信息科学技术学院　　PB23061239 张杜微　　PB23061234 房杰　　2024 年 11 月 18 日

RC 一阶电路暂态过程
实验报告

1. 实验目的

   1） 掌握一阶电路暂态过程的研究实验报告。

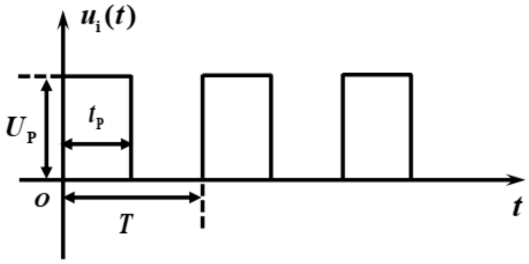
   2） 掌握一阶电路时间常数的测试方法。

   3） 利用 *RC* 电路实现微分、积分运算及脉冲分压电路。

   4） 进一步熟悉信号源、示波器使用方法。

2. 实验原理

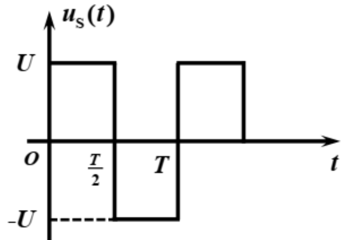
动态网络的过渡过程是十分短暂的单次变化过程，普通的示波器很难观察和测量有关的参数， 必须使这种单次的过渡过程重复出现，就可以用普通示波器显示稳定的响应波形，便于观察和作定量计算



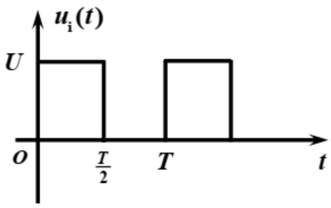
方波脉冲信号，其中U_P脉冲幅度，t_P脉冲宽度，T脉冲周期。

方波的上升沿相当于给电路一个阶跃输入，其响应就是零状态响应；方波的下降沿相当于在电容具有初始值时，把电源用短路置换，电路响应转换成零输入响应。

函数信号发生器提供的方波信号如图（a）所示，必须变成如图（b）所示的方波来作阶跃激励。

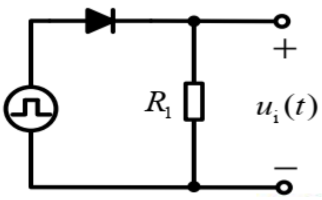


图（a）



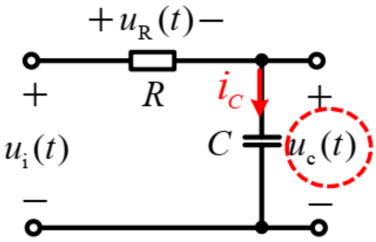
图（b）

为了将函数信号发生器的输出方波如图（a）所示，变成不过零的方波信号如图（b）所示，采用下图所示电路。



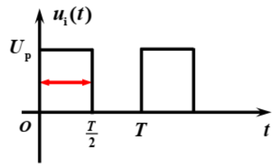
2.1. 零状态响应

电路中储能元件的原始储能为零，仅由独立电源作用引起的响应。



输入为一个阶跃电压

$u_i(t)=U_P u(t)$



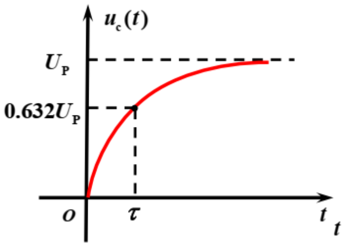
零状态响应的微分方程为：

$$\begin{cases} RC\dfrac{du_c(t)}{d(t)}+u_c(t)=U_P \\ u_c(0^+)=0 \end{cases}$$

解得， $u_c(t)=U_P(1-e^{-\frac{t}{RC}})$

零状态响应的波形图：

输出波形$\boldsymbol{u_c}(t)$随时间的变化是按指数规律由零逐渐上升到 U_P，如下图所示。



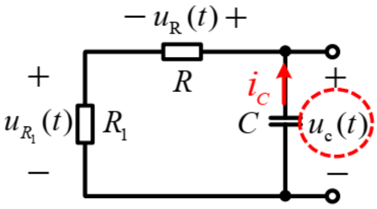
当时间$t=RC$时，由公式 $u_c(t)=U_P(1-e^{-\frac{RC}{RC}})$ 得，

电容电压 $u_c(t)=0.632U_P$，

令$\tau=RC$，称为此一阶电路时间常数，反映一阶电路过渡过程的进展程度。

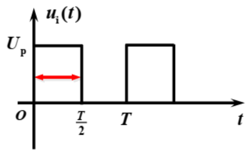
2.2. 零输入响应

换路后无独立电源的电路中，仅由储能元件原始储能引起的响应。



电容的初始储能为

$u_c(\frac{T}{2})=U_P$



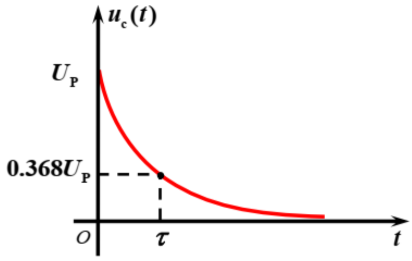
零状态响应的微分方程为：

$$\begin{cases} (R_1+R)C\dfrac{du_c(t)}{d(t)}+u_c(t)=0 \\ u_c(\frac{T}{2})=U_P \end{cases}$$

解得， $u_c(t)=U_Pe^{-\frac{t}{(R_1+R)C}}$

零输入响应的波形图：

输出波形u_c（t）随时间的变化是按指数规律下降的，如下图所示。



当时间$t=(R+R_1)C$时，由公式 $u_c(t)=U_P e^{-\frac{t}{(R_1+R)C}}$ 得，

电容电压$u_c(t)=0.368U_P$，

电路时间常数$\tau=(R+R_1)C$。

2.3. *RC* 积分电路

对于右图（a）的电路，设输入u_i(t)为一脉冲波形 P(t)，脉冲宽度为$t_p=\frac{T}{2}$，如右图（b）所示。

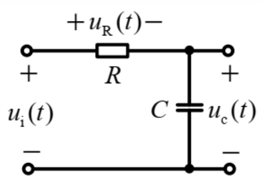
当 $t_p \ll \tau = RC$ 时，则有，

$$u_R(t)\approx P(t)$$

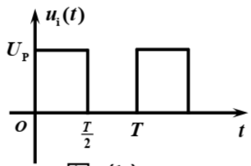
$$u_C(t)=\frac{1}{C}\int_0^t i_C dt$$

$$\approx \frac{1}{RC}\int_0^t P(t)dt=\frac{1}{\tau}\int_0^t P(t)dt$$

式中，$\tau = RC$



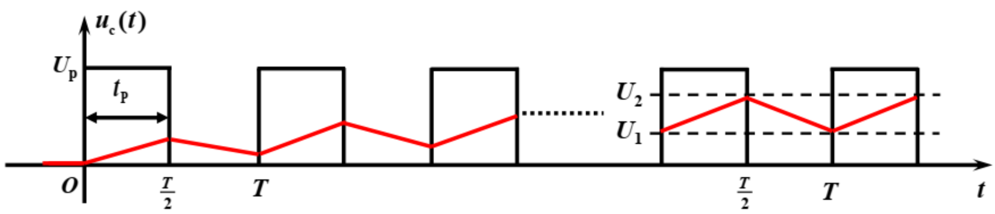
图（a）



图（b）

即：从电容上输出电压u_c(t)为输入电压 P(t)的积分除以τ 。

RC 积分电路的波形图：



$$\begin{cases} u_c(t)=U_P+(U_1-U_P)e^{-\frac{t}{\tau_1}} & 0\le t\le T/2 \\ u_c(t)=U_2 e^{-\frac{(t-\frac{T}{2})}{\tau_2}} & T/2\le t\le T \end{cases}$$

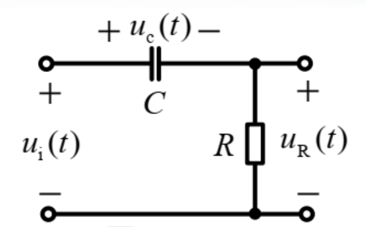
$$U_1=\frac{U_P e^{-\frac{T/2}{\tau}}}{1+e^{-\frac{T/2}{\tau}}}$$

$$\begin{cases} u_c(\frac{T}{2})=U_2=U_P+(U_1-U_P)e^{-T/2\tau} & t=\frac{T}{2} & (1) \\ u_c(T)=U_1=U_2 e^{-T/2\tau} & t=T & (2) \end{cases}$$

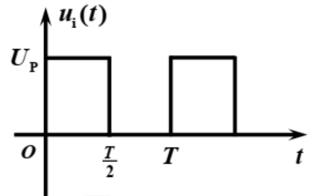
$$U_2=\frac{U_P}{1+e^{-\frac{T/2}{\tau}}}$$

2.4. *RC* 微分电路

对于右图（a）的电路，设输入$\boldsymbol{u_i}$(t)为一脉冲波形 *P*(t)，脉冲宽度为$\boldsymbol{t_p}=\frac{T}{2}$，如右图（b）所示。



图（a）



图（b）

当 $t_p >> \tau = RC$ 时，则有，

$$u_c(t) \approx P(t)$$

$$u_R(t) = R \cdot i_c \approx RC\frac{du_c(t)}{dt}$$

$$= RC\frac{d}{dt}P(t) = \tau\frac{d}{dt}P(t)$$

式中，$\tau = RC$

即：从电阻上输出电压$\boldsymbol{u_R}$(t)为输入电压 P(t)的微分形式乘以 $\boldsymbol{\tau}$ 。

RC 微分电路的波形图：

KVL方程：$u_i(t)=u_c(t)+u_R(t)$

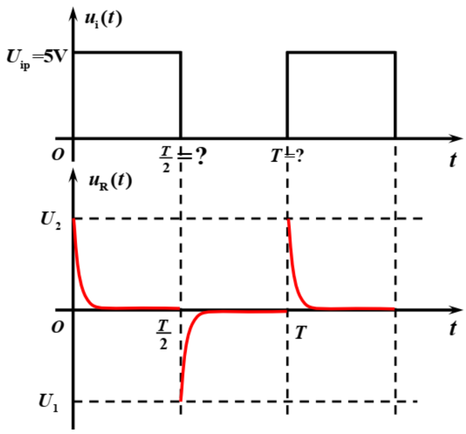
当 $0 \le t \le \frac{T}{2}$内，有，

$$u_R(t)=U_P - u_c(t) = U_P e^{-\frac{t}{RC}}$$

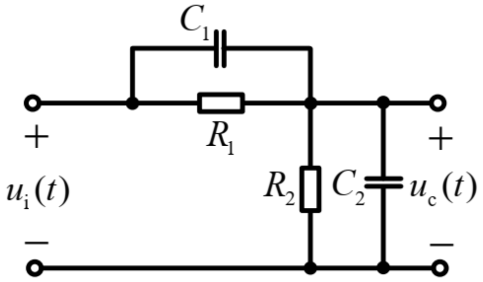
当 $\frac{T}{2} \le t \le T$内，有，

$$u_R(t) = -\frac{R}{R_1+R}u_c(t)$$

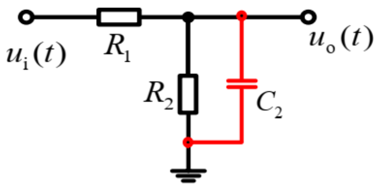
$$= -\frac{R}{R_1+R}U_P e^{-\frac{(t-t_P)}{(R_1+R)C}}$$

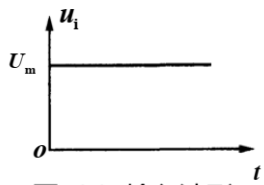


2.5. *RC* 脉冲分压电路



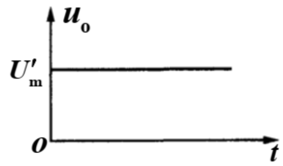
脉冲分压电路实验电路图





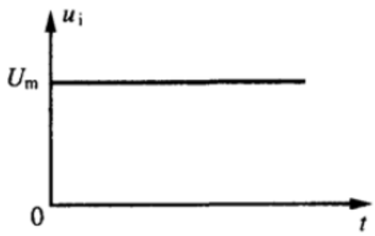
图（a）输入波形

在脉冲电路中，常常要将脉冲信号经过电阻分压后传输到下一级，而在下一级电路中存在着各种形式的电容，这就相当于在输出端接上一个等效电容C_2，如上图所示。

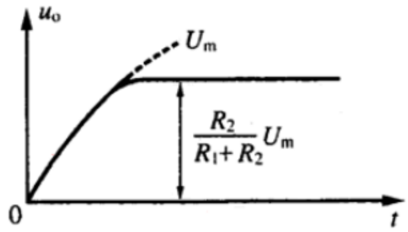


图（b）输出波形

电容C_2对输出波形的影响

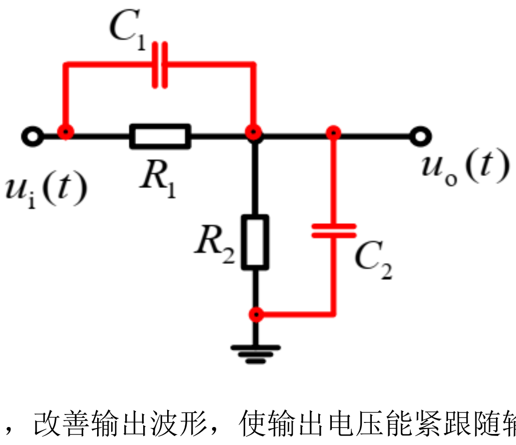


图（a）输入波形

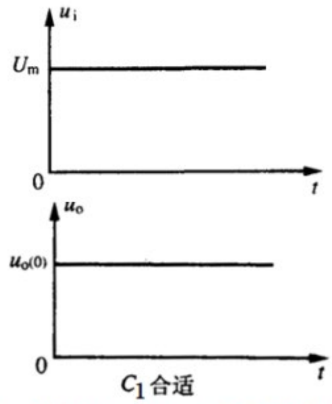


图（b）输出波形

输入信号如图（a）所示，由零跳变到最大值U_m的瞬间，输出端电容C_2上的电压将按指数规律上升，最后达到U_m，即输出电压U_o具有一定的上升时间，不能紧跟随输入电压同步跳变。使输出波形的边沿变坏，如图（b）所示。



为了克服这一缺点，改善输出波形，使输出电压能紧跟随输入电压一起上跳变。所采取的措施是在电阻R_1上并联一个电容C_1，构成上图所示的电路。
此电路称为 *RC* 分压电路，亦称脉冲分压电路。
如果选择合适的C_1值，就可以克服等效电容C_2的影响，使输出波形紧跟输入波形一起跳变。



输出端就能得到按分压关系确定的部分输入电压。

三要素法求解脉冲分压电路

$$U_i = u_{C1}(0_+) + u_{C2}(0_+) \qquad \text{(a)} \quad \text{（电容电压发生跃变）}$$

$$C_1\left[u_{C1}(0_+) - u_{C1}(0_-)\right] = C_2\left[u_{C2}(0_+) - u_{C2}(0_-)\right] \qquad \text{(b)} \quad \text{（根据电荷守恒）}$$

$$u_{C2}(0_+) = \frac{C_1}{C_1 + C_2}U_i - \frac{C_1}{C_1 + C_2}u_{C1}(0_-) + \frac{C_1}{C_1 + C_2}u_{C2}(0_-) \qquad \text{(c)}$$

当 $u_{C1}(0_-) = u_{C2}(0_-) = 0$ 时，则

$$u_{C2}(0_+) = \frac{C_1}{C_1 + C_2}U_i \qquad \text{(d)}$$

稳态时，两电容均可看作开路，则

$$u_{C2}(\infty) = \frac{R_2}{R_1 + R_2}U_i \qquad \text{(e)}$$

输出电压为

$$u_o(t) = \frac{R_2}{R_1 + R_2}U_i - \left(\frac{R_2 U_i}{R_1 + R_2} - \frac{C_1 U_i}{C_1 + C_2}\right)e^{-t/\tau} \qquad \text{(f)}$$

当输入电压U_i突然上跳时，输出电压由C_1和C_2的分压决定。输出电压为：

$$U_o = \frac{C_1}{C_1 + C_2}U_i$$

当电容充电结束后，输出电压将由R_1和R_2分压决定，即：

$$U_o' = \frac{R_2}{R_1 + R_2}U_i$$

当C_1选择合适时，输出波形的起始值U_o等于终止值 U_o'，即：

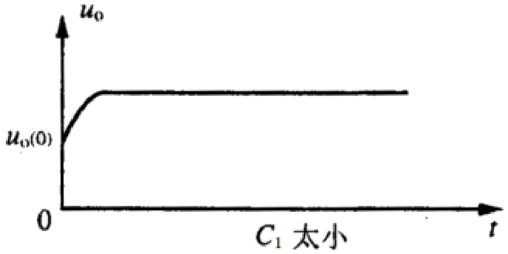
$$\frac{C_1}{C_1 + C_2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

得，　$C_1 R_1 = C_2 R_2$　　　**获得最佳补偿的条件**

若C_1太小，加速作用不足，输出波形的边沿仍不好；如下图所示。

$$\frac{C_1}{C_1+C_2} < \frac{R_2}{R_1+R_2}$$

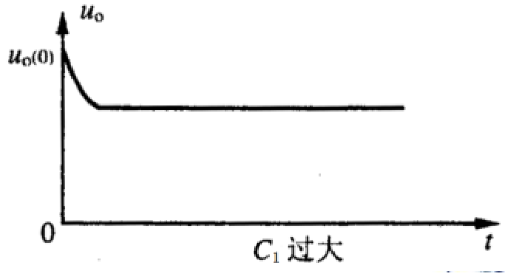
$$C_2R_2 > C_1R_1$$ **欠补偿**



若C_1过大，加速作用过强，压倒了C_2的延缓作用，输出波形出现超过稳态值的尖顶过冲，如下图所示。

$$\frac{C_1}{C_1+C_2} > \frac{R_2}{R_1+R_2}$$

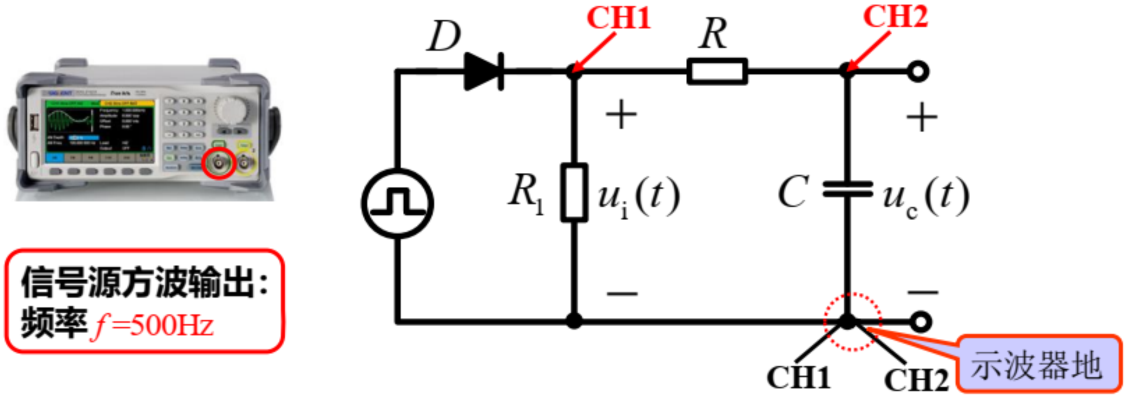
$$C_2R_2 < C_1R_1$$ **过补偿**



3. 实验内容

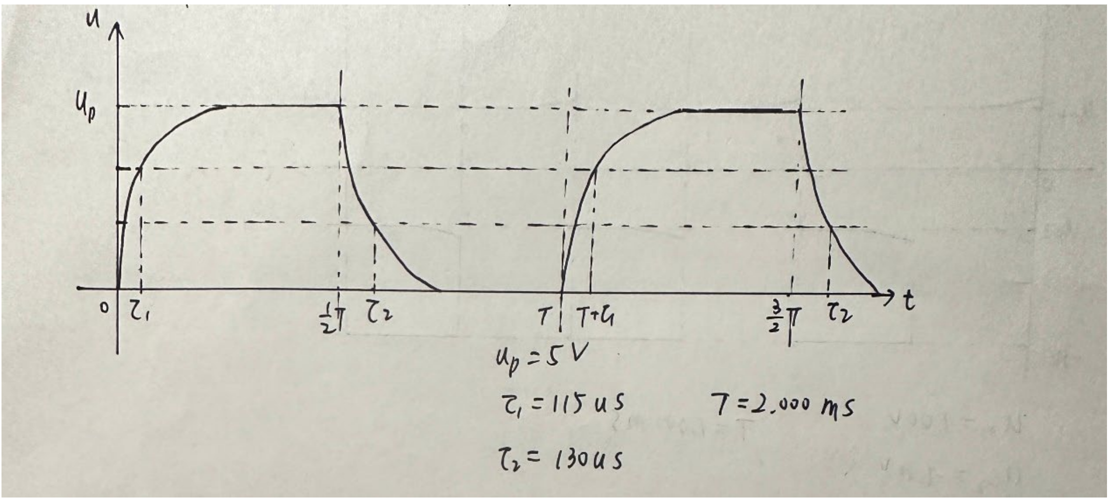
3.1. 零状态和零输入响应

零状态和零输入响应的实验电路图



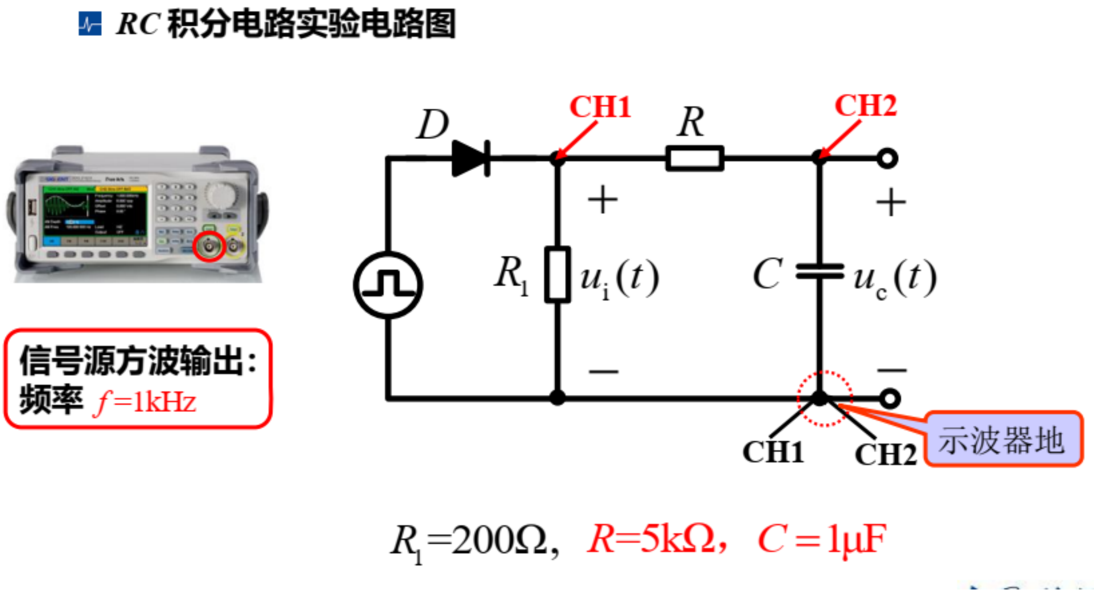
$$R_1=200\Omega, R=1\mathrm{k}\Omega, C=0.1\mu\mathrm{F}$$

实验测得$U_P - t$图像如图：

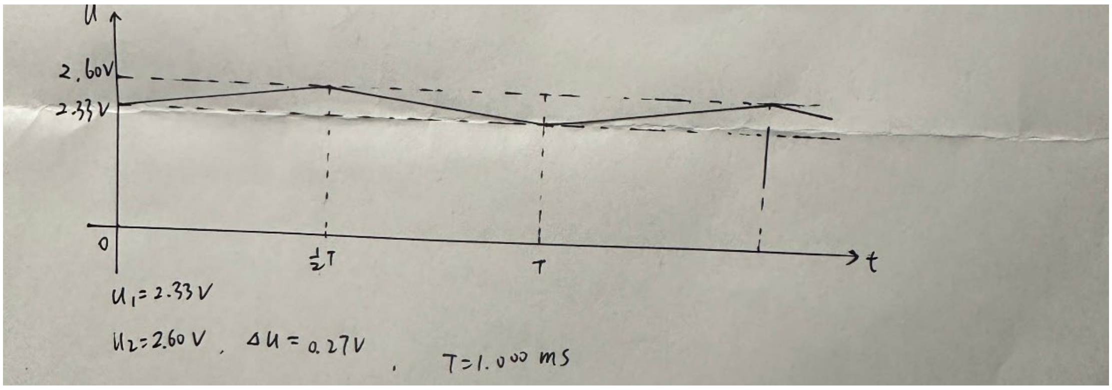


测得$\tau_1 = 115us, \tau_2 = 130us$, T=2.000ms.

3.2. *RC* 积分电路

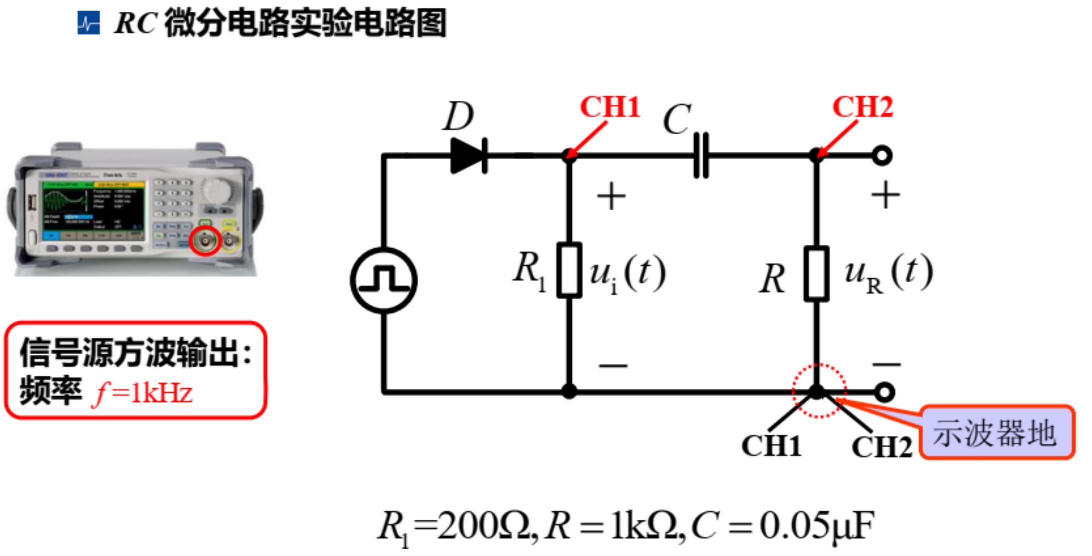


实验测得$U - t$图像如图：

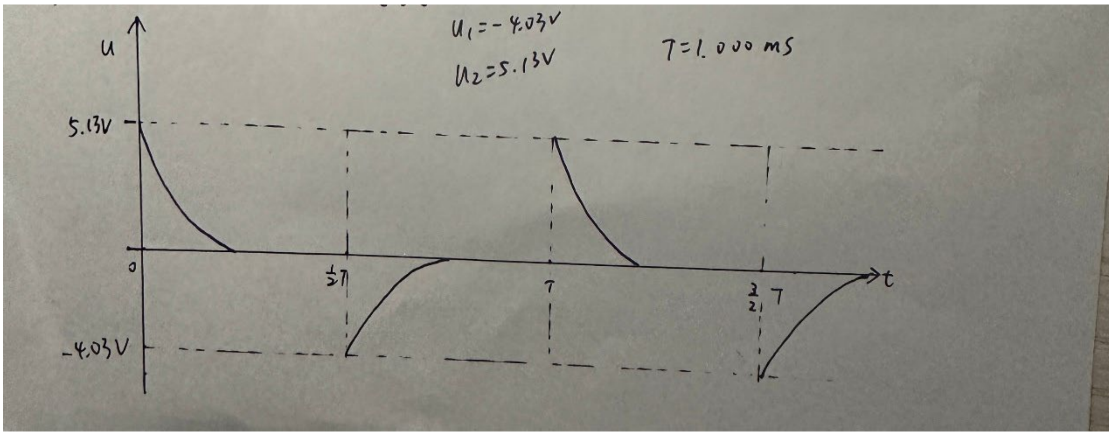


测得$U_1 = 2.33V$，$U_2 = 2.60V$，$\Delta U = 0.27V, T = 1.000ms$.

3.3. *RC* 微分电路

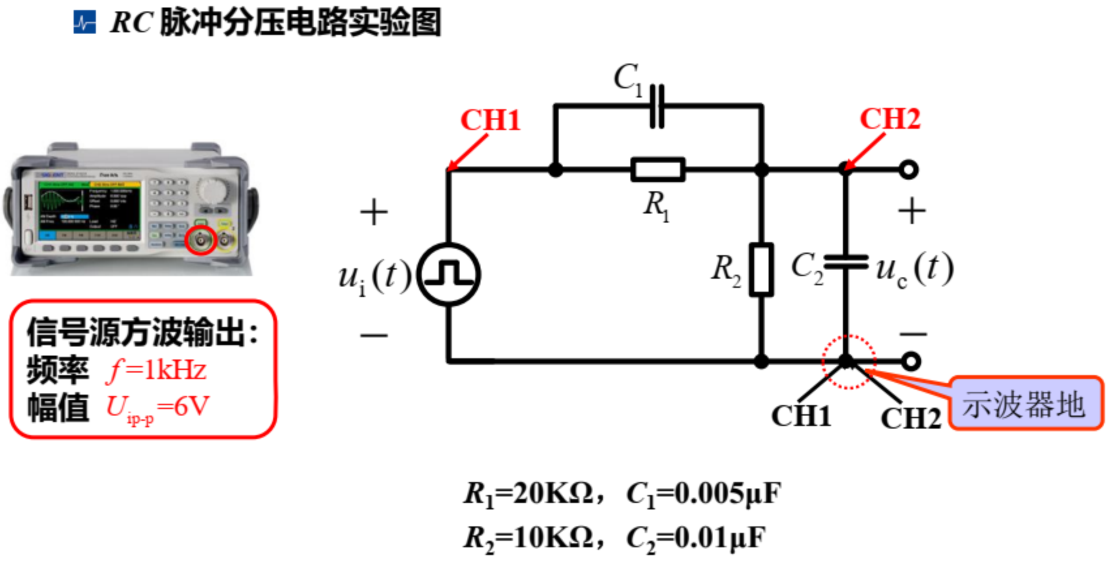


实验测得$U-t$如图：

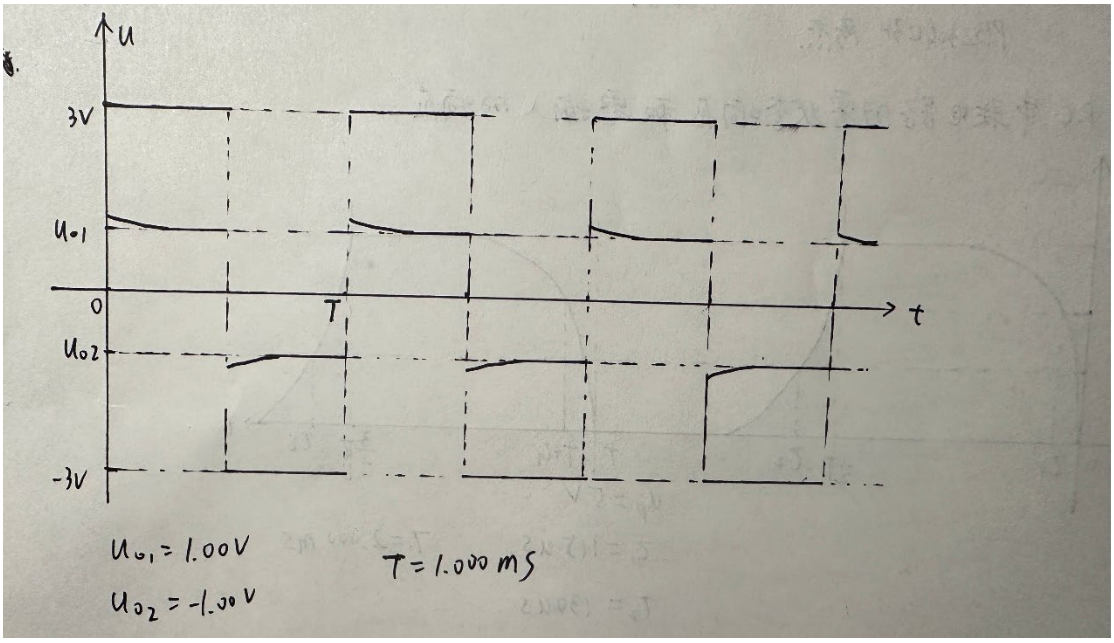


测得$U_1=-4.03V$，$U_2=5.13V$.

3.4. RC 脉冲分压电路实验



实验结果如图，测得$U_{o1} = 1.00V$，$U_{o2} = -1.00V$.：



4. 思考题

4.1. 一阶电路零输入和零状态响应电路中，电阻 R1 在电路中起何作用？

与电压源串联确定时间常数 τ 。

4.2. 本次实验中，能用毫伏表测量电阻 R1 两端的矩形波电压么，为什么？

不能。毫伏表只能测量直流电压，无法测量矩形波电压。可以使用示波器来测量矩形波电压。

4.3. 脉冲分压器电路中，有两个贮能元件电容 C1 和 C2，为何是一阶电路？

电阻和电容分别并联，可以等效为一个电阻 R1||R2 和 C1||C2.

4.4. 根据本次实验说明 RC 电路分别用作积分电路和微分电路时，必须具备的条件？

积分电路：时间常数远小于脉冲宽度；

微分电路：时间常数远大于脉冲宽度.