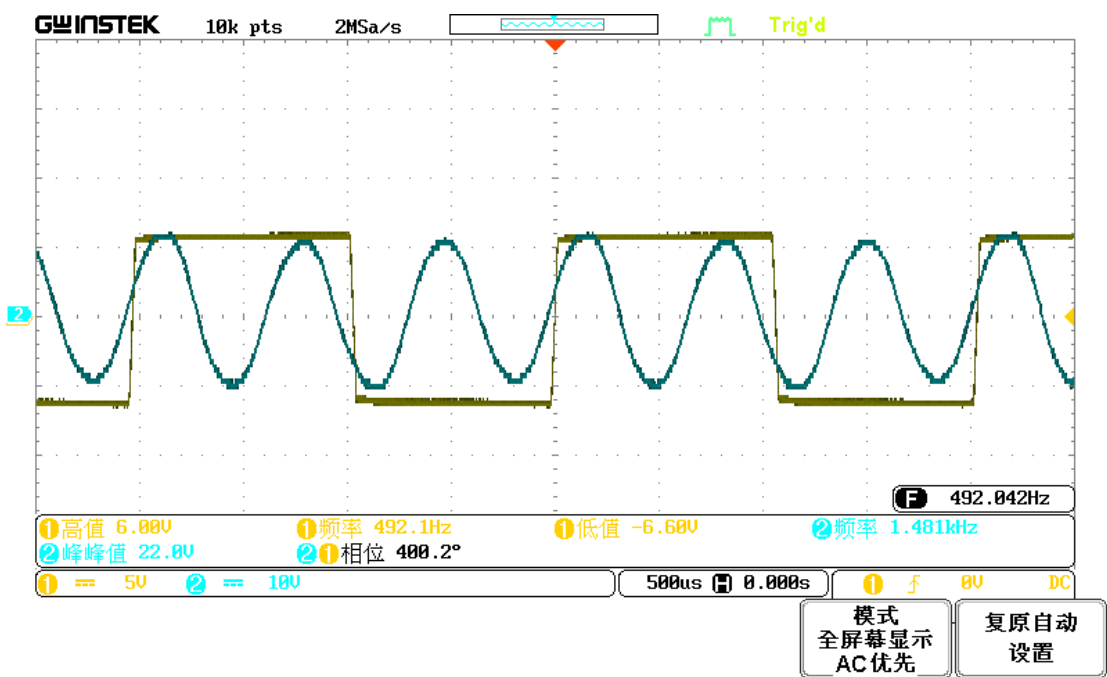


图 3

移相后的相位差:

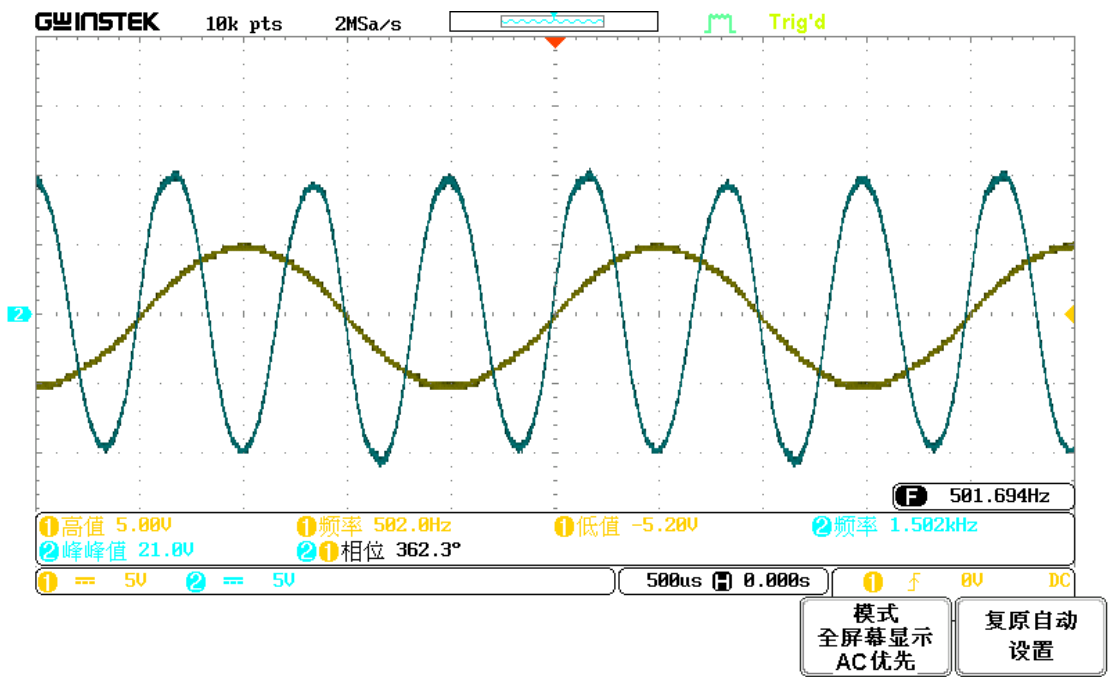


图 4

FFT:

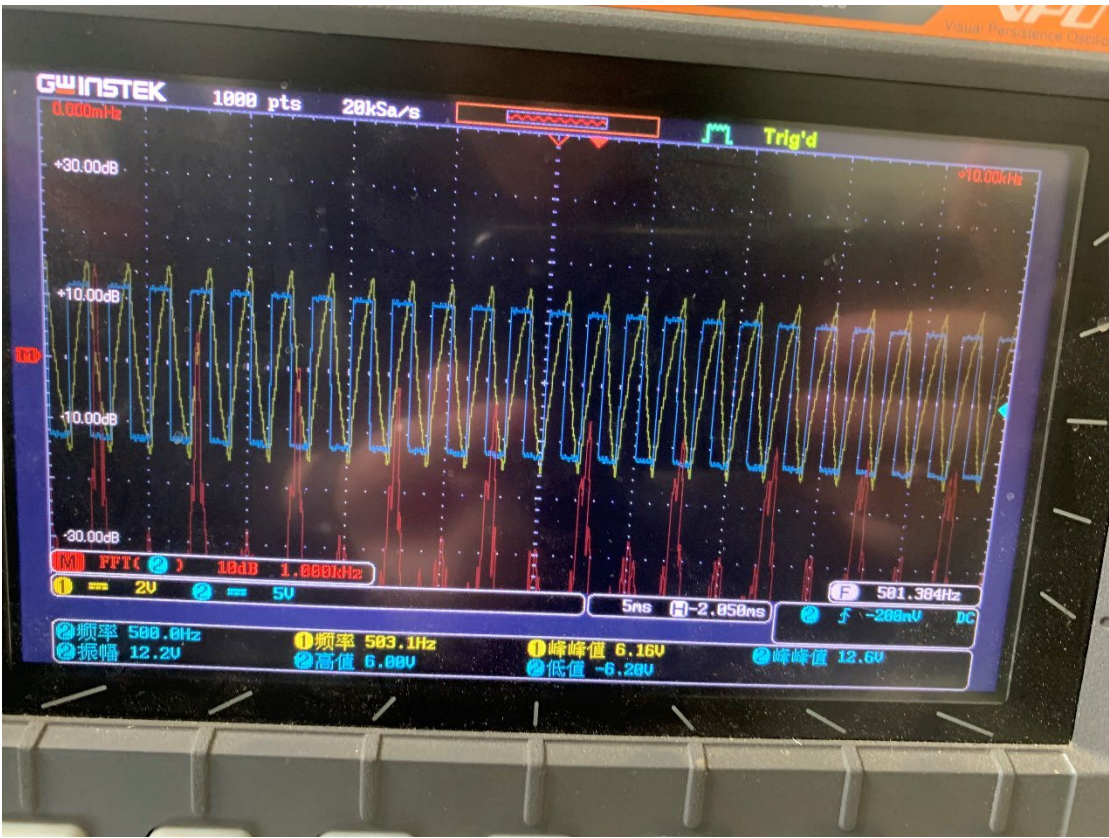


图 5

合成前的，经过比例放大电路的波：

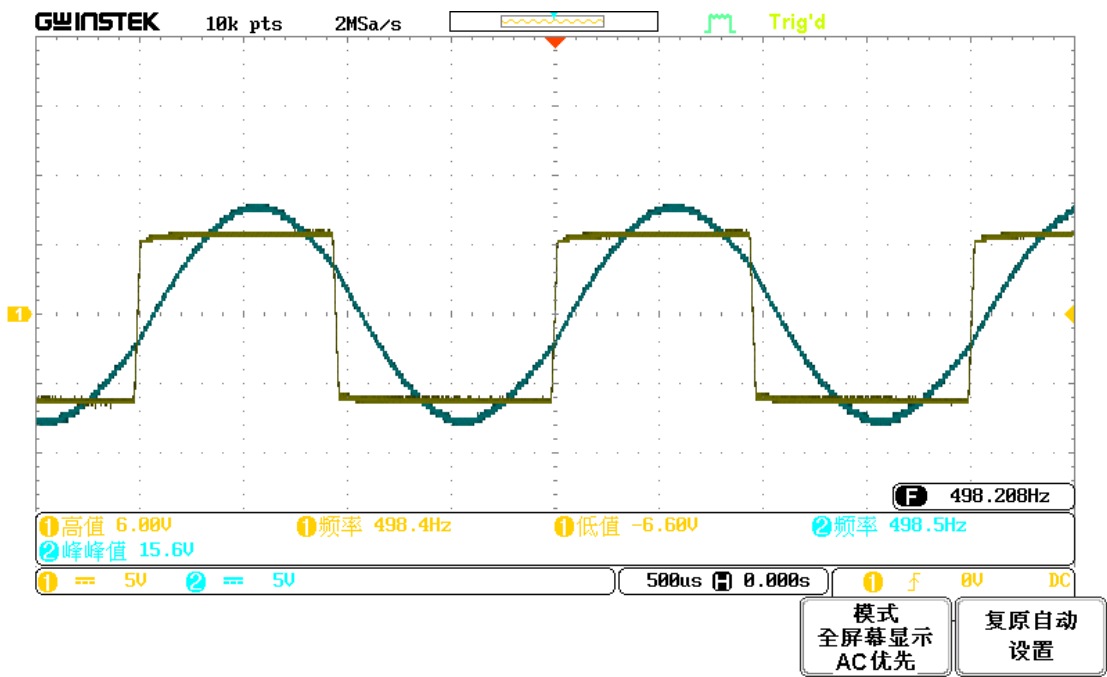


图 6

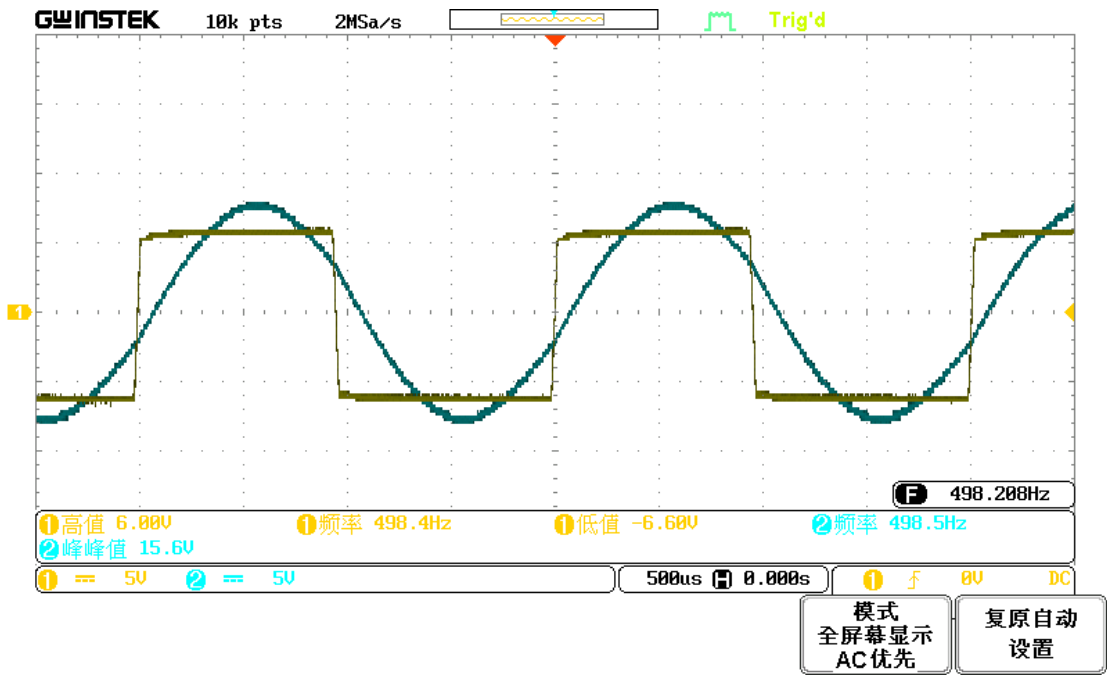


图 7

合成后的波：

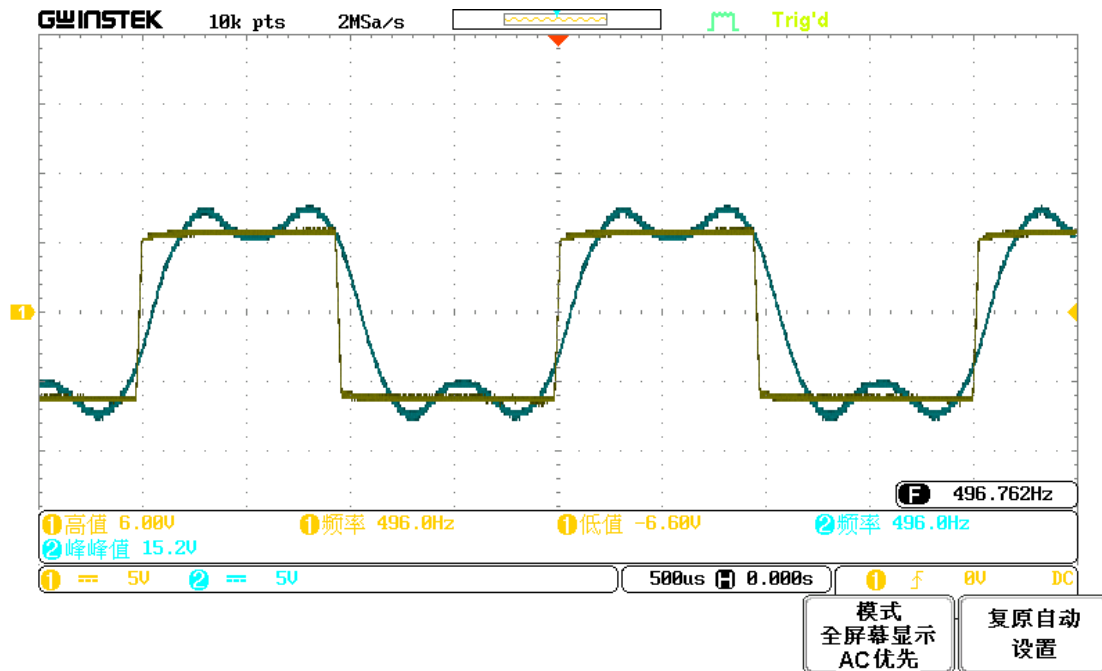


图 8

和仿真的比较结果：波形正确符合预期

(5) 调试中出现的故障、原因及排除方法：

- 故障：输出方波时发现负半周期的波形不对

原因：在面包板上，使用了两个稳压二极管，但是其中一个二极管的两端由于接错了，无法发挥功能。

排除方法：将该二极管的重新接好。

- 故障：三次谐波的波形有一些畸变，无论如何调整电位器都无法很好地工作

原因：电位器的电阻范围太小了

排除方法：从 1k 的电位器换到了 10k 的电位器，问题解决。

- 故障：最后叠加出来的波形不是理想中的波形，而是一个类似于方波的波形，很奇怪

原因：加法电路的比例过大，使波形出现了失真

排除方法：利用叠加定理，将其中一个信号源短接，然后每个按照系数慢慢调整电位器，最后再接上去看结果。

- 故障：示波器的波形不稳定，无法实现双踪

原因：由于电位器中的电阻不稳定

排除方法：所以应该对电位器进行调整，最后得到稳定的波形

- 故障：方波的占空比不是百分之 50

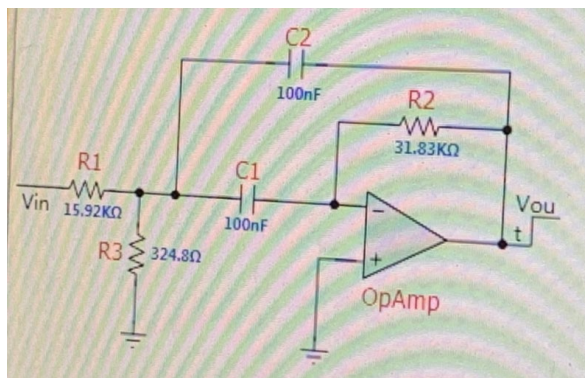
原因：电源不对称

排除方法：将直流电源调整到正负电压绝对值相同

五、实验总结

(1) 阐述设计中遇到的问题、原因分析及解决方法：

•在滤波电路，用 FilterPro 设计出来参数如下：（用实验室电脑做的，手机拍的图片，有点模糊，见谅）



显然，我们可以发现，图中元件参数是很精确的，很难达到指定值，因而需要进行调整，在不影响所滤出的波形的情况下改变参数，与电位器相互配合才可以使用。再调整过程中，使用观察波形法，对着波形进行电位器的调整。

•在设计中，很难确定自己的电路在实际中是否能发挥预期效果；设计经验不足，不够自信；将各个模块分开搭建，依次检验，确保各个模块正确。

•电路组合后，出现各种问题，可复现性不强，原因猜测是电路设计本身不成熟，实验操作不够严谨，元器件质量问题等；所以在实验过程中，要及时规范实验记录，学习正确的细致实验操作，更换瑕疵的元器件。

(2) 总结设计电路和方案的优缺点：

我的设计方案是，先产生方波，再分出两个支路分别生成基波和三次谐波，再通过移相电路使两个波形的相位符合要求，最终加在一起，确保波形正确。电路的设计思想较为常规，根据所要实现的功能分模块设计搭建、最后将各个模块级连即可。

优点：思路清楚，便于分模块进行进一步的检查，使用电位器代替电阻，可以调节方波频率，基波谐波幅度。

缺点：电路复杂，搭建、维护、调整麻烦，前面的变动会影响后面的电路。举个例子，当我调节前面的三次谐波的电位器的时候，后面的电路的电位器都要重新调整校准，不具有泛用性。

(3) 指出课题的核心及实用价值，提出改进意见和展望：

正弦波、三角波、锯齿波、方波、脉冲波这些基本波形在模拟声音合成中，是电压控制振荡器与低频振荡器的发生依据。在各种场合，我们未来会经常需要利用频谱分析滤出、合成各种波形，这次实验将对未来有不小的启发作用。

同时本次实验让我们更加熟悉傅里叶级数展开，对 Gibbs 现象的理解也更上一层楼。对于滤波器的设计也让我们学到了很多新的知识，而这些知识更加贴近于实际，特别是对 FilterPro 软件的学习和应用。

(4) 实验的收获和体会:

在本次实验中,我们成功地产生了方波信号,并且成功地滤出了方波信号的一次谐波和三次谐波,并重新合成产生近似的波形。让我们很神奇地在现实世界中如此直观清晰地看到傅里叶变换的效果,又一次感受到了模拟电路的美妙。

本次实验总体来说,设计并不困难,特别是滤波器部分,由于有软件地辅助,所以显得尤其的简单,但是在课堂上的搭接电路后的调试过程却十分令人难受。由于各种因素,导致电路的可复现性降低。但是同时,也更加锻炼我们设计电路,动手搭接以及调试的能力,在调试过程中遇到的问题进行分析与解决正是以后我们自己投入工作过程中不可或缺的能力,通过本次实验,我们深刻体会了信号的分解以及合成,更了解了滤波器的设计,和仿真过程,可谓是获益匪浅了。

本次实验总的来说还是比较有意思的,相比上一个三极管的实验更有意思一些。

六、 实验建议（欢迎大家提出宝贵意见）

多来一点这样的实验,减少类似三极管的那种偏纯测量数据的实验。这样的实验可以让我们学到更多的东西,做起来也更加具有趣味性。