

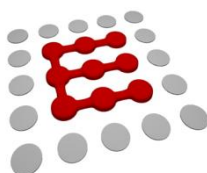


北京理工大学
Beijing Institute of Technology

本科实验报告

实验名称：电路与电子线路实验 I（软件）

课程名称：	电路与电子线路实验（I）	实验时间：	2
任课教师：		实验地点：	
实验教师：		实验类型：	<input checked="" type="checkbox"/> 原理验证 <input type="checkbox"/> 综合设计 <input type="checkbox"/> 自主创新
学生姓名：			
学号/班级：		组 号：	无
学 院：	徐特立学院	同组搭档：	无
专 业：	计算机科学与技术	成 绩：	



信息与电子学院

SCHOOL OF INFORMATION AND ELECTRONICS

（第一部分）

实验 1 叠加定理的验证

一、实验任务

完成叠加定理的验证。

二、实验原理

叠加原理指出，在有多个独立源共同作用下的线性电路中，通过每一个元件的电流或者其两端的电压，可以看成是由每一个独立源单独作用时在该元件上所产生的电流或电压的代数和。

三、实验步骤

1) 器件调用：

调用接地符、四个电阻、直流电压源、直流电流源、电流表、电压表

2) 器件参数设置：

电阻 $R_1=R_2=R_3=R_4=1\ \Omega$ ，直流电压源 V1 为 12V，直流电流源 I1 为 10A。

3) 仿真参数设置：

首先置直流电压源为 12V，直流电流源 10A，记录电压表、电流表示数；

置直流电压源为 0V，直流电流源 10A，记录电压表、电流表示数；

置直流电压源为 12V，直流电流源 0A，记录电压表、电流表示数；

四、软件仿真

1、仿真结果的记录、相关输出节点的测量：

直流电压源 V1 (V)	直流电流源 I1 (A)	电压表 (V)	电流表 (A)
12	10	-1.6	6.8
0	10	-4	2
12	0	2.4	4.8

2、比较实验结果与理论计算：

$$U_1 = -1.6V$$

$$U_2 + U_3 = -4V + 2.4V = -1.6V$$

$$I_1 = 6.8A$$

$$I_2 + I_3 = 2A + 4.8A = 6.8A$$

五、根据叠加电路分析原理，解释 U_1 、 I_1 和 U_2 、 I_2 和 U_3 、 I_3 的关系

观察数据得 $U_1 = U_2 + U_3$ 和 $I_1 = I_2 + I_3$ 。由前文实验原理中对叠加原理的分析可知，对于本实验构建的电路图，在直流电压源 V1 为 12V，直流电流源 I1 为 10A 情况下电压表电流表的值 U_1 和 I_1 应该有 $U_1 = U_2 + U_3$ 和 $I_1 = I_2 + I_3$ 。其中 U_2 、 I_2 为直流电压源 V1 为 0V，直流电流源 I1 为 10A 情况下电压表电流表的值， U_3 、 I_3 为直流电压源 V1 为 12V，直流电流源 I1 为 0A 情况下电压表电流表的值。

也就是说，在独立电流源和独立电压源共同作用的这个线性电路中，通过每一个元件

的电流或者两端的电压可以看作是独立电流源和独立电压源单独作用时在该元件上所产生的电流或电压的代数和。

实验 2 并联谐振电路仿真

一、实验任务

完成并联谐振电路原理验证。

二、实验原理

在 RLC 并联电路中, 导纳 $Y = \frac{1}{R} + j\omega C + \frac{1}{j\omega L} = \frac{1}{R} + j(\omega C - \frac{1}{\omega L})$, 发生谐振时满足 $\omega_0 C = \frac{1}{\omega_0 L}$, 即 RLC 并联电路谐振角频率 $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, 谐振频率 $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 。谐振时, 电路呈电阻性, 电阻中的电流达到最大, 电感电流和电容电流大小相等、方向相反。

三、实验步骤

1) 器件调用:

调用接地符, 电阻 R1、R2, 电容 C1, 电感 L1, 交流电压源。

2) 器件参数设置:

电阻 R1=10Ω, 电阻 R2=2KΩ, 电感 L1=2.5mH, 电容 C1=40μF。交流电压源设置为 f=500Hz, AC=5V。

3) 仿真参数设置:

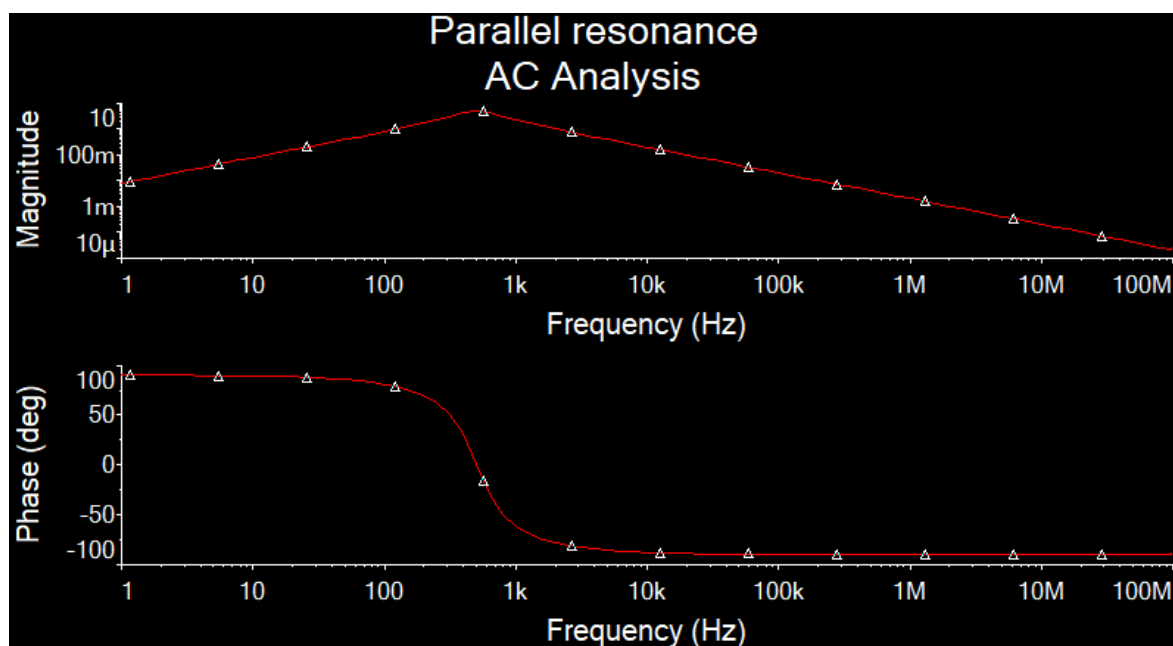
AC 分析中, 设置交流电压源 AC=5V, Voff=0, 频率范围 1HZ—100MHZ, 纵坐标为 10 倍频程, 扫描点数为 10。

瞬态分析中, 设置分析时间为 0-0.01s, 得到 5 个周期的时域响应。

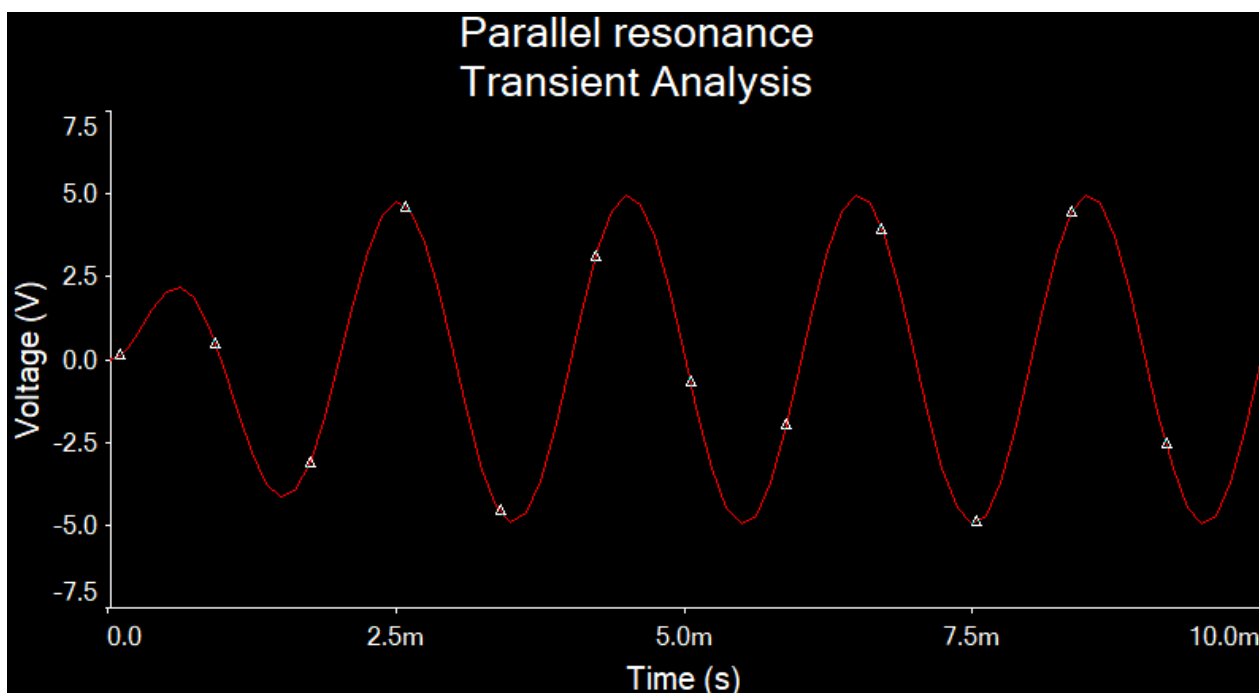
四、软件仿真

1、仿真结果的记录、相关输出节点的测量:

AC 分析:



瞬态分析:



2、比较实验结果与理论计算:

根据实验原理中的公式, 电路谐振频率理论值为 $f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 503.29\text{Hz}$ 。AC 分析中, 幅值在 $f_1 = 503.1872\text{Hz}$ 时达到最大, 此时 $U=4.9748\text{V}$ 。在瞬态分析中, 可以测量得到一个周期为 $T=0.001987\text{s}$, $f_2 = \frac{1}{T} = 503.27\text{Hz}$, f_1 、 f_2 均与理论谐振频率相符。

对比软件仿真结果得到的谐振频率和理论谐振频率可以得知, 在电压幅值不变、频率 $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 时, 电路处于谐振状态, 此时各处的电压与交流源电压同相, 且电路输出电压达到最大。

实验 3 二阶电路瞬态仿真

一、实验任务

完成二阶电路的瞬态仿真, 验证无阻尼零输入响应的 LC 二阶电路特性。

二、实验原理

在无阻尼 LC 二阶电路中, 电压和电流呈周期性变化, 角频率为 $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, 频率 $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 。

三、实验步骤

1) 器件调用:

调用接地符, 一个电容元件、一个电感元件。

2) 器件参数设置:

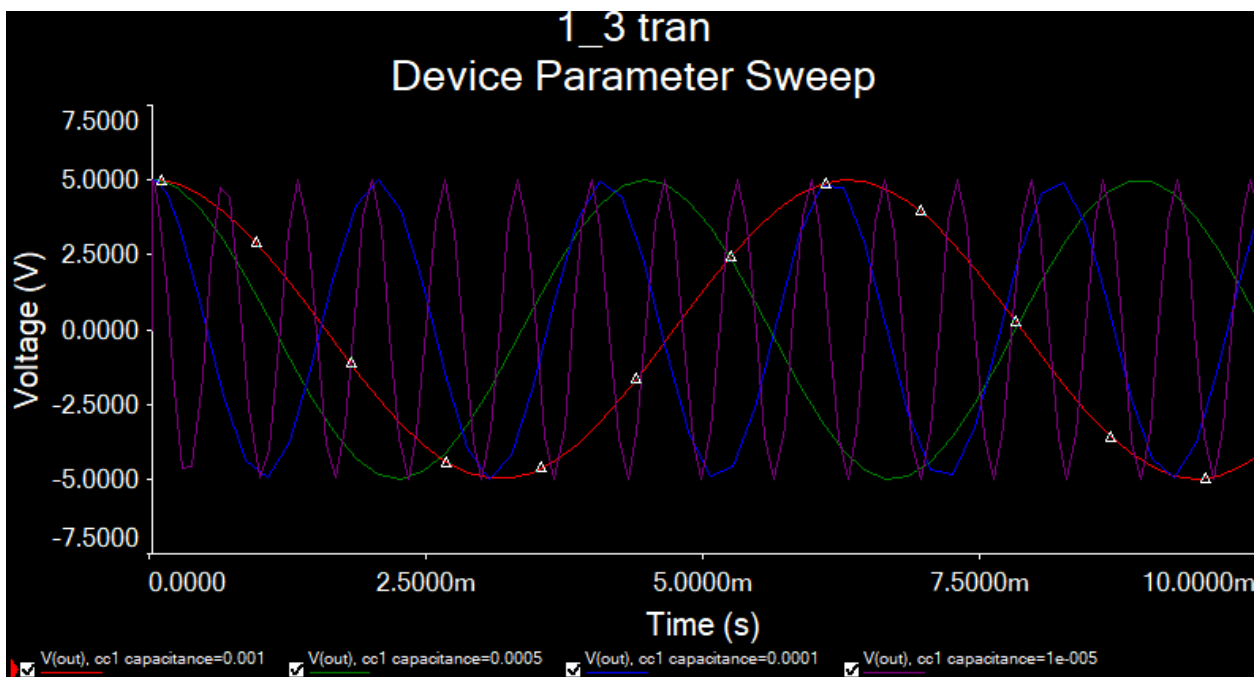
电感 $L=1\text{mH}$, 初始电流为 0A ; 电容初始电压为 5V 。

3) 仿真参数设置:

在参数扫描中, 设置电容值分别为 $1000\mu\text{F}$ 、 $500\mu\text{F}$ 、 $100\mu\text{F}$ 、 $10\mu\text{F}$, 利用参数扫描中的瞬态分析, 设置分析时间为 $0-0.012\text{s}$, 初始条件为 User-defined 类型。

四、软件仿真

1、仿真结果的记录、相关输出节点的测量：



2、比较实验结果与理论计算：

使用光标测量参数扫描波形，发现无论电容值如何变化，电压幅值都相同，为 5V。

测量不同电容值的周期，算出频率，并与理论频率值 $f_0 = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 对比得到表格如下：

电容 (μF)	1000	500	100	10
周期 (ms)	6.4	4.7963	2.0762	0.6648
频率测量值 (Hz)	156.25	208.49	481.649	1504.212
频率理论值 (Hz)	159.155	225.079	503.292	1591.549

观察可得，实验测量出的频率与理论值基本一致。于是可以验证，在二阶电路无阻尼的零输入响应中，电压和电流呈周期性变化，角频率为 $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ ，频率 $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 。

（第二部分）

实验 1 戴维南等效定理的验证

一、实验任务

完成对戴维南等效定理的验证。

二、实验原理

含独立源的线性电阻单口网络可以等效为一个电压源和一个电阻串联的单口网络，且电压值等于单口网络的开路电压，电阻值等于单口网络内所有独立源为零值时的等效电阻。

三、实验步骤

1) 器件调用：

调用接地符、四个电阻、直流电压源、电流表、电压表、数字万用表。

2) 器件参数设置：

$R_L=470\Omega$ ，直流电压源为 10V，在 Figure1 中，记录单口网络的电压和电流；在 Figure2 中，移除电压源，使用数字万用表测试电路阻抗；在 Figure3 中，将电阻 R_L 从电路中移除，使用电压表测量单口网络开路电压；在 Figure4 中，等效电阻 R_{th} 设置为 Figure2 中测量的阻值，电压源设置为 Figure3 中测量的开路电压值， $R_L=470\Omega$ 不变，测量此时单口网络的电压和电流。

四、软件仿真

仿真结果的记录、相关输出节点的测量：

	Figure1	Figure2	Figure3	Figure4
电压表示数 (V)	2.713		4	2.713
电流表示数 (mA)	5.772			5.772
万用表示数 (Ω)		223		

五、比较 Figure 1 和 Figure 4 中电压表和电流表的值的异同，并解释原因

可以看出，Figure1 和 Figure4 中电压表和电流表的电流、电压值均相同。这是由于 Figure 4 电压源值设置为 Figure3 中测量的开路电压值，等效电阻值设置为 Figure 2 中测出的等效电阻的值，故 Figure 4 电路即为 Figure 1 的戴维南等效电路。这完成了戴维南定理的验证。

实验 2 元件模型参数的并联谐振电路

一、实验任务

完成并联谐振电路原理验证。

二、实验原理

在 RLC 并联电路中，导纳 $Y = \frac{1}{R} + j\omega C + \frac{1}{j\omega L} = \frac{1}{R} + j(\omega C - \frac{1}{\omega L})$ ，发生谐振时满足 $\omega_0 C = \frac{1}{\omega_0 L}$ ，即 RLC 并联电路谐振角频率 $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ ，谐振频率 $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 。谐振时，电路呈电阻性，电阻中的电流达到最大，电感电流和电容电流大小相等、方向相反。

三、实验步骤

1) 器件调用：

调用接地符，电阻 R_1 、 R_2 ，电容 C_1 ，电感 L_1 ，交流电压源。

2) 器件参数设置：

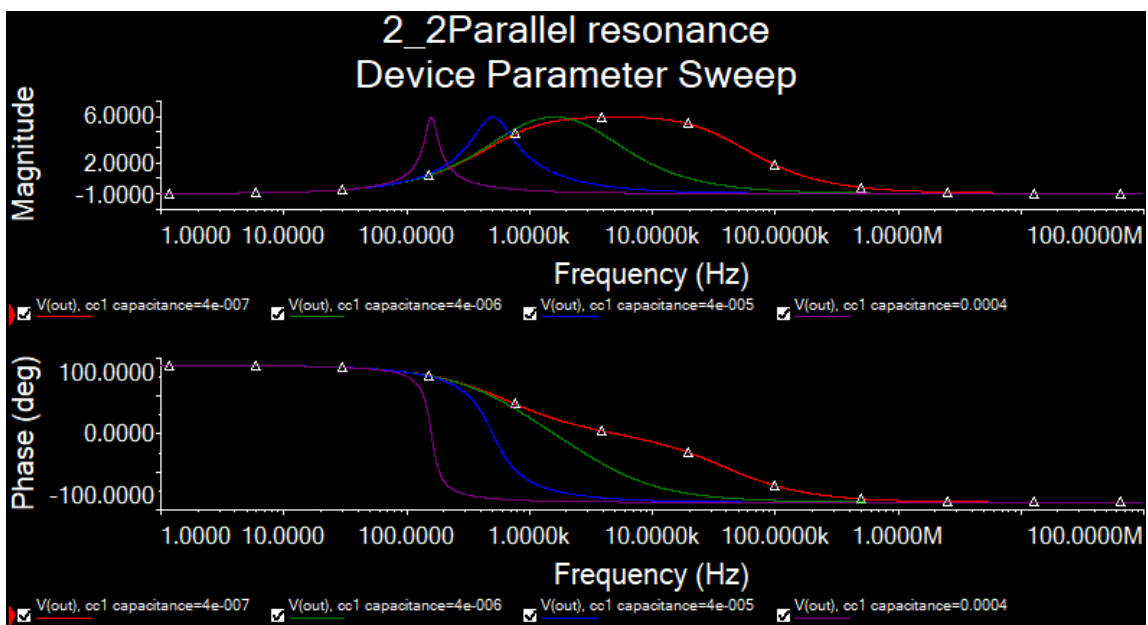
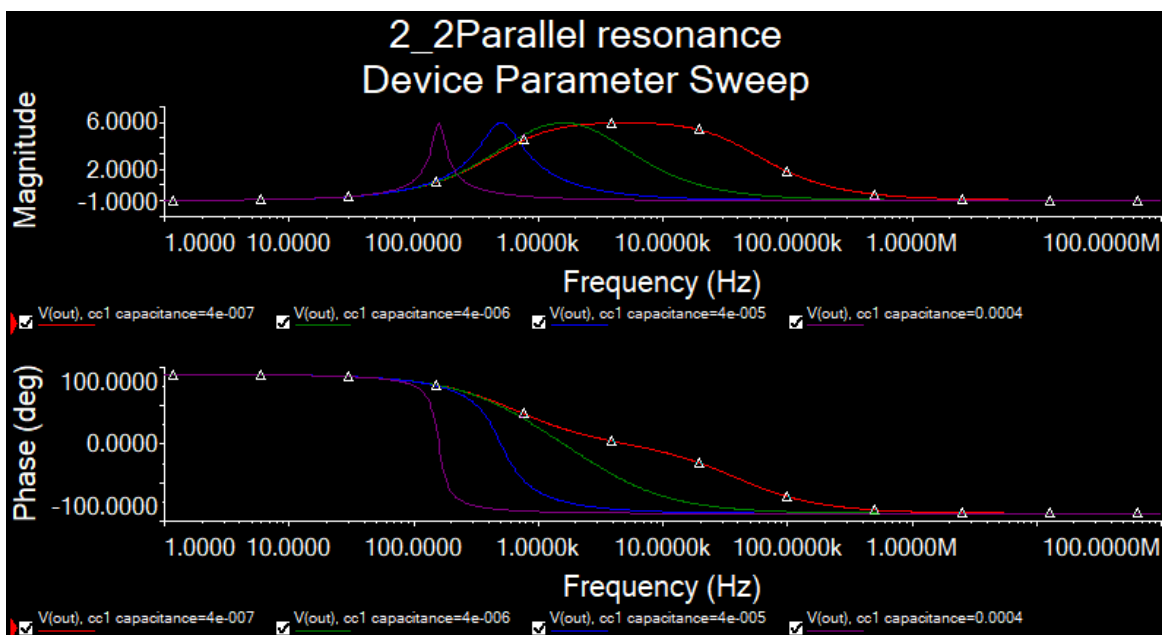
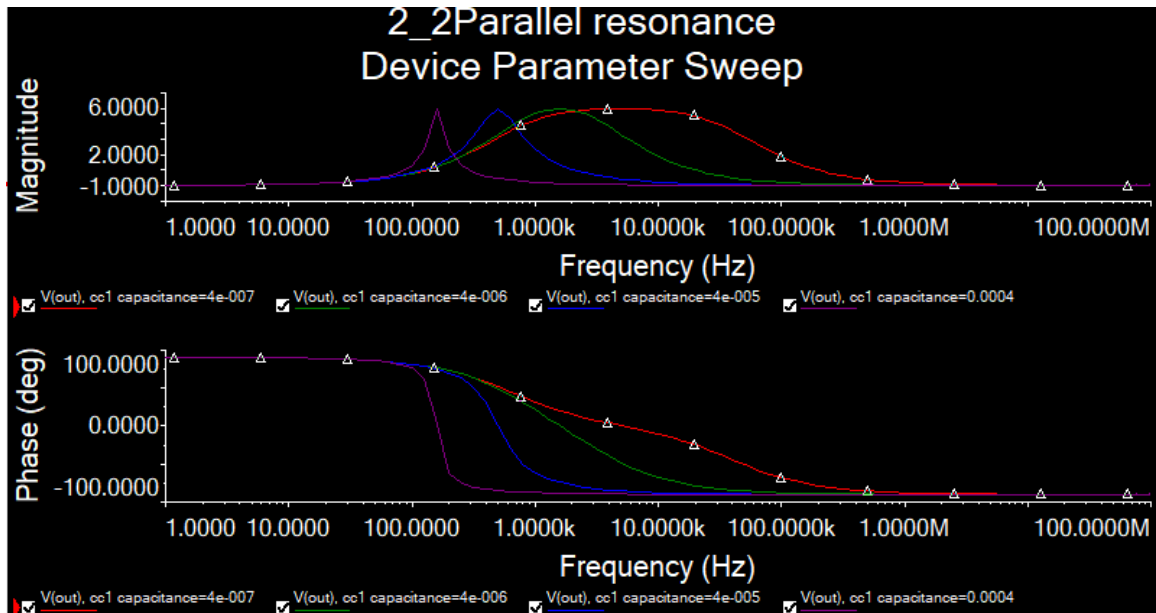
电阻 $R_1=10\Omega$ ，电阻 $R_2=2K\Omega$ ，电感 $L_1=2.5mH$ 。交流电压源设置为 $f=500Hz$ ， $AC=5V$ 。

3) 仿真参数设置：

在参数扫描中，设置电容值分别为 $0.4\mu F$ 、 $4\mu F$ 、 $40\mu F$ 、 $400\mu F$ ，利用参数扫描中的 AC 分析，设置扫描范围 $1Hz\sim 100MHz$ ，横坐标扫描模式为 Decade，纵坐标为线性。

四、软件仿真

1、仿真结果的记录、相关输出节点的测量：



2、比较实验结果与理论计算：

使用光标测量参数扫描波形，发现无论电容值如何变化，最大电压幅值都相同，为 5V。随着电容增大，最大幅值对应的频率减小、频率-相位曲线斜率增大、相位零值所对应的频率减小。对于同一电容值来说，幅值最大处对应的频率与相位零值处对应的频率相等。

使用光标测量不同电容值下幅值最大值的对应频率 f ，这个频率同时也是相位零值的对应频率，与电路理论谐振频率值 $f_0 = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 对比得到表格如下：

电容 (μF)	0.4	4	40	400
频率测量值 (Hz)	5011.9	4975.1	501.1872	158.4893
频率理论值 (Hz)	5032.9	1591	503.2921	159.1549

可见，幅值最大值的对应频率与电路理论谐振频率值基本一致。

五、分析所得结果的异同；介绍 AC 分析和参数分析的特点

不同电容值下相应波形不同的原因在于电容改变，电路的谐振频率 $f_0 = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 也随之改变，即幅值最大值的对应频率与相位零值的对应频率发生变化，因此电路响应波形不同。

在参数扫描时，设置 AC 分析每十倍频程扫描点数为 10 点、100 点、1000 点显示的结果曲线会变的更加光滑，但是扫描时间会随着扫描点数的增加而增加。这个结论的原因十分显而易见——扫描点数越多，扫描结果越精确，但同时扫描所需要的时间越多。

AC 分析是一种线性频域分析方法。Multisim 在做交流扫描分析的时候，首先分析电路的直流工作点，对各个非线性元件作先行处理，得到线性小信号等效电路，然后再使用电压源或者电流源的交流参数设置源的幅度和相位，最后将交流信号源的频率从高到低输入到电路中，记录每个频率对应输出的幅值与相位的结果。

参数分析可以将电路参数设置在一定范围内变化，分析参数变化对电路的影响。这相当于对电路进行多次不同参数的仿真分析，同时得到多条幅频曲线，可以快速检验电路性能。

实验 3 电路过渡过程的仿真分析

一、实验任务

完成电路过渡过程的仿真，验证临界阻尼公式，研究过阻尼、欠阻尼、临界阻尼状态下响应波形的特点。

二、实验原理

临界阻尼是指在二阶电路中，电阻使波形不做振动且最快回到平衡位置的最小阻尼，其计算公式为 $R_0 = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ 。阻值大于、小于临界阻尼时，电路分别处于过阻尼、欠阻尼状态。

三、实验步骤

1) 器件调用：

调用一个电阻 R、一个电感 L、一个电容 C、接地符、产生方波信号的电压源 V1。

2) 器件参数设置：

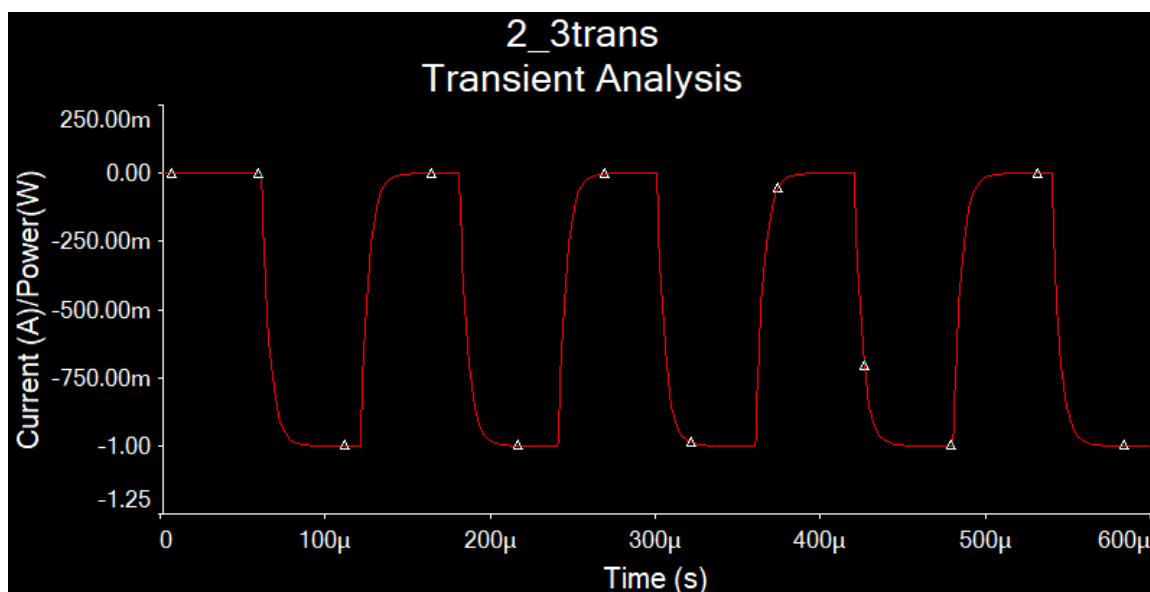
电阻 $R=5k\Omega$, 电感 $L=1mH$, 电容 $C=1nF$, 脉冲电压源幅值为 $1V$, 脉冲时间为 $60\mu s$, 周期为 $120\mu s$ 。

3) 仿真参数设置:

瞬态分析中, 设置分析时间为 $0-0.006s$ (5 倍的方波信号周期), 初始条件为 User-defined 类型。参数分析设置将在第四部分详细描述。

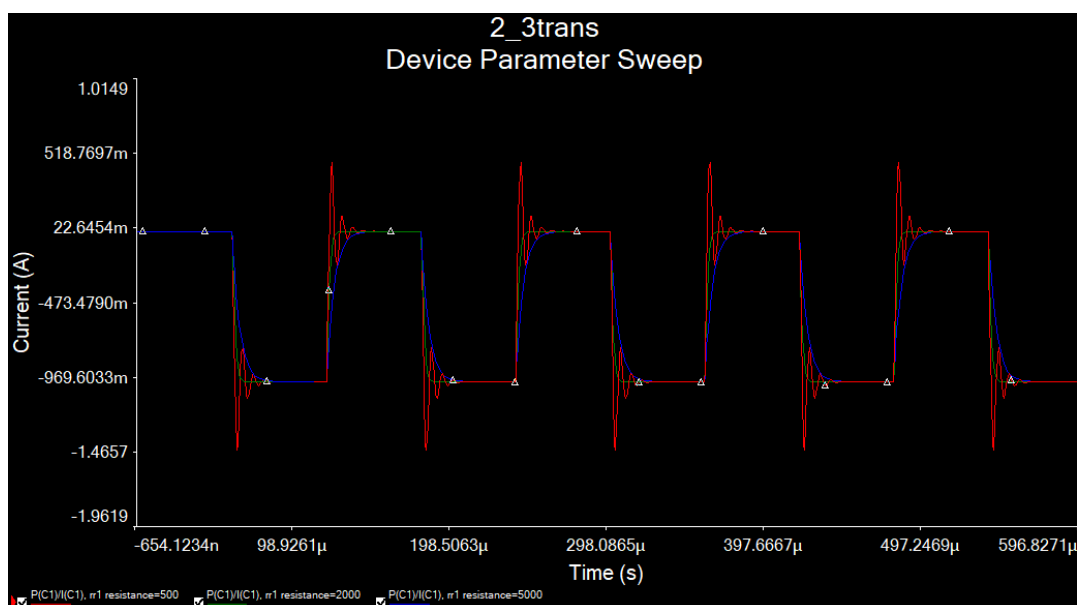
四、软件仿真

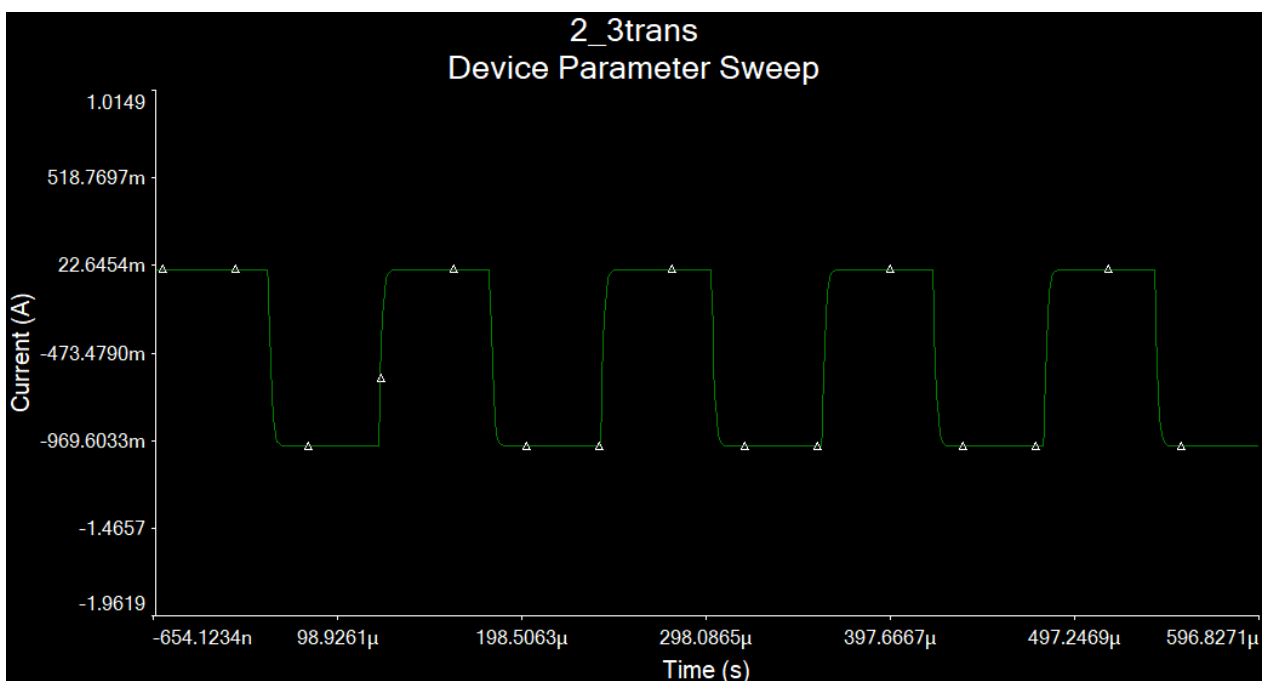
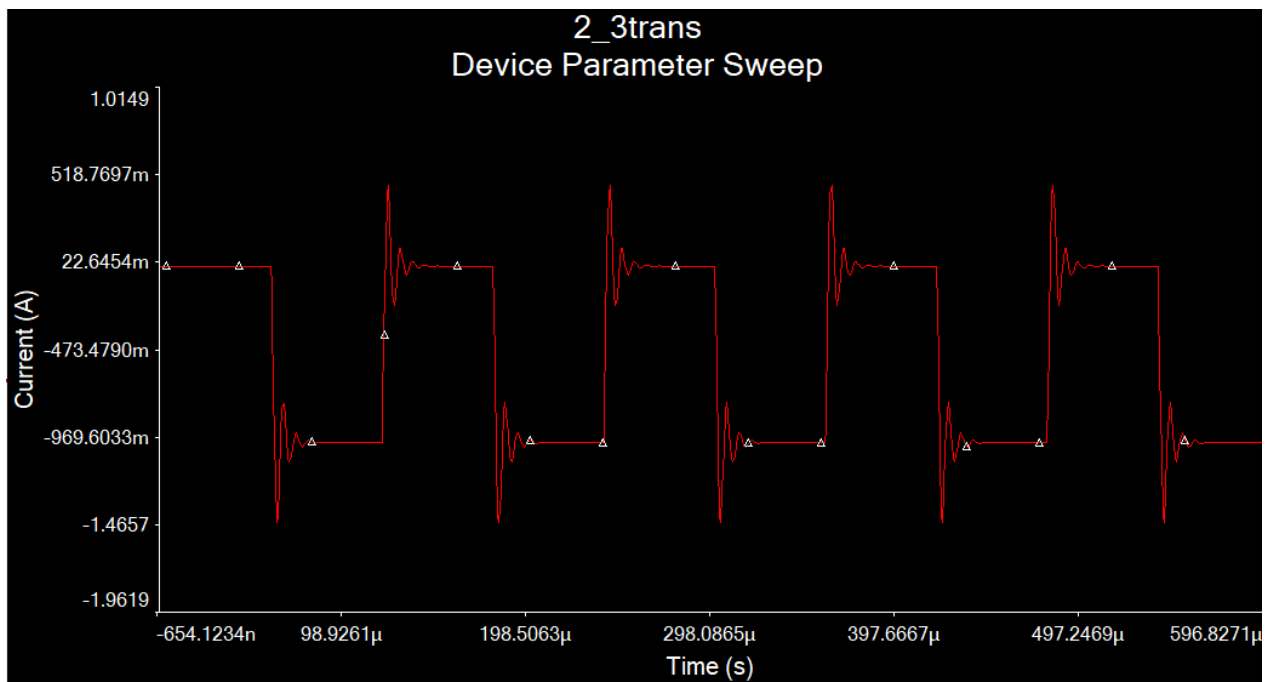
瞬态分析中电容上的电压波形:



此时 $U_C(t)$ 的响应属于过阻尼形式。利用实验原理中的公式计算临界阻尼, 有 $R_0 = 2\sqrt{\frac{L}{C}} = 2000\Omega$, 而电路中电阻为 5000Ω , 电路应处于过阻尼状态, 分析图像也确实可以看出此时电路处于过阻尼状态。

在参数扫描分析中设置 $R=500\Omega$ 、 $R=2000\Omega$ 、 $R=5000\Omega$, 瞬态分析时间为 $0-0.006s$ (5 倍的方波信号周期), 初始条件为 User-defined 类型, 观察欠阻尼、临界阻尼、过阻尼响应波形:





五、响应波形不同的原因；瞬态分析和参数分析的特点

响应波形不同的原因在于电阻阻值不同，使得电路分别处于过阻尼、临界阻尼、欠阻尼状态。当电路处于过阻尼状态时，其特征方程特征根是一对共轭复根，电路波形非振荡，缓慢收敛到稳定值；当电路处于临界阻尼状态时，其特征方程特征根是两个相等实根，电路波形非振荡，快速收敛到稳定值；当电路处于欠阻尼状态时，电路波形振荡，逐渐收敛到稳定值。

瞬态分析是一种非线性时域仿真分析方法，它可以在给定输入激励信号时，对电路输出端的瞬态时序响应进行分析。**Multisim** 在进行瞬态分析时，首先计算电路的初始状态，然后从初始时刻起，到某个给定的时间范围内，选择合理的时间步长，计算输出端在每个时间点的输出电压，输出电压由一个完整周期中的各个时间点的电压来决定。

参数分析可以将电路参数设置在一定范围内变化，分析参数变化对电路的影响。这相当于对电路进行多次不同参数的仿真分析，同时得到多条幅频曲线，可以快速检验电路性能。

总结：心得体会

两部分的实验 我学会了如何将电路分析的知识应用到实践中，学会了使用 Multisim 软件进行电路仿真，从对这款软件的一无所知开始逐渐了解它的操作界面、电路分析功能，逐渐掌握了应用 multisim 搭建电路、进行电路交流扫描分析和瞬态分析，还有应用参数扫描分析的方法，并体会到了三种分析方法的不同特点，深感此软件的功能强大。使用软件过程中，最大的心得体会是要细心，一定要仔细设置元件的参数以及扫描分析的参数，比如瞬态分析中初始条件设置为 User-defined 类型，比如在有多条幅频特性曲线的图中应用光标进行测量时要注意此时测量的是哪一条曲线，否则可能会出现匪夷所思的、令人捉摸不透的错误……

在应用 Multisim 验证上学期学习过的原理的过程中，也是对逐渐遗忘的知识进行复习的过程。感受到了电路的规律与逻辑之美，有体会到电路分析的美妙。希望以后可以有更多机会将电路分析的知识应用到其他课程中、应用到生活和实践中。