

浙江大学实验报告

课程名称： 电路与模拟电子技术实验 指导老师： 周晶 成绩： _____
实验名称： 一、二阶 RC 电路暂态响应观测 实验类型： 电路实验 同组学生姓名： _____

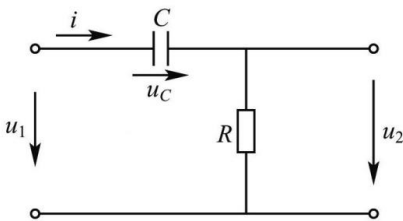
一、实验目的和要求（一阶 RC 电路暂态响应观测）

1. 熟悉一阶 RC 电路的零状态响应、零输入响应和全响应。
2. 研究一阶电路在阶跃激励和方波激励情况下，响应的基本规律和特点。
3. 掌握积分电路和微分电路的基本概念。
4. 研究一阶动态电路阶跃响应和冲激响应的关系
5. 从响应曲线中求出 RC 电路时间常数 。
6. 学习用仿真的方法研究二阶动态电路的响应。

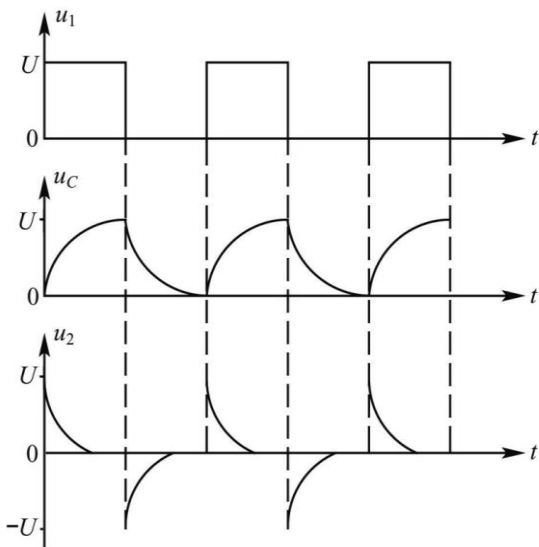
二、实验内容和原理

实验原理：

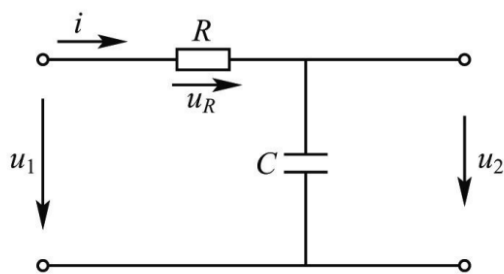
1. 零输入响应：指输入为零，初始状态不为零所引起的电路响应。
2. 零状态响应：指初始状态为零，而输入不为零所产生的电路响应。
3. 完全响应：指输入与初始状态均不为零时所产生的电路响应。
4. 微分电路：如图 RC 电路，当输出电压取自电阻两端时，对于高频信号，可用作耦合电路，而对于低频信号则可实现微分运算。



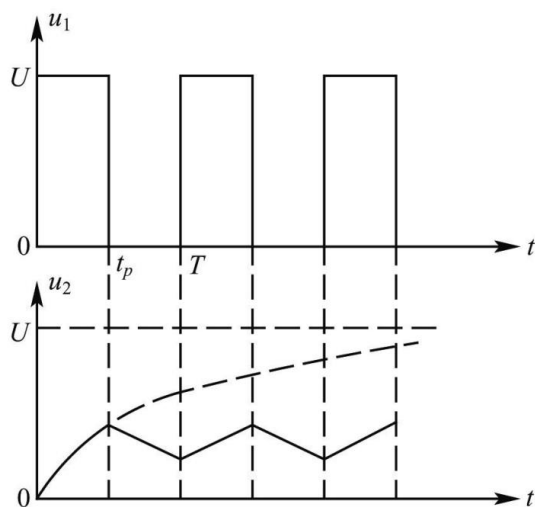
对于低频信号，时间常数 $\tau \ll T$ ，则有下列图：



5. 积分电路：如图 RC 电路，当输出电压取自电容两端时，对于高频信号，则可实现积分变换。



对于高频信号，时间常数 $\tau \gg T$ ，则：



实验内容

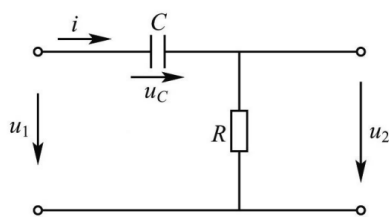
1. 利用实验电路板上的 R、C 元件组成 RC 充放电电路（P. 243 图 7-6-1），在示波器上观察零输入响应、零状态响应和全响应曲线，测取电路时间常数（与理论值比较）。
2. 用 R、C 组成微分电路，观测 U_R 的图像，改变时间常数，对比；用 R、C 组成积分电路，观测 U_C 的图像，改变时间常数，对比。
3. 利用示波器观察 RC 电路（P. 247 图 7-6-9）的阶跃响应和冲激响应。

三、主要仪器设备

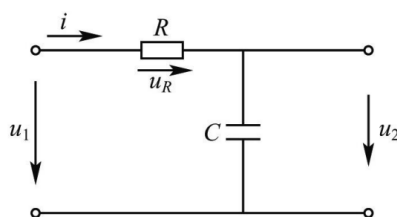
信号发生器、示波器、 $0.1\mu\text{F}$ 、 $1\mu\text{F}$ 电容、 $47\mu\text{F}$ 电容， $1\text{k}\Omega$ 电阻，开关。

四、操作方法和实验步骤

1. 利用实验电路板上的 R、C 元件组成 RC 充放电电路（P. 243 图 7-6-1），在示波器上观察零输入响应、零状态响应和全响应曲线，利用 cursor 测量电压下降到 36.8% 时的 Δt ，并根据 R、C 的值计算理论值进行比较。
2. 选择合适的 R、C 值组成微分电路和积分电路，接入方波电压信号源，在示波器上观察比较输入、输出波形；比较改变时间常数后波形的变化情况，为便于比较，信号源电压 $U_S=3\text{V}$ ，频率 $f=1000\text{Hz}$ ，即 $T=1\text{ms}$ 保持不变。



$R = 1k\Omega$ $C = 0.1\mu F$
微分电路



$R = 1k\Omega$ $C = 10\mu F$
积分电路

3. 利用示波器观察 RC 电路（P.247 图 7-6-9）的阶跃响应和冲激响应。为简化操作，通过改变方波信号源占空比的方式进行模拟。分别取占空比为 0.5%和 99.5%，观测记录示波器波形。

五、实验数据记录和处理

1. 直流 R、C 电路光标法测量时间常数：

使用 $R = 1k\Omega$ 、 $C = 1\mu F$ 的电容组成电路，开关由 b 合向 a 瞬间通过示波器观测到 U_C 如下图：



图1 光标法测量时间常数

2. 积分电路波形观测、对比。

- 2.1 使用 $R=1k\Omega$, $C=47\mu F$, $\tau=47ms \gg T=1ms$, 用示波器观测 U_S 、 U_C , 得到图 2：
PS:ch1 和 ch2 的量程不一样。Auto setup 之后没有注意。

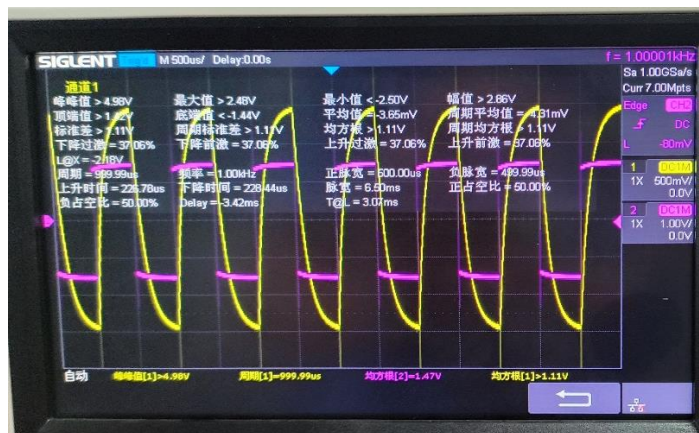


图2 积分电路 U_S 、 U_C ($\tau \gg T$)

- 2.2 使用 $R = 1k\Omega$, $C = 1\mu F$, $\tau=47ms \gg T=1ms$, 用示波器观测 U_S 、 U_C , 得到图 3, 作为对比：

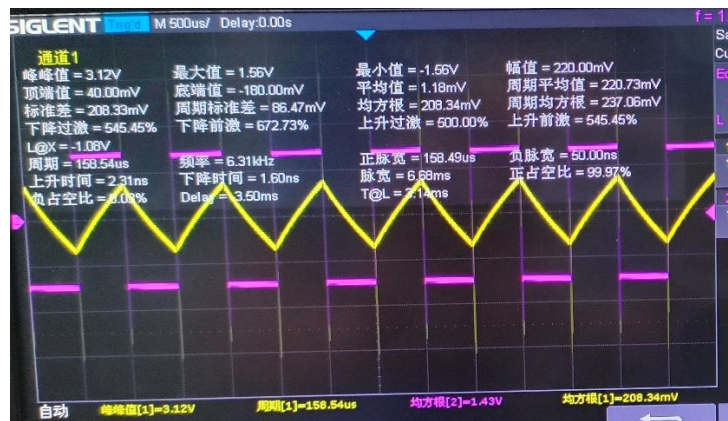


图 3 积分电路 U_S 、 U_C ($\tau = T$)

3. 微分电路波形观测、对比。
- 3.1 使用 $R = 1k\Omega$, $C = 0.1\mu F$, $\tau = 0.1ms \ll T = 1ms$, 用示波器观测 U_S 、 U_C , 得到图 4;

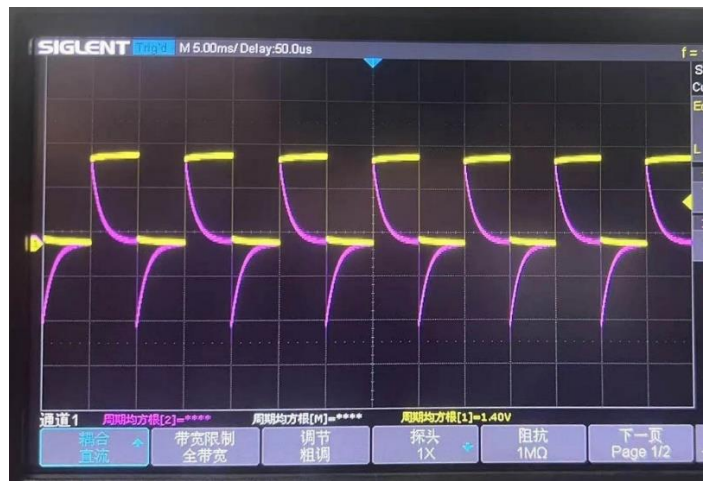


图 4 微分电路 U_S 、 U_R ($\tau \ll T$)

- 3.2 使用 $R = 1k\Omega$, $C = 1\mu F$, $\tau = 1ms = T = 1ms$, 作为对比。用示波器观测 U_S 、 U_C , 得到图 5;

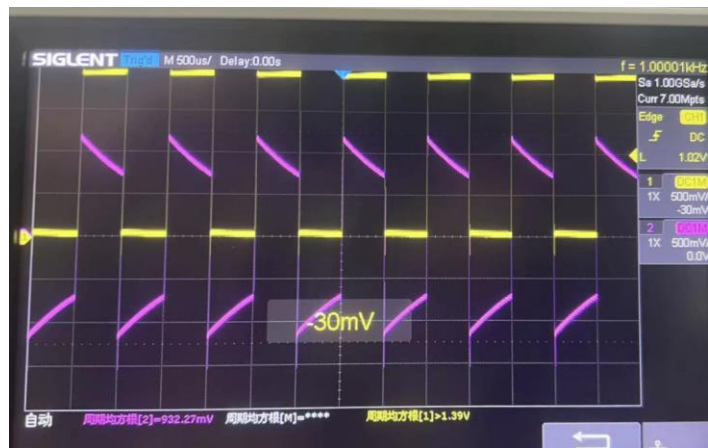


图 5 微分电路 U_S 、 U_R ($\tau = T$)

4. 阶跃、冲激电路的 U_c 波形观测：
- 4.1 实验室条件有限，使用方波调整占空比为 99.5%以模拟阶跃响应的图像，如图 6。



图 6 阶跃响应

- 4.2 调整方波占空比为 0.5%以模拟冲激响应的图像，如图 7：

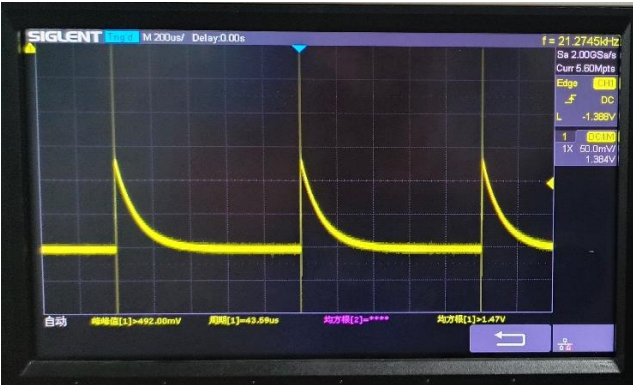


图 7 冲激响应

5. 二阶 RLC 电路仿真：
- 5.1 电路图：

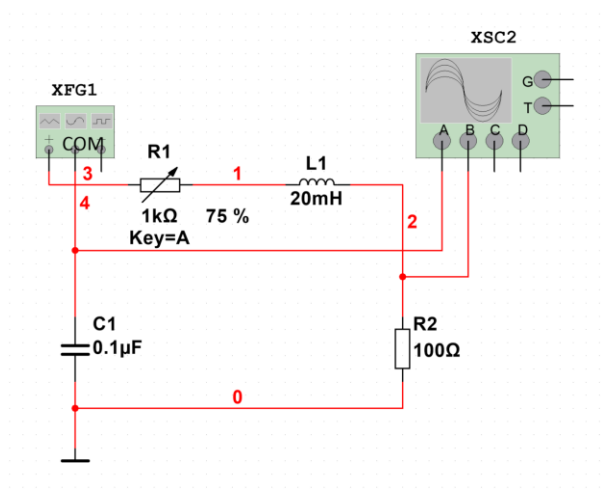


图 8 二阶 RLC 暂态响应观测电路图

5.2 过阻尼状态： $\Sigma R=1100\ \Omega$

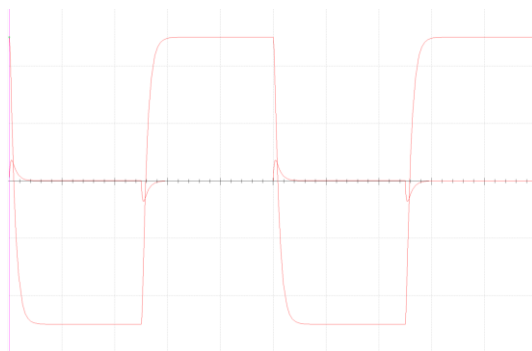


图 9 过阻尼状态的时域图

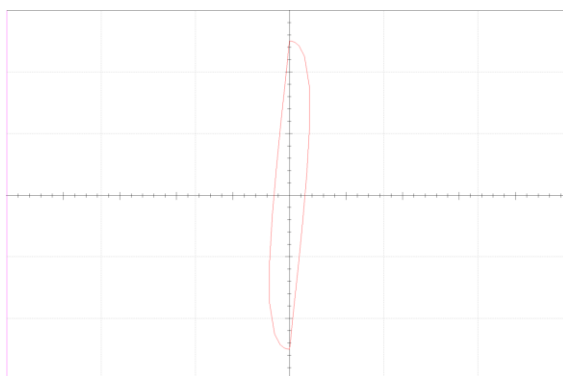


图 10 过阻尼状态的相轨迹图

5.3 欠阻尼状态： $\Sigma R=100\ \Omega$

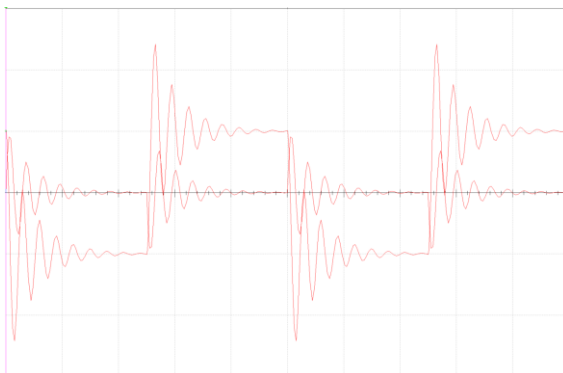


图 11 欠阻尼状态的时域图

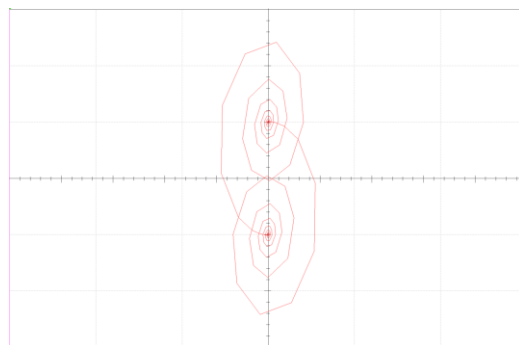


图 12 欠阻尼状态的相轨迹图

5.4 观测临界阻值：

- (1) 当调整电位器 ($1k\Omega$) 至 76% 时，通过减小量程至 50mV、平移 y 轴的方式对 U_c 进行局部放大，可以发现振荡依然几乎观测不到。

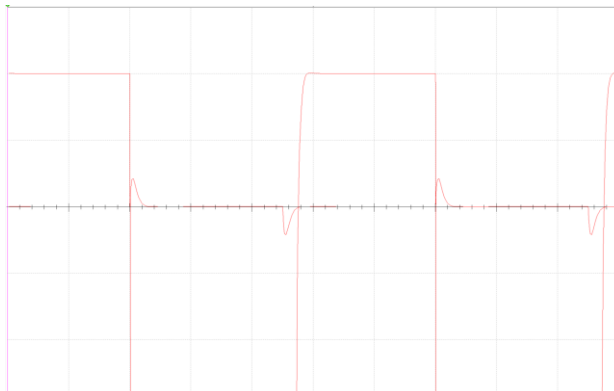


图 9 临界值之上的过阻尼状态

- (2) 当调整电位器 ($1k\Omega$) 至 75% 时，通过减小量程至 50mV、平移 y 轴的方式对 U_c 进行局部放大，可以明显地看出 U_c 有超过 U_s 的部分，即观测到振荡。

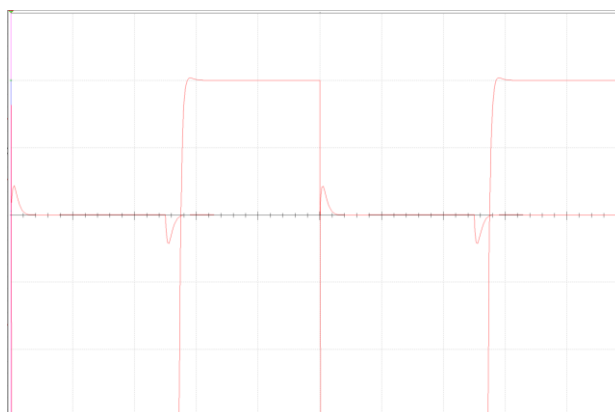


图 10 临界值之下的欠阻尼状态

- (3) 考虑到肉眼观的误差，记录 ($750\Omega + 100\Omega$) 为临界电阻值。

六、实验结果与分析

1. RC 电路光标法测量时间常数。

1.1 由图 1 可知， $\tau = \Delta t = 1.08ms$ ，而理论值为 $\tau = 1 \times 10^{-6} \times 10^3 = 1ms$ ，相对误差为 8%，

1.2 可能的误差：(1) 人眼观察造成的误差；(2) 实验时发现，暂态过程中， U_c 并不是一条非常光滑的曲线，相反，在开关刚刚改变时，曲线会有一点台阶，导致突变的初始位置不便于确定。(3) 示波器光标的刻度有限，可能造成测量时的误差。

2. 微分电路、积分电路总结

2.1 微分电路：对于 RC 电路，当输出电压取自电阻两端时，对于低频信号则可实现微分运算。即在 $\tau \ll T$ 的条件下，可以观测到：(图 4)

$$u_2 = Ri \approx RC \frac{du_1}{dt} \propto \frac{du_1}{dt}$$

而不满足 $\tau \ll T$ 时，不表现这样的性质（图 5）， U_2 类似于一条直线。

- 2.2 积分电路：对于 RC 电路，当输出电压取自电压两端时，对于高频信号则可实现积分变换。即在 $T \gg \tau$ 的条件下，可以很明显地观测到：（图 2）

$$u_2 = u_c = \frac{1}{C} \int i dt \approx \frac{1}{RC} \int u_1 dt$$

而不满足 $\tau \ll T$ 时，不表现这样的性质（图 3）时，几乎看不出暂态过程。

3. 一阶电路的阶跃和冲激响应。

对于 RC 串联电路，阶跃响应就是零状态响应，是一条增长速率逐渐变缓并趋近于 1 的曲线。而对应的冲激响应就是阶跃响应的导数，从 $1/RC$ 逐渐下降到 0，且下降速率逐渐也是逐渐下降的。观察图 6、7，实验室用方波模拟的阶跃、冲激响应，与理论曲线大致一致。

七、讨论、心得

心得：

写完实验报告再回顾，这次试验操作还是非常简单的。但是由于模电课程慢于实验课程（冲激、阶跃响应还没讲，一阶电路的暂态响应也是周四刚上没课下消化），听周老师讲完以后一头雾水，周围的同学也比较懵逼，大家跟着 PPT 上步骤慢慢摸索着才把实验做出来，中途还漏测了好些东西。最后到冲激和阶跃的时候彻底整不会了，明明是很简单的调节一个方波占空比就能获得图像的操作，硬是问了好几个同学才做出来。其实，我也是写实验报告关于阶跃和冲激电路部分写不下去了，不得已去问周老师才知道，实验获得的图像根本不是真正的阶跃、冲激响应，只是一个模拟而已。

总之，这次试验获得了一个很大的教训就是，要先把理论弄清楚再去做实验，不然做实验的时候全再乱整，导致遗漏、弄错一些操作步骤。当然，也希望模电实验能和模电课程配合得更好一些，如果出现脱节的情况，老师如果能讲的稍微细一点就会好很多。

1.

思考题：

1. 什么是无源积分电路和微分电路，分别应该具备什么条件情况下，输入输出呈现积分、微分关系？在方波序列脉冲激励下，输出信号波形的变化规律如何？与方波的周期之间有什么关联关系？

答：

- （1）微分电路、积分电路定义、出现条件已在六中体现。
- （2）对于微分电路， U_R 正比于 dU_S/dt ，在方波激励下（以脉冲信号为例），信号为 1（从 0 上升到 1）时， U_R 为一条导数为负且逐渐增大到 0 的曲线。信号为 0（从 1 降到 0）时，波形是一条导数为正且逐渐减小到 0 的曲线。
- （3）对于积分电路， U_C 正比于 U_S 的积分，在方波激励下（以脉冲信号为例）信号为 1（从 0 上升到 1）时， U_C 是一条导数为正，且斜率逐渐减小的曲线，但是没有减小到 0。信号为 0（从 1 降到 0）时， U_C 是一条导数为负，且斜率逐渐增大的曲线，与信号为 1 时的关于 $V_{pp}/2$ 中心对称。
- （4）稳态时，积分、微分电路 U_2 的波形均与方波同周期。

2. 如何测量一阶电路的时间常数？

答：以零输入状态为例，使用示波器截取暂态曲线，用光标标记电压为 U_0 ；再用另一个光标标记电压下降到 36.8% 处，再用 t 方向的光标截取两电压处对应的 t 的 Δt ，此为时间常数 τ 。

3. 如何测量二阶电路零输入响应欠阻尼情况的衰减系数与振荡频率？

答：（1）用示波器截取欠阻尼响应的波形，用光标测量两相邻波峰 U_m 的 Δt 即为震荡周期 T_d ，而 $\omega_d = 2\pi/T_d$ 。

- （2）用光标测量两相邻波峰 U_{m1}, U_{m2} ，则衰减系数 $b = \frac{1}{T_d} * \ln \left(\frac{U_{m1}}{U_{m2}} \right)$

装
订
线

.....

装
订
线