



院(系):智能工程学院

学号: 20354027

姓名: 方桂安

日期: 2021.12.9

实验名称: RLC 串联电路的幅频特性与谐振现象

## 一、实验目的

1. 测定 R、L、C 串联谐振电路的频率特性曲线。
2. 观察串联谐振现象, 了解电路参数对谐振特性的影响。

## 二、实验原理

1. R、L、C 串联电路(图 10-1)的阻抗是电源频率的函数, 即:

$$Z = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) = |Z|e^{j\varphi}$$

当  $\omega L = \frac{1}{\omega C}$  时, 电路呈现电阻性,  $U_s$  一定时, 电流达最大, 这种现象称为串联谐振, 谐振时的频率称为谐振频率, 也称电路的固有频率。

即

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ 或 } f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

上式表明谐振频率仅与元件参数 L、C 有关, 而与电阻 R 无关。

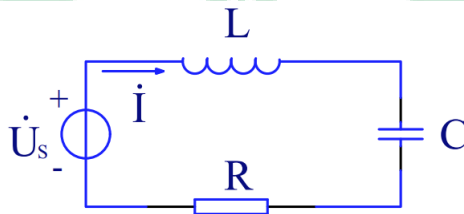


图 10-1

2. 电路处于谐振状态时的特征

- (1) 复阻抗  $Z$  达最小, 电路呈现电阻性, 电流与输入电压同相。
- (2) 电感电压与电容电压数值相等, 相位相反。此时电感电压(或电容电压)为电源电压的  $Q$  倍,  $Q$  称为品质因数, 即

$$Q = \frac{U_L}{U_s} = \frac{U_C}{U_s} = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 C R} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

在 L 和 C 为定值时,  $Q$  值仅由回路电阻 R 的大小来决定。

- (3) 在激励电压有效值不变时, 回路中的电流达最大值, 即:

$$I = I_0 = \frac{U_s}{R}$$

3. 串联谐振电路的频率特性:

- (1) 回路的电流与电源角频率的关系称为电流的幅频特性, 表明其关系的图形称为串联谐振曲线。电流与角频率的关系为:

$$I(\omega) = \frac{U_S}{\sqrt{R^2 \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}} = \frac{U_S}{R \sqrt{1 + Q^2 \left( \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)^2}} = \frac{I_0}{\sqrt{1 + Q^2 \left( \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)^2}}$$

当 L、C 一定时，改变回路的电阻 R 值，即可得到不同 Q 值下的电流的幅频特性曲线(图 10-2)。显然 Q 值越大，曲线越尖锐。

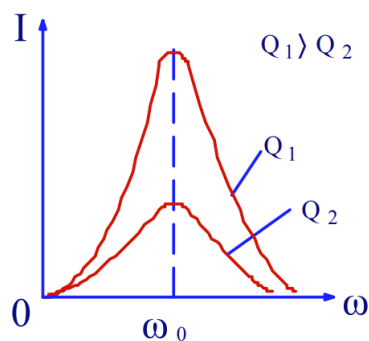


图 10-2

有时为了方便，常以  $\frac{\omega}{\omega_0}$  为横坐标， $\frac{I}{I_0}$  为纵坐标画电流的幅频特性曲线（这称为通用幅频特性），图 10-3 画出了不同 Q 值下的通用幅频特性曲线。回路的品质因数 Q 越大，在一定的频率偏移下， $\frac{I}{I_0}$  下降越厉害，电路的选择性就越好。

(2) 为了衡量谐振电路对不同频率的选择能力引进通频带概念，把通用幅频特性的幅值从峰值 1 下降到 0.707 时所对应的上、下频率之间的宽度称为通频带（以 BW 表示）即：

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

由图 10-3 看出 Q 值越大，通频带越窄，电路的选择性越好。

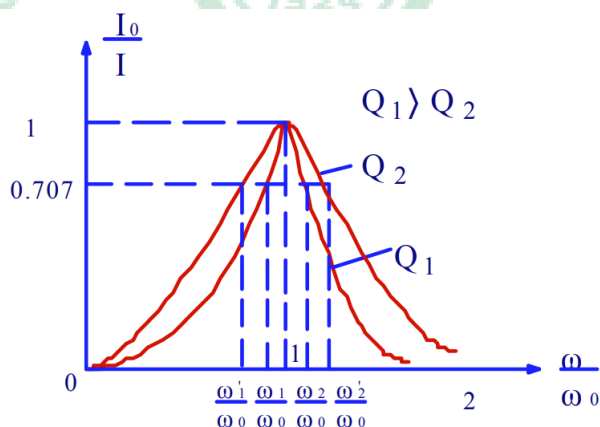


图 10-3

(3) 激励电压与响应电流的相位差  $\varphi$  角和激励电源角频率  $\omega$  的关系称为相频特性，即：

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} = \arctg \frac{X}{R}$$

显然，当电源频率 $\omega$ 从0变到 $\omega_0$ 时，电抗 $X$ 由 $-\infty$ 变到0时， $\varphi$ 角从 $-\frac{\pi}{2}$ 变到0，电路为容性。 $\omega$ 从 $\omega_0$ 变到 $\infty$ 时，电抗 $X$ 由0变到 $\infty$ 时， $\varphi$ 角从0变到 $\frac{\pi}{2}$ ，电路为感性。相角 $\varphi$ 与 $\frac{\omega}{\omega_0}$ 的关系称为通用相频特性，如图10-4所示。

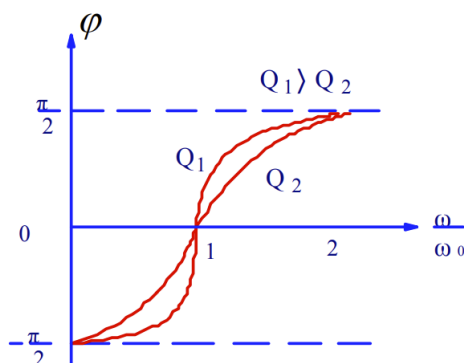


图 10-4

谐振电路的幅频特性和相频特性是衡量电路特性的重要标志。

### 三、实验设备

名称	型号	数量
电路分析实验箱	TPE-DG2L	1
数字万用表	SDM3065	1
示波器	SDS5054X	1
函数信号发生器	SDG6032X-E	1

### 四、实验内容与步骤

按图10-5连接线路，电源 $\dot{U}_s$ 为低频信号发生器。将电源的输出电压接示波器的 $Y_A$ 插座，输出电流从 $R$ 两端取出，接到示波器的 $Y_B$ 插座以观察信号波形，取 $L = 0.1H$ ， $C = 0.5\mu F$ ， $R = 10\Omega$ ，电源的输出电压 $U_s = 3V$ 。

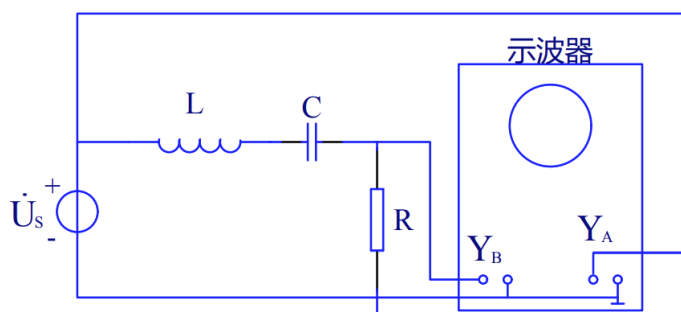
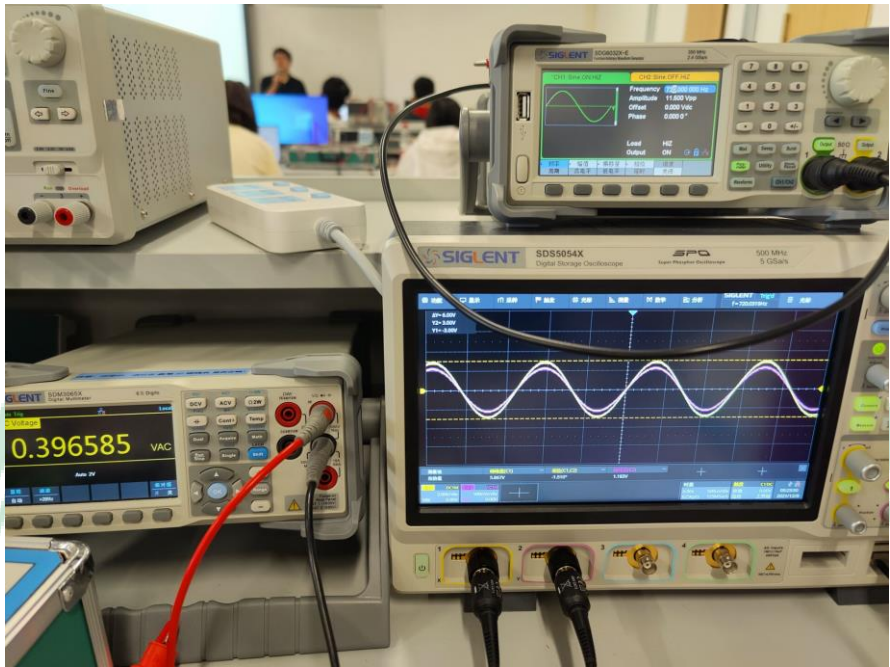


图 10-5

#### 1. 计算和测试电路的谐振频率

- (1)  $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  用  $L$ 、 $C$  之值带入式中计算出 $f_0$ 。

(2) 测试：用交流毫伏表接在 $R$ 两端，观察 $U_R$ 的大小，然后调整输入电源的频率，使电路达到串联谐振，当观察到 $U_R$ 最大时电路即发生谐振，此时的频率即为 $f_0$ （最好用数字频率计测试一下）  
 当  $U_R$  最大时，两波形如下：



2. 测定电路的幅频特性

(1) 以 $f_0$ 为中心，调整输入电源的频率从 100Hz~2000Hz，在 $f_0$ 附近，应多取些测试点。用交流毫伏表测试每个测试点的 $U_R$ 值，然后计算出电流 $I$ 的值，记入表格 10-1 中。

表 10-1

序号	1	2	3	4	5	6	7
$f(\text{Hz})$							
$U_R(\text{mV})$							
$I(\text{mA})$							
序号	8	9	10	11	12	13	14
$f(\text{Hz})$							
$U_R(\text{mV})$							
$I(\text{mA})$							

(2) 保持 $U_S = 3\text{V}$ ， $L = 0.1\text{H}$ ， $C = 0.5\mu\text{F}$ ，改变 $R$ ，使 $R = 100\Omega$ ，即改变了回路 $Q$ 值，重复步骤（1）。

表 10-2

序号	1	2	3	4	5	6	7
$f(\text{Hz})$							
$U_R(\text{mV})$							
$I(\text{mA})$							
序号	8	9	10	11	12	13	14
$f(\text{Hz})$							
$U_R(\text{mV})$							
$I(\text{mA})$							

## 3. 测定电路的相频特性

仍保持  $U_S = 3\text{V}$ ,  $L = 0.1\text{H}$ ,  $C = 0.5\mu\text{F}$ ,  $R = 10\Omega$ 。以  $f_0$  为中心, 调整输入电源的频率从  $100\text{Hz} \sim 2000\text{Hz}$ 。在  $f_0$  的两旁各选择几个测试点, 从示波器上显示的电压、电流波形上测量出每个测试点电压与电流之间的相位差  $\varphi = \varphi_u - \varphi_i$ , 数据表格自拟。

表 10-3

序号	1	2	3	4	5	6	7	8
$f(\text{Hz})$								
$\Delta T(\text{ms})$								
$\Delta\varphi$								
序号	9	10	11	12	13	14	15	\
$f(\text{Hz})$								
$\Delta T(\text{ms})$								
$\Delta\varphi$								

## 五、思考题回答

## 1. 仍用哪些实验方法可以判断电路处于谐振状态?

答: LC 回路的电压和电流相角差为零;  $U_L = U_C$  或者  $u_L + u_C = 0$  (适用于电感和电容自身损耗很低的情况); 电压一定时, 谐振回路电流达到最大值。

2. 实验中, 当 RLC 串联电路发生谐振时, 是否有  $U_C = U_L$  及  $U_R = U_S$ ? 若关系不成立, 试分析其原因。

答: 因为 L 本身具有一定的电阻, 分压会更多。

## 六、实验结果描述与分析

## 1. 计算和测试电路的谐振频率

(1) 由于给出了  $L = 0.1\text{H}$ ,  $C = 0.5\mu\text{F}$ ,  $R = 10\Omega$ , 电源的输出电压  $U_S = 3\text{V}$  则  $f_0$  的理论值为

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{0.1 \times 0.5 \times 10^{-6}}} = 711.76 \text{ Hz}$$

(2) 测试 $f_0$ 如下:



图 10-6

此时:

$$f_0 = 720 \text{ Hz}$$

## 2. 测定电路的幅频特性

(1) 表 10-1 的填写:

表 10-4 (原表 10-1)

序号	1	2	3	4	5	6	7
$f(\text{Hz})$	100	300	500	600	650	700	720
$U_R(\text{mV})$	6.541	23.065	61.122	121.499	197.096	365.438	411.154
$I(\text{mA})$	0.6541	2.3065	6.1122	12.1499	19.7096	36.5438	41.1154
序号	8	9	10	11	12	13	14
$f(\text{Hz})$	740	800	900	1200	1500	1800	2000
$U_R(\text{mV})$	373.454	195.881	99.861	43.244	29.113	21.919	19.060
$I(\text{mA})$	37.3454	19.5881	9.9861	4.3244	2.9113	2.1919	1.9060

此时,  $U_S = 3\text{V}$ ,  $L = 0.1\text{H}$ ,  $C = 0.5\mu\text{F}$ ,  $R = 10\Omega$ ,  $Q = 44.7$ .

可以看出, 当 $f$ 从  $100\text{Hz}$  逼近 $f_0 = 720\text{Hz}$ 时,  $U_R$ 和 $I$ 逐渐增大到最大值, 并在  $720\text{Hz}$  时达到顶峰; 当 $f$ 从 $f_0$ 增大到  $2000\text{Hz}$  时,  $U_R$ 和 $I$ 逐渐从峰值减小。

(2) 表 10-2 的填写

表 10-5 (原表 10-2)

序号	1	2	3	4	5	6	7
$f(\text{Hz})$	100	300	500	600	650	700	720
$U_R(\text{mV})$	63.5674	229.501	569.09	955.65	1238.687	1467.406	1480.651
$I(\text{mA})$	0.635674	2.29501	5.6909	9.5565	12.38687	14.67406	14.80651
序号	8	9	10	11	12	13	14
$f(\text{Hz})$	740	800	900	1200	1500	1800	2000
$U_R(\text{mV})$	1468.101	1231.91	843.413	413.23	281.726	218.124	187.075
$I(\text{mA})$	14.6810	12.3191	8.4341	4.132	2.8172	2.1812	1.87075

此时,  $U_S = 3\text{V}$ ,  $L = 0.1\text{H}$ ,  $C = 0.5\mu\text{F}$ ,  $R = 100\Omega$ ,  $Q = 4.47$ 。

可以看出, 当  $f$  从  $100\text{Hz}$  逼近  $f_0 = 720\text{Hz}$  时,  $U_R$  和  $I$  逐渐增大到最大值, 并在  $720\text{Hz}$  时达到顶峰; 当  $f$  从  $f_0$  增大到  $2000\text{Hz}$  时,  $U_R$  和  $I$  逐渐从峰值减小。

### 3. 测定电路的相频特性

表 10-3 的填写:

表 10-6 (原表 10-3)

序号	1	2	3	4	5	6	7	8
$f(\text{Hz})$	100	250	350	450	550	650	700	720
$\Delta T(\text{ms})$	-2.51	-0.97	-0.66	-0.52	-0.40	-0.27	-0.11	0
$\Delta\varphi$	-1.58	-1.52	-1.45	-1.47	-1.38	-1.10	-0.48	0
序号	9	10	11	12	13	14	15	\
$f(\text{Hz})$	750	850	1000	1200	1400	1700	2000	
$\Delta T(\text{ms})$	0.14	0.23	0.24	0.20	0.17	0.14	0.12	
$\Delta\varphi$	0.66	1.23	1.48	1.51	1.50	1.50	1.51	

此时,  $U_S = 3\text{V}$ ,  $L = 0.1\text{H}$ ,  $C = 0.5\mu\text{F}$ ,  $R = 10\Omega$ ,  $Q = 44.7$ 。

表 10-7

序号	1	2	3	4	5	6	7	8
$f(\text{Hz})$	100	250	350	450	550	650	700	720
$\Delta T(\text{ms})$	-2.39	-0.95	-0.63	-0.43	-0.31	-0.15	-0.05	0
$\Delta\varphi$	-1.50	-1.49	-1.39	-1.22	-1.08	-0.60	-0.22	0
序号	9	10	11	12	13	14	15	\
$f(\text{Hz})$	750	850	1000	1200	1400	1700	2000	
$\Delta T(\text{ms})$	0.06	0.16	0.18	0.17	0.16	0.13	0.12	
$\Delta\varphi$	0.28	0.83	1.13	1.28	1.41	1.39	1.45	

此时,  $U_S = 3\text{V}$ ,  $L = 0.1\text{H}$ ,  $C = 0.5\mu\text{F}$ ,  $R = 100\Omega$ ,  $Q = 4.47$ 。

当电源频率 $\omega$ 从 0 变到 $\omega_0 = 720\text{Hz}$ 时，电抗 $X$ 由 $-\infty$ 变到 0 时， $\varphi$ 角从 $-\frac{\pi}{2}$ 变到 0，电路为容性。 $\omega$ 从 $\omega_0$ 变到 $\infty$ 时，电抗 $X$ 由 0 变到 $\infty$ 时， $\varphi$ 角从 0 变到 $\frac{\pi}{2}$ ，电路为感性。

不同  $Q$  值下，幅频特性曲线和相频特性曲线做图如下：

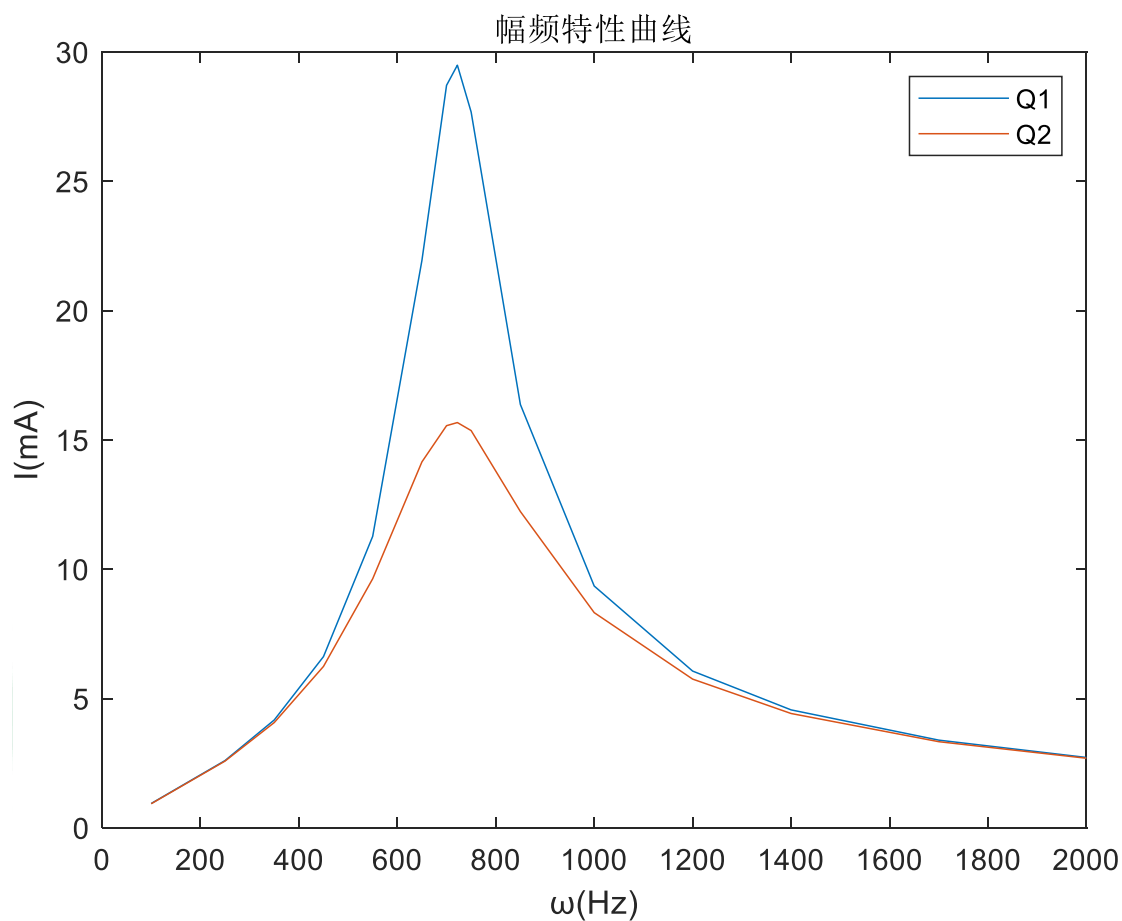


图 10-7 幅频特性曲线



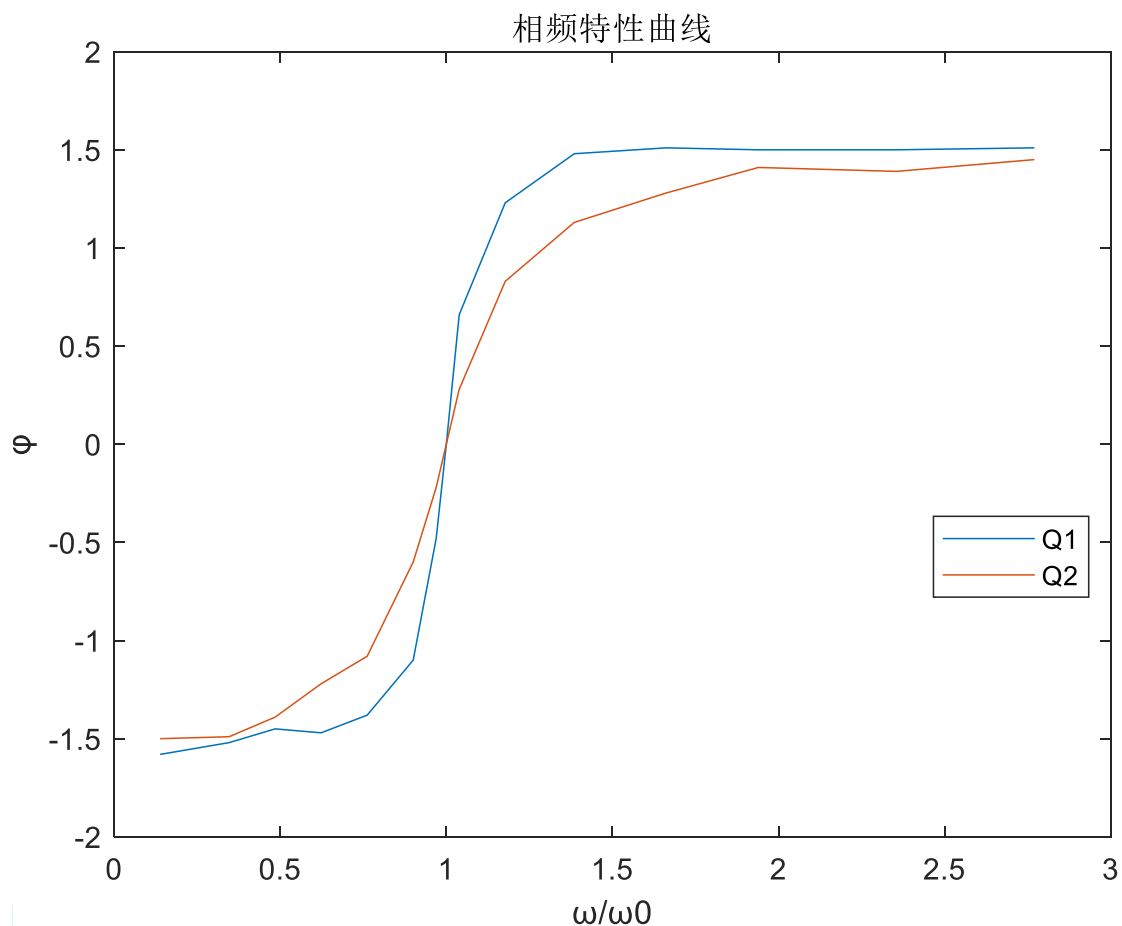


图 10-8 相频特性曲线

如图所示，由于  $Q_1 = 44.7$ ， $Q_2 = 4.47$ ，图像特征与实验说明中的理论图像高度符合，可以认为实验成功。

## 七、实验结论

结论：处于谐振状态时，RLC 的电源电压与电阻电压处于同相的状态，电路呈现电阻性，此时的频率称为电路的固有频率。当 LC 一定时，改变回路的 R 值，可以得到不同 Q 值下的电流幅频特性曲线和相频特性曲线，Q 值越大，幅频特性曲线越尖锐，相频特性曲线在  $\frac{\omega}{\omega_0} = 1$  处的斜率越大，且在该点左侧电路表现为容性，右侧表现为感性。

误差：主要原因在于电感本身存在较大的电阻，所以测量回路电流时出现了电流偏小的情况。以及测量仪器本身存在的精度误差，以及人为连接电路的误差，此外，电阻箱本身的瑕疵可能也对实验带来了影响。

收获：进一步学习了 RLC 电路的幅频特性和相频特性曲线的特征，以及连接电路时实验操作的规范性，对 RLC 电路有了进一步的认识。