

9 脉冲波形的变换与产生

9.1 单稳态触发器

9.2 施密特触发器

9.3 多谐振荡器

*9.4 555定时器及其应用

教学基本要求

- 1、正确理解多谐振荡器、单稳态触发器、施密特触发器的电路组成及工作原理。
- 2、掌握多谐、单稳、施密特触发器MSI器件的逻辑功能及主要指标计算。
- 3、了解555定时器的工作原理。
- 4、了解555定时器组成的多谐、单稳、施密特触发电路、工作原理及外接参数及电路指标的计算。

9.1单稳态电路

9.1.1 用门电路组成的微分型单稳态电路

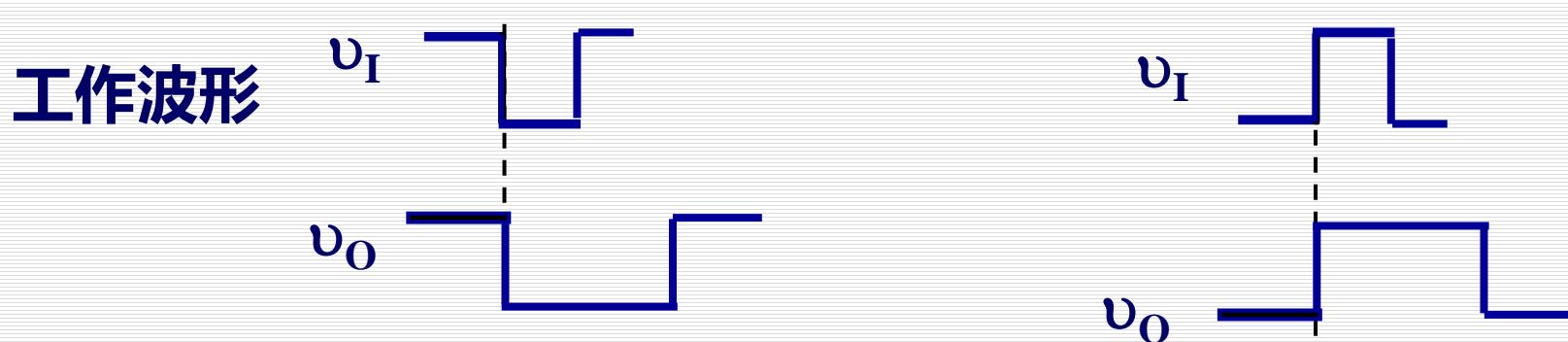
9.1.2 集成单稳态电路

9.1.3 单稳态电路的应用

9.1 单稳态触发器

单稳态触发器的工作特点：

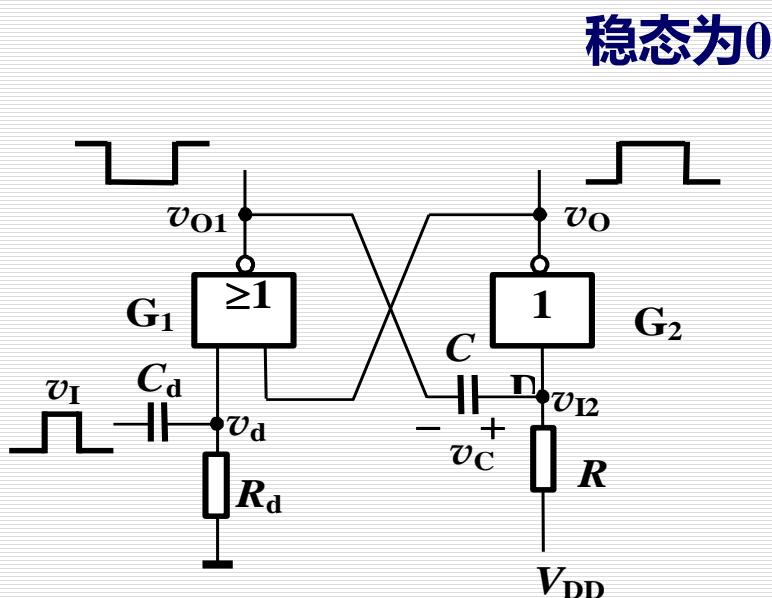
- ① 电路在没有触发信号作用时处于一种稳定状态。
- ② 在外来触发信号作用下，电路由稳态翻转到暂稳态；
- ③ 由于电路中 RC 延时环节的作用，暂稳态不能长保持，经过一段时间后，电路会自动返回到稳态。暂稳态的持续时间仅取与 RC 参数值有关。



9.1.1 CMOS门电路组成的微分型单稳态触发器

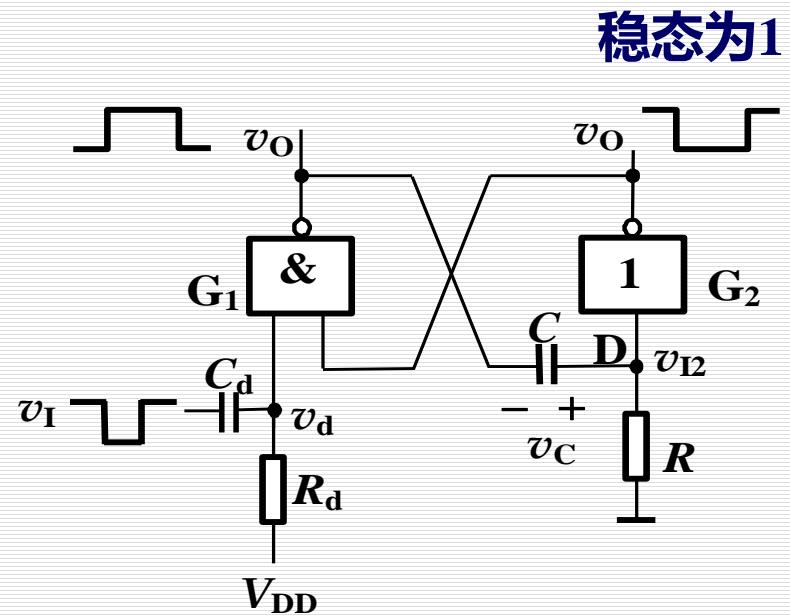
1. 电路

CMOS或非门构成的微分型
单稳态触发器



正脉冲触发

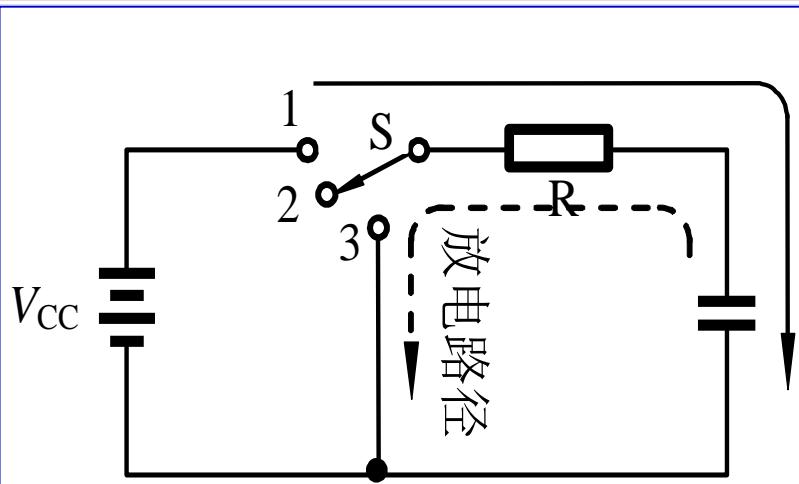
CMOS与非门构成的微分型
单稳态触发器



负脉冲触发

电容器充放电

开关在位置1时



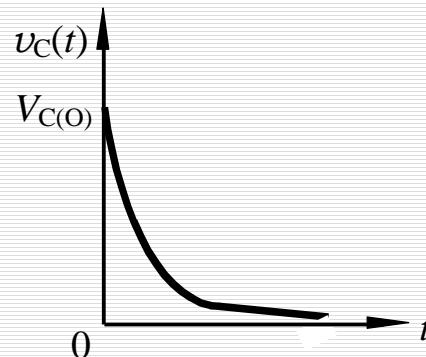
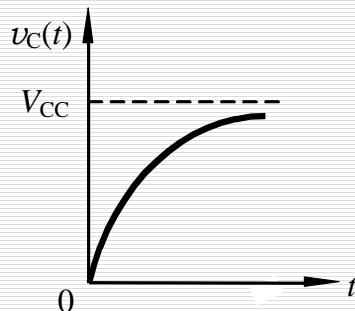
当开关掷向位置3时，

电容将按逆时针方向经RC电路放电，并逐渐衰减为零。设电容放电时的初始电压为 $v_C(0)$ ，则电容放电电压

$$v_C(t) = v_C(0)e^{-t/RC}$$

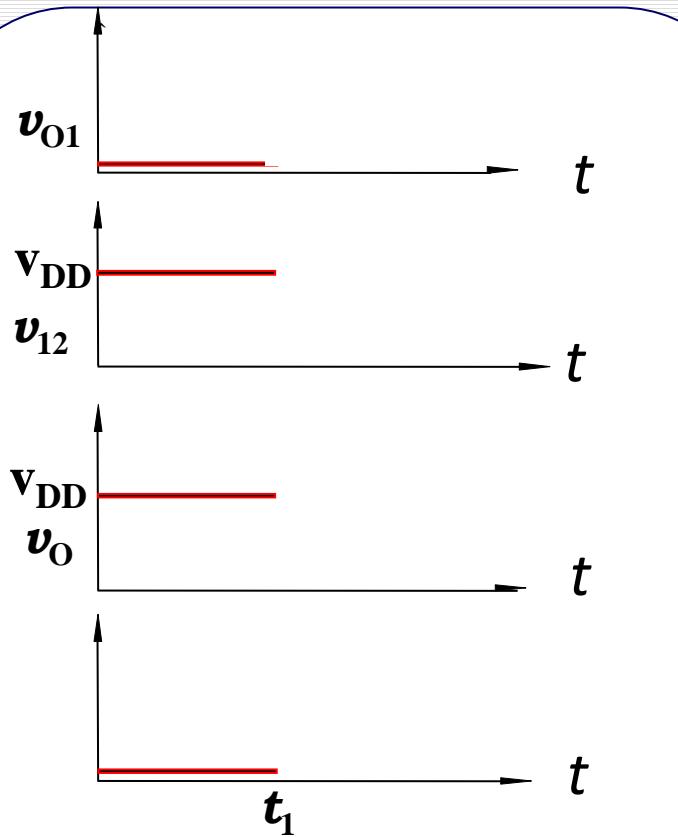
设电容C上初始电压为零,电容将按指数规律充电, 趋向电压 V_{CC} 值。电容充电的速度取决于 RC 乘积。

$$v_C(t) = V_{CC} (1 - e^{-t/RC})$$

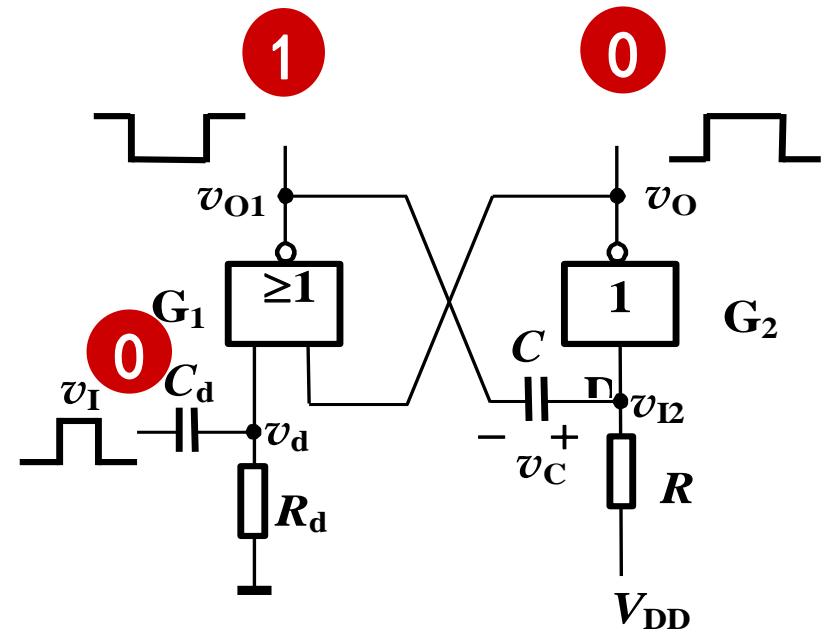


2. 工作原理

a) 没有触发信号时, $v_I = 0$
 $v_{O1} = 0$ $v_c = 0$

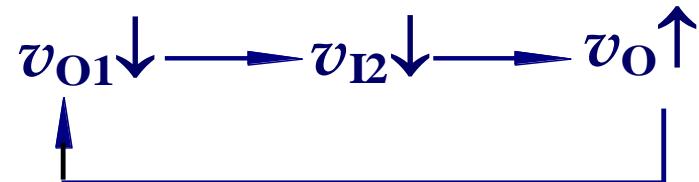
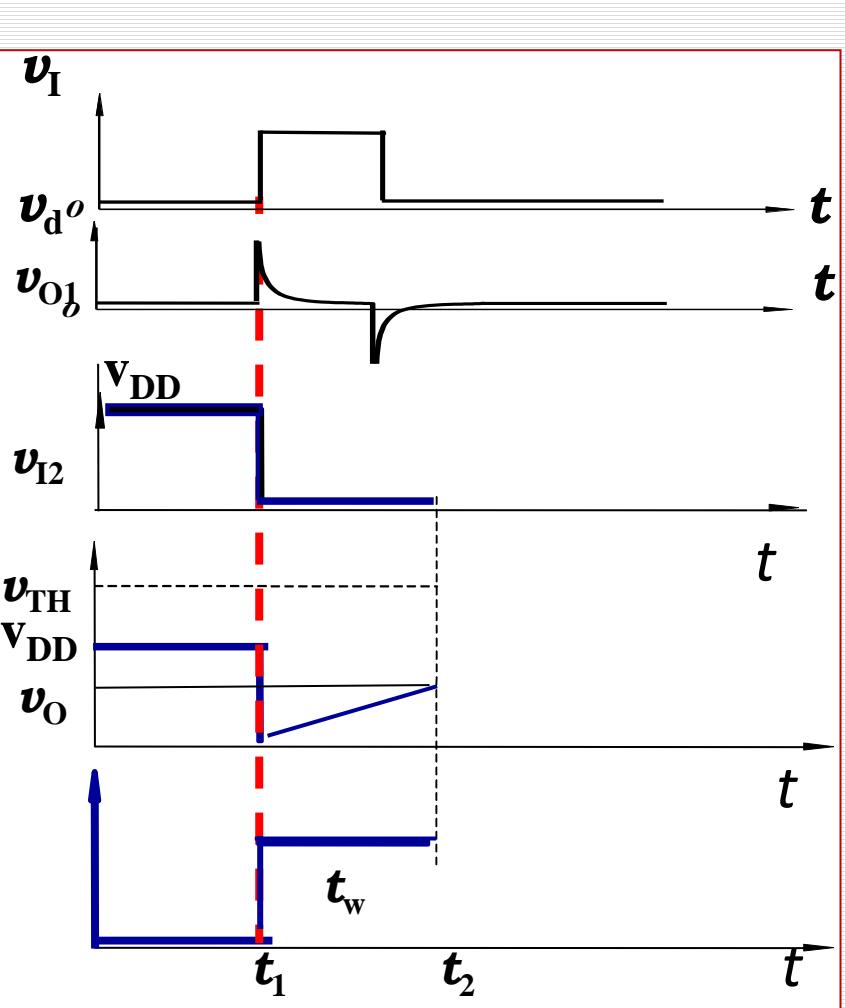


电路处于一种稳态:



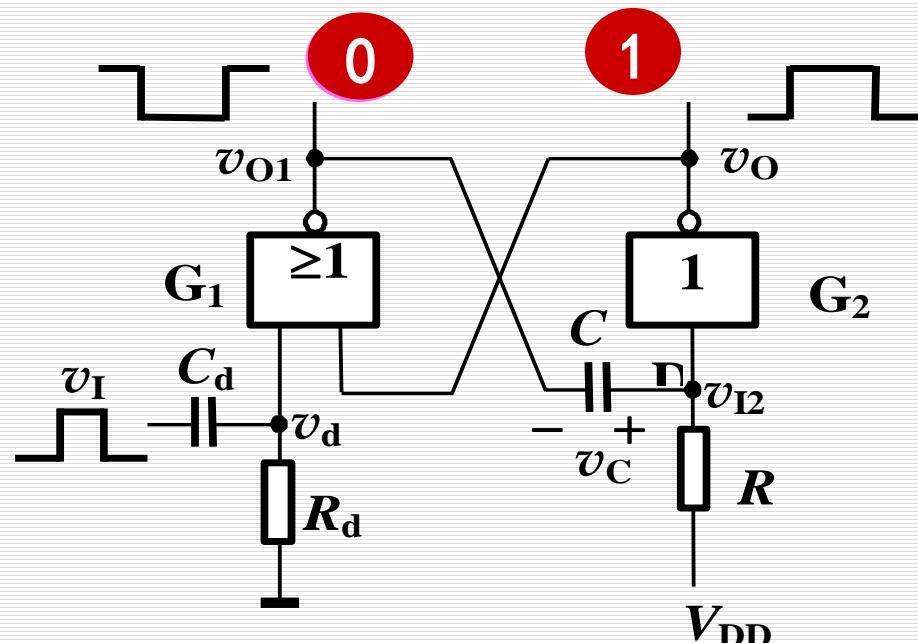
b) 外加触发信号 电路进入暂稳态

当 $v_d \rightarrow v_d = V_{TH}$ 产生如下正反馈过程



电路进入暂稳态

$$v_O = 1 \quad v_{O1} = 0$$

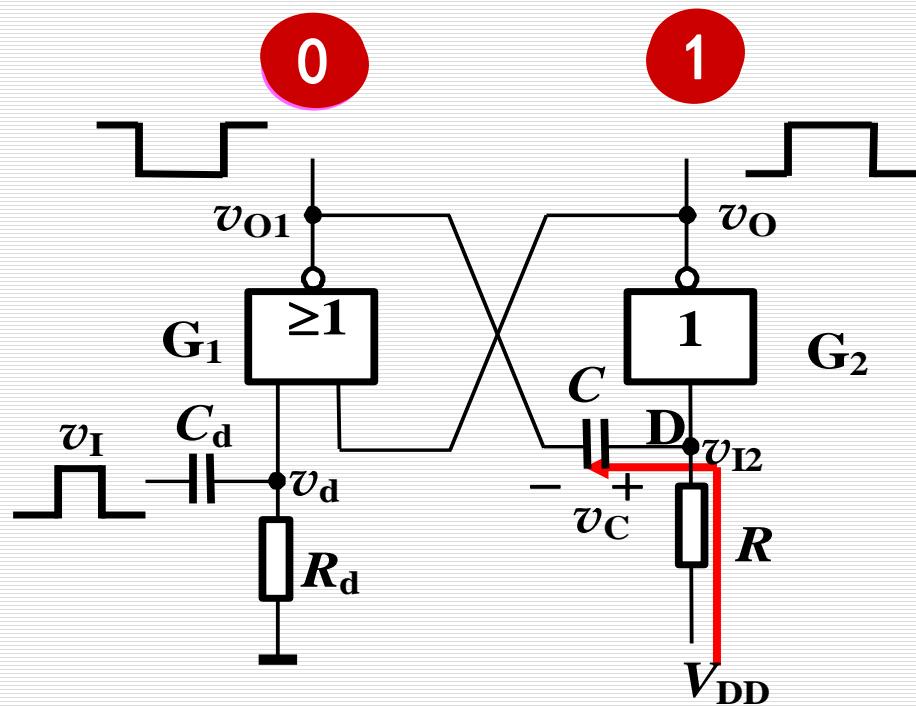
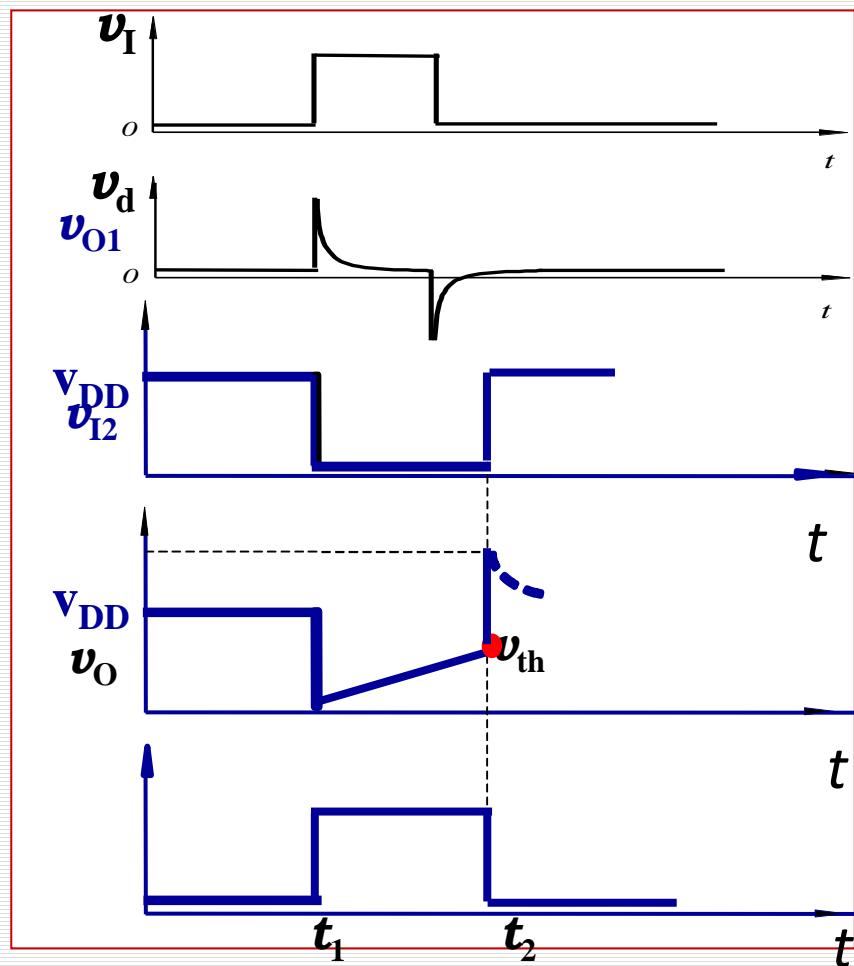


电容充电,此状态不能长期维持

c) 电容充电, 电路由暂稳态自动返回到稳态

C 充电 $\rightarrow v_{I2} \rightarrow v_{I2} = v_{TH} \rightarrow v_{I2} \uparrow \rightarrow v_O \downarrow \rightarrow v_{O1} \uparrow$

电路返回到稳态



3、主要参数的计算

(1) 输出脉冲宽度 t_w

$$t_w = RC \ln \frac{v_C(\infty) - v_C(0)}{v_C(\infty) - V_{TH}}$$

$$v_C(0+) = 0; \quad v_C(\infty) = V_{DD}$$

$$\tau = RC, \quad V_{TH} = V_{DD}/2$$

$$t_w = RC \ln \frac{V_{DD} - 0}{V_{DD} - V_{TH}}$$

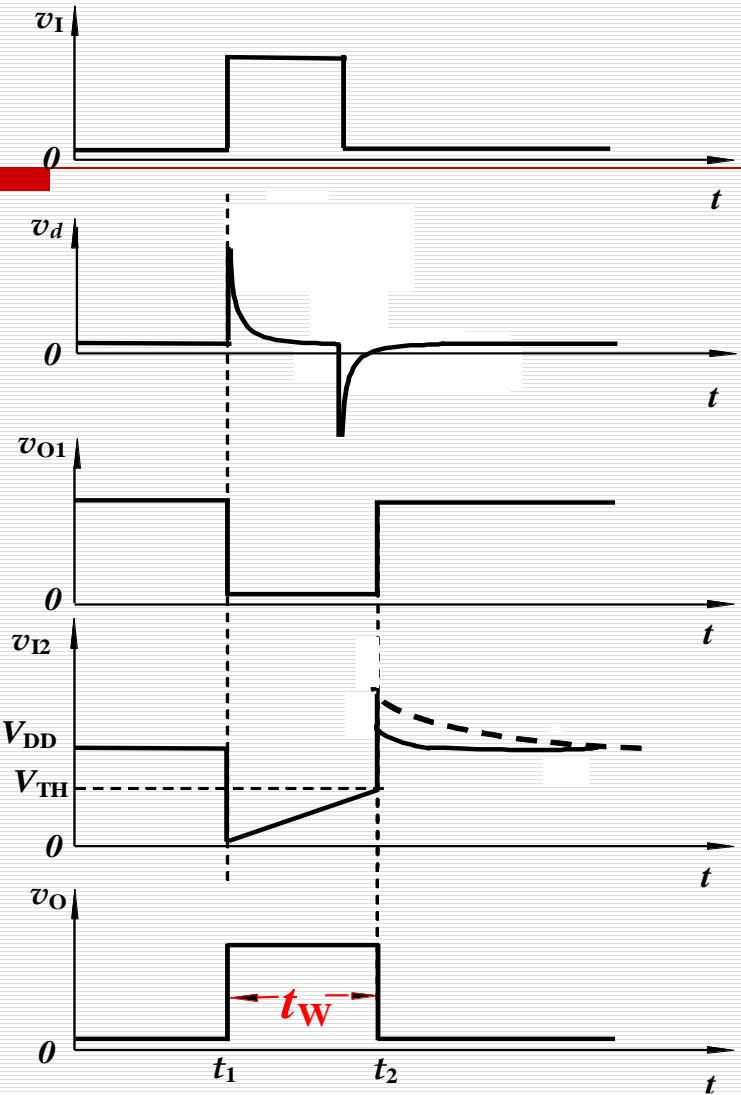
$$t_w \approx 0.7RC$$

(2) 恢复时间 t_{re}

$$t_{re} \approx 3\tau d$$

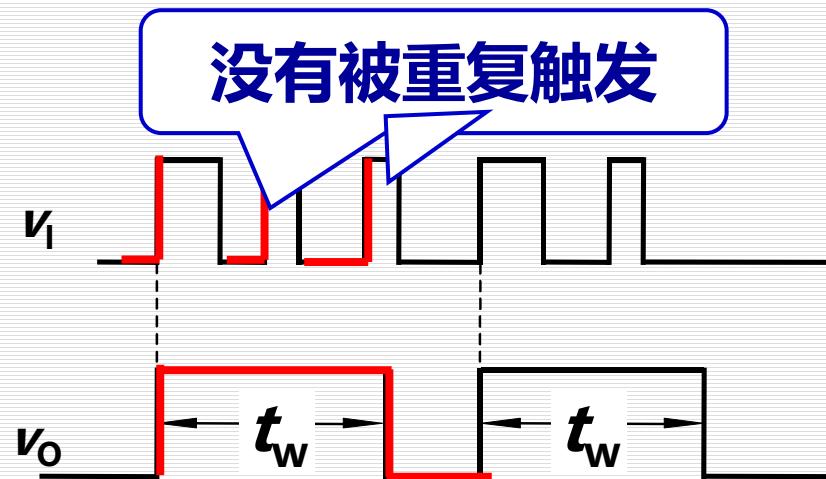
(3) 最高工作频率 f_{max}

$$f_{max} = \frac{1}{T_{min}} < \frac{1}{t_w + t_{re}}$$

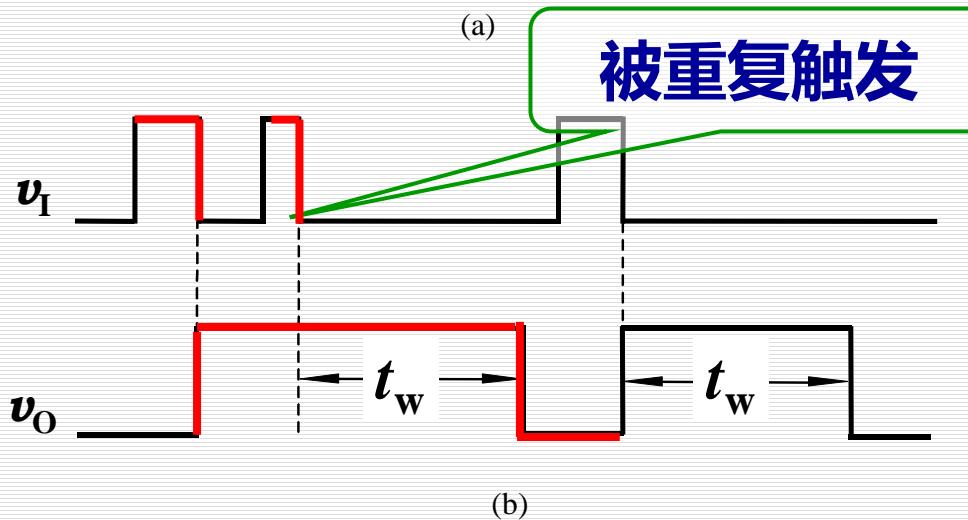


9.1.2 集成单稳态触发器

不可重复触发



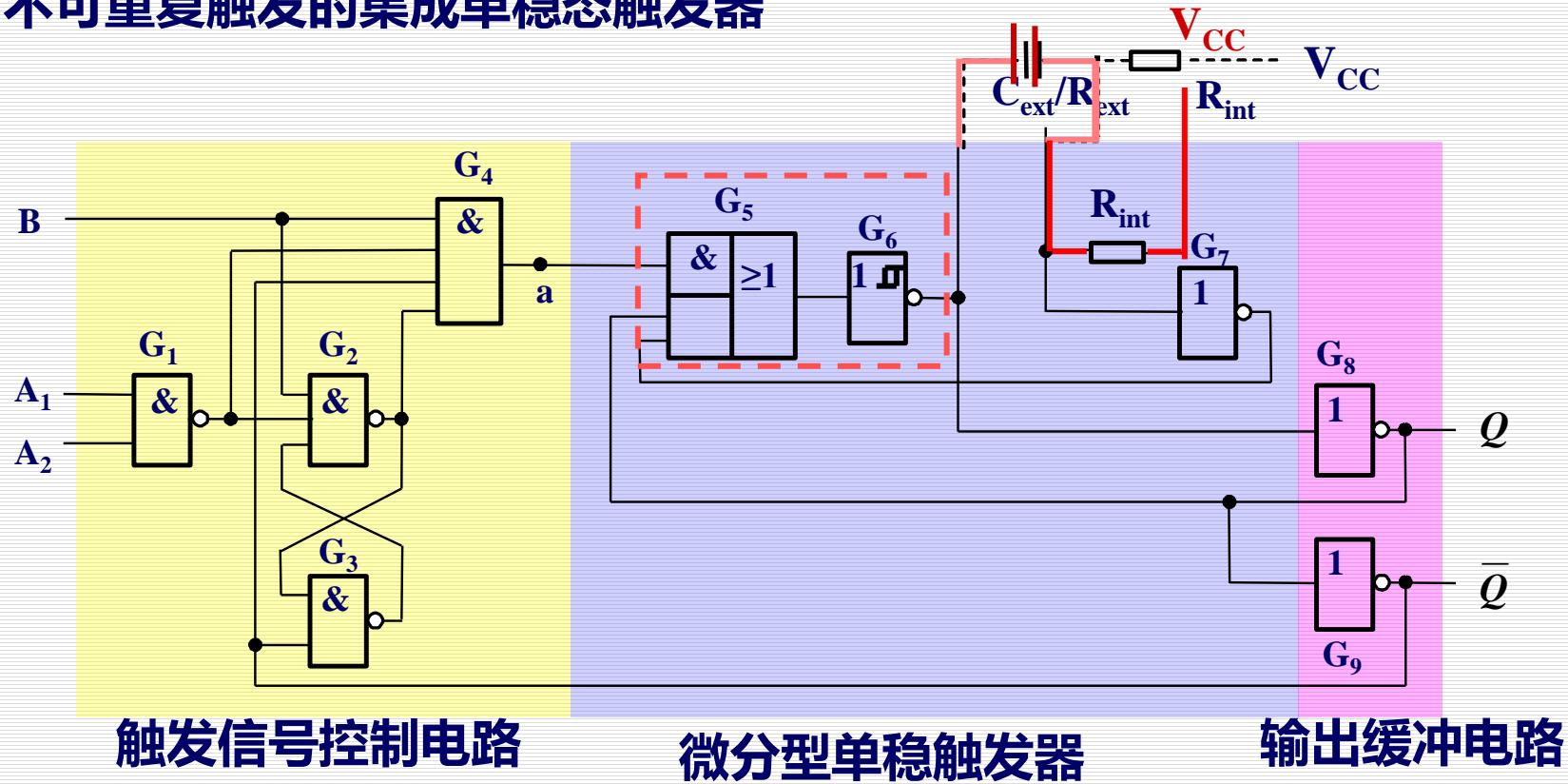
可重复触发



(b)

9.1.2 集成单稳态触发器

1. 不可重复触发的集成单稳态触发器



触发信号控制电路

微分型单稳触发器

输出缓冲电路

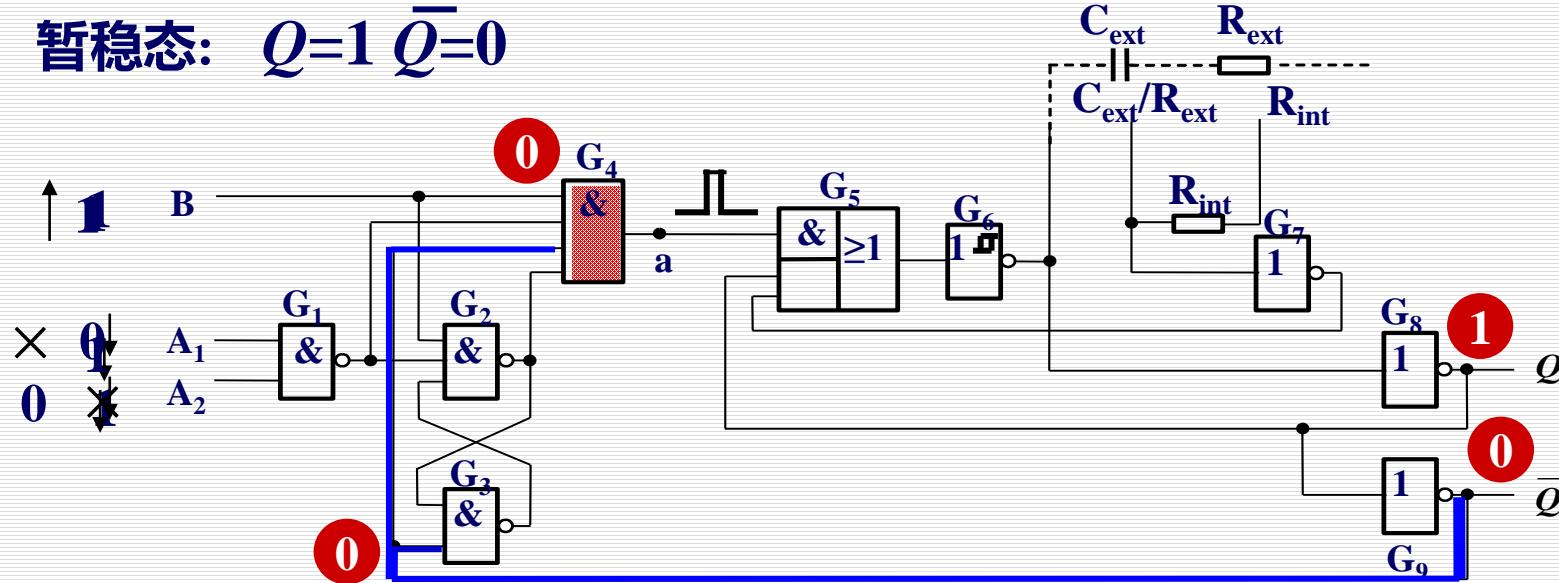
电路的连接: C : 外接电容

R : 外接电阻或采用内部电阻

(1) 工作原理

电路的不可重复触发特性

暂稳态: $Q=1 \bar{Q}=0$



在暂稳态期间即使有触发信号输入,但由于G₄门在此期间关闭, 不会被再次触发。

$$\text{输出脉冲宽度: } t_w \approx 0.7RC$$

电路一但进入暂稳态, v_a 就跳变为低电平。

74121功能表

A_1	A_2	B	Q	\bar{Q}
L	\times	H	L	H
\times	L	H	L	H
\times	\times	L	L	H
H	H	\times	L	H
H	\downarrow	H	\uparrow	\uparrow
\downarrow	H	H	\uparrow	\uparrow
\downarrow	\downarrow	H	\uparrow	\uparrow
L	\times	\uparrow	\uparrow	\uparrow
\times	L	\uparrow	\uparrow	\uparrow

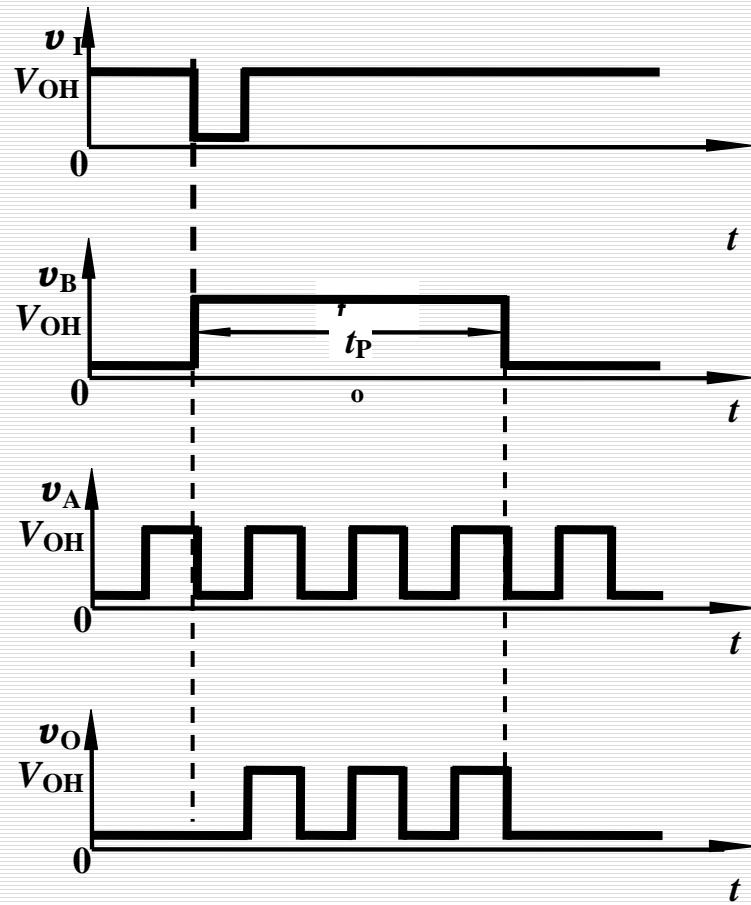
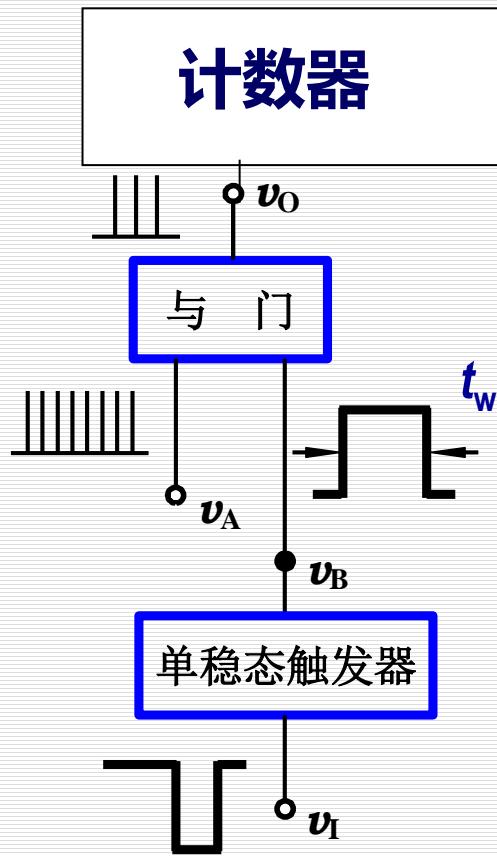
不可触发，保持稳态不变

B 和 A_1 、 A_2 中有一个或两个为高电平，输入端有一个或两个下降沿时电路被触发

A_1 、 A_2 中有一个或两个为低电平，在 B 端输入上升沿时电路被触发

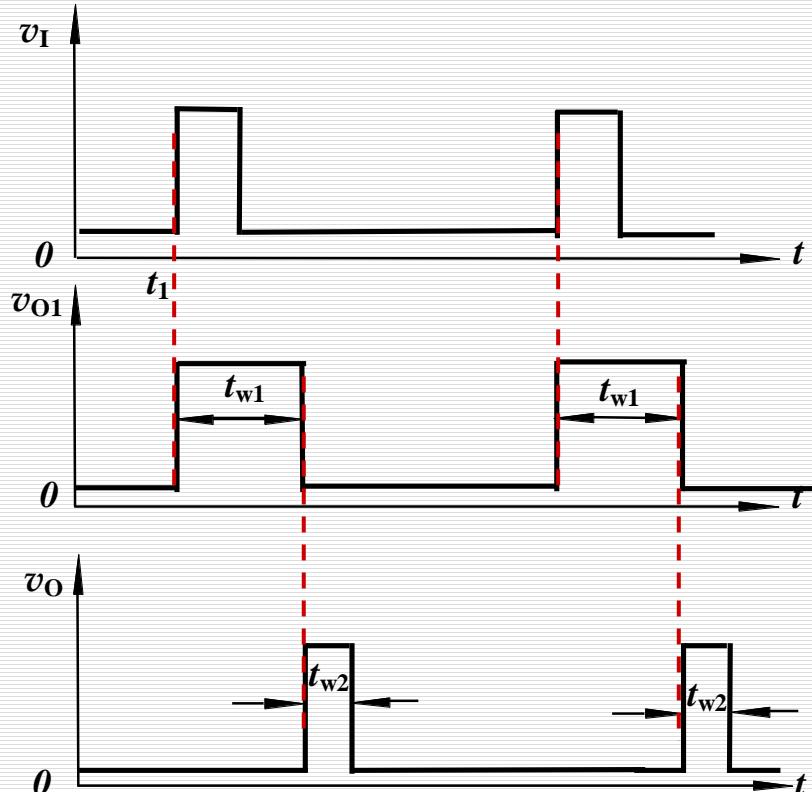
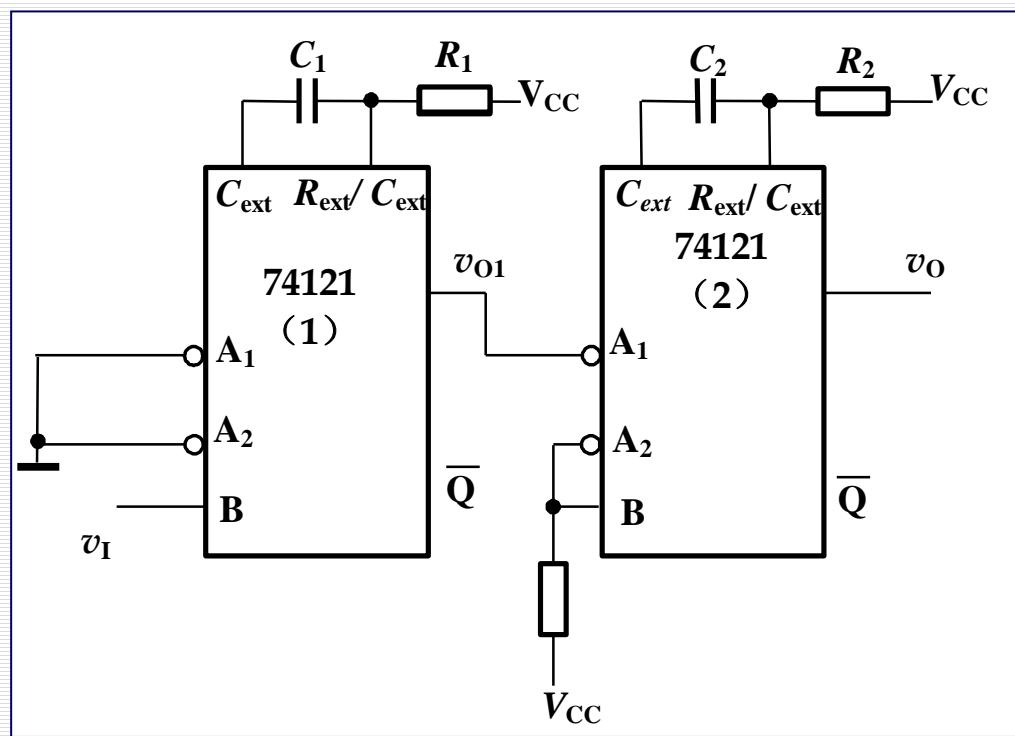
9.1.3 单稳态触发器的应用

1. 定时



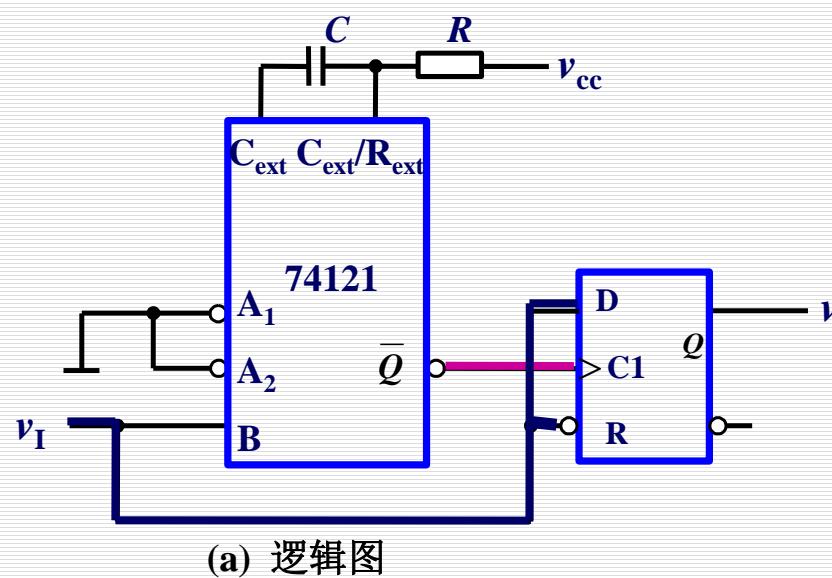
该电路可用于频率计

2. 延时

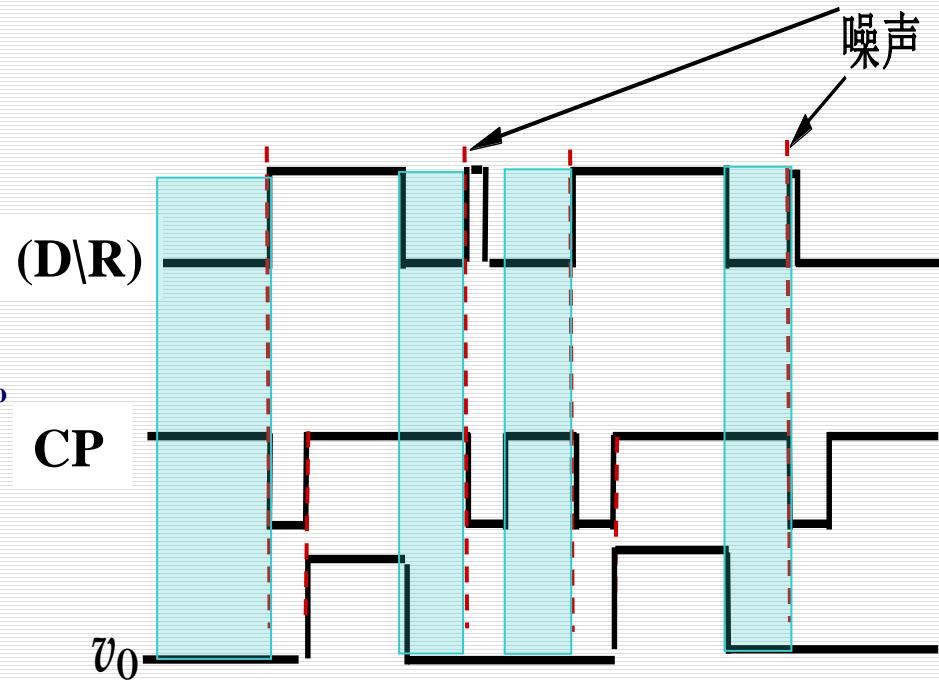


3. 组成噪声消除电路

如用 v_I 作为下降沿触发的计数器触发脉冲, 干扰加入, 就会造成计数错误.



(a) 逻辑图



单稳触发器的输出脉宽应大于噪声宽度而小于信号脉宽, 才可消除噪声。

9.2 施密特触发电路

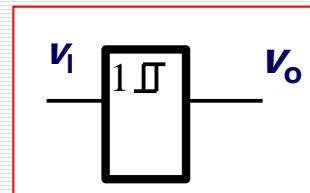
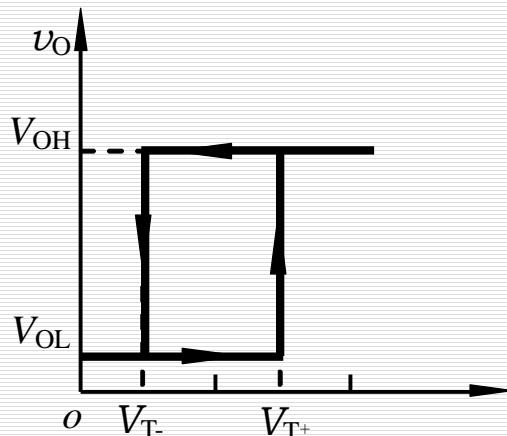
9.2.1 逻辑门组成的施密特触发电路

9.2.2 施密特触发电路的应用

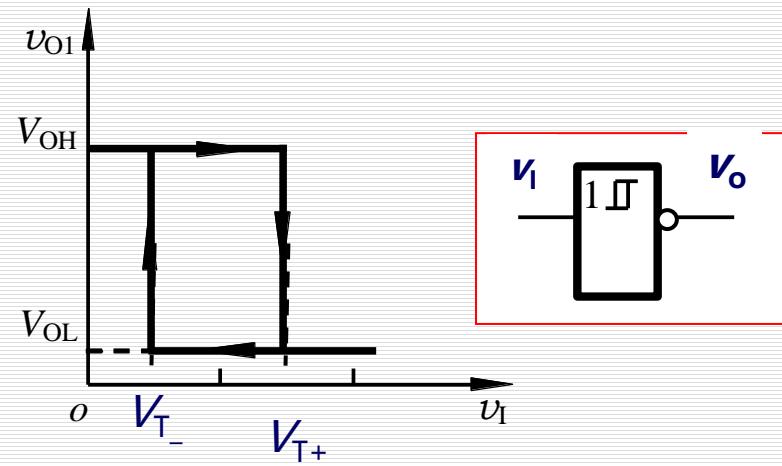
9.2 施密特触发器

1、施密特触发器电压传输特性及工作特点：

- ① 施密特触发器属于电平触发器件，当输入信号达到某一定电压值时，输出电压会发生突变。
- ② 电路有两个阈值电压。输入信号增加和减少时，电路的阈值电压分别是正向阈值电压 (V_{T+}) 和负向阈值电压 (V_{T-})。



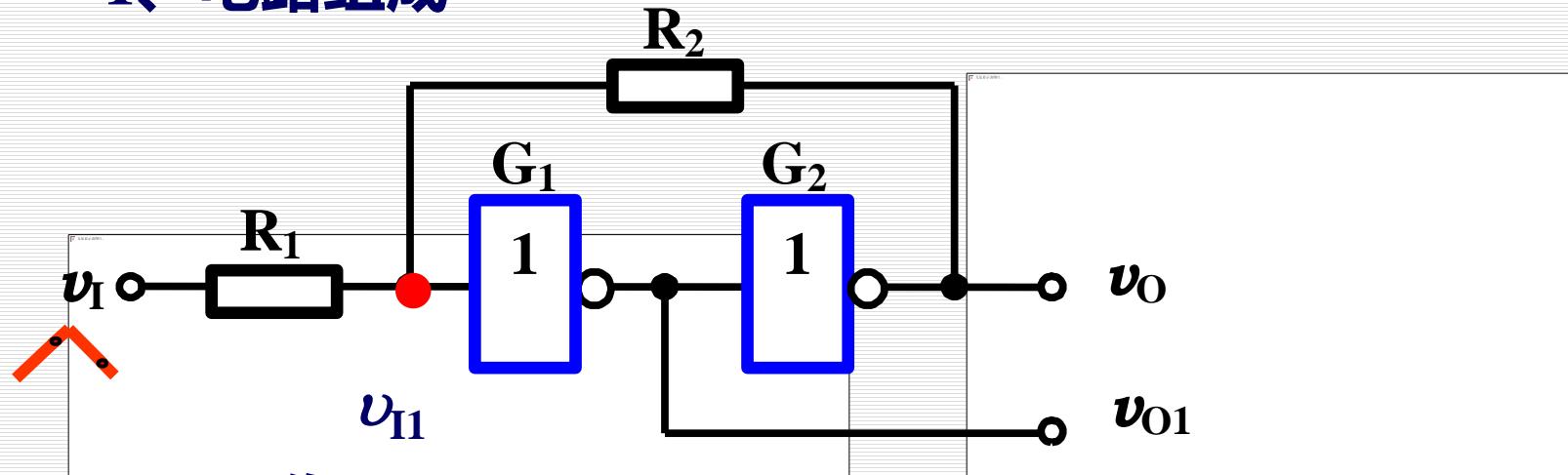
同相输出施密特触发器



反相输出施密特触发器

9.2.1 用CMOS门电路组成的施密特触发器

1、电路组成



2、工作原理

假定：

$$V_{th} \approx \frac{V_{DD}}{2}$$

$$R_1 < R_2$$

v_I为三角波

利用“G1门输入点电流为零”可得到：

$$v_{I1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot v_I + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot v_O$$

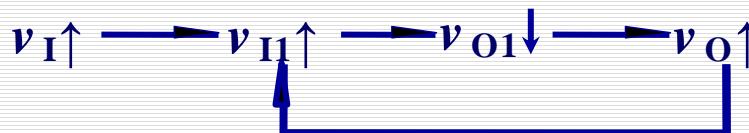
9.2.1 用CMOS门电路组成的施密特触发器

2、工作原理

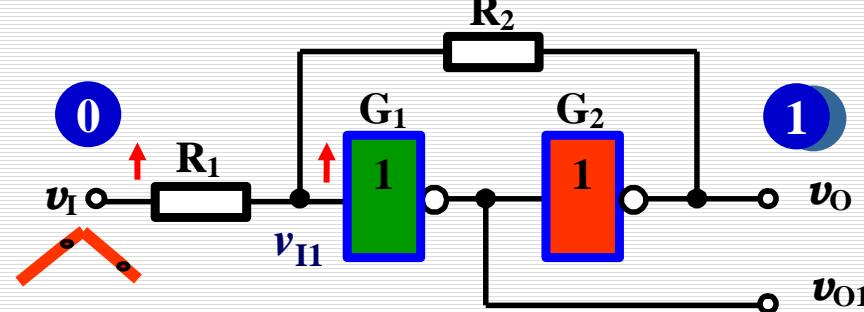
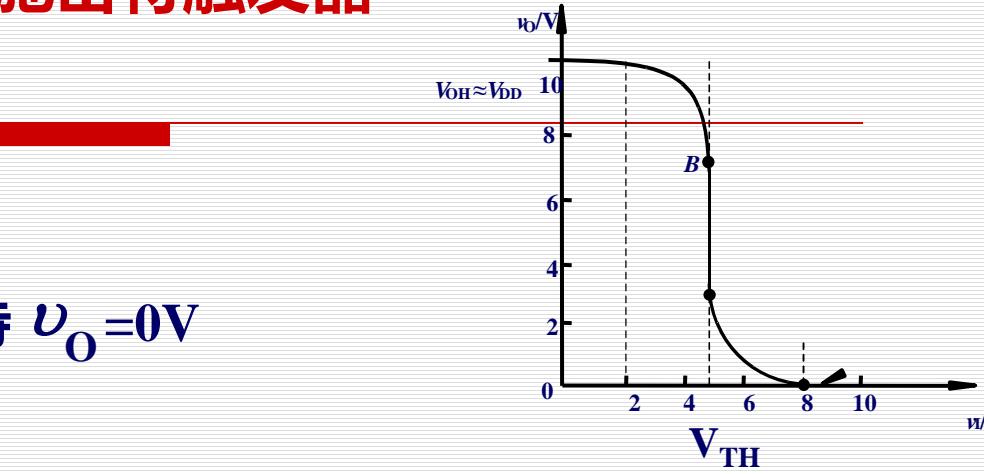
当 $v_{I1}=0$, $v_O=0V$

(1) v_I 上升 只要 $v_{I1} < V_{TH}$, 则保持 $v_O = 0V$

(2) 当 $v_{I1} = V_{TH}$, 电路发生正反馈:



正向阈值电压 (V_{T+}): v_I 值在增加过程中, 使输出电压产生跳变时所对应的 v_I 值



$$v_{I1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot v_I + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot v_O$$

$$v_{I1} = V_{TH} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{T+}$$

$$V_{T+} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) V_{TH}$$

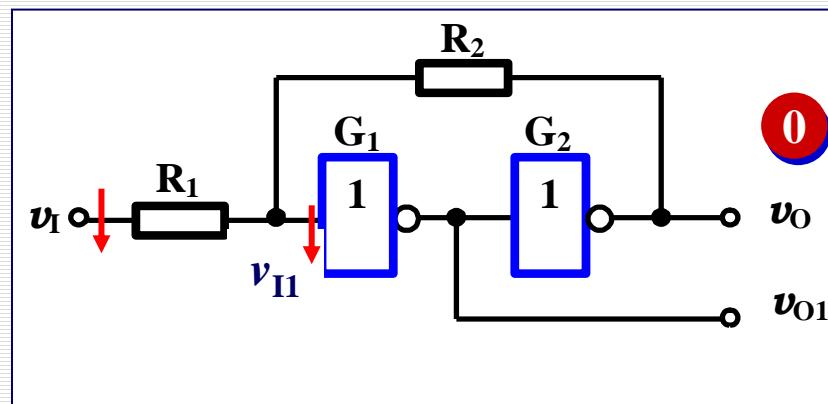
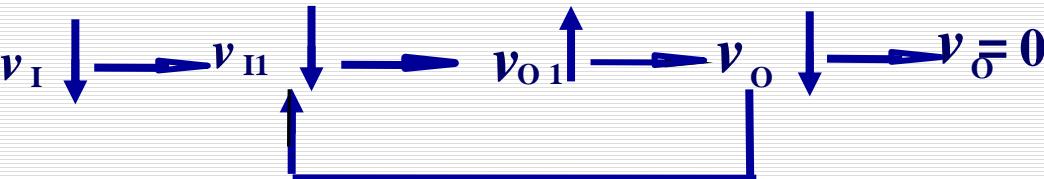
9.2.1 用CMOS门电路组成的施密特触发器

2、工作原理

(3) $v_I > V_{th}$ 电路维持 $v_O = V_{OH}$ 不变

(4) 当 v_I 下降, v_{II} 也下降只要 $v_{II} > V_{th}$, 则保持输出为1

当 $v_{II} = V_{th}$, 电路产生如下正反馈:



v_I 值在减少过程中, 使输出电压产生跳变时所对应的 v_I 值称为负向阈值电压 V_{T-}

$$v_{II} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot v_I + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot v_O$$

$$v_{th} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{T-} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times V_{DD}$$

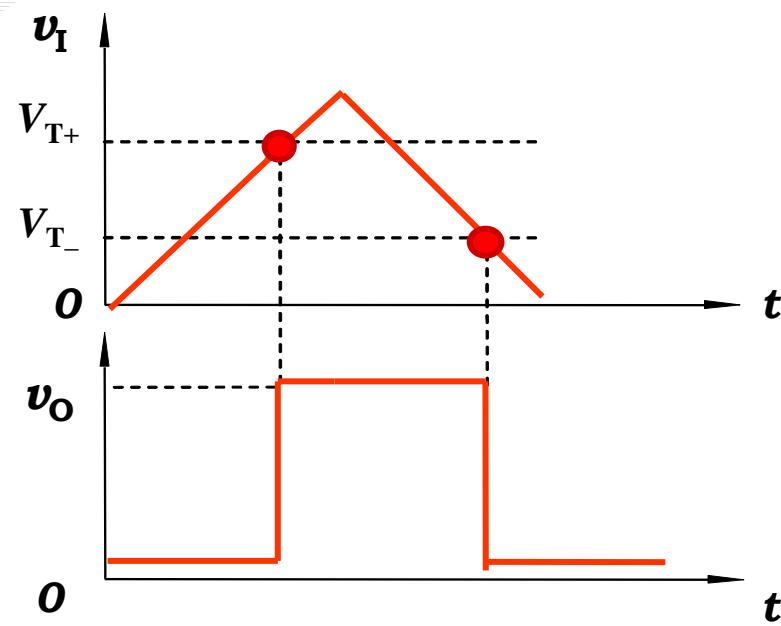
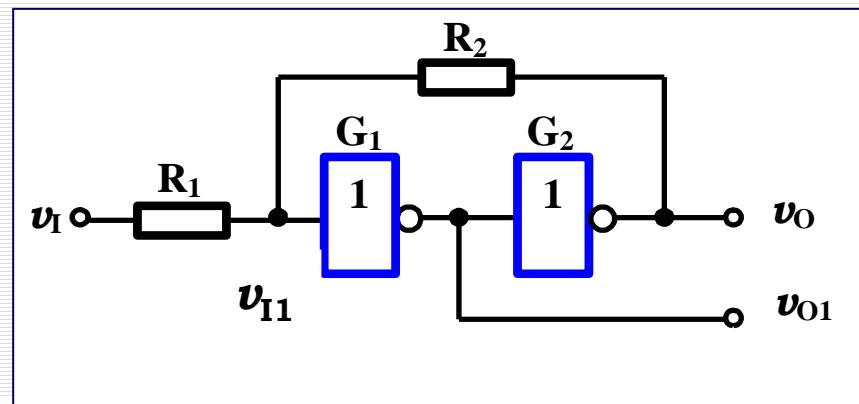
$$V_{T-} = \left(1 - \frac{R_1}{R_2}\right)V_{th}$$

$$V_{T+} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)V_{th}$$

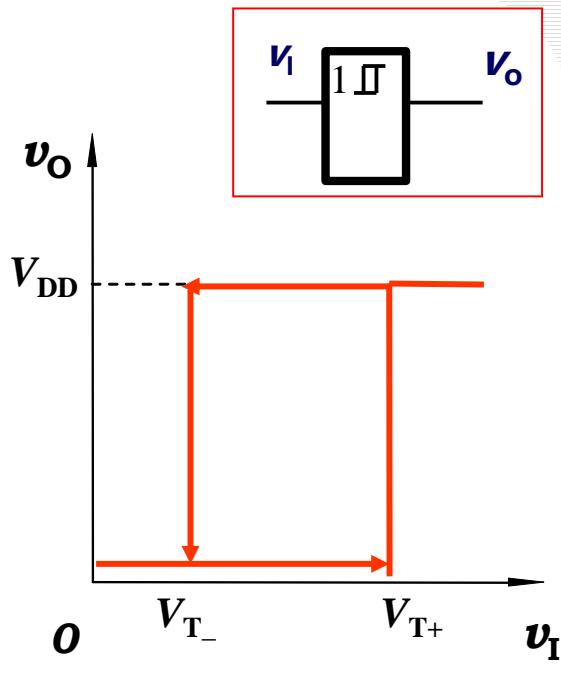
$$\Delta V_T = V_{T+} - V_{T-} \approx 2 \frac{R_1}{R_2} V_{th}$$

9.2.1 用CMOS门电路组成的施密特触发器

3、传输特性曲线



工作波形

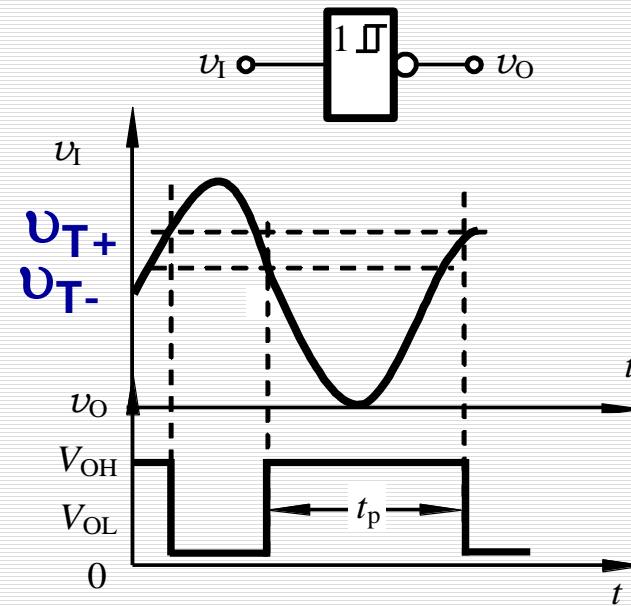
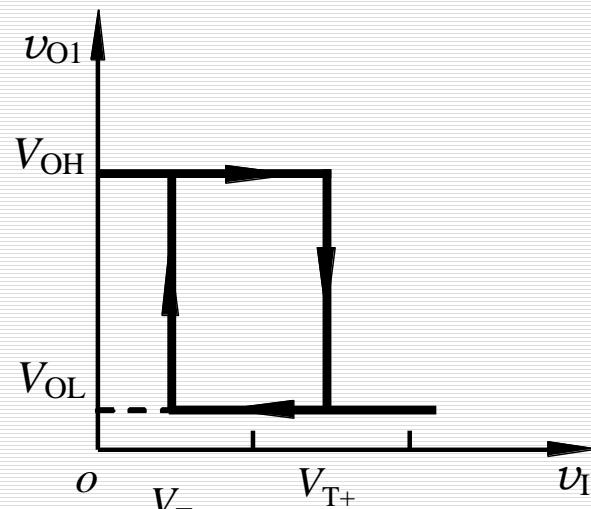


传输特性曲线

9.2.1 用CMOS门电路组成的施密特触发器

4、应用

(1) 波形的整形及变换



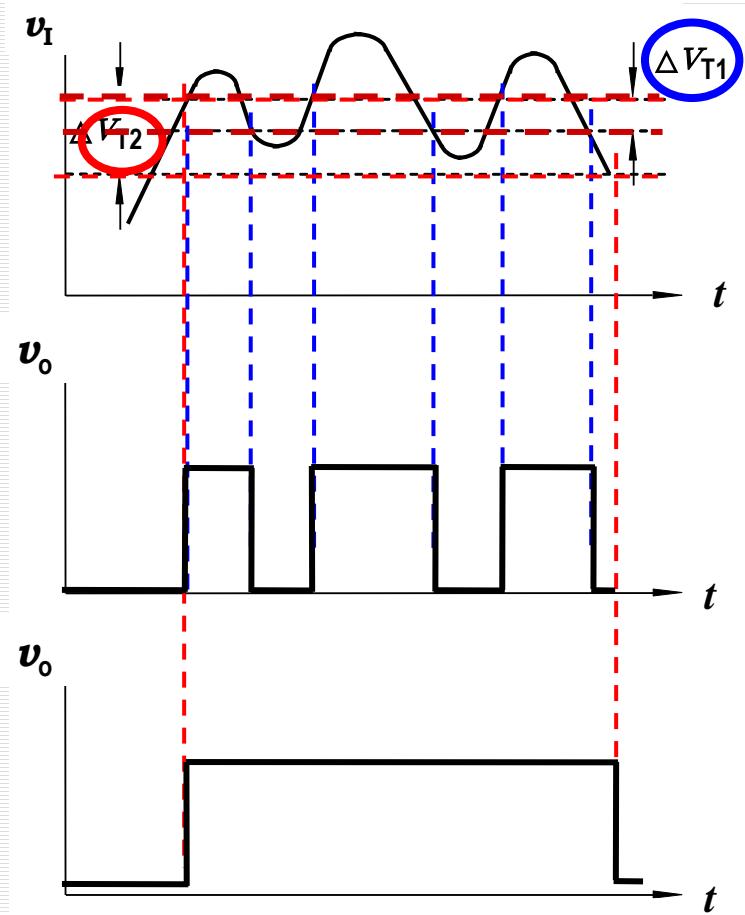
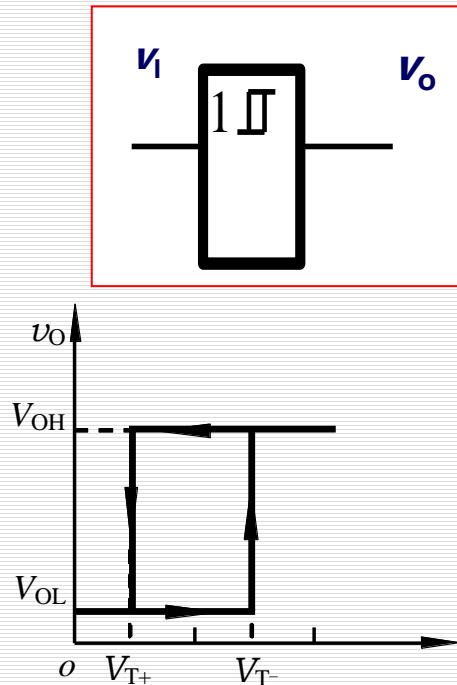
电路输出信号的频率与输入信号频率的关系?

如何改变电路输出信号的占空比?

9.2.1 用CMOS门电路组成的施密特触发器

4、应用

(2) 消除干扰信号



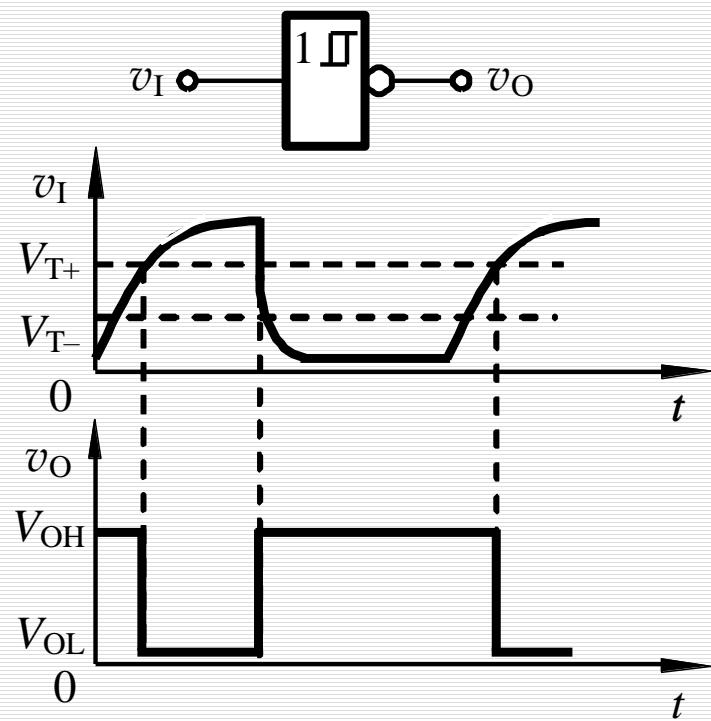
合理选择回差电压，可消除干扰信号。

9.2.1 用CMOS门电路组成的施密特触发器

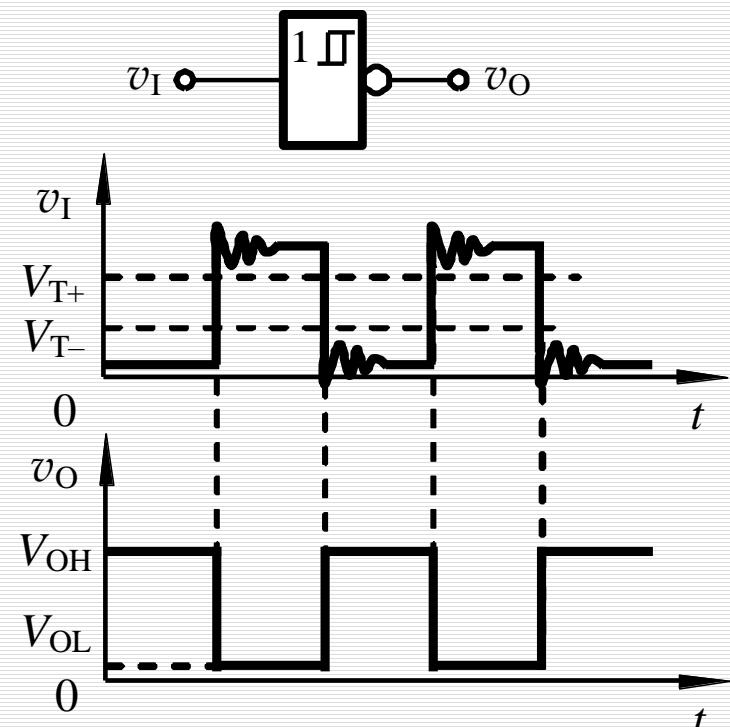
4、应用

(2) 消除干扰信号

传输线上电容较大



传输线长，接收端的阻抗与传输线阻抗不匹配

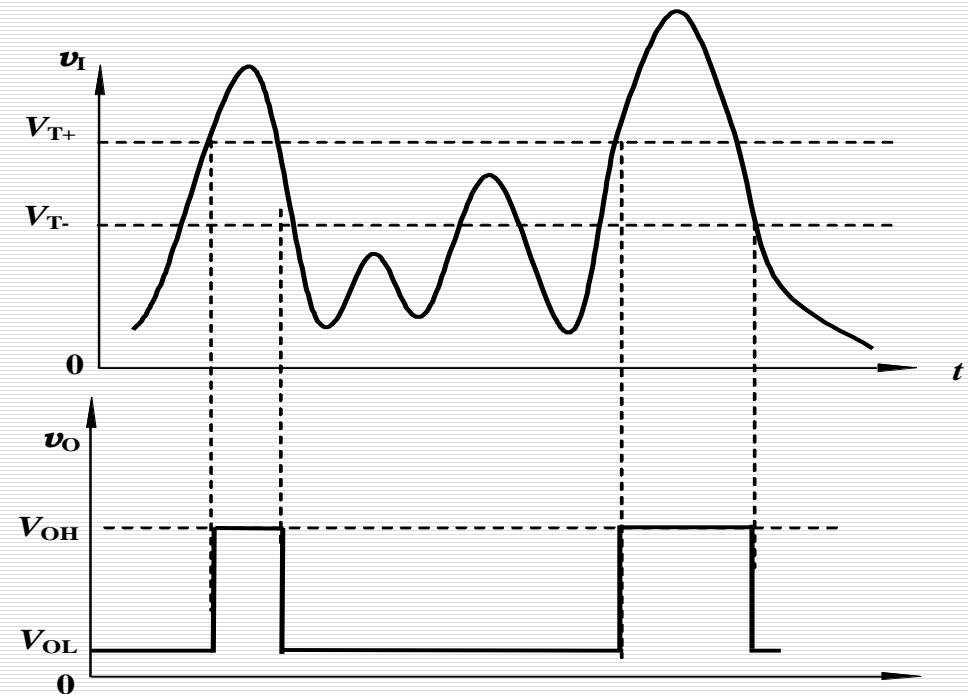
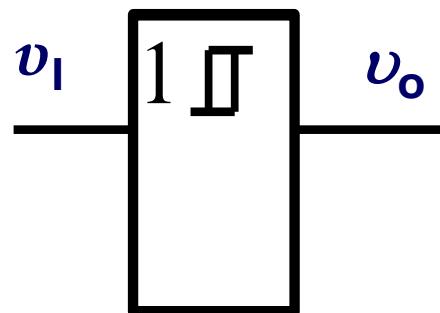


(b)

9.2.1 用CMOS门电路组成的施密特触发器

4、应用

(3) 幅值鉴别



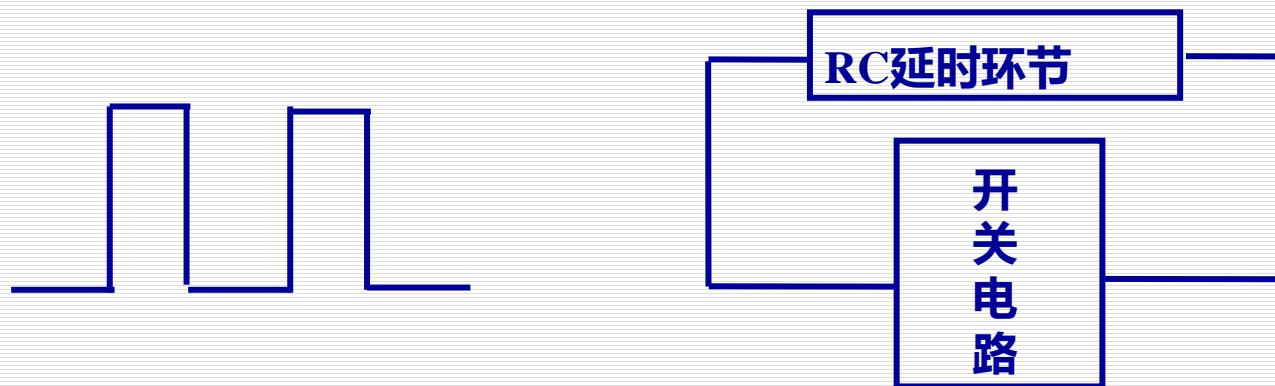
9.3多谐振荡器

概述

三、多谐振荡器的基本组成

开关器件：产生高、低电平

反馈延迟环节（*RC*电路）：利用*RC*电路的充放电特性实现延时，输出电压经延时后，反馈到开关器件输入端，改变电路的输出状态，以获得所脉冲波形输出。



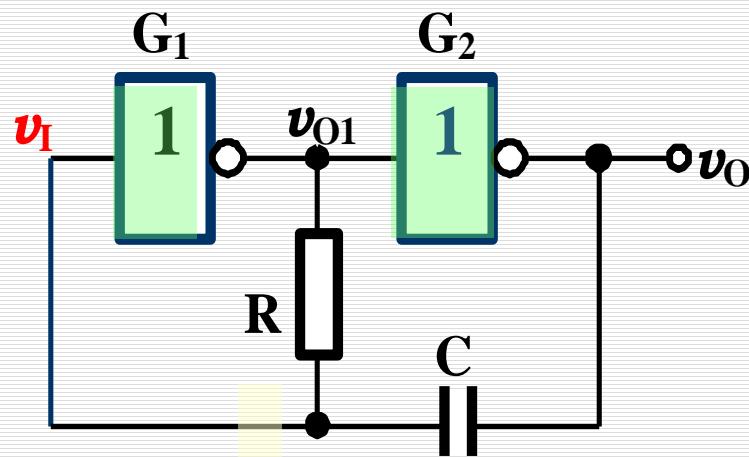
9.3.1由CMOS门电路组成的多谐振荡器

1. 电路组成

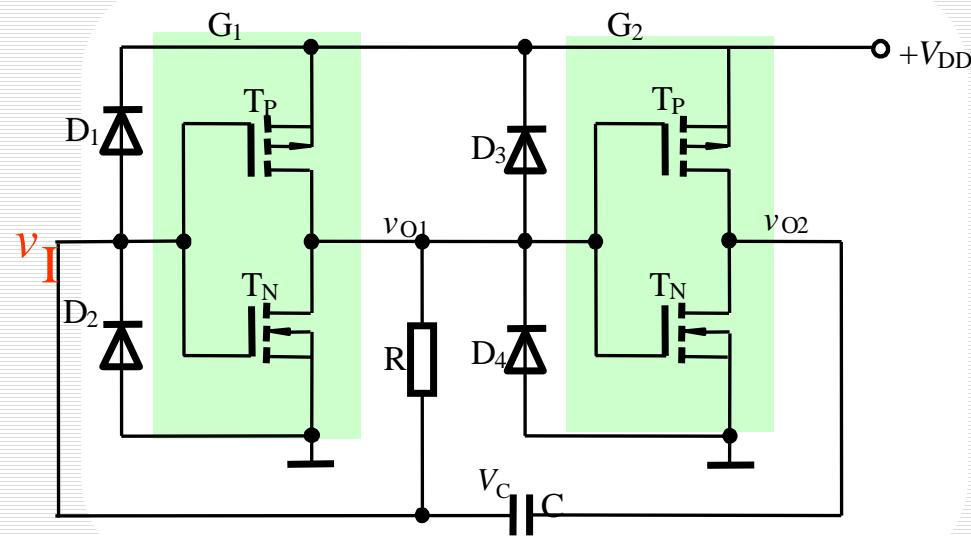
v_{o1} 与 v_o 反相,电容接在 v_o 与 v_I 之间:

. $v_o=0, v_{o1}=1$ 时,电容充电, v_I 增加;

$v_o=1, v_{o1}=0$ 时,电容放电, v_I 下降;



多谐振荡器



2. 工作原理

(1) 第一暂稳态 (初态) 电容充电, 电路自动翻转到第二暂稳态

假定

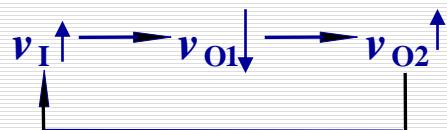
$$V_{TH} = V_{DD}/2$$

电路初态:

$$v_{O1} = 1 \quad v_{O2} = 0 \quad v_C = 0V$$

电容充电

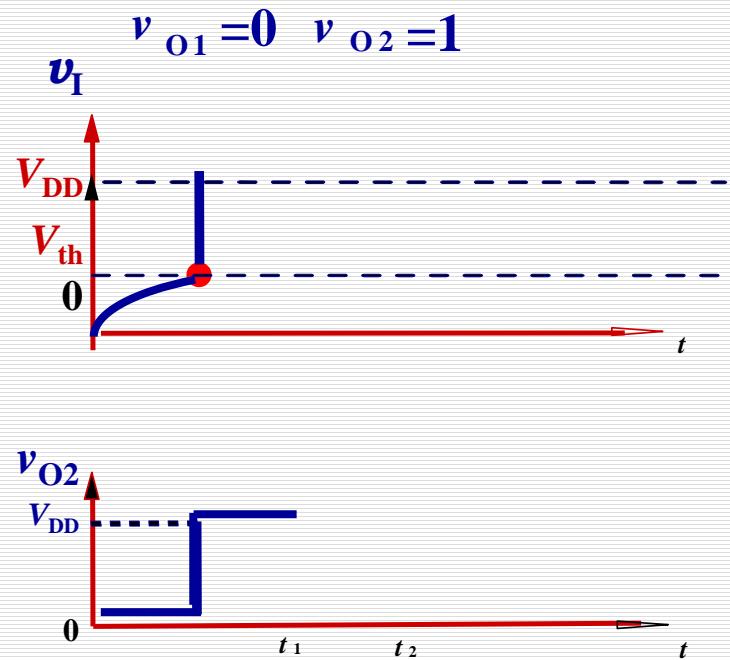
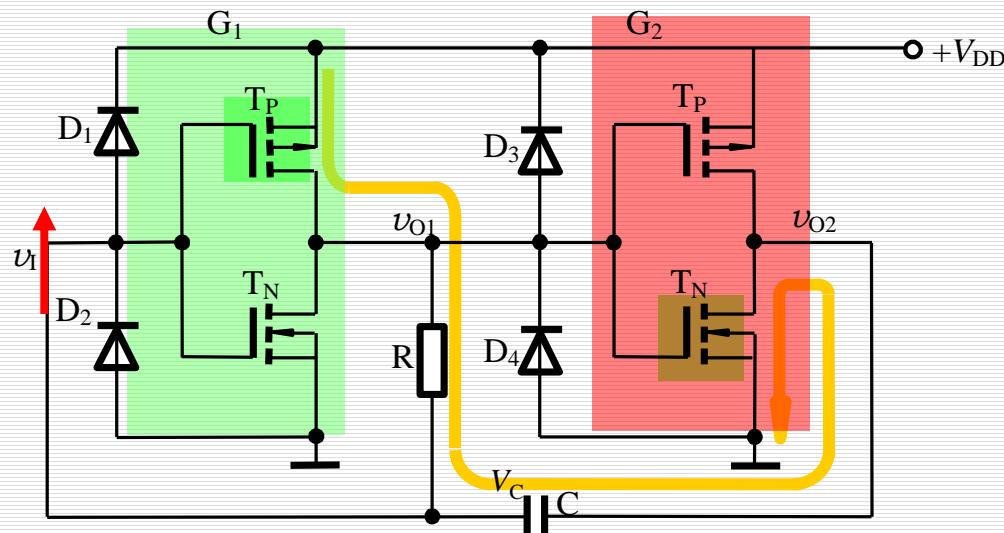
$v_C \uparrow \longrightarrow v_I \uparrow \longrightarrow$ 当 $v_I = V_{th}$ 时,



迅速使 G_1 导通、

G_2 截止,

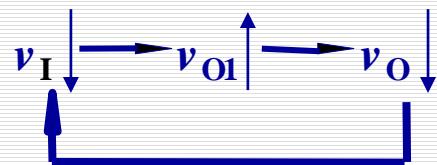
$v_{O1} = 0 \quad v_{O2} = 1$ 电路进入第二暂态



2. 工作原理

(2) 第二暂稳态电容放电，电路自动翻转到第一暂稳态

电容放电 $\rightarrow v_C \downarrow \rightarrow v_I \downarrow \rightarrow$ 当 $v_I = V_{th}$ 时, \rightarrow

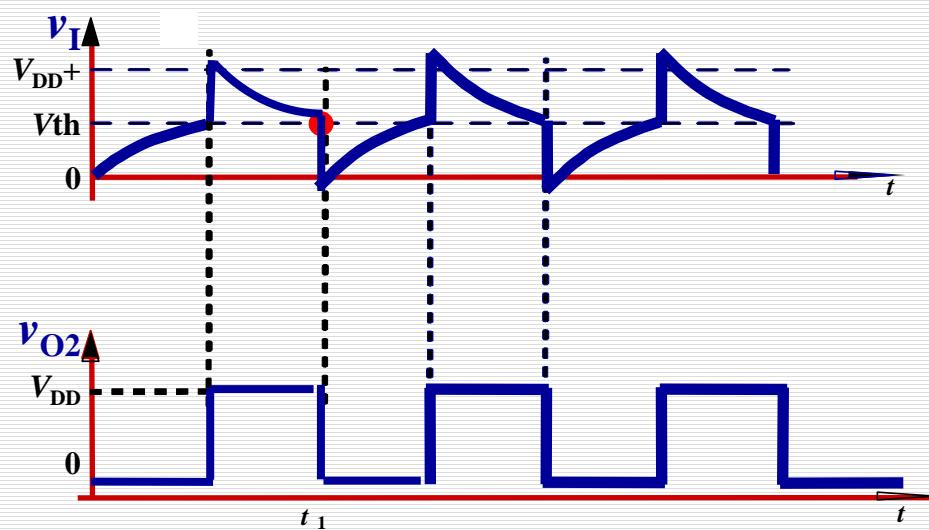
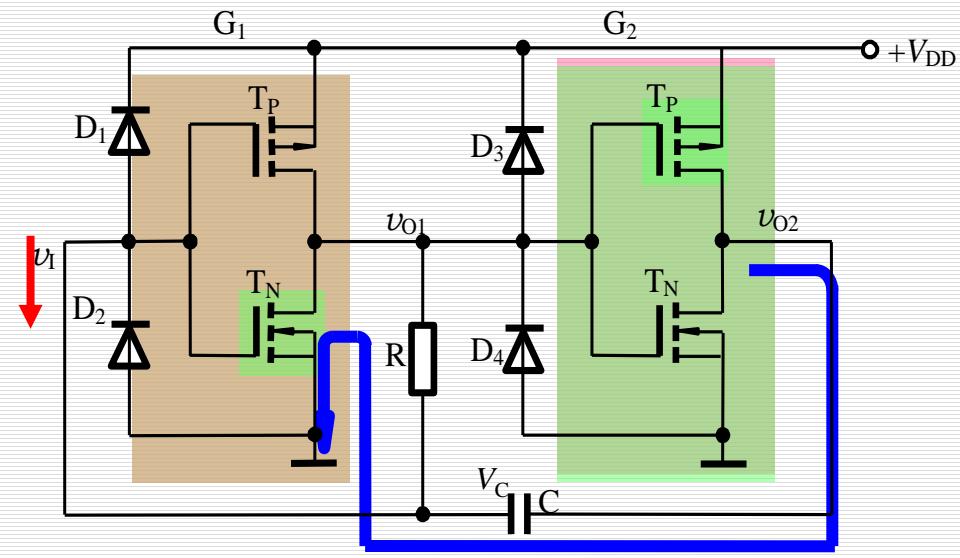


$$v_{O1} = 1 \quad v_{O2} = 0$$

电路返回第一暂稳态

G_1 截止、

G_2 导通,



3. 振荡周期的计算

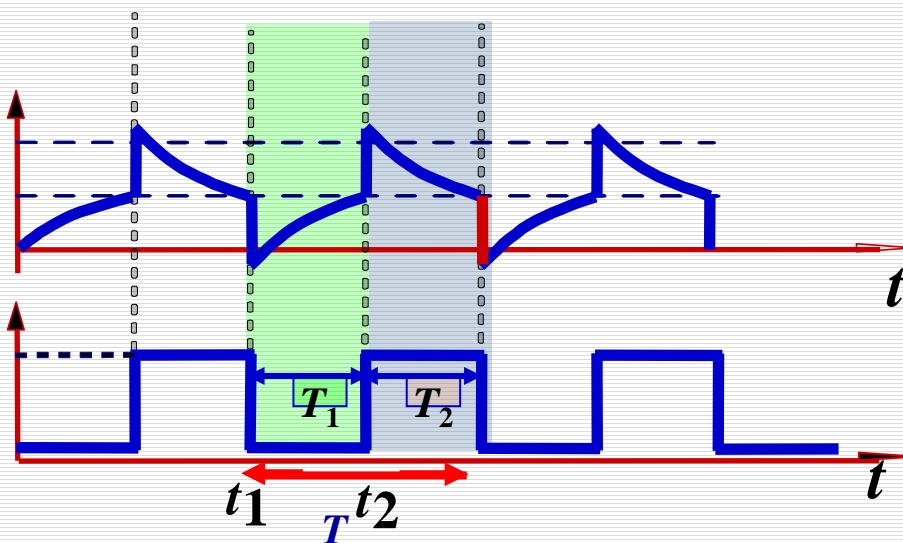
$$v(t) = v(\infty) + \left[v(0^+) - v(\infty) \right] e^{-t/\tau}$$

$$t = \tau \ln \frac{v(0^+) - v(\infty)}{v(t) - v(\infty)}$$

$$T_1 = RC \ln \frac{V_{DD}}{V_{DD} - V_{th}}$$

$$T_2 = RC \ln \frac{V_{DD}}{V_{th}}$$

$$T = T_1 + T_2 = RC \ln \left[\frac{V_{DD}^2}{(V_{DD} - V_{th}) \cdot V_{th}} \right]$$



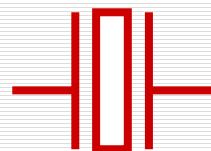
$$T = RC \ln 4 \approx 1.4RC$$

由门电路组成的多谐振荡器的振荡周期T取决于R、C电路和 V_{th} ，频率稳定性较差。

9.3.3 石英晶体振荡器

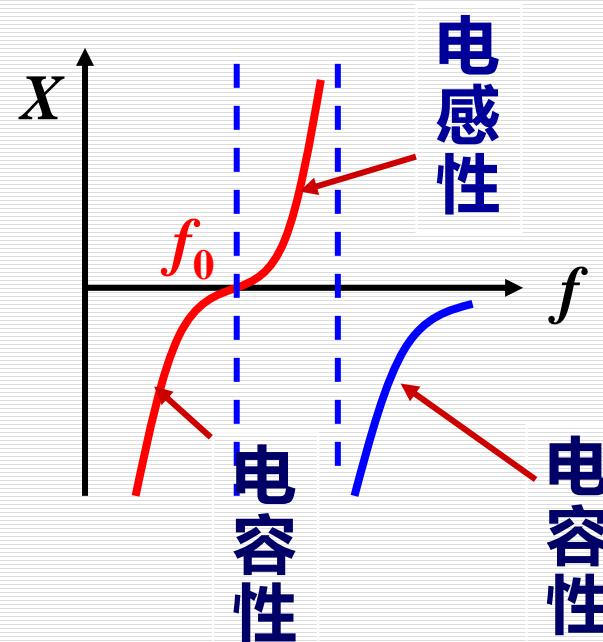
1、石英晶体电路符号和选频特性

电路符号

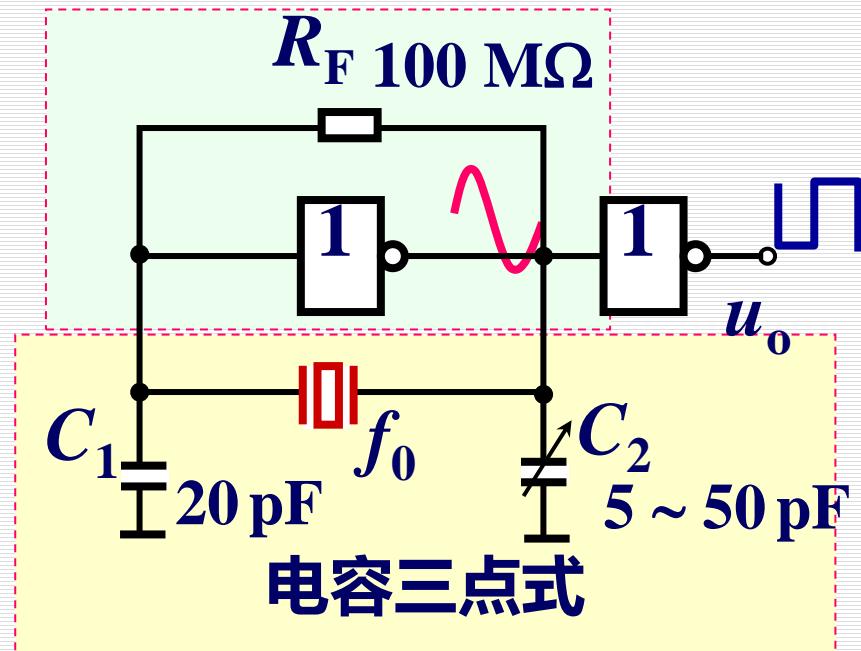


当 $f = f_0$ 时, 电抗 $X = 0$

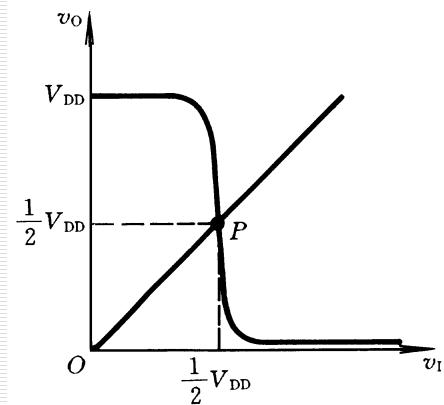
阻抗频率特性



2. CMOS 石英晶体多谐振荡器



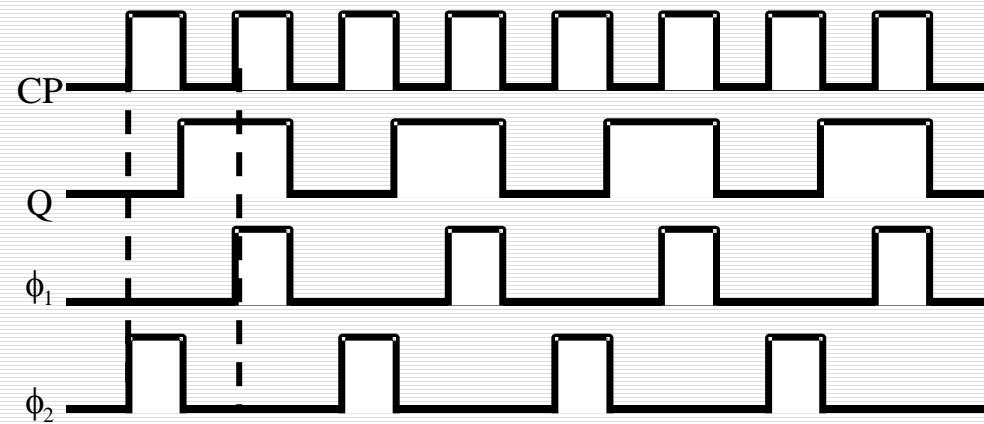
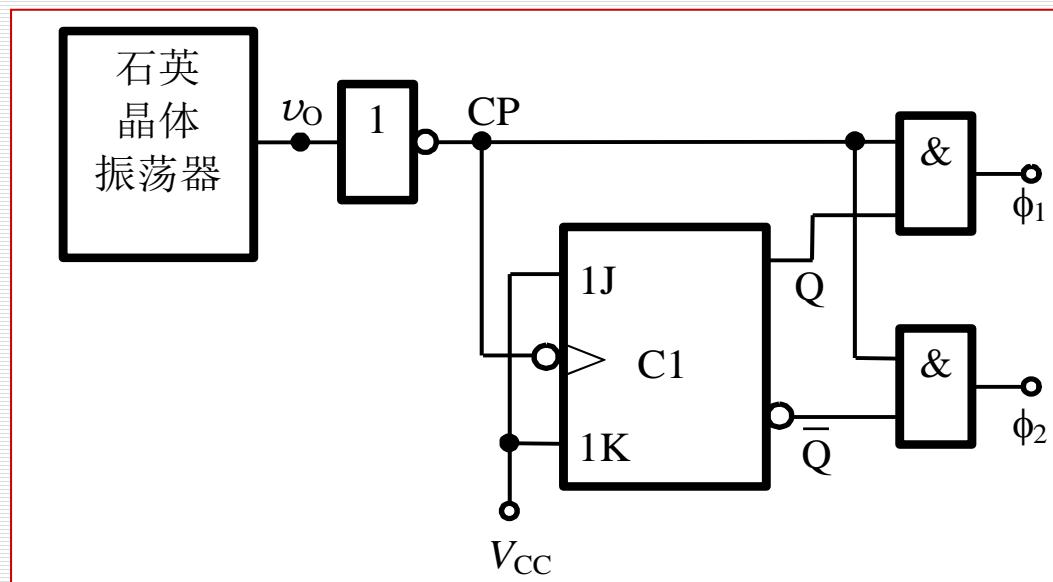
CMOS 反相器静态时
工作在转折区



1. 偏置电阻 R_F , 保证 CMOS 反相器静态工作在转折区 (放大)
2. 石英晶体 $X = 0$, 回路构成正反馈;
3. C_1 、 C_2 为耦合电容, 可不要。

优点: 振荡频率稳定 (稳定度 可达 10^{-10}) 、精度高。

双相脉冲产生电路



9.4 555定时器及其应用

9.4.1 555定时器

9.4.2 用555组成施密特触发器

9.4.3 用555组成单稳态触发器

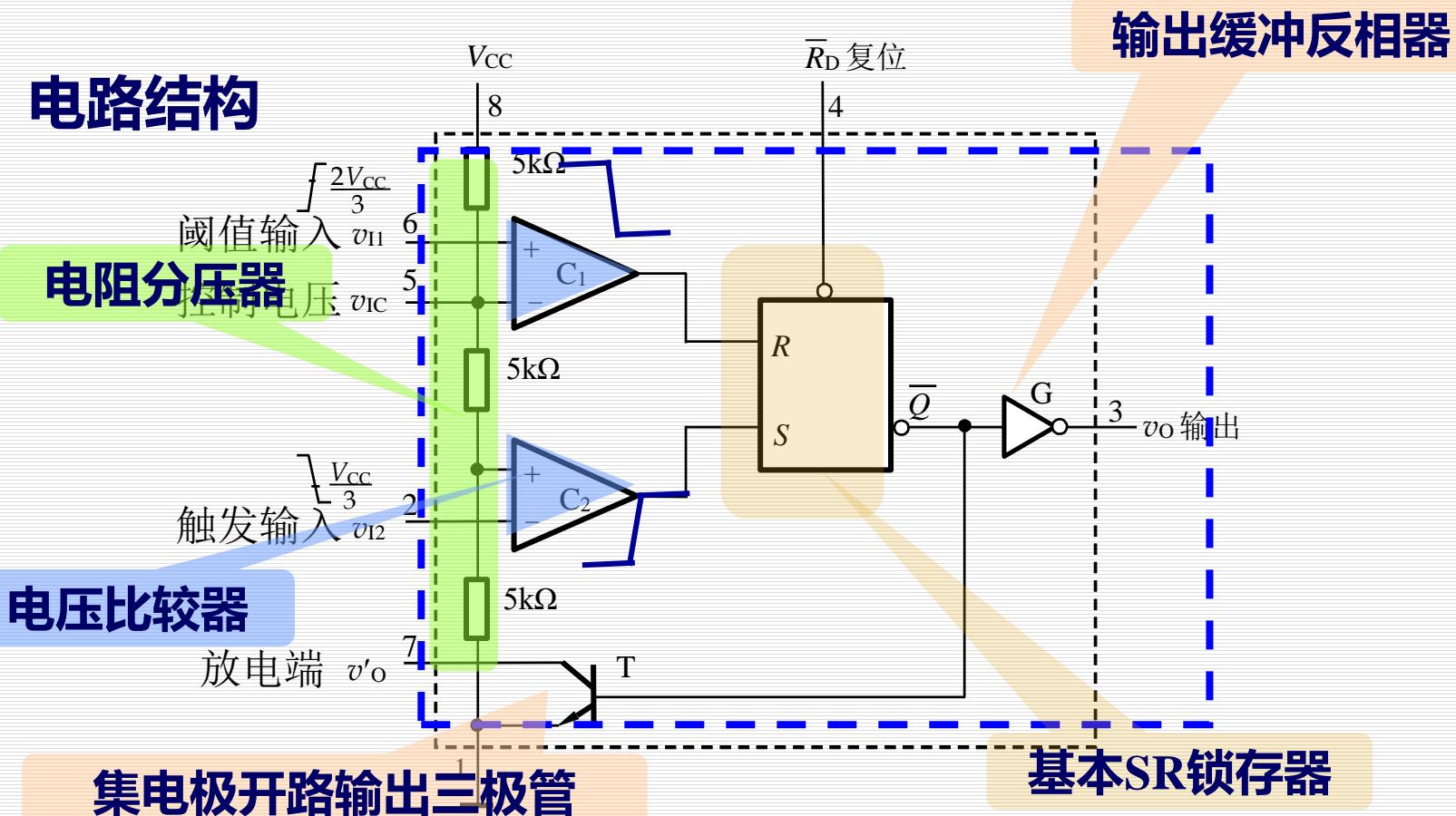
9.4.4 用555组成多谐振荡器

9.4 555定时器及其应用

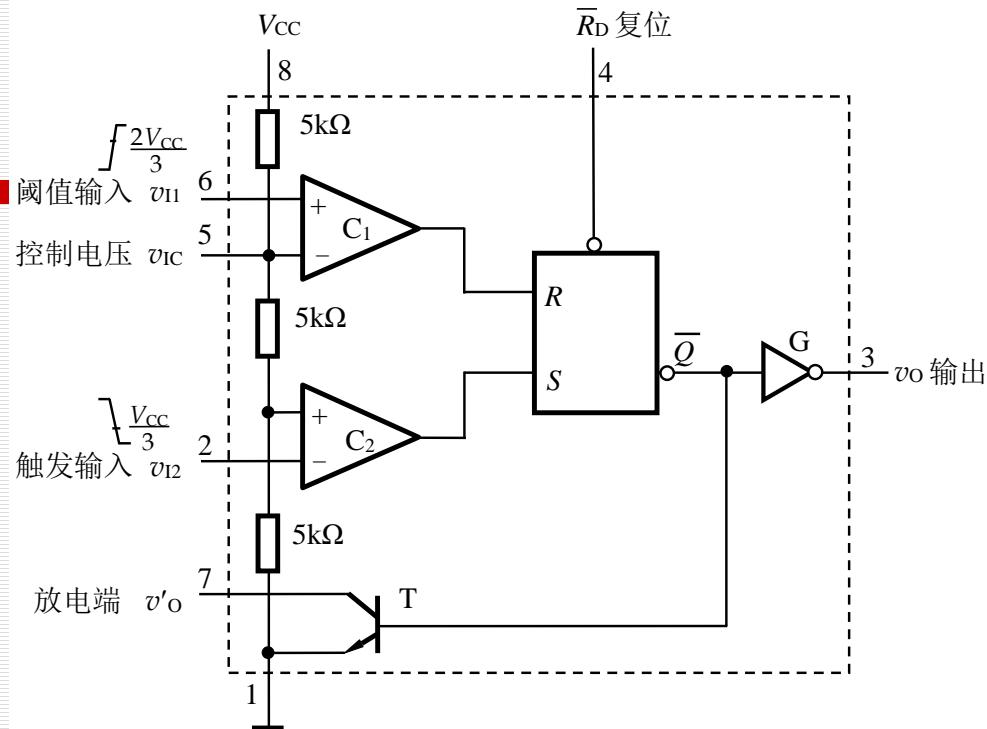
9.4.1 555定时器

555定时器是一种应用方便的中规模集成电路，广泛用于信号的产生、变换、控制与检测。有双极性和CMOS之分。

1、电路结构



2、工作原理

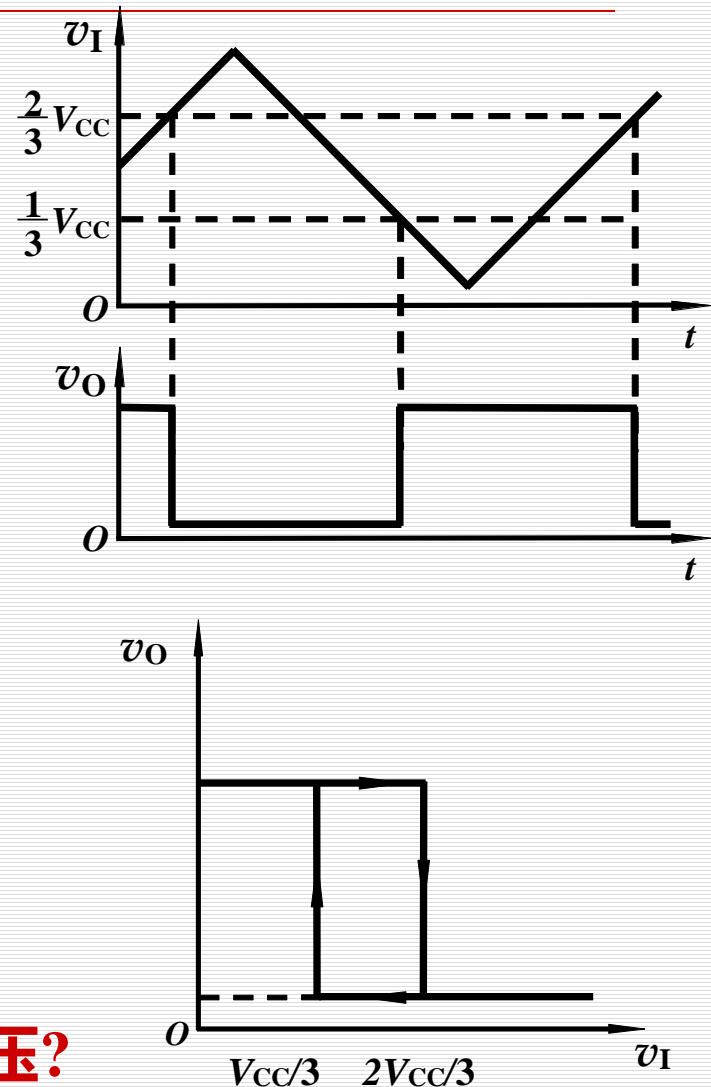
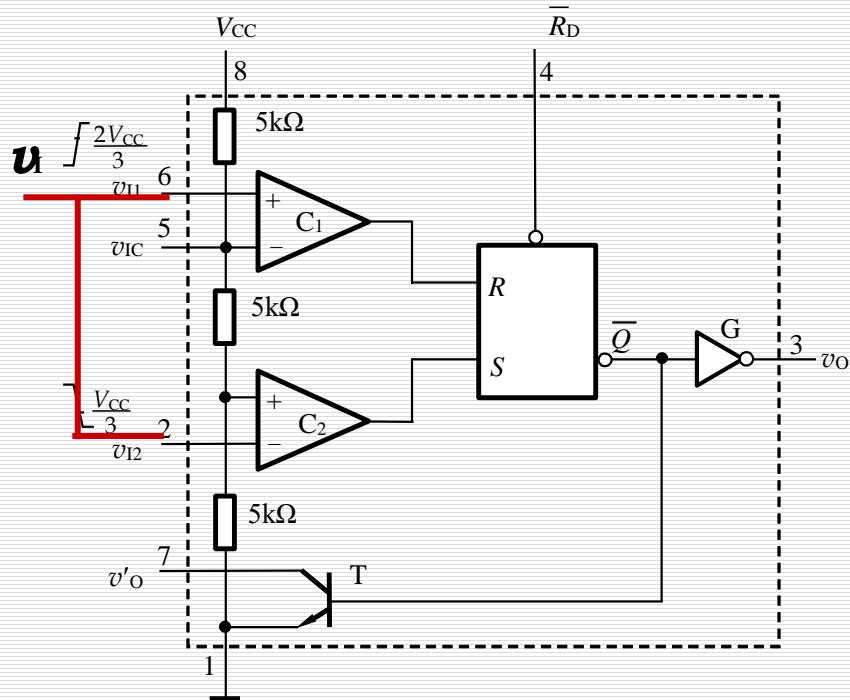


输入			输出	
阈值输入 (V_{I1})	触发输入 (V_{I2})	复位($\overline{R_D}$)	输出 (V_O)	放电管T
×	×	0	0	导通
$< \frac{2}{3}V_{CC}$	$< \frac{1}{3}V_{CC}$	1	1	截止
$> \frac{2}{3}V_{CC}$	$> \frac{1}{3}V_{CC}$	1	0	导通
$< \frac{2}{3}V_{CC}$	$> \frac{1}{3}V_{CC}$	1	不变	不变

3、555定时器功能表

输入			输出	
阈值输入 (V_{IH})	触发输入 (V_{I2})	复位(\bar{R}_D)	输出 (V_O)	放电管 T
×	×	0	0	导通
$< \frac{2}{3}V_{CC}$	$< \frac{1}{3}V_{CC}$	1	1	截止
$> \frac{2}{3}V_{CC}$	$> \frac{1}{3}V_{CC}$	1	0	导通
$< \frac{2}{3}V_{CC}$	$> \frac{1}{3}V_{CC}$	1	不变	不变

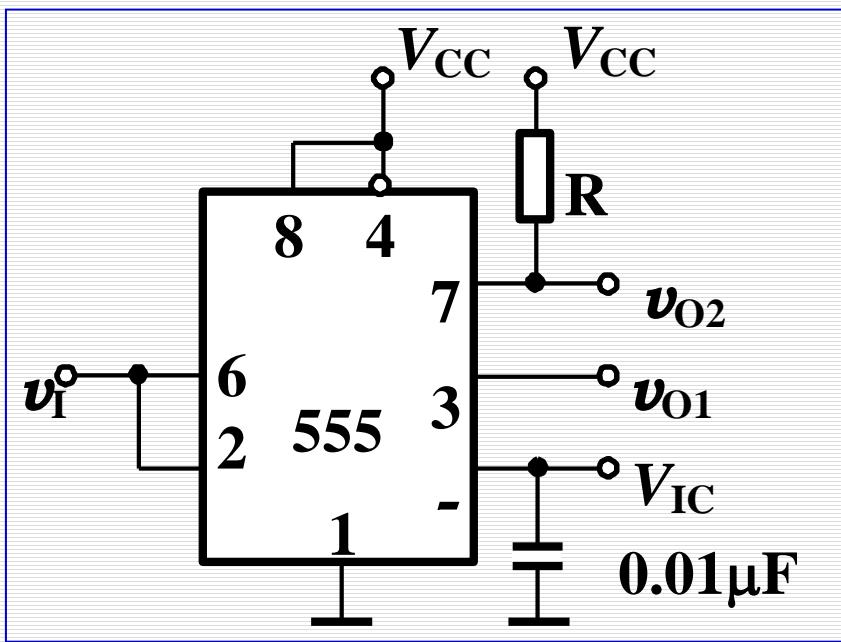
9.4.2 用555组成施密特触发器电路



如何改变电路的阈值电压和回差电压?

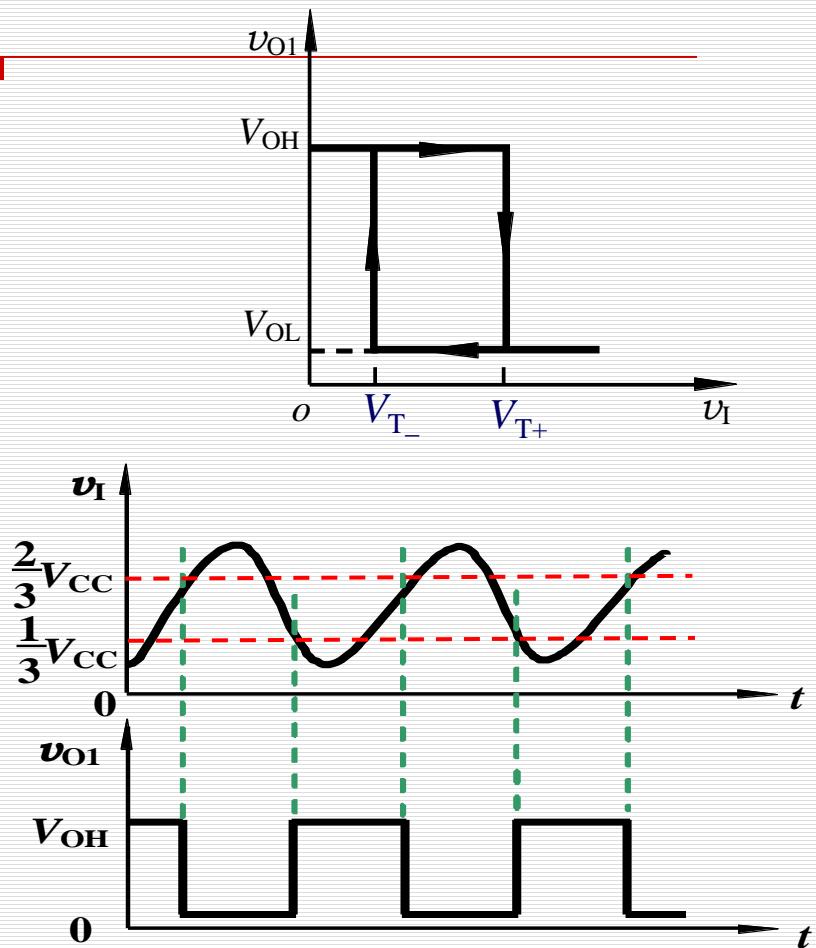
施密特触发器的应用

① 波形变换

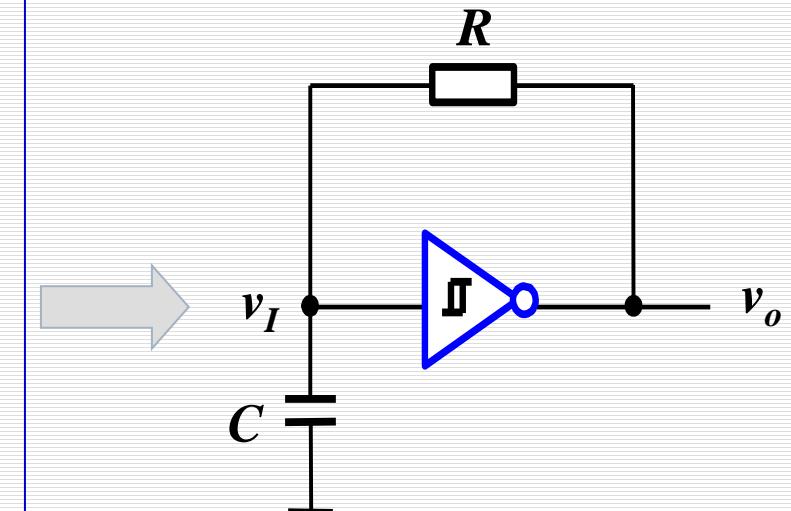
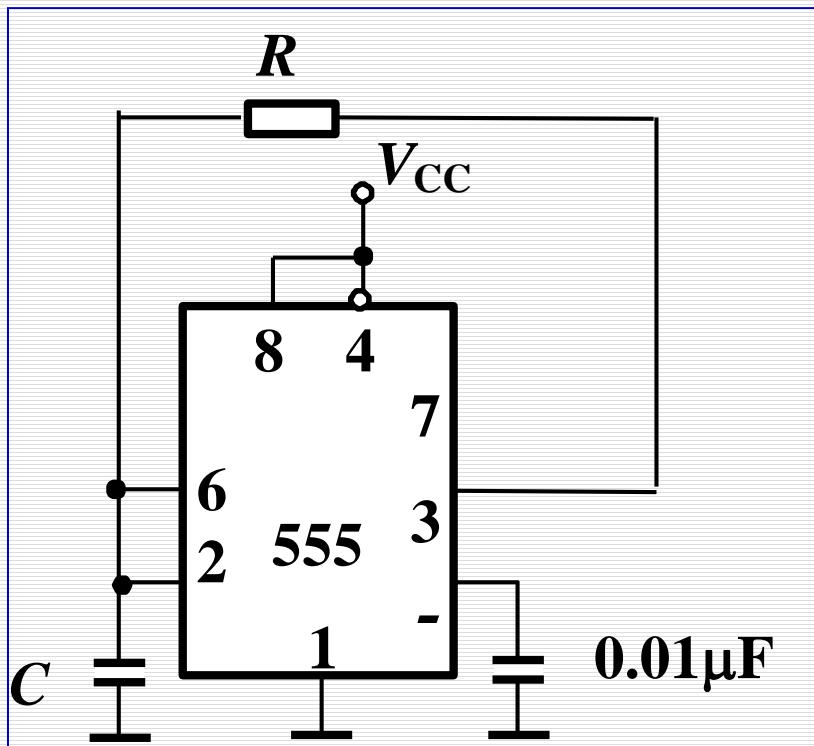


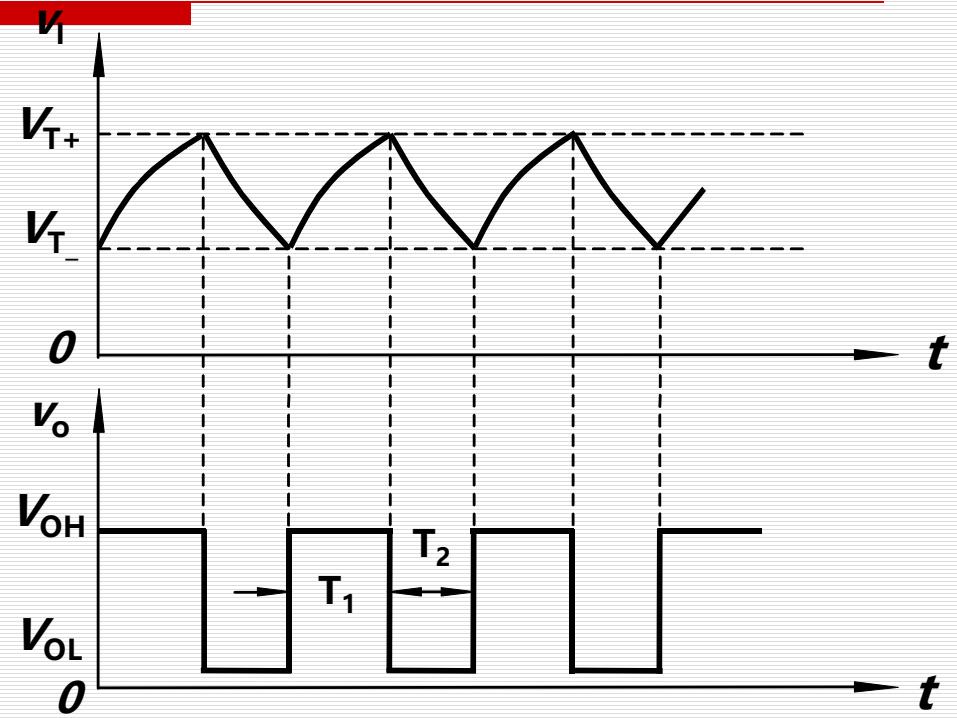
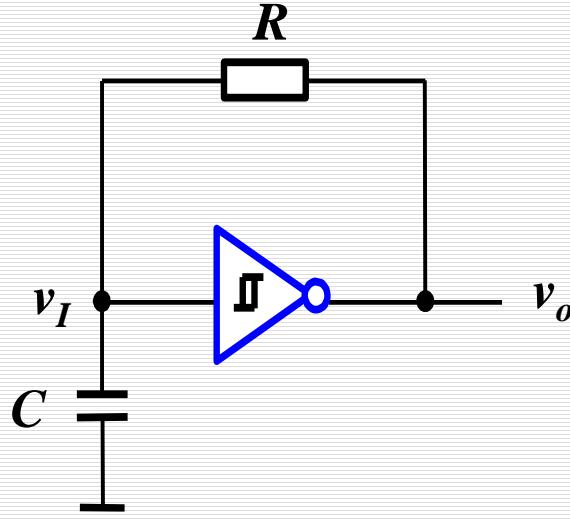
电路的频率可变? 占空比可变?

如何改变占空比? 回差电压减小, 占空比如何变化?



② 波形产生电路(多谐振荡电路)



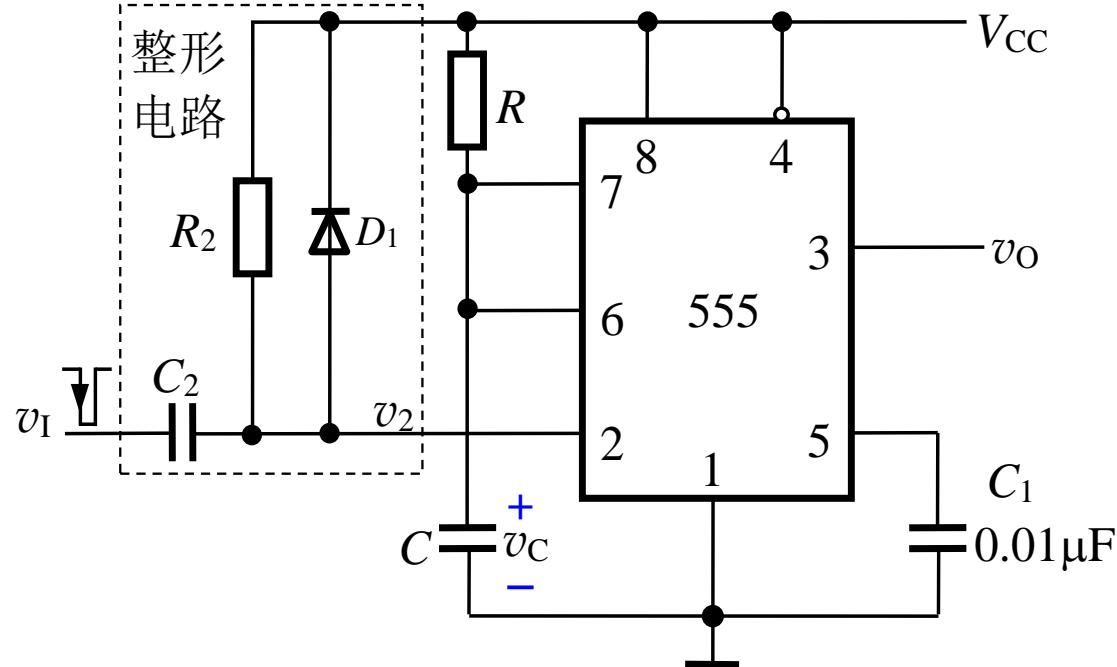


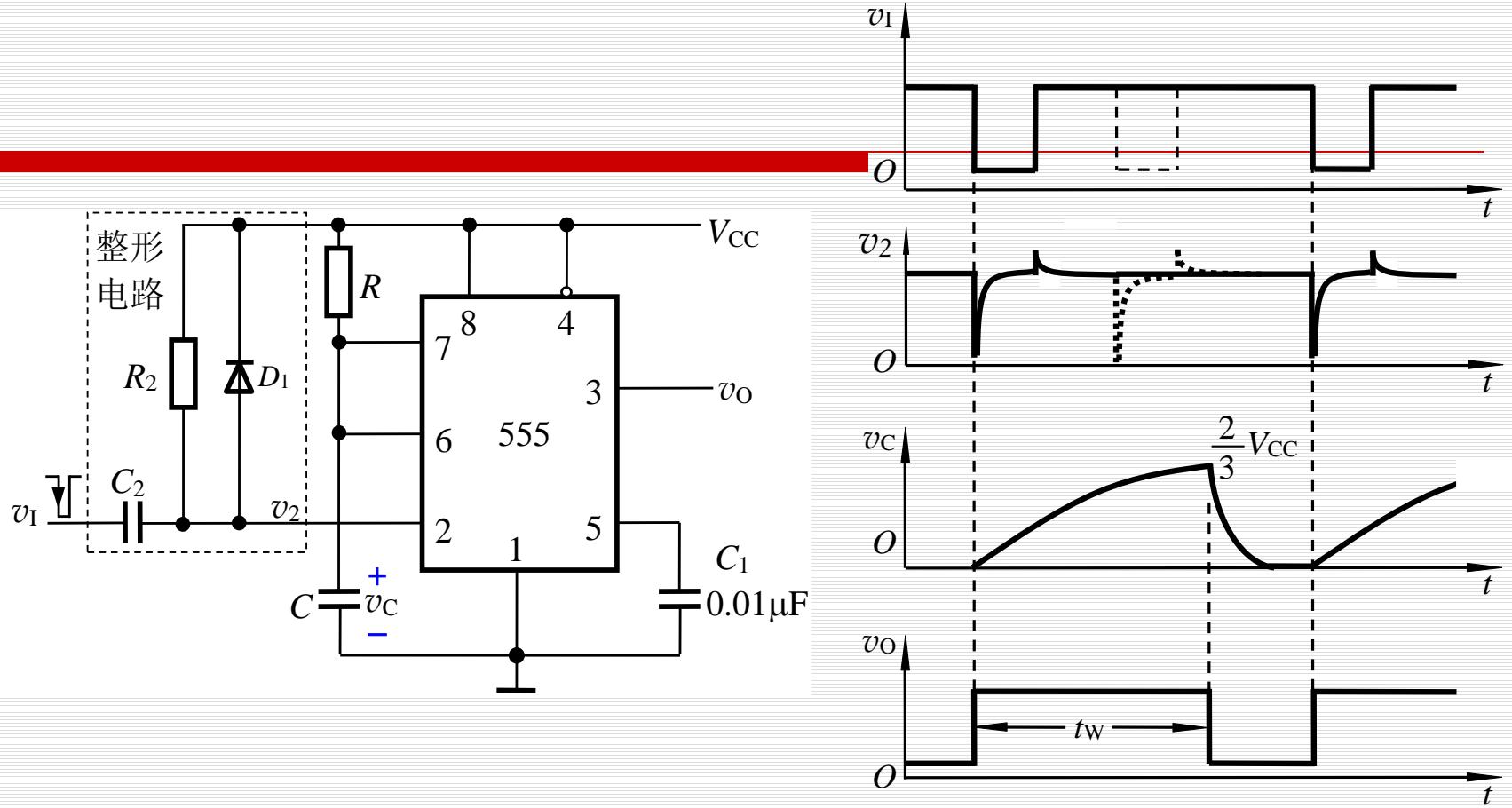
$$T = T_1 + T_2$$

$$= RC \ln \frac{V_{DD} - V_{T-}}{V_{DD} - V_{T+}} + RC \ln \frac{V_{T+}}{V_{T-}} = RC \ln \left(\frac{V_{DD} - V_{T-}}{V_{DD} - V_{T+}} \cdot \frac{V_{T+}}{V_{T-}} \right)$$

9.4.3 用555组成单稳态电路

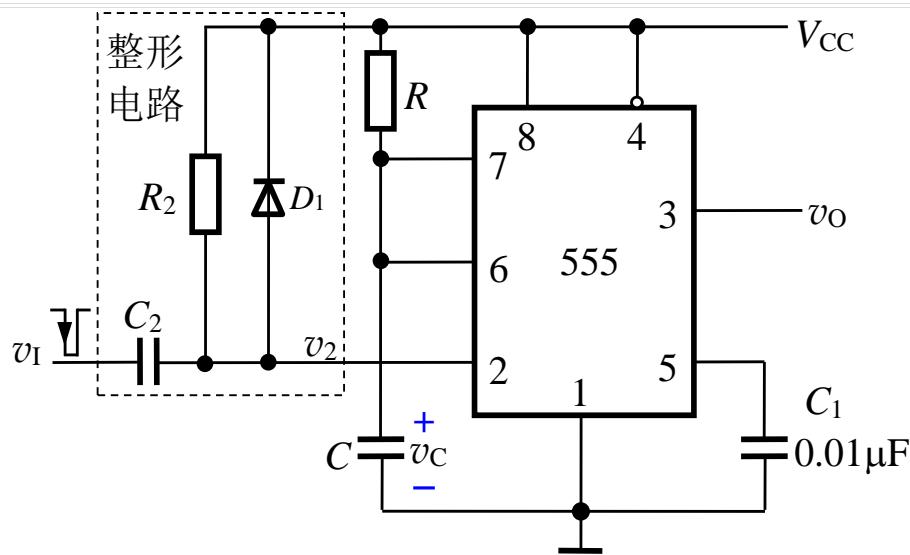
1、电路





- ① 没有触发信号时($v_I > \frac{1}{3}V_{CC}$)电路处于稳态，输出为0
- ② 外加触发信号，电路转换到暂态，输出为1
- ③ 触发信号消除后，电容充电电路自动转换到稳态输出为0

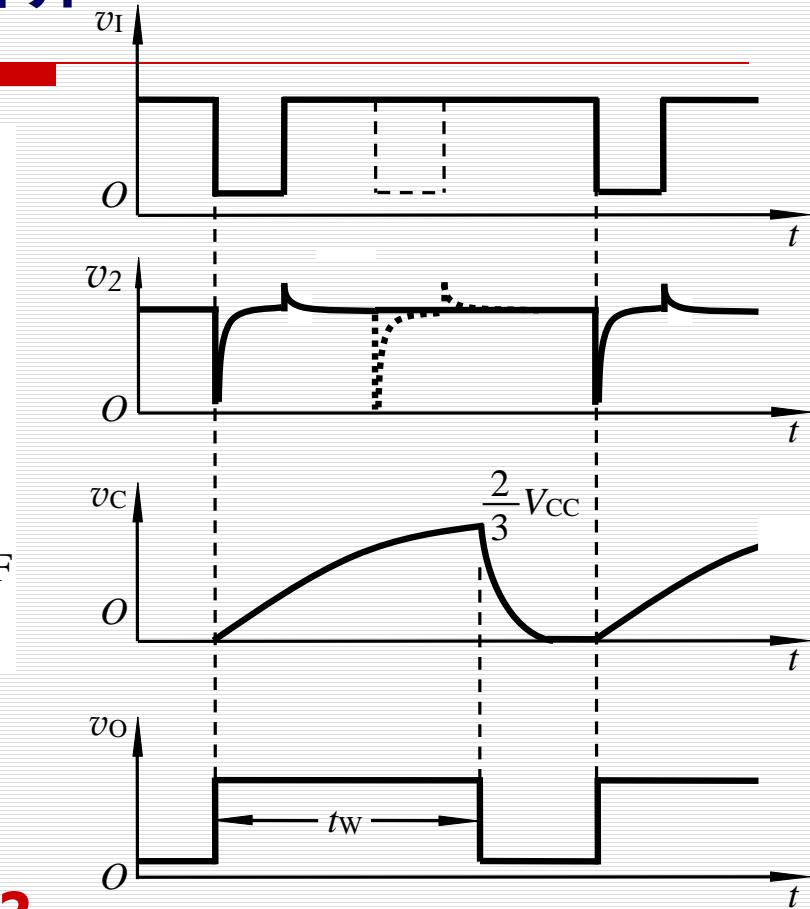
④工作波形及输出脉宽的计算



$$t_w = RC \ln 3 \approx 1.1RC$$

电路是可重复触发的单稳?

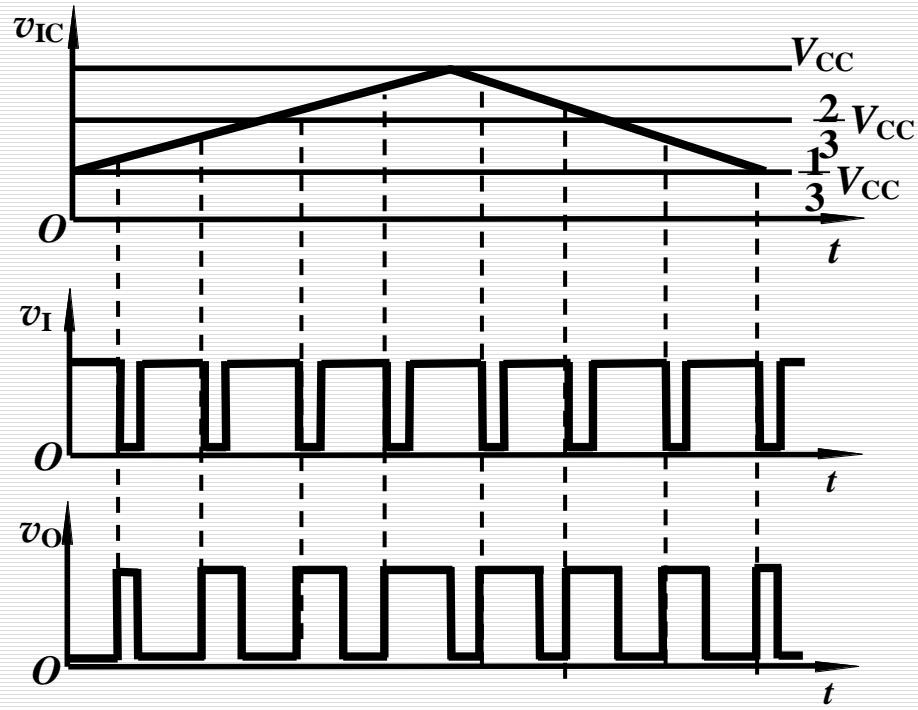
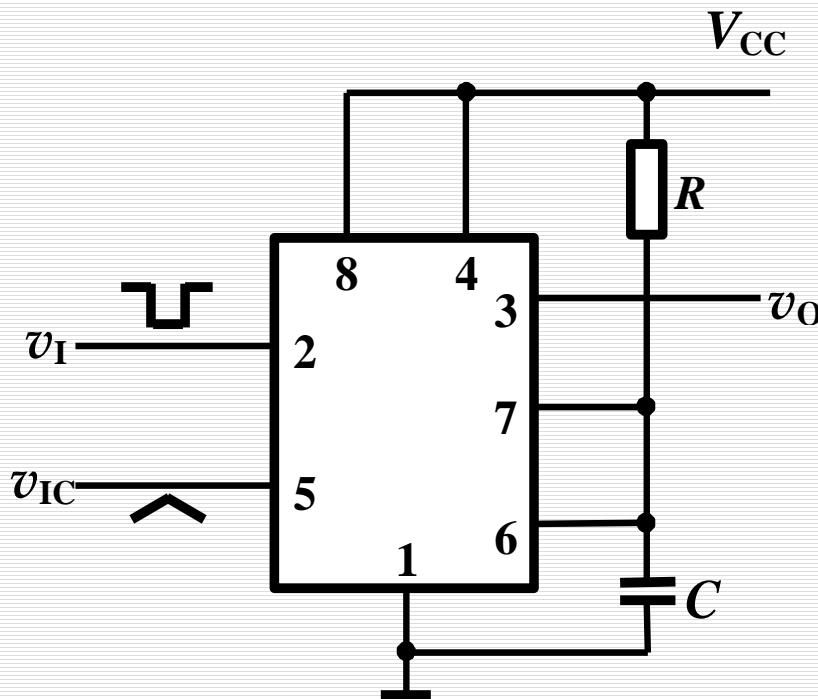
如将5脚接电压V,电路的脉宽会改变吗?V增加,脉宽如何改变?减小?



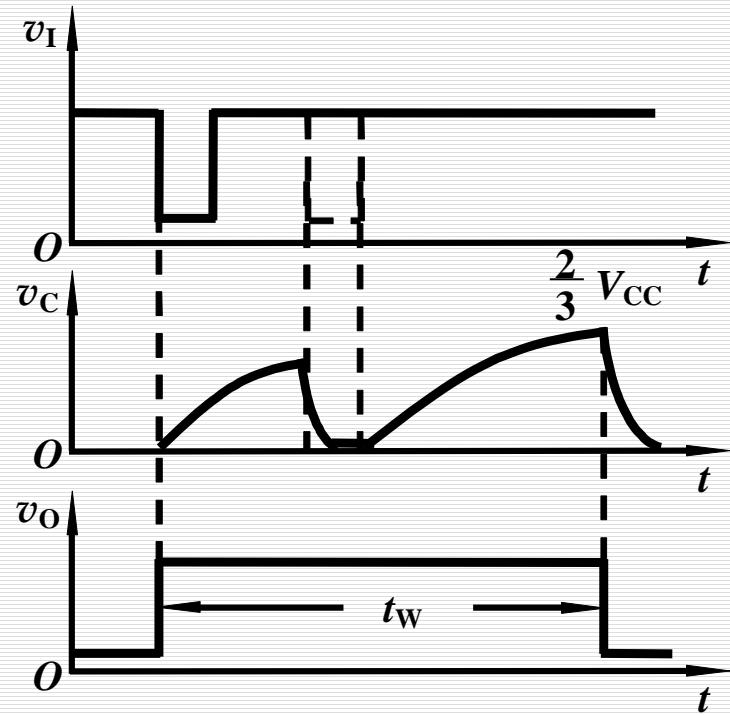
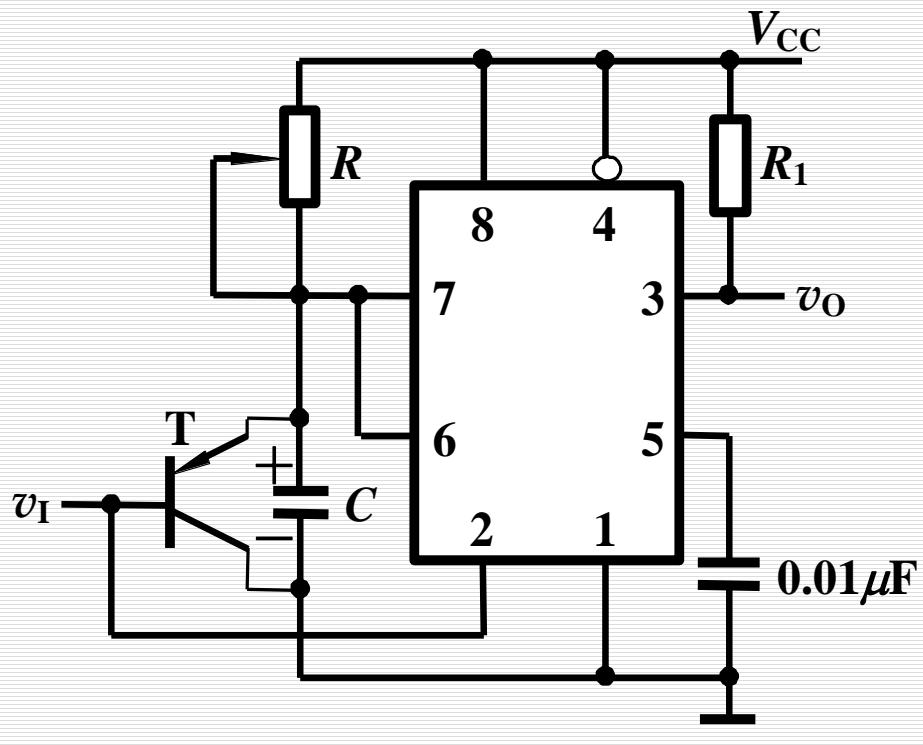
555组成的单稳态的应用:

①脉冲宽度调制器

工作波形

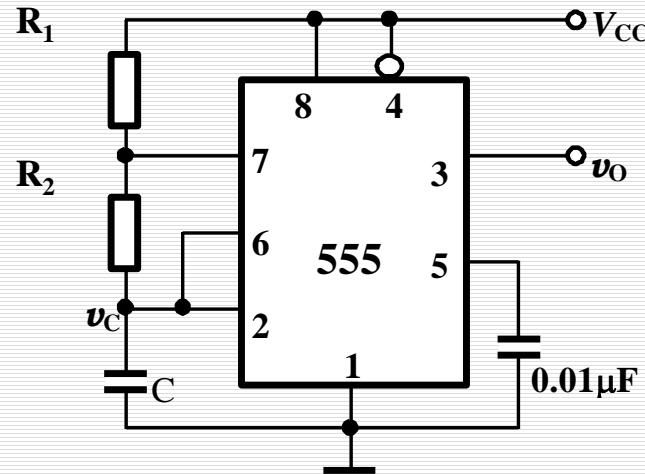


② 用555组成可重复触发单稳



9.4.4 用555组成多谐振荡电路

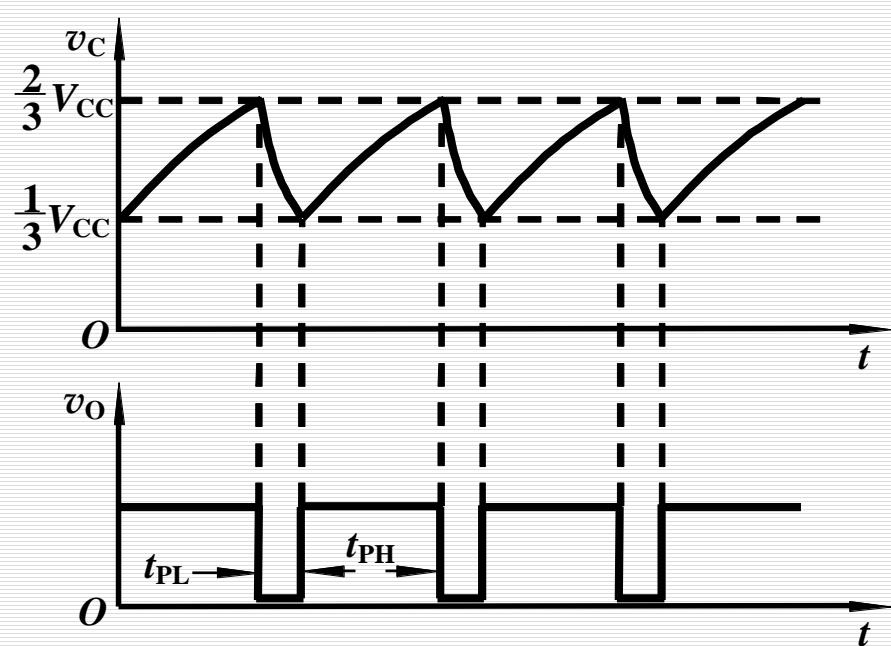
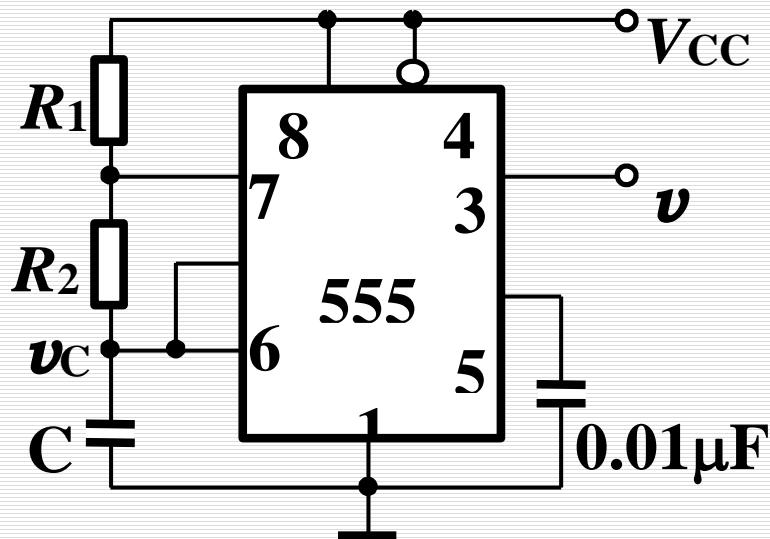
1、电路组成



2、工作原理

- 1) 电路第一暂态，输出为1。电容充电，电路转换到第二暂态，输出为0
- 2) 电路第二暂稳态，电容放电，电路转换到第一暂态

3、工作波形与振荡频率计算

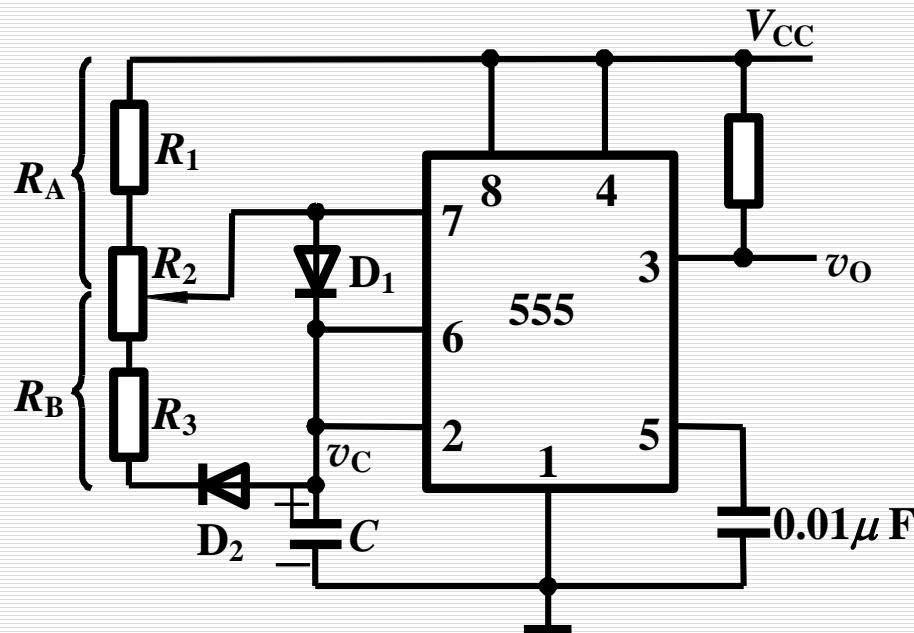


$$t_{PL} = R_2 C \ln 2 \approx 0.7 R_2 C$$

$$f = \frac{1}{t_{PL} + t_{PH}} \approx \frac{1.43}{(R_1 + 2R_2)C}$$

$$t_{PH} = (R_1 + R_2) C \ln 2 \approx 0.7(R_1 + R_2)C$$

4、用555定时器组成占空比可的调多谐振荡器



$$t_{pH} = R_A C \ln 2 \approx 0.7 R_A C$$

$$t_{pL} = R_B C \ln 2 \approx 0.7 R_B C$$

$$f = \frac{1}{t_{pH} + t_{pL}} \approx \frac{1.43}{(R_A + R_B)C}$$

$$q(\%) = \frac{R_A}{R_A + R_B} \times 100\%$$