
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

第三次实验

实验名称： 信号的产生、分解与合成

院（系）： 电子科学与工程专 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 5 月 13 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。

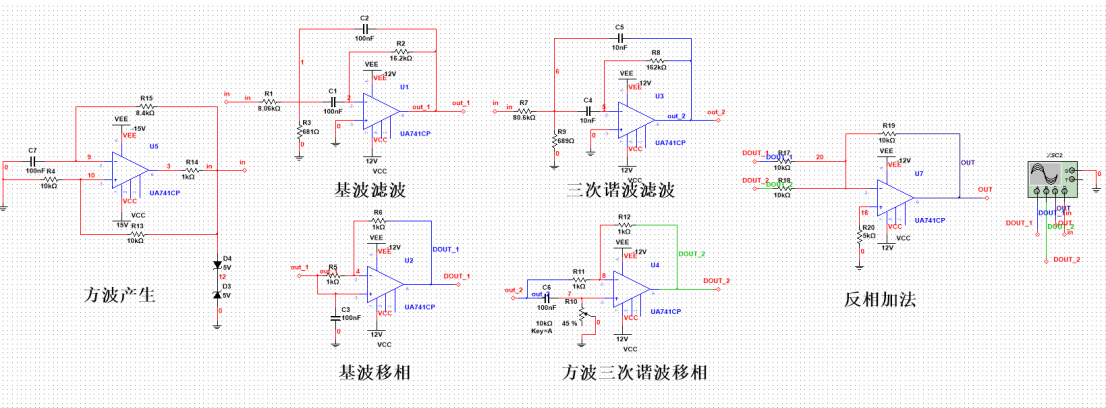
- (1) 设计一个方波发生器，要求其频率为 500Hz，幅度为 5V；
- (2) 设计合适的滤波器，从方波中提取出基波和 3 次谐波；
- (3) 设计移相电路，使高次谐波与基波之间的初始相位差为零。
- (4) 设计一个加法器电路，将基波和 3 次谐波信号按一定规律相加，将合成后的信号与原始信号比较，分析它们的区别及原因。

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。

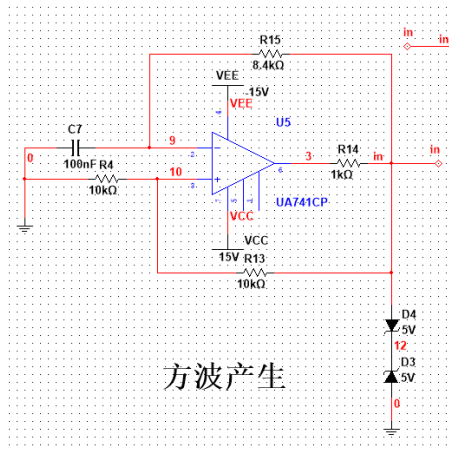
三、电路设计（预习要求）

- (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：

总体电路图：

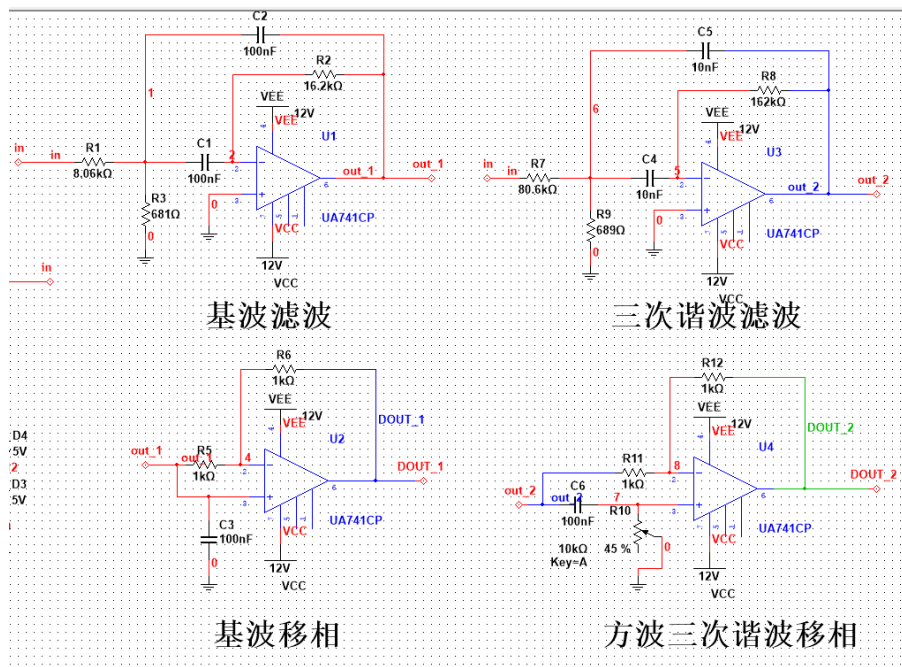


方波产生电路：



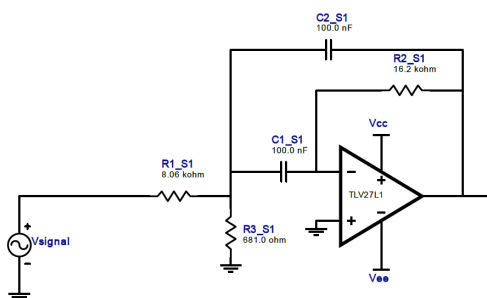
利用运放工作在非线性区的性质，当输出为正，输出端反馈给 2 端的输入电容，灌电流充电，直到 2 端电压大于 3，此时输出端跳变为负，电容反向放电，如此循环，通过稳压二极管来控制输出电压在确定的值。

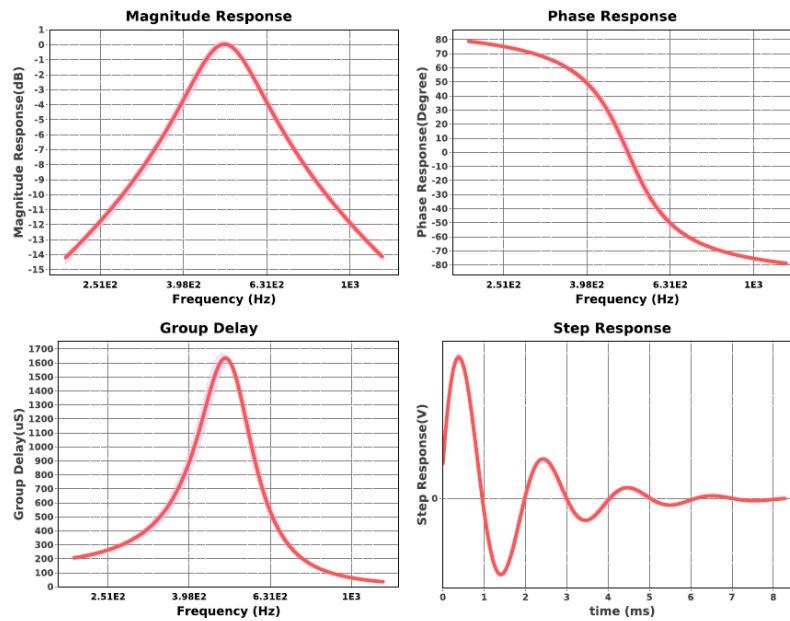
滤波移相电路：



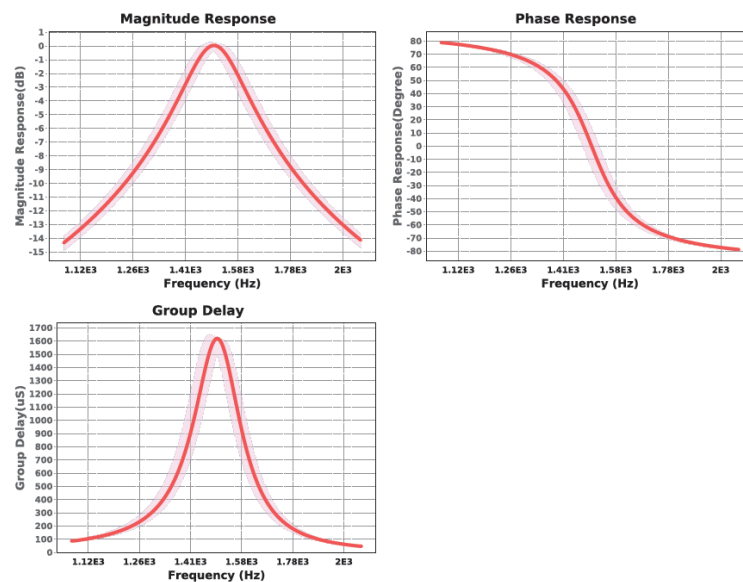
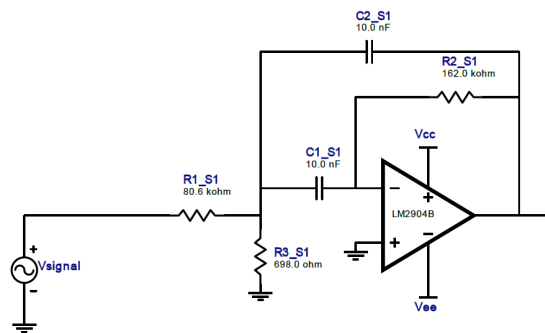
通过 filter pro 软件生成基波和三次谐波的滤波电路，选择二阶切比雪夫滤波器（搭建实物时三次滤波电路不止二阶滤波），中心频率分别为 500Hz 和 1500Hz，带通宽度为 100Hz。

基波滤波设计：



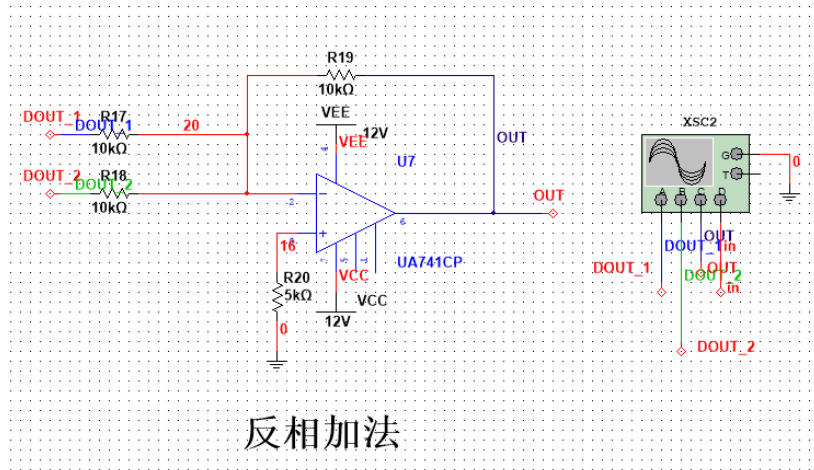


三次谐波滤波电路:

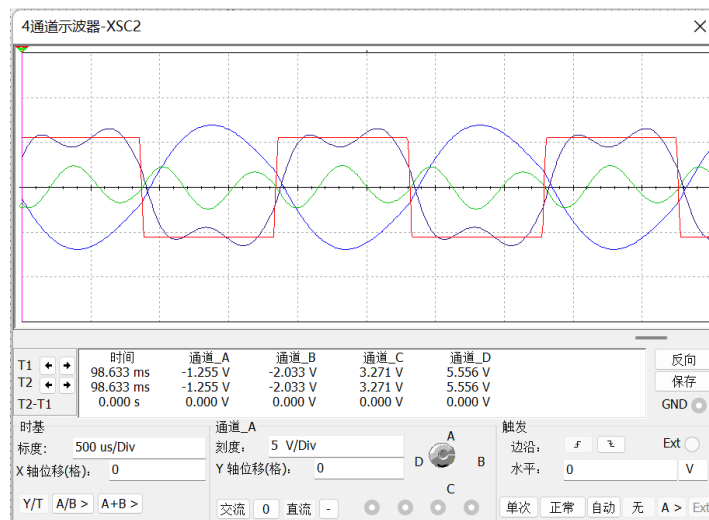


在移相电路中, 通过将滤波后的基波和三次谐波进行相位比较来确定需要如何移动波形, 注意接下来需要连接反相加法器, 因此在移频时就需要调整滤波波形和方波相位差 π 。

反相加法器:



- (2) 利用 EDA 软件进行仿真，并优化设计（对仿真结果进行分析）。
通过 Multisim 进行仿真得到电路波形如图：



红：方波输入；蓝：基波；绿：三次谐波；黑：合成波形
频率与方波频率一致，幅值也相差无几，表示电路正确。

- (3) 列出系统需要的元器件清单（请设计表格列出）：

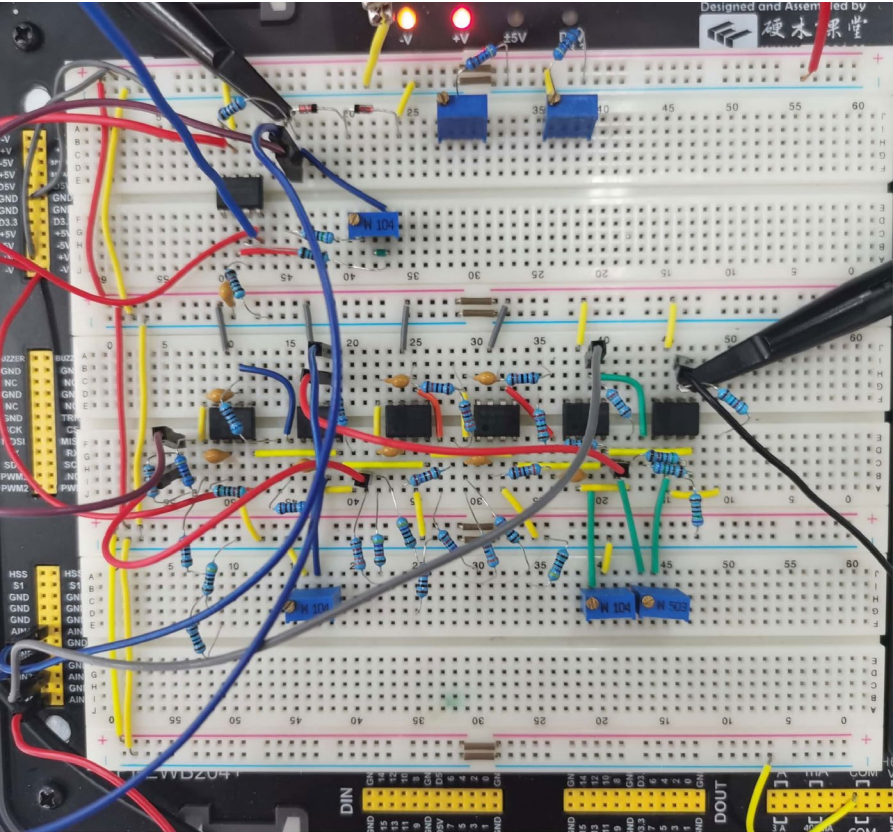
元件	类型	个数	元件	类型	个数
电阻	200 Ω	2	电阻	100k Ω	1
	330 Ω	1		270k Ω	1
	1k Ω	3		330k Ω	2
	5k Ω	1	电容	0.1nF	1
	9.1k Ω	2		10nF	2
	10k Ω	2		100nF	5
	15k Ω	2	电位器	100k Ω	2

	30k Ω	2	稳压二极管	6V	2
	33k Ω	3	运算放大器	741	6

表格 1

四、 硬件电路功能与指标，测试数据与误差分析（实验要求）

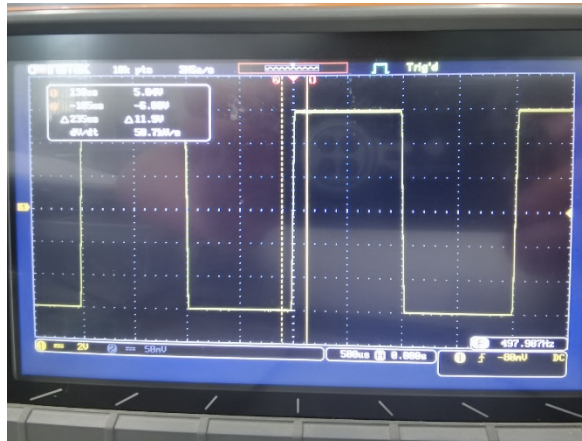
(1) 硬件实物图（照片形式）：



最上方为方波产生电路；最左边两个运放是基波滤波和移频；中间三个是三次谐波滤波（滤波了两次）和移频；最后一个是反相加法电路。

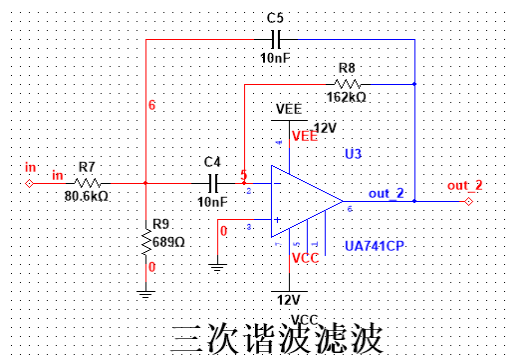
(2) 制定实验测量方案（例如测量条件，使用仪器仪表等等）：

1、用数字存储示波器测量方波产生的信号，测量幅度、频率，调节电位器，使频率为 500Hz。并通过稳压二极管钳位将输出幅值稳定在 6V。波形如下：



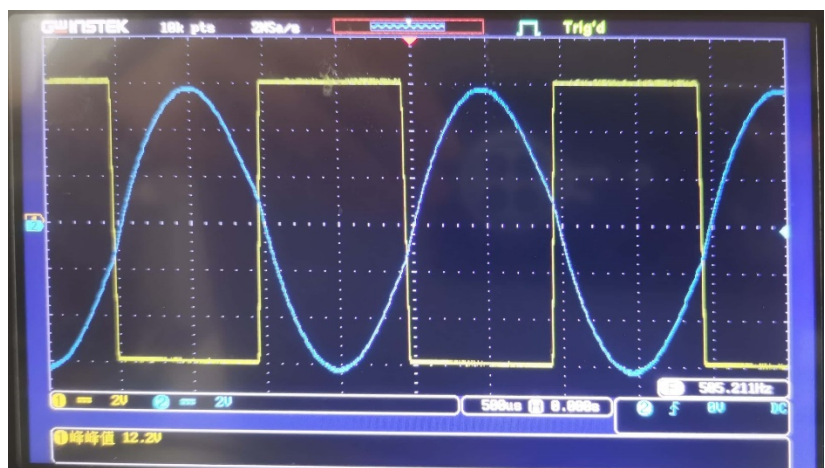
2、用双踪示波器分别测量方波和滤波器输出，调节电位器，使 2 组滤波器分别输出基波、3 次谐波。

由于三次谐波通过二阶滤波器的效果仍然不是很理想，因此在滤波后的输出后面再加一级相同的滤波器，即为仿真电路中的



3、用双踪示波器分别测量方波和经过调相电路的信号输出，分别使基波、3 次谐波与方波同相位。

基波及其参数：



三次谐波及其参数:

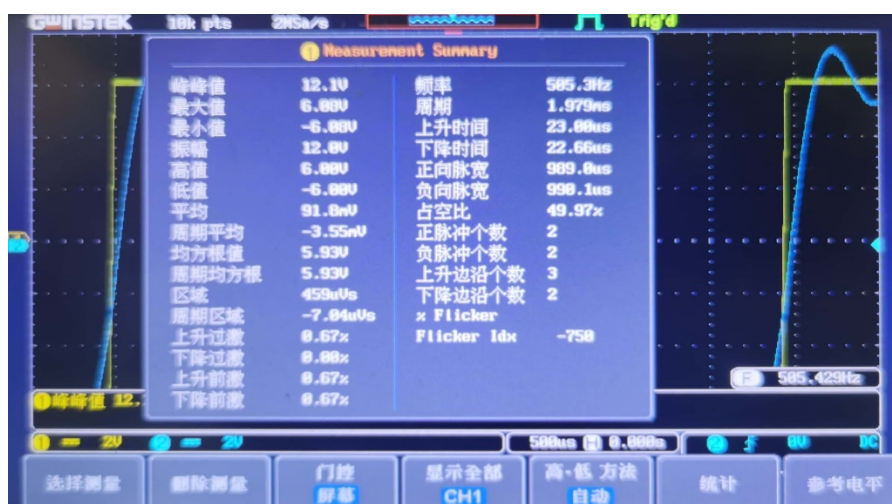




4、加法电路中，分别将其中一路谐波输入信号输入，其余接地，通过双踪示波器观察，调节电位器，使之输出幅度满足傅里叶系数。

5、将两个信号叠加，观察示波器波形，与原方波对比。

叠加后的波形及参数如下：



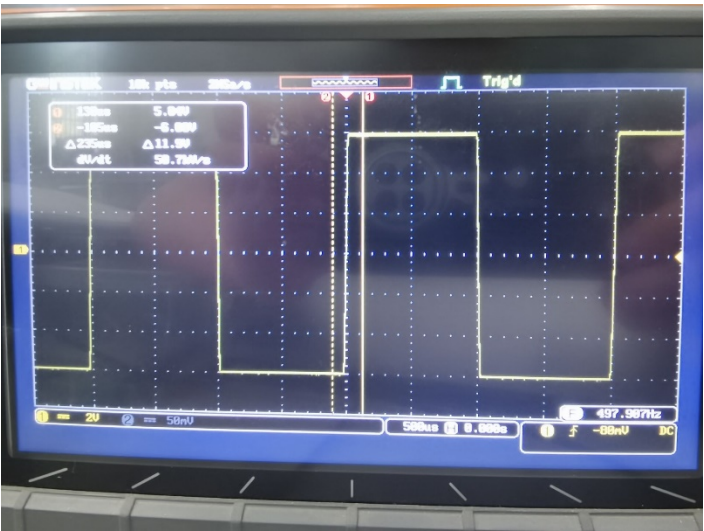
(3) 调试电路的方法和技巧：

- 1、测试各级输出，一级一级检查。
- 2、用双踪示波器对比方波和各级滤波结果。
- 3、在反相加法器和移相电路中选择电位器作为输入或者反馈电阻，方便连续调节

波的相位和幅度。

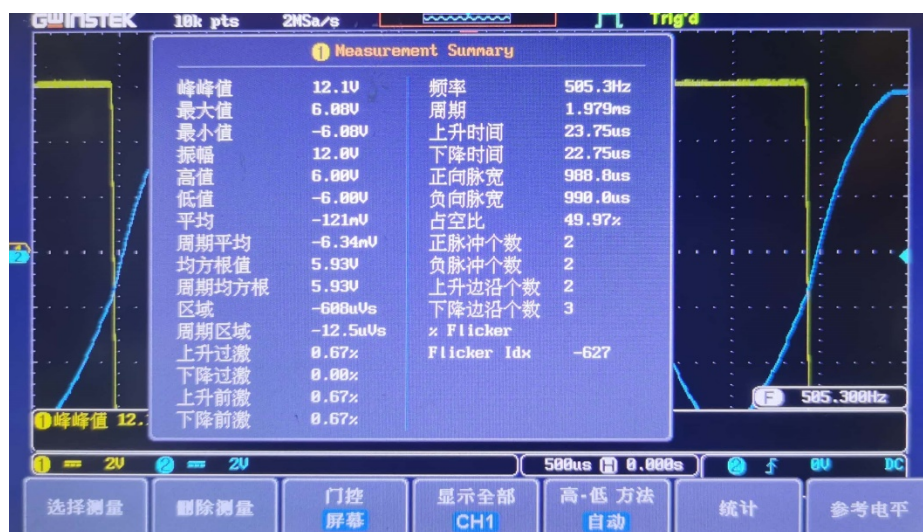
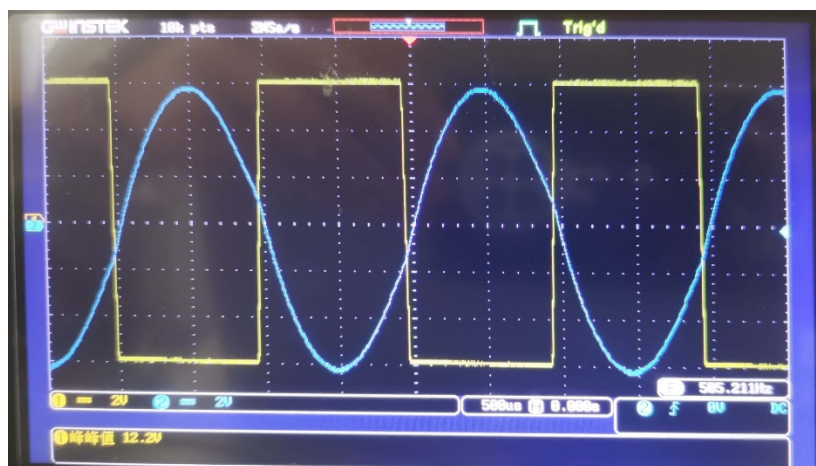
(4) 测试的数据和波形并与仿真设计结果比较分析：

波形如下：



分析：使用 5.1V 的稳压管，由于二极管会分掉部分电压，因此输出峰峰值为 12V，在误差范围内与理论值一致，频率为 498Hz，电路正确。

基波及其参数：



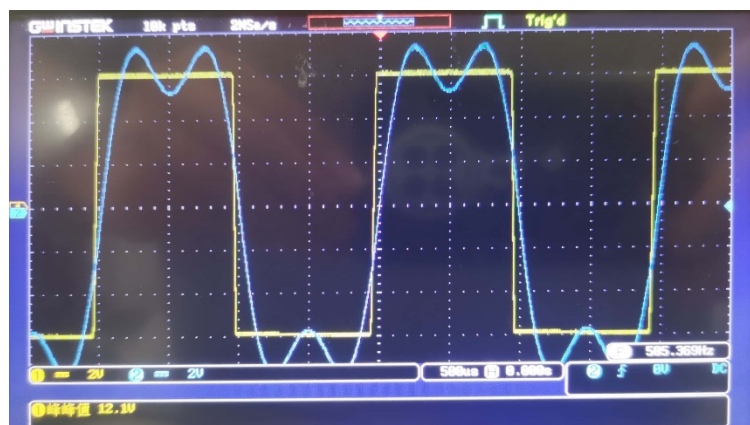
分析：滤波得到的基波峰峰值为 12V，频率与方波频率差不多，电路除了幅度（后面通过加法器调整）其余正确。

三次谐波及其参数：





分析：滤波得到的三次谐波峰峰值为 1.26V，频率约为基波频率的三倍，电路正确叠加后的波形及参数如下：



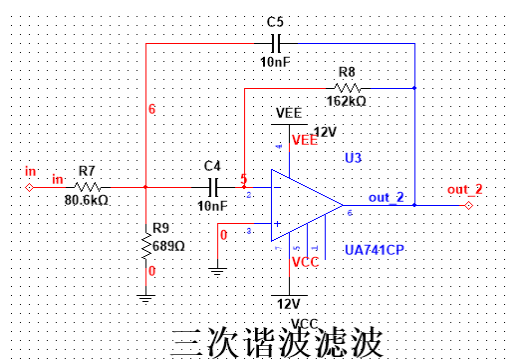
分析：通过调节加法电路的放大比例叠加得到结果的波形，频率约为 500Hz，峰峰值与方波峰峰值略有误差。

(5) 调试中出现的故障、原因及排除方法：

1、由于和理想情况下有偏差，滤波电路和移频电路中电阻电容的时间常数比较大，电容并没有完全充分的充放电，因此输出的基波和三次谐波都比理论值小，特别是三次谐波，和理论值相差大约有一倍。

解决办法，在随后的反相加法电路中，通过改变输入和反馈电阻改变每个输入端的放大倍数，将其放大为正常的幅值。

2、由于三次谐波通过一个二阶滤波器的效果仍然不是很理想，波形会上下跳变，因此在滤波后的输出后面再加一级相同的滤波器，即为仿真电路中的



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：

1、经过一次滤波器后，其他谐波分量没有完全消失：

滤波器对其余频率并不是完全阻挡，会存在一个衰减幅度，只是一次滤波，其它部分谐波分量为完全衰减。采用多次滤波的方式来消除其他谐波分量，从而得到该次谐波分量。尽管设计的滤波器增益为 0dB，但此方法仍然会带来输出波形的幅度衰减。

2、合成波形的高低电平与原始方波信号有较大差距：

可能是加法器对各个分量的增益不对。原因是滤波电路和移频电路中电阻电容的时间常数比较大，电容并没有完全充分的充放电，因此输出的基波和三次谐波都比理论值小，特别是三次谐波，和理论值相差大约有一倍。解决办法是将每个分量单独接入加法器，利用示波器检测输出波形的幅度，将其与理论计算值进行对比，调节输入和反馈电阻使得输出波形接近理论值。

(2) 总结设计电路和方案的优缺点：

优点：电路较为稳定，实验结果与理论结果符合度较高；滤波电路使用了多个滤波器叠加，输出波形较为稳定，有利于后续的波形合成。

缺点：滤波电路使用了多个滤波器叠加，电路结构较为复杂；电阻电容通过串并联得到仿真阻值，这与理论计算得到的会存在略微误差，从而导致实验误差，同时也会使接入的电阻数目增多，电路变得更加复杂。

(3) 指出课题的核心及实用价值，提出改进意见和展望：

本课题让我们实际体验了信号分解与合成、再与原信号比较的过程，有利于我们对基本概念的理解与掌握。

(4) 实验的收获和体会：

本次实验难度相较于以前的实验在实物搭接部分有了较大的提升。通过本次实验，我掌握了利用 filter pro 软件自主设计滤波器电路的方法，并对信号分解与合成、再与原信号比较的过程有了更为深刻的理解，有利于相关知识的理解与掌握。

本次实验更加体现了模块化设计的重要性。若直接设计全部电路，后期调试极为繁琐；但若再每个模块调试好后再一起接入总电路，基本上就不会出现太大的问题了，就算出现问题，也可以按照模块去按个进行检查，提高了效率。