

## 实验六 R—L—C 元件的阻抗特性和谐振电路

### 一. 实验目的

1. 通过实验进一步理解 R, L, C 的阻抗特性, 并且练习使用信号发生器和示波器
2. 了解谐振现象, 加深对谐振电路特性的认识
3. 研究电路参数对串联谐振电路特性的影响
4. 理解谐振电路的选频特性及应用
5. 掌握测试通用谐振曲线的方法

### 二. 实验原理与说明

1. 正弦交流电路中, 电感的感抗  $X_L = \omega L = 2\pi fL$ , 空心电感线圈的电感在一定频率范围内可认为是线性电感, 当其电阻值  $r$  较小, 有  $r \ll X_L$  时, 可以忽略其电阻的影响。电容器的容抗  $X_C = 1 / \omega C = 1 / 2\pi fC$ 。

当电源频率变化时, 感抗  $X_L$  和容抗  $X_C$  都是频率  $f$  的函数, 称之为频率特性 (或阻抗特性) 典型的电感元件和电容元件的阻抗特性如图 6-1。

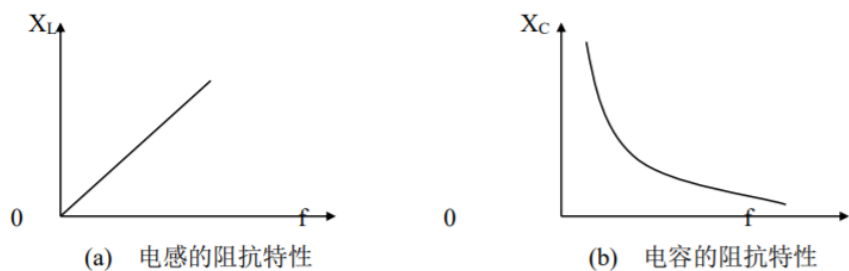


图 6-1

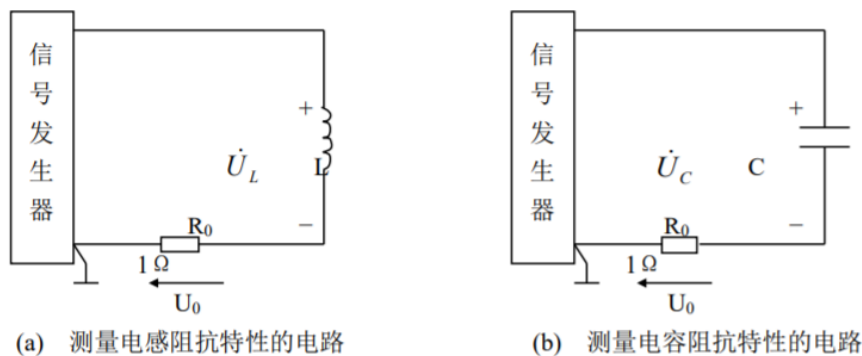


图 6-2

2. 为了测量电感的感抗和电容的容抗, 可以测量电感和电容两端的电压有效值及流过它们的电流有效值。则感抗  $X_L = U_L / I_L$ , 容抗  $X_C = U_C / I_C$ 。

3. 改变 L、C 或电源频率  $f$  都可以实现谐振。本次实验是通过改变外加电压的频率使电路达到谐振的。

串联谐振有以下特征：

(1) 谐振时电路的阻抗最小，而且是纯电阻性的，即

此时谐振电流  $\dot{I}$  与电压  $\dot{U}$  同相位，且  $I_0=U/R'$  为最大值。本次实验就是依据这种特征来找谐振点的。

(2) 谐振时有  $U_L=U_C$ ，电路的品质因数  $Q$  为

$$Q = \frac{U_L}{U} = \frac{U_C}{U} = \frac{\omega_0 L}{R'} = \frac{1}{\omega_0 C R'} = \frac{\sqrt{L/C}}{R'}$$

### 三. 实验设备

名称	数量	型号
1. 信号发生器	1 台	学校自备
2. 示波器	1 台	学校自备
3. 晶体管毫伏表	1 台	学校自备
4. 万用表	1 台	学校自备
5. 电阻	4 只	1 $\Omega$ *1, 100 $\Omega$ *1 510 $\Omega$ *1, 2k $\Omega$ *1
6. 电感	1 只	10mH*1
7. 电容	2 只	1 $\mu$ F*1, 2200pF*1
8. 桥形跨连线和连接导线	若干	P8-1 和 50148
9. 实验用 9 孔方板	1 块	297mm $\times$ 300mm

四. 实验步骤

1. 测量电阻的阻抗特性

按图 6-6 连线, 按表 6-1 所示数据调节交流信号源输出电压的频率 (从低到高) 分别测量  $U_R$ ,  $I_R$  的值记入表 6-1 中。注意每次改变电源频率时, 应调节信号发生器使输出电压保持在 5V, 测量电流时应正确选择量程。

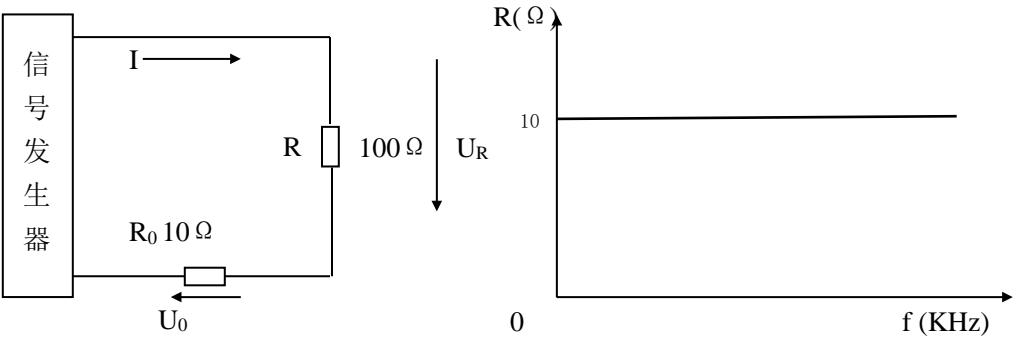


图6-6 测量电阻阻抗特性的电路

绘制电阻阻抗特性曲线

表 6-1 测量电阻阻抗特性实验数据

频率 f(KHz)	0.2	0.5	1.0	2.0	5.0	8.0	10	12
$U_R(V)$	2.372	2.371	2.374	2.369	2.367	2.375	2.376	2.374
$I_R(mA)$	237.2	237.1	237.4	236.9	236.7	237.5	237.6	237.4
$R(\Omega)$	10	10	10	10	10	10	10	10

根据表 6-1 中的实验数据, 在上面的坐标平面内绘制  $R=F(f)$  阻抗特性曲线。

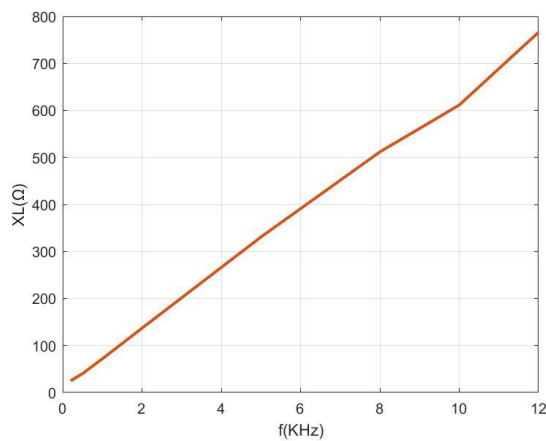
2. 测量电感元件的阻抗特性

按图 6-2(a)接线。调节信号发生器输出电压为 5V, 选取 L 为 10mH,  $R_0$  仍取 10  $\Omega$ 。按表 6-2 所示数据改变信号发生器的输出频率。分别测量  $U_L$ ,  $U_0$  的值记入表 6-2 中, 并注意每次改变电源频率时应调节信号发生器的输出电压保持不变。然后, 根据  $I_L = U_0 / R_0$ ,  $X_L = U_L / I_L$  两式将计算结果填入表 6-2 中。

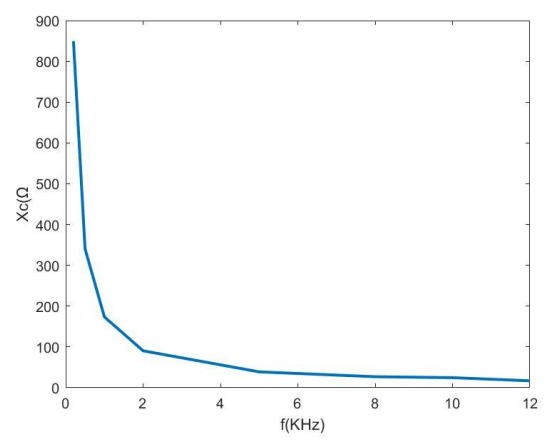
表 6-2 测量电感元件阻抗特性实验数据

频率 f(KHz)	0.2	0.5	1.0	2.0	5.0	8.0	10	12
$U_L(V)$	1.073	1.616	2.383	3.069	3.456	3.521	3.540	3.547
$U_0(V)$	0.4325	0.4027	0.3328	0.2243	0.1045	0.0688	0.0579	0.0463
$I_L(mA)$	43.25	40.27	33.28	22.43	10.45	6.88	5.79	4.63
$X_L(\Omega)$	24.81	40.13	71.61	136.83	330.72	511.77	611.39	766.09

根据表 6-2 中的实验数据，在下面的坐标平面内 $X_L=F(f)$ 阻抗特性曲线。



绘制电感阻抗特性曲线



绘制电容阻抗特性曲线

3. 测量电容的阻抗特性

按图 6-2(b)接线。调节信号发生器输出电压为 5V，选取 C 为  $1\mu\text{F}$ ， $R_0$  不变，取  $10\Omega$ 。按表 6-3 所示数据改变信号发生器的输出频率。分别测量  $U_C$ ， $U_0$  的值记入表 6-3 中，相应调节信号源输出电压保持在 5V。再根据  $I_C = U_0 / R_0$ ， $X_C = U_C / I_C$  两式将计算结果填入表 6-3 中。

表 6-3 测量电容元件阻抗特性实验数据

频率 f(KHz)	0.2	0.5	1.0	2.0	5.0	8.0	10	12
$U_C(\text{V})$	3.577	3.531	3.429	3.063	1.976	1.482	1.383	0.963
$U_0(\text{mV})$	42.08	103.75	197.6	338.54	508.84	550.36	561.89	567.83
$I_C(\text{mA})$	4.21	10.38	19.76	33.85	50.88	550.4	56.19	56.78
$X_C(\Omega)$	849.64	340.17	173.53	90.48	38.84	26.93	24.613	16.960

根据表 6-3 中的实验数据，在上面的坐标平面内 $X_C=F(f)$ 阻抗特性曲线。

4. 寻找谐振频率，验证谐振电路的特点

按图 6-7 接线。 $R$  取  $510\Omega$ ， $L$  取  $10\text{ mH}$ ， $C$  取  $2200\text{pF}$ ，信号发生器的输出电压保持在 1V。用毫伏表测量电阻  $R$  上的电压，因为  $U_R = RI$ ，当  $R$  一定时， $U_R$  与  $I$  成正比，电路谐振时的电流  $I$  最大，电阻电压  $U_R$  也最大。细心调节输出电压的频率，使  $U_R$  为最大，电路即达到谐振（调节前可先计算谐振频率作为参考）测量电路中的电压  $U_R$ 、 $U_L$ 、 $U_C$ ，并读取谐振频率  $f_0$ ，记入表 6-4 中，同时记下元件参数  $R$ 、 $L$ 、 $C$  的实际数值

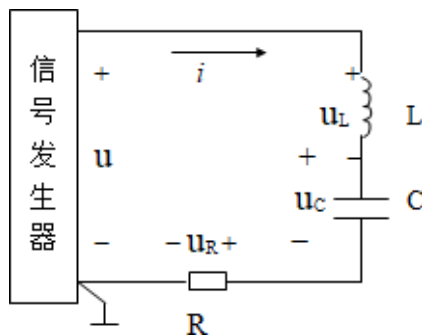


图6-7 串联谐振实验线路

表 6-4

$R=510\ \Omega$	$L=10\text{mH}$	$C=2200\text{pF}$
$U_R=2.790\text{V}$	$U_L=12.435\text{V}$	$U_C=12.458\text{V}$
$f_0=34.2\ \text{kHz}$	$I_0=U_R/R=5.47\text{mA}$	$Q=2.487$

### 5. 测定谐振曲线

实验线路同图 6-7，信号发生器输出电压调至 5V，在谐振频率两侧调节输出电压的频率（每次改变频率后均应重新调整输出电压至 2V）分别测量各频率点的  $U_R$  值，记录于表 6-5 中（在谐振电附近要多测几组数据）在将图 6-7 实验电路中的电阻  $R$  更换为  $2\text{k}\Omega$ ，重复上述的测量过程，记录于表 6-6 中。

表 6-5

$U = 5$  (V)

$R=(510\Omega)$ 、 $L=(10\text{mH})$ 、 $C=(2200\text{pH})$ 、 $Q=0.564$								
$f(\text{kHz})$	31	32	33	$f_0=34.2\text{kHz}$	35	36	37	38
$U_R(\text{V})$	2.357	2.536	2.701	2.820	2.759V	2.72	2.545	2.359
$I(\text{mA})$	4.62	4.98	5.29	5.53	5.41	5.33	4.99	4.63
$I/I_0$	0.83	0.90	0.96	1	0.98	0.96	0.90	0.83
$f/f_0$	0.90	0.93	0.96	1	1.02	1.05	1.08	1.11

表 6-6

$U = 5$  (V)

$R=(2\text{k}\Omega)$ 、 $L=(10\text{mH})$ 、 $C=(2200\text{pH})$ 、 $Q=0.682$									
$f(\text{kHz})$	32	33	34	35	$f_0=36$	37	38	39	40
$U_R(\text{V})$	3.212	3.242	3.305	3.359	3.410	3.398	3.360	3.324	3.013
$I(\text{mA})$	1.606	1.621	1.6525	1.6795	1.705	1.699	1.68	1.662	1.5067
$I/I_0$	0.94	0.95	0.96	0.98	1	0.99	0.98	0.97	0.88
$f/f_0$	0.89	0.91	0.94	0.97	1	1.02	1.05	1.08	1.11

### 6. 用示波器观测R-L-C 串联谐振电路中电流和电压的相位关系

按图 6-8 接线， $R$  取  $510\Omega$ ，电路中 A 点的电位送入双踪示波器的  $Y_A$  通道，它显示出电路中总电压  $u$  的波形。将 B 点的电位送入双踪示波器的  $Y_B$  通道，它显示出电阻  $R$  上的波形，此波形与电路中电流  $i$  的波形相似，因此可以直接把它看作电流  $i$  的波形。示波器和信号发生器的接地端必须连接在一起。信号发生器的输出频率取谐振频率  $f_0$ ，输出电压取 5V，调节示波器使屏幕上获得 2 至 3 个波形，将电流  $i$  和电压  $u$  的波形描绘下来。再在  $f_0$  左右各取一个频率点，信号发生器输出电压仍保持 5V，观察并描绘  $i$  和  $u$  的波形。

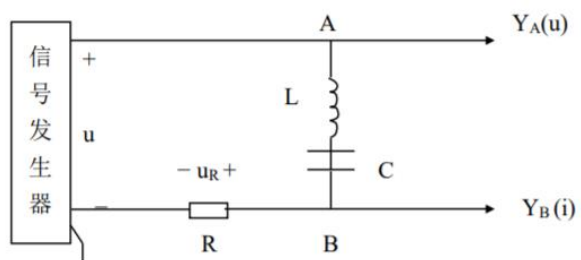
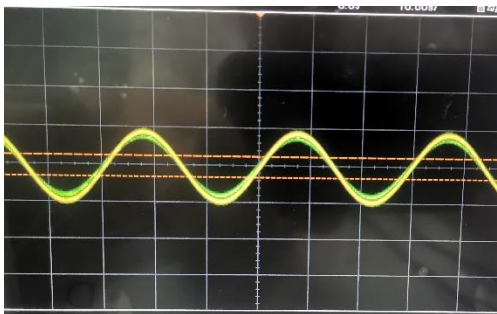


图 6-8 观测电流和电压间相位差实验线路图

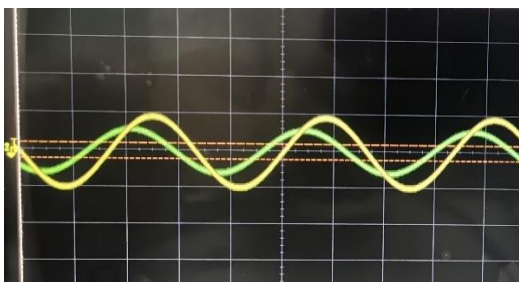
调节信号发生器的输出频率，在  $f_0$  左右缓慢变化，观察示波器屏幕上  $i$  和  $u$  波形的相位和幅度的变化，并分析其变化原因。

$i$  和  $u$  的波形图：

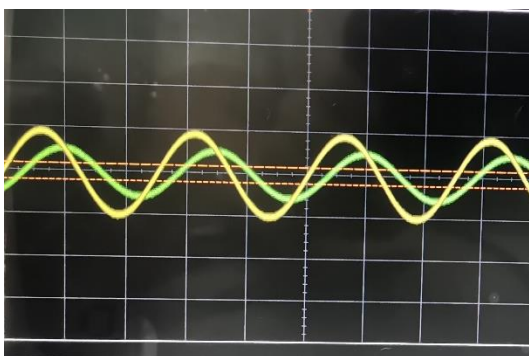
$f=f_0$ :



$f < f_0$ :



$f > f_0$ :



## 五. 注意事项

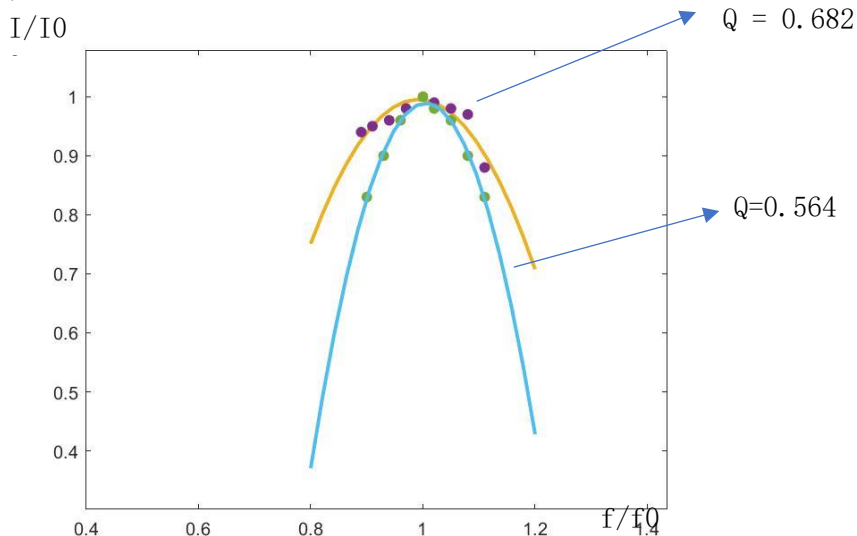
1. 谐振曲线的测定要在电源电压保持不变的条件下进行，因此，信号发生器改变频率时应对其输出电压及时调整，保持为 5V。
2. 为了使谐振曲线的顶点绘制精确，可以在谐振频率附近多选几组测量数据。

## 六. 分析与讨论

1. 根据表 6-2, 表 6-3 的实验数据计算L 和C 的值，结果与标称值是否一致，为什么？
2. 根据表 6-5, 表 6-6 的实验数据，以  $I/I_0$  为纵坐标， $f/f_0$  为横坐标，绘制两条不同 Q 值的串联谐振曲线，并加以分析。
3. 有实验数据或现象说明R-L-C 串联谐振的主要特征

1、与标称值不相等，因为测量仪器及读数均存在误差，但是在误差允许的范围内计算值与标称值近似相等。

2、



在  $f/f_0 = 1$  时， $I/I_0$  达到最大值，即  $I = I_0$ 。

Q值越大，曲线顶部越圆滑，Q越小，曲线顶部越尖

3、电阻、电感、电容两端的电压和电路的频率有关。当频率达到一定值的时候，电路呈现纯电阻状态，此时电阻两端的电压达到最大值，电感和电容两端的电压大小相等、方向相反、为电源电压的Q倍。保持C、L值不变，则电阻R越大，Q值越小。

