



RLC谐振电路

电路基础实验



- 示波器的使用
- 函数信号发生器的使用
- 串联谐振电路
- 测量谐振频率的方法



一、示波器使用



什么是示波器

一句话概括：水平坐标代表时间，垂直坐标代表电压（一般是电压），电压随时间变化的曲线就是示波器显示的波形。





一、示波器使用



什么是触发

触发就是在使用示波器时，为了使扫描信号与被测信号**同步**，我们可以设定一些条件，将被测信号不断地与这些条件**相比较**

只有当被测信号满足这些条件时才**启动扫描（触发）**，从而使得扫描的**频率**与被测信号相同或存在**整数倍**的关系，也就是同步，这些条件就是触发条件



一、示波器使用



有三种触发方式：自动、正常和单次触发

自动触发

这种触发方式使得示波器即使在没有检测到触发条件的情况下也能获取到波形。当示波器在一定等待时间内没有触发条件发生时，示波器将进行强制触发。当强制进行无效触发时，示波器不能使波形同步，显示的波形将卷在一起。当有效触发发生时，显示器上的波形是稳定的。

正常触发

示波器在正常触发方式下只有当其被触发时才能获取到波形。在没有触发时，示波器将显示原有波形而获取不到新波形。

单次触发

在单次触发方式下，用户每按下一次“运行”按钮，示波器将检测到一次触发而获取一个波形

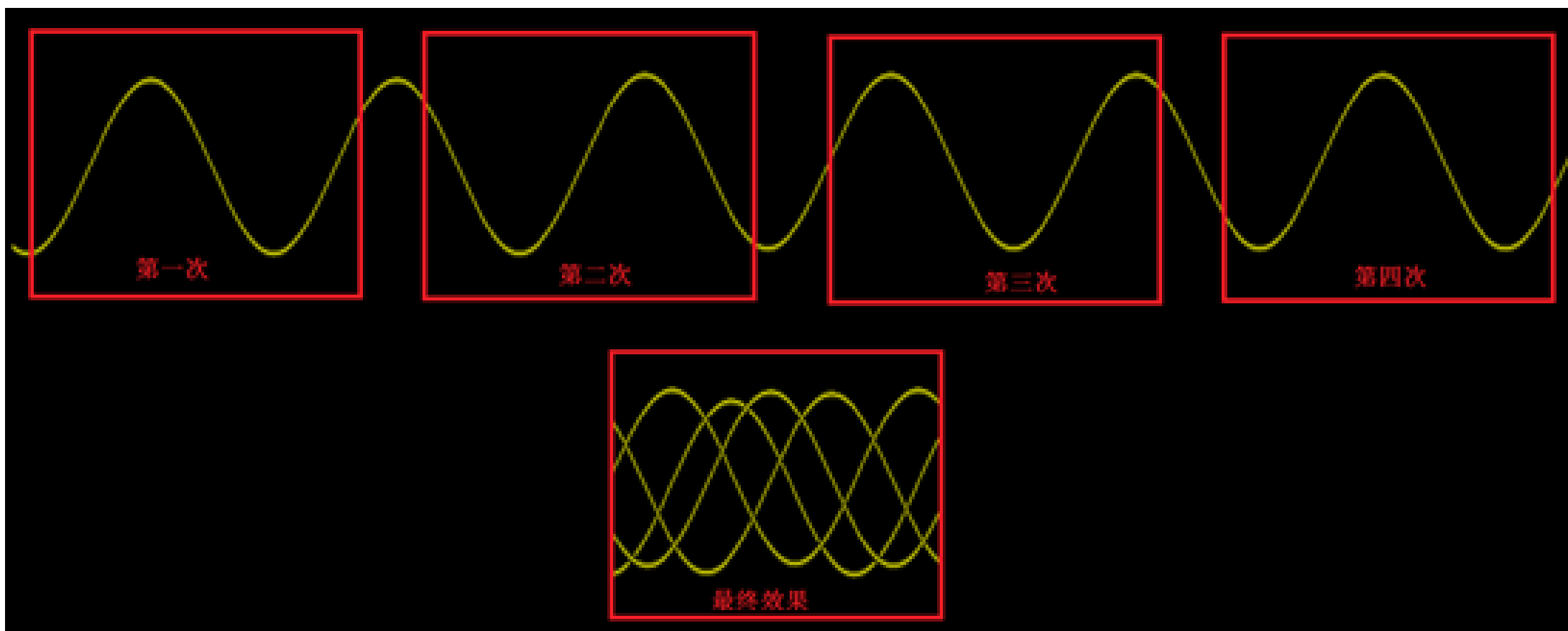


一、示波器使用



为什么要触发呢？

如下图，示波器没有触发的时候，会随机抓取信号（自动模式）并生成图像，由于信号是连续不断的，随机抓取的位置并无规律，这些静态的图像逐个显示，就像放电影一样，组合在一起就形成了动态的显示，最终在屏幕上的效果就是看到波形来回滚动，如下图所示：

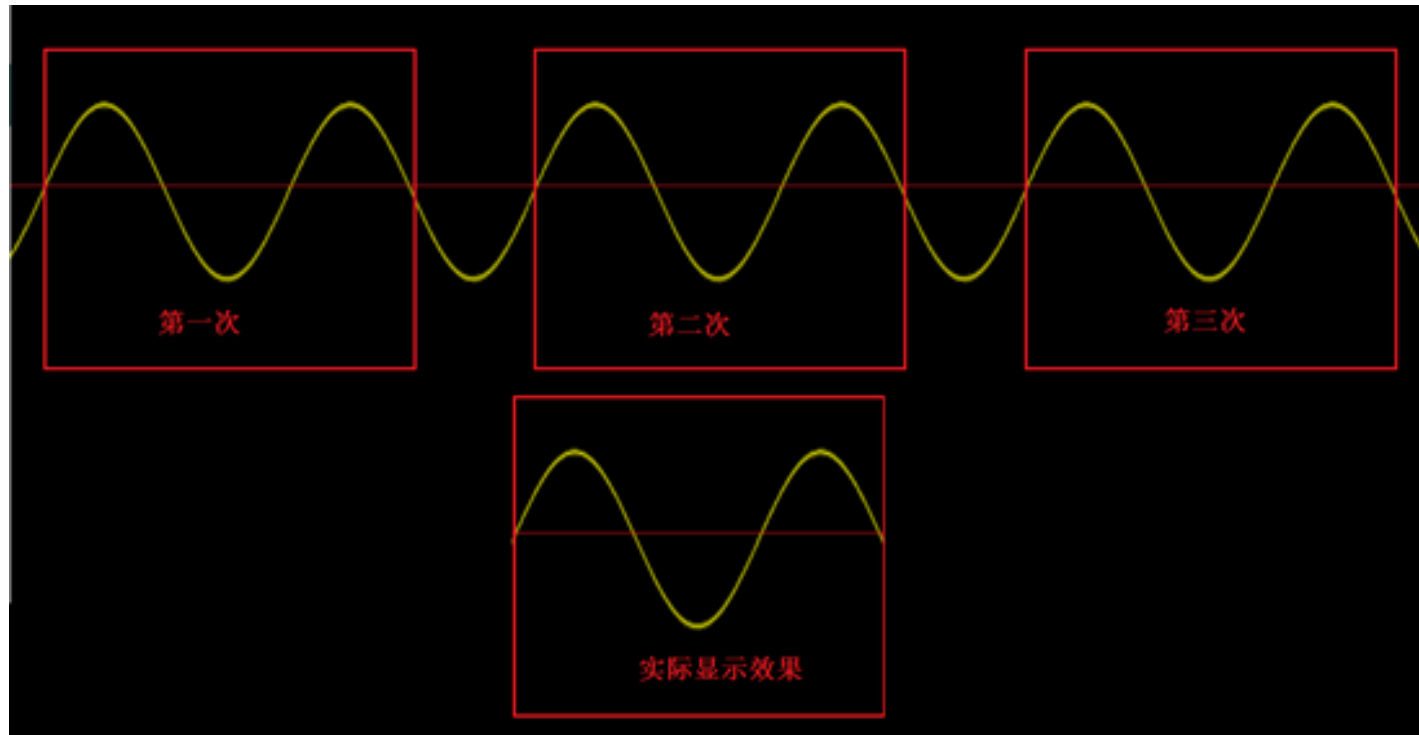




一、示波器使用

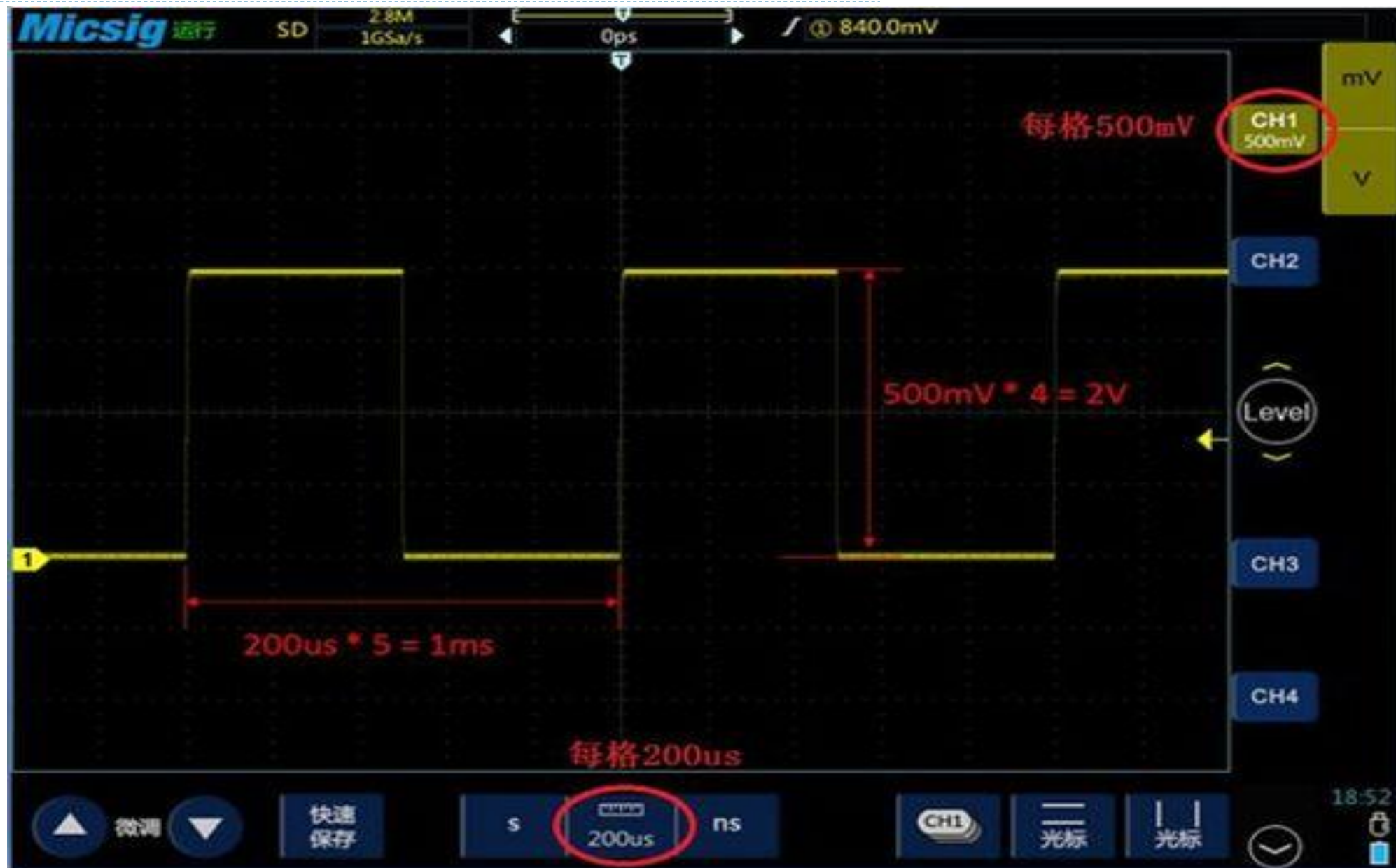


我们设定一个条件，用一个直流电平作为参考，当信号的电压大于直流电平的一瞬间作为抓取信号的起始点，如下图所示，红色细线就是参考的直流电平，由于每次抓取图像的位置是有规律的，都是在信号的过直流电平的瞬间抓取的，所以每次抓取的信号相位一样，连续显示的时候完全重叠，看上去就是一条稳定的波形。





一、示波器使用





探头补偿



在首次将探头与任一输入通道连接时，进行此项调节，使探头与输入通道相配。未经补偿或补偿偏差的探头会导致测量误差或错误。



探头补偿信号输出



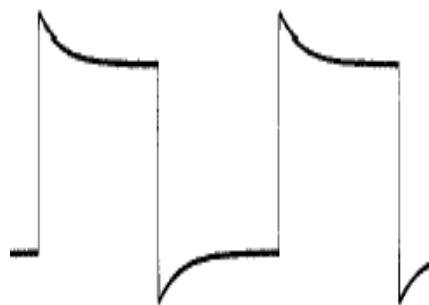
探头补偿



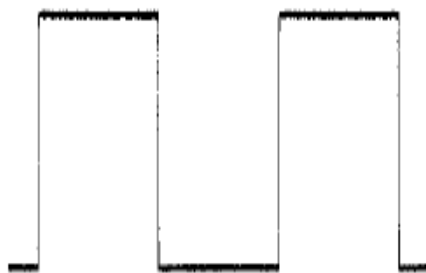
如必要用非金属质地的改锥调整探头上的可变电容，直到屏幕显示的波形如下图“补偿正确”



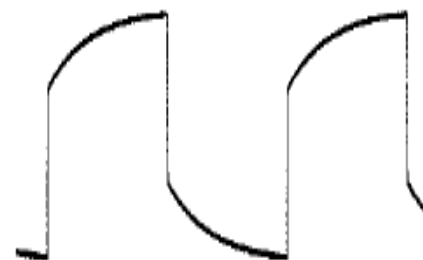
调节的元件是一个可调电容，部分探针不能进行360° 旋转，因此不要太用力。



补偿过度



补偿正确



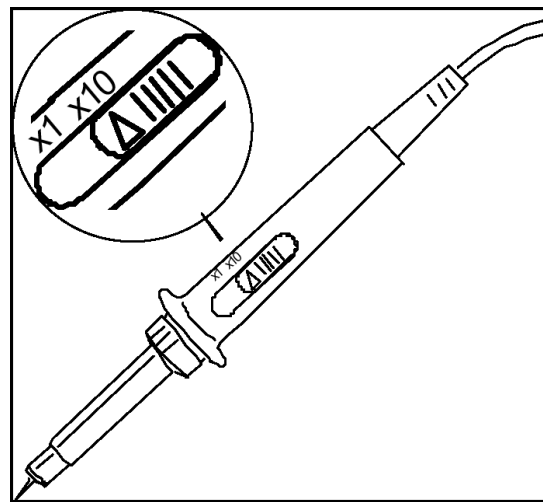
补偿不足



探头补偿



将探头菜单衰减系数设定为10X，将探头上的开关设定为10X，并将示波器探头与通道1连接。如使用探头钩形头，应确保与探头接触紧密。将探头端部与探头补偿器的信号输出连接器相连，基准导线夹与探头补偿器的地线连接器相连，打开通道1，然后按 AUTO



改为10×



三、函数信号发生器





三、函数信号发生器



- 1、调整频率：按【频率 / 周期】使屏幕显示“ $\times \times \text{kHz}$ ”，输入数字，再按单位键。
- 2、调整幅度：按【幅度 / 脉宽】后输入数字，再按单位键。
- 3、选择波形：按【shift】后选择波形。
- 4、按【输出】，灯亮则可输出波形。



例：输出5.8kHz，峰峰值为4.6V的方波，应按：

【频率 / 周期】 【5】 【.】 【8】 【kHz】 ；

【幅度 / 脉宽】 【4】 【.】 【6】 【Vpp】 ；

【shift】 【】 ；

【输出】 。



波形以及相应编号对应关系如下：

波形 编号	波形名称	提示符		波形 编号	波形名称	提示符
1	正弦波	SINE		15	半波整流	COMMUT_H
2	方波	SQUARE		16	正弦波横切割	SINE_TRA
3	三角波	TRIANG		17	正弦波纵切割	SINE_VER
4	升锯齿	UP_RAMP		18	正弦波调相	SINE_PM
5	降锯齿	DOWM_RAMP		19	对数函数	LOG
6	噪声	NOISE		20	指数函数	EXP
7	脉冲波	PULSE		21	半圆函数	HALF_ROUND
8	正脉冲	P_PULSE		22	SINX/X 函数	SINX/X
9	负脉冲	N_PULSE		23	平方根函数	SQUARE_ROOT
10	正直流	P_DC		24	正切函数	TANGENT
11	负直流	N_DC		25	心电图波	CARDIO
12	阶梯波	STAIR		26	地震波形	QUAKE
13	编码脉冲	C_PULSE		27	组合波形	COMBIN
14	全波整流	COMMUT_A				



四、数字交流毫伏表



- 1 量程
- 2 被测信号与表头左右档位





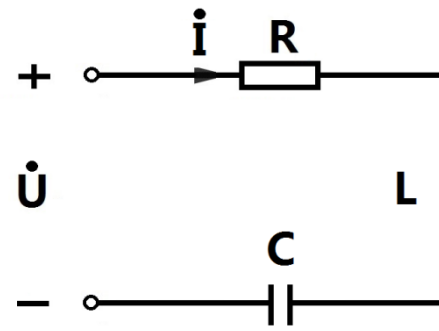
五、谐振



在具有电阻、电感和电容元件的**正弦激励**电路中，电路两端的电压与电路中的电流一般是不同相的，如果我们调节电路中电感和电容元件的参数或改变电源的频率就能够使得电路中的电流和电压出现了**同相**的情况，电路的这种状态称为**谐振**。



五、谐振



RLC电路的固有谐振频率

当电路搭建好以后，电路中电感和电容元件的参数不变的情况下，电路发生谐振时的频率是固定的，取决于电感和电容元件的参数，称为RLC电路的固有谐振频率

电路固有谐振频率

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

电路固有谐振角频率

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



五、谐振



谐振时：

$$f = f_0$$

思考：外界输入的是非正弦周期信号怎么办？

$$\omega = \omega_0$$

傅里叶级数展开

即：外界输入的正弦信号的频率 **f** 和 RLC电路的固有谐振频率 **f₀** **相等**



串联谐振现象



RLC串联电路发生谐振时，有以下主要现象：

1、电压与电流同相

$$\varphi = 0$$

2、电抗

$$X = 0$$

即

$$X_L = X_C$$

3、电路阻抗为纯电阻，且模值最小

$$Z = Z_{\min} = R$$

4、谐振时电流最大

$$I_0 = I_{\max} = \frac{|U|}{R}$$



电路特征阻抗

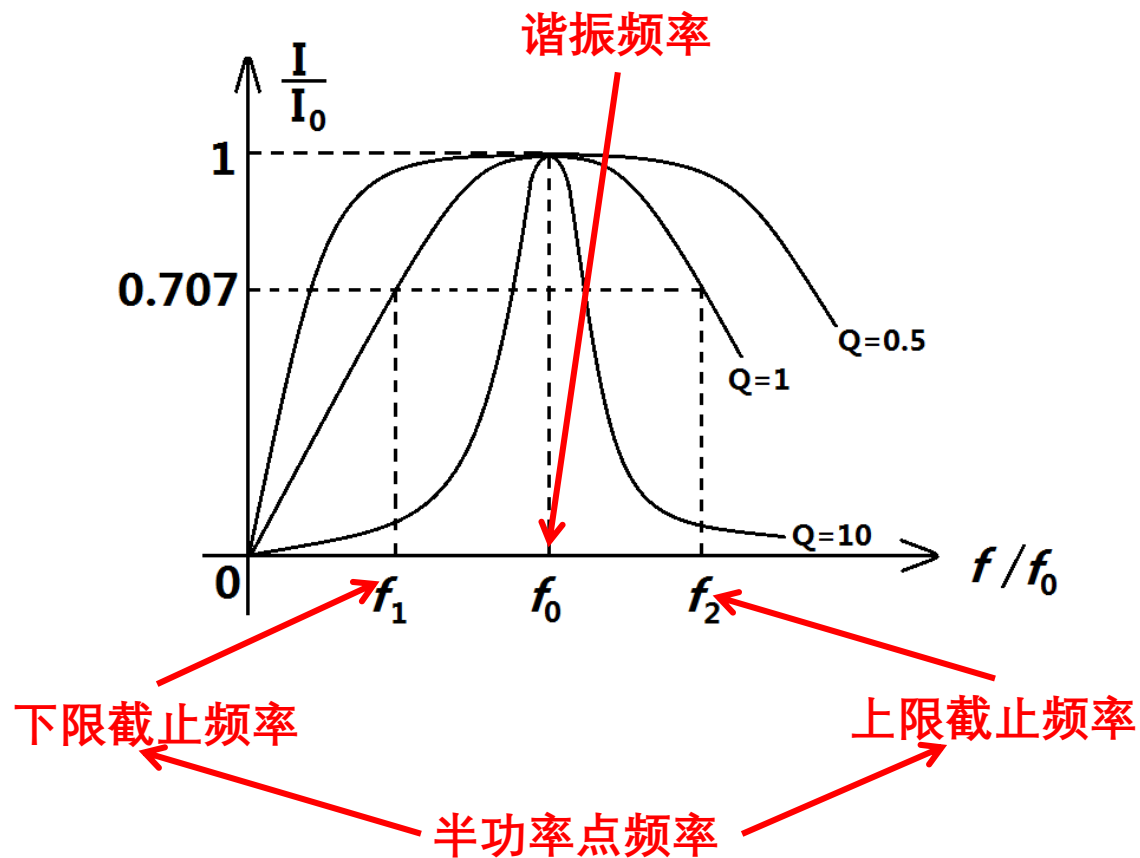
$$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}} = \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$$

电路品质因数

$$Q = \frac{\rho}{R} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 C R}$$



RLC电路的幅频特性曲线如下



$$\begin{aligned} |I| &= \frac{|U|}{|Z|} = \frac{|U|}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}} = \frac{I_0}{\sqrt{1 + \left[\frac{1}{R} (\omega L - \frac{1}{\omega C}) \right]^2}} \\ &= \frac{I_0}{\sqrt{1 + \left[\frac{1}{R} \left(\frac{\omega_0 \omega L}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega_0 \omega C} \right) \right]^2}} = \frac{I_0}{\sqrt{1 + \left[\frac{\omega_0 L}{R} \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{1}{R \omega_0 C} \frac{\omega_0}{\omega} \right]^2}} \\ &= \frac{I_0}{\sqrt{1 + Q^2 \left[\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)^2 \right]}} = \frac{I_0}{\sqrt{1 + Q^2 \left[\left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right)^2 \right]}} \end{aligned}$$

$$\frac{|I|}{I_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + Q^2 \left[\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)^2 \right]}} = \frac{1}{\sqrt{1 + Q^2 \left[\left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right)^2 \right]}}$$

$$\begin{aligned} P_{1,2} &= \frac{P_0}{2} = \frac{U_0^2}{2R} = \frac{1}{2} I_0^2 R \\ I_{1,2} &= \frac{1}{\sqrt{2}} I_0 = 0.707 I_0 \end{aligned}$$



通频带

$$BW_{0.7} = \Delta f = f_2 - f_1 = \frac{f_0}{Q}$$

RLC电路的选择特性正比于品质因数

$$Q = \frac{\rho}{R} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 CR}$$

又有

$$Q = \frac{f_0}{f_2 - f_1} \qquad Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{\omega_0 L}{R} \frac{I_0}{I_0} = \frac{U_{L0}}{U_{R0}}$$



六、测量谐振频率的方法



设计**RLC**串联仿真电路，保持交流信号源输出电压值不变，只改变它的频率

1、交流毫伏表法

从谐振频率测量实验原理可知，当电阻两端的电压达到最大的时候电路发生串联谐振。实验时利用函数信号发生器产生正弦信号，根据需要调整信号频率。观测电阻两端电压有效值，当电压达到最大值时，电路发生串联谐振。此刻函数信号发生器所输出的正弦信号频率值即为电路中谐振频率值。

2、示波器法

利用示波器通道1测量函数信号发生器的电压幅值 V_{P-P} ，通道2测量取样电阻两端的电压幅值，通过调整函数信号发生器正弦波的频率观测电阻两端的电压值，当电阻两端的电压幅值达到最大即电路发生谐振示波器显示 RLC 回路谐振频率测量值。

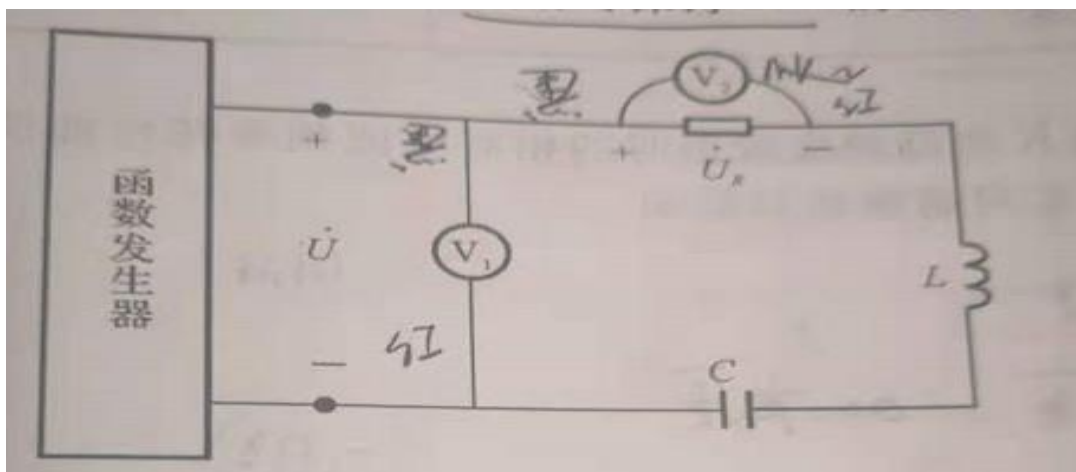


六、测量谐振频率的方法



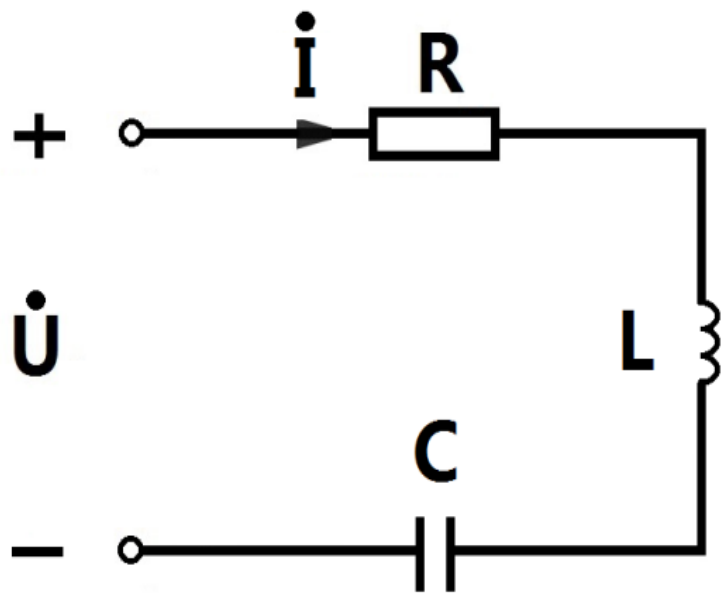
3、双表法测量

- ① 使函数信号发生器输出正弦信号
- ② 调节输出电压（可任意电压2V, 3V.....）
- ③ 调节函数发生器频率（从1Hz逐渐变大观察电阻上电压的变化），寻找电阻电压 V_2 的最大值 V_{max} ，此时对应的频率为谐振频率 f_0
- ④ 调节函数信号发生器的输出电压，使 V_1 某一固定值（如1V）时（ V_1 始终为这个固定值），记下电阻两端电压，然后不断改变函数信号发生器的输出频率和输出电压，使得 V_1 始终等于1V时测出 V_2 为 $0.707V_{max}$, $0.5V_{max}$, $0.3V_{max}$, $0.1V_{max}$ 时对应的频率





六、实验内容



1、预习报告（2分）

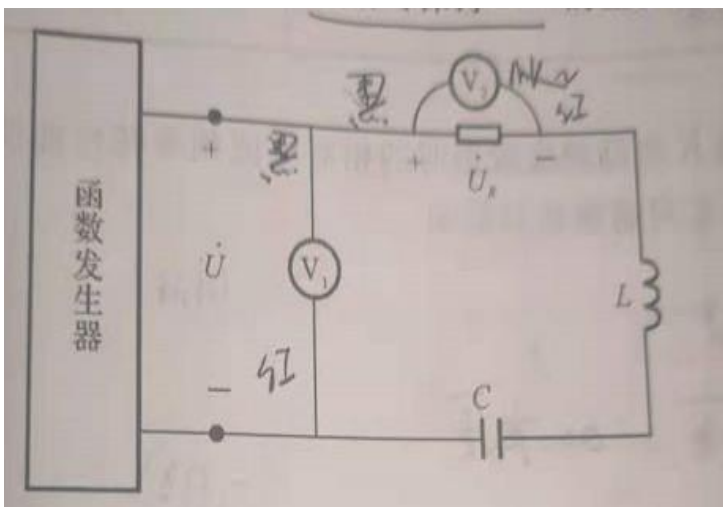
2、搭建左图电路， $R=100\Omega$ ， $C=0.1\mu\text{F}$ ， $L=100\text{mH}$.确定对应的谐振频率（示波器或毫伏表法任选）（2分）

3、利用双表法测量 $R=100\Omega$ 和 $R=5000\Omega$ 欧姆时对应的幅频特性曲线（曲线至少测7个点）（5分）

- 1) 测定100欧姆对应的谐振频率与通带范围并与理论值比较，
- 2) 在0-10k频率范围内测量5000欧姆在不同频率下电阻两端电压（示波器或毫伏表法任选）

5、完成实验报告（3分）要求包含以下内容：

- 1) 思考信号源内阻的影响
- 2) 根据测量的数据画出幅频特性曲线，并计算Q及通频带



$R=100\Omega$							
f/Hz			f_1	f_0	f_2		
V_{2U_r}	$0.1V_{max}$	$0.5V_{max}$	$0.707V_{max}$	V_{max}	$0.707V_{max}$	$0.5V_{max}$	$0.1V_{max}$



七、预习内容



- 1、复习电路理论内容中的RC电路的全响应、瞬态过程等相关内容。
- 2、如何测量RC电路的时间常数。
- 3、在Multisim中仿真画出两种RC电路的频率特性曲线，要求分别实现低通、高通功能。