

东南大学电工电子实验中心

实 验 报 告

课程名称： 电路实验

第 5 次实验

实验名称： 双端口网络频率特性测试及谐振电路分析

院（系）： 信息科学与工程学院 专 业： 信息工程

姓 名： 钟源 学 号： 04022212

实 验 室： 电子技术 7 室 实验组别：

同组人员： 实验时间： 2023 年 8 月 30 日

评定成绩： 审阅教师：

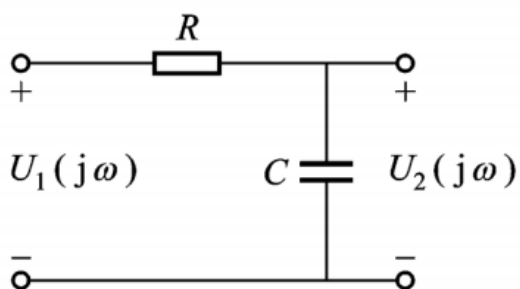
一、实验目的

- (1) 掌握低通、高通、带通电路、带阻电路的频率特性；
- (2) 应用 Multisim 软件测试低通、高通、带通电路、带阻电路及有关参数；
- (3) 掌握 Multisim 软件中的交流分析功能测试电路的频率特性；
- (4) 掌握电路谐振及其特征；
- (5) 掌握 RLC 串联谐振现象观察、测量方法。

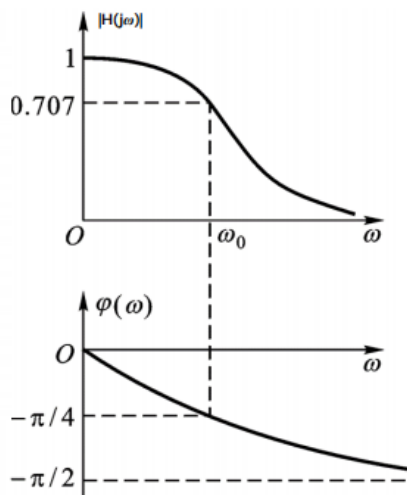
二、实验原理（预习报告内容，如无，则简述相关的理论知识点。）

1. 了解一阶 RC 电路的频率特性

2) 一阶 RC 低通电路频率特性曲线

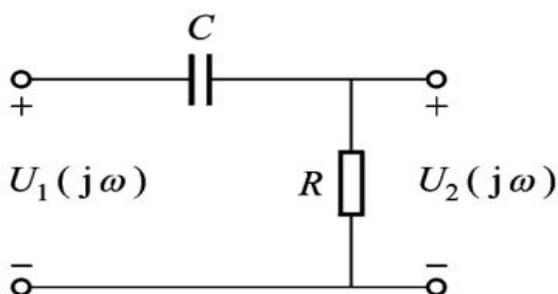


(a) 电路 $H(j\omega) = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1}$

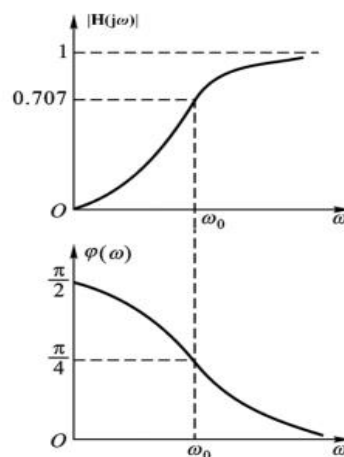


(b) 曲线 $\omega_0 = \frac{1}{RC}$

3) 一阶 RC 高通电路频率特性曲线

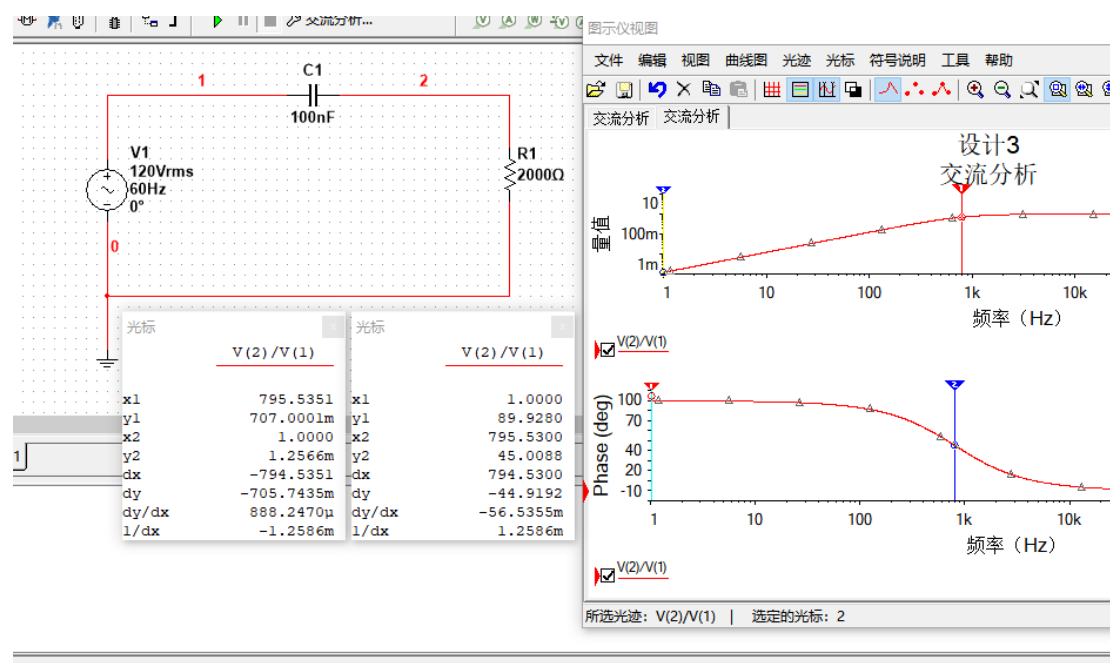


(a) 电路 $H(j\omega) = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1}$



(b) 曲线 $\omega_0 = \frac{1}{RC}$

2. 在现有器件参数的基础上完成实验内容 2 电路的设计



3. 复习 RLC 串联谐振电路相关内容知识

1) RLC 串联电压谐振

在具有电阻、电感和电容元件的电路中，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。RLC 串联谐振又称为电压谐振。由 RLC 组成的串联电路如下图 3 所示。

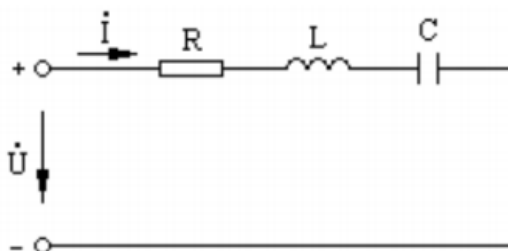


图 3 RLC 串联电路

当感抗等于容抗时，电路的电抗等于零。即 $X_L = X_C$; $\omega L = \frac{1}{\omega C}$; $2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC}$;

$X = \omega L - \frac{1}{\omega C} = 0$ 则 $\varphi = \tan^{-1} \frac{X_L - X_C}{R} = 0$; 即电源电压 \dot{U} 电路中电流 \dot{I} 同相。

谐振时频率 $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$; 角频率 $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$; 周期 $T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$

串联谐振电路的谐振频率 f_0 完全由电路本身的有关参数来决定，是电路本身的固有性质，

2) RLC 串联电压谐振特征

①电路的阻抗

$$|Z| = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = R$$

电路对电源呈现电阻性，电源供给电路的能量全部被电阻所消耗，电源与电路之间不发生能量互换。能量互换只能发生在电感线圈 L 与电容器 C 之间。

②电路的电流

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

当电源电压 U 不变的情况下，如下图 4 所示，电路的电流将在谐振时达到最大值，电流的大小取决于电阻 R 的大小，电阻 R 越小电流越大。反之电流越小。

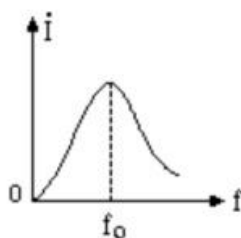


图 4 电流随频率变化曲线

③电路的电压

$$\dot{U} = \dot{U}_R$$

由于 $X_L = X_C$ ，则 $U_L = U_C$ ，如下图所示， \dot{U}_L \dot{U}_C 在相位上相反，互相抵消，对整个电路不起作用，因此电阻 R 上电压 \dot{U}_R 等于电源电压 \dot{U} 。

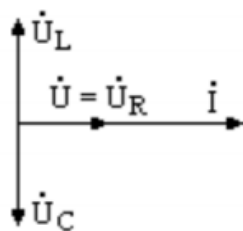


图 5 串联谐振向量图

U_L 、 U_C 单独作用不容忽视，因为 $U_L = IX_L = \frac{U}{R}X_L$ ， $U_C = IX_C = \frac{U}{R}X_C$ ，当 $X_L = X_C > R$ 时， U_L U_C 都大于电源电压 U， $X_L = X_C < R$ 时， U_L U_C 都小于电源电压。当 $X_L = X_C \gg R$ 时， U_L U_C 将远远高于电源电压多少倍。

④电路的品质因数 Q

$$Q = \frac{U_C}{U} = \frac{U_L}{U} = \frac{1}{\omega_0 CR} = \frac{\omega_0 L}{R}$$

品质因数 Q 也是由电路的参数决定的，当 L、C 一定，R 值越小，Q 值越大，谐振曲线越尖锐，R 值越大，Q 值越小，谐振曲线越平坦。

4. 理论计算实验内容 4 的 RLC 串联电路的谐振频率

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi \times \sqrt{330 \times 10^{-6} \times 3.3 \times 10^{-9}}} \text{ Hz}$$

$$= 152.513 \text{ kHz}$$

三、实验内容

1. 用 Multisim 分析功能测试一阶 RC 低通电路的频率特性

①. 建立电路如图 6。输入信号取信号源库 (Sources) 中的交流电压源 (AC Voltage Source), 双击图标, 将其电压设置为 1V, 频率设置为 1kHz。

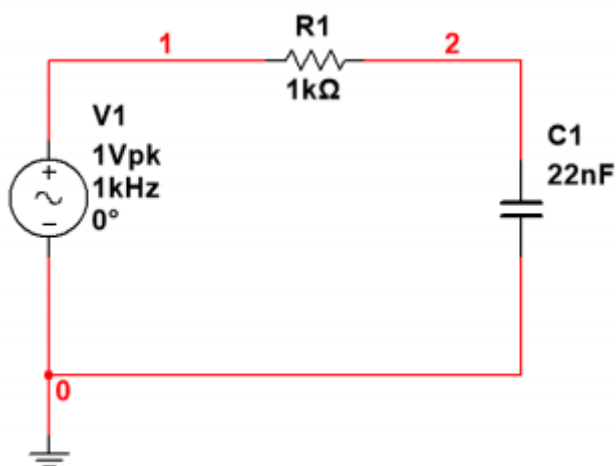
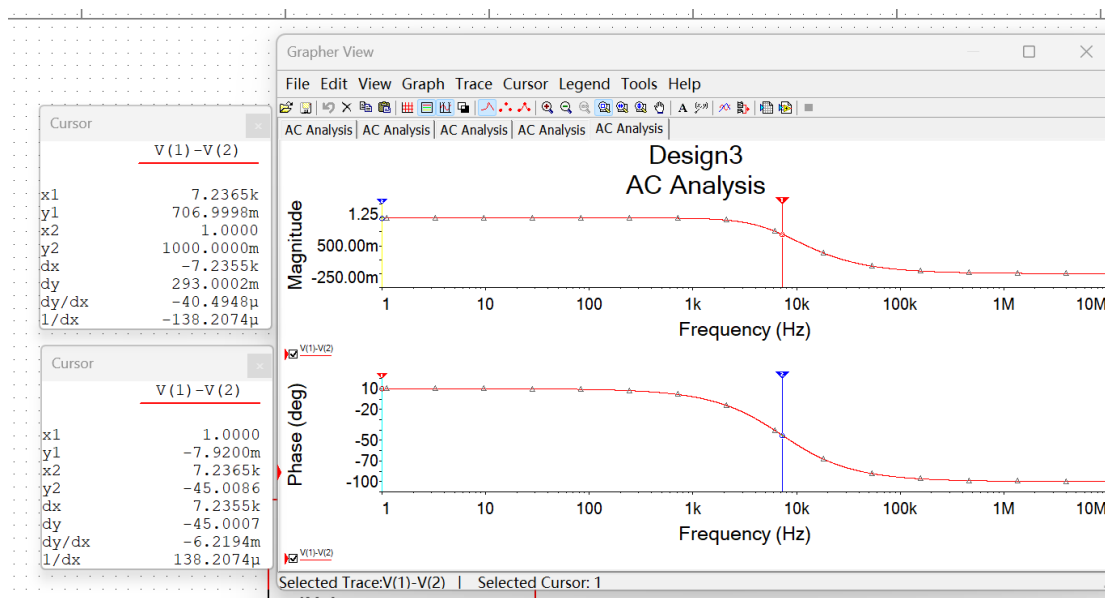


图 6 一阶 RC 低通电路频率特性的测试



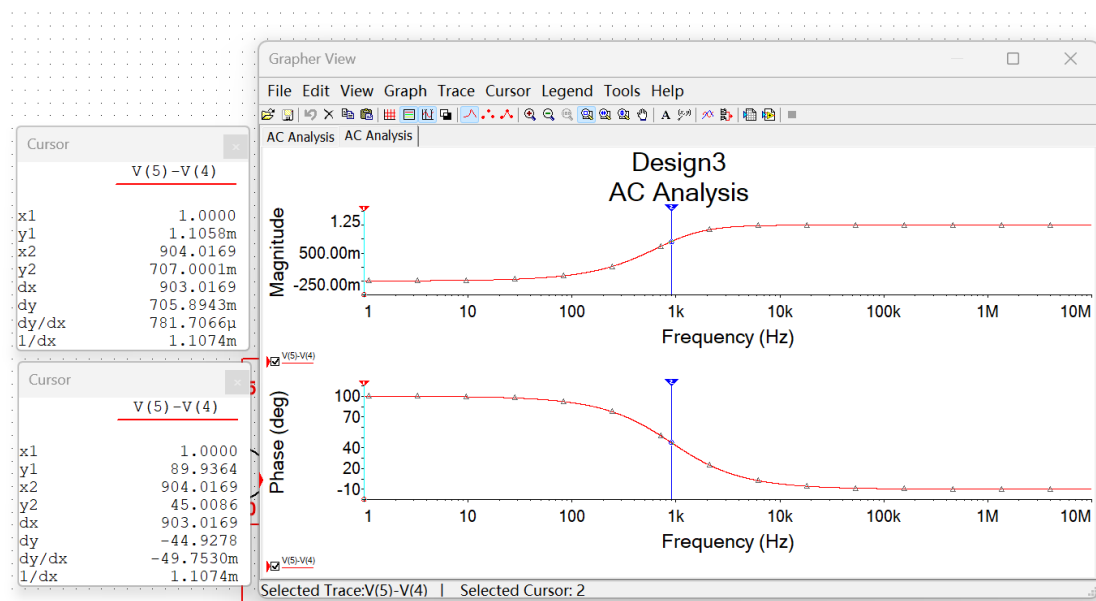
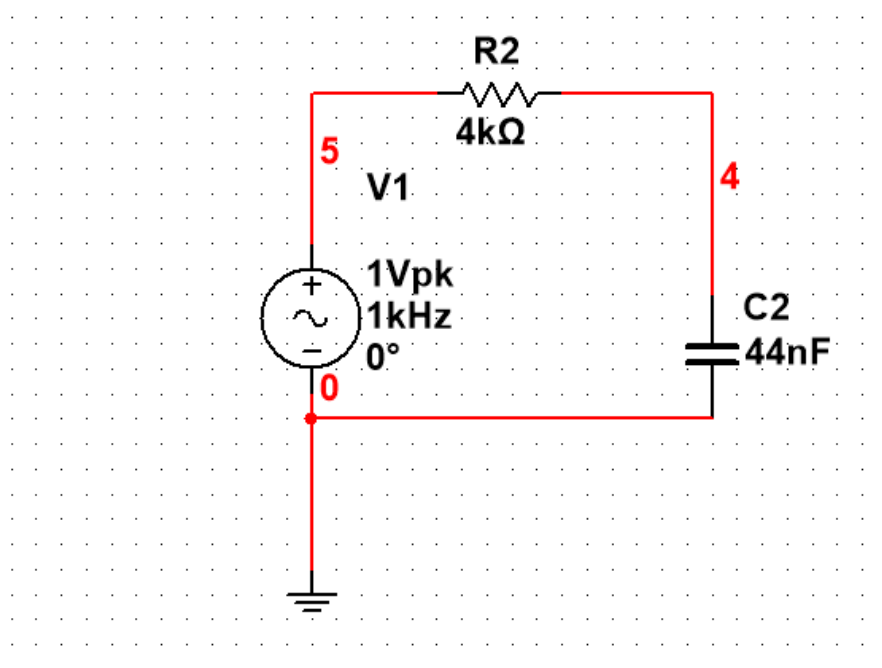
②.测试电路的截止频率: $f_0=7.236\text{kHz}$,计算的理论值: $f_0=7.234\text{kHz}$;

③.用上述方法分别测试 $0.01 f_0$ 、 $0.1 f_0$ 、 $0.5 f_0$ 、 f_0 、 $5 f_0$ 、 $10 f_0$ 、 $100 f_0$ 点所对应的 $|H(j\omega)|$ 和 φ 的值。

测量	$0.01 f_0$	$0.1 f_0$	$0.5 f_0$	f_0	$5 f_0$	$10 f_0$	$100 f_0$
$ H(j\omega) $	0.999	0.995	0.916	0.707	0.196	0.0996	0.0100
$\varphi(^{\circ})$	-0.57244	-5.7056	-23.623	-44.975	-78.680	-84.2844	-89.4266

表1. 一阶 RC 低通电路频率特性测量

2. 设计一阶高通电路，用 Multisim 分析测试其频率特性

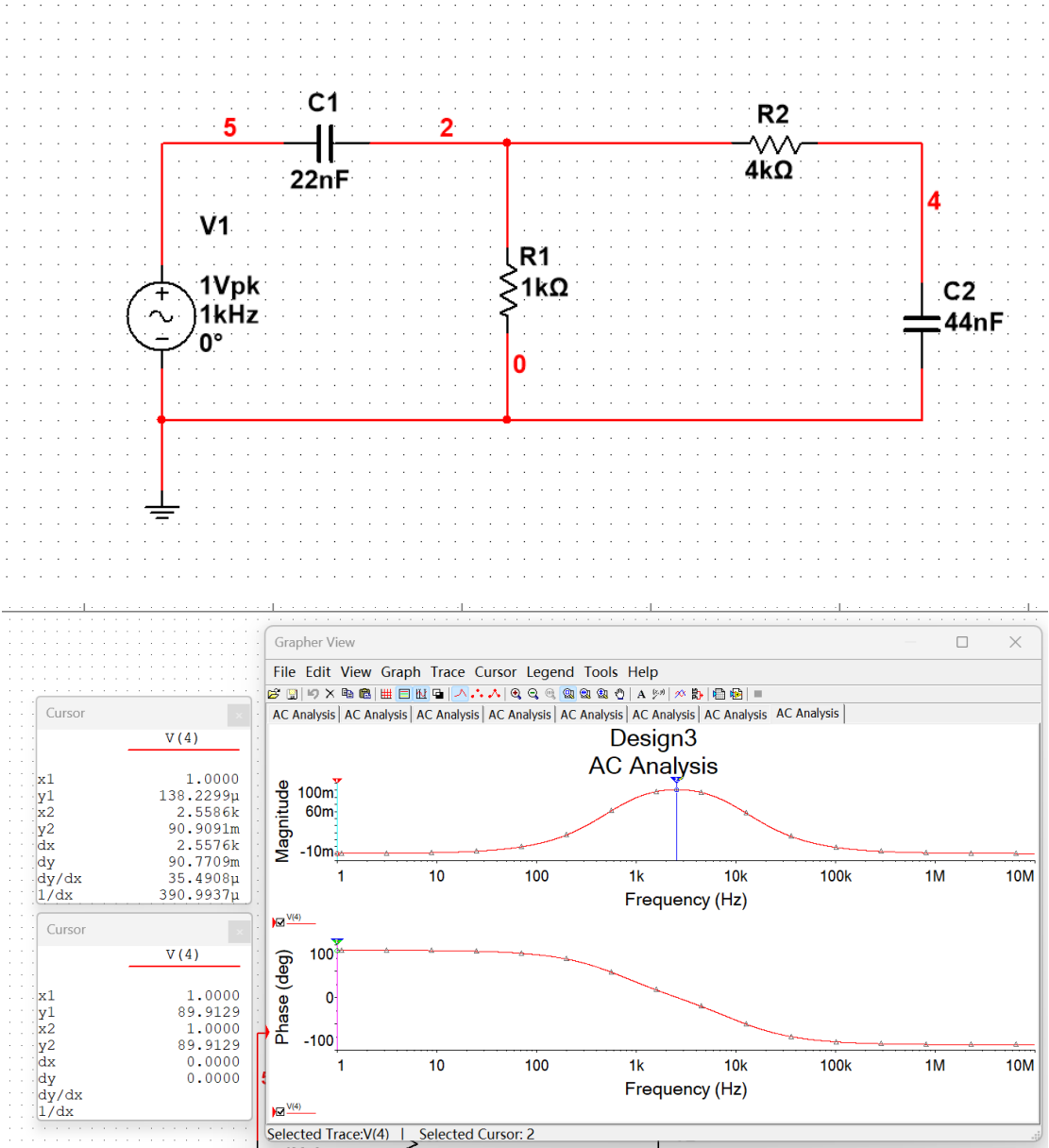


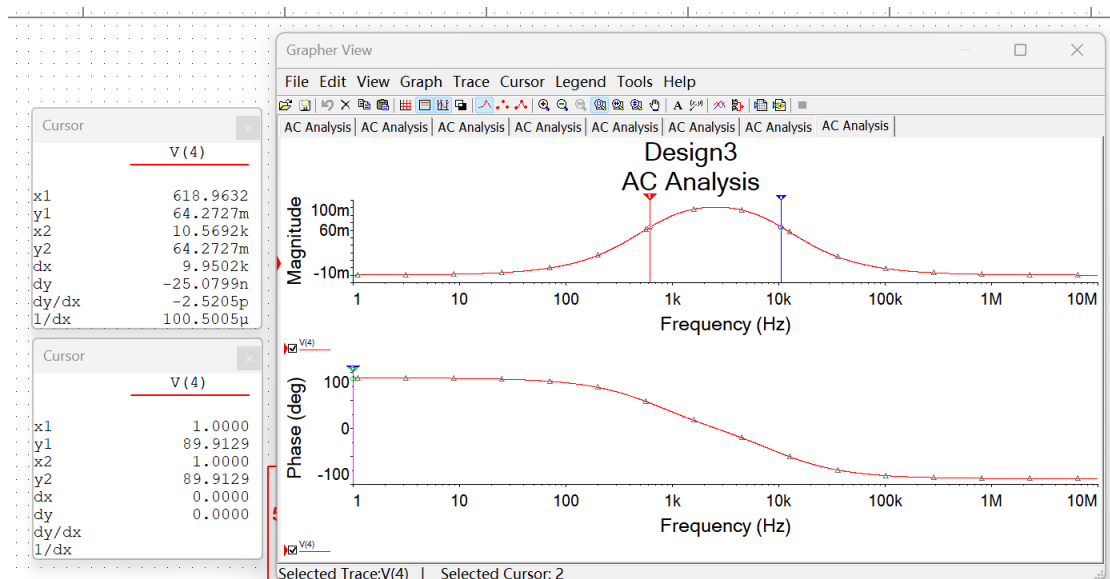
- ①. 测试电路的截止频率 $f_0=904.0169\text{Hz}$, 计算的理论值: $f_0 = f_0=904.289\text{Hz}$;
- ②. 用上述方法分别测试 $0.01 f_0$ 、 $0.1 f_0$ 、 $0.5 f_0$ 、 f_0 、 $5 f_0$ 、 $10 f_0$ 、 $100 f_0$ 点所对应的 $|H(j\omega)|$ 和 φ 的值。

测量	$0.01 f_0$	$0.1 f_0$	$0.5 f_0$	f_0	$5 f_0$	$10 f_0$	$100 f_0$
$ H(j\omega) $	0.009997	0.09947	0.447	0.707	0.9806	0.995	0.99995
$\varphi(^{\circ})$	889.4272	84.2911	63.4419	45.0086	11.3135	5.7123	0.57312

表2. 一阶 RC 高通电路频率特性测量

3. 将实验内容 2、1 电路串联，用 Multisim 测试其电路的频率特性，并进行说明分析





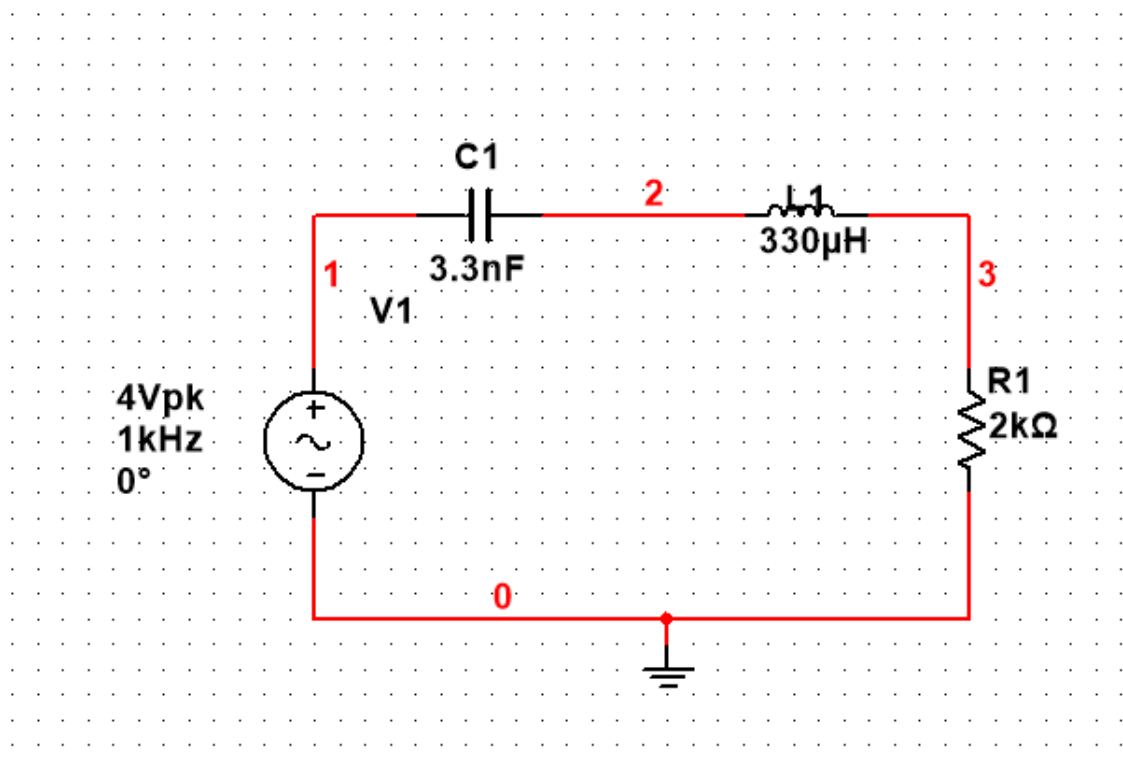
①. 由曲线可知， $f_0=2.5586\text{kHz}$, $f_1=618.96\text{Hz}$, $f_2=10.57\text{kHz}$

对比计算的理论值： $f_0=2.5572\text{kHz}$

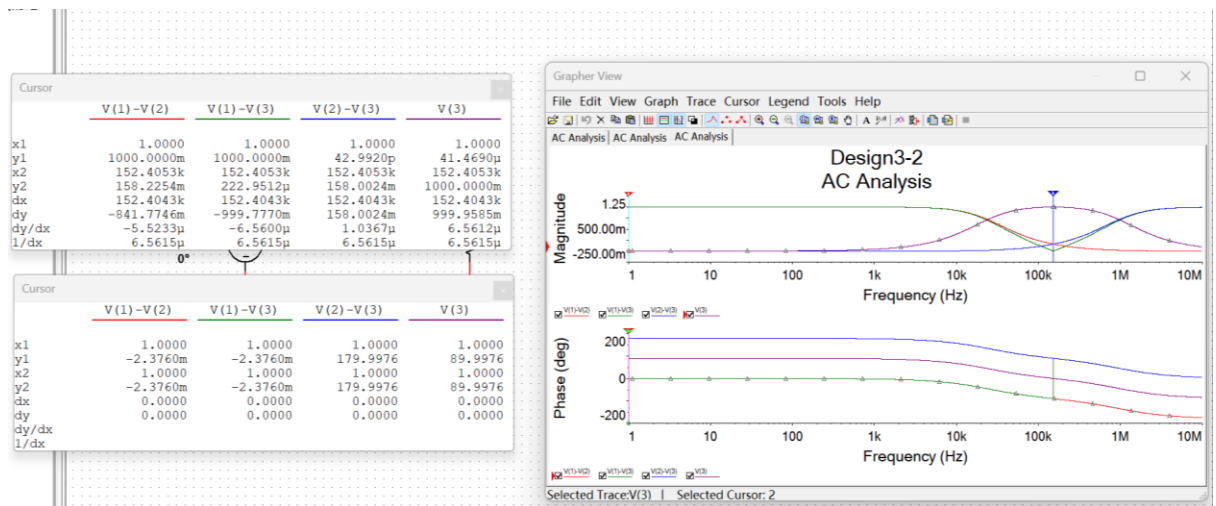
4. RLC 串联谐振电路测量

(1) $R=1\text{k}\Omega$ ， $L=330\mu\text{H}$ ， $C=3.3\text{nF}$ ，激励电压 $4\text{V} \cdot \text{RMS}$ 。

(2) 用 Multisim 软件仿真，观察记录 U_R 、 U_L 、 U_C 随激励信号频率变化而变化的规律，分析实验现象的理论依据。测量谐振频率点 U_R 、 U_L 、 U_C 值及波形。



RLC 仿真电路图



U_L, U_R, U_C 波形图

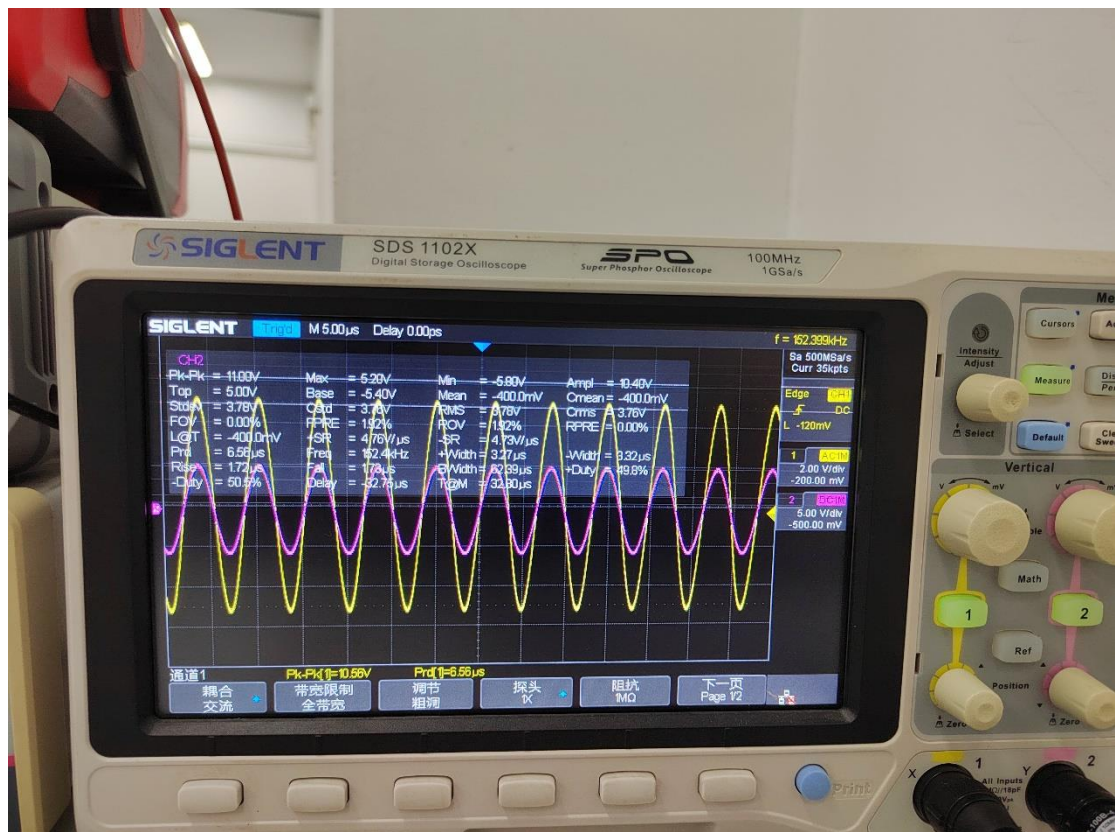
测得 $f_0=152.4053\text{kHz}$ ，计算的理论值为 $f_0=152.513\text{kHz}$ 。

(3) 根据上述测量，试分析如何利用 RLC 谐振电路实现带通及带阻。

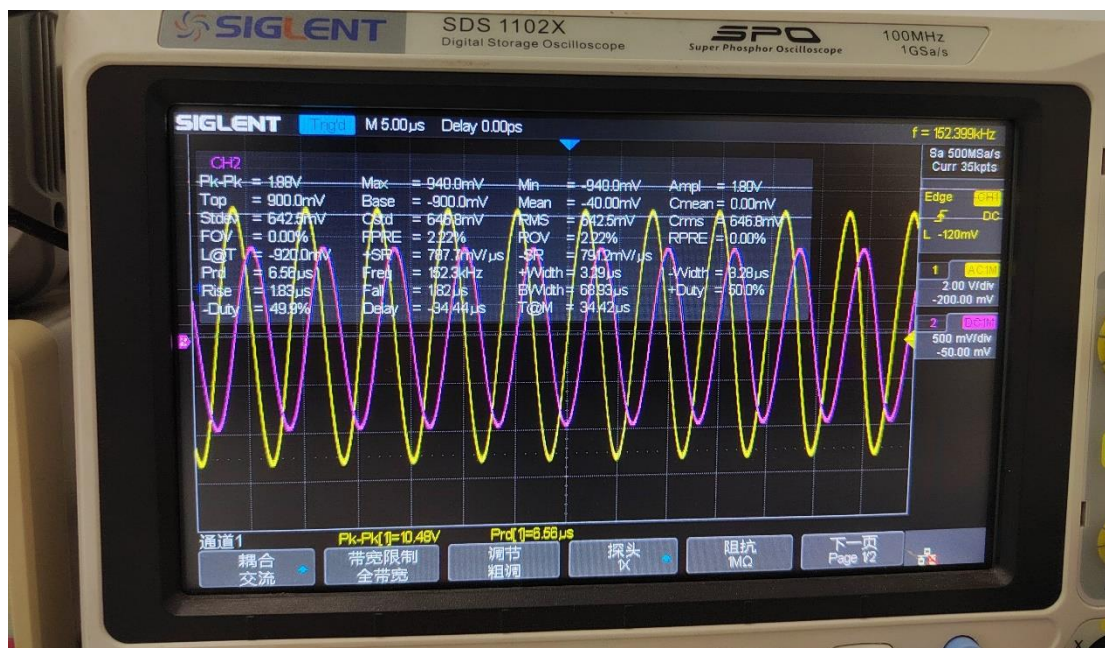
可以调节电感 L 和电容 C ，使得 $1/\sqrt{LC}$ 接近于需要的信号的频率，而使得 $1/\sqrt{LC}$ 与不需要的信号的频率有一定的差异。

(4) 搭试实物电路，再现谐振现象，测量谐振频率，记录此时 U_R, U_L, U_C 值及波形。

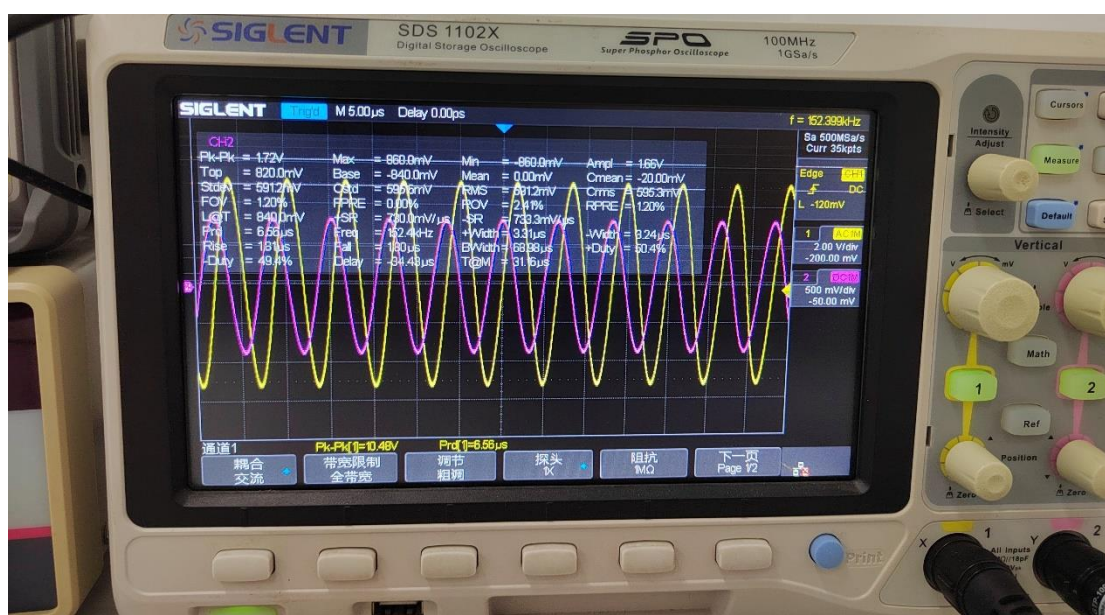
(验收)



U_R 波形图（电源电压有效值为 4V）



U_C 波形图（电源电压有效值为 4V）



U_L 波形图（电源电压有效值为 4V）

以上三图中，可见（有效值） $U_R=3.78V$ ； $U_C=642.5mV$ ； $U_L=691.2mV$ ，谐振频率为 152 kHz。

（5）分析比较软件仿真及实物实验结果的差异，分析产生差异的原因。
差异：

- ①. 软件仿真测得的谐振频率小于实验得出的谐振频率；
- ②. 软件仿真中电容电压与电感电压十分接近并且小于电阻的电压，而实验得出的电容电压与电感电压相差较大并且大于电阻电压。

产生差异的可能原因：

- ①. 元件的标定值与其真实值存在着一定的差异；
- ②. 电源实际输出的频率和电压值与设定值也存在着一定的差异；
- ③. 除了电感和电容，电路中的其他部分可能也存在着一定的电抗性；
- ④. 电路中的某些部分接触不良。

四、实验使用仪器设备（名称、型号、规格、编号、使用状况）

示波器：鼎阳 SDS1202X 示波器 良好

信号源：SDG1062X 信号源 良好

数字万用表：LINI-T UT803 良好

稳压电源：SPD3303C 系列可编程线性直流电源 良好

五、实验总结

（实验误差分析、实验出现的问题及解决方法、思考题（如有）、收获体会等）

实验误差分析

- ①. RLC 串联电路中的电阻 R 的阻值、电压源电压 U_s 应当适中，若 R 太小或 U_s 太大，则电路中电流过大，由于电源内阻而造成的误差会增大，若 R 太大或 U_s 太小，则电路中电流过小，读数的相对误差会增大；
- ②. 对于实验过程中所用的电容，其电容值应当稍大些，以免电容两端电压过大而造成电容被击穿。

思考题

(1) Multisim 仿真电路中输入信号源起什么作用，改变信号源的参数对测试结果有无影响？

Multisim 仿真电路中输入信号源可以提供具有一定频率的输出电压，由于仿真电路中的电源为理想电源，元件的标定值和与放入电路时的值相同，因此改变信号源的参数对测试结果无影响。

(2) 试写出判定 RLC 串联电路处于谐振状态的三种实验方法。

- ① . 分别测电源的输出电压和电阻两端电压, 若两者的幅值和相位都近似相同, 则说明该 RLC 串联电路处于谐振状态;
- ② . 分别测电感和电容两端电压, 若两者的幅值近似相同, 相位大约相差 180° , 则说明该 RLC 串联电路处于谐振状态;
- ③ . 测电感的电容的串联总电压, 若所得到的电压值近似为 0, 则说明该 RLC 电路处于谐振状态。

(3) RLC 串联谐振电路实物实验中, 信号源输出信号幅度该如何选择? 测量过程中, 信号源信号幅度有没有变化?

信号源输出信号的幅度要适中, 若太小, 则读数时的偶然误差会偏大, 若太大则有可能损坏电路元件。测量过程中, 由于信号源自身有一定的内阻, 随着电路中电流的幅度发生变化, 信号源信号幅度也会有一定的变化。

(4) 在谐振频率点、及谐振频率左右, 电路的特性有什么变化?

- ① . 在谐振频率点, 电阻两端的电压达到最大值, 约为信号源电压, 电感和电容的电压等大并且相位正好相差 180° , 因此相互抵消, 整个电路显电阻性;
- ② . 信号源频率比谐振频率大时, 电感的感抗大于电容的容抗, 电路显感性; 信号源频率比谐振频率小时, 电感的感抗小于电容的容抗, 电路显容性。

六、参考资料 (预习、实验中参考阅读的资料)

电路实验 2023 教学计划 (2023-2024 第一学期) (学生版)