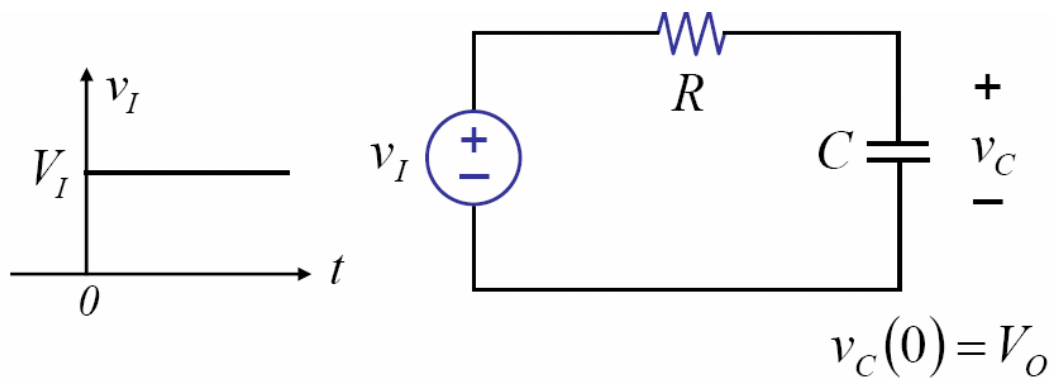


6.002

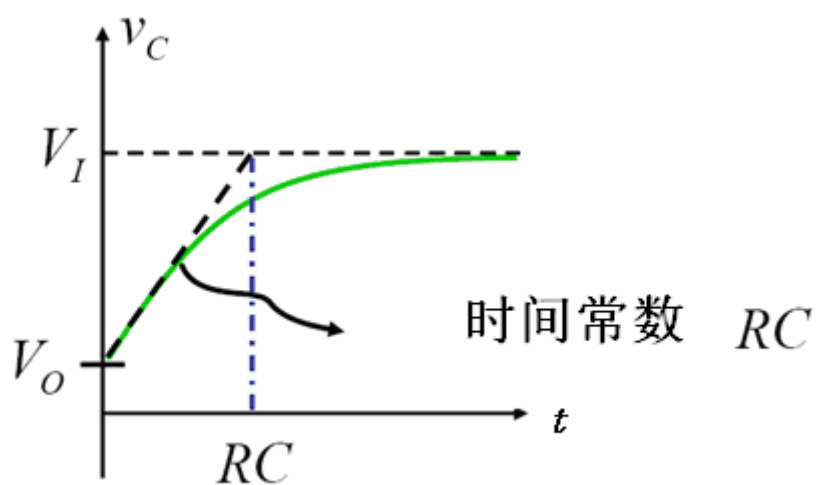
电路与
电子学

数字电路响应速度

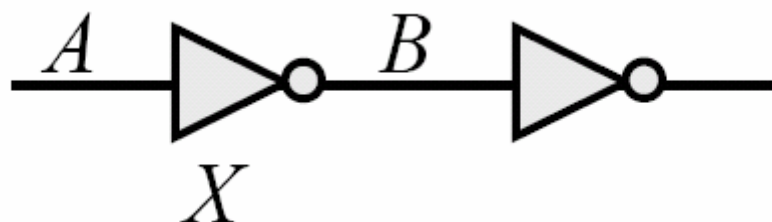
复习



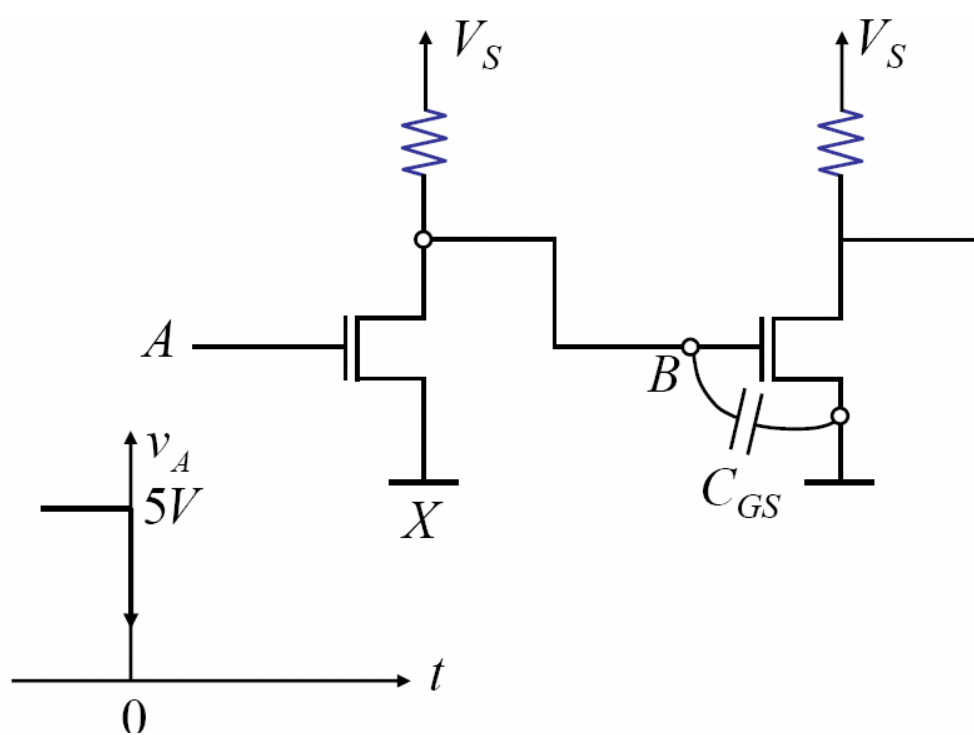
$$v_C = V_I + (V_O - V_I) e^{\frac{-t}{RC}} \quad \text{————— (1)}$$



让我们把结果应用到一个反相器上

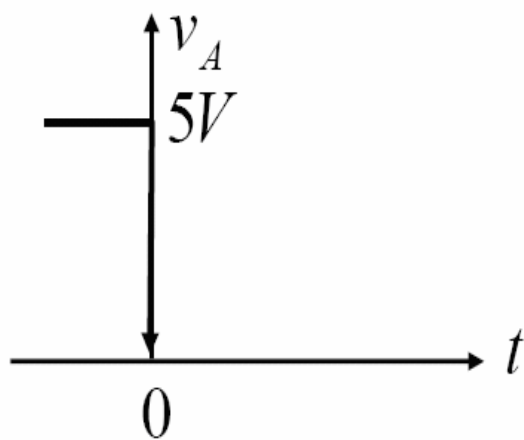
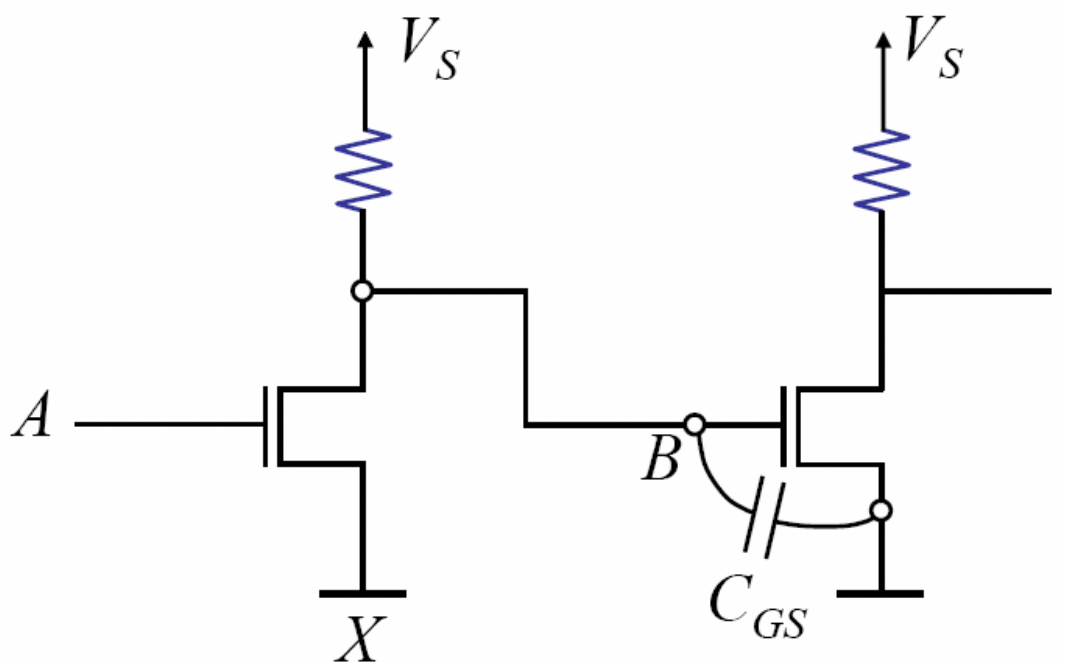


首先，**B**点的上升延迟时间 t_r

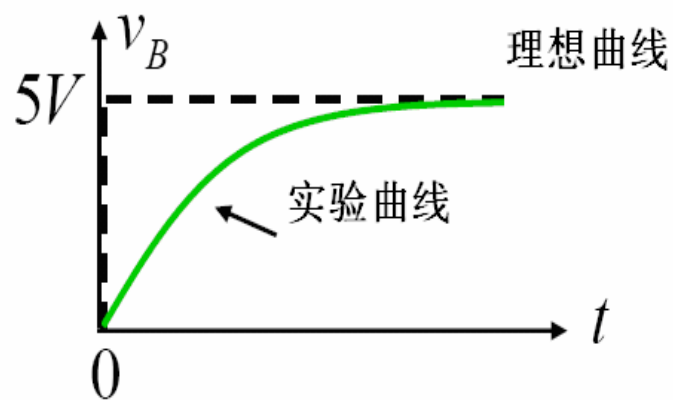


在 A 点电压由高电平 1 变为低电平 0

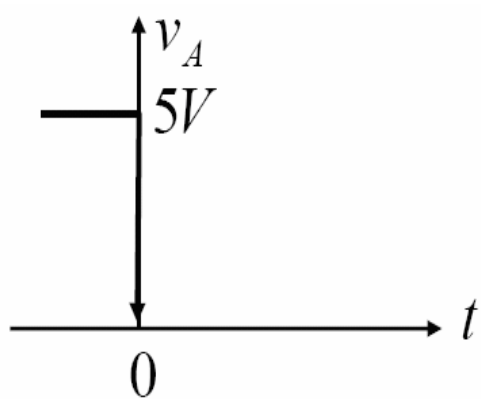
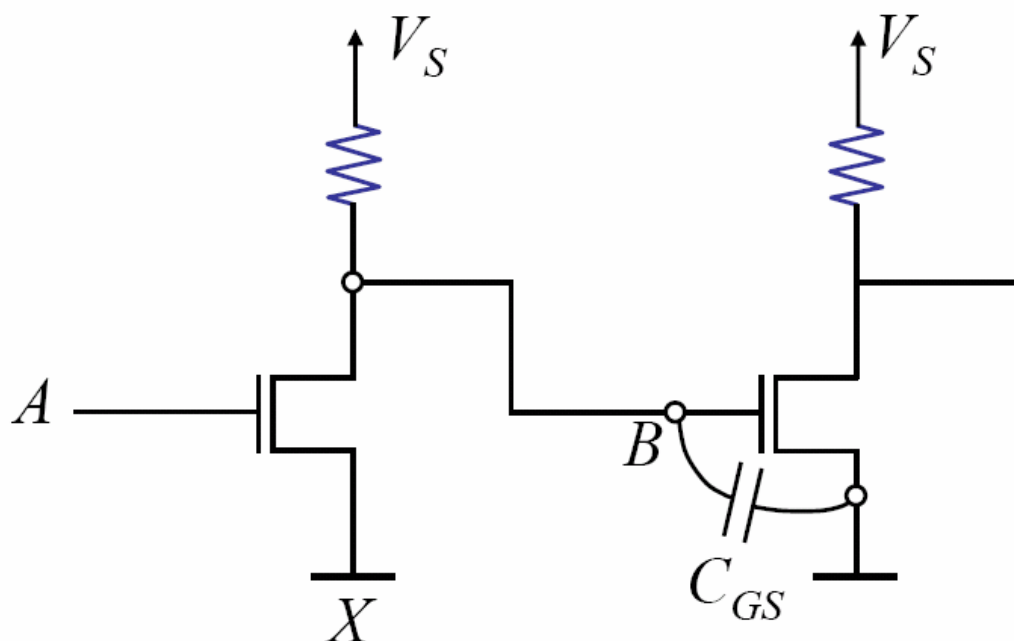
首先，B点的上升延迟时间 t_r



A点的电平与高电平1变成低电平0

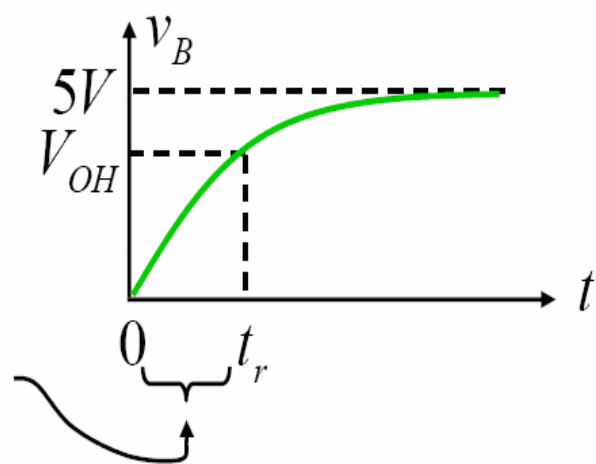


首先，B点的上升延迟时间 t_r

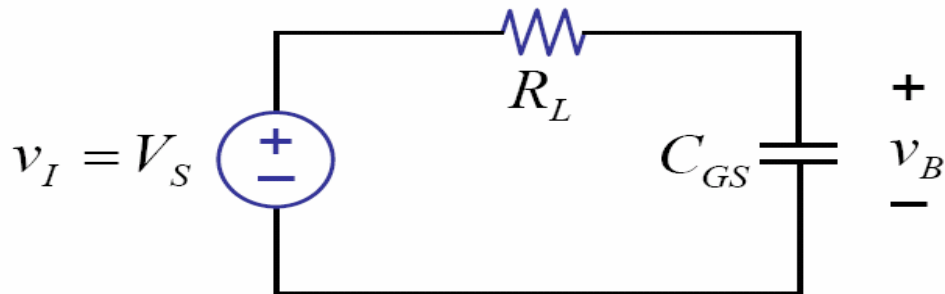


A点电平由高电平1变成低电平0

X点的上升延时



B 点电压由低电平 0 变为高电平 1 的等效电路



$$\begin{aligned} v_I &= V_S \\ v_B(0) &= 0 \quad \text{当 } t \geq 0 \text{ 时} \end{aligned}$$

由 (1) 式可得

$$v_B = V_S + (0 - V_S) e^{\frac{-t}{R_L C_{GS}}}$$

现在，我们需要得到当 $v_B = V_{OH}$ 的时间 t

或者

$$v_{OH} = V_S - V_S e^{\frac{-t}{R_L C_{GS}}}$$

得到 t_r :

$$V_S e^{\frac{-t_r}{R_L C_{GS}}} = V_S - V_{OH}$$

$$\frac{-t_r}{R_L C_{GS}} = \ln \frac{V_S - V_{OH}}{V_S}$$

$$t_r = -R_L C_{GS} \ln \frac{V_S - V_{OH}}{V_S}$$

或者

$$v_{OH} = V_S - V_S e^{\frac{-t}{R_L C_{GS}}}$$

得到 t_r :

$$V_S e^{\frac{-t_r}{R_L C_{GS}}} = V_S - V_{OH}$$

$$\frac{-t_r}{R_L C_{GS}} = \ln \frac{V_S - V_{OH}}{V_S}$$

$$t_r = -R_L C_{GS} \ln \frac{V_S - V_{OH}}{V_S}$$

例如

$$R_L = 1K$$

$$V_S = 5V$$

$$C_{GS} = 0.1 pF$$

$$V_{OH} = 4V$$

$$t_r = -1 \times 10^3 \times 0.1 \times 10^{-12} \ln \frac{5-4}{5}$$

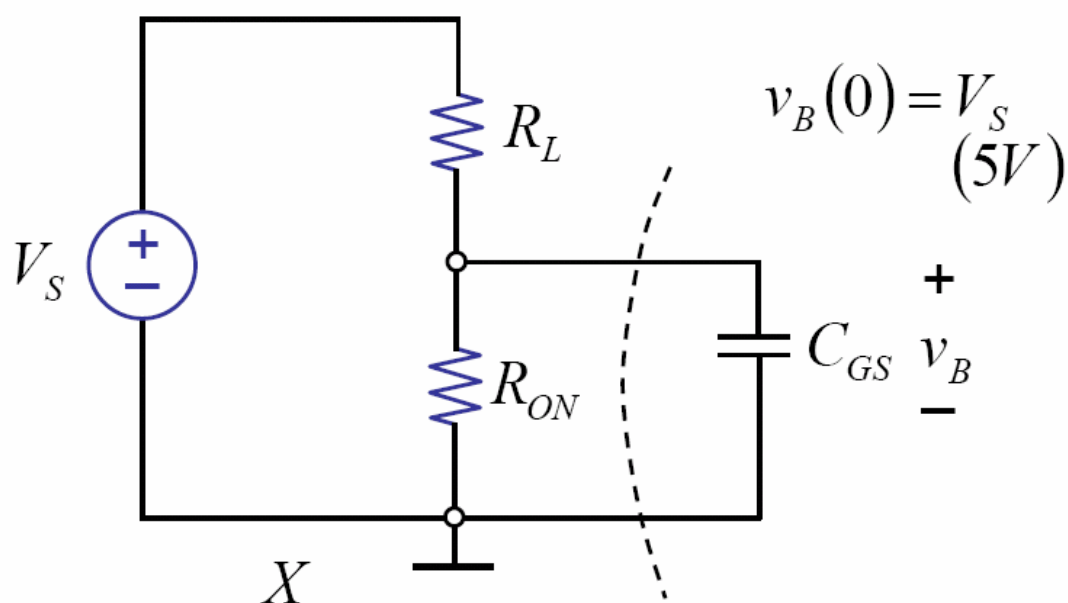
$$= 0.16 ns$$

$$RC = 0.1 ns !$$

下降延迟时间 t_f

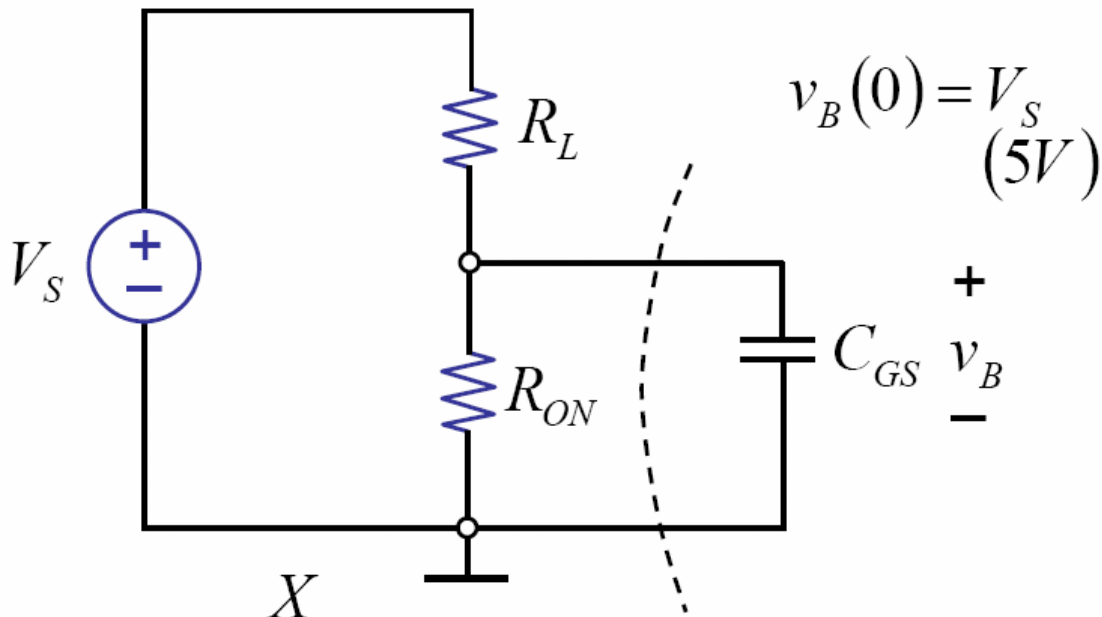
下降延迟时间是B点电压 v_B 降到 V_{OL} 的时间

B 点电压由高电平 **1** 变为低电平 **0** 的等效电路

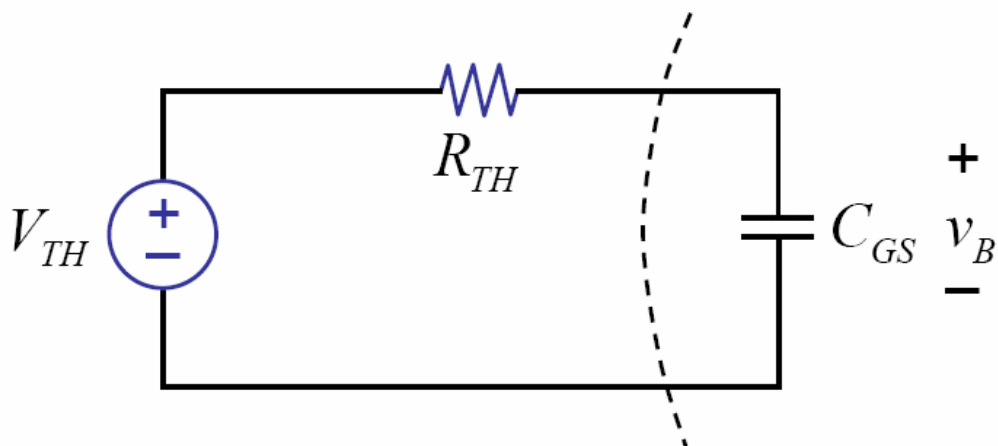


下降延迟时间 t_f

B 点电压由高电平 1 变为低电平 0 的等效电路



戴维南替换



$$R_{TH} = R_L \parallel R_{ON}$$

$$V_{TH} = V_S \frac{R_{ON}}{R_{ON} + R_L}$$

由①

$$v_B = V_{TH} + (V_S - V_{TH}) e^{\frac{-t}{R_{TH}C_{GS}}}$$

下降延迟时间 t_f 是B点的电压 v_B 降到 V_{OL} 所需的时间

$$V_{OL} = V_{TH} + (V_S - V_{TH}) e^{\frac{-t_f}{R_{TH}C_{GS}}}$$

或者

$$t_f = -R_{TH}C_{GS} \ln \frac{V_{OL} - V_{TH}}{V_S - V_{TH}}$$

$$t_f = -R_{TH} C_{GS} \ln \frac{V_{OL} - V_{TH}}{V_S - V_{TH}}$$

例如：

$$R_L = 1K \quad V_S = 5V \quad R_{ON} = 10\Omega$$

$$C_{GS} = 0.1 pF \quad V_{OL} = 1V$$

$$R_{TH} \approx 10\Omega, \quad V_{TH} \approx 0V$$

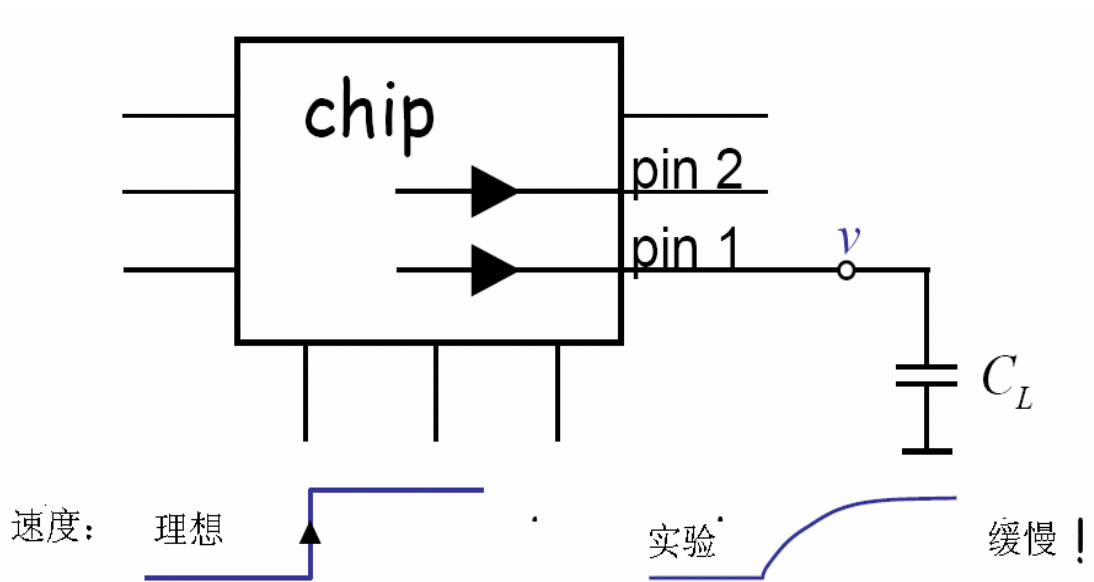
$$t_f = -10 \cdot 0.1 \cdot 10^{-12} \ln \frac{1}{5}$$

$$= 1.6 ps$$

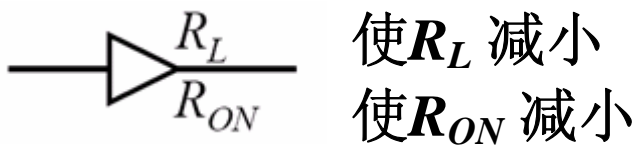
$$RC = 1 ps !$$

为了复习：缓慢也许比较好

问题

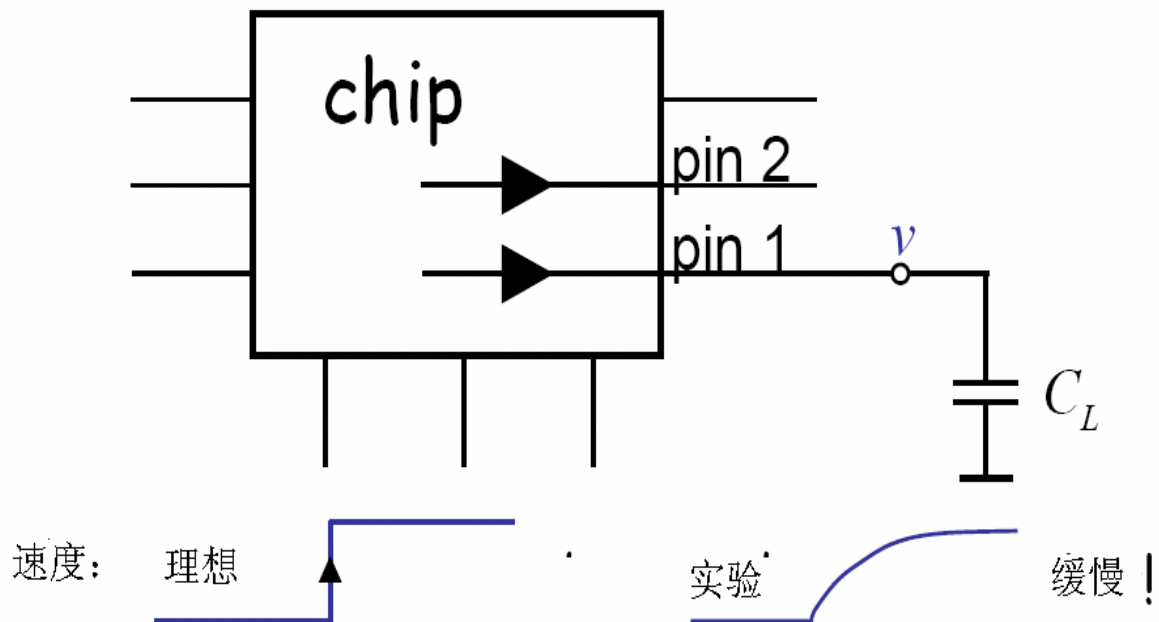


因此，工程师决定让速度加快……



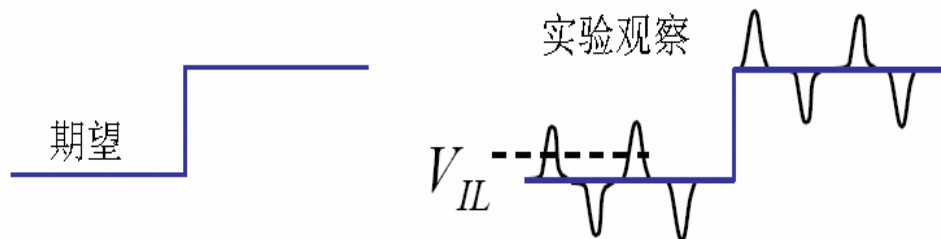
为了复习：缓慢也许比较好

问题



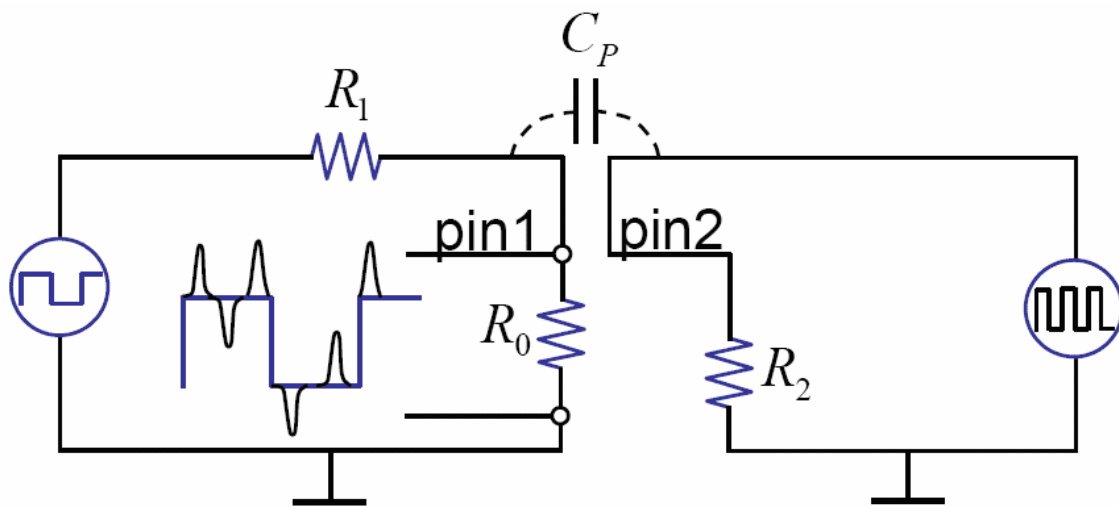
●●●但是，效果不佳！

速度



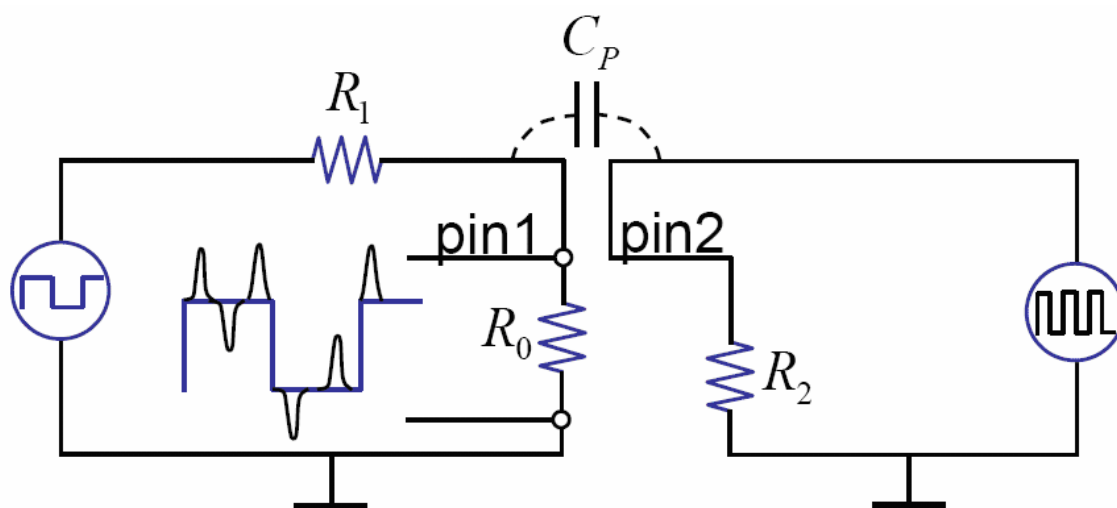
为什么？想一想……

例①

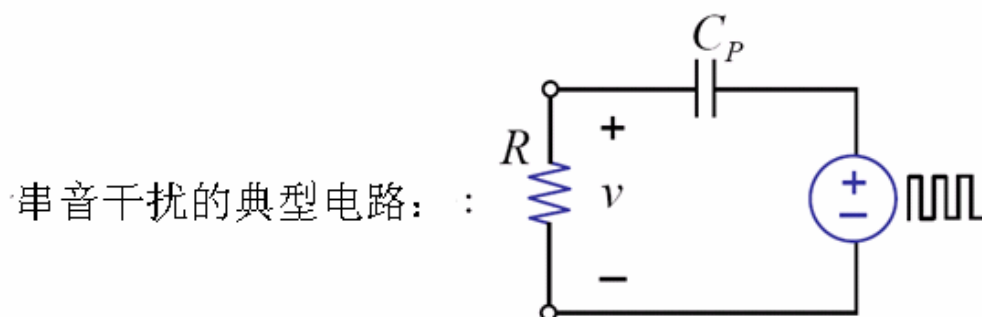


为什么？想一想……

例②

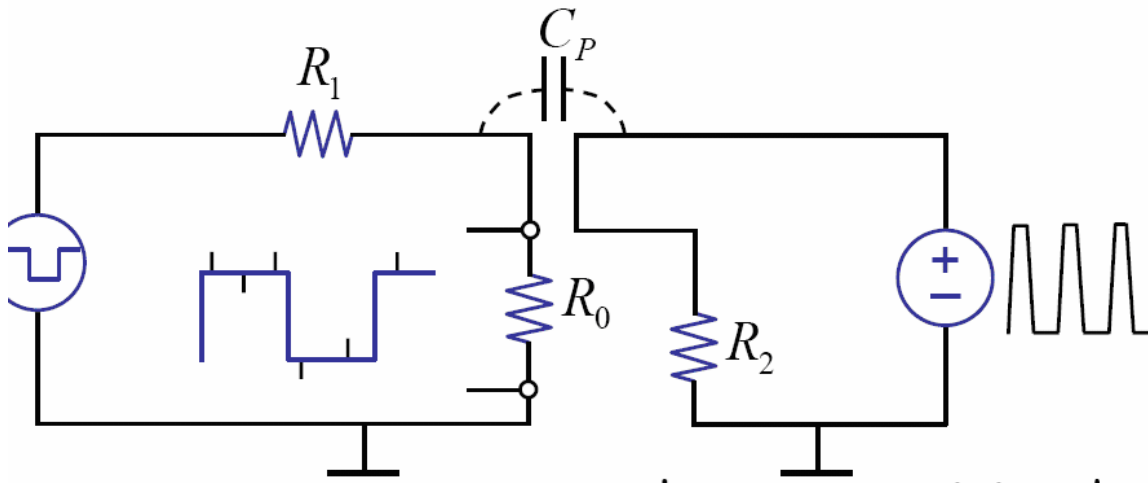


串音干扰！



例③

……6.002 专家找到了解决办法



过渡期减速

详细的分析在复习课中介绍