



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

# 电子技术实验

## 实验二 一阶RC电路的研究

信息与计算机实验教学中心

2024年10月25日

# 实验主要内容



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

- 01 实验目的
- 02 实验原理
- 03 实验内容、步骤及注意事项
- 04 实验思考题
- 05 实验仪器与设备



# 实验目的



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

- 1 掌握一阶电路的零输入响应和零状态响应曲线的测试方法。**
- 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。**



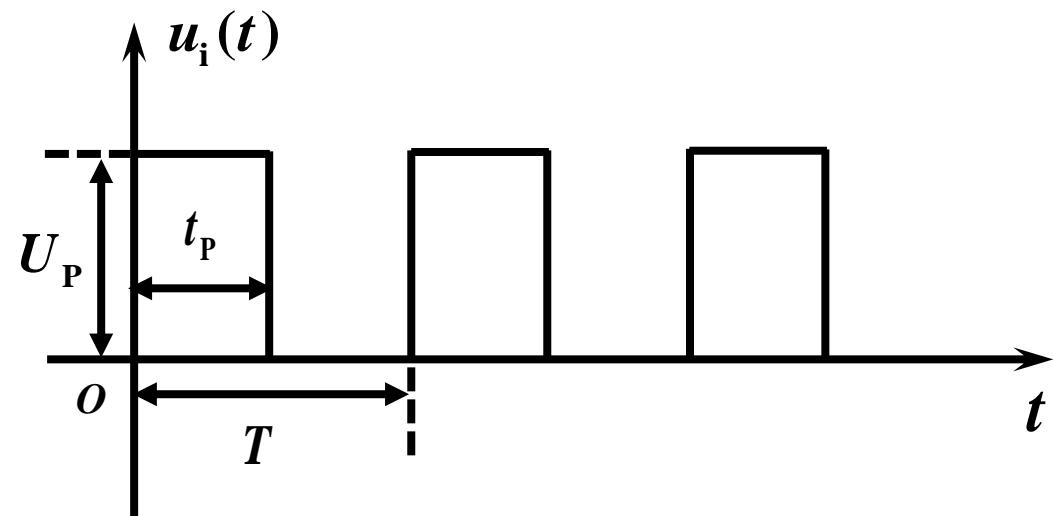
中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

# 实验原理



## 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。



## 实验原理

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。

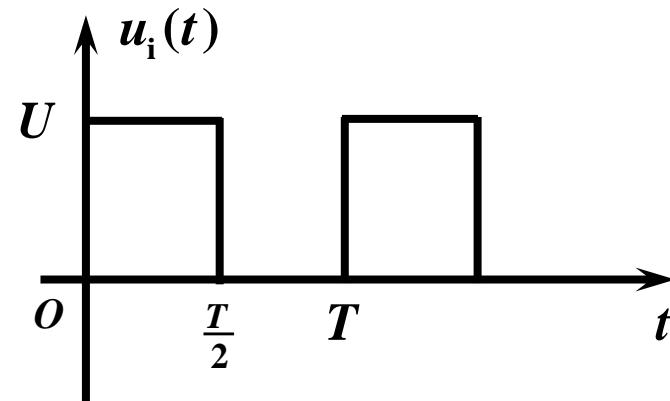
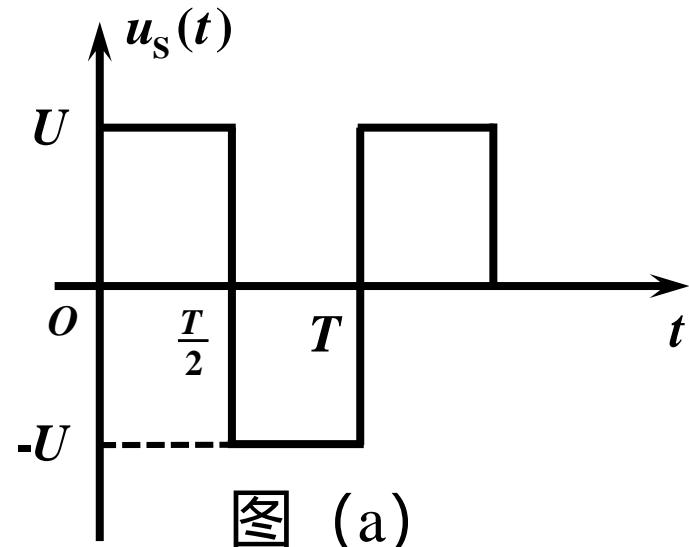
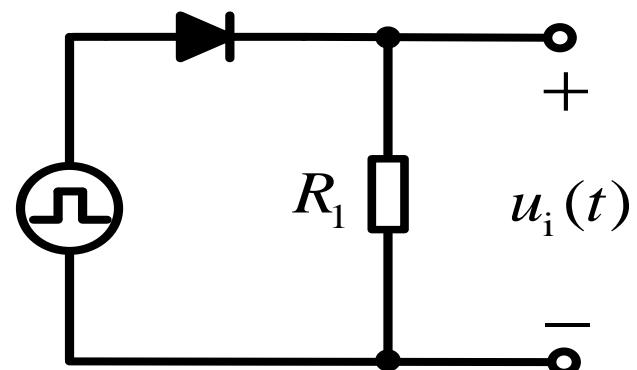


图 (a)

图 (b)

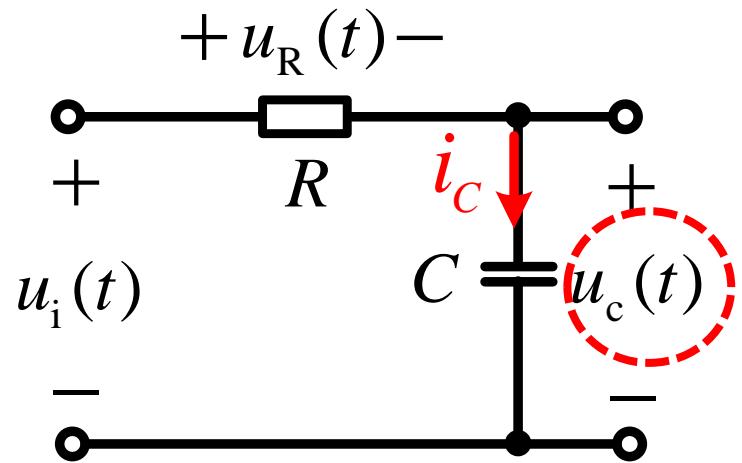
为了将函数信号发生器的输出方波如图 (a) 所示，变成不过零的方波信号如图 (b) 所示，采用右图所示电路。





## 实验原理—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。

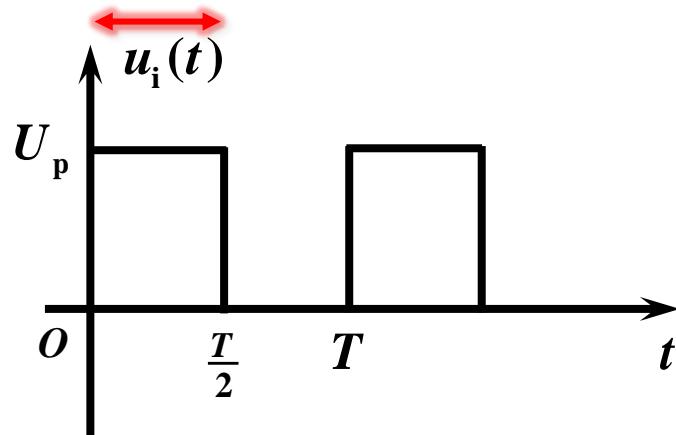


零状态响应的微分方程为：

$$\begin{cases} RC \frac{du_c(t)}{dt} + u_c(t) = U_p \\ u_c(0^+) = 0 \end{cases}$$

输入为一个阶跃电压

$$u_i(t) = U_p u(t)$$



解得，

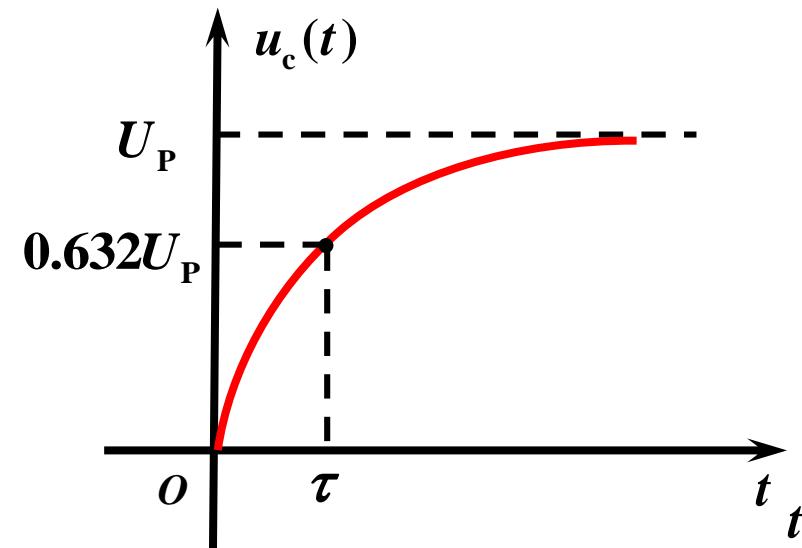
$$u_c(t) = U_p (1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$



## 实验原理—零状态响应

### ■零状态响应的波形图

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  $u_c(t) = U_P(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$  得，

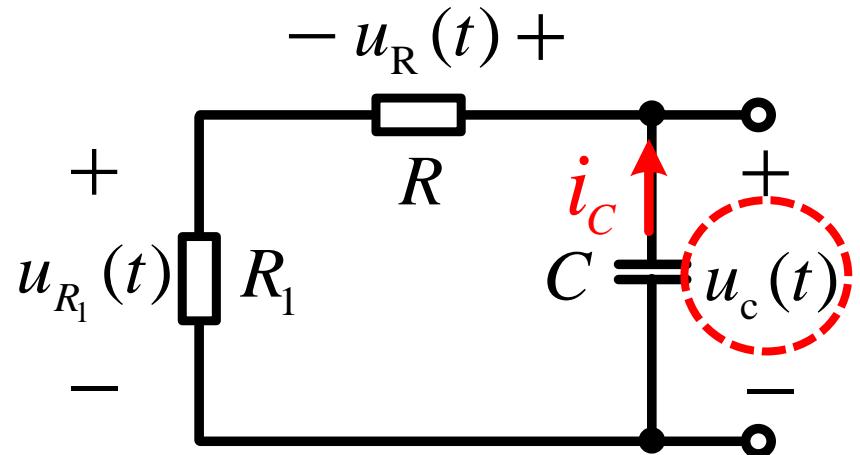
电容电压  $u_c(t) = 0.632U_P$ ，

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。



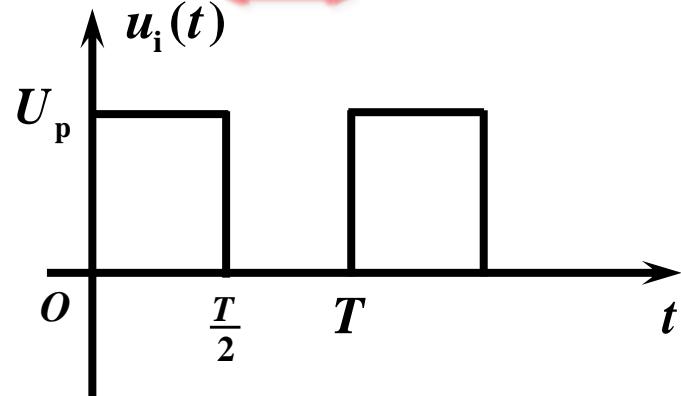
## 实验原理—零输入响应

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

$$u_c\left(\frac{T}{2}\right) = U_p$$



零状态响应的微分方程为：

$$\begin{cases} (R_1 + R)C \frac{du_c(t)}{dt} + u_c(t) = 0 \\ u_c\left(\frac{T}{2}\right) = U_p \end{cases}$$

解得，

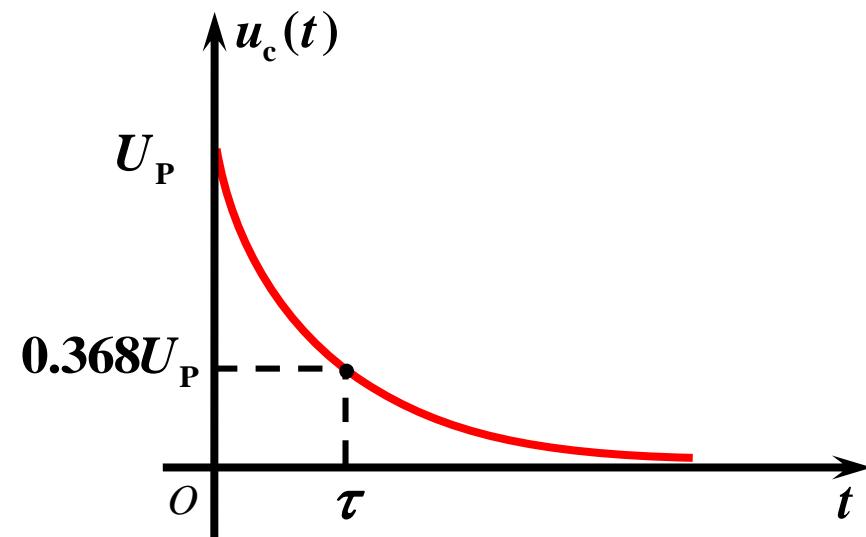
$$u_c(t) = U_p e^{-\frac{t}{(R_1+R)C}}$$



# 实验原理—零输入响应的波形

## ■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  $\tau = (R+R_1)C$ 。**



## 实验原理—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， $\tau = RC$

即：从电容上输出电压  $u_C(t)$  为输入电压  $P(t)$  的积分除以  $\tau$ 。

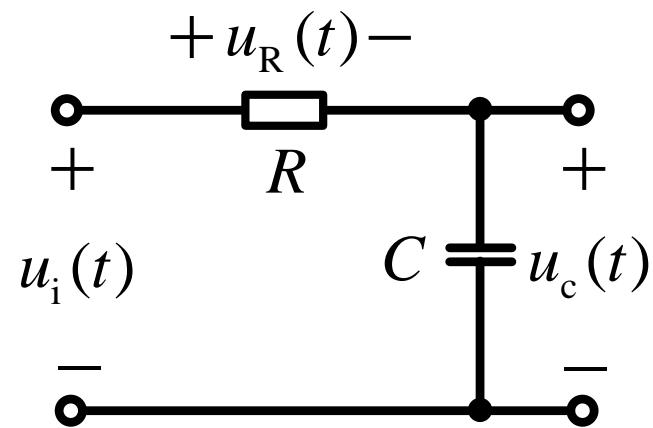


图 (a)

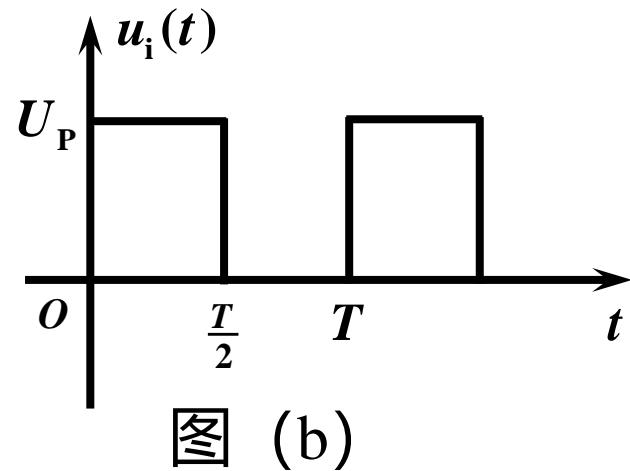
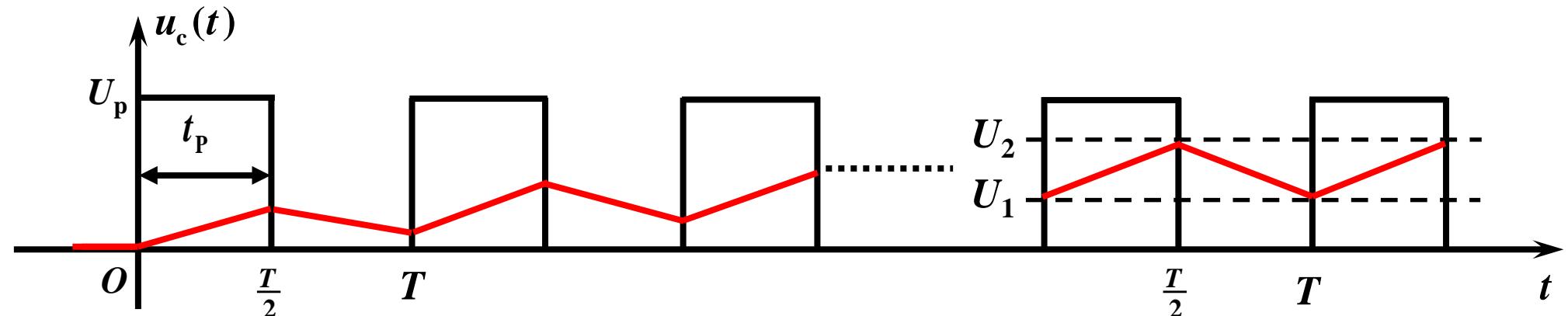


图 (b)



# 实验原理—*RC* 积分电路

## ■ *RC* 积分电路的波形图



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

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

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

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



## 实验原理—RC 微分电路

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  $t_p \gg \tau = RC$  时，则有，

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

$$\begin{aligned} u_R(t) &= R \cdot i_c \approx RC \frac{du_c(t)}{dt} \\ &= RC \frac{d}{dt} P(t) = \tau \frac{d}{dt} P(t) \end{aligned}$$

式中， $\tau = RC$

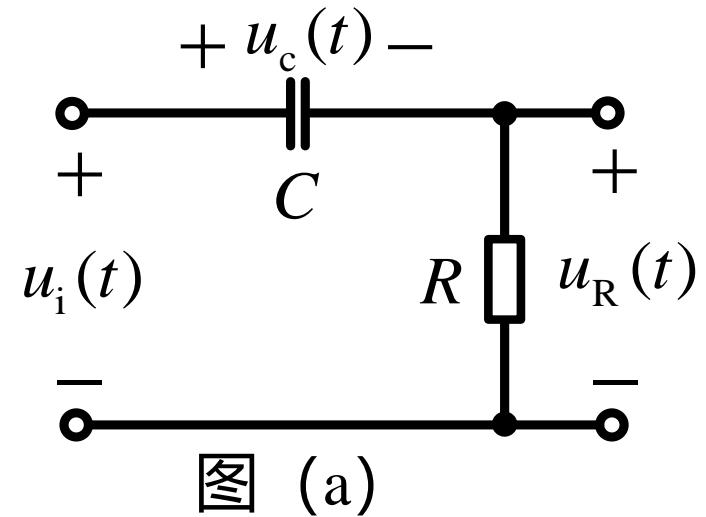


图 (a)

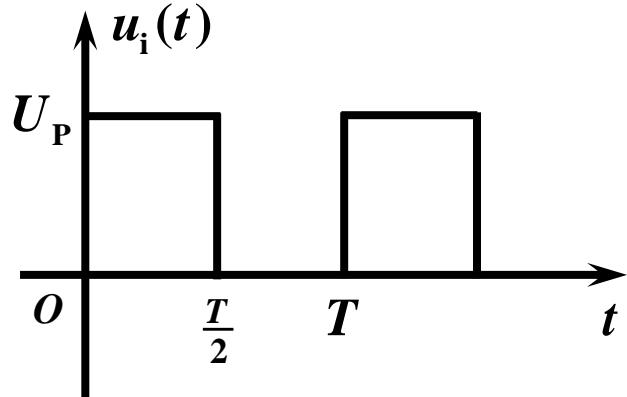


图 (b)

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



# 实验原理—RC 微分电路

## RC微分电路的波形图

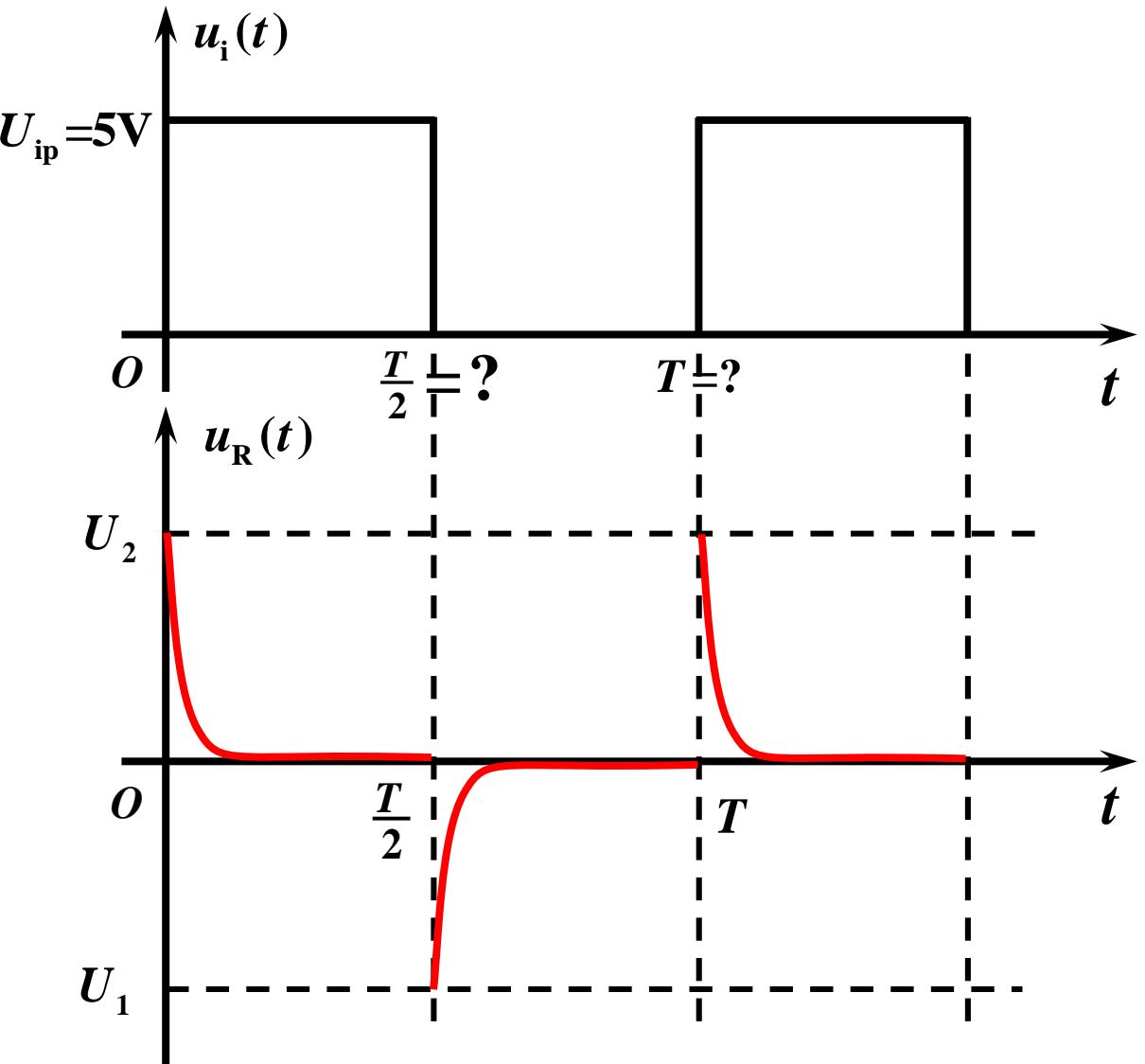
KVL方程:  $u_i(t) = u_c(t) + u_R(t)$

当  $0 \leq t \leq \frac{T}{2}$  内, 有,

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

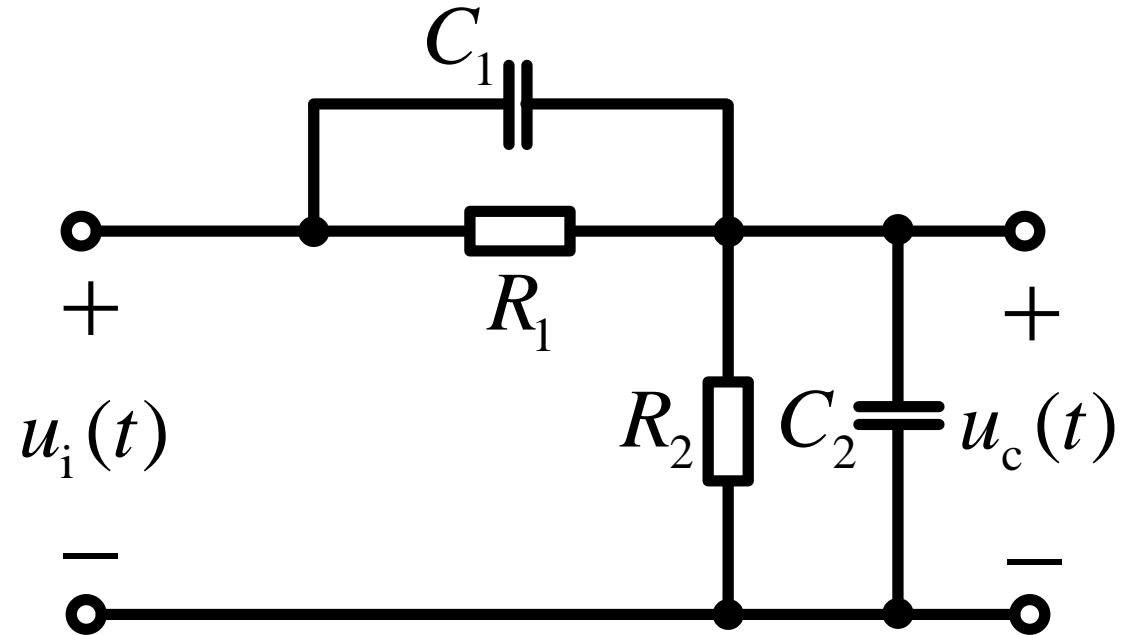
当  $\frac{T}{2} \leq t \leq T$  内, 有,

$$\begin{aligned} u_R(t) &= -\frac{R}{R_1 + R} u_c(t) \\ &= -\frac{R}{R_1 + R} U_p e^{-\frac{(t-t_p)}{(R_1+R)C}} \end{aligned}$$





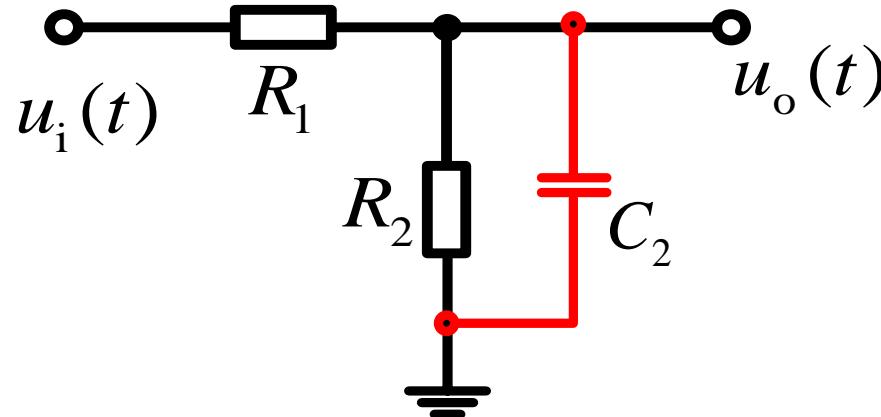
## 实验原理— $RC$ 脉冲分压电路



脉冲分压电路实验电路图



## 实验原理— $RC$ 脉冲分压电路



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。

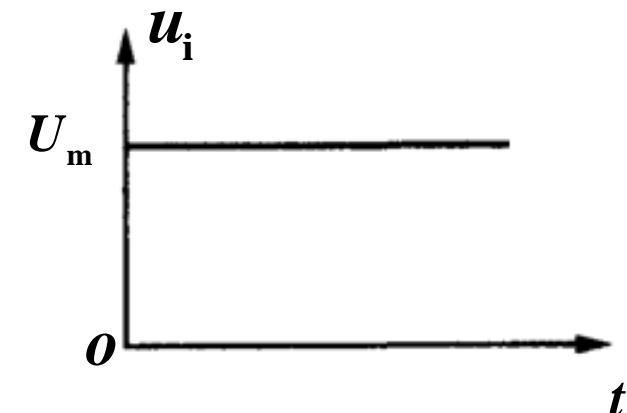


图 (a) 输入波形

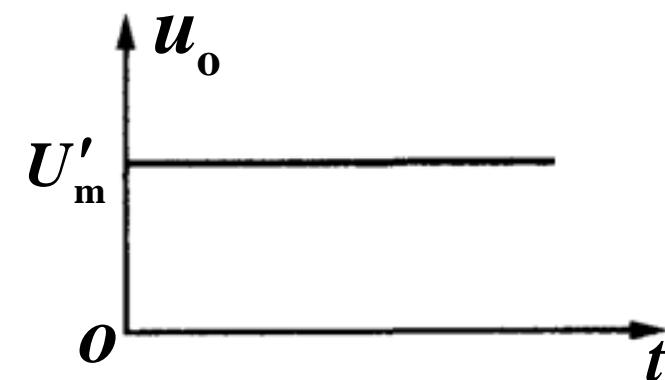
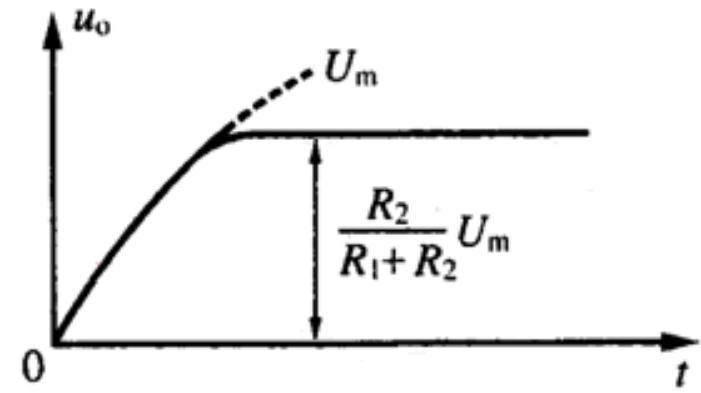
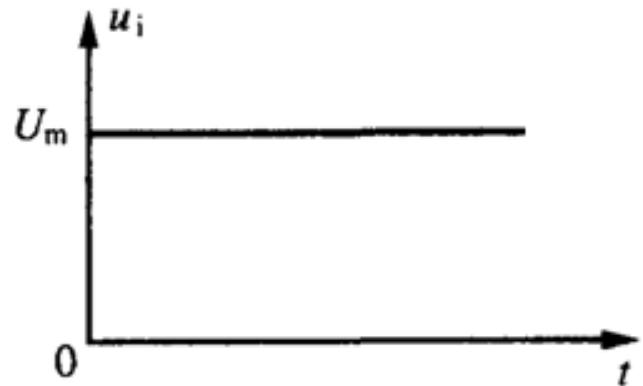


图 (b) 输出波形



## 实验原理— $RC$ 脉冲分压电路

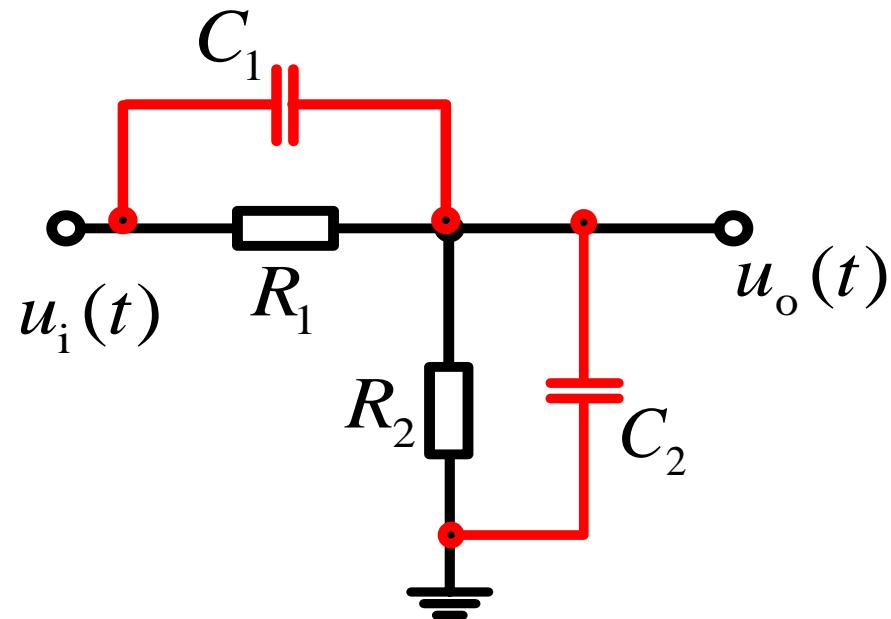
### 电容 $C_2$ 对输出波形的影响



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。



## 实验原理—*RC* 脉冲分压电路



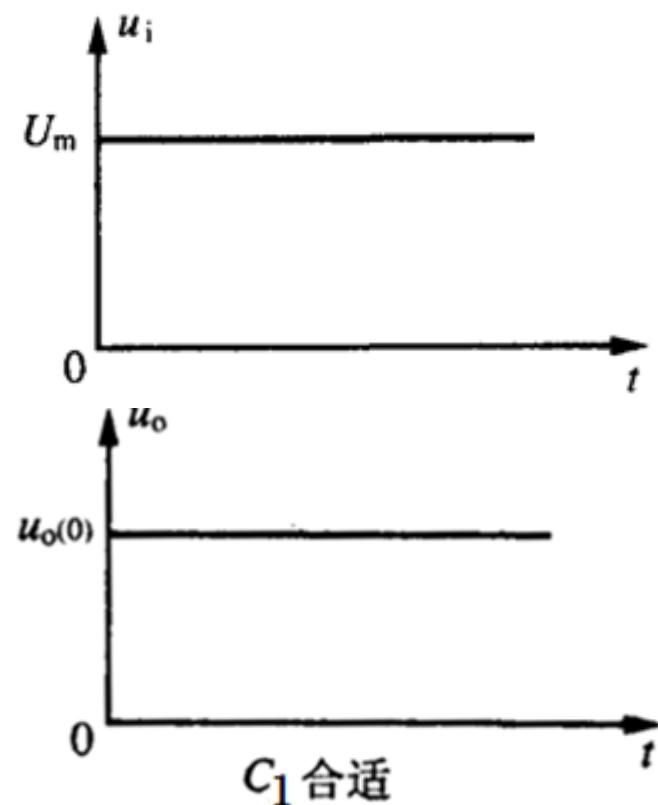
为了克服这一缺点，改善输出波形，使输出电压能紧跟随输入电压一起上跳变。所采取的措施是在电阻 $R_1$ 上并联一个电容 $C_1$ ，构成上图所示的电路。

此电路称为*RC*分压电路，亦称脉冲分压电路。



## 实验原理— $RC$ 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。



## 实验原理—*RC* 脉冲分压电路

### ◆三要素法求解脉冲分压电路

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

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

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

◆当  $u_{C1}(0_-) = u_{C2}(0_-) = 0$  时，则

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

◆稳态时，两电容均可看作开路，则

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

◆输出电压为

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



## 实验原理—*RC* 脉冲分压电路

- ◆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

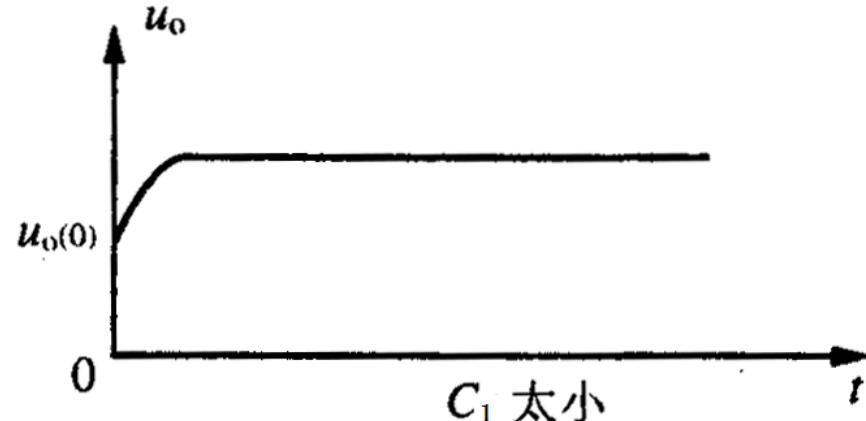


## 实验原理—RC脉冲分压电路

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。

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

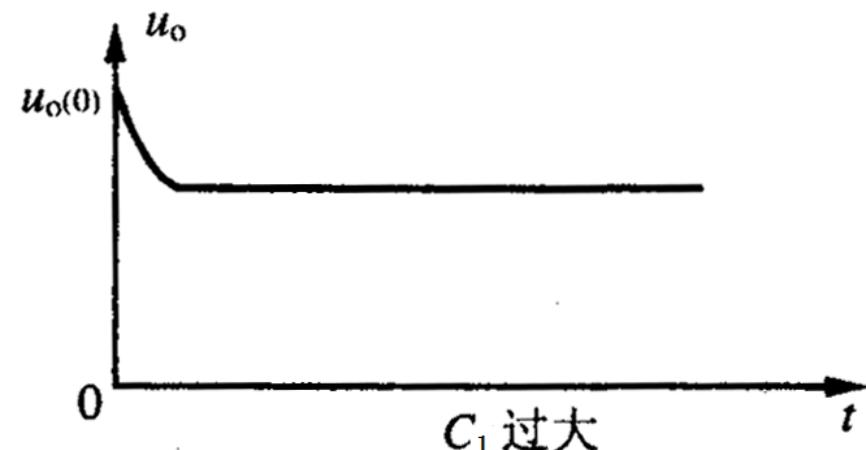
$C_2R_2 > C_1R_1$  欠补偿



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





中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

# 实验内容、步骤及注意事项

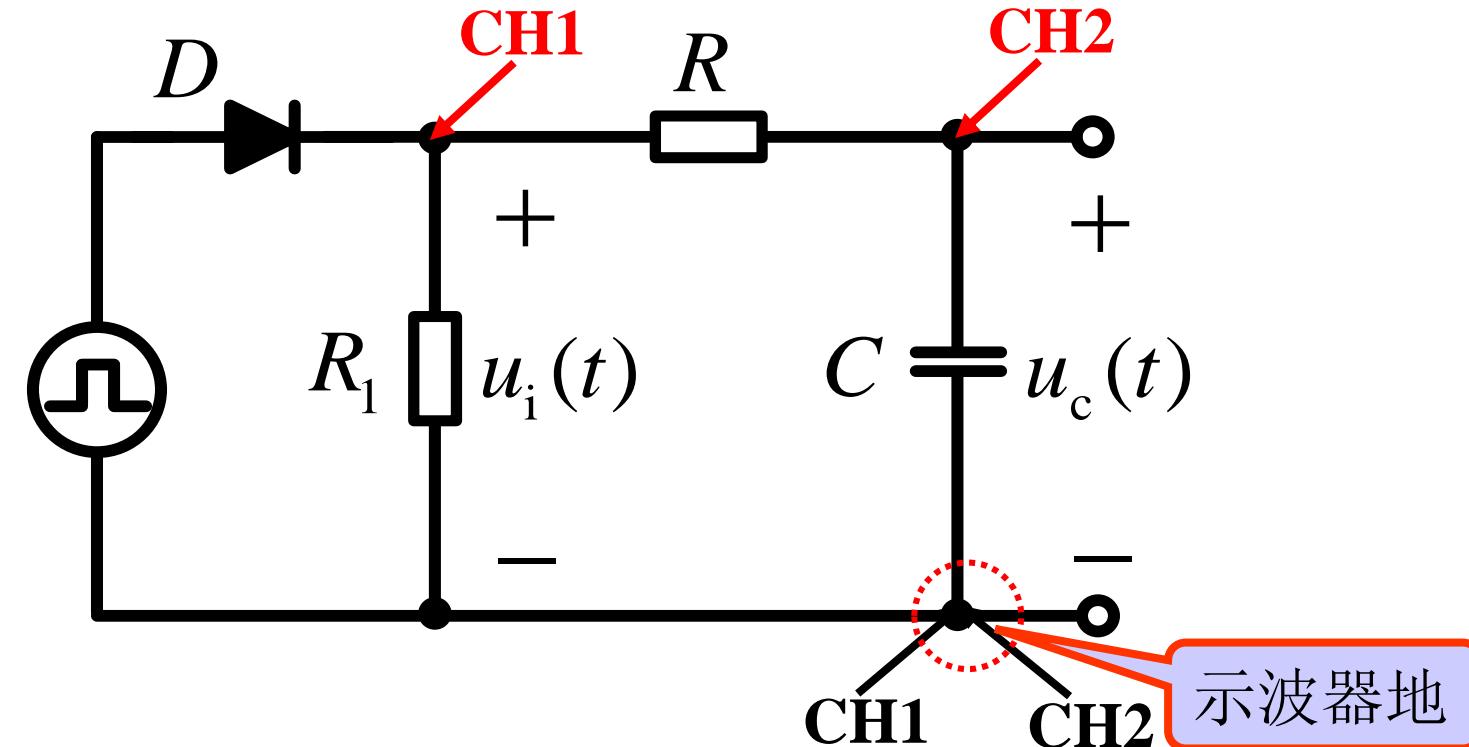


# 实验内容—零状态和零输入响应

## ■零状态和零输入响应的实验电路图



信号源方波输出：  
频率  $f = 500\text{Hz}$

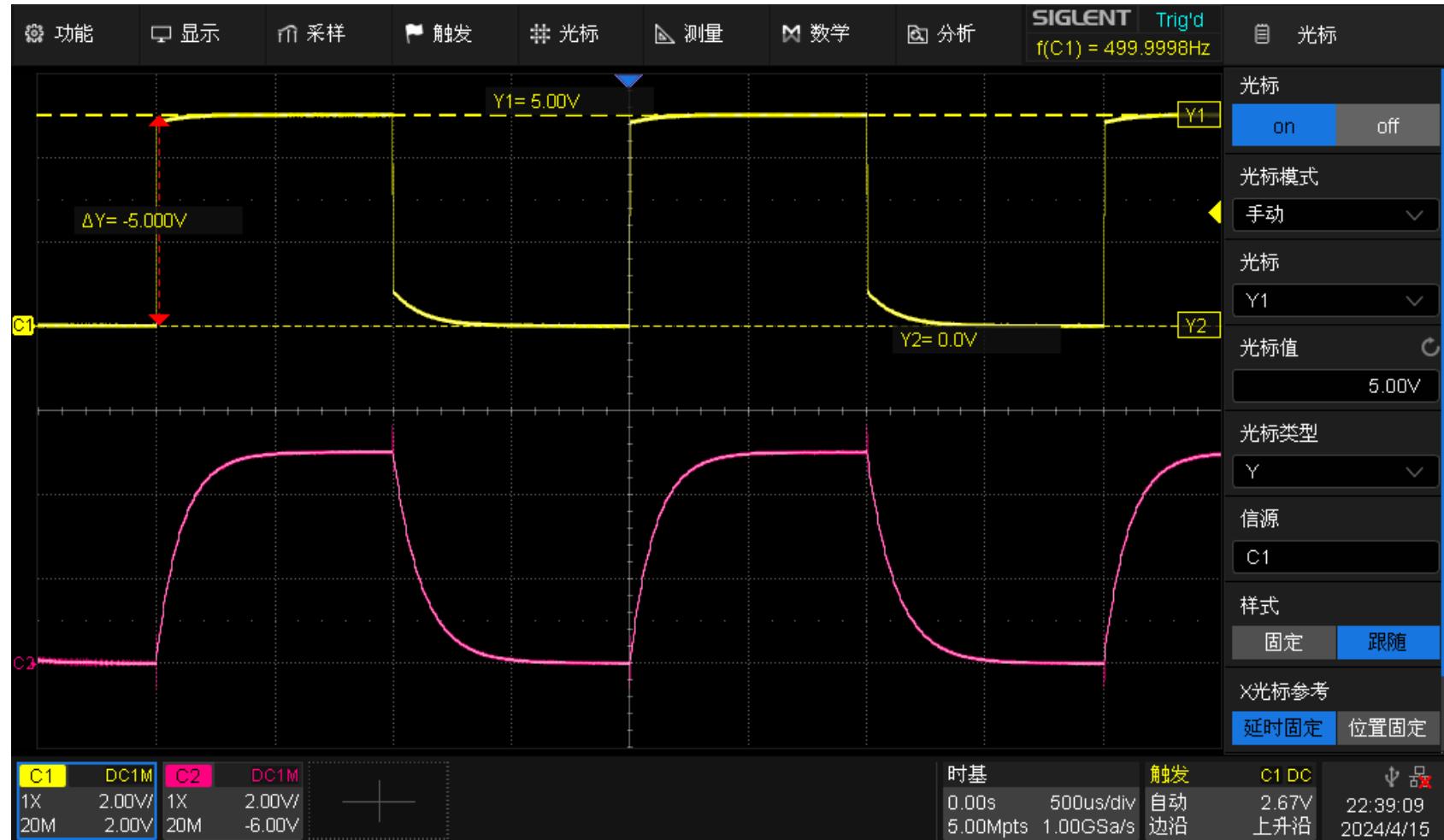


$$R_1 = 200\Omega, R = 1k\Omega, C = 0.1\mu\text{F}$$



# 实验内容—零状态和零输入响应

## ■ 零状态和零输入响应的波形图





# 实验内容—零状态和零输入响应

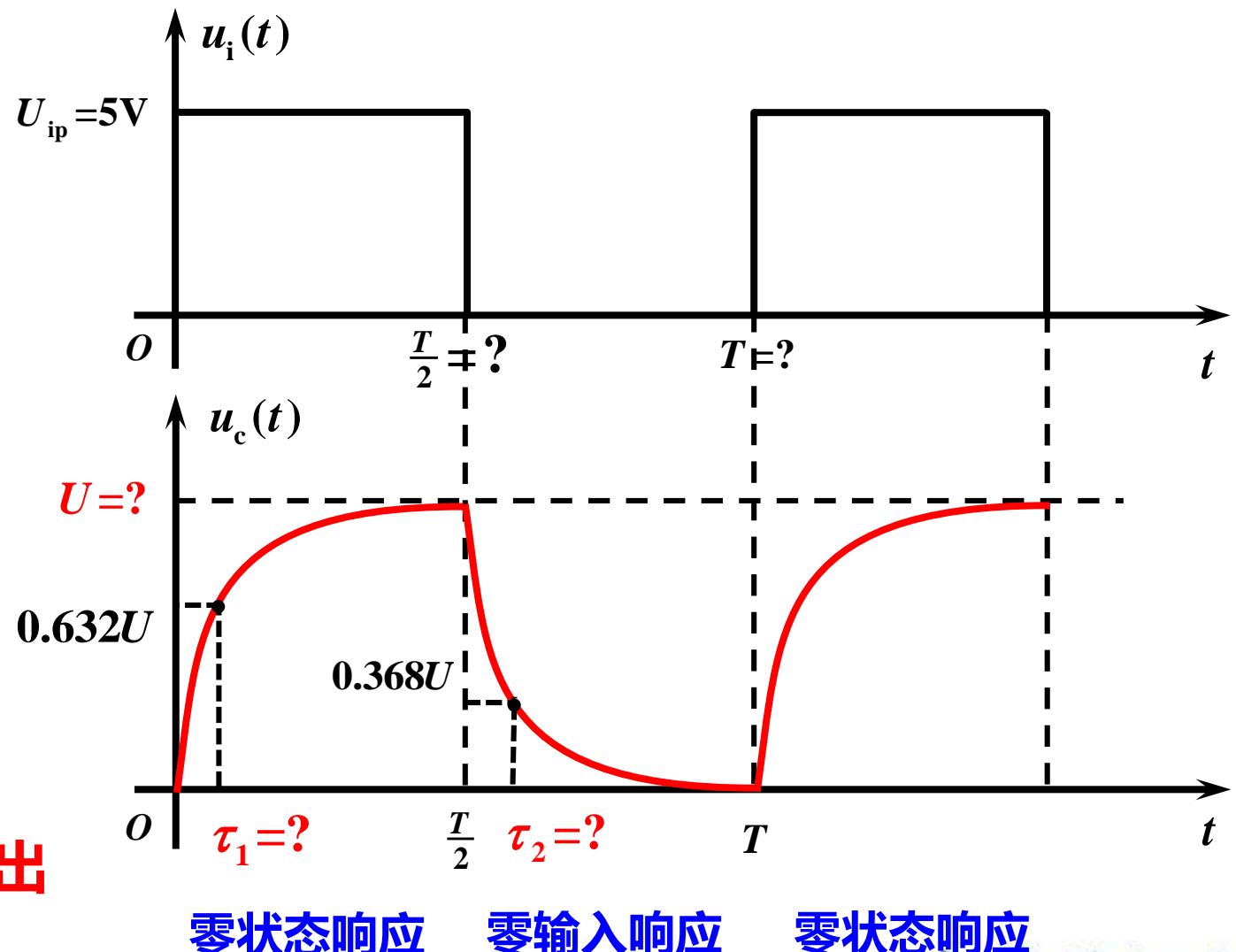
## ■零状态和零输入响应的波形图

### ■电阻 $R_1$ 端的波形

$U_{ip}=5V, f=500Hz$

### ■输出端电容 $C$ 的波形

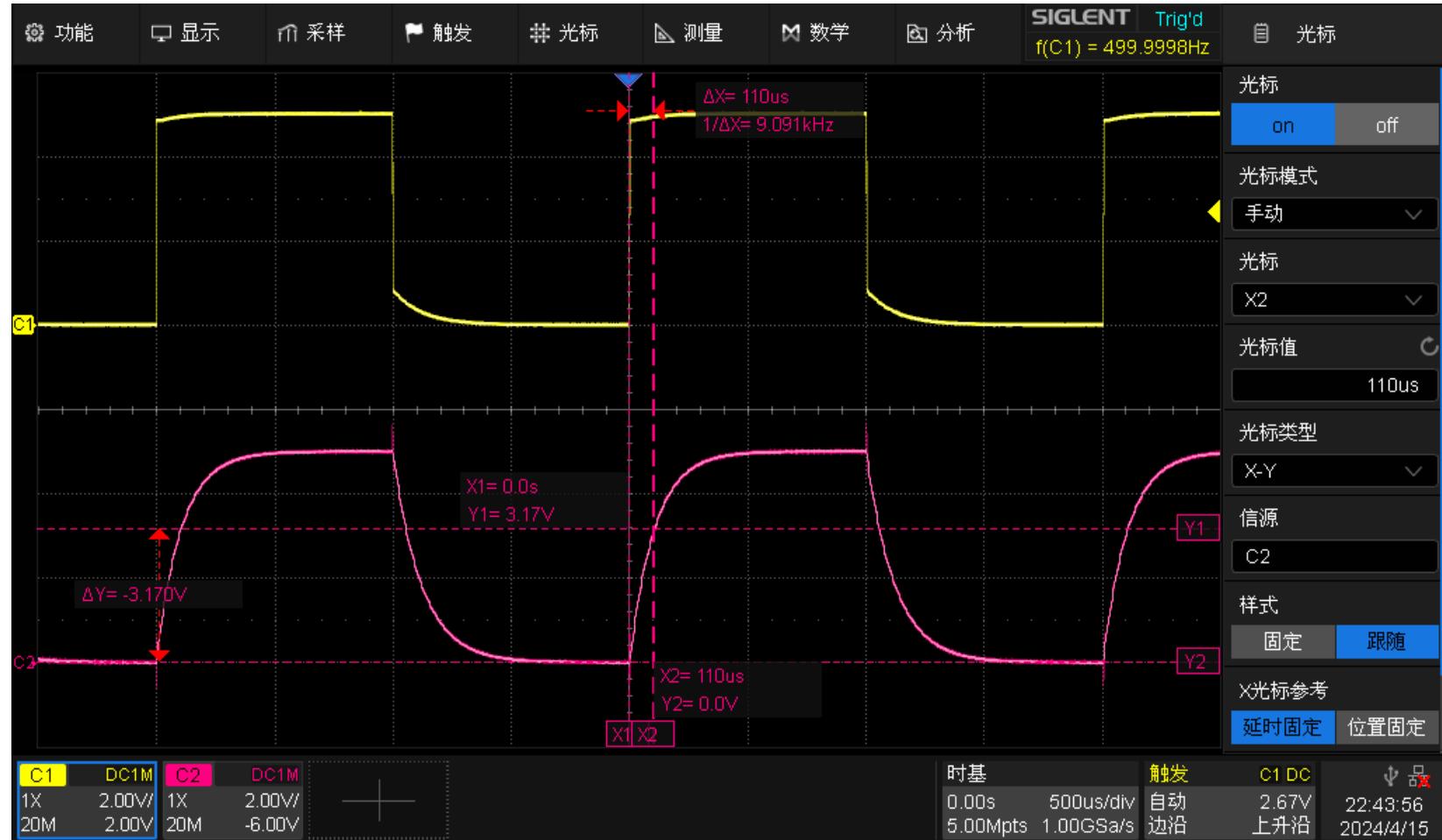
用示波器分别观测并对应画出  
输入 $U_i(t)$ 和输出 $U_o(t)$ 波形。





# 实验内容—零状态和零输入响应

## ■ 零状态和零输入响应的波形图



记录时间常数的 $\tau_1$ 大小

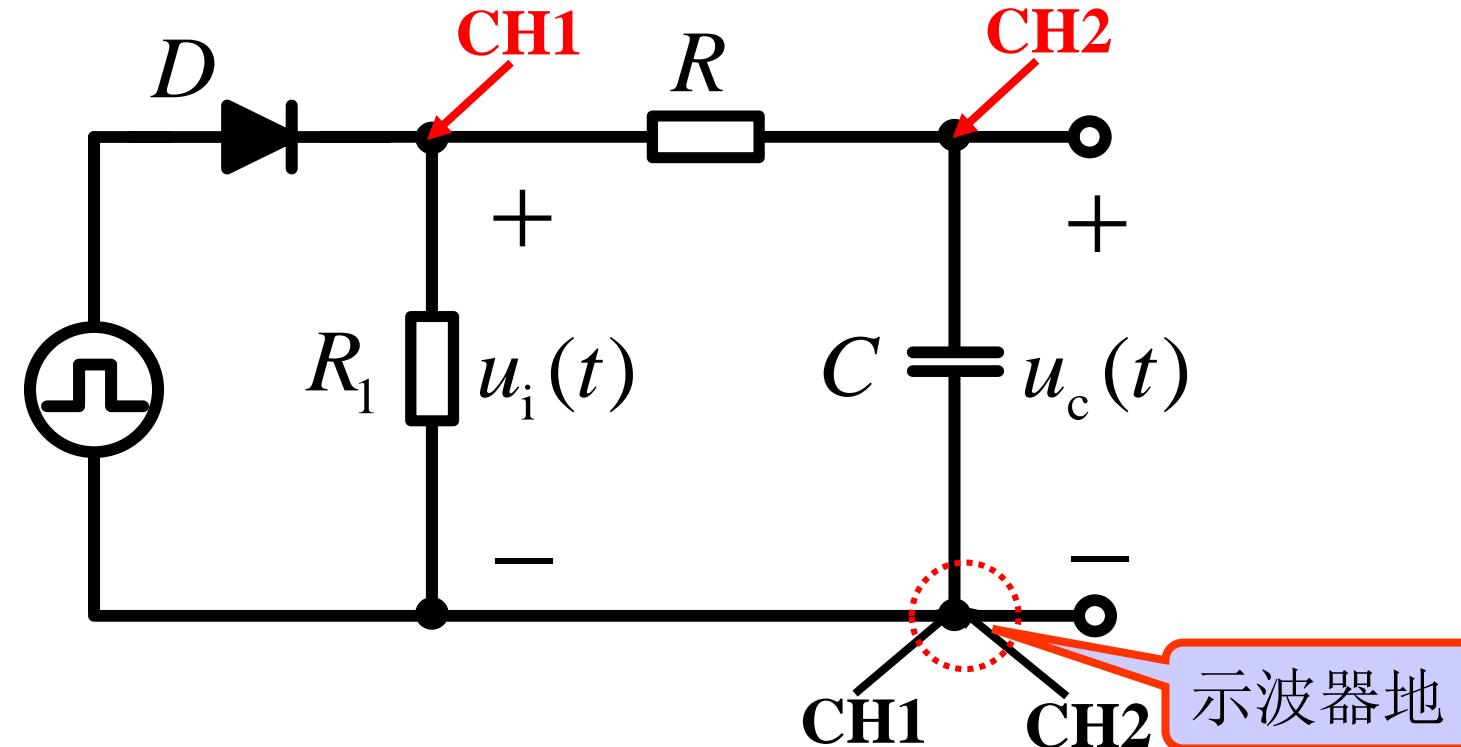


## 实验内容—RC 积分电路

### RC 积分电路实验电路图



信号源方波输出：  
频率  $f=1\text{kHz}$

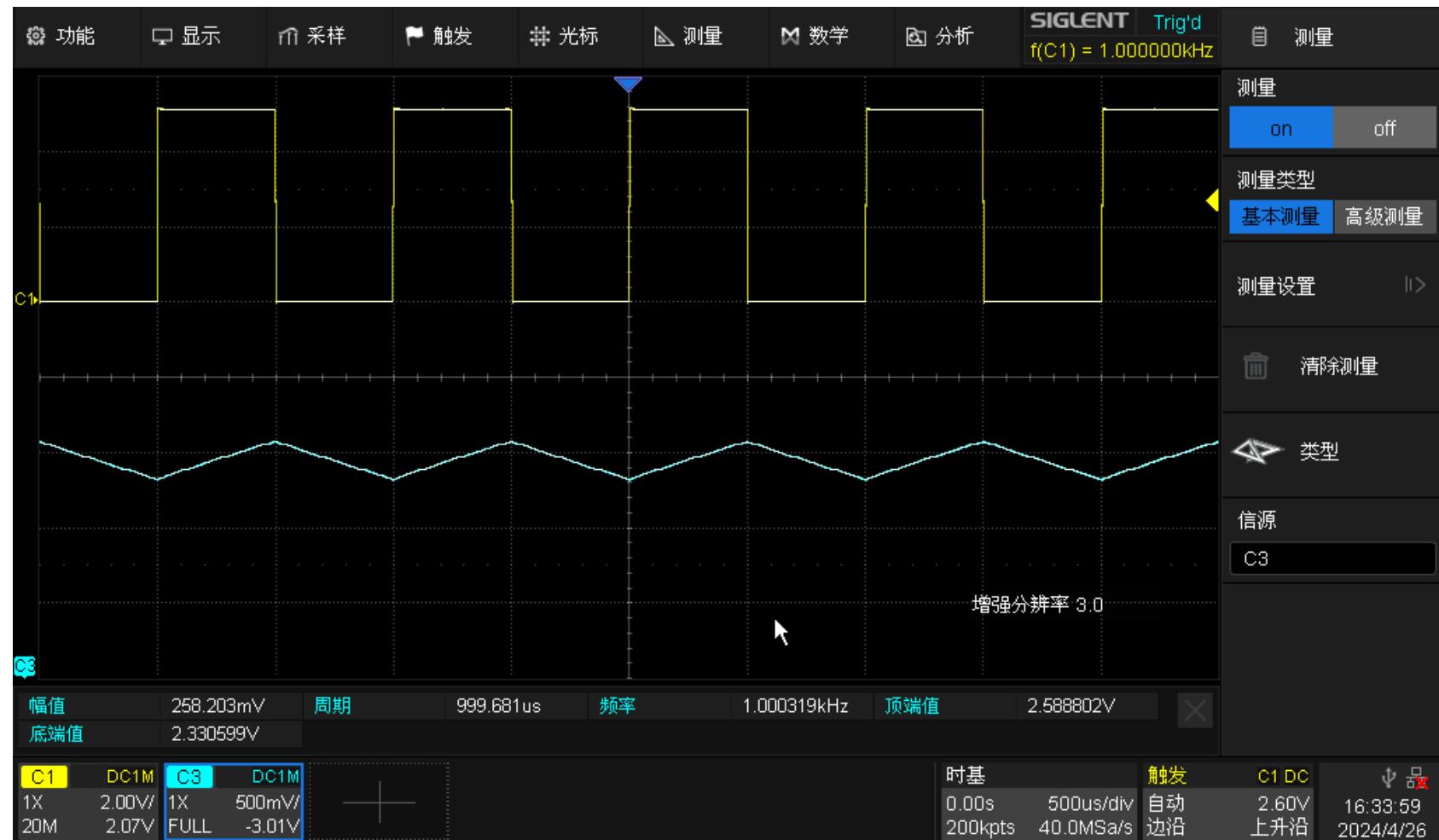


$$R_1 = 200\Omega, \quad R = 5k\Omega, \quad C = 1\mu\text{F}$$



# 实验内容—RC 积分电路

## ■ RC 积分电路的波形图



示波器垂直方向DC耦合方式



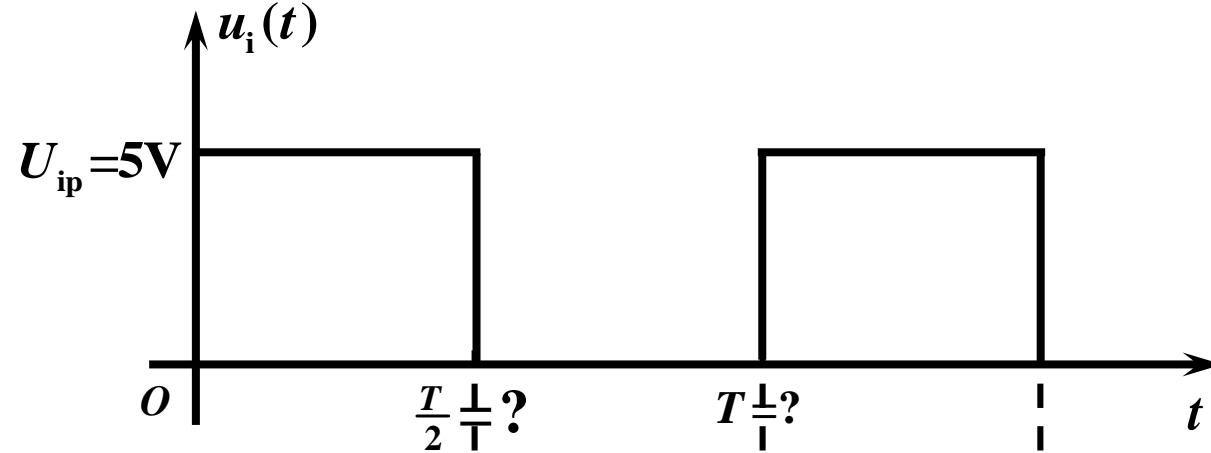
## 实验内容—*RC* 积分电路

BACK

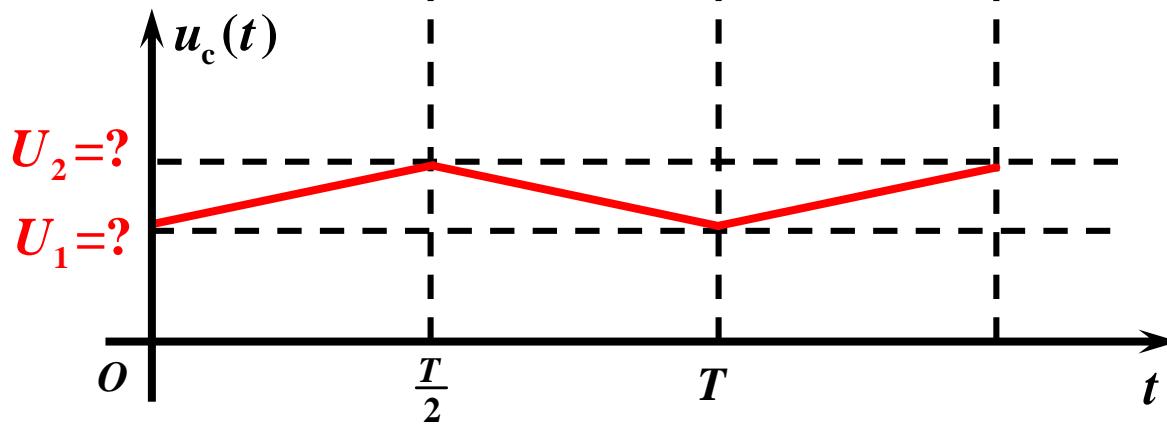
### ■ *RC* 积分电路的波形图

#### ■ 电阻 $R_1$ 端的波形

$$U_{ip} = 5V, f = 1\text{kHz}$$



#### ■ 输出端电容 $C$ 的波形



用示波器分别观测并对应画出  
输入  $U_i(t)$  和输出  $U_o(t)$  波形。

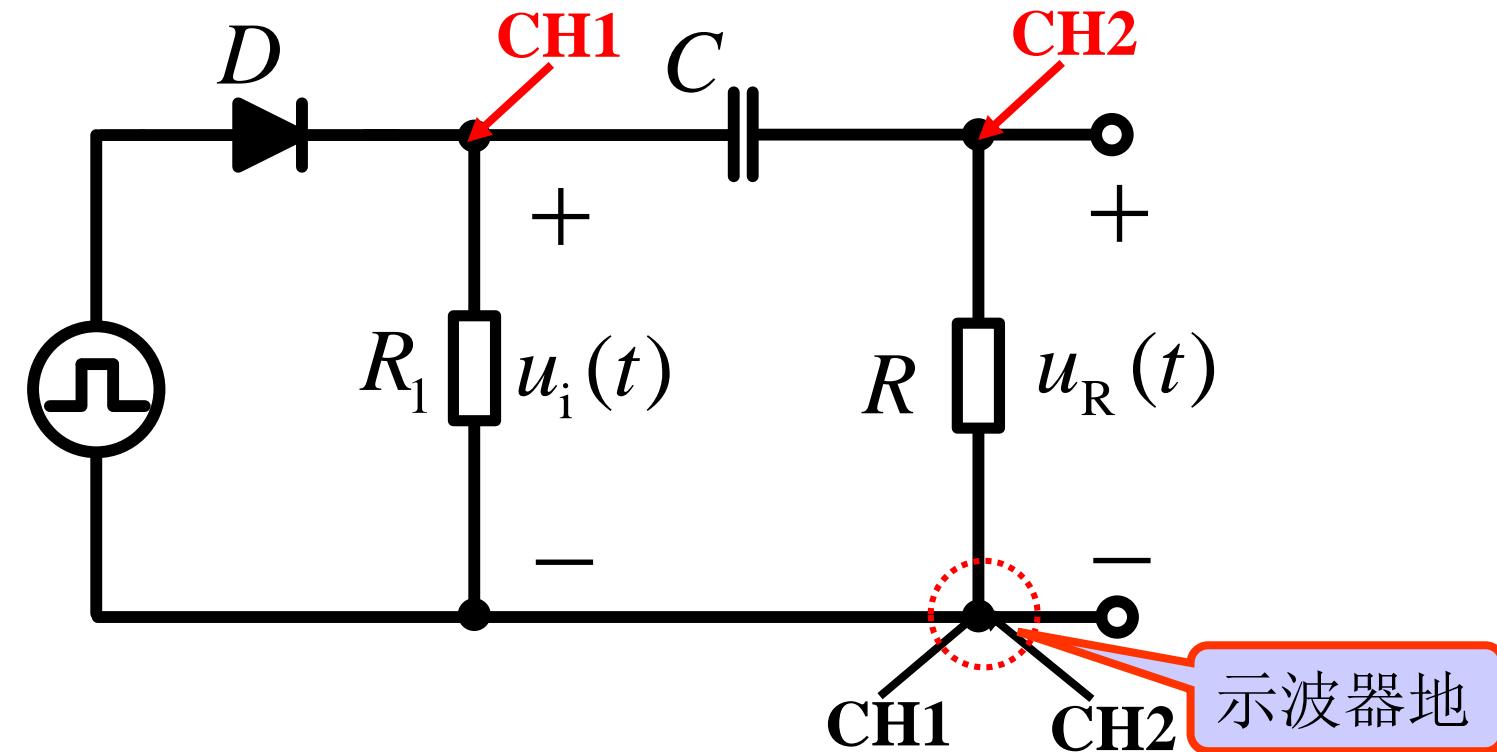


## 实验内容—RC 微分电路

### RC 微分电路实验电路图



信号源方波输出：  
频率  $f=1\text{kHz}$

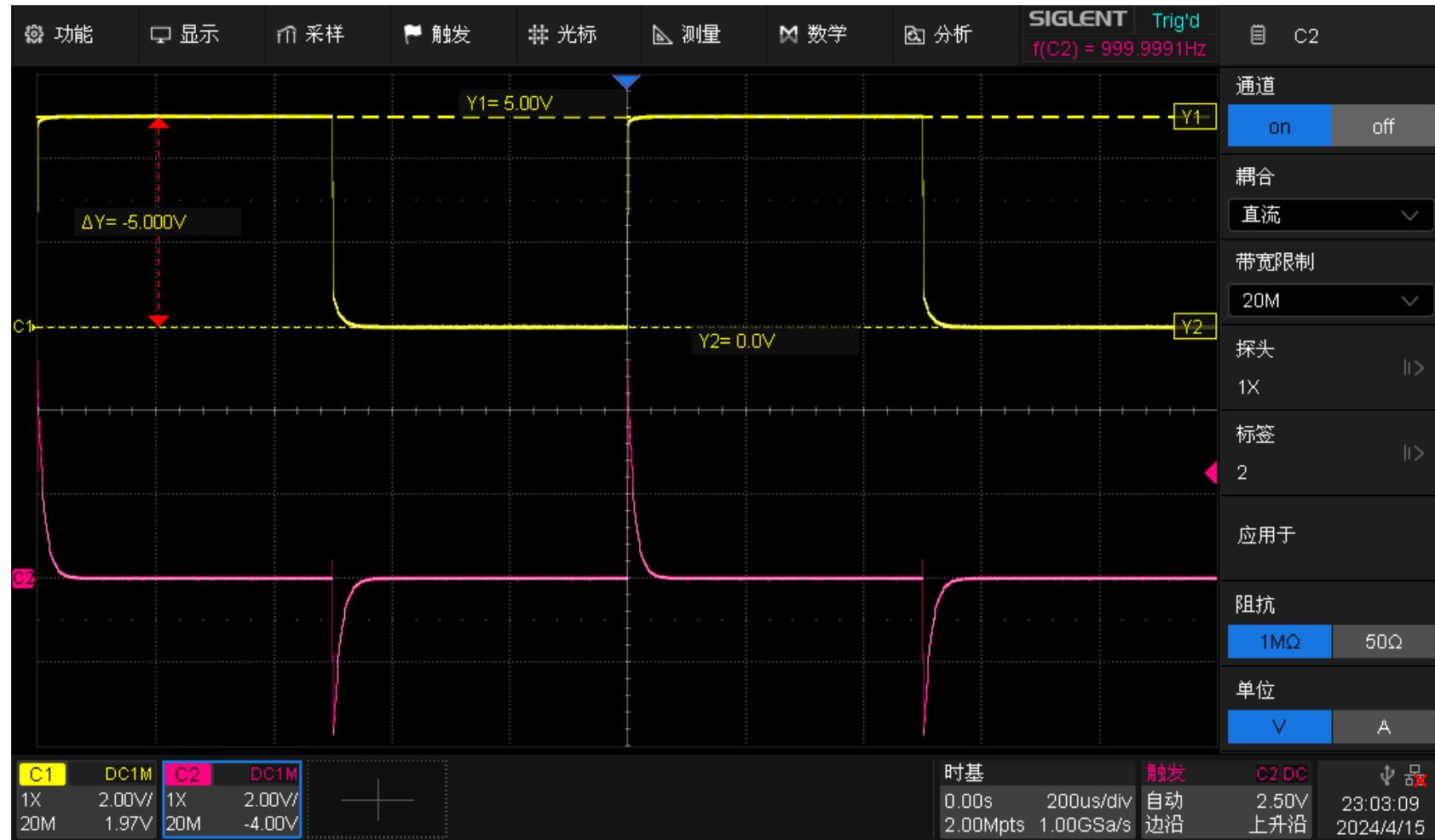


$$R_1 = 200\Omega, R = 1k\Omega, C = 0.05\mu\text{F}$$



# 实验内容—RC 微分电路

## RC 微分电路波形图



示波器垂直方向DC耦合方式



## 实验内容—RC 微分电路

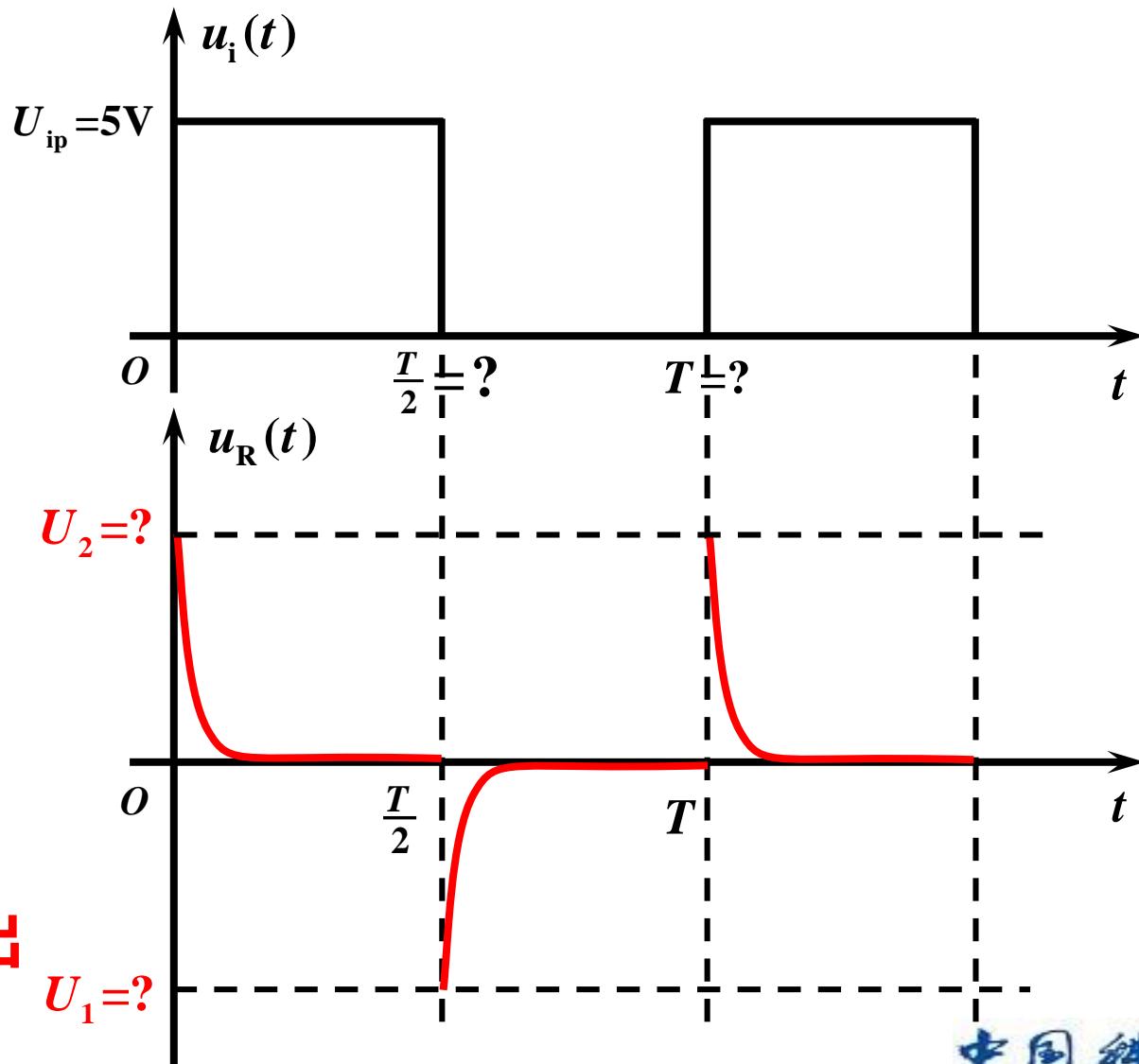
BACK

### ■ RC 微分电路波形图

#### ■ 电阻 $R_1$ 端的波形

$$U_{ip} = 5V, f = 1kHz$$

#### ■ 输出端电阻 $R$ 的波形



用示波器分别观测并对应画出  
输入  $U_i(t)$  和输出  $U_o(t)$  波形。

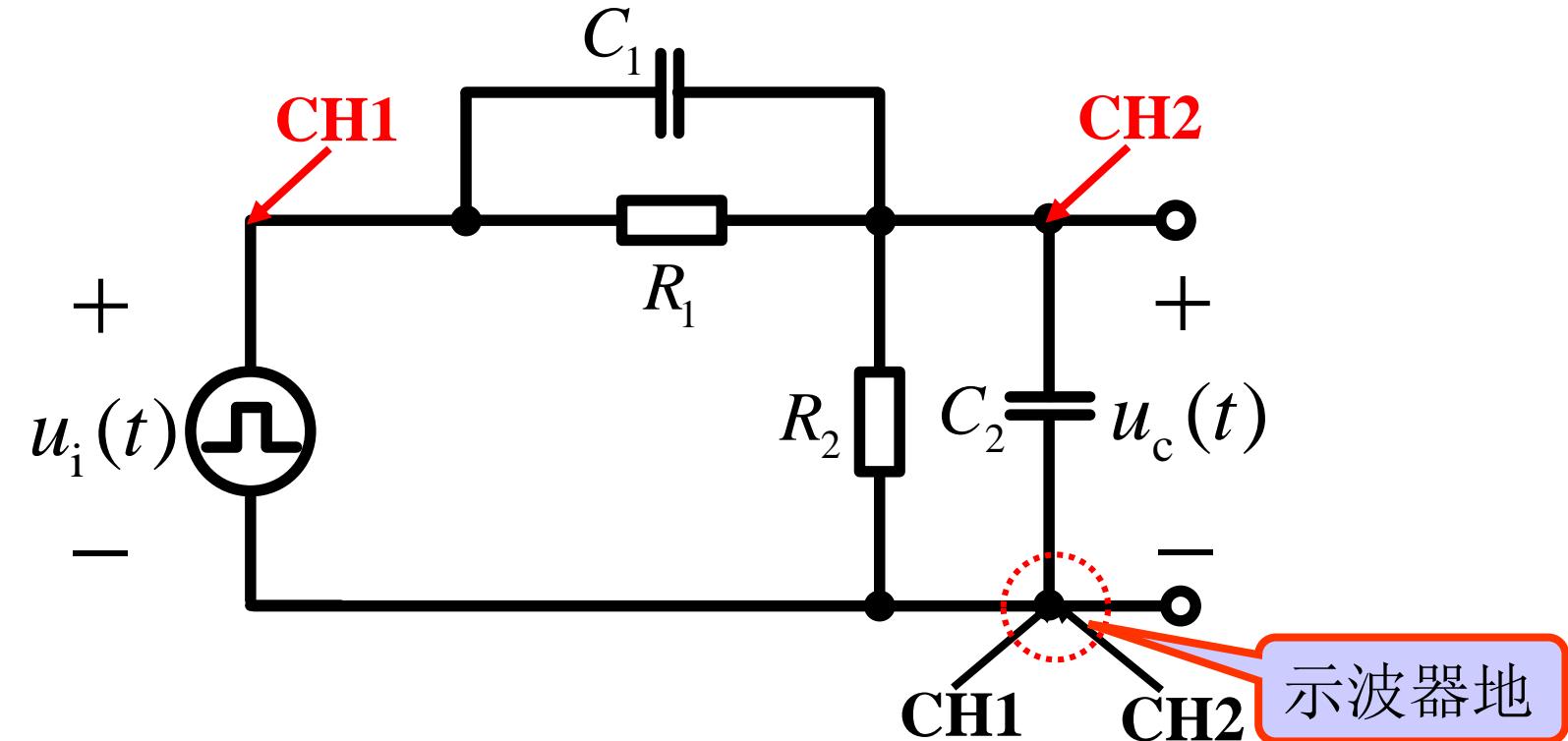


# 实验内容—RC 脉冲分压电路

## RC 脉冲分压电路实验图



信号源方波输出：  
频率  $f=1\text{kHz}$   
幅值  $U_{\text{ip-p}}=6\text{V}$



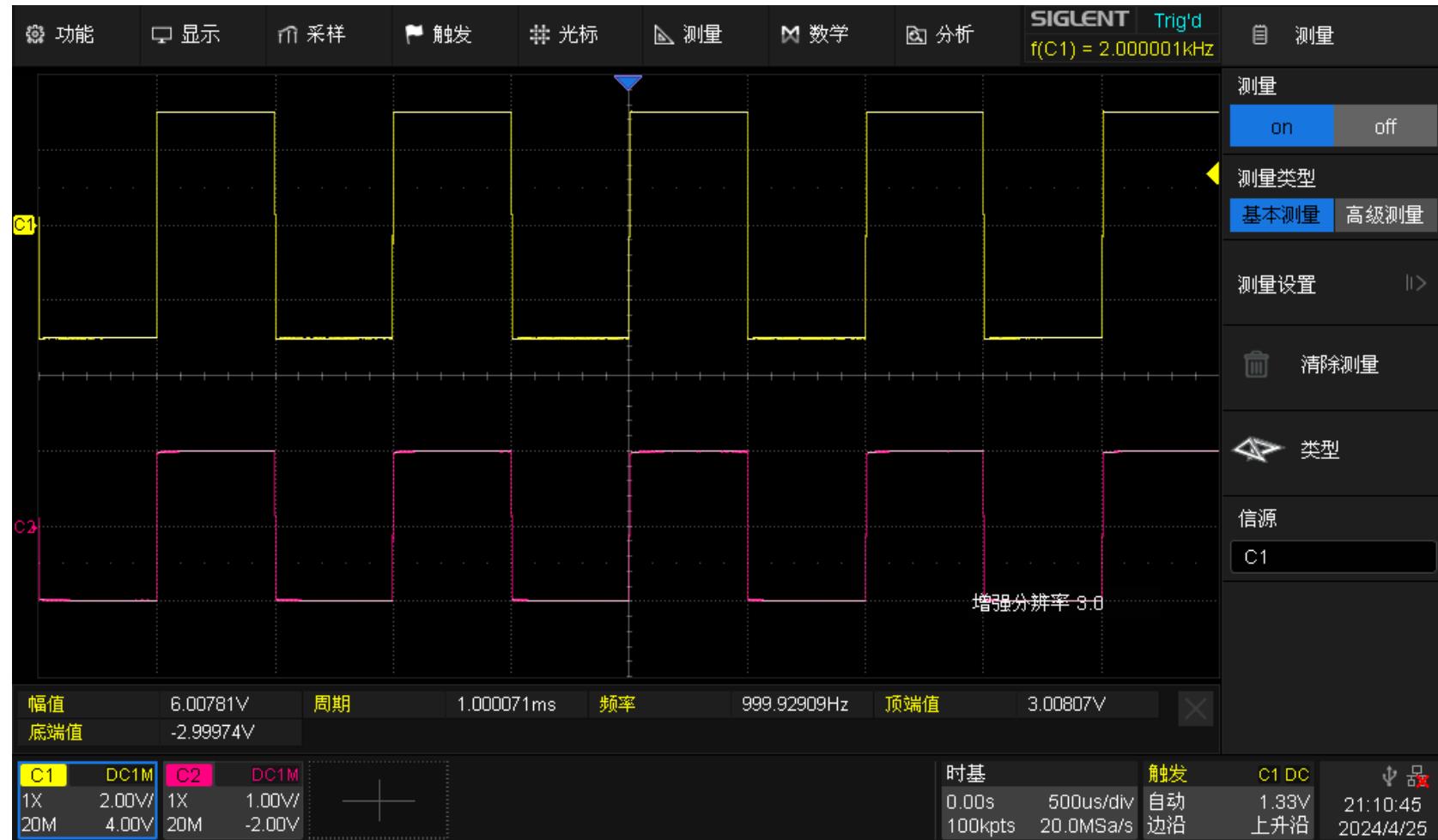
$$R_1=20\text{K}\Omega, \quad C_1=0.005\mu\text{F}$$

$$R_2=10\text{K}\Omega, \quad C_2=0.01\mu\text{F}$$



# 实验内容—RC 脉冲分压电路

## RC 脉冲分压电路波形图



示波器垂直方向DC耦合方式



# 实验内容—*RC* 脉冲分压电路

## ■ *RC* 脉冲分压电路波形图

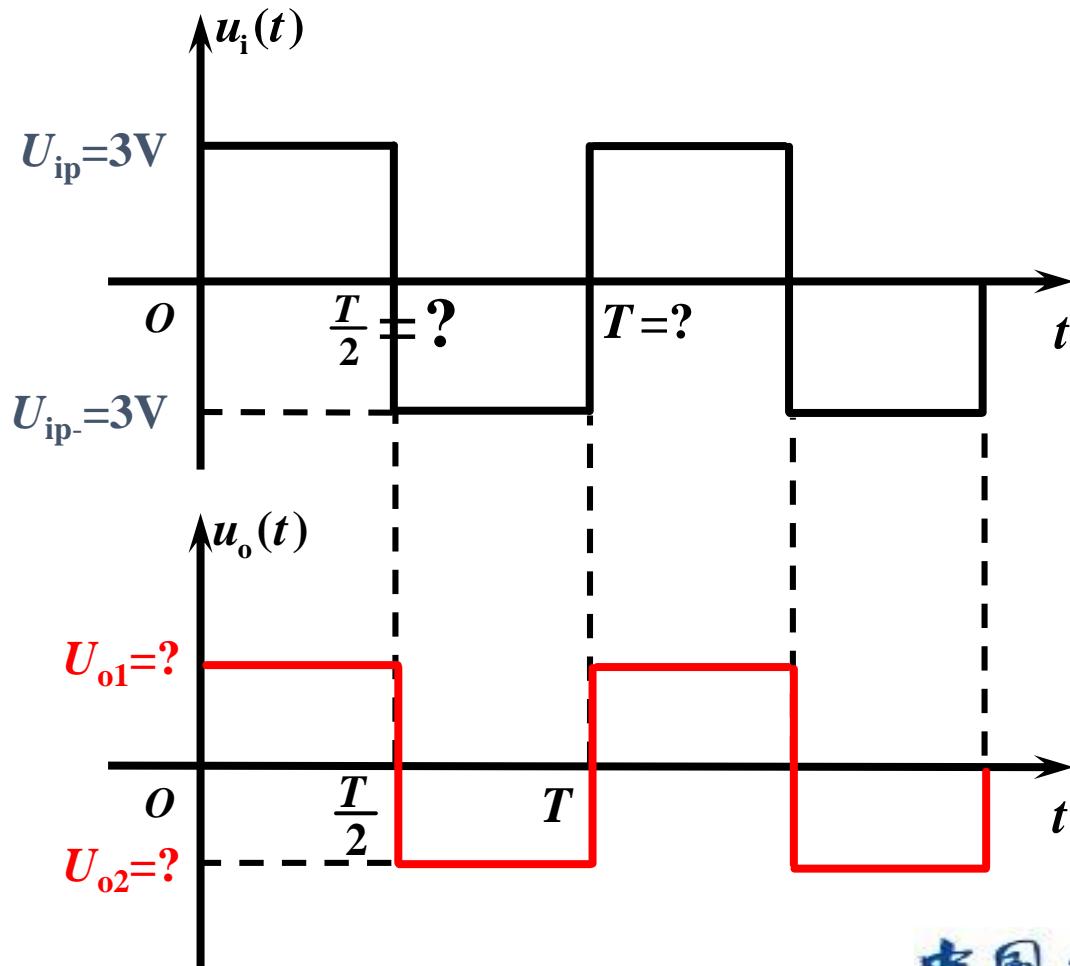
■ 完全补偿:  $R_1=20\text{K}\Omega$ ,  $C_1=0.005\mu\text{F}$ ,  $R_2=10\text{K}\Omega$ ,  $C_2=0.01\mu\text{F}$

### ■ 输入端的波形

$$U_{\text{ip-p}}=6\text{V}, f=1\text{kHz}$$

### ■ 输出端电阻 $R_2$ 的波形

用示波器分别观测并对应画出  
输入  $U_i(t)$  和输出  $U_o(t)$  波形。





## 实验内容—*RC* 脉冲分压电路

### ■ *RC* 脉冲分压电路波形图

#### ■ 欠补偿: (画示意图) (不做)

$$R_1=20\text{K}\Omega, C_1=0.002\mu\text{F}, R_2=10\text{K}\Omega, C_2=0.01\mu\text{F};$$

#### ■ 过补偿: (画示意图) (不做)

$$R_1=20\text{K}\Omega, C_1=0.02\mu\text{F}, R_2=10\text{K}\Omega, C_2=0.01\mu\text{F};$$

用示波器分别观测并对应画出输入 $U_i(t)$ 和输出 $U_o(t)$ 波形。

# 实验注意事项



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

1. 在做零状态和零输入、积分、微分电路实验时，输入信号选定为方波输出，  
输出幅度是电阻 $R_1$ 两端的电压为规定的值，即为输入电压 $u_i$ 的大小。
2. 本次实验中，示波器垂直方向耦合方式选定为DC。
3. 做脉冲分压器实验时，记得去掉二极管D，信号源输出的方波信号直接加到  
被测电路两端。

# 实验思考题



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

1. 一阶电路零输入和零状态响应电路中，电阻 $R_1$ 在电路中起何作用？
2. 本次实验中，能用毫伏表测量电阻 $R_1$ 两端的矩形波电压么，为什么？
3. 脉冲分压器电路中，有两个贮能元件电容 $C_1$ 和 $C_2$ ，为何是一阶电路？
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？

下次实验112实验室：  
**2组 电路基本定律研**  
**1组 集成运算放大器的应用**