

## 实验六 一阶 RC 电路实验

### 一. 实验目的

1. 培训应用示波器测量电路暂态过程的技能。观测 RC 一阶电路暂态过程的动态曲线，测量其时间常数及作为积分应用特性。
2. 观测 RLC 二阶电路暂态过程的三种状态轨迹，测量并分析其参数。

### 二. 实验仪器和器材

1. 实验仪器 直流稳压电源型号：  
IT6302 台式多用表型号：UT805A  
信号发生器型号：DG1022U  
数字示波器型号：DSO-X 2012A(DPO 2012B)

2. 实验（箱）器材 电路实验箱

元器件：电阻（1k、10k、10k 电位器）；电容（0.1 $\mu$ F、0.01 $\mu$ F）；电感（10mH）

3. 实验预习的虚拟实验平台  
NI Multisim

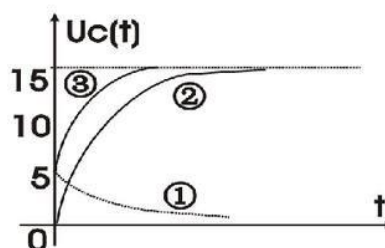
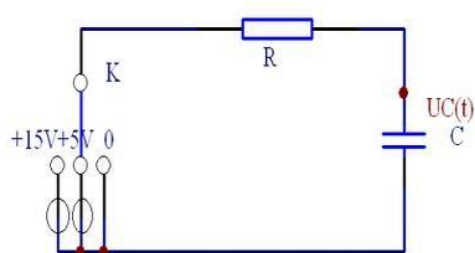
### 三. 实验内容

1. 在 mutisim 平台连接一个能观测零输入响应、零状态响应和完全响应的电路图；分别观测该电路的零输入响应、零状态响应和完全响应的动态曲线。
2. 连接电路并观测 RC 低通（或高通）一阶电路，测量时间常数  $\tau$ 。  
接单次脉冲发送电路输出，用示波器测试波形；根据响应曲线测量出时间常数  $\tau$ ，并与理论计算值进行比较。  
用信号发生器输出周期尽量长的方波来模拟阶跃激励信号，用示波器观测响应曲线及  $\tau$ 。
3. 用信号发生器输出周期尽量短的方波作输入信号，RC 低通一阶电路作积分应用，测量输出三角波的斜率并与计算值比较。
4. （选）连接 RLC 并联电路，用信号发生器输出的方波来模拟阶跃激励信，调节电位器 R，观察、分析二阶电路响应的三种状态轨迹及其特点。
5. （选）分别设定 R 为 1k，10k 测定 LCR 电路的衰减常数  $\alpha$  和振荡频率  $\omega_d$ ，并分析误差。

### 四. 实验原理

1. 一阶电路阶跃信号响应观测 零状态响应：储能元件的初始值为 0，电路接阶跃信号 U，电路的响应为零状态响应。

零输入响应：电路的储能元件具有初始能量且输入为零，电路的响应为零输入响应。



## 2. 一阶电路常数 $\tau$ 测量

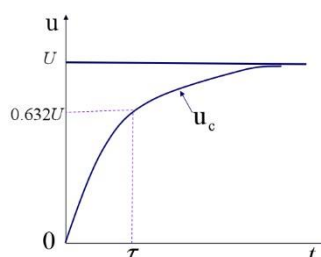
a. 阶跃信号响应曲线测量  $\tau$  完全响应:  $u_1=5V$ ,  $u_2=15V$

$$U_C(t) = 15 \left( 1 - e^{-\frac{1}{RC}t} \right) + 5e^{-\frac{1}{RC}t}$$

零状

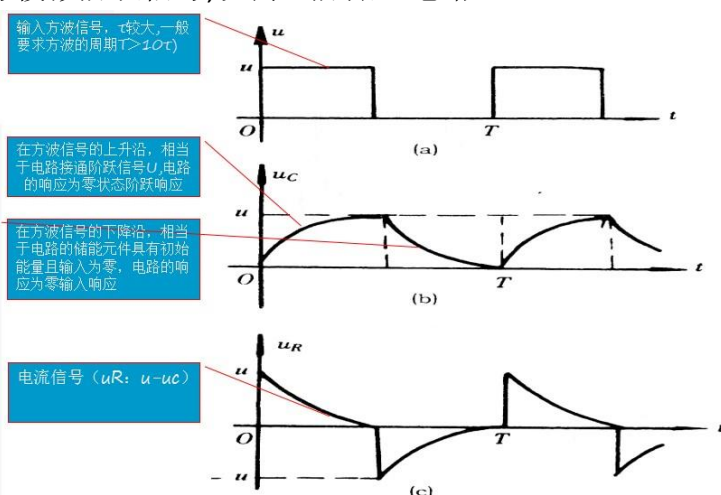
态响应

$$U_C(t) = U \left( 1 - e^{-\frac{1}{RC}t} \right)$$

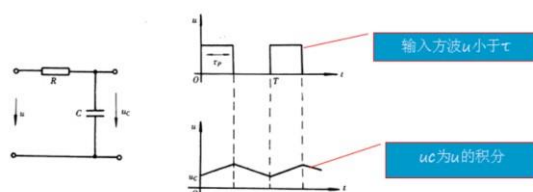


当  $t=\tau=RC$  时:  $U_C=0.632U$

b. 用方波信号模拟阶跃信号,观测一阶低通电路  $U_C(t)$

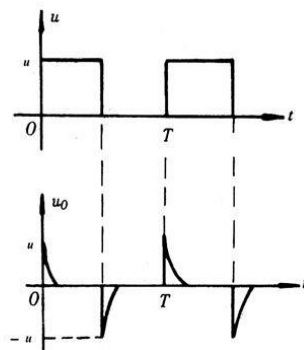
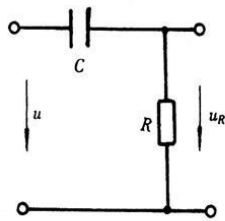


3. 观测积分电路、微分电路的方波响应 在 RC 低通电路中, 如  $\tau$  远大于输入信号周期 T, 输出电压  $U_C$  近似地正比于输入电压 U 对时间的积分, 输入方波, 输出接近为三角波。



$$U_{CP} = \frac{0.5U_{PP}}{RC} \times 0.5T$$

在 RC 高通电路中, 输出电压  $U_R$  近似地正比于输入电压 U 对时间的微分。



#### 4. 二阶电路的阶跃响应观测与测量

##### a. 二阶 RLC 电路串联二阶 RLC 电路

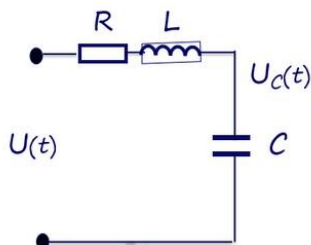
$$LC \frac{d^2 u_c}{dt^2} + RC \frac{du_c}{dt} + u_c = U(t)$$

$$u_c = \left[ 1 - \frac{\omega_0}{\sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2}} e^{-\alpha t} \sin(\sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2} t + \psi) \right] U(t)$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}: \text{为回路的谐振角频率}$$

$$\alpha = \frac{R}{2L}: \text{为回路的衰减常数}$$

$$\psi = \arctg \frac{\sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2}}{\alpha}: \text{为回路的初相角}$$



##### b. 观测二阶 RLC 电路三种状态

串联      并联

$$R > 2\sqrt{\frac{L}{C}} \quad G > 2\sqrt{\frac{C}{L}} \quad \text{电路过渡过程的性质为过阻尼的非振荡过程。}$$

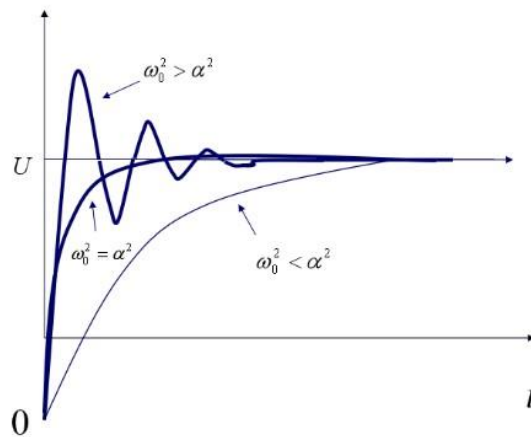
$$R = 2\sqrt{\frac{L}{C}} \quad G = 2\sqrt{\frac{C}{L}} \quad \text{电路过渡过程的性质为临界阻尼的非振荡过程。}$$

$$R < 2\sqrt{\frac{L}{C}} \quad G < 2\sqrt{\frac{C}{L}} \quad \text{电路过渡过程的性质为欠阻尼的振荡过程。}$$

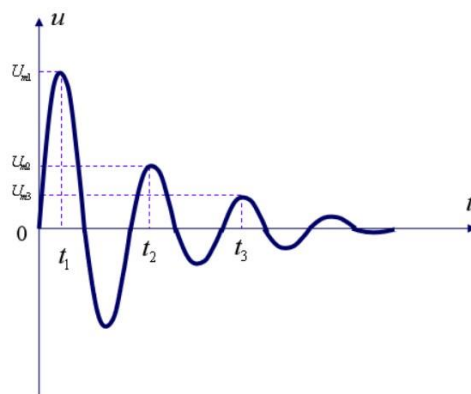
$$R = 0 \quad G = 0 \quad \text{等幅振荡}$$

二阶电路响应三种状态

轨迹的观测

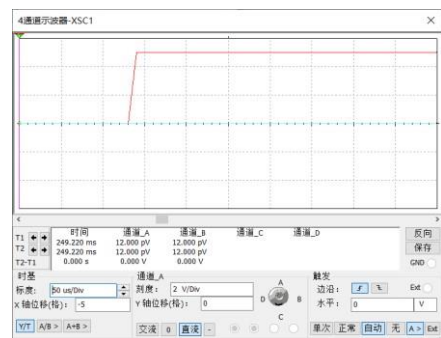
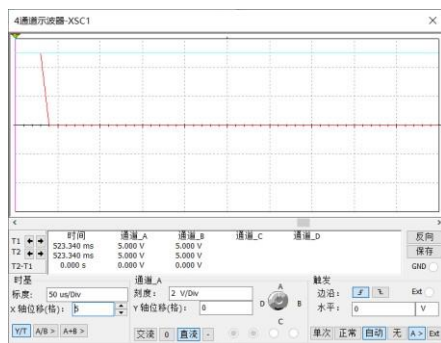
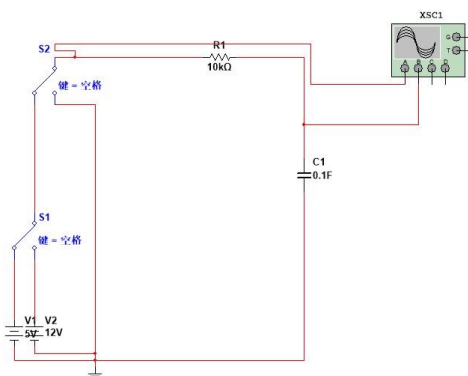


c. 二阶 RLC 电路  $\alpha$  与  $\omega_d$  的测量根据欠阻尼响应曲线可测量  $\alpha$  与  $\omega_d$



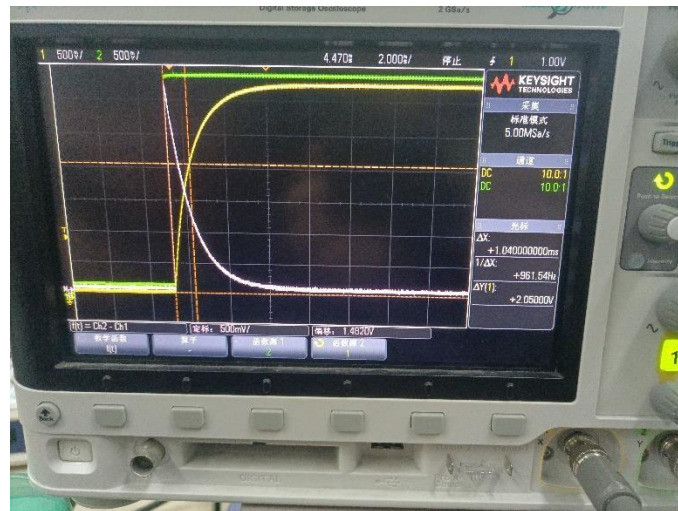
## 五. 实验过程及实验数据

1. 观测 RC 电路的零输入响应，零状态响应和完全响应。



## 2. 常数 $\tau$ 测量 直流电源信号

连接一阶低通电路，输入直流电源信号（单脉冲）， $R=10\text{ k}\Omega$ ， $C=0.1\mu\text{F}$  示波器校正信号，设置水平定标  $400\mu\text{s}$ ，垂直定标  $500\text{mV}$ ，触发电平  $1\text{V}$  按下单次触发键，按下单次脉冲开关，观察示波器显示结果。



当  $t=\tau=RC$  时： $U_C=0.632U$ ，移动光标测得  $RC=\tau=1.04\text{ms}$ ，根据  $RC=\tau$  得计算值  $1\text{ms}$ ，实测值与计算值接近。更改电容为  $0.01\mu\text{F}$ ，重新测量

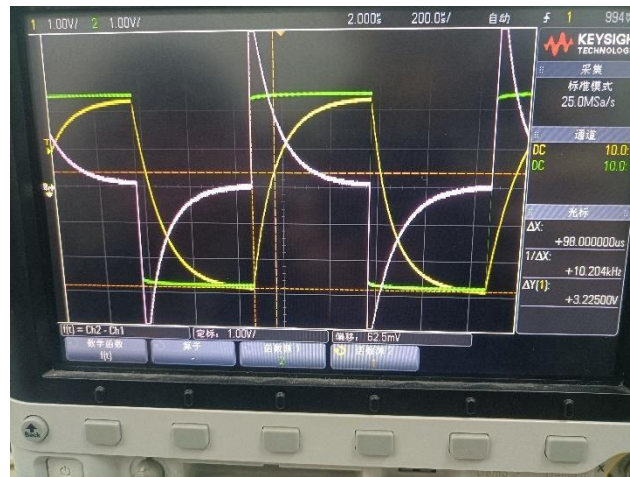


测得  $\tau=0.096\text{ms}$ ，根据  $RC=\tau$  得计算值为  $0.01\text{ms}$ ，实测值与计算值接近方波信号

将输入信号改为方波， $U=5\text{V}_{\text{pp}}$ ， $100\text{Hz}$ ， $C=0.01\mu\text{F}$ ， $R=10\text{ k}\Omega$

测得  $\tau=0.096\text{ms}$ ，根据  $RC=\tau$ ，得计算值为  $0.1\text{ms}$ ，实测值与计算值接近。





更改方波信号为 1KHz,  $C=0.1\mu\text{F}$ ,  $R=10\text{ k}\Omega$  测得  $\tau=1.02\text{ms}$ , 根据  $RC=\tau$ , 得计算值为 1ms, 实测值与计算值接近。



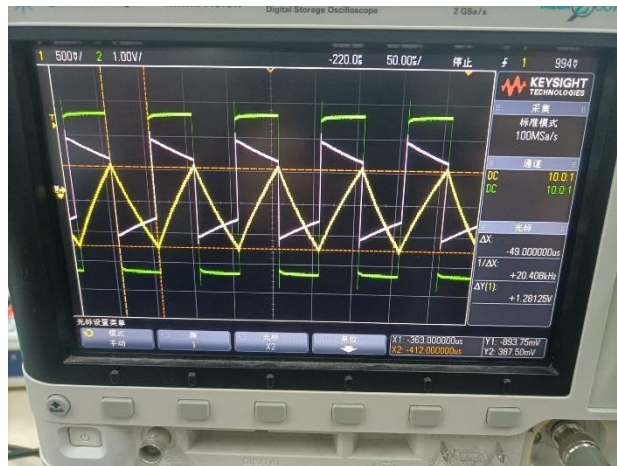
### 3. 观测积分电路，微分电路的方波响应

低通电路，输入方波信号 5Vpp, 1KHz,  $R=10\text{ k}\Omega$ ,  $C=0.1\mu\text{F}$



光标测量  $\Delta u$ ,  $\Delta t$ , 计算得  $u/t=2.525\text{ (v/ms)}$

更改输入信号频率为 10KHz,  $C=0.01\mu\text{F}$  其他值不变进行测量



光标测量  $\Delta u$ ,  $\Delta t$ , 计算得  $u/t=26.128 \text{ (v/ms)}$

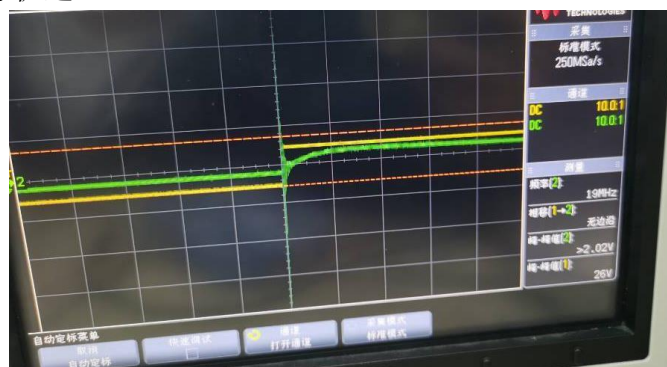
4. (选) 连接 RLC 并联电路, 用信号发生器输出的方波来模拟阶跃激励信号, 调节电位器 R, 观察、分析二阶电路响应的三种状态轨迹及其特点。

欠阻尼情况下的响应状态轨迹



过阻尼情

况下的响应状态轨迹



## 六. 分析与总结

总结

1. 通过测量熟悉了 RC 积分电路的积分时间和响应特性
2. 进一步熟悉了示波器的使用
3. 了解了二阶 RC 电路的响应特性和三种响应状态