

# 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响应过程的技能。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

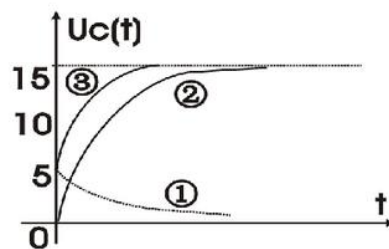
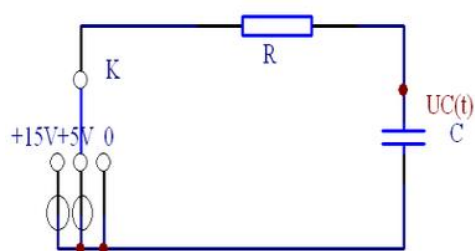
1. 在 mutisim 平台连接一个能观测零输入响应、零状态响应和完全响应的电路图；分别观测该电路的零输入响应、零状态响应和完全响应的动态曲线。
2. 连接电路并观测 RC 低通（或高通）一阶电路，测量时间常数  $\tau$ 。  
接单次脉冲发送电路输出，用示波器测试波形；根据响应曲线测量出时间常数  $\tau$ ，并与理论计算值进行比较。  
用信号发生器输出周期尽量长的方波来模拟阶跃激励信号，用示波器观测响应曲线及  $\tau$ 。
3. 用信号发生器输出周期尽量短的方波作输入信号，RC 低通一阶电路作积分应用，测量输出三角波的斜率并与计算值比较。
4. （选）连接 RLC 并联电路，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

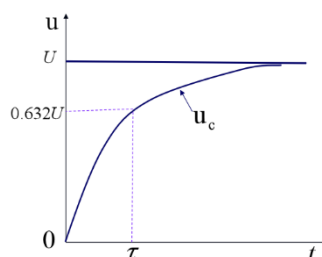
### a. 阶跃信号响应曲线测量 $\tau$

完全响应:  $u_1=5V$ ,  $u_2=15V$

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

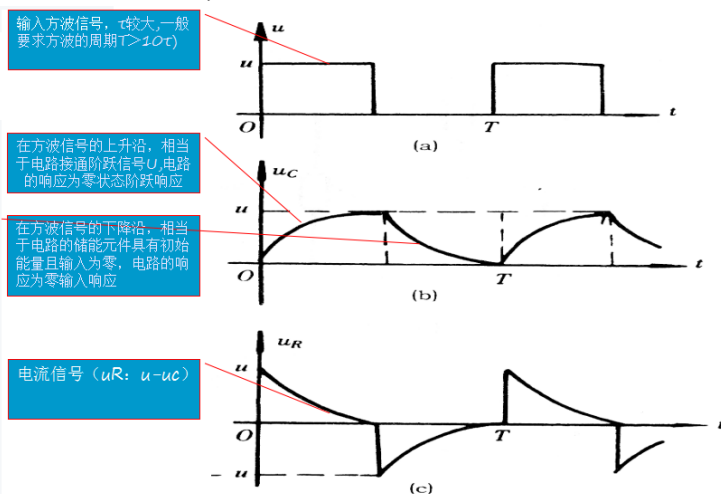
零状态响应

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



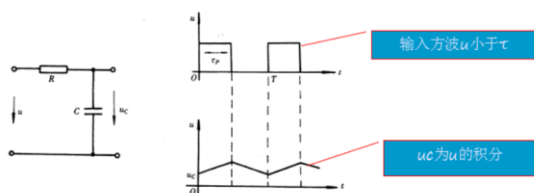
当  $t=\tau=RC$  时:  $UC=0.632U$

### b. 用方波信号模拟阶跃信号,观测一阶低通电路 $U_C(t)$



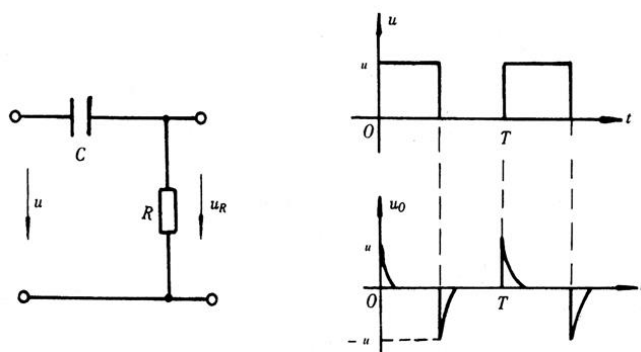
## 3. 观测积分电路、微分电路的方波响应

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。



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

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

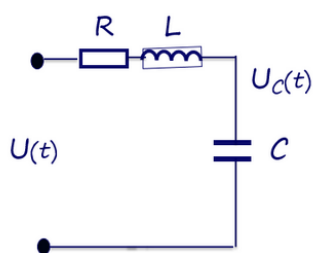
$$LC \frac{d^2 u_C}{dt^2} + RC \frac{du_C}{dt} + u_C = U(t)$$

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

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

$\alpha = \frac{R}{2L}$ : 为回路的衰减常数

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



##### b. 观测二阶 RLC 电路三种状态

串联

并联

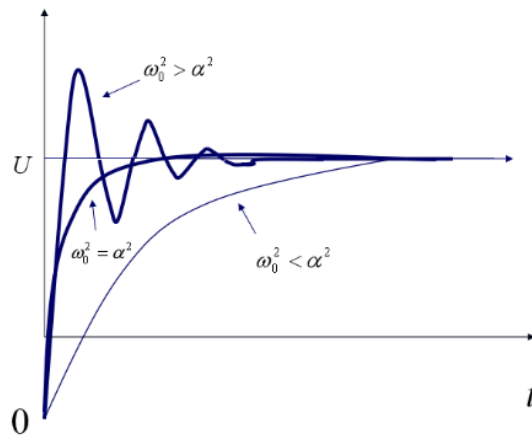
$R > 2\sqrt{\frac{L}{C}} \quad G > 2\sqrt{\frac{C}{L}}$  电路过渡过程的性质为过阻尼的非振荡过程。

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

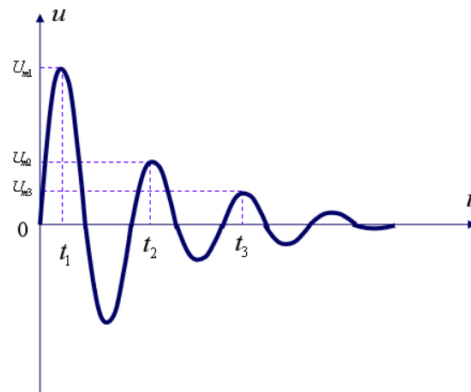
$R < 2\sqrt{\frac{L}{C}} \quad G < 2\sqrt{\frac{C}{L}}$  电路过渡过程的性质为欠阻尼的振荡过程。

$R = 0 \quad G = 0$  等幅振荡

二阶电路响应三种状态轨迹的观测

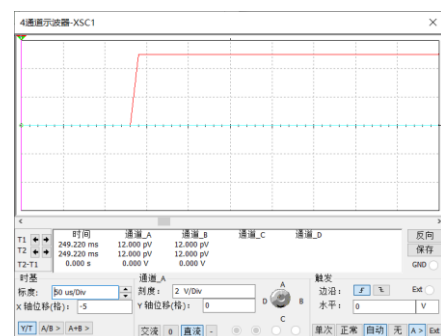
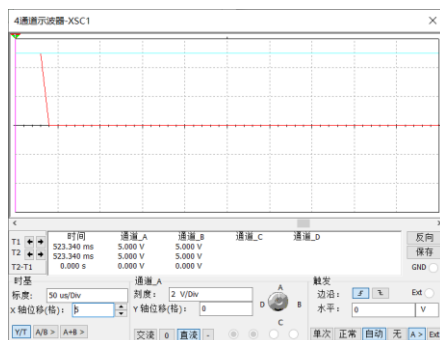
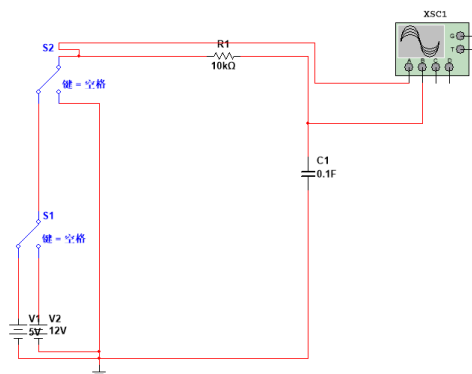


c. 二阶 RLC 电路  $\alpha$  与  $\omega_d$  的测量  
根据欠阻尼响应曲线可测量  $\alpha$  与  $\omega_d$



## 五. 实验过程及实验数据

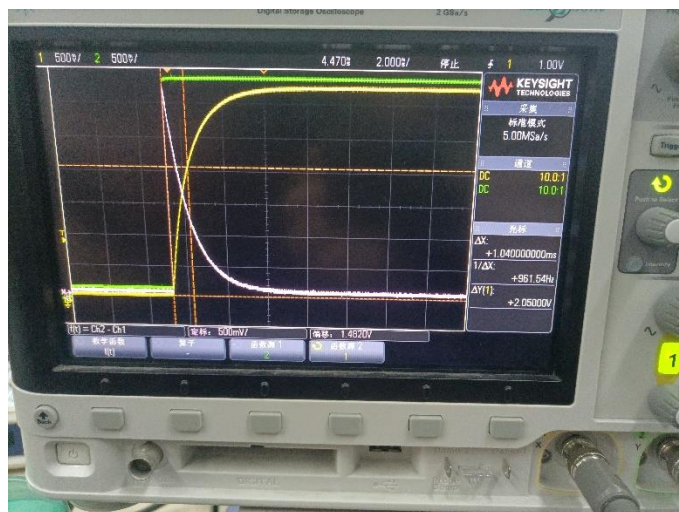
1. 观测 RC 电路的零输入响应，零状态响应和完全响应。



## 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

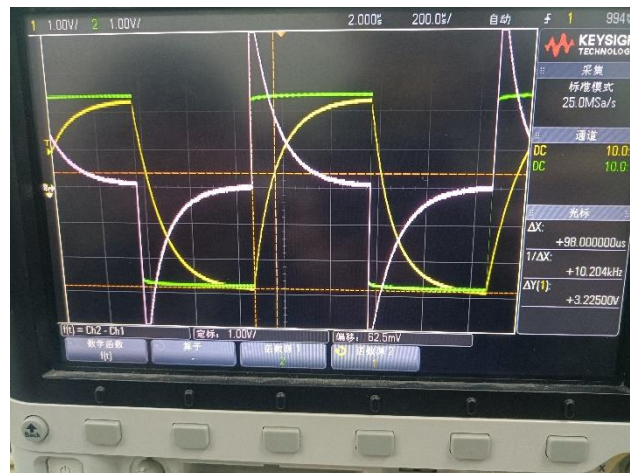


测得  $\tau=0.096\text{ms}$ ，根据  $RC=\tau$  得计算值为  $0.01\text{ms}$ ，实测值与计算值接近

### 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

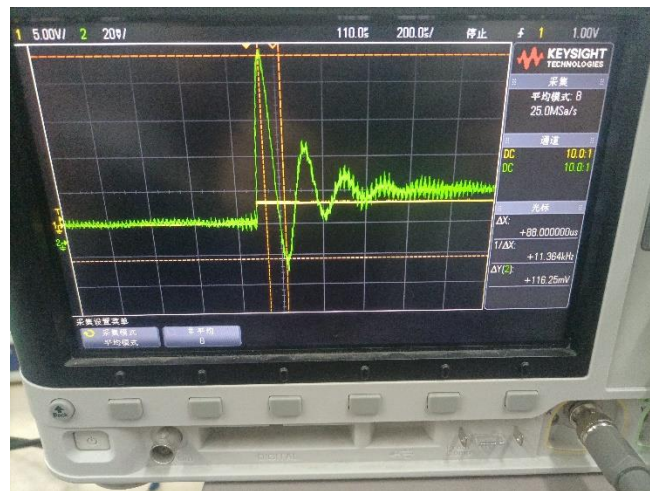




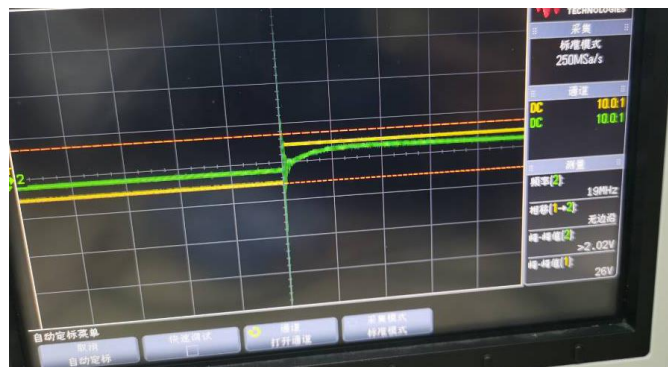
光标测量  $\Delta u$ ,  $\Delta t$ , 计算得  $u/t=26.128$  (v/ms)

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

## 思考题

1.什么样的电信号可以作为 RC 一阶微分电路的零输入响应，零状态响应和完全响应的激励信号。

阶跃信号可作为 RC 一阶电路零输入响应激励源；

脉冲信号可作为 RC 一阶电路零状态响应激励源；

正弦信号可作为 RC 一阶电路完全响应的激励源；

2.何谓积分电路和微分电路，必须具备什么条件？在方波脉冲的激励下，输出信号的波形变化规律如何？这两种电路有何功用。

输出信号与输入信号的微分成正比的电路为微分电路，输出信号与输入信号的积分成正比的电路为积分电路。积分电路的时间常数需要远大于波的周期，输出电压从电阻端得到。微分电路的时间常数需要远小于波的周期，输出电压从电容端得到。

无脉冲时，电容输出为 0，当脉冲到来时，电容充电，电压按指数规律上升，当方波脉冲变为 0，电容停止充电开始放电，电压按指数规律下降。形成三角形波。

积分和微分电路可用于波形转换或实现 AD 转换器等。

3.根据二阶电路实验电路元件的参数，计算出处于临界阻尼状态的 R 之值。

串联时，取  $L=10\text{mH}$ ， $C=0.01\mu\text{F}$ ， $R=2*\sqrt{L/C}=2\text{ k}\Omega$

并联时，取  $L=10\text{mH}$ ， $C=0.01\mu\text{F}$ ， $G=2*\sqrt{L/C}$ ， $R=0.5\text{ m}\Omega$

4.并联 LCR 二阶电路当断开电阻，为什么并未出现等幅振荡，而为欠阻尼的振荡过程。

电感自带一部分电阻的，因此断开电阻后，电导并不为 0，因此不出现等幅振荡，而为欠阻尼的振荡。

5.归纳总结一阶电路与二阶电路电路元件参数的改变对响应变化趋势的影响。

对于一阶 RC 电路，响应变化主要与时间常数有关，而时间常数  $\tau=RC$ ，所以当 R 或 C 增大时，响应曲线更加平缓，时间更长。

对于二阶电路，并联时，R 开始增大，响应为过阻尼非振荡状态，增大到一定值时，响应为临界阻尼非振荡状态，继续增加，响应变化为欠阻尼振荡状态，此时响应会有上下振动。串联时，开始为欠阻尼状态，随着电阻增大响应逐步变为临界阻尼，过阻尼振荡状态。