

浙江大学实验报告

专业：电子信息工程

姓名：邢毅诚

学号：3190105197

日期：2021-3-29

地点：东三-406

课程名称：电网络分析

指导老师：姚纓英

成绩：

实验名称：信号的分解与合成

实验类型：验证实验

同组学生姓名：无

一、实验目的

- (1) 掌握构建提取基波与三次谐波的方法
- (2) 进一步熟悉加法器的应用

二、实验基本内容

- (1) 设计合适的功能电路，从方波中提取出基波和三次谐波，再将他们按照方波组成时的幅值和相位关系合成
 - 设计合适的滤波器提取出基波和三次谐波
 - 如果需要设计比例放大和移相电路，针对提取出的谐波分量，按照傅里叶级数的规律，调整各幅值和相位；
 - 构造一个加法器电路，将 1、3 次谐波信号相加，将合成后的信号与原始信号比较。
- (2) 按照原理图配置元件参数，连接电路，对其进行调试以实现功能。测试合成波形的各种参数，评定合成效果。

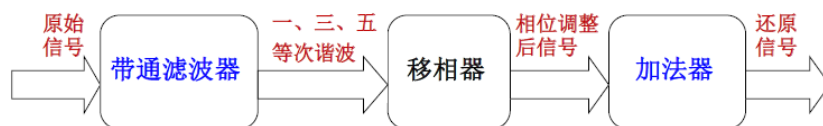


图 1: 合成原理图

三、实验原理与电路设计

1. 实验原理

根据，傅里叶级数分解，我们可以将方波分解为：

$$f(t) = \frac{4U}{\pi} (\sin(\omega_1 t) + \frac{1}{3} \sin(3\omega_1 t) + \frac{1}{5} \sin(5\omega_1 t) + \dots)$$

具体图像如下图所示：

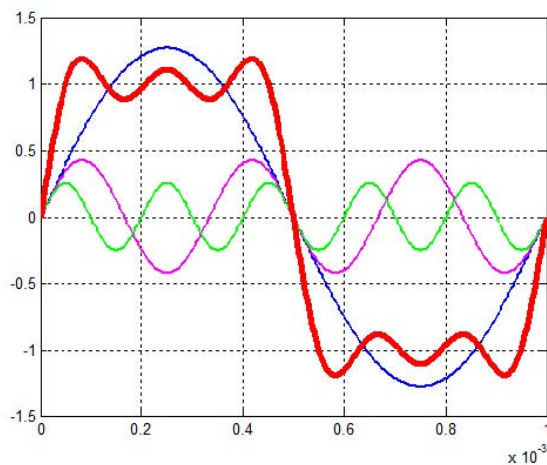


图 2: 波形分解图

图中波形曲线分别为：原波形（黑色），基波（蓝色），三次谐波（紫色），五次谐波（黄色）。

为了提取响应频率的波形，我们可以采用带通滤波器，它可以筛选出特定频率的波形，具体频率特性如下图所示：

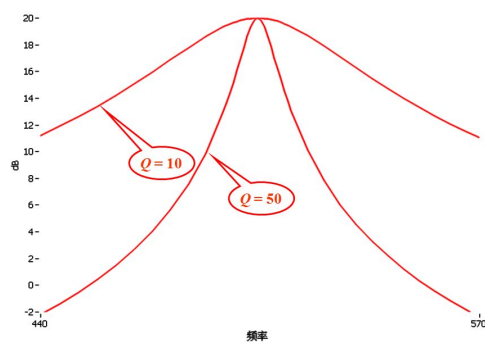


图 3: 带通滤波器幅频曲线

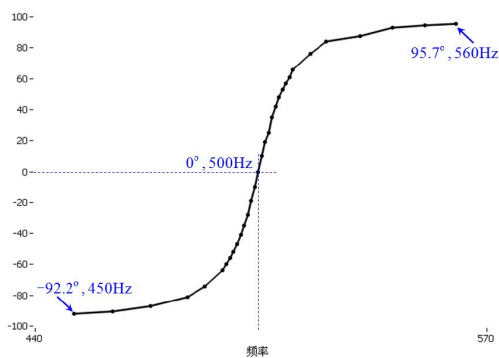


图 4: 带通滤波器相频曲线

其具体电路图如下图所示：

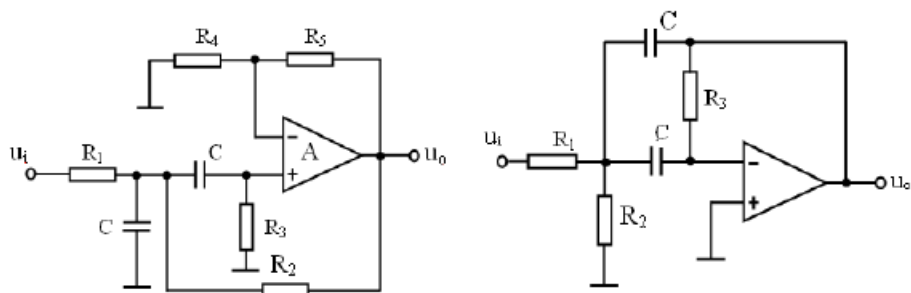


图 5: 带通滤波器电路图

但观察滤波器的相频曲线我们可以知道，其提取的波形往往与原波形有一定的相频差值，这时我们可以选择加入一个移相器，使其相位变为与原信号相同的相位，具体电路图如下图所示：

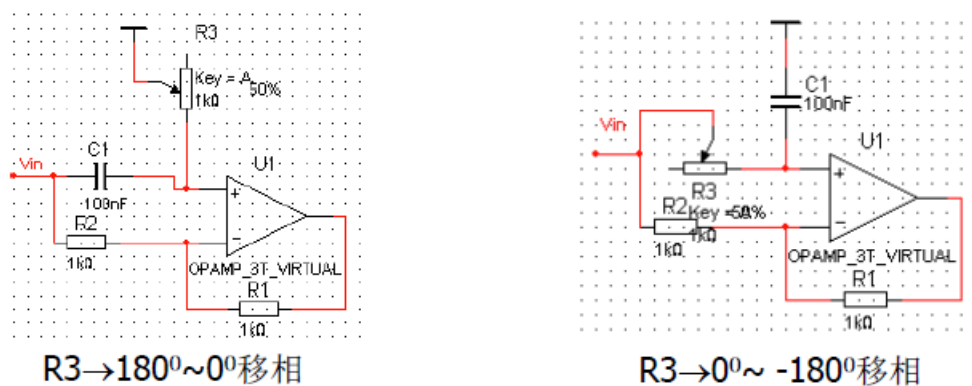


图 6: 移相器电路图

最后，我们可以使用一个加法器将二者的波形叠加，形成我们想要获得的波形

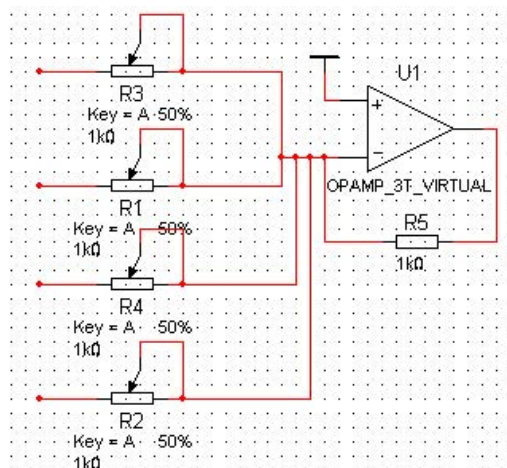


图 7: 加法器电路图

2. 电路设计

• 滤波器设计

在本次实验中，我们采取如下图所示的电路图：

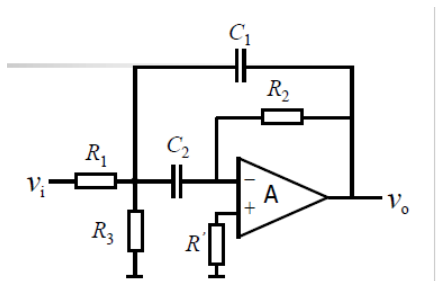


图 8: 滤波器设计电路图

经过理论计算，我们可以计算出输出的各参数数据如下图所示：

$$A_0 = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{C_2}{C_1 + C_2} \quad (1)$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{C_1 C_2 \cdot \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 + R_3}}} \quad (2)$$

$$Q = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} R_2 2\pi f_0 \quad (3)$$

$$BW = \frac{1}{\pi R_2 C} \quad (4)$$

由于考虑到实验要求为分别提取基波以及三次谐波，同时，为了保证基波与三次谐波的放大倍数大致相同 (均为 1)，设定参数如下所示：

$$R_1 = 5.1K \quad (5)$$

$$R_2 = 10K \quad (6)$$

$$C_1 = C_2 = 0.1\mu F \quad (7)$$

当提取基波时：

$$R_3 = 266.54\Omega \quad (8)$$

当提取三次谐波时：

$$R_3 = 28.30\Omega \quad (9)$$

其中，由于 R_3 的数据并不能通过电阻的串并联直接取到，因此我们将其分别连接到 10K/1K 电位器进行调节。

此时，可以计算出，基波的频率为：

$$f_0 = 1KHz \quad (10)$$

三次谐波的频率为：

$$f_0 = 3KHz \quad (11)$$

- 加法器设计

本实验中选取加法器电路图如下图所示：

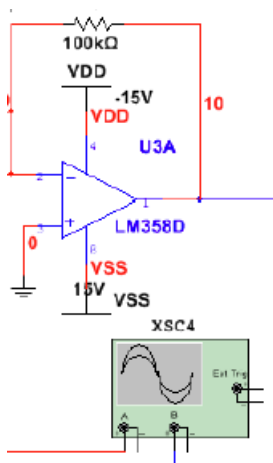


图 9: 加法器设计电路图

在本次实验中，我们并没有选择移相器以使得基波与三次谐波同向。

四、 实验数据

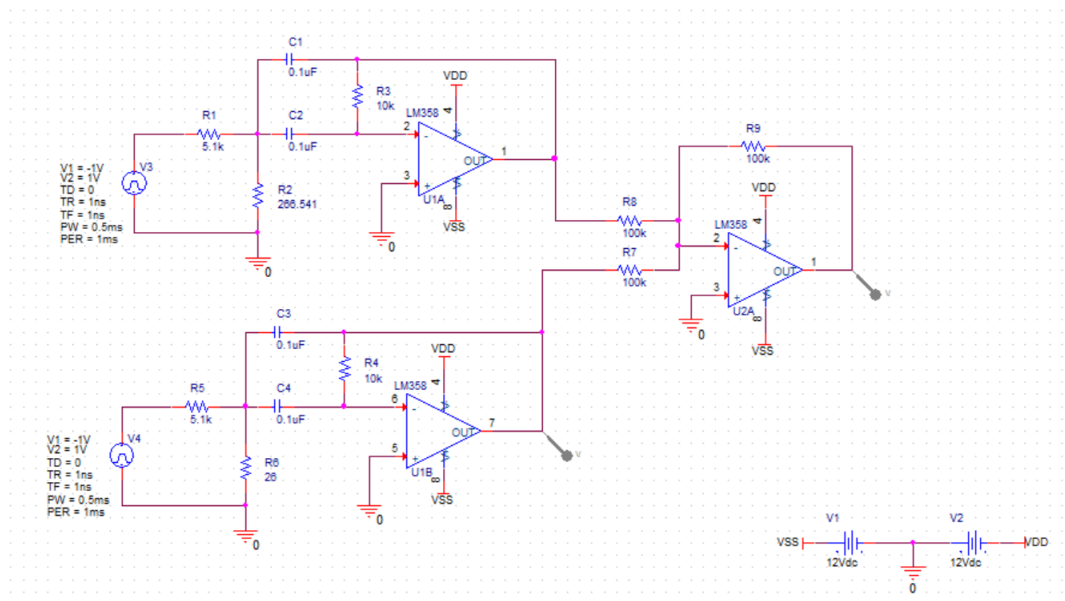


图 10: 电路参数图

• 实验部分

按照要求连接电路，测得提取的基波波形如下图所示：

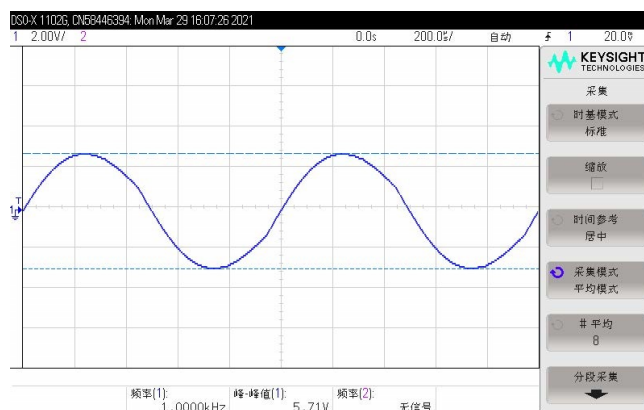


图 11: 基波提取

测得提取的三次谐波波形如下图所示：

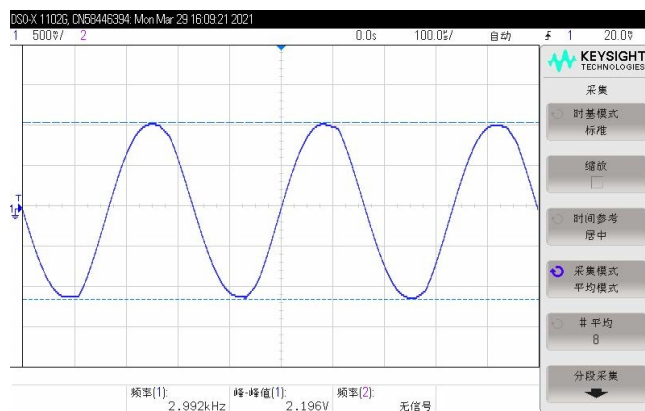


图 12: 三次谐波提取

二者进行相加，测得波形如下图所示：

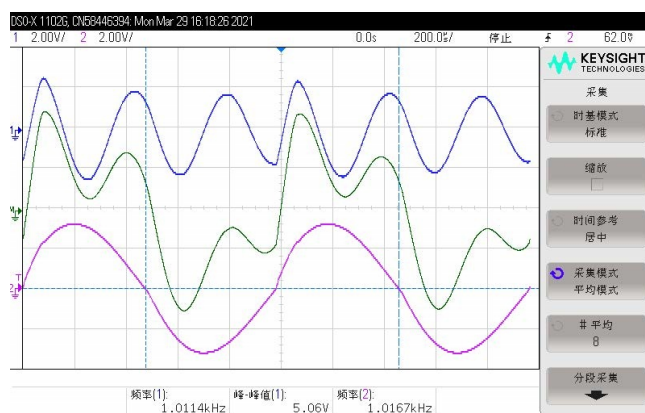


图 13: 信号合成图

- 仿真部分

按照此电路图连接进行仿真：

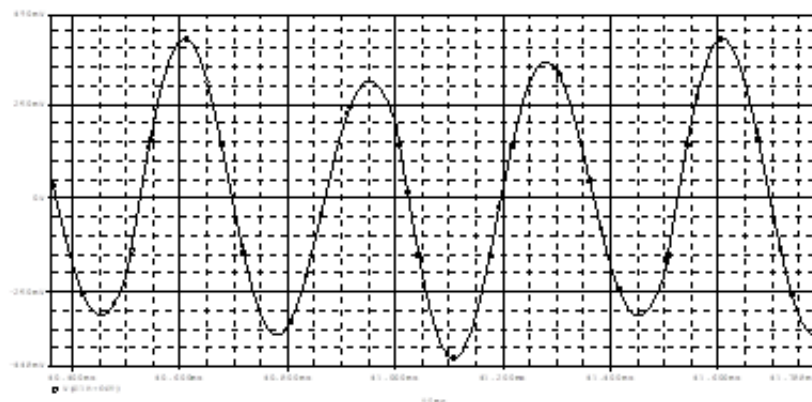


图 16: 三次谐波提取

二者进行相加，测得波形如下图所示：

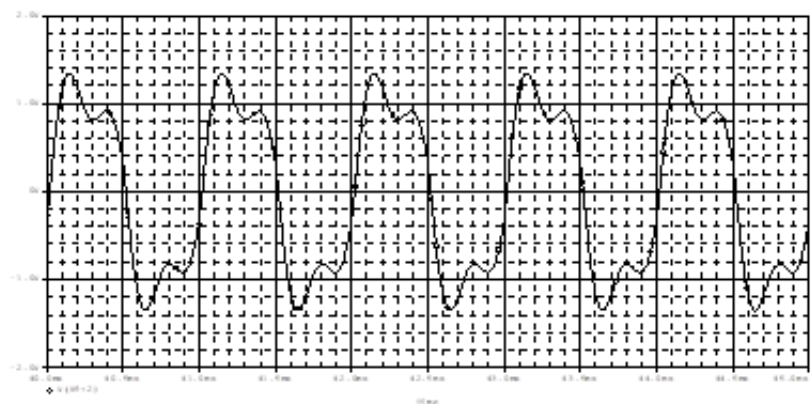
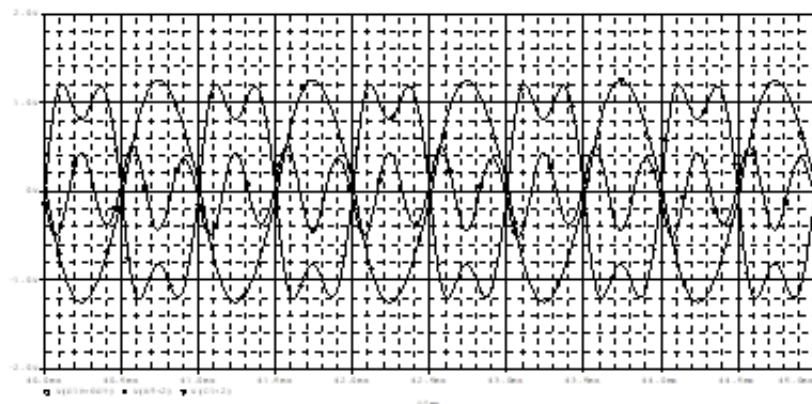


图 17: 信号合成图

可以看到波形并不是十分完美，原因是提取的基波或三次谐波相位产生变化造成的，通过理论计算，我们将提取三次谐波中的 R_3 电阻值设定为 26Ω ，此时产生的波形如下图所示：

图 18: 信号合成图- $R_3 = 26\Omega$

最后，对滤波器进行频域分析，我们可以得到其幅频特性曲线：

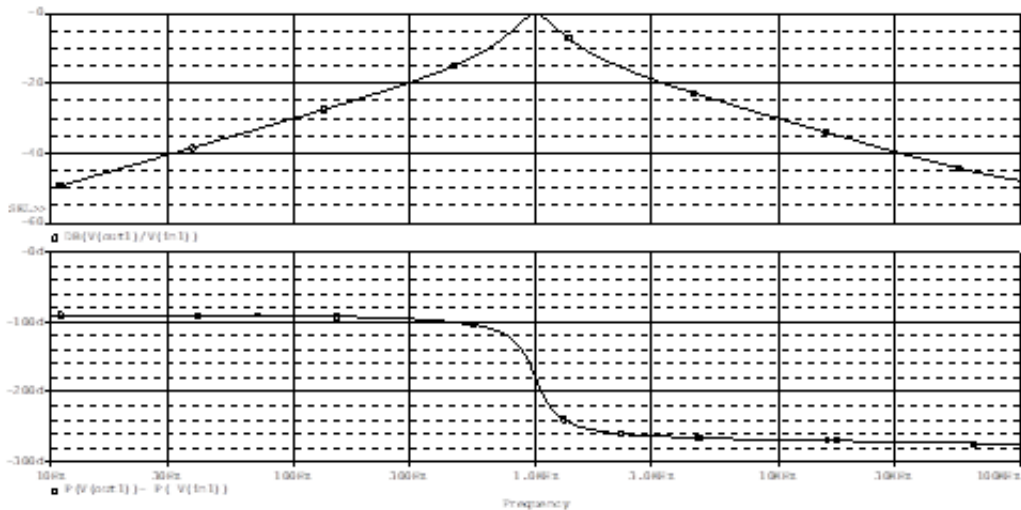


图 19: 1K 滤波器-幅频曲线

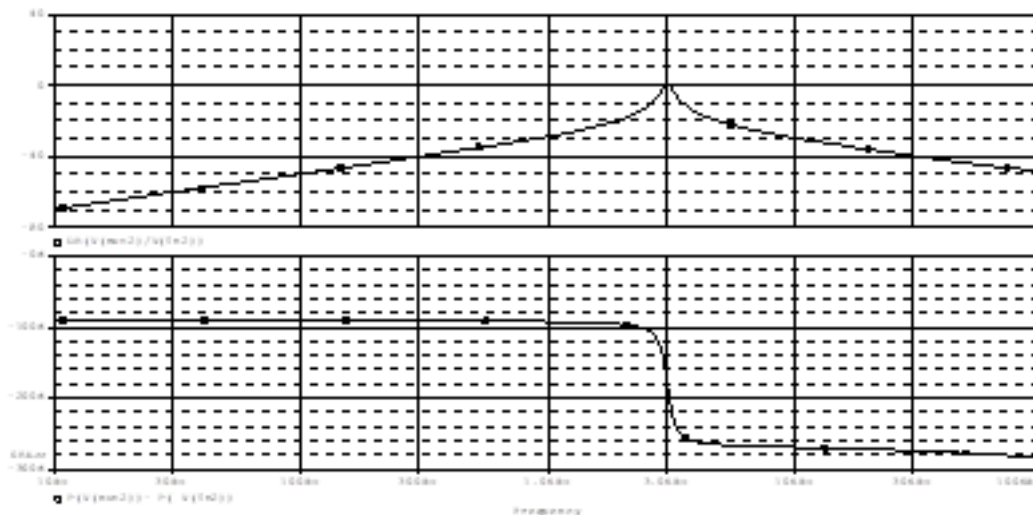


图 20: 3K 滤波器-幅频曲线

五、心得与体会

在本次实验中，我们进行了信号的分解与合成的相关实验。这次实验需要我们自己设定参数，但设定参数的过程往往并不简单，需要考量其对多个参数的影响。同时，我认为选取的参数最好应大致位于同一个数量级之上，否则由于误差等原因，会对实验精度造成较大的影响。

另外，我们小组在本次实验中并不顺利，重复做了四次实验，还是无法提取三次谐波，但基波却可以正常提取。当我们把提取基波参数更改为三次谐波的参数，便可以顺利进行提取，经过仔细排查，我们认为 LM358 其中的运放出现了问题。