实验八 电路过渡过程的研究

实验报告

姓名： 缪谨蔚

学号： 2017012002

班级： 自 75

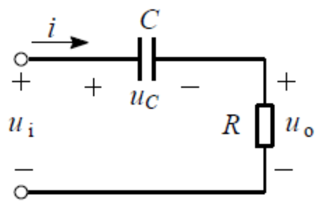
日期： 2020 年 4 月 29 日

1 实验目的

（1）研究 RC 微分电路和积分电路的过渡过程；
（2）研究 RLC 二阶电路的过渡过程。

2 实验说明

（1）微分电路：



由上图电路可列出：

$$u_o = Ri = RC\frac{du_C}{dt}$$

电路的时间常数$\tau = RC$很小、$u_C \gg u_o$时，输入电压u_i与电容u_C电压近似相等：

$$u_i \approx u_C$$

代入上式：

$$u_o \approx RC\frac{du_i}{dt}$$

当τ很小时，输出电压u_o近似与输入电压u_i对时间的导数成正比，称微分电路。

将电路接至直流电压，电路参数不同时过渡过程有不同的特点：

当$R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$时，过渡过程中的电压、电流具有非周期的特点。

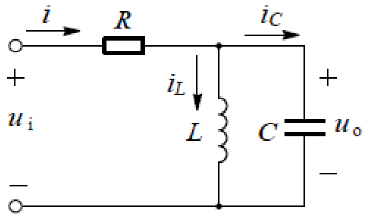
当$R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$时，过渡过程中的电压、电流具有“衰减振荡”的特点；

此时衰减系数$\delta = \frac{R}{2L}$；

$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$是在$R = 0$情况下的振荡角频率，即无阻尼振荡电路的固有角频率。

$R \neq 0$时，放电电路的固有振荡角频率$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$，若$\delta = \omega_0$时过程就变为非振荡的性质了。

（2）积分电路：



交换R与C的位置可得：

$$u_i \approx RC\frac{du_o}{dt}$$

转化得：

$$u_o \approx \frac{1}{RC}\int u_i dt$$

当τ很大时，输出电压u_o近似与输入电压u_i对时间的积分成正比，称积分电路。

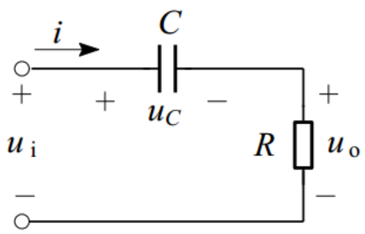
将电路接至直流电压，电路参数不同时过渡过程有不同的特点：

当$R < \frac{1}{2}\sqrt{\frac{L}{C}}$时，响应是非振荡性质的；

当$R > \frac{1}{2}\sqrt{\frac{L}{C}}$时，响应将形成衰减振荡，这时电路的衰减系数$\delta = \frac{1}{2RC}$。

3　实验任务

3.1 预习任务



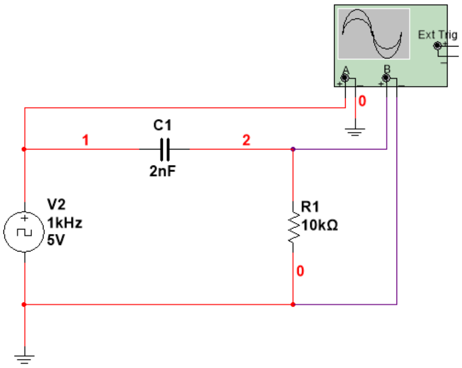
（1）由已知：

$$\tau = RC$$

$$C = \frac{\tau}{R}$$

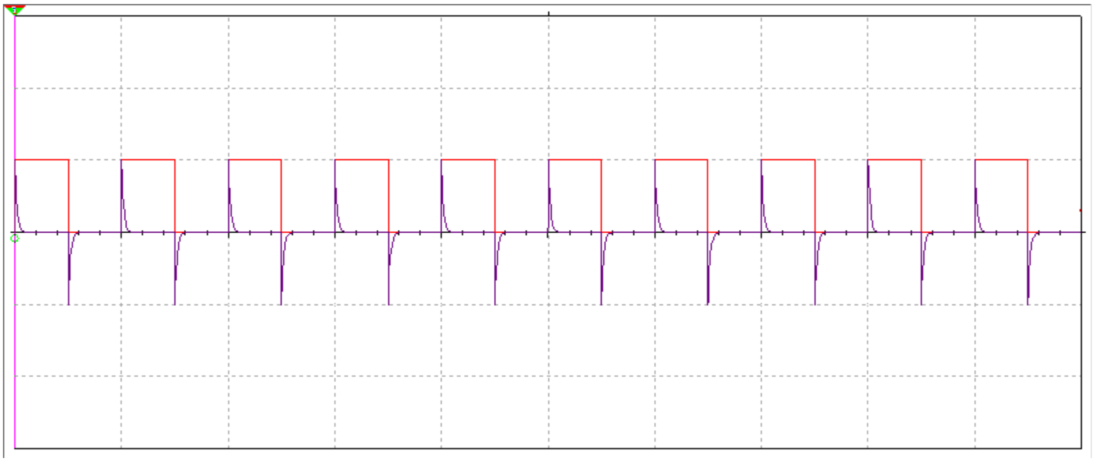
依次代入$\tau = 0.02T$，$0.1T$，T，$10T$，得到电容值分别为：

$$C = 2nF, 10nF, 0.1\mu F, 1\mu F$$

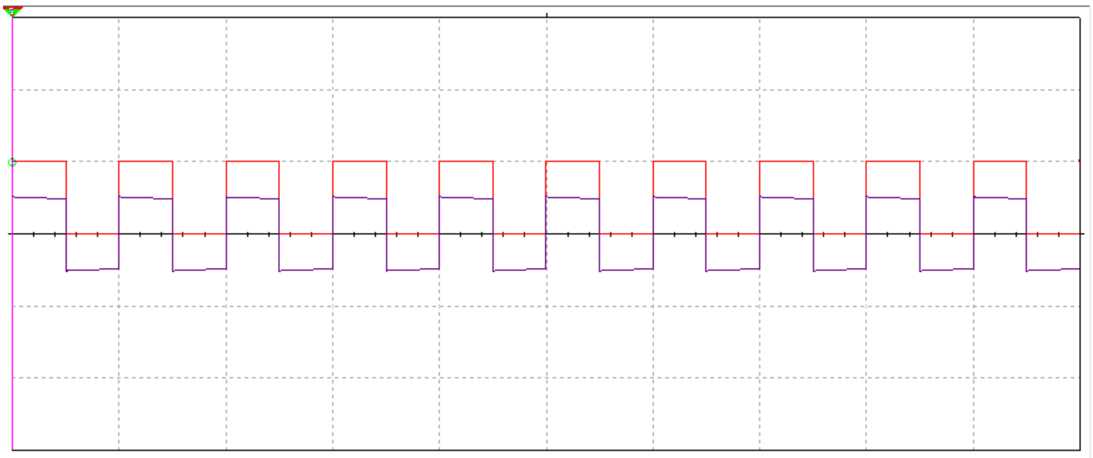


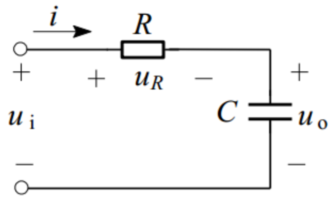
画出 $\tau = 0.02T$ 及 $\tau = 10T$ 两种情况下稳态时输出电压的波形（红 u_i，紫 u_o）。

- $\tau = 0.02T$ 时



- $\tau = 10T$ 时

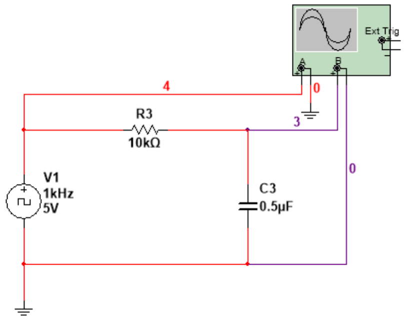




（2）

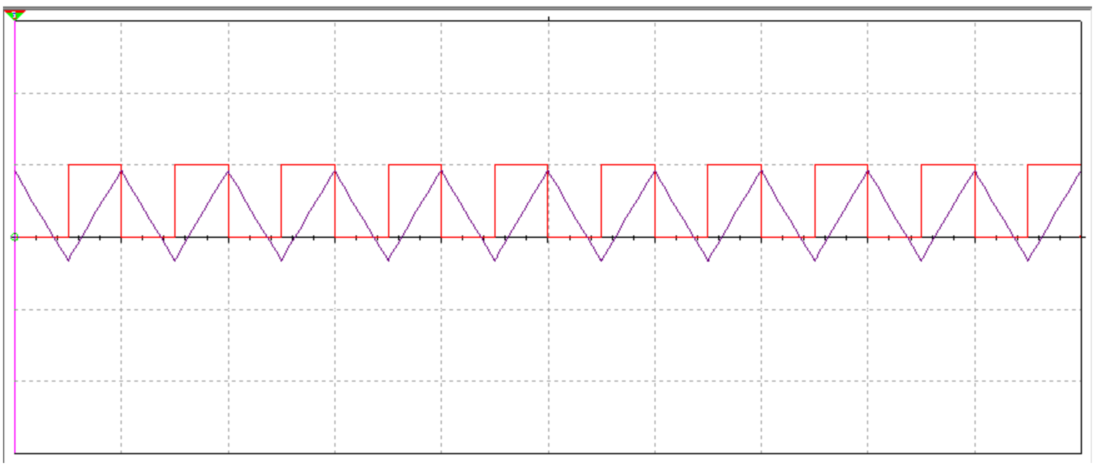
同（1）理，依次代入 $\tau = 5T$，$0.1T$，得到电容值分别为：

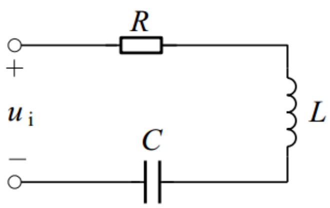
$$C = 0.5\mu F, 10nF$$



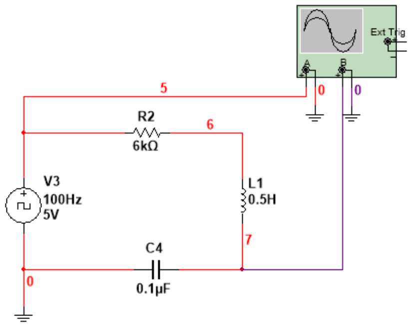
画出 $\tau = 5T$ 情况下稳态时输出电压的波形（红 u_i，紫 u_o）。

- $\tau = 5T$ 时





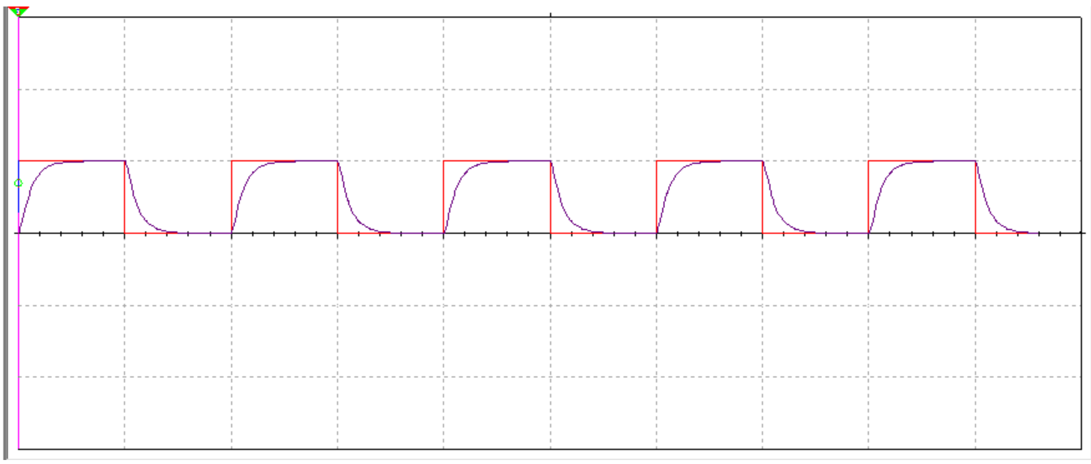
（3）



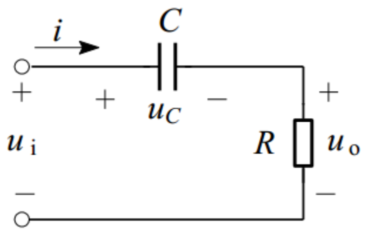
画出 $R=1k\Omega$ 及 $R=6k\Omega$ 两种情况下 u_c 的波形（红 u_i，紫 u_c）。

- $R=1k\Omega$ 时

- $R=6k\Omega$ 时



3.2 实验课任务



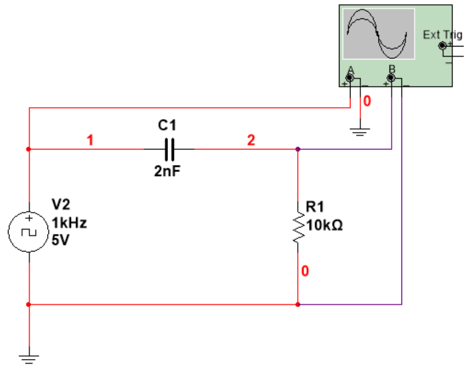
（1）由已知：

$$\tau = RC$$

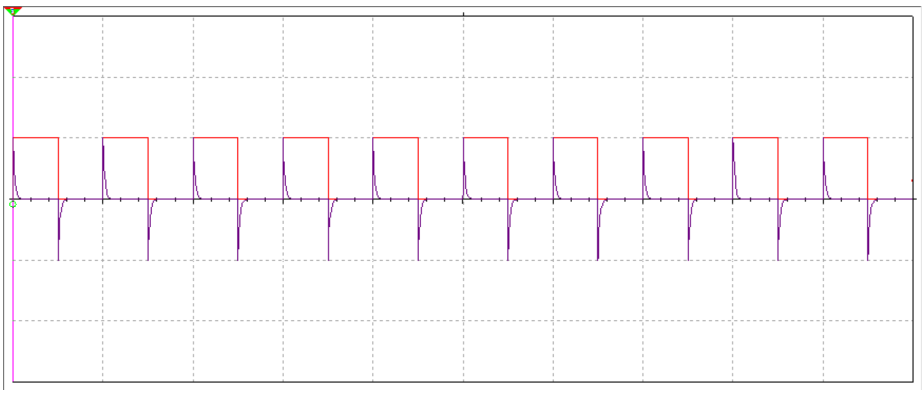
$$C = \frac{\tau}{R}$$

依次代入 $\tau = 0.02T$，$0.1T$，T，$10T$，得到电容值分别为：

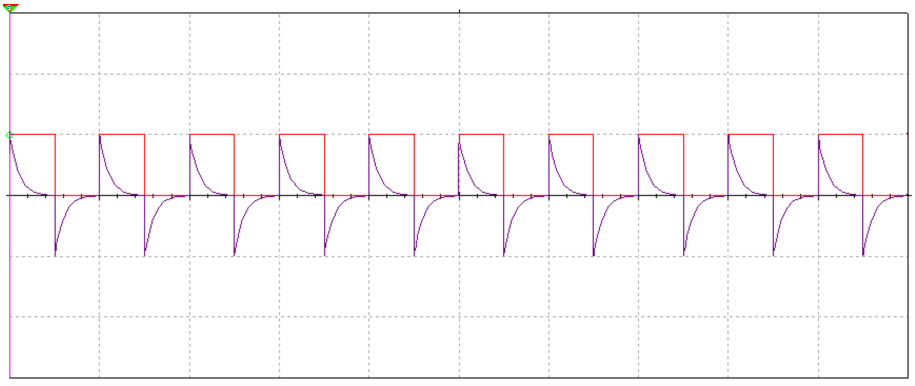
$$C = 2nF, 10nF, 0.1\mu F, 1\mu F$$



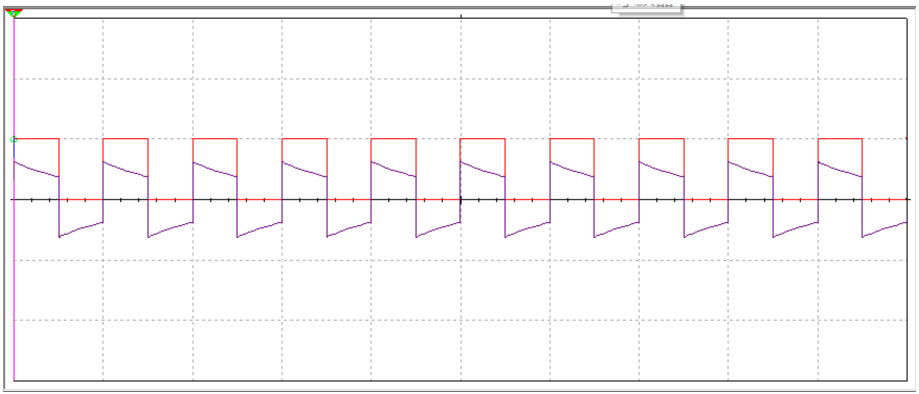
- $\tau = 0.02T$ 时



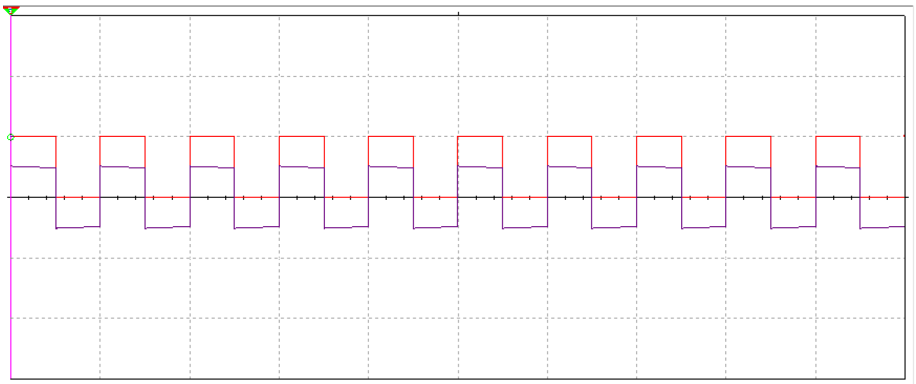
- $\tau = 0.1T$ 时

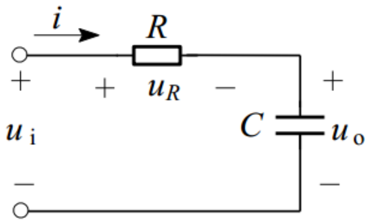


- $\tau = T$ 时



- $\tau = 10T$ 时

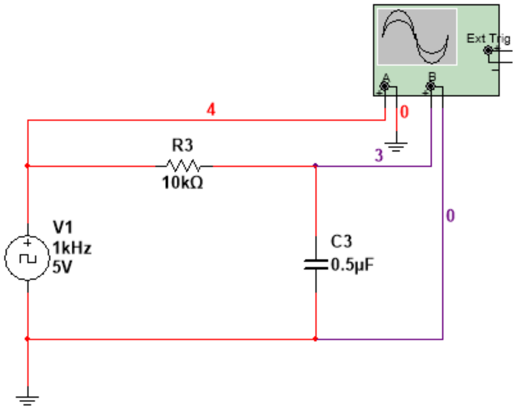




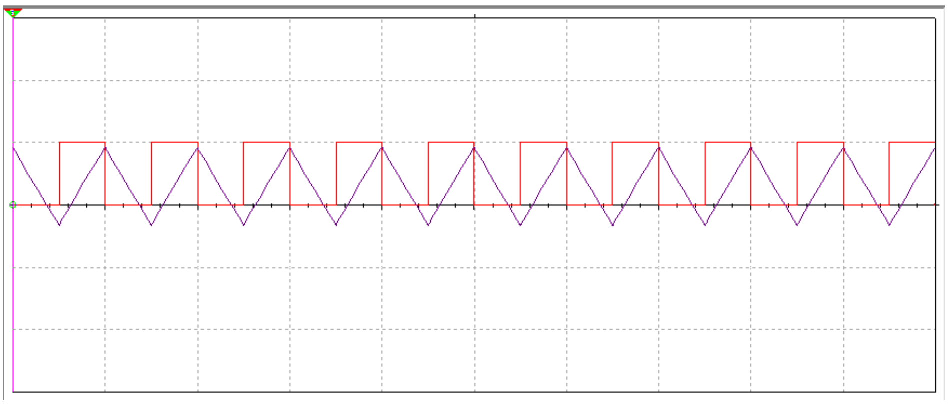
（2）

同（1）理，依次代入$\tau = 5T$，$0.1T$，得到电容值分别为：

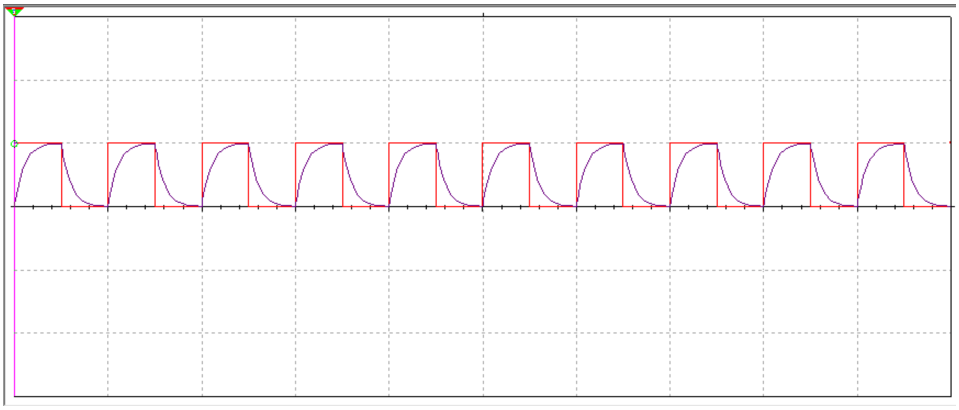
$$C = 0.5\mu F, 10nF$$

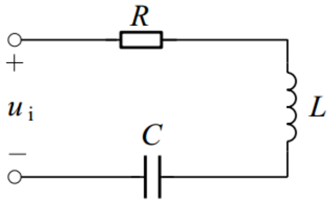


- $\tau = 5T$ 时

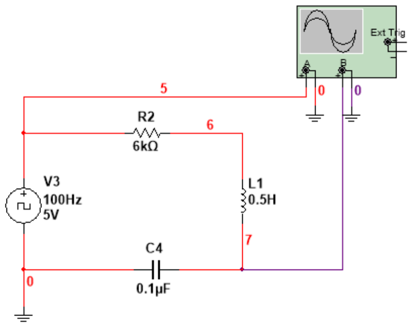


- $\tau = 0.1T$ 时



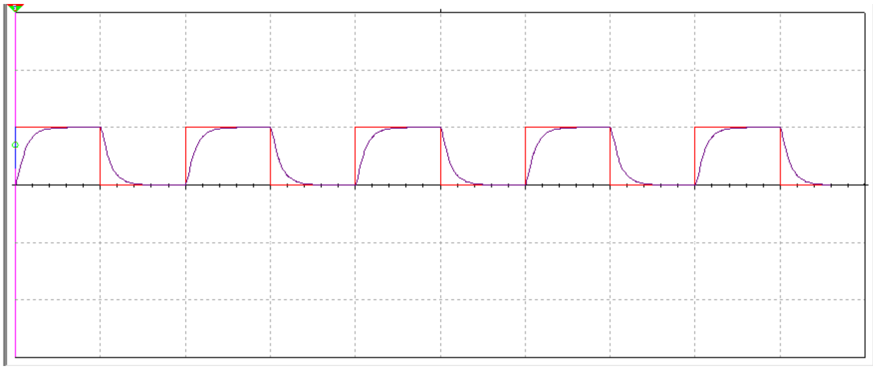


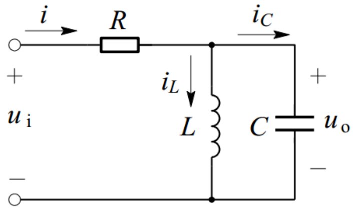
（3）



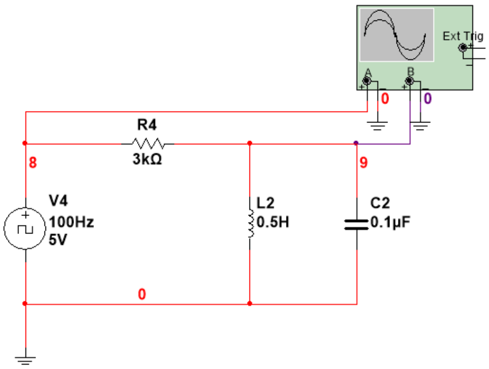
- $R = 1k\Omega$ 时

- $R=6k\Omega$ 时

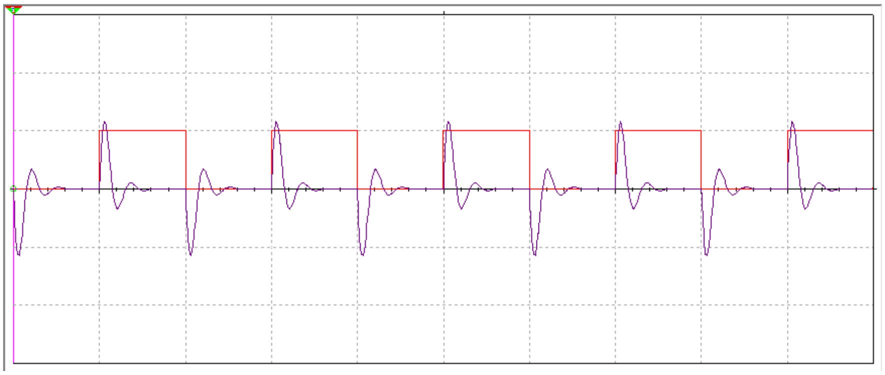




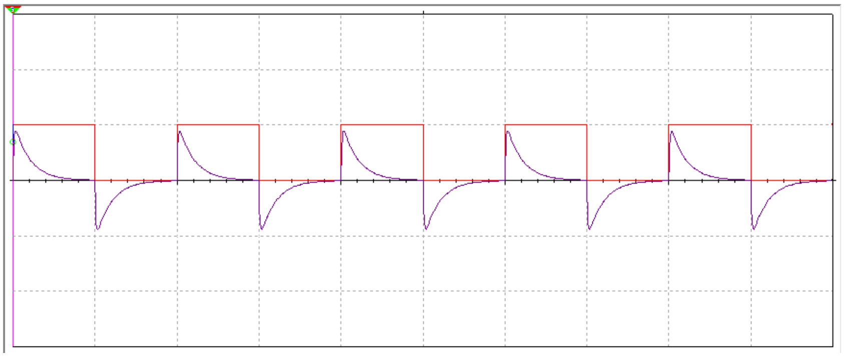
（4）



- $R=3k\Omega$ 时

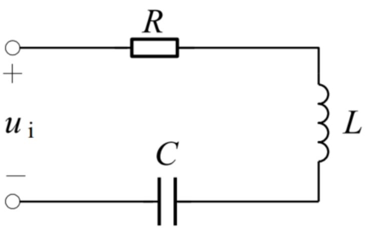


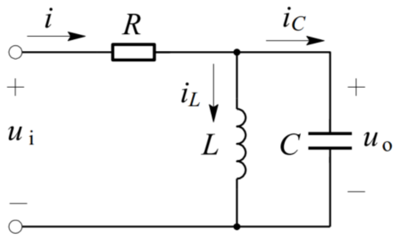
- $R = 500\Omega$ 时



4 思考题

对比两个电路的特性，电路元件的参数对电路响应的影响有什么不同？





对于RLC串联电路，零输入时：

$$\begin{cases} u_c = L \cdot \dfrac{di_L}{dt} + R \cdot i_L \\ i_L = -C \cdot \dfrac{du_c}{dt} \end{cases}$$

得到：

$$\frac{d^2u_c}{dt^2} + \frac{R}{L} \cdot \frac{du_c}{dt} + \frac{1}{LC} u_c = 0$$

衰减系数为：

$$\delta = \frac{R}{2L}$$

固有振荡角频率为：

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

如果 $\delta^2 > \omega_0^2$，则为过阻尼：$u_c = A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t}$；

如果 $\delta^2 = \omega_0^2$，则为临界阻尼：$u_c = A_1 e^{p_1 t} + A_2 t e^{p_2 t}$；

如果 $\delta^2 < \omega_0^2$，则为欠阻尼：$u_c = K e^{-\alpha t} \sin(\alpha \omega t + \theta)$；

如果 $\delta = 0$，则为无阻尼：$u_c = K \sin(\omega_0 t + \theta)$；

其中，p_1、p_2 为方程 $\lambda^2 + R/L \cdot \lambda + 1/LC = 0$ 的特征根。

故当电感L、电容C参数不变时，随着电阻值R的增加，衰减系数 δ 随之增加，从而电路状态逐渐从无阻尼转变为欠阻尼、临界阻尼和过阻尼。综上所述，元件参数会影响电路的响应形式；当有输入时，输出 u_c 会叠加强制分量，但总的响应形式不变。

对于RLC并联电路，同理可得：

$$\delta = \frac{1}{2RC}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

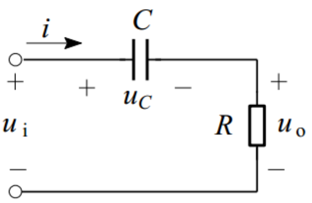
此外，其特征方程形式与响应形式一致。

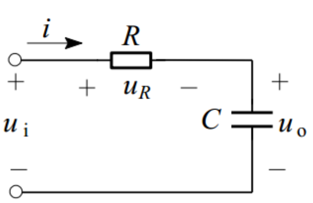
5 终结报告要求

1. 将实验任务(1)、(2)、(3)、(4)中记录的波形整理在方格纸上。

各波形详见“3.2 实验课任务”部分。

2. 总结微分电路和积分电路的区别。





微分电路：输出电压与输入电压成微分关系，通常由电容和电阻组成，可以产生尖脉冲的响应；微分电路可以使输入方波转换成尖脉冲波；微分电路电容在主电路

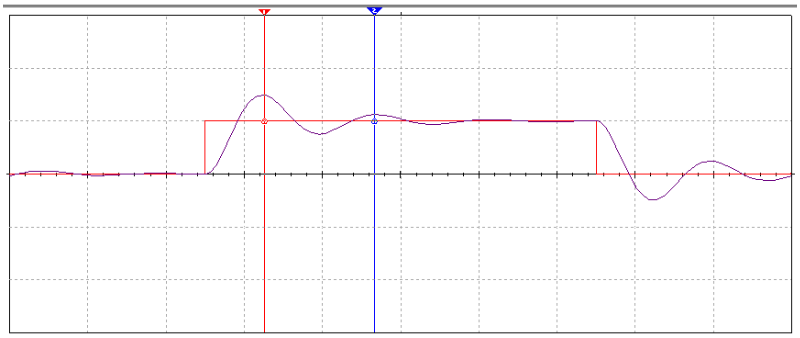
中，电阻在干路中，时间常数t要小于或者等于1/10倍的输入脉冲宽度。

积分电路：输出电压与输入电压成积分关系，通常由电阻和电容组成，可以产生三角波形的响应；积分电路可以使输入方波转换成三角波或者斜波；积分电路电阻串联在主电路中，电容在干路中，时间常数t大于或者等于10倍输入脉冲宽度。

3. 实验任务(1)中有哪些与预习分析有差异的现象，如何分析？

由于实验仿真为理想环境，故几乎不存在与预习分析的差异。

4. 根据实验任务(3)中取得的数据，求出衰减系数和阻尼振荡角频率，再根据R、L、C参数计算，并进行比较。



$R = 1k\Omega$ 时，$T = 1.407ms$，故：

$$\omega_d = \frac{2\pi}{T} = 4465.66\,rad/s$$

$$\delta = \frac{1}{T}\ln\frac{U_{m1}}{U_{m2}} = 991.72\,s^{-1}$$

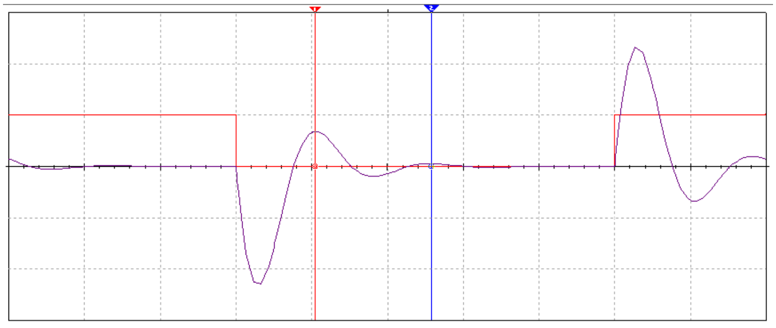
根据RLC参数可计算：

$$\delta = \frac{R}{2L} = 1000\,s^{-1}$$

$$\omega_d = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} = 4358.90\,rad/s$$

故 $e(\omega_d) = 2.45\%$，$e(\delta) = 0.83\%$，理论计算与仿真结果存在一定误差，可能是未考虑电感的电阻效应所致。

5. 根据实验任务(4)中取得的数据，求出衰减系数和阻尼振荡角频率，再根据R、L、C参数计算，并进行比较。



$R = 3k\Omega$ 时，$T = 1.536ms$，故：

$$\omega_d = \frac{2\pi}{T} = 4090.62\, rad/s$$

$$\delta = \frac{1}{T}\ln\frac{U_{m1}}{U_{m2}} = 1604.54\, s^{-1}$$

根据RLC参数可计算：

$$\delta = \frac{1}{2RC} = 1666.67\, s^{-1}$$

$$\omega_d = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} = 4149.97\, rad/s$$

故 $e(\omega_d) = 1.43\%$，$e(\delta) = 3.73\%$，理论计算与仿真结果的误差较小。

6 实验结论与收获

通过本实验，我们对 RC 微分电路和积分电路的过渡过程，以及 RLC 二阶电路的过渡过程有了进一步的深入理解。

对于微分电路，时间常数$\tau = RC$很小时，输出电压u_o近似与输入电压u_i对时间的导数成正比，将电路接至直流电压，电路参数不同时过渡过程有不同的特点。其中，当$R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$时，过渡过程中的电压、电流具有衰减振荡的特点，此时衰减系数$\delta = \frac{R}{2L}$。

对于积分电路，当τ很大时，输出电压u_o近似与输入电压u_i对时间的积分成正比，将电路接至直流电压，电路参数不同时过渡过程有不同的特点。其中，当$R > \frac{1}{2}\sqrt{\frac{L}{C}}$时，响应将形成衰减振荡，这时电路的衰减系数 $\delta = \frac{1}{2RC}$。