实验八 电路过渡过程的研究

实验报告

姓名：彭程

学号：2020011075

班级：自 02

日期：2021 年 5 月 4 日

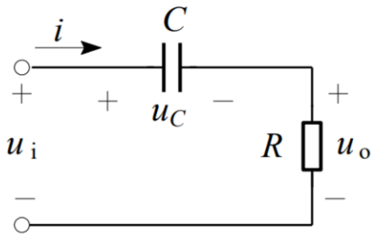
1. 实验目的

(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：



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

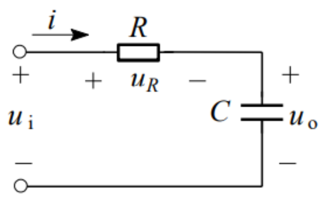
电路的时间常数$\tau = RC$很小、$u_C \gg u_o$时，输入电压u_i与电容电压u_C近似相等，即:

$$u_i \approx u_C$$

代入上式：

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

(2)积分电路：



$$u_o = \frac{1}{C}\int i\,dt = \frac{1}{C}\int \frac{u_R}{R}dt = \frac{1}{RC}\int u_R\,dt$$

即输出电压u_o与电阻电压u_R对时间的积分成正比，当电路的时间常数$\tau = RC$很大、$u_R \gg u_o$时，输入电压u_i与电阻电压u_R近似相等，即:

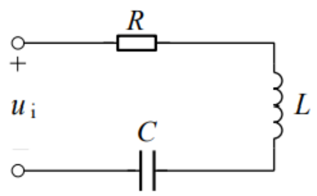
$$u_i \approx u_R$$

代入上式：

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

(3)RLC 电路的过渡过程：

- LC 串联

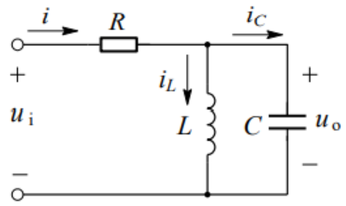


当$R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ 时，过渡过程中的电压、电流具有非周期的特点。

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，习惯上称为无阻尼振荡电路的固有角频率。在 R≠0 时，放电电路的固有振荡角频率$\omega = \sqrt{{\omega_0}^2 - \delta^2}$将随$\delta = \frac{R}{2L}$的增加而下降。

当电阻$R = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$时，有$\delta = \omega_0$，$\omega = \sqrt{{\omega_0}^2 - \delta^2} = 0$过程就变为非振荡性质了。

- LC 并联

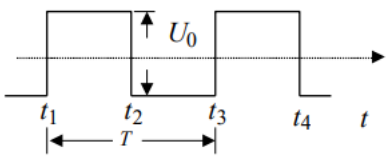


当$R > \frac{1}{2}\sqrt{\frac{L}{C}}$ 时，响应是非震荡性质的。

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为$\delta = \frac{1}{2RC}$

(4)用示波器观察过渡过程

电路中的过渡过程，一般经过一段时间后便达到稳态。由于这一过程不是重复的，所以无法用普通的阴极示波器来观察(因为普通示波器只能显示重复出现的、即周期性的波形)。为了能利用普通示波器研究一个电路接到直流电压时的过渡过程，采用在电路加上周期性的方波电压的做法。



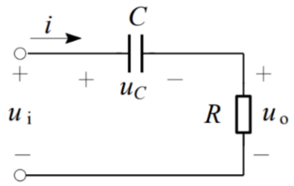
如图所示的方波信号使得电路中出现重复性的过渡过程，于是这样便可以用普通示波器观察过渡过程。

注意，因为要求在方波作用的半个周期内，电路的过渡过程趋于稳态，所以方波的周期应足够大。

3. 实验任务

3.1 预习计算

（1）已知微分电路中，u_i(方波脉冲)的周期$T = 1ms$，电阻$R = 10k\Omega$，计算$\tau = 0.02T$，$\tau = 0.1T, \tau = T, \tau = 10T$ 四种情况下的电容值。画出$\tau = 0.02T$以及 $\tau = 10T$两种情况下稳态时输出电压的波形(画两个周期)。



计算过程及作图如下：

由已知：

$$\tau = RC$$

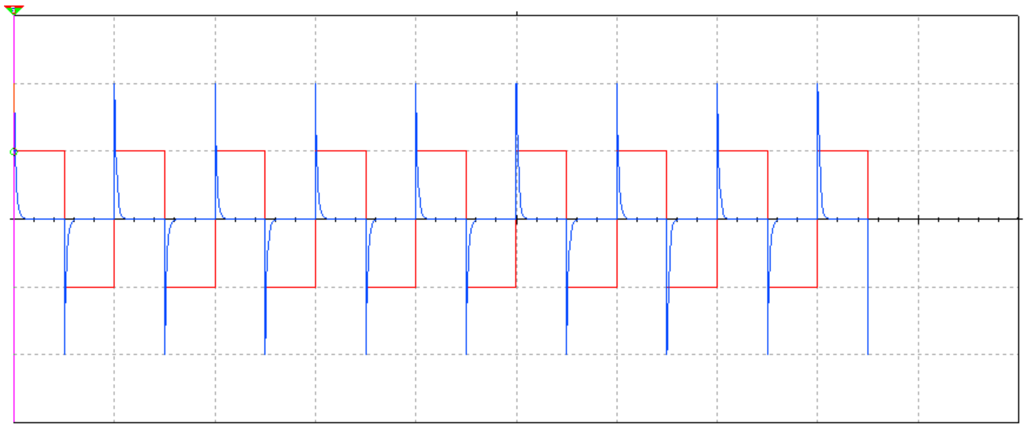
$$C = \frac{\tau}{R}$$

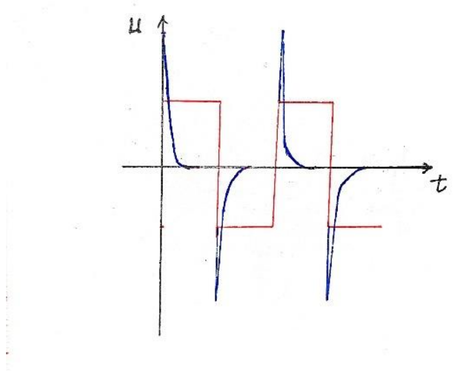
依次代入$\tau = 0.02T$，$\tau = 0.1T, \tau = T, \tau = 10T$得到电容分别为：

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

$\tau = 0.02T$即$C = 2\text{n}F$时手绘和仿真波形如下：

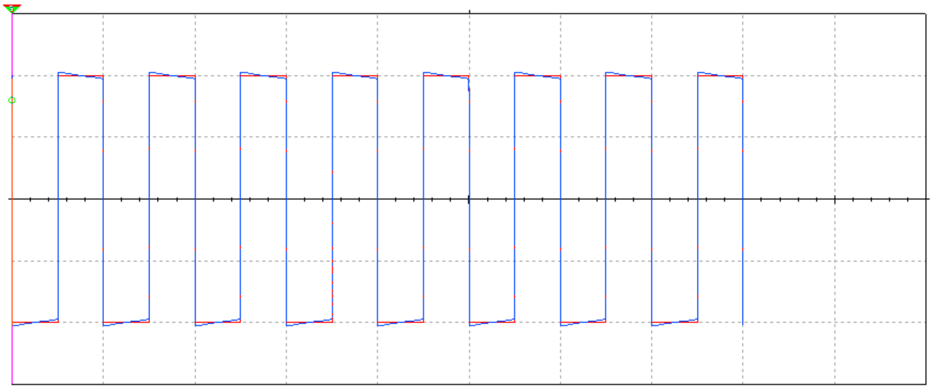
红色为u_i，蓝色为u_0

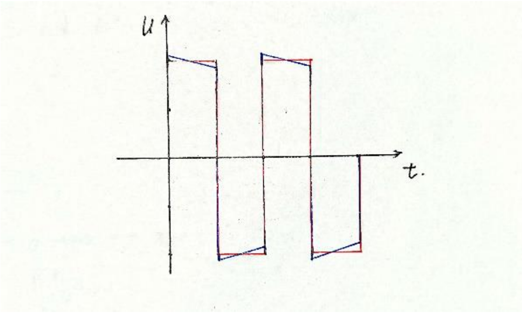




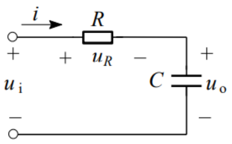
$\tau = 10T$即$C = 1\mu F$时手绘和仿真波形如下：

红色为u_i，蓝色为u_0





（2） 已知积分电路中，u_i(方波脉冲)的周期$T = 1ms$，电阻$R = 10k\Omega$，计算$\tau = 5T$，$\tau = 0.1T$两种情况下的电容值。时两种情况下的电容值。画出$\tau = 5T$以及 $\tau = 10T$两种情况下稳态时输出电压的波形(画两个周期)。



计算过程及作图如下：

$$\tau = RC$$

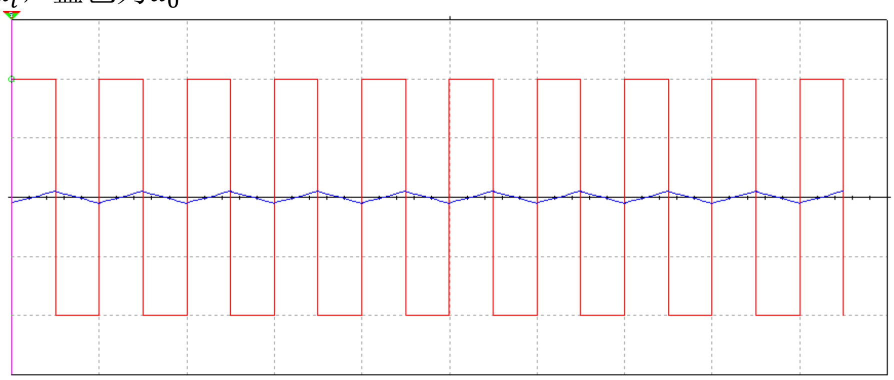
$$C = \frac{\tau}{R}$$

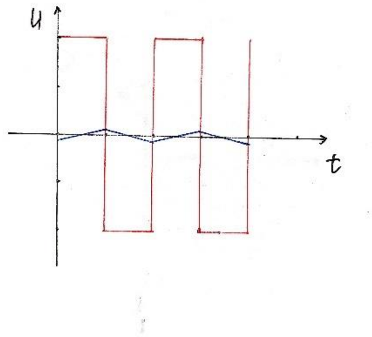
依次代入$\tau = 5T$，$\tau = 0.1T$得到电容分别为：

$$C = 0.5\mu\text{F}, 10\text{nF}$$

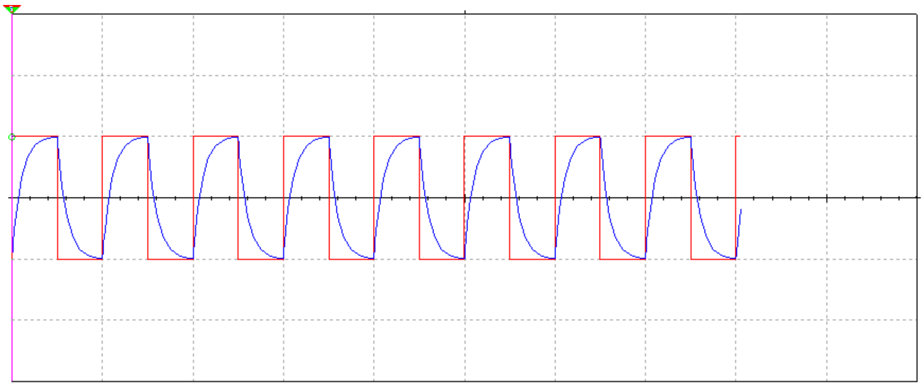
$\tau = 5T$即$C = 0.5\mu\text{F}$时手绘和仿真波形如下：

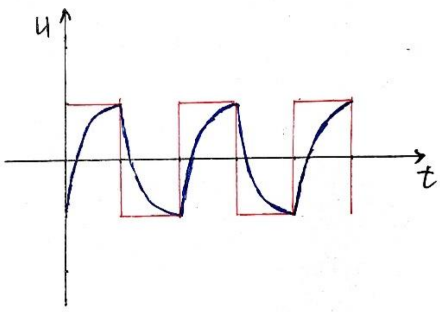
红色为u_i，蓝色为u_0



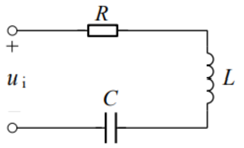


$\tau = 0.1T$即$C = 10\text{nF}$时手绘和仿真波形如下：
红色为u_i，蓝色为u_0

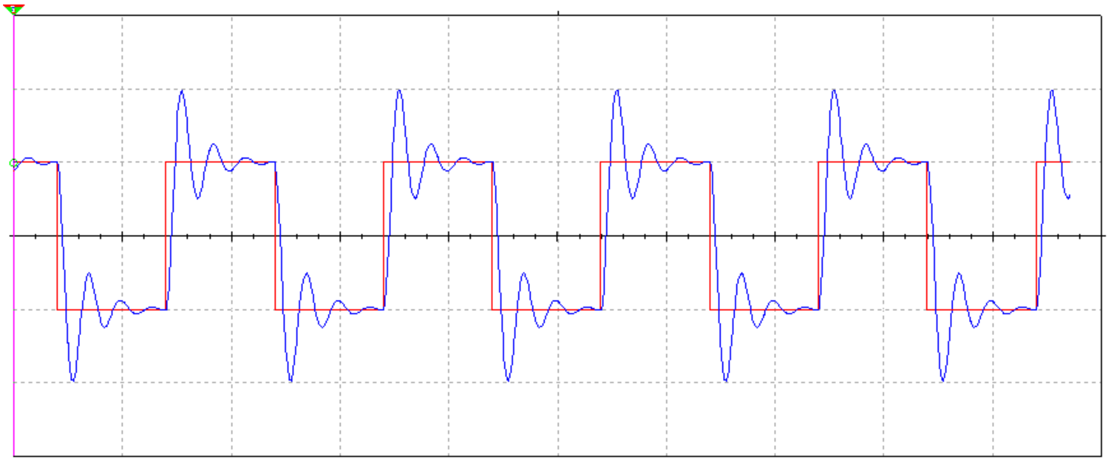


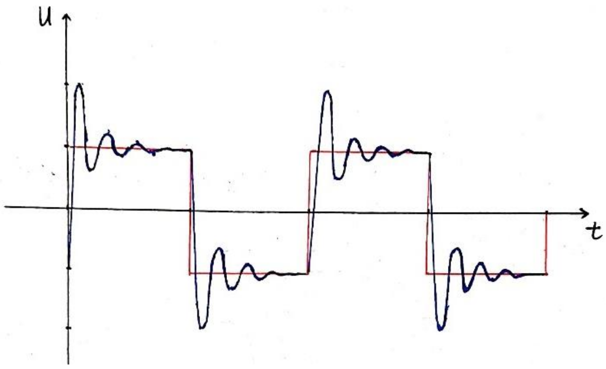


（3）已知 RLC 串联电路中，$L = 0.5H$，$C = 0.1\mu F$，输入信号为 $10ms$的方波脉冲，定性画出 $R = 1k\Omega$及 $R = 6\ k\Omega$两种情况下u_C的波形。

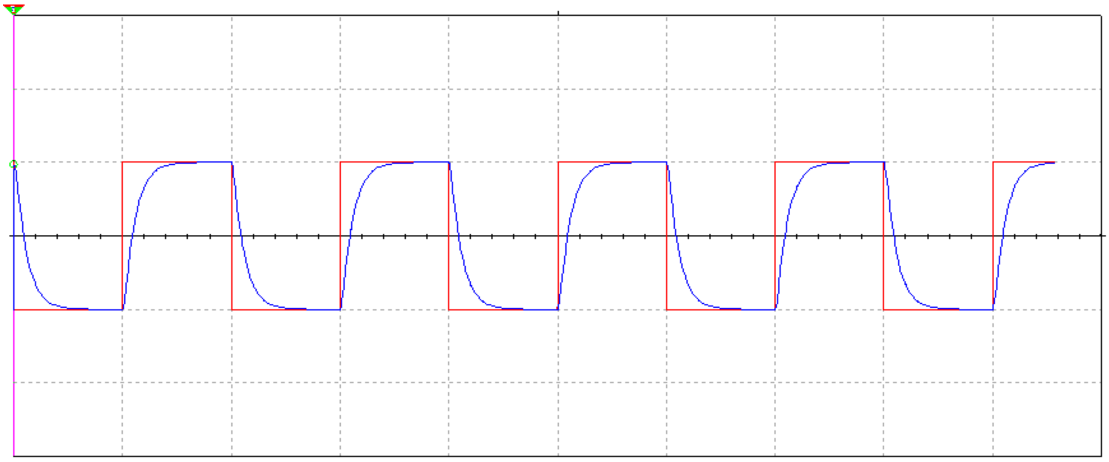


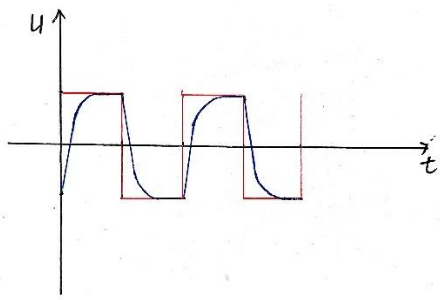
计算过程及作图如下：
红色为u_i，蓝色为u_c
$R = 1k\Omega$：





$R = 6\ k\Omega$:





3.2 实验任务

原始实验记录如下：

		U_1	U_2	T
(3)	1kΩ	2.00V	1.24V	1.440ms
(4)	3kΩ	940mV	80.0mV	1.480ms

电阻箱　DZ-1502.

电容箱　DC-1613

功率信号源.　15030438 .

十进电感箱　03006998

数字示波器.　15016607

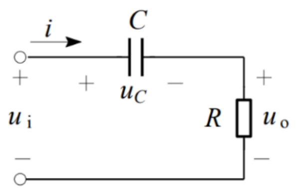
实验人：　彭程

日期：　2021.4.16

张敬华

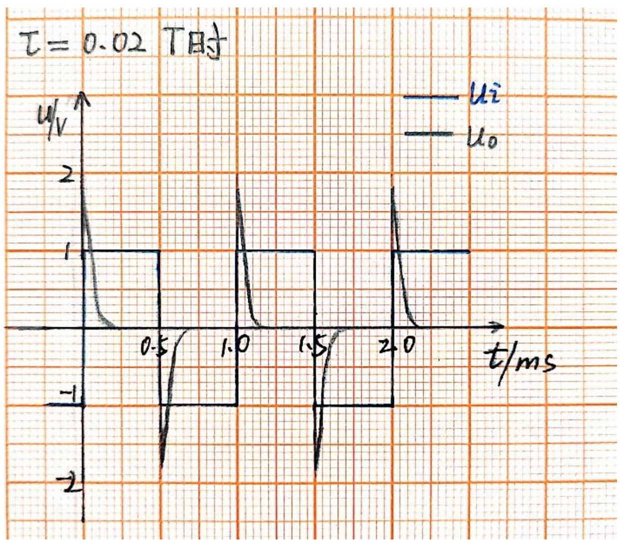
4/16

（1）按照下图接线，方波脉冲的周期$T = 1ms$，电阻$R = 10k\Omega$观察并描绘$\tau = 0.02T$，$\tau = 0.1T, \tau = T, \tau = 10T$ 四种情况下u_i以及u_0的波形。

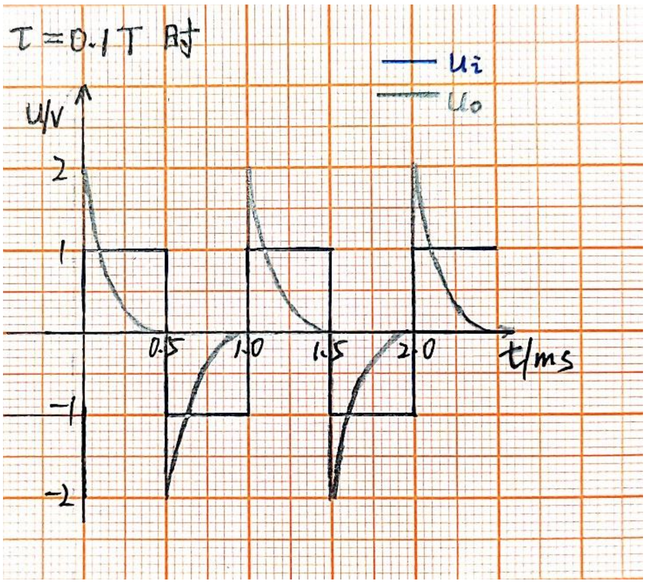


绘图如下：

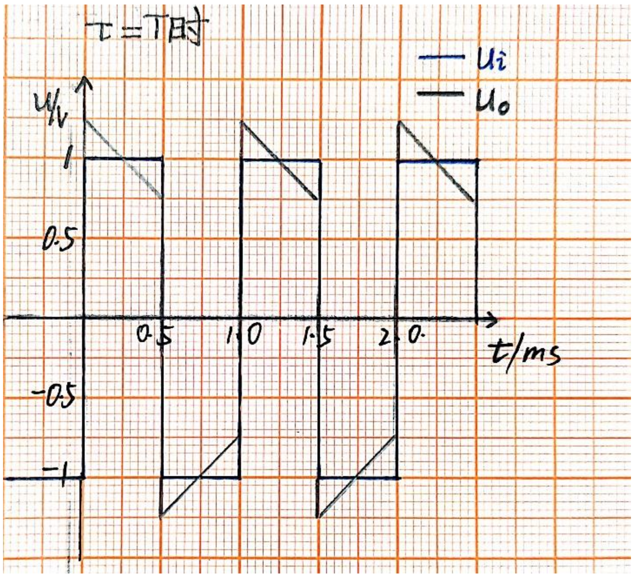
$\tau = 0.02T$时：



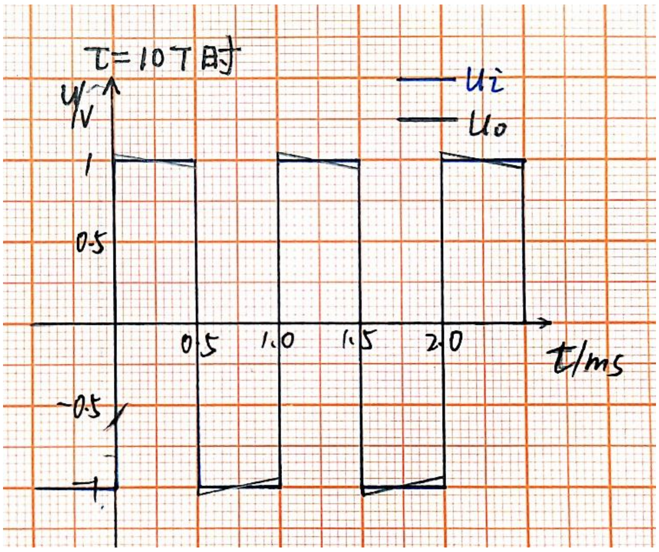
$\tau = 0.1T$时：



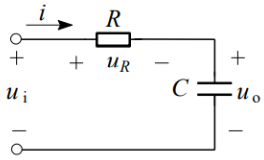
$\tau = T$时：



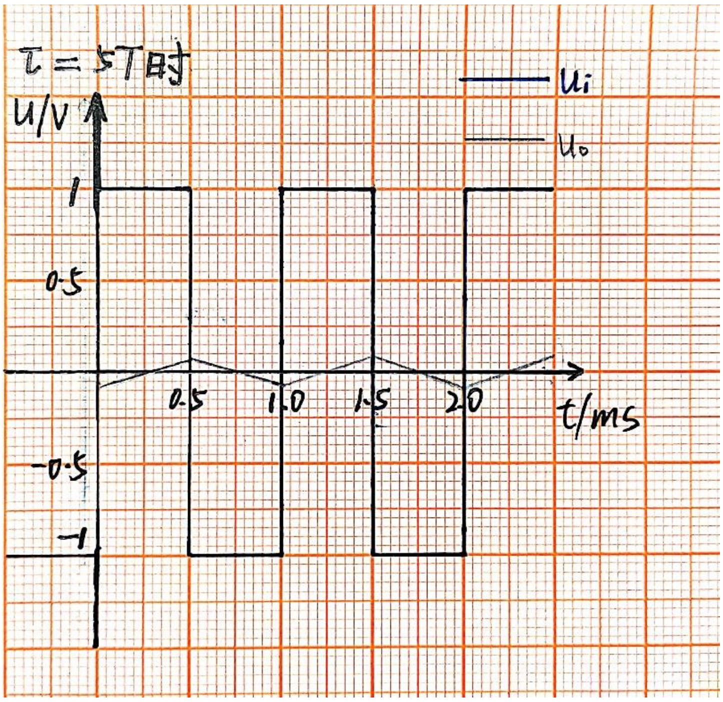
$\tau = 10T$时：



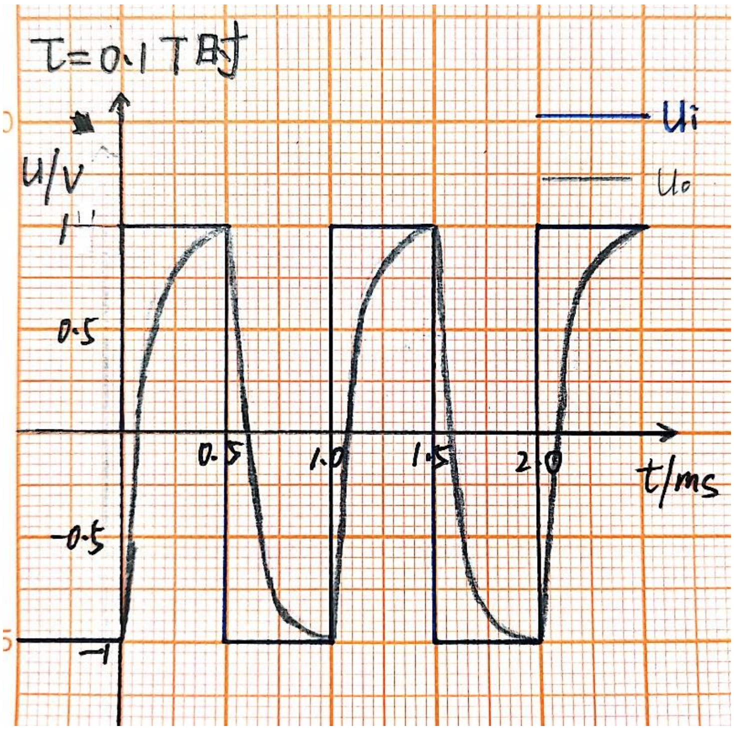
（2）按照下图接线，u_i(方波脉冲的周期$T = 1ms$，电阻$R = 10k\Omega$，观察并描绘$\tau\ = 5T$，$\tau = 0.1T$两种情况下u_i以及u_0的波形。



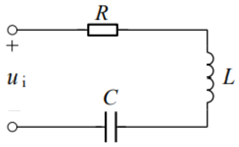
$\tau\ = 5T$时：



$\tau\ = 0.1T$时：

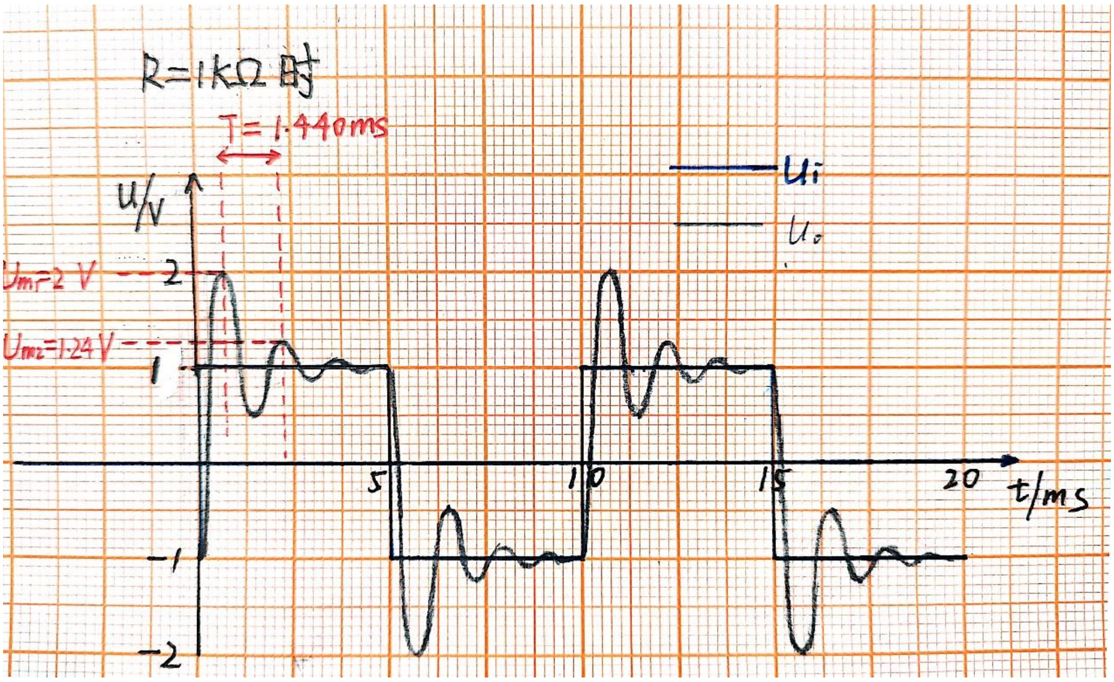


（3）按下图电路接线，$L = 0.5H$，$C = 0.1\mu F$，接入 $T = 10\,ms$ 的方波脉冲，观察并描绘 $R = 1k\,\Omega$及$R = 6\,k\Omega$两种情况下的u_0波形。记录必要的数据，以便决定衰减系数和振荡频率。

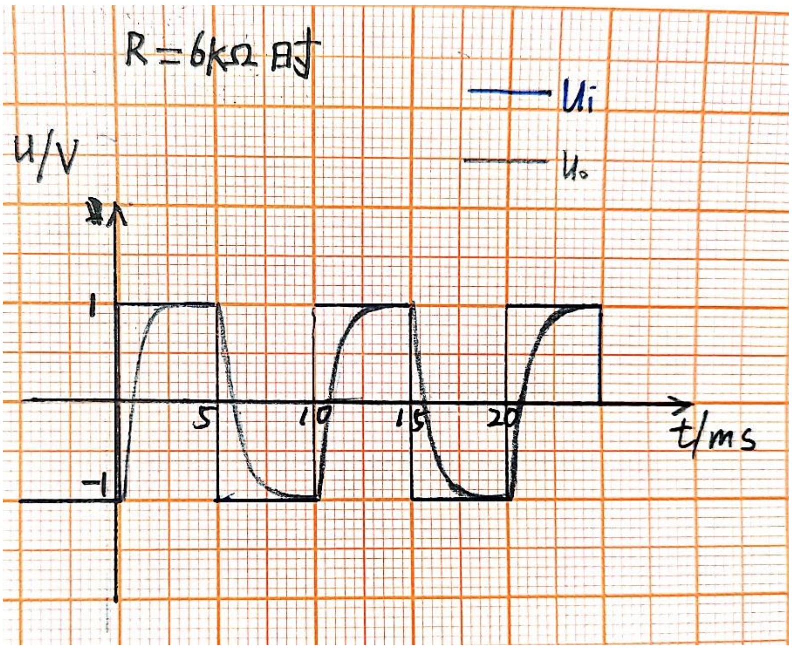


数据记录见原始实验记录，波形绘制如下：

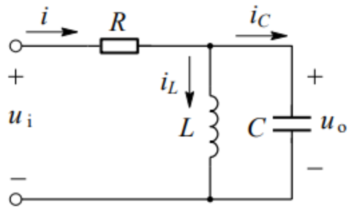
$R = 1k\,\Omega$时：



$R = 6\,k\Omega$时：

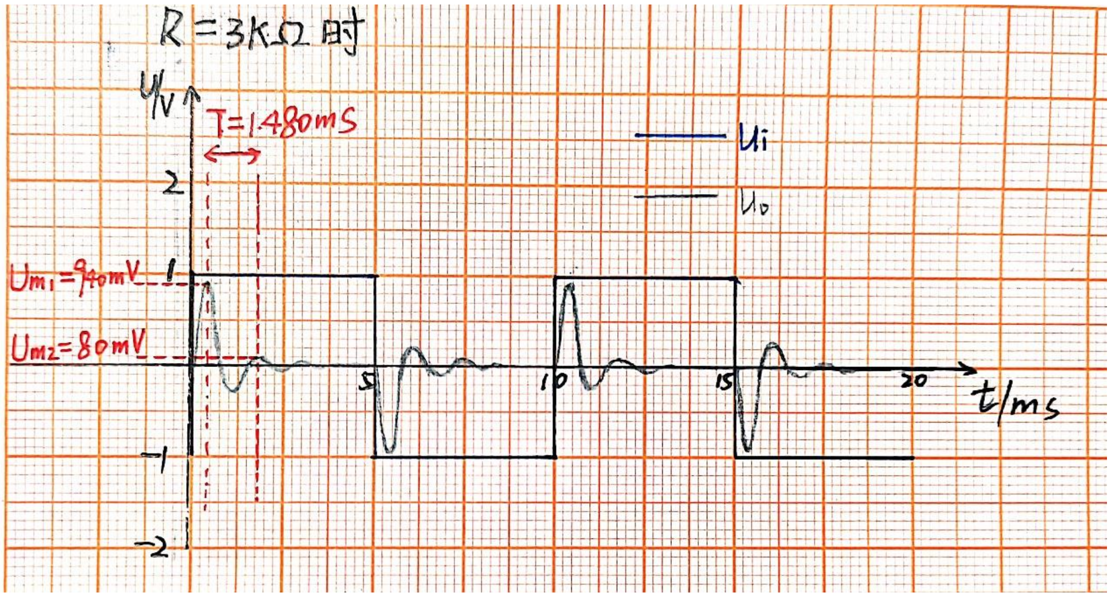


（4）按下图电路接线，$L=0.5H$，$C=0.1\mu F$，接入 $T=10\,ms$ 的方波脉冲，观察并描绘 $R=3k\,\Omega$及 $R=500\Omega$两种情况下的u_0波形。记录必要的数据，以便决定衰减系数和振荡频率。

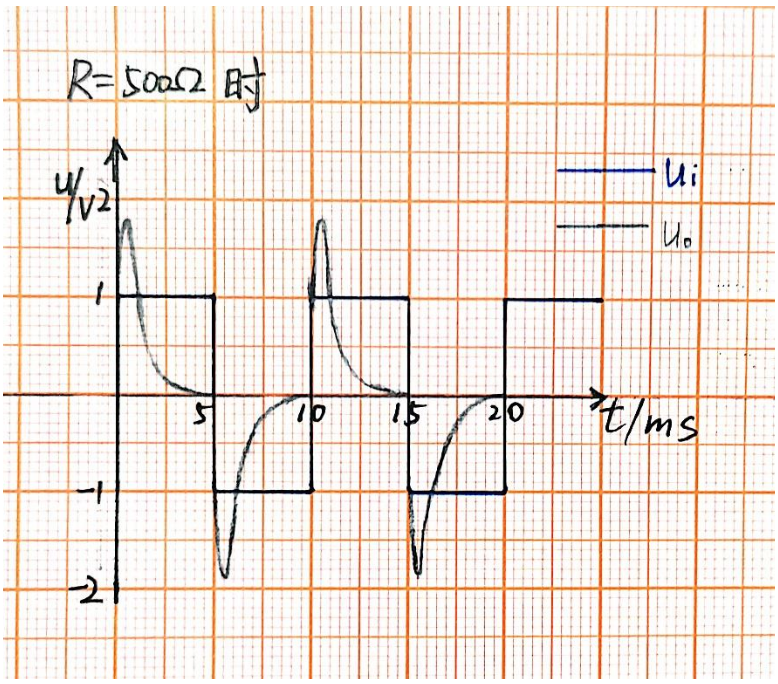


数据记录见原始实验记录，波形绘制如下：

$R=3k\Omega$时：

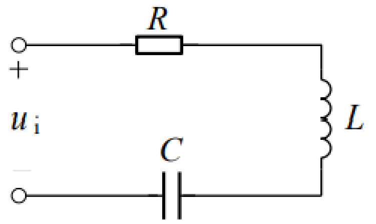


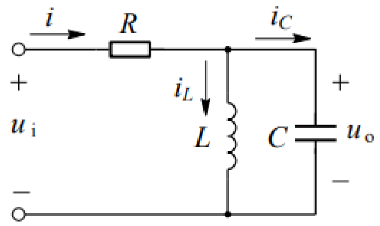
$R=500\Omega$时：



4. 思考题

对比图 8.3 和图 8.4 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；

$$u_c = L \cdot \frac{di_L}{dt} + R \cdot i_L$$

$$i_L = -C \cdot \frac{du_C}{dt}$$

联立得到：

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

衰减系数为：

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

固有震荡角频率为：

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

如果$\delta^2 > {\omega_0}^2$，则为过阻尼：$u_c = A_1e^{p_1t} + A_2e^{p_2t}$；

如果$\delta^2 = {\omega_0}^2$，则为临界阻尼：$u_c = A_1e^{p_1t} + A_2te^{p_2t}$；

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

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

其中，$p1$、$p2$ 为方程 $\lambda^2 + \frac{R}{L} \cdot \lambda + \frac{1}{LC} = 0$ 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。

对于 RLC 并联电路，同理可得：

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

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

其特征方程为：

$$\lambda^2 + \frac{1}{RC} \cdot \lambda + \frac{1}{LC} = 0$$

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

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

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

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

其中，$p1$、$p2$ 为方程$\lambda^2 + \frac{1}{RC} \cdot \lambda + \frac{1}{LC} = 0$的特征根。

故当电感 L、电容 C 参数不变时，随着电阻值 R 的减小，衰减系数 δ 随之增大，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。

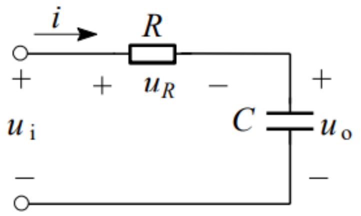
综上所述，元件参数会影响两种电路的响应形式，而且：当有输入时，输出u_c或i_L会叠加强制分量，但总的响应形式不发生改变；RLC 并联和串联电路成对偶关系，除δ不同外，特征方程和响应形式完全一致。

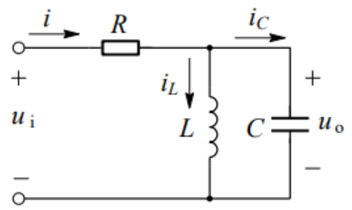
5. 终结报告要求

5.1 将实验任务(1)、(2)、(3)、(4)中记录的波形整理在方格纸上。

见 3.2 实验任务部分的波形绘制。

5.2 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，由电容和电阻组成，可以使输入方脉冲波转换成尖脉冲波，其中电容在主电路中，电阻在干路中，时间常数τ要小于或者等于1/10 倍的输入脉冲周期。
积分电路：
输出电压与输入电压成积分关系，由电阻和电容组成，可以使输入方波转换成三角波或者斜波，其中电阻串联在主电路中，电容在干路中，时间常数τ大于或者等于 10 倍输入脉冲周期。

5.3 实验任务(1)中有哪些与预习分析有差异的现象，如何分析？

在预习计算时，对于微分电路，τ=0.02T 和 τ=0.1T 的波形的输出电压峰值应该为输入方波信号峰值的两倍。在实验中，输入的方波信号幅值为 1V，但实际输出电压峰值小于 2V（τ=0.02T 时峰值为 1.62V，τ=0.1T 是峰值为 1.92V），与预习计算的结果不符合。

可能的原因为：电容放电不彻底，有初始电量；由于电源内阻等因素导致实际输入电压偏小。

5.4 根据实验任务(3)中取得的数据，求出衰减系数δ和阻尼振荡角频率ω_d，再根据 R、L、C 参数算出δ和ω_d，并进行比较。

根据原始实验记录中的数据：

R = 1kΩ时，T = 1.440ms，$U_{m1} = 2.00V$，$U_{m2} = 1.24V$，故：

$$\omega_d = \frac{2\pi}{T} = 4363.323\, rad/s$$

$$\delta = \frac{1}{T} ln \frac{U_{m1} - 1}{U_{m2} - 1} = 991.053 s^{-1}$$

根据 RLC 参数计算得到的δ和ω_d：

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

$$\omega_d = \sqrt{{\omega_0}^2 - \delta^2} = 4358.599\, rad/s$$

计算得到误差如下：

$$e(\delta) = 0.90\% \text{（实际值比理论值小）}$$

$$e(\omega_d) = 0.11\% \text{（实际值比理论值大）}$$

实验结果与理论值存在一定误差，可能是忽略了电感的电阻所导致。

5.5 根据实验任务(4)中取得的数据，求出衰减系数δ和阻尼振荡角频率ω_d，再根据 R、L、C 参数算出δ和ω_d，并进行比较。

根据原始实验记录中的数据：

R = 3kΩ时，T = 1.480ms，$U_{m1} = 940mV$，$U_{m2} = 80mV$，故：

$$\omega_d = \frac{2\pi}{T} = 4245.395\, rad/s$$

$$\delta = \frac{1}{T} ln \frac{U_{m1}}{U_{m2}} = 1664.477 s^{-1}$$

根据 RLC 参数计算得到的δ和ω_d：

$$\delta = \frac{1}{2RC} = 1666.667 s^{-1}$$

$$\omega_d = \sqrt{{\omega_0}^2 - \delta^2} = 4149.967 rad/s$$

计算得到误差如下：

$$e(\delta) = 0.13\% \text{（实际值比理论值小）}$$

$$e(\omega_d) = 2.30\% \text{（实际值比理论值大）}$$

5.6 实验结论

对于微分电路，时间常数$\tau = RC$很小时（τ≤0.1T），输出电压u_0近似与输入电压u_i对时间的微分成正比。

对于积分电路，当时间常数$\tau = RC$很大时（τ≥10T），输出电压u_0近似与输入电压u_i对时间的积分成正比。

在 RLC 串联电路中，当$R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ 时,过渡过程呈非周期性，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

在 RLC 串联电路中，当$R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ 时,过渡过程呈非周期性，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

5.7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；学会了示波器的基本使用方法；了解了 RC 电路τ值对于输出波形的影响；学会了振荡电路周期的测量和计算方法。