

电子科技大学

《Multisim 与电路仿真设计》实验报告

实验 5: 动态电路分析与设计

学生姓名: 李聪 学号: 2019010398114

教师姓名: 张彪 日期: 2021-9-30

一、实验目的与任务

1、实验目的

理解动态元件和一阶、二阶动态电路特性，理解正弦稳态阻抗匹配概念。分析动态元件的电压和电流关系，分析动态电路时域波形，掌握熟悉交流仿真分析方法和阻抗测试方法。

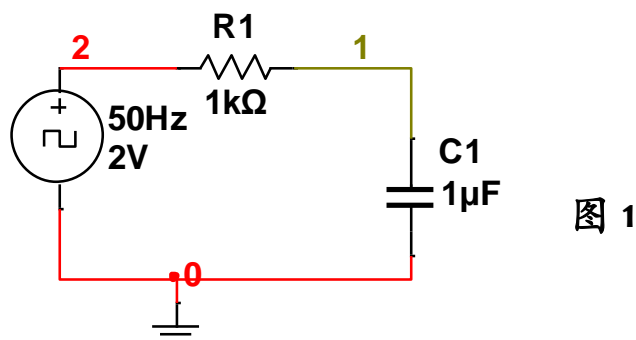
2、实验内容

1、一阶 RC 电路分析

如图 1 所示，用时钟电压源产生周期为 20ms、占空比 50%、幅度 2V 的矩形波。

(1) $C1=1\mu\text{F}$ 时，瞬态分析测试电压源波形和电容电压波形，由充电曲线得到时间常数，完成表 1，与理论值对比。

(2) 改变元件参数，使电容电压近似为三角波，示波器测试电压源波形和电容电压波形。



| 零状态响应 | 0.5V0 | τ (实验值) | τ (理论值) |
|------------|-------|--------------|--------------|
| 时间 (ms) | 0.713 | 1.01 | 1 |

表 1 RC 电路实验数据

2、二阶电路分析

电路如图 2，可以模拟一阶 RC 电路的零状态响应和 RLC 串联电路的零输入响应。

开关由 8 转到 9，等待电容电压稳定后，开关再由 9 转到 8。用示波器观测 R5 取不同值时的电容电压和电感电流波形（电感电流波形用 R5 的电压波形替代），计算 R5 不同时的阻尼状态，完成表 2

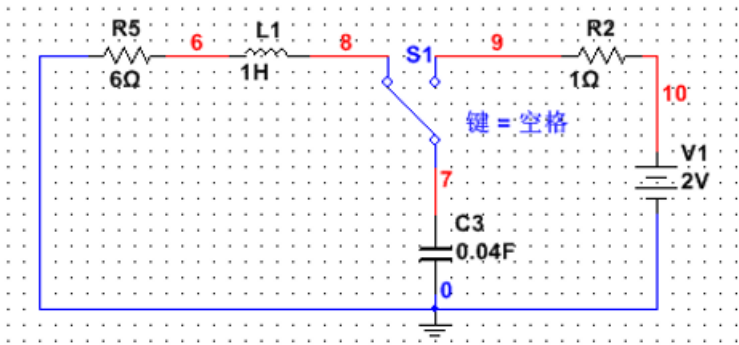


图2

| | | | |
|------------------------------|--------------|---------------|------------------|
| R5 (Ω) | 12 | 3 | 1 |
| $S_{1, 2}$ | $6 \pm j3.3$ | $1.5 \pm j44$ | $0.25 \pm j4.93$ |
| 阻尼状态 | 过阻尼 | 欠阻尼 | 欠阻尼 |

表 2 RLC 电路计算数据

3、阻抗匹配设计与分析

图 3 所示电路中，单口网络中电压源峰值为 10V，源内阻 $R_0=20\ \Omega$ ， $f=1\text{kHz}$ 。为使 $10\ \Omega$ 负载电阻 R_L 从单口网络中获得最大功率，设计一个由一个电容和一个电感元件组成的网络来满足共轭匹配条件。

- (1) 计算 C 和 L 的大小；
- (2) 用单频交流分析测试 ab 端的等效负载阻抗，判断是否满足共轭匹配；
- (3) 测试 ab 端负载网络吸收的平均功率，并与理论值（负载可能的最大功率）比较。

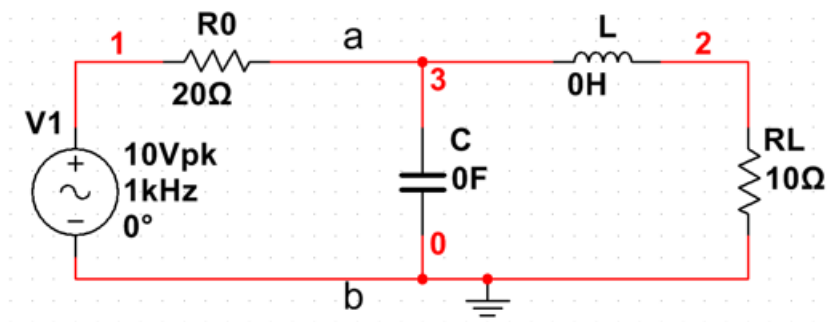


图3

二、实验原理

一阶电路三要素法，时间常数概念，时间常数对输出电压的影响；

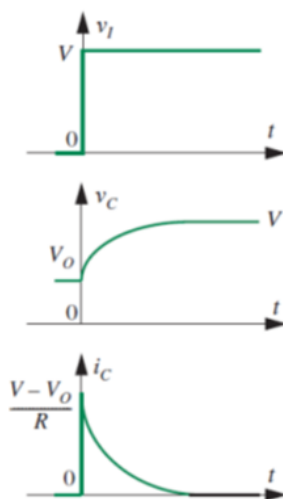
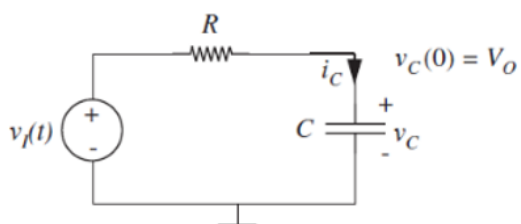
二阶电路时域特性；

正弦稳态，功率，共轭匹配概念及实现。

1 一阶RC电路特性

$$f(t) = [f(0_+) - f(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}} + f(\infty) \quad (t \geq 0)$$

直流激励时的全响应。无论是零状态还是零输入响应，都是全响应的特例。



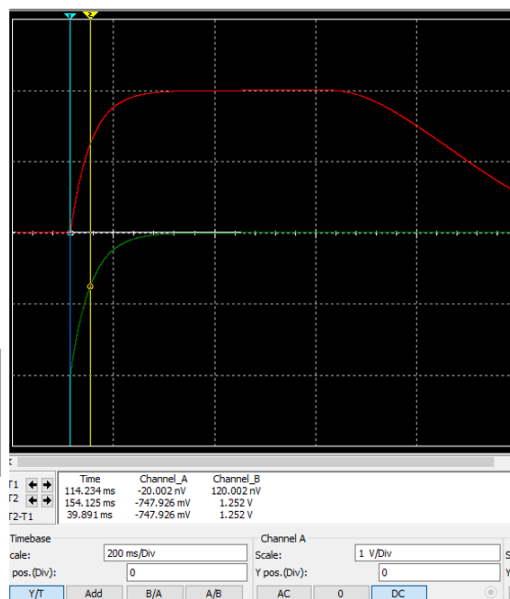
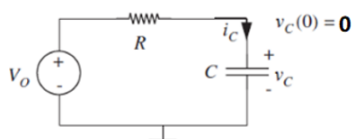
1 一阶RC电路特性

时间常数 τ 的计算:

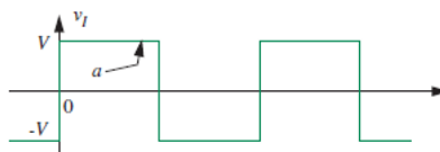
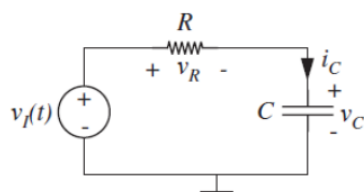
计算与电容或电感连接的线性电阻
单口网络的输出电阻 R_0

$$\tau = R_0 C \text{ 或 } \tau = L/R_0$$

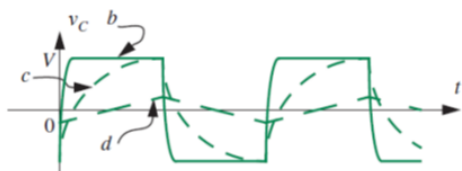
| | | | |
|----------|-----------|------------|------------|
| 充电时间 t | 0.7τ | τ | 5τ |
| $u_c(t)$ | $0.5V_0$ | $0.632V_0$ | $0.997V_0$ |



1 一阶RC电路特性



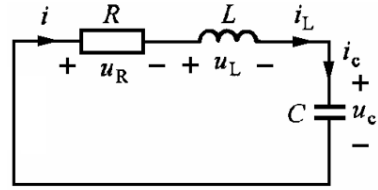
方波脉宽与时间常数对输出电压波形有何影响



b、c、d波形分别对应RC逐渐增大的情况，当RC足够大时，电容电压为输入电压的积分。

2 RLC二阶动态电路

欠阻尼情况



$$s_{1,2} = -\frac{R}{2L} \pm \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}} = -\alpha \pm j\sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2} = -\alpha \pm j\omega_d$$

$$u_c(t) = Ke^{-\alpha t} \cos(\omega_d t + \varphi)$$

$$\alpha = \frac{R}{2L} \quad \text{——— 衰减因子}$$

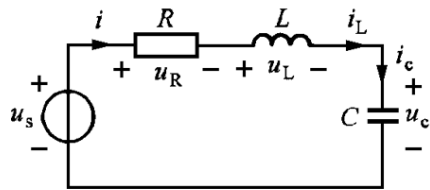
$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{——— 无阻尼谐振角频率}$$

$$\omega_d = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2} \quad \text{——— 有阻尼谐振角频率}$$

2 RLC二阶动态电路

微分方程

$$LC \frac{d^2 u_c}{dt^2} + RC \frac{du_c}{dt} + u_c = u_s(t)$$



固有频率

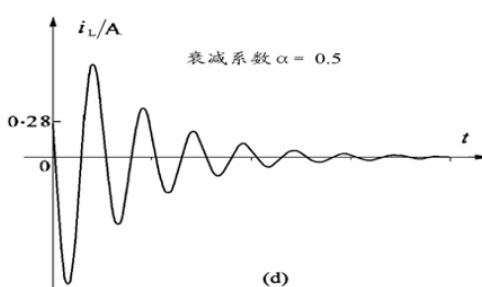
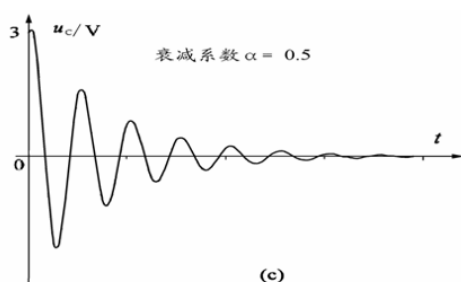
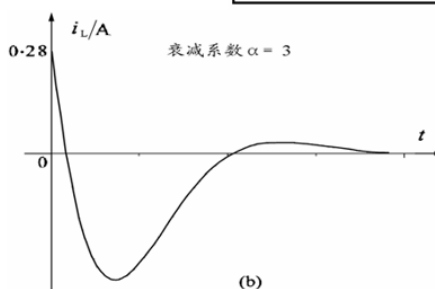
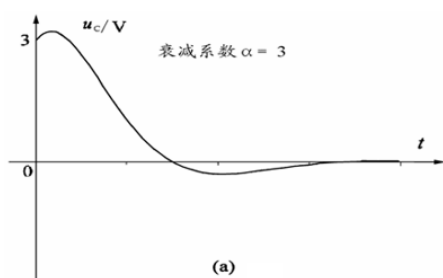
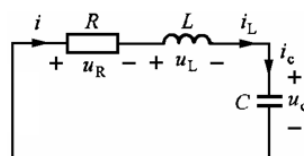
$$s_{1,2} = -\frac{R}{2L} \pm \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}}$$

$$(1) \text{ 过阻尼情况} \quad R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$(2) \text{ 临界阻尼情况} \quad R = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$(3) \text{ 欠阻尼情况} \quad R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$u_C(0)=3V, \quad i_L(0)=0.28A$$



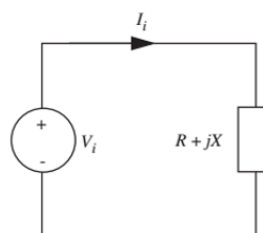
3 正弦稳态电路的平均功率

负载网络获得的平均功率 $\bar{P} = \frac{1}{2} |V_i| |I_i| \cos \theta$

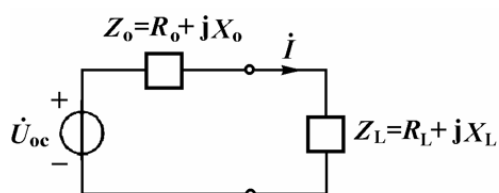
$\cos \theta$ 称为功率因素

$$\theta = \varphi_v - \varphi_i = \varphi_Z = \arctg\left(\frac{X}{R}\right)$$

$$= |V_{irms}| |I_{irms}| \cos \theta$$



在 $R_0 > 0$ 的前提下，负载获得最大功率的条件是：

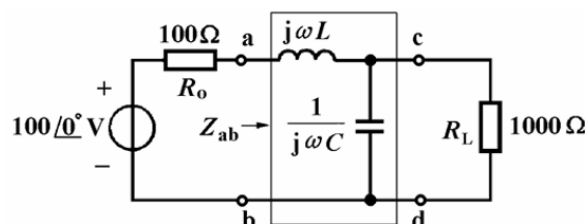


$$Z_L = R_L + jX_L = Z_0^* = R_0 - jX_0 \quad \text{称为共轭匹配}$$

负载获得的最大平均功率为 $P_{\max} = \frac{U_{oc}^2}{4R_0}$

阻抗的共轭匹配

为使负载电阻从含源单口网络中获得最大功率，需要设计一个由电抗元件组成的网络来满足共轭匹配条件。



$$Z_{ab} = j\omega L + \frac{\frac{1}{R_L}}{\frac{1}{R_L^2} + (\omega C)^2} - j \frac{\omega C}{\frac{1}{R_L^2} + (\omega C)^2} = Z_o^* = R_o - jX_o$$

$$\omega C = \frac{1}{R_L} \sqrt{\frac{R_L}{R_o} - 1} \quad \omega L = \frac{\omega C}{\frac{1}{R_L^2} + (\omega C)^2} \times \frac{1}{\frac{1}{R_L}} = \omega C R_L R_o$$

三、实验步骤

四、实验数据和数据分析

瞬态分析测试电压源波形和电容电压波形如图 1 所示

三角波形测试结果如图 2 所示

电阻为 1Ω 模拟一阶 RC 电路的零状态响应和 RLC 串联电路的零输入响应测试结果如图 3 所示

电阻为 3Ω 模拟一阶 RC 电路的零状态响应和 RLC 串联电路的零输入响应测试结果如图 4 所示

电阻为 12Ω 模拟一阶 RC 电路的零状态响应和 RLC 串联电路的零输入响应测试结果如图 5 所示

单频交流分析与功率测试结果如图 6 所示

当 τ_c 值足够大时，电容电压是输入电压的积分，

当电路处于欠阻尼时，电压震荡，对负载电路产生的干扰更多，因此要避免欠阻尼的情况。

当电路处于过阻尼的时候，电压上升过程中会产生一个较打的浪涌电压，可能会击穿负载的一些元器件，也要避免这种情况的发生。

当负载阻抗呈现电阻，而电抗为 0 时，传输功率最大，效率最高。

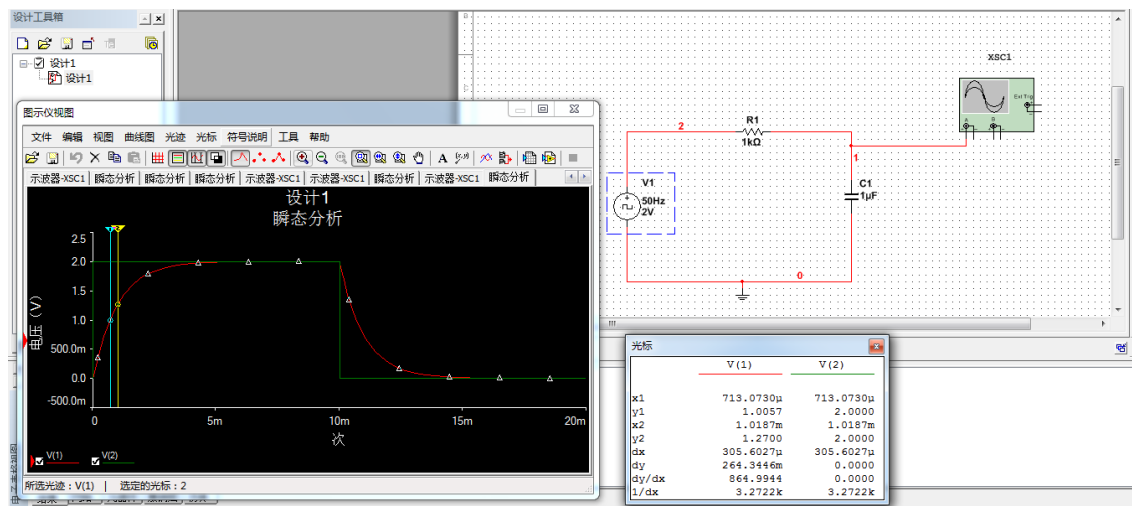


图 1

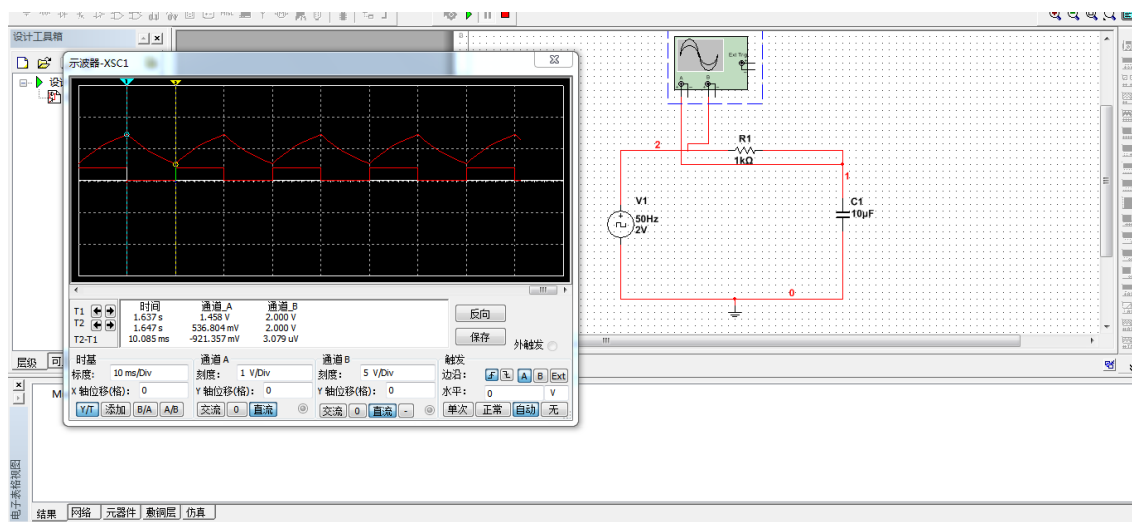


图 2

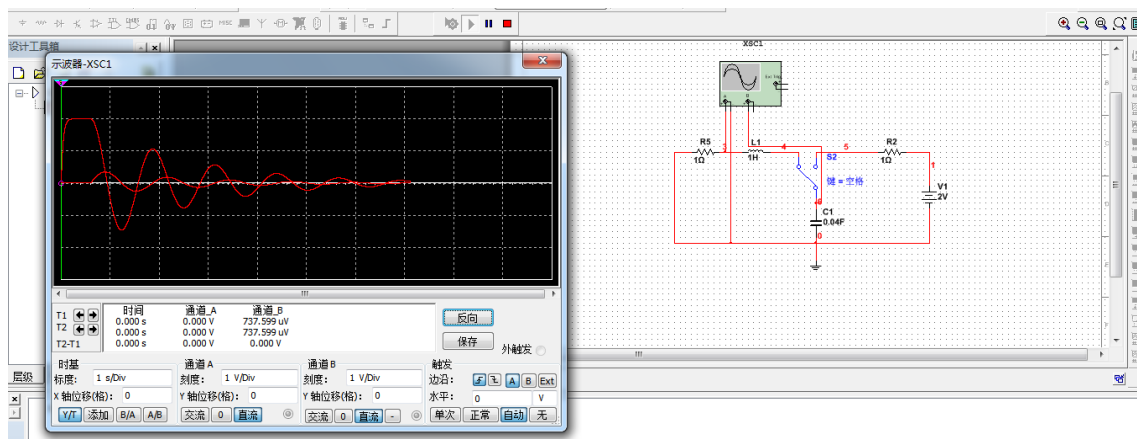


图 3

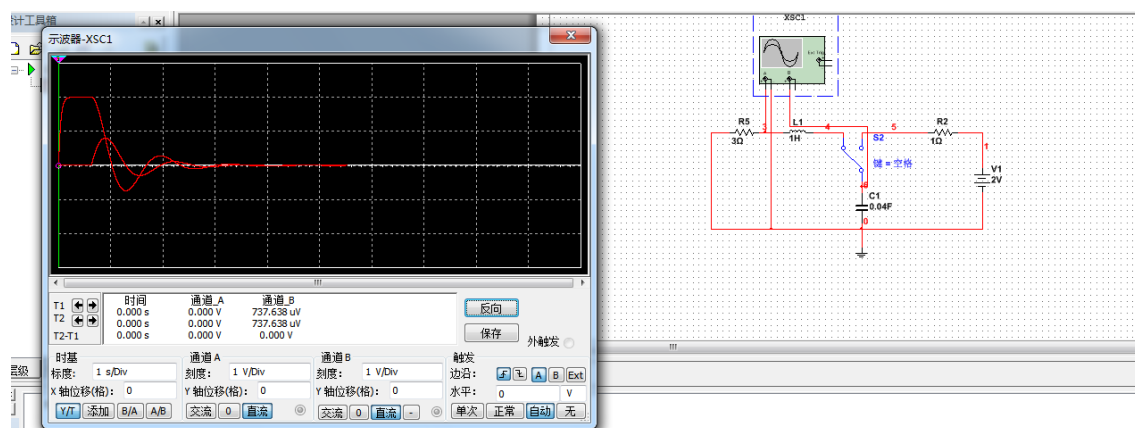


图 4

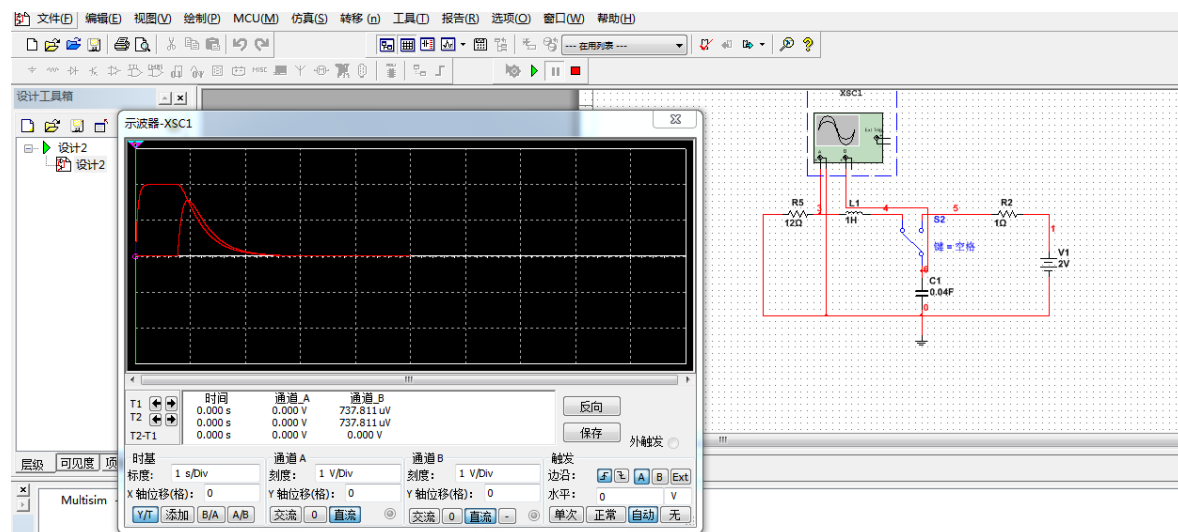


图 5

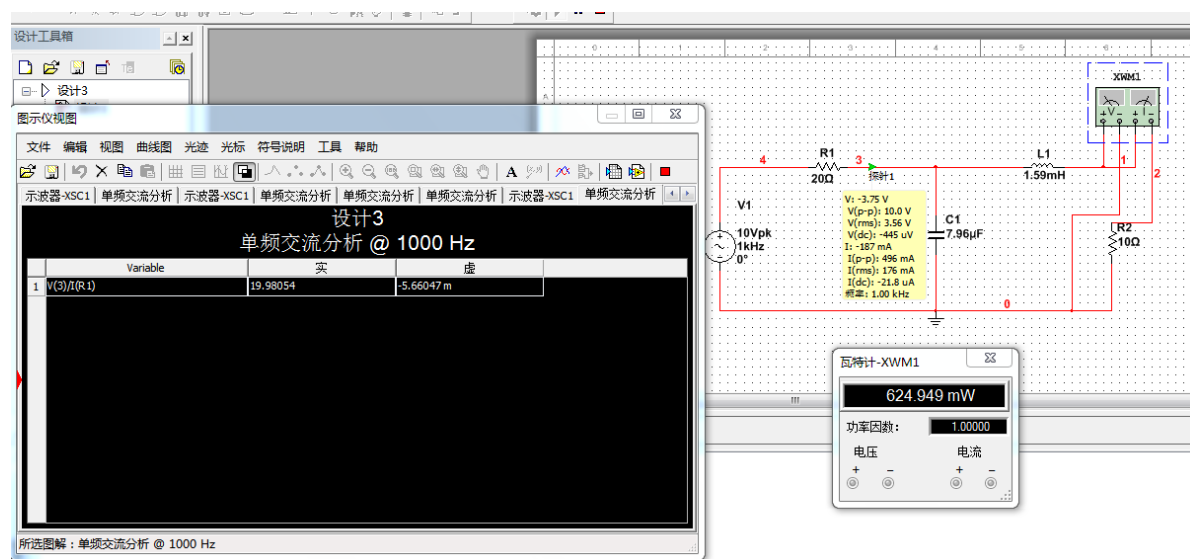


图 6

五、回答问题

问题 1：分析（2）中近似三角波产生的原因及条件

提高电容的值后， $t = RC$ 也增大，提高了电容的冲放电速度，工程上提高约十倍之后，波形就从近似的方波变成了三角波。

问题 2：分析 R_5 不同时波形差异的原因。

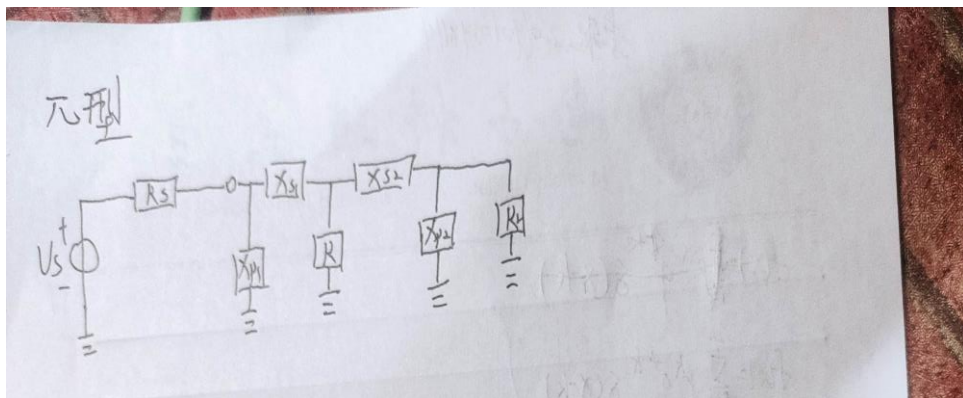
$$s_{1,2} = -\frac{R}{2L} \pm \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}}$$

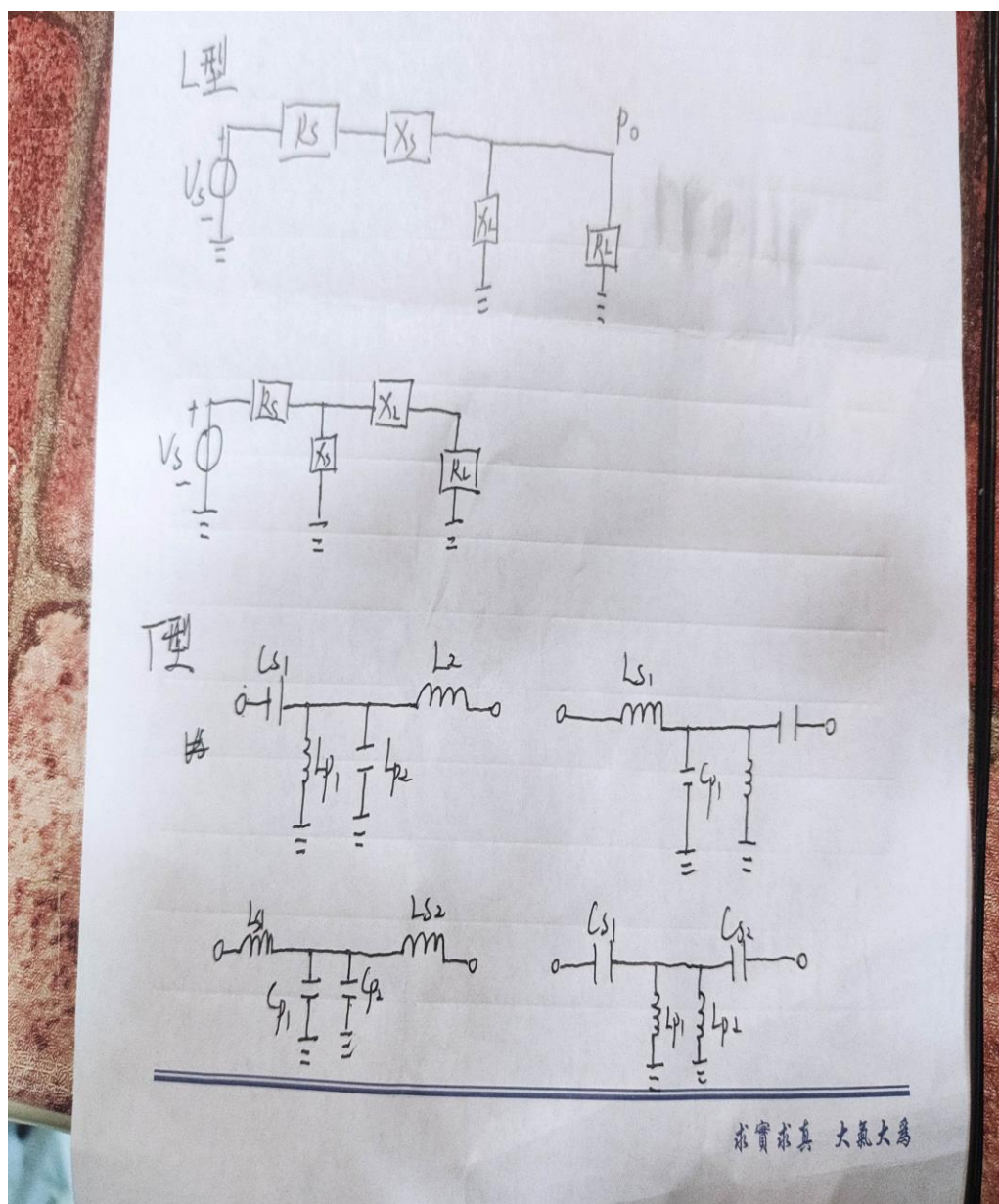
二阶动态电路的固有频率为：

当 $R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ 则为过阻尼；当 $R = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ 为临界阻尼；当

$R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ 为欠阻尼， R_5 为 1 欧姆和 3 欧姆时为欠阻尼，为 12 欧姆时是过阻尼。

问题 3：是否还有其他匹配网络结构，请画出。





六、总结

通过本次实验，我掌握理解动态元件和一阶、二阶动态电路特性，理解正弦稳态阻抗匹配概念。分析动态元件的电压和电流关系，分析动态电路时域波形，掌握熟悉交流仿真分析方法和阻抗测试方法。增强了我对一阶二阶电路响应的感性认知，在计算阻抗匹配参数时，遇到了一些困难，但在同学的帮助下，我顺利的完成了实验任务，为我以后的学习打下了基础。