

# 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： 2020-12-7

地点： 东三-406

课程名称： 电路与电子技术实验

指导老师： 姚缨英

成绩：

实验名称： 调谐电路功效的研究

实验类型： 探究实验实验

同组学生姓名： 郑冰阳

## 一、 实验基本内容

### 1. 基本要求

- (1)  $L = 40\text{mH}$ ,  $C = 0.1\text{ F}$ ,  $R = 100\ \Omega$ , ( $L = 20\text{mH}$ ,  $C=0.1\text{ F}$ ,  $R=100\Omega$ ), 电路输入端接正弦信号源  $<5\text{V}$ , 测  $U_R, U_L, U_C, U_{LC}$  的幅频特性。记录信号源空载时的输出电压值并在频率改变的过程中保持信号源电压等于该空载电压值。
- (2) 比较  $Q$ ,  $\omega_0$ ,  $BW$  的测量结果与理论值, 并说明原因。
- (3) 谐振频率下, 测量线圈等效电阻, 信号源内阻。

### 2. 提高要求

- (1) 电路输入端接方波信号源。观测  $U_R$  波形; 什么条件下能够得到较理想的正弦波; 通过信号源与输出信号频谱的区别加以分析说明。

### 3. 拓展要求

- (1) 完成上次课的谐振法测动态元件参数
- (2) 利用频率特性设计信号处理电路
  - 设计要求 1: 输入信号位  $1\text{V}$ ,  $1\text{KHz}$  与  $1\text{V}$ ,  $20\text{KHz}$  正弦波信号的合成, 请设计  $RLC$  电路使得一路输出为  $1\text{KHz}$  信号, 另一路为  $20\text{kHz}$
  - 设计要求 2: 若想从  $5V_{pp}$ ,  $1\text{KHz}$  的方波中提取基波成分, 请列举出两种以上的设计方案。若要提取的是三次谐波呢?
  - 设计要求 3: 你能给出一个基于频率特性的测量需求吗?

### 4. 实验原理-基本要求

- (1)  $0.1\text{ F}$ ,  $R = 100\ \Omega$ , ( $L = 20\text{mH}$ ,  $C=0.1\text{ F}$ ,  $R=100\Omega$ ), 电路输入端接正弦信号源  $<5\text{V}$ , 测  $U_R, U_L, U_C, U_{LC}$  的幅频特性。记录信号源空载时的输出电压值并在频率改变的过程中保持信号源电压等于该空载电压值。

幅频特性指的是在某一特定电路中，在输出电压峰峰值固定的情况下，待测元件上，电压与输出信号频率的关系。在 RLC 电路中，不同待测元件的频率特性曲线如下图所示：

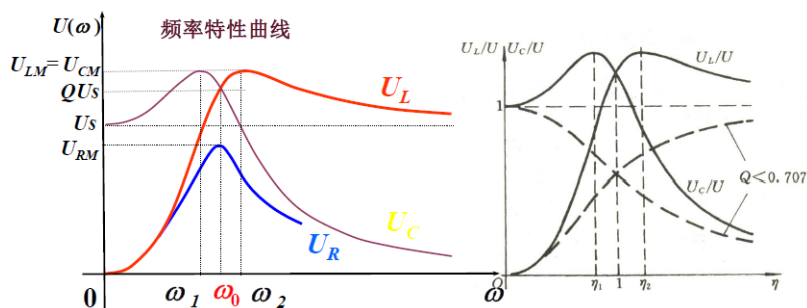


图 1: 电阻变化与旋头旋转圈关系

通常来讲，决定频率特性曲线的因素有  $Q$ ,  $\omega_0$ ,  $BW$ :

其中  $BW$  为通带宽

$$BW = \omega_2 - \omega_1 = \frac{R}{L}$$

$Q$  为品质因数:

$$Q = \frac{\omega_0}{\omega_2 - \omega_1} = \frac{\omega_0}{BW}$$

$\omega_0$  为谐振频率

对于此实验，我们可以采用以下几种方法进行测量：

- 电测法 (电压表/示波器)

测量电路中相关元件的幅频特性的电路图如下图所示：

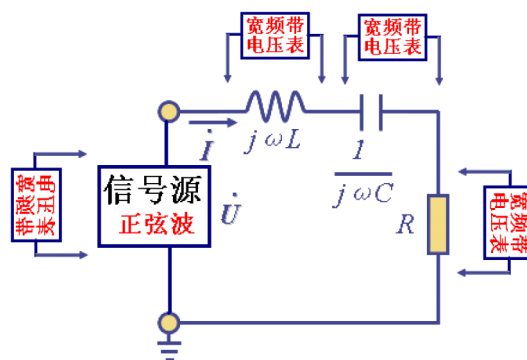


图 2: 测量频幅特性电路图

将示波器连接在待测元件两端，开启信号源输入，我们便可以计算得出待测原件在此时的电压，逐步改变频率，待测元件两端的电压便会发生变化，将不同频率时的电压进行记录，我们便可以画出此原件的幅频特性曲线。

另外，需要注意的是，信号源以及示波器必须共地，即示波器以及信号源的黑表笔必须连接在一起，才能进行测量。在测量某一电路元件的幅频曲线时，我们要将其一端与示波器和信号源的黑表笔相连。

在测量时，我们可以一次测量两个元件的幅频特性曲线，例如：我们要测量  $U_R, U_L$  的幅频特性曲线时，我们可以测量  $U_R, U_{LR}$  的幅频特性曲线，通过示波器的“MATH”功能，我们可以进而计算出  $U_{LR} - U_R$  即  $U_L$  的波形，进而测量出频幅特性曲线。

在进行曲线绘制时，我们会观察到示波器的测量的电压出现极值（最大值或最小值），此时，电路发生谐振现象，我们需要找到此点的频率，并进而测量出通带宽等相关参数。

- 扫频法

信号发生器的 sweep 信号可以调节输出频率，实现自动等距增加频率，根据此特性，我们可以使用信号发生器的 sweep 信号实现待测原件的幅频特性的测量。另外，为使得示波器测量得到的高频低频信号较为清晰，我们将信号发生器的 sweep 模式调节至对数输出以使得高频与低频更加容易进行区分。

在进行实验时，我们按照图 1 连接电路，并设置示波器的时基模式为较大值，通过示波器显示的扫频信号包络即为改滤波器的频响曲线。

- 内置分析功能

示波器内置有频率响应分析功能 (FRA)，其功能控制内置波形生成器跨频率范围扫描正弦波，同时测量被测设备 (DUT) 中的输入和输出。在每个频率上都会测量增益 (A) 和相位，并绘制在频率响应波特图上。

- 自动化测量

我们可以使用编程软件进行设计并实现相关功能，进而实现幅频曲线的自动化测量。

(2) 比较  $Q$ ,  $\omega_0$ , BW 的测量结果与理论值，并说明原因。

通过理论计算，我们便可以计算出相关公式：

$$BW = \omega_1 - \omega_2 = \frac{R}{L}$$

$$Q = \frac{\omega_0}{\omega_2 - \omega_1} = \frac{\omega_0}{BW}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{2\pi LC}$$

根据这三个公式，我们可以计算出其相关特性的理论值，另外，我们在测量过程中，也可以测得响应的理论值

其中，BW 为  $U_L$  取最大值的时候的  $\omega_2$ ，以及  $U_C$  取最大值的时候的频率  $\omega_1$  的差值， $\omega_0$  为发生谐振频率时的频率，即电阻电压  $U_R$  取最大值的时候， $Q$  为品质因数，为在频率取  $\omega_0$  的时候，电容电压以及电感电压与其峰值的比值。

(3) 谐振频率下，测量线圈等效电阻，信号源内阻。

## 5. 实验原理-提高要求

- (1) 电路输入端接方波信号源。观测  $U_R$  波形；什么条件下能够得到较理想的正弦波；通过信号源与输出信号频谱的区别加以分析说明。

我们在 multisim 中按照如下方式连接电路：

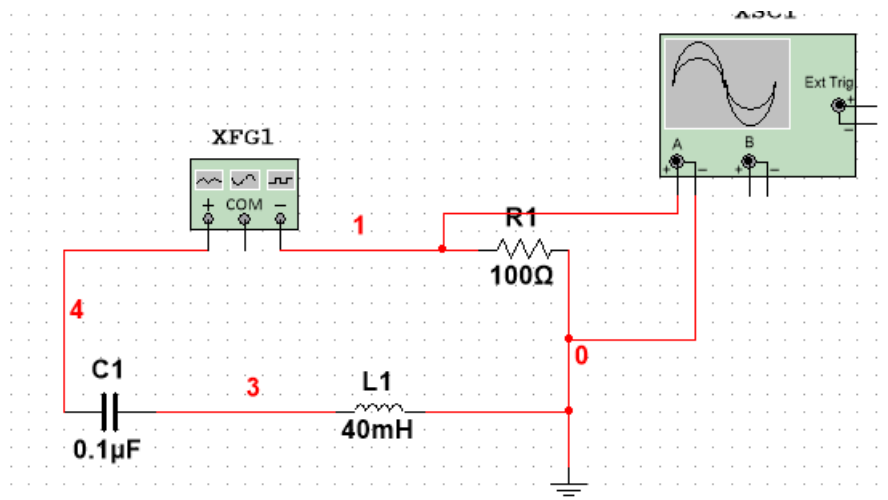


图 3: 电路原理图

并设置信号发生器波形为方波，进行输出，观测示波器波形即可得到  $U_R$  波形。

另外，我们还可以使用模拟示波器中的 FFT 模式进行测量，按照图 2 所示连接电路图，并使用示波器测量电阻的电压，将信号发生器输出调节方波，调节示波器并观测其波形即可。

## 6. 实验原理-拓展要求

- (1) 完成上次课的谐振法测动态元件参数

见实验报告—2

- (2) 利用频率特性设计信号处理电路

- 设计要求 1: 输入信号位 1V, 1KHZ 与 1V, 20KHZ 正弦波信号的合成，请设计 RLC 电路使得一路输出为 1KHz 信号，另一路为 20kHz

为实现 RLC 电路，使得 1 条路可以输出频率为 1KHz 的信号，而另一路频率为 20KHz 的信号，我们需要设计两条输出电路——一条电路只能通过低频信号，而另一条支路只能通过高频信号。

而同时，我们还可以计算得到，电路中各个元件的电压与频率变化关系如下所示：

$$U_R(\omega) = \frac{UR}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}$$

$$U_C(\omega) = \frac{U}{\omega C \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}$$

$$U_L(\omega) = \frac{U\omega L}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}$$

$$U_{LC}(\omega) = \frac{U(\omega^2 LC + 1)}{\omega C \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}$$

通过观察公式，以及测量出的电路图，我们可以得出：电容电感串联具有带阻特性，而电阻具有带通特性，电感具有高通特性，而电容具有低通特性。

因此，我们有以下几种方案进行测量：

- (a) LC 元件阻高频 (阻挡 20KHz, 输出 1KHz), R 元件通高频 (阻挡 1KHz, 输出 20KHz);  
抑或是 LC 元件阻低频 (阻挡 1KHz, 输出 20KHz), R 元件通低频 (阻挡 20KHz, 输出 1KHz)
- (b) L 元件通高频, C 元件通低频
- (c) C 通高频, LC 阻高频; L 通低频, LC 阻低频

这三种方法都有各自的优缺点，其中方法 (a) 只能两个频率的信号，当输入中存在杂波或者多个波时，此电路并不能有效的处理；而方法 (b) 可能并不能完全去除其他波形，输出的干扰可能有些大；而方法 (c) 负载的变化可能会对电路造成较大的影响，在本次实验中，我们选择方法 (b) 进行实验：

电路图如下图所示：

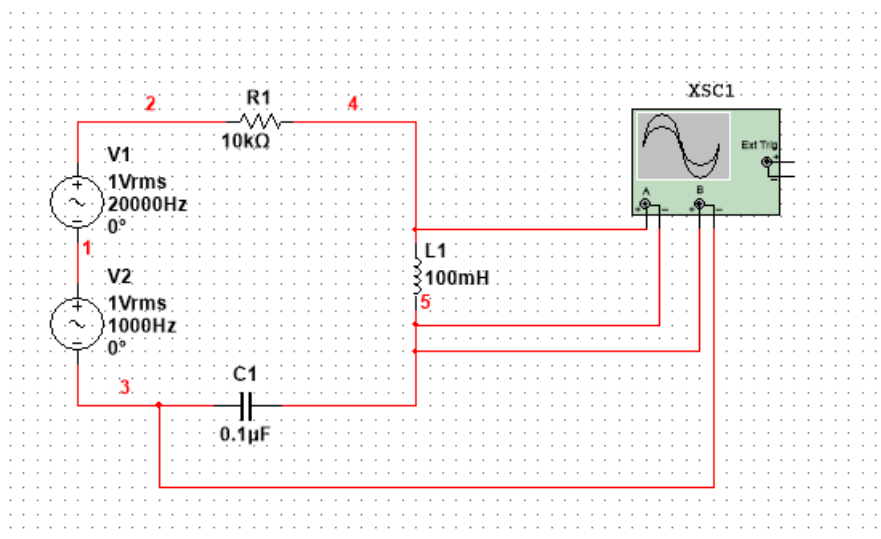


图 4: 电路原理图

按照此图连接电路后，分别调节电感，电容以及电阻参数，并不断进行尝试，便可取得最佳的输出相关参数 (在实验过程中应该注意：选取的电路元件的参数应该在实际应用是存在的且合理的)

- 设计要求 2: 若想从  $5V_{pp}$ , 1KHz 的方波中提取基波成分，请列举出两种以上的设计方案。若要提取的是三次谐波呢？

设方波波形如下图所示：

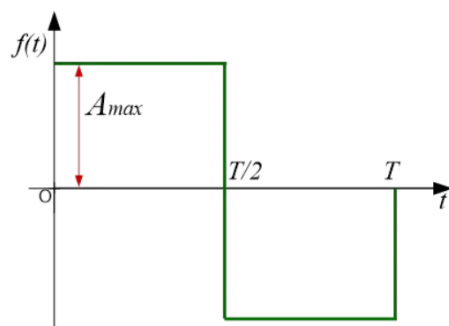


图 5: 方波输出函数

则方波的傅里叶展开公式如下图所示：

$$f(t) \sim \frac{4A_{max}}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin((2n-1)\omega t)}{2n-1}$$

因此，如果需要提取低波成分，我们可以采取以下几种方法

- (a) 我们可以使用 RLC 电路中的低通或带通功能。
- (b) 采用谐振的方式来进行输出，设置基波频率为谐振频率，为保证并不会输出其他波，应选择大电感，小电容进行测量。

而对于三次谐波，由于基波以及二次谐波的存在，使用低通的测量方法已经不适用，我们需要对其进行改进抑或是采用其他的可行的方法进行测量。

因此，我们有以下几种测量方法：

- (a) 对低通的测量方式进行改进，搭建 RLC 电路，利用 RLC 电路的低通功能，同时，为除去波形中的基波和二次谐波，我们可以在输出端设置一个谐振频率为基波频率的 LC 电路，以除去基波和二次谐波。另外，我们也可以再搭建一个 RLC 电路，利用电路的高通、带通、的功能，来获得三次谐波
- (b) 搭建谐振电路，设置三次谐波的频率为谐振频率，为保证不会输出其他波，我们选择大电感，小电容来进行测量。

提取基波或者是三次谐波，这些波形各有优缺点，由于之前已经分析过设计实验 1 中各方法的优缺点，在这里由于篇幅和时间原因便不在这里一一分析。测量基波时，我们采取方法 (a) 进行验证，测量基波时，我们采取方法 (b) 进行验证。

提取基波：

按照如图所示连接电路：

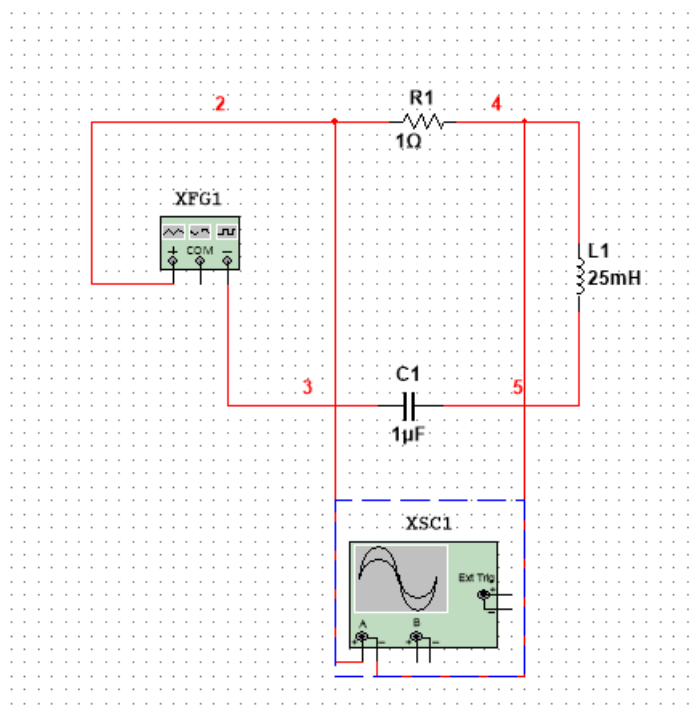


图 6: 提取基波电路原理图

调节电容以及电感，使二者在基波频率时达到谐振，并调节电阻，使得波形最接近于正弦值（同时在选取电路元件参数的时候，我们要注意选择的电阻，电容以及电感，应该处于合理的范围之内）

提取三次谐波：

按照如图所示连接电路：

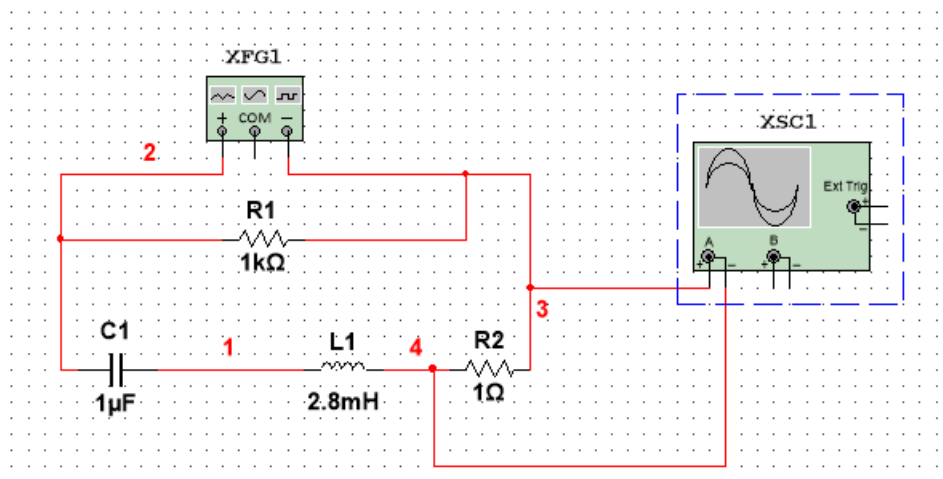


图 7: 提取三次谐波原理图

调节电容以及电感，使二者在基波频率时达到谐振，并调节电阻，使得波形最接近于正弦值（同时在选取电路元件参数的时候，我们要注意选择的电阻，电容以及电感，应该处于合理的范围之内）

合理的范围之内)

- 设计要求 3: 你能给出一个基于频率特性的测量需求吗?

我们可以根据电容, 电感, 电阻的频率特性, 设置多个 RLC 电路串联, 获得低通, 带通, 高通, 带阻等相关特性, 进而获得一个波形在傅里叶展开后, 每个谐波的峰值以及基波峰值

## 二、 主要仪器设备

- (1) Keysight DSOX1102G 示波器
- (2) RIGOL DG1022U 信号源
- (3) 求是 MADCL-1 实验箱
- (4) 优利德 UT890D+ 数字万用表
- (5) 探头线, 导线若干

## 三、 实验数据记录和处理

### 1. 实验数据-基本要求

- (1)  $L = 40\text{mH}$ ,  $C = 0.1\text{ F}$ ,  $R = 100\ \Omega$ , ( $L = 20\text{mH}$ ,  $C=0.1\text{ F}$ ,  $R=100\Omega$ ), 电路输入端接正弦信号源  $<5\text{V}$ , 测  $U_R, U_L, U_C, U_{LC}$  的幅频特性。记录信号源空载时的输出电压值并在频率改变的过程中保持信号源段电压等于该空载电压值。

分别选择标识为  $20\text{mH}$  的电感 (使用两个  $20\text{mH}$  的电感串联组成  $40\text{mH}$  的电感),  $0.1\mu\text{F}$   $63\text{V}$  的电容以及  $100\Omega, 1\text{W}$  的电阻。

- 点测法

按照电路图图 2 连接电路, 分别测量在同一频率时的  $U_R, U_L, U_C, U_{LC}$ , 以及总电压  $U_{all}$  的大小, 并绘制图像, 测量得数据如下所示;



F / Hz	$U_R/V$	$U_L/V$	$U_{LC}/V$	$U_C/V$	$U_{all}/V$
300	0.1926	0.142	10.18	10.34	10.21
800	0.5530	1.021	10.18	11.22	10.21
1300	1.061	3.128	10.16	13.31	10.15
1800	1.935	8.33	10.01	18.24	9.94
2100	2.907	15.73	9.67	25.13	9.52
2300	3.86	25.85	8.92	34.32	8.92
2400	4.37	34.12	7.91	40.23	8.47
2500	4.83	44.52	6.41	48.84	7.98
2550	5.02	49.72	5.38	51.83	7.79
2600	5.12	53.52	4.46	53.77	7.64
2650	5.16	55.41	4.02	52.29	7.58
2700	5.13	55.01	4.57	51.43	7.61
2750	5.06	52.94	5.44	48.02	7.71
2800	4.93	49.9	6.29	43.89	7.86
2900	4.58	42.24	7.58	35.83	8.23
3000	4.19	37.04	8.38	29.32	8.61
3200	3.47	29.42	9.28	20.55	9.15
3500	2.676	23.04	9.74	13.57	9.62
3800	2.176	19.62	9.95	9.92	9.85
4100	1.844	17.51	10.04	7.59	10.01
4600	1.465	15.33	10.11	7.02	10.13

表 1: 点测法测量数据

进而，我们可以绘制出其幅频特性曲线，如下图所示：

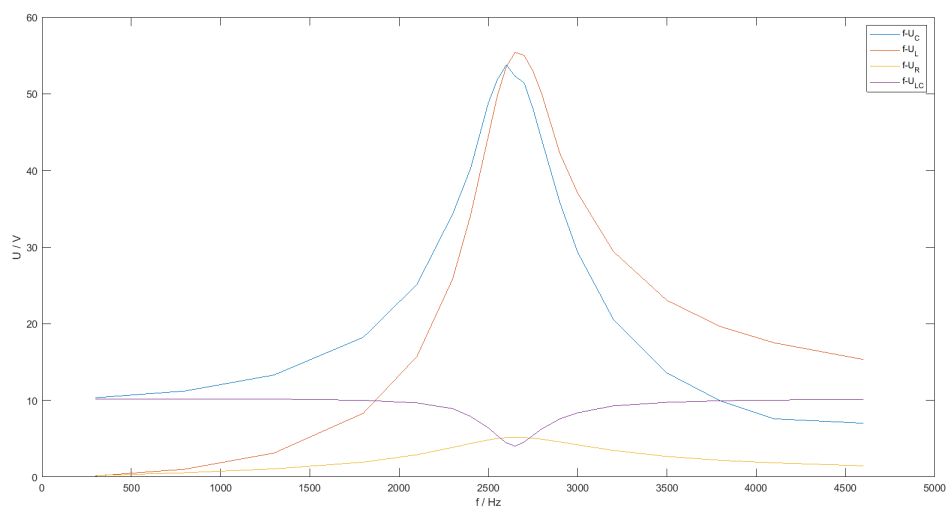


图 8: 电阻幅频特性曲线

对图进行分析，我们可以发现，各条幅频曲线与原理图中的幅频曲线大致相同，而之所以电容以及电感的电压较大，且都超过电源电压幅值，原因在于电容以及电感的电压是大小相等，相位相反的，而此时，由于发生谐振，因此电路中阻抗达到最小值，因此电路中电流最大，电容以及电感的电压达到峰值。

- 扫频法

按照电路图 2，连接电路，调整信号发生器的输出电压峰峰值为 10V，调节信号发生器的输出模式至 sweep 模式，设置初始频率为 100Hz，结束频率为 10KHz，调节示波器的时基模式至较大值，并记录示波器的图像，其图像的包络线即为其幅频曲线。

测得 RLC 电路中各元件的幅频特性曲线如下图所示：

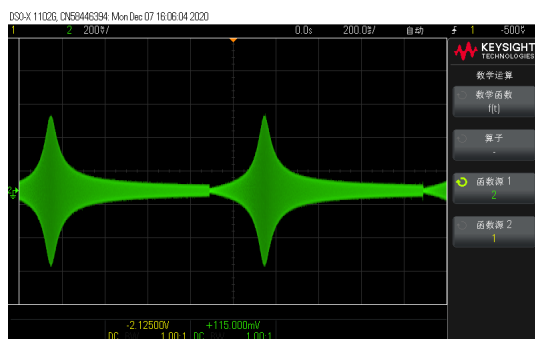


图 9: 电阻幅频特性曲线

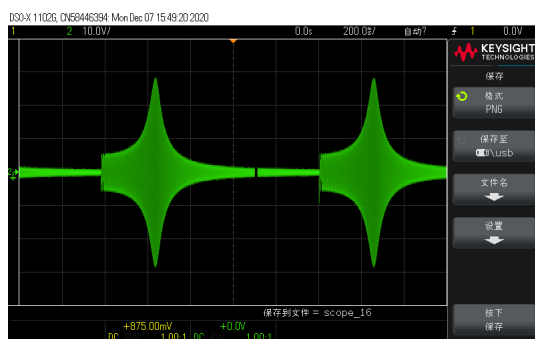


图 10: 电容幅频特性曲线

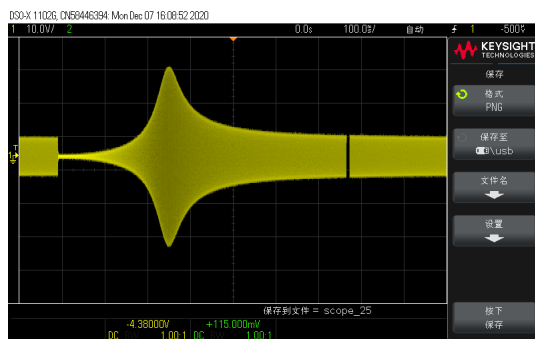


图 11: 电感幅频特性曲线

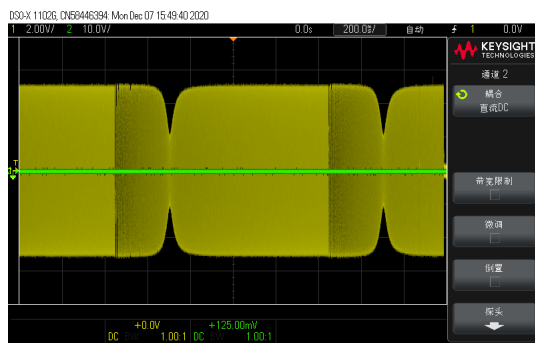


图 12: 电容电感幅频特性曲线

- 内置分析功能

将示波器的输出端连接到电路中，替代信号发生器用以提供电源，将示波器的 CH1 用于测量输入电压，将示波器的 CH2 用于测量待测元件电压。点击示波器的“analysis”功能，并进行频率响应分析，进而可以测得待测元件在不同频率下的增益以及相比于输入电压得相位差。

测得图像如下图所示：



图 13: 电阻幅频特性曲线

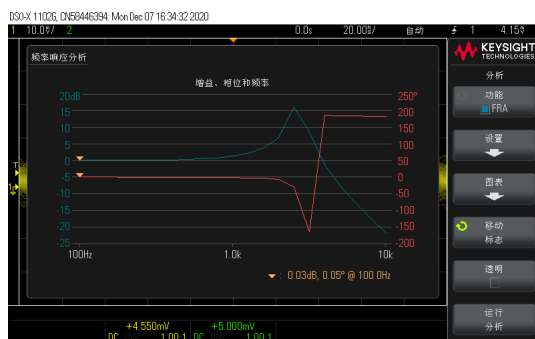


图 14: 电容幅频特性曲线

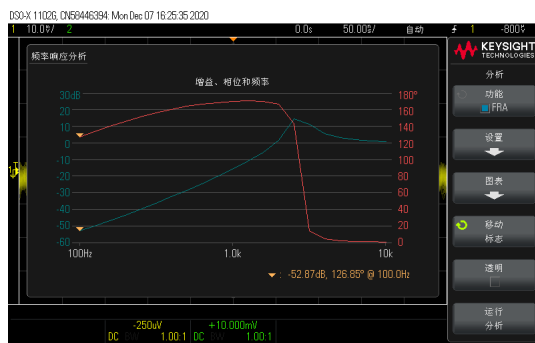


图 15: 电感幅频特性曲线

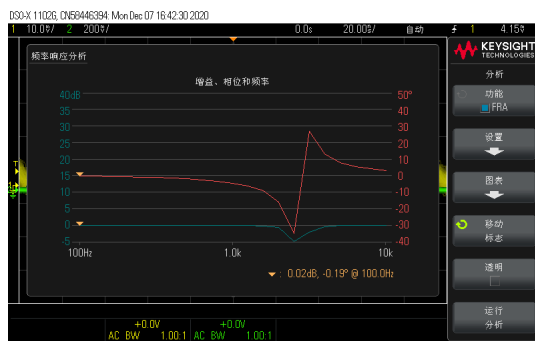


图 16: 电容电感幅频特性曲线

(2) 比较  $Q$ ,  $\omega_0$ ,  $BW$  的测量结果与理论值, 并说明原因。

(a) 理论计算

由于电感  $L = 40\text{mH}$ , 电容  $C = 0.1\text{F}$ , 电阻  $R = 1\text{K}\Omega$ , 因此我们可以计算得谐振角频率为:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}} = 1.58 \times 10^4 \text{ rad/s}$$

谐振频率  $f$  为:

$$f = \omega_0 / 2\pi = 2516 \text{ Hz}$$

因此, 我们可以计算得品质因数为:

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R} = 6.32$$

因此, 带通宽为:

$$BW = \frac{\omega_0}{Q} = 2.5 \times 10^3 \text{ rad}$$

(b) 实际情况

谐振频率  $f$  为：

$$f = 2650Hz$$

谐振角频率为：

$$\omega_0 = 2\pi f = 1.67 \times 10^4 rad/s$$

而当电容以及电感分别取最大值时，我们可以测得  $f_1, f_2$  的值，进而，我们可以测量出带通宽：

$$BW = \omega_2 - \omega_1 = 2\pi f_2 - 2\pi f_1 = 942.48 rad$$

同时，我们可以测量得品质因数为：

$$Q = \frac{\omega_0}{\omega_2 - \omega_1} = 17.7$$

$Q$  的相对误差为：E = 5.70%， $BW$  的相对误差为：E = 180.1%， $\omega_0$  的相对误差为：5.70%

(3) 谐振频率下，测量线圈等效电阻，信号源内阻。

当电路处于谐振状态时，电感与电容的总分压为 0，因此信号源的内阻分压为：

$$U_r = U_{out} - U_R = 10V - 7.58V = 2.42V$$

而电路中的电流为：

$$I_r = \frac{U_R}{R} = 51.6mA$$

计算得信号源的内阻为：

$$r = \frac{U_r}{I_r} = 2.42/0.0516\Omega = 46.9\Omega$$

## 2. 实验数据-提高要求

(1) 电路输入端接方波信号源。观测  $U_R$  波形；什么条件下能够得到较理想的正弦波；通过信号源与输出信号频谱的区别加以分析说明。

按照电路图连接电路，并设置信号发生器的频率为：2516Hz，观察示波器，我们发现其波形在最开始如下图所示：

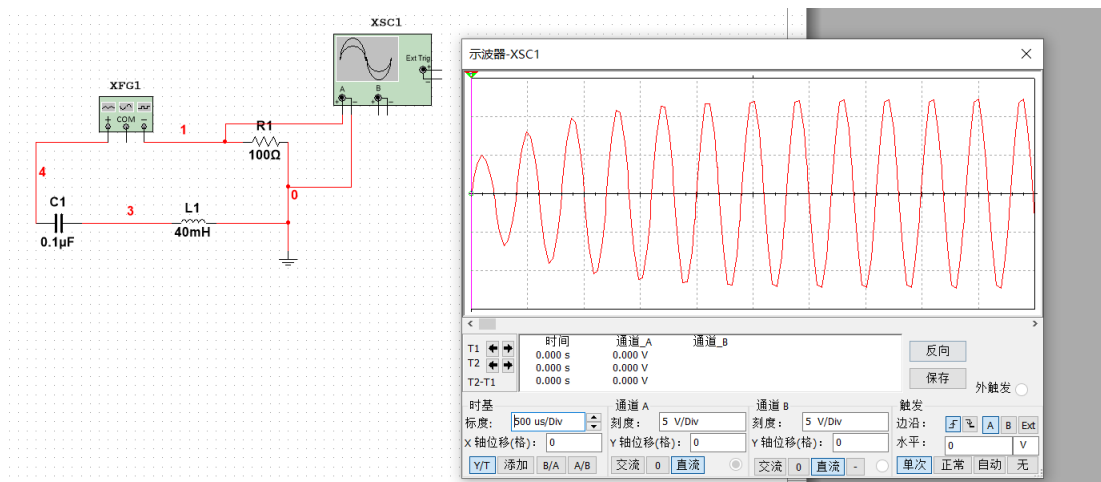


图 17: 电阻电压波形

而当示波器稳定后，其波形如下图所示

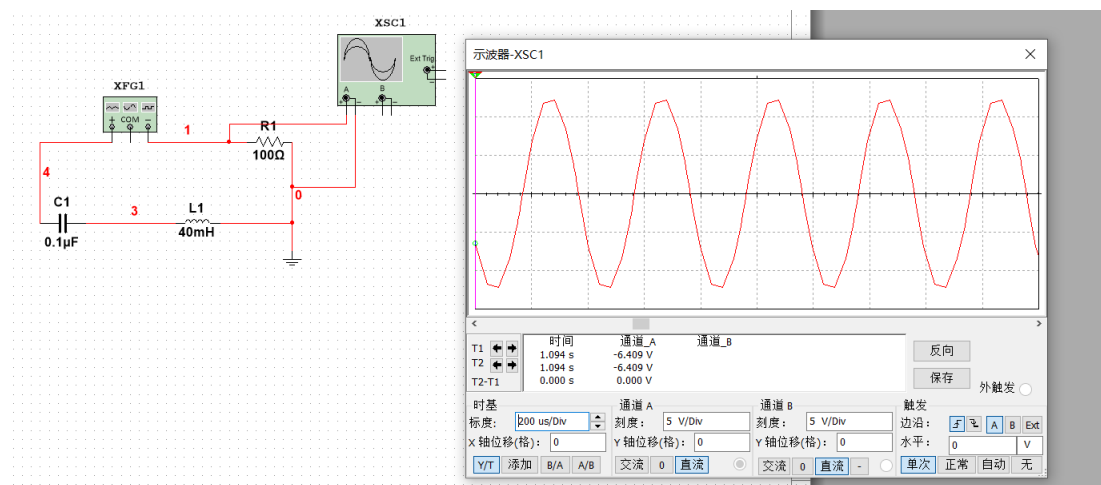


图 18: 电阻电压波形

因此，我们可以认为：在谐振状态下，电阻的输出电压大致为正弦波；而在频率较低或较高的情况下，电阻的输出电压为如下情况：

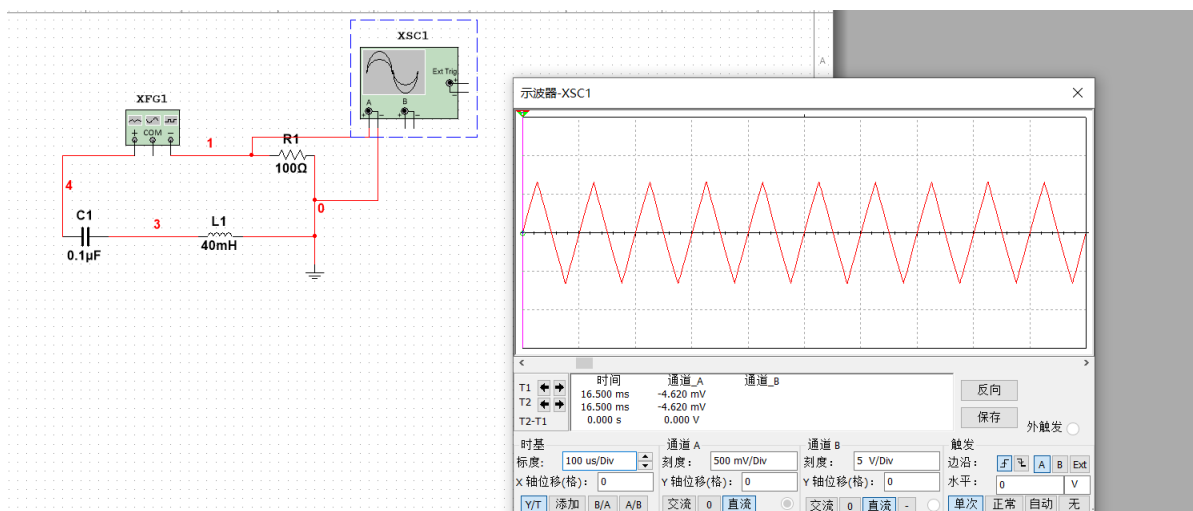


图 19: 频率过高时电阻电压

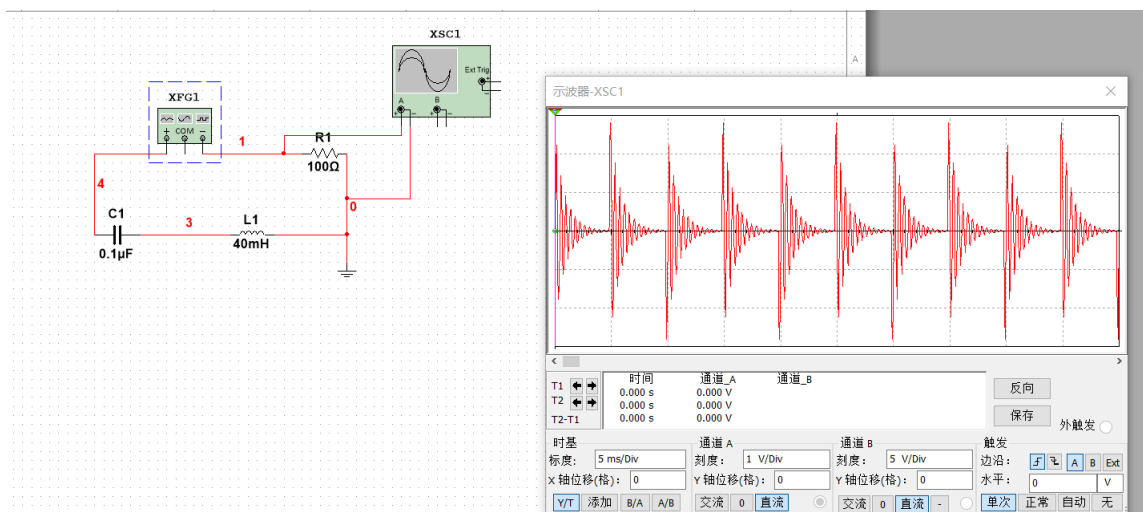


图 20: 频率过低时电阻电压

根据暂态过程进行分析，我们也不难分析出其原因，因此，我们可以得出结论：选择合适的电容以及电感使得其谐振频率等于方波频率，电路即可输出正弦波。

而通过示波器的 FFT 功能进行观察时，我们得到如下图所示的波形：

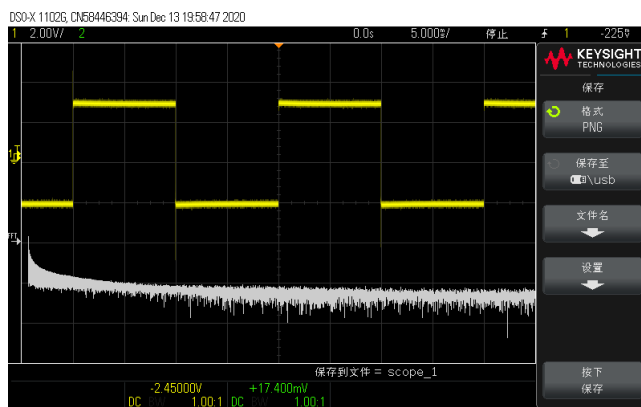


图 21: FFT 分析

观察图形，上半部分为信号输入的波形 (时域分析)，下半部分为对输入的波形进行傅里叶变换 (频域分析)，我们可以看到基波占比较大数值，因此只要想办法保留基波即可 (方法如上述所示)

### 3. 实验数据-拓展要求

#### (1) 完成上次课的谐振法测动态元件参数

见实验报告-2

#### (2) 利用频率特性设计信号处理电路

- 设计要求 1: 输入信号位 1V, 1KHZ 与 1V, 20KHZ 正弦波信号的合成，请设计 RLC 电路使得一路输出为 1KHz 信号，另一路为 20kHz

按照电路原理图连接电路，选择合适的电阻，电容以及电感，得到 20KHz 信号以及 1KHz 信号的波形分别如下图所示：

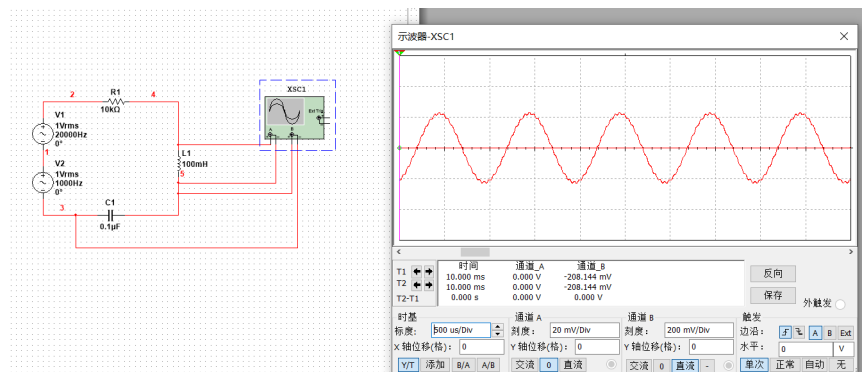


图 22: 20KHz 信号输出波形



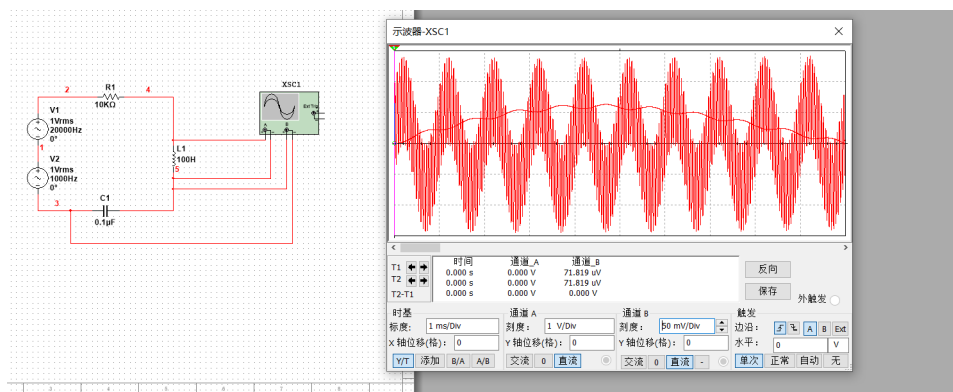


图 23: 1KHz 信号输出波形

此时，我们便已经将二者大致分离。另外，在调整参数的过程中，我们发现，当电阻取值越大时，进行仿真后的输出的波形越接近于我们理想的输出值（根据带通理论不难进行解释），但由于当电阻过大时，并不符合电路的实际取值，同时，当电阻较大时，二者的输出电压过小，因此，我只选择了  $10K\Omega$  的电阻进行实验。

另外，我发现倘若我们将电容或者是电感调大，电路都会出现较为不规则的情况，分别如下图所示：

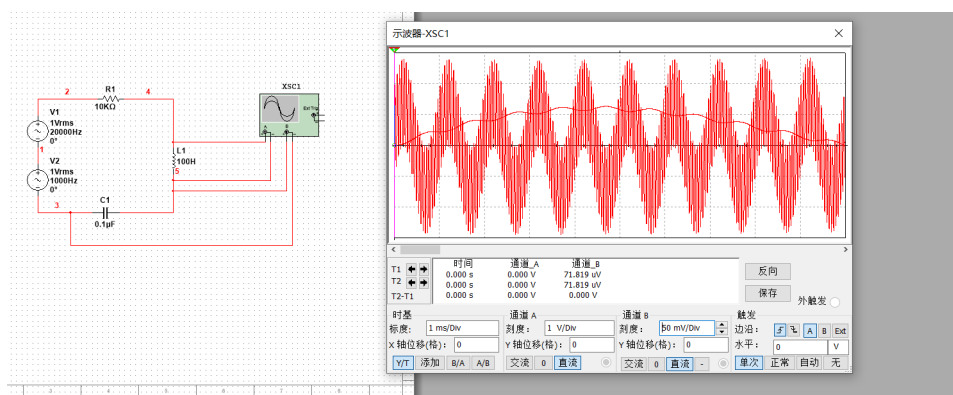


图 24: 电感调大

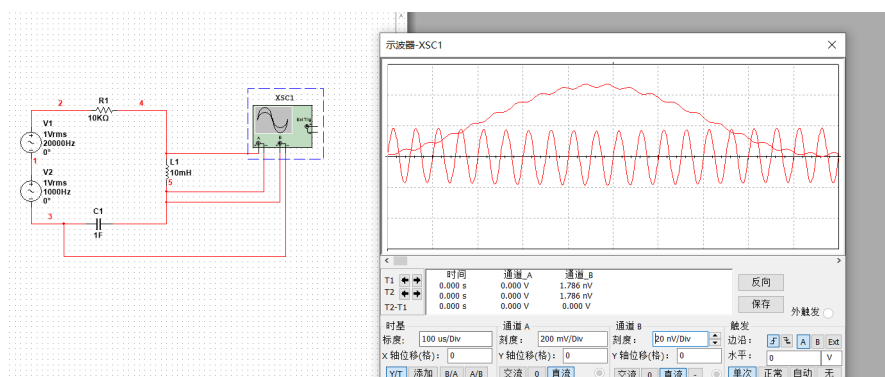


图 25: 电容调大

其原因在于，当电容或者电感发生变化时，其允许通过的阻值也发生变化，使用电路原理知识进行分析，我们不难分析出正确结论，这里由于篇幅以及时间原因便不一一分析。

- 设计要求 2: 若想从  $5V_{pp}$ , 1KHz 的方波中提取基波成分，请列举出两种以上的设计方案。若要提取的是三次谐波呢？

提取基波：

按照电路原理图连接电路，设置电容为 1 F，电感为 25mH，电阻大小为  $1\Omega$ ，将电阻作为输出电压。开启仿真后，我们测得示波器波形如下图所示：

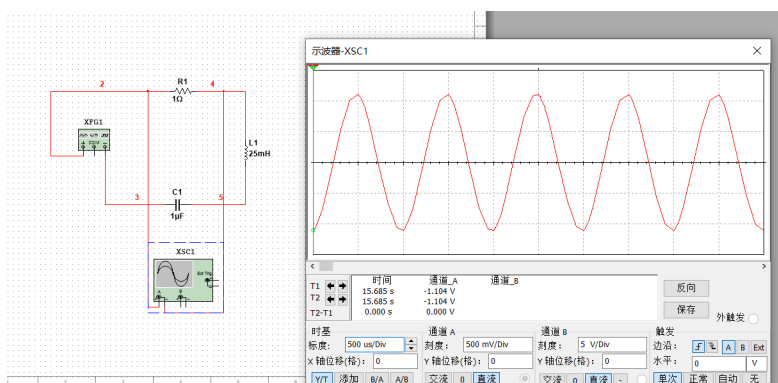


图 26: 提取基波波形图

另外，在实验中，我们发现，当我们参数设置的并不是十分完美的時候，我们可以通过调小电阻的方式，优化波形。从电路原理的角度进行分析，其原因在于，此时电路的频率在电路谐振频率附近。对于基波而言，电容以及电感的阻抗和较小，而对于其他频率来说，二者的阻抗较大，因此我们只要调小电阻，就可以在在一定程度上优化波形。

提取三次谐波：

按照电路原理图连接电路，设置电容为 1 F，设置电感为 2, 8mH，设置电阻为  $1\Omega$ ，将电阻作为输出电压，开启仿真后，我们测得示波器波形图如下图所示：

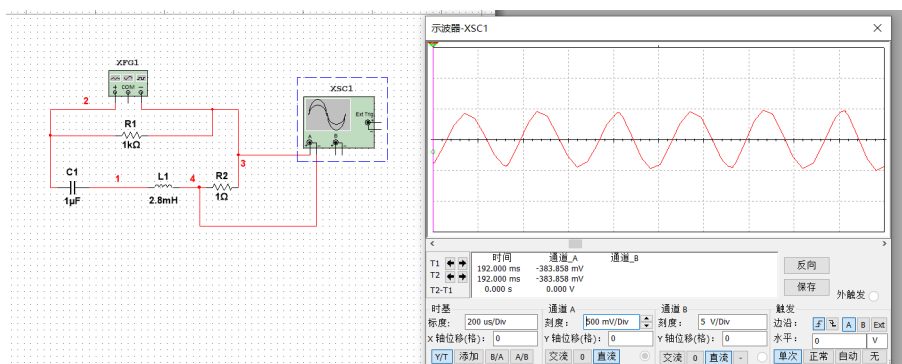


图 27: 提取三次谐波波形图

另外，在实验中，我们发现，当我们参数设置的并不是十分完美的時候，我们可以通过调小电阻的方式，优化波形。从电路原理的角度进行分析，其原因在于，此时电路的频率在电路谐振频率附近。对于基波而言，电容以及电感的阻抗和较小，而对于其他频率来说，二者的阻抗较大，因此我们只要调小电阻，就可以在在一定程度上优化波形。

## 四、 讨论

- (1) 只有信号源和示波器，怎么测量  $U_s, U_L, U_C, U_R, U_{LC}$

将电路元件按照 RLC 电路图进行连接，将待测元件置于最靠近负极的一端（保证示波器以及信号发生器共地），进而可以使用扫描法，逐点法等多种方法进行测量。

- (2) 测量过程中， $U_s$  为什么会发生变化？

信号发生器中存在内阻，观察实验数据，我们可以发现，当信号发生器的频率越接近于谐振频率，其输出电压越小，原因在于：频率越接近于谐振频率，电路中的总阻抗越小，因此电路中的电流越大，导致内阻的分压越大，因此  $U_s$  越小。

- (3) 电路频率特性与输入输出信号所在位置有关？

有关，在进行数据记录时，可以明确的观察到电路的输出特性是与输出信号的位置以及电路元件的拜访有关，原因可能是示波器存在内阻。

- (4) 频率特性曲线的特征量：谐振频率、带宽、品质因数

见实验原理部分

## 五、 心得与体会

### 1. 实验心得—新发现

- (1) 在进行电路设计的实验过程中，调节各种元件的参数（电阻，电容，电感甚至是谐振频率等等）往往会引起电路中不同的变化，具体情况我们已经在设计实验中进行分析，在这里便不详细进行说明了。

- (2) 示波器探头线可能不能使用于信号发生器

当我们使用示波器的无源探头线（就是那个带一个小钩子的探头线）进行实验时，我们发现其测得的数据相比于正常数据有较大的出入，具体表现为：当信号发生器频率增大时，即电路中电流增大时，信号发生器的输出电压迅速下降。具体数据为：当我们使用正常探头线进行实验时，电压为 7.8V 左右，而使用示波器的无源探头线时，信号发生器的输出电压仅仅为 2.6V 左右。

究其原因：我们认为其原因并不是示波器的无源探头线存在问题，而是示波器的无源探头线只能作为示波器探头线，而不能用于信号发生器。原因可能是由于其特殊的功能设计（放大倍数 X10；放大倍数 X1），以及防止示波器因通过电流过大损坏，而特意设计成了电阻较大的设计（毕竟示波器只能测量电压）。

- (3) 测量电阻以及电感电压时，总电压不同

在进行使用点测法测量幅频特性曲线的时候，我们发现，当测量电阻电压以及电感电压时，信号发生器的输出电压并不相同且差距较大。在谐振时，测量电阻幅频特性曲线时，我们发现电路总电压为 7.3V，而测量电感幅频特性曲线时，我们发现电路总电压仅仅为 5.2V 左右。探究其原因，我们认为这是由于示波器于电路元件并联，所造成的谐振频率的影响，以及示波器自身也有一定的内阻的原因。

(4) 数字万用表交流挡位只能测量 50Hz 频率下的状况

在进行实验的过程中，我们发现，当信号发生器的频率较大或较小时，数字万用表都会出现较为不正常的情况。后来经过相应的了解后，我们发现数字万用表的交流挡位只能测量 50Hz 左右的挡位，当频率过大或是过小时，其测量的数值可能会出现偏差。当然，在测量频率过小时，示波器也会出现这种情况。

## 2. 实验感想

在本次实验中，我们进行了测量幅频特性曲线等相关实验。在进行实验的过程中，我掌握了示波器的 FFT 以及幅频相应分析以及信号发生器的 sweep 等相应功能。同时，还学会了运用多种方法测量谐振频率等等。在这次实验中，我们需要考虑到信号发生器的相关内阻等一系列的因素。同时，我又联想到了在冬学期进行数电实验时，我们并没有考虑信号发生器的内阻。原因可能是，数电实验要求的结果并不需要十分精确。只需要输出高电平或者低电平即可。