

第 7 章 脉冲电路

Pulse Circuits

§ 7.1 555 定时器

§ 7.2 施密特触发器

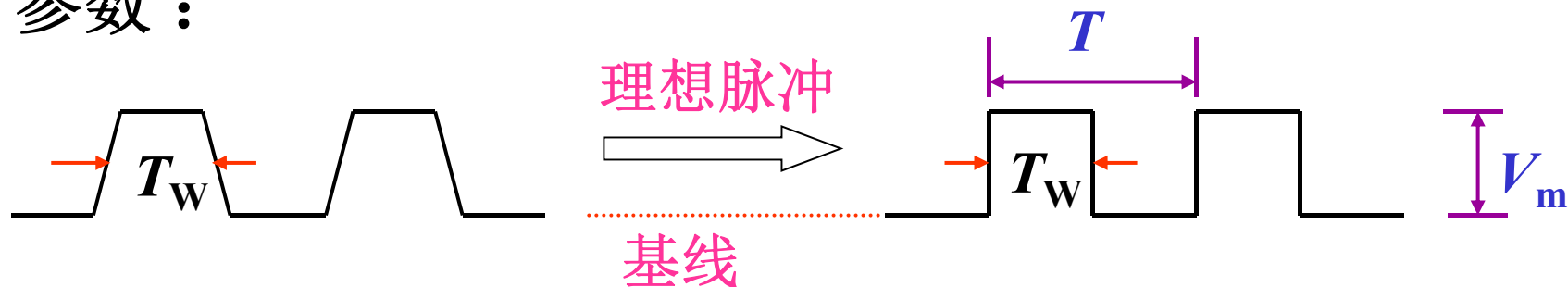
§ 7.3 单稳态触发器

§ 7.4 多谐振荡器

作用在电路中短暂的电压或电流信号叫做脉冲信号

pulse

参数：



脉宽 (T_w): 半高宽 (脉冲最大值一半时的宽度)

幅度 (V_m): 电压变化最大幅度

周期 (T): 两相邻脉冲间间隔

频率 (f): $f = \frac{1}{T}$

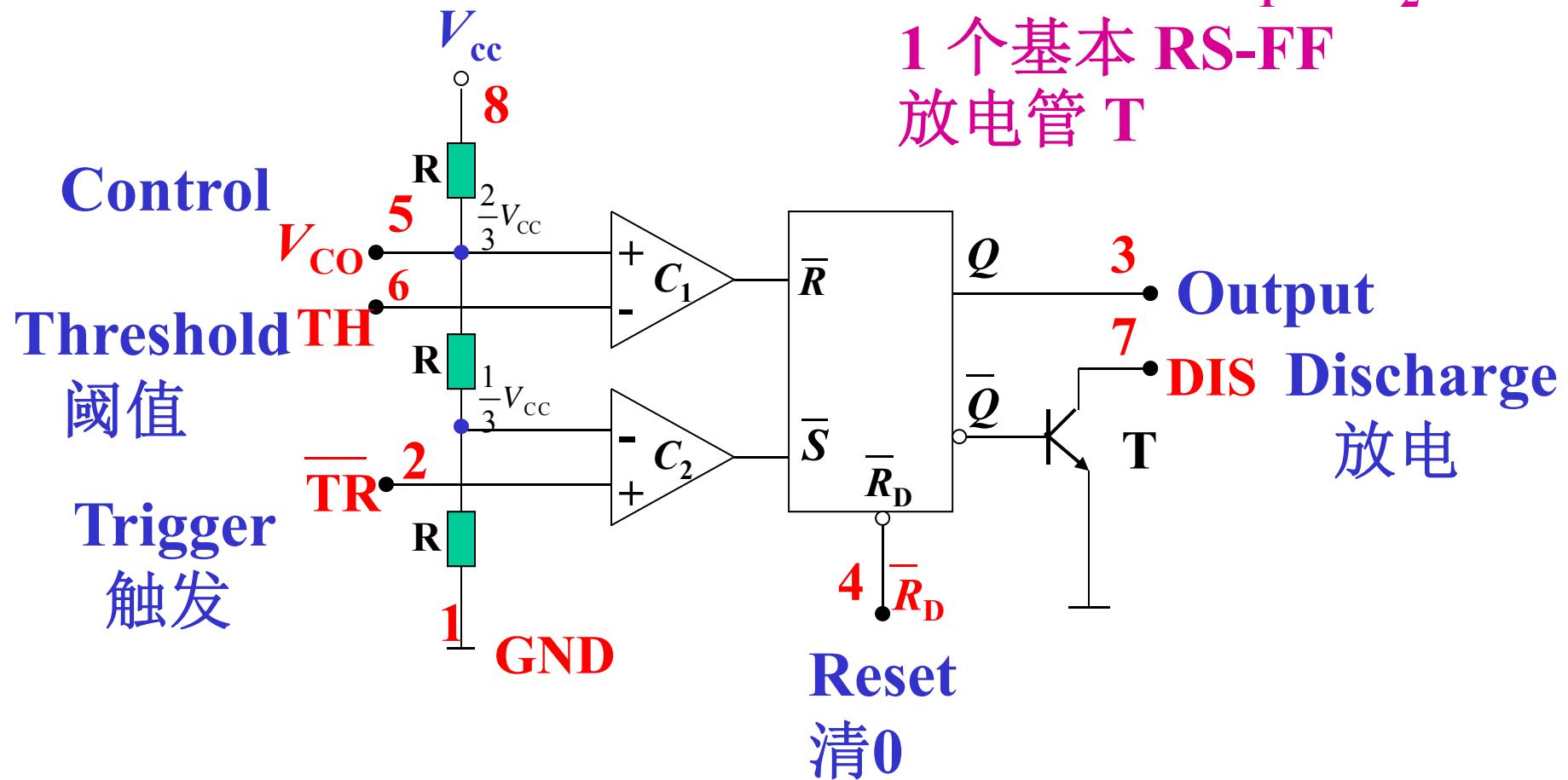
占空比 (q): $q = \frac{T_w}{T}$ 一个脉冲中有效的脉冲比;
高电平占的比例

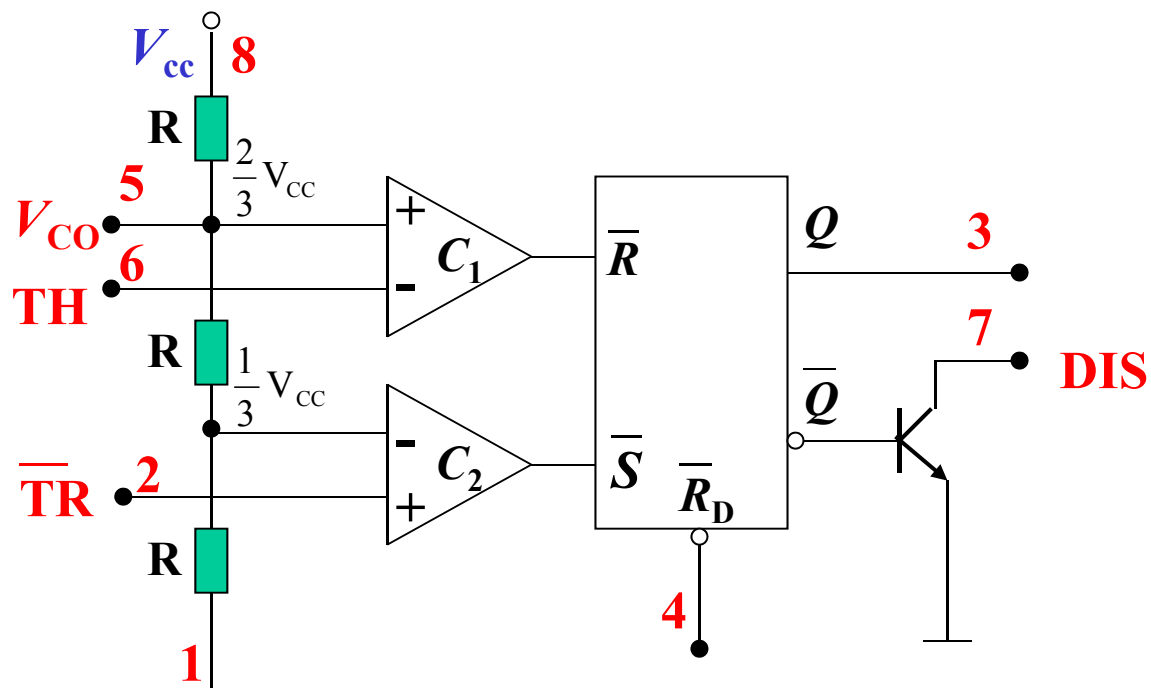
§ 7.1 555定时器

IC 模块

电路

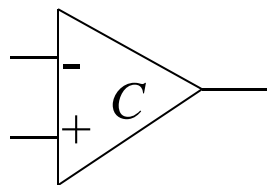
3 个电阻 $R = 5\text{ k}\Omega$
2 个比较器 C_1 、 C_2
1 个基本 RS-FF
放电管 T





与非门基本 RS-FF

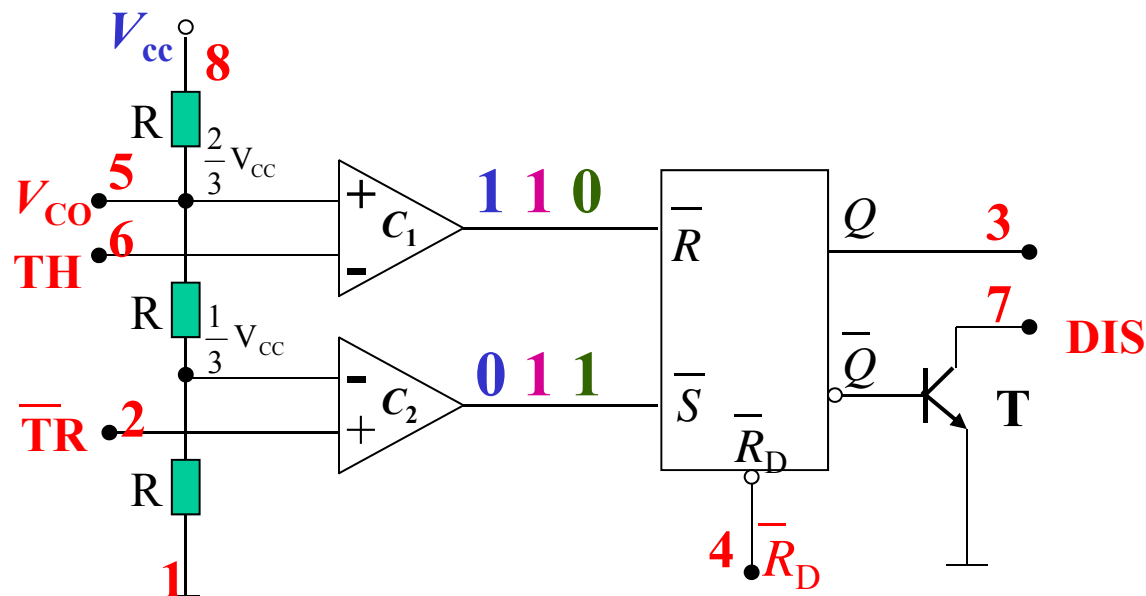
比较器



$+\geq-$ $C=1$

$+<-$ $C=0$

\bar{S}	\bar{R}	Q	\bar{Q}	FF state
0	0	1	1	$\bar{S}\bar{R}$ 0→1不定
0	1	1	0	Set (1)
1	0	0	1	Reset (0)
1	1	保持		No- change



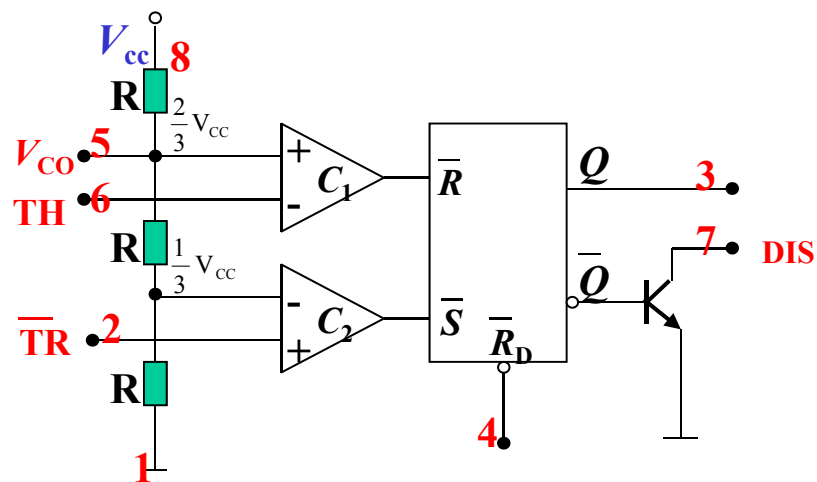
$$\begin{cases} + \geq - & C=1 \\ + < - & C=0 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \bar{S}=\bar{R}=1, & \text{ NC} \\ \bar{S} \neq \bar{R}, & Q=R \end{aligned}$$

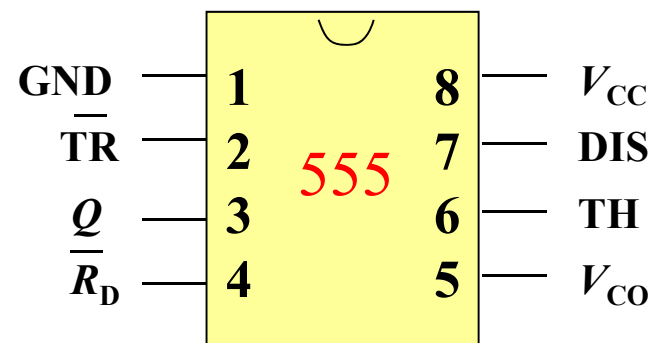
555 定时 器功能

V_{CO} 悬空
不起作用

\bar{R}_D	TH (6)	\bar{TR} (2)	$\bar{R} (C_1)$	$\bar{S} (C_2)$	Q (3)	\bar{Q}	T 状态 (7)
1	$< \frac{2}{3} V_{CC}$	$< \frac{1}{3} V_{CC}$	1	0	1	0	OFF (open)
1	$< \frac{2}{3} V_{CC}$	$> \frac{1}{3} V_{CC}$	1	1	1	NC	NC
1	$> \frac{2}{3} V_{CC}$	$> \frac{1}{3} V_{CC}$	0	1	0	1	ON (GND)
0	Φ	Φ	Φ	Φ	0	1	ON (GND)



555 定时器管脚图



总结

- $$\left\{ \begin{array}{l} \textcircled{1} \quad V_2 < \frac{1}{3}V_{CC}, \quad V_6 < \frac{2}{3}V_{CC}, \quad Q = 1 \quad \overline{Q} = 0 \quad \text{T 截止} \\ \textcircled{2} \quad V_2 > \frac{1}{3}V_{CC}, \quad V_6 > \frac{2}{3}V_{CC}, \quad Q = 0 \quad \overline{Q} = 1 \quad \text{T 导通} \\ \textcircled{3} \quad V_2 > \frac{1}{3}V_{CC}, \quad V_6 < \frac{2}{3}V_{CC}, \quad Q \text{ 保持} \end{array} \right.$$

若用 V_{CO} , $V_6 : V_{CO}$ 为参考电压

$V_2 : \frac{1}{2} V_{CO}$ 为参考电压

§ 7.2 施密特触发器 Schmitt Trigger

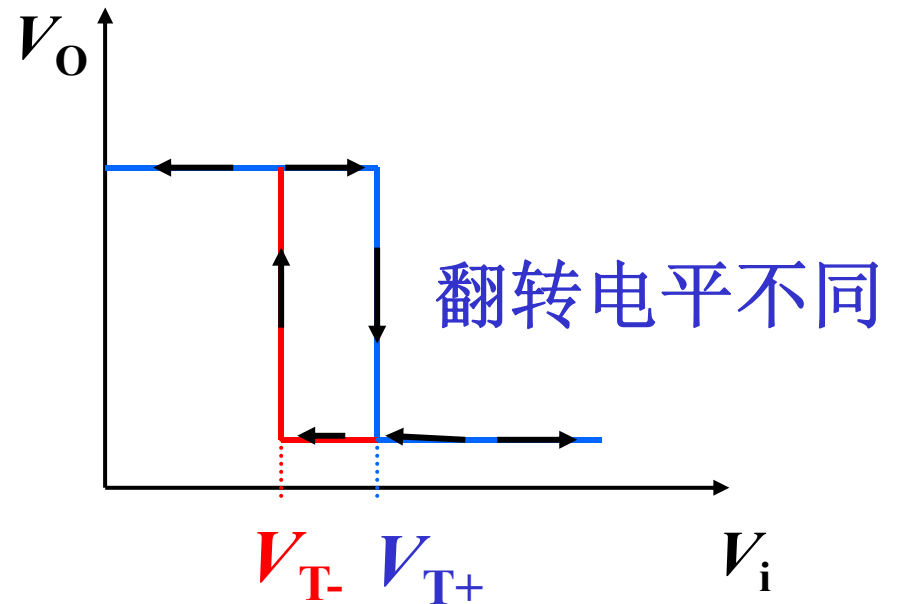
(1) 双稳态

$$\begin{cases} Q = 1, \overline{Q} = \overline{0} \\ Q = 0, \overline{Q} = 1 \end{cases}$$

(2) 滞后

输入电压增大和减小过程中，输出翻转电平不同。

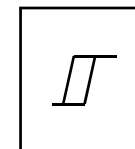
回差
滞后 ΔV



回差电压

$$\Delta V = V_{T+} - V_{T-}$$

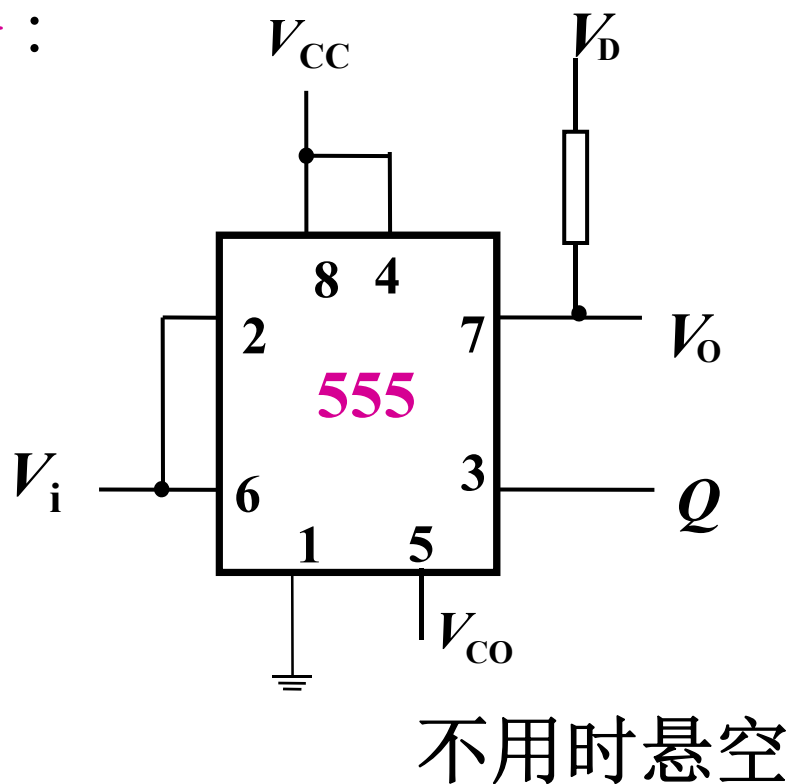
符号



7.2.1 由555定时器构成的施密特触发器

Schmitt Trigger

电路：



波形相同，
幅度可能不同

工作原理 设输入为三角形波形

$$V_i < 1/3 V_{CC}, \quad V_2, V_6 < 1/3 V_{CC}$$

$$Q = 1$$

$$V_i \uparrow, \quad V_2 > 1/3 V_{CC}, \quad V_6 < 2/3 V_{CC}$$

Q 保持

$$V_i \geq 2/3 V_{CC}, \quad V_2, V_6 > 2/3 V_{CC}$$

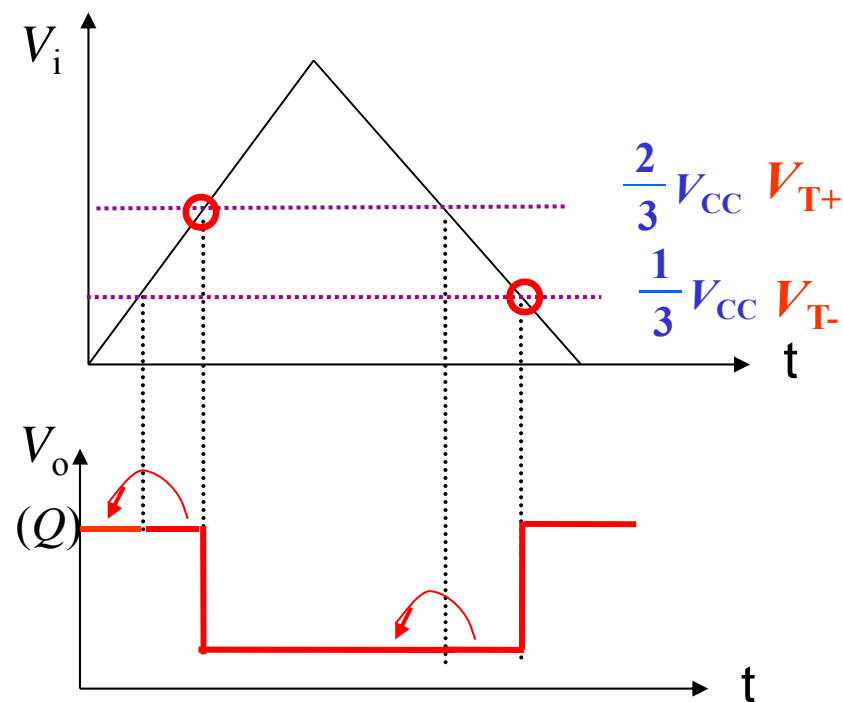
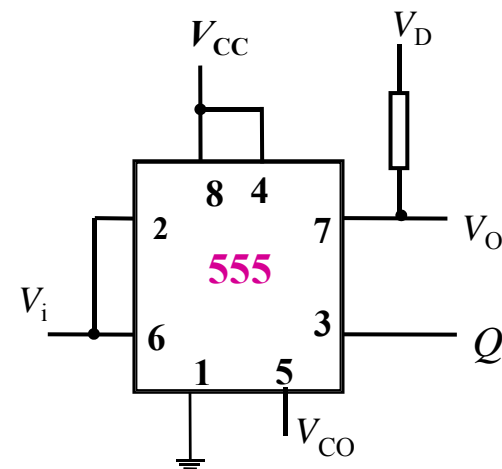
$$Q = 0$$

$$V_i \downarrow, \quad 1/3 V_{CC} \leq V_i \leq 2/3 V_{CC}$$

Q 保持

$$V_i < 1/3 V_{CC}, \quad V_2, V_6 < 1/3 V_{CC},$$

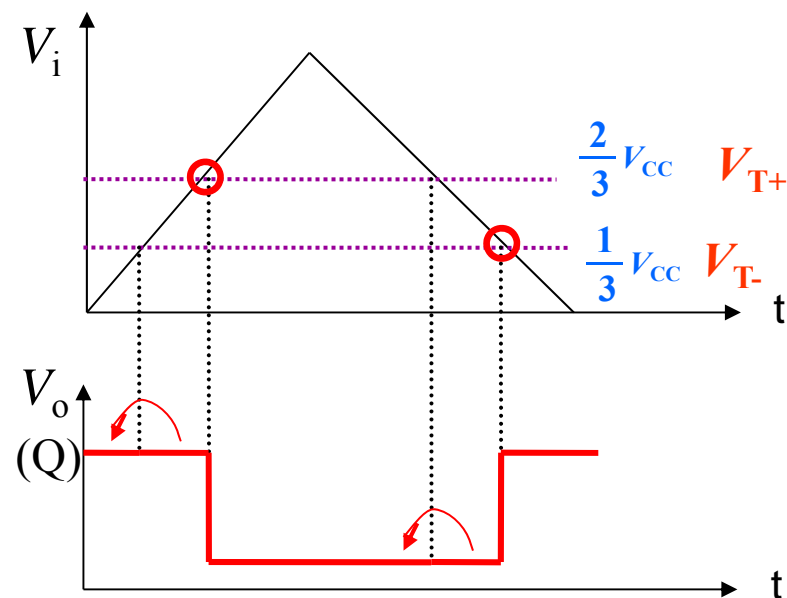
$$Q = 1$$



结果

1) 三角波 \rightarrow 矩形波

2) 滞后



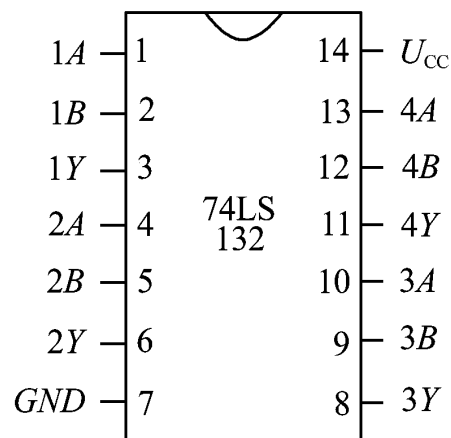
回差电压 $\Delta V = V_{T+} - V_{T-} = \frac{2}{3}V_{cc} - \frac{1}{3}V_{cc} = \frac{1}{3}V_{cc}$

3) 555 定时器分压电阻形成的滞后

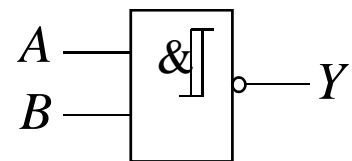
7.2.2 与非门构成的施密特触发器 (略)

7.2.3 集成施密特触发器

74LS132是由4个独立的两输入与非门构成的TTL集成施密特触发器。



管脚图



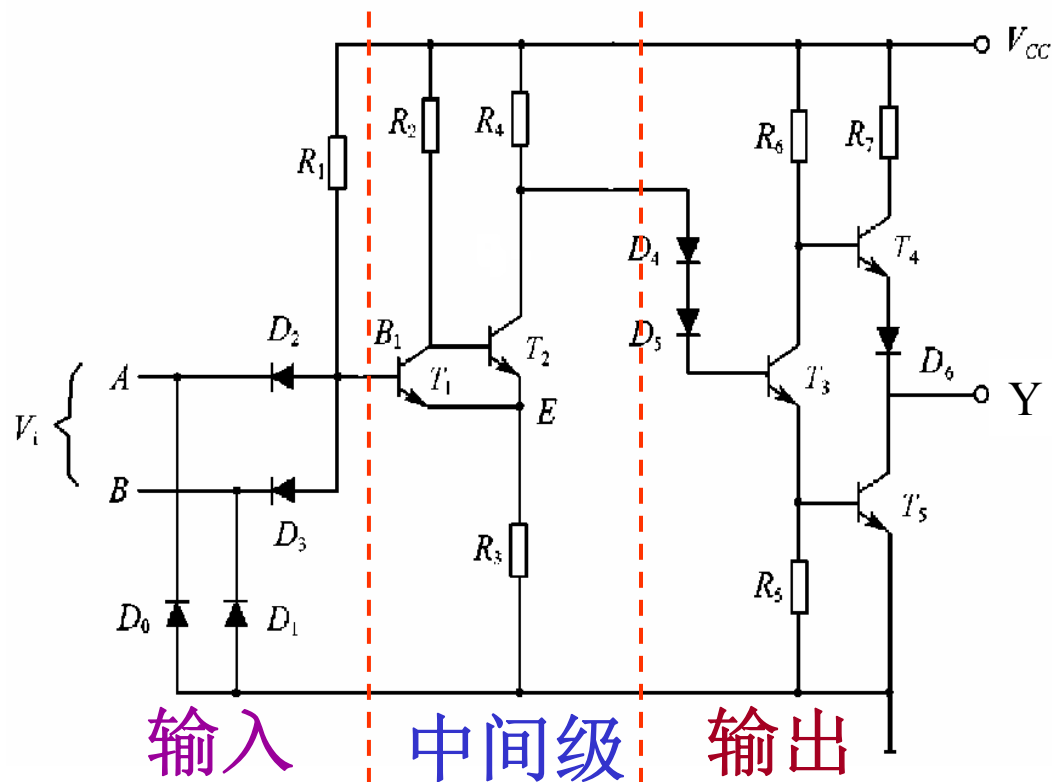
符号

A 或 B 或二者 $< V_{T-}$, $Y = 1$;

只有当 A 和 B 都 $> V_{T+}$, $Y = 0$ 。

逻辑功能 $Y = \overline{AB}$

一个施密特与非门电路



两输入二
极管与门
电路

施密特触
发器（回
差）

逻辑非
功能

电路：

正向阈值

$$V_{T+} = 1.5 \sim 2.0 \text{ V},$$

反向阈值

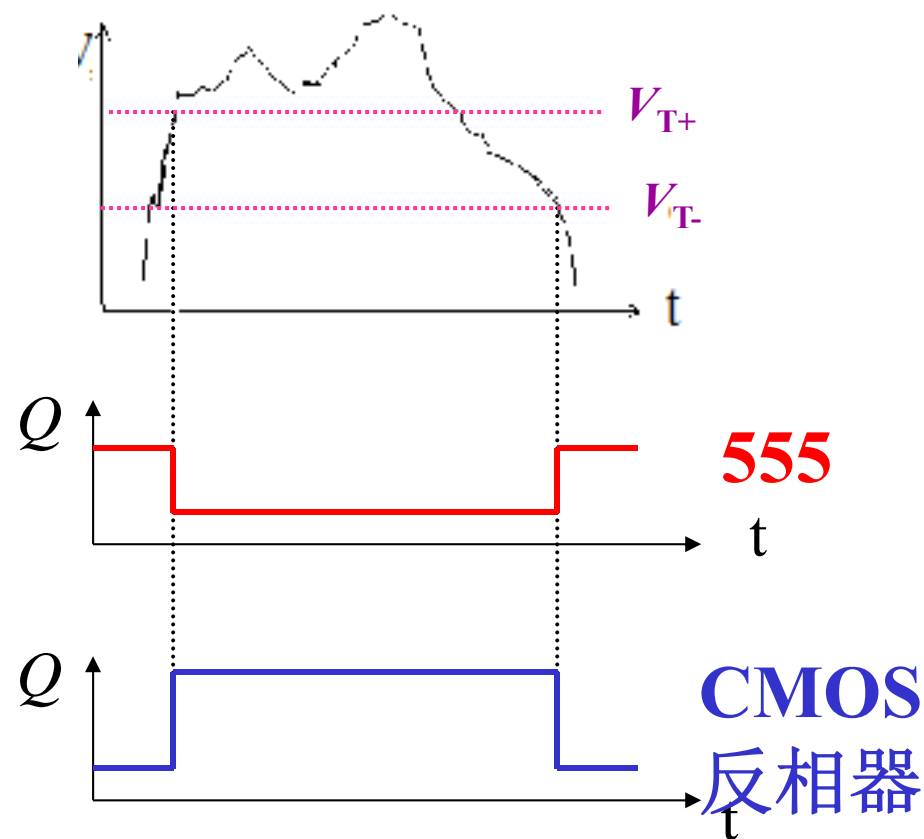
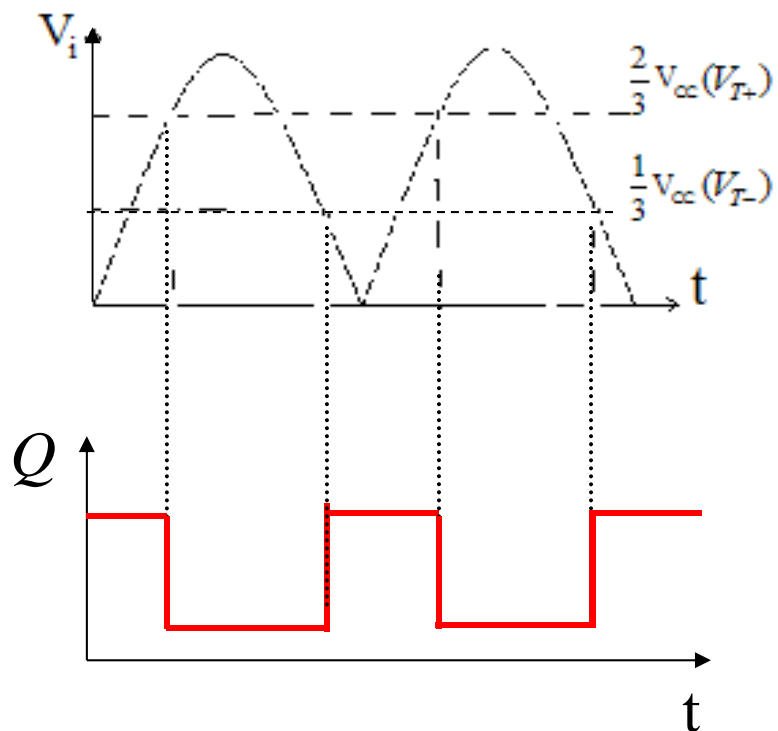
$$V_{T-} = 0.6 \sim 1.1 \text{ V}$$

典型回差电压

$$\Delta V = 0.8 \text{ V}$$

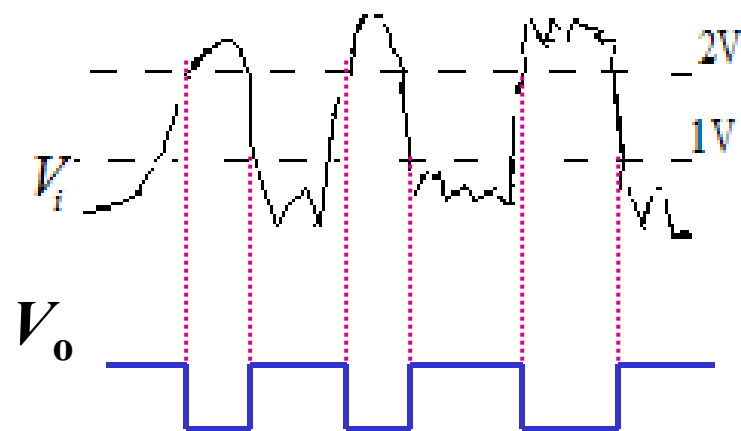
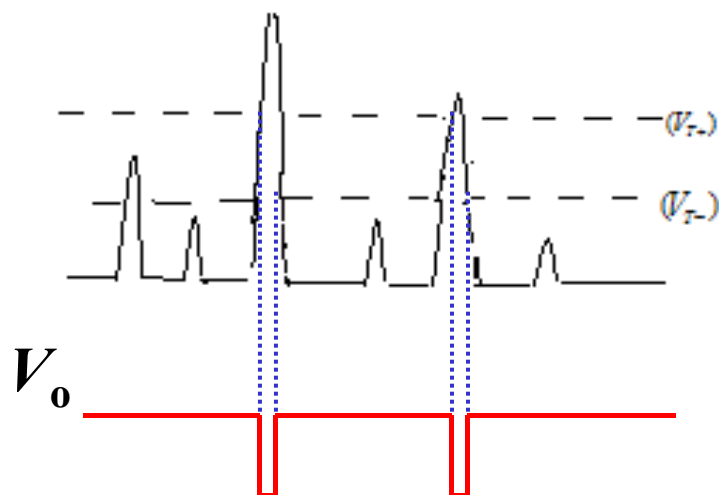
7.2.4 Schmitt 触发器应用

1) 波形转换



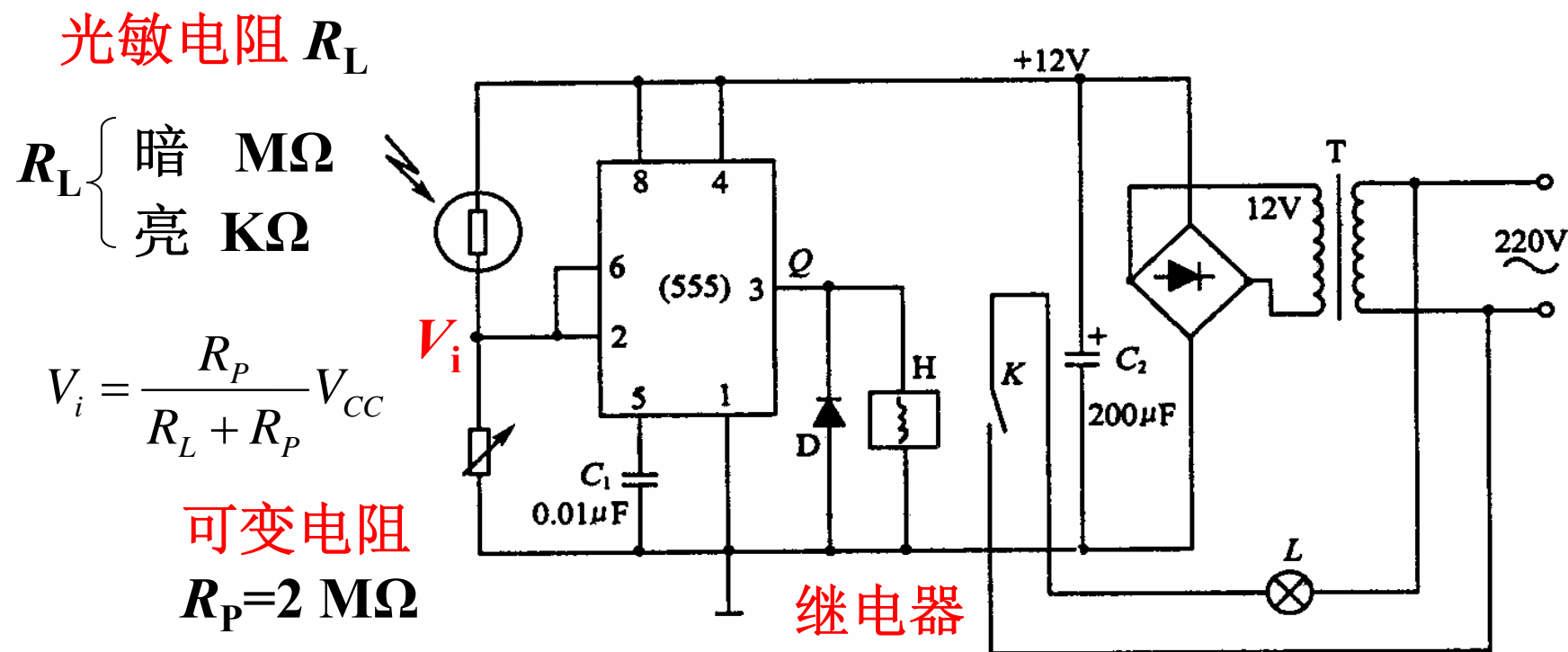
2) 幅度鉴别

用 $V_{CO} : V_{T+} \ V_{T-}$



注：输出信号的振荡幅度是门电路的高(3.6 V), 低(0.1 V)电平，与 V_{T+} ， V_{T-} 无关。

3. 光控路灯开关



工作原理

亮, R_L 小, V_i 大, $V_i > (2/3 V_{CC})$, $Q=0$.

继电器不吸合开关, 路灯不亮;

暗, R_L 大, V_i 小, $V_i < (1/3 V_{CC})$, $Q=1$.

继电器吸合开关, 路灯亮.

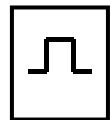
§ 7.3 单稳态触发器

One-Shots (Monostable Multivibrators)

单稳态触发器

- ① 一个稳定状态，一个不稳定状态；
- ② 单稳态触发器通常处于稳定状态，在触发时转到不稳定状态；
- ③ 不稳定状态持续 T_w 时间后，自动回到稳定状态。

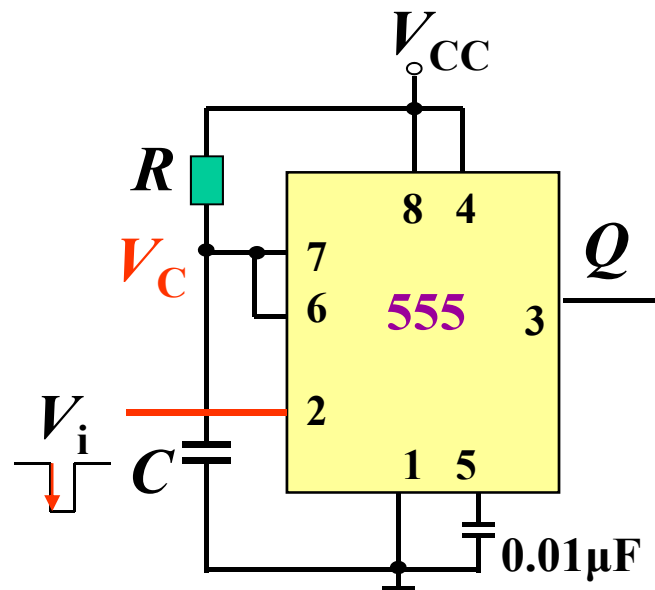
符号



T_w 取决于定时元件

7.3.1 与非门构成的单稳态触发器 （略）

7.3.2 555 定时器构成的单稳态触发器



R, C 定时元件

找电路的稳定状态:

设 $Q=0$, $\bar{Q}=1$,

放电管 T 导通, $7 \rightarrow$ 地

$7, 6 \rightarrow \text{GND}$, ($V_6 < \frac{2}{3} V_{CC}$)

$V_i=1$, ($V_2 > \frac{1}{3} V_{CC}$)

Q 保持, $Q=0$

设 $Q=1$, $\overline{Q}=0$, T 截止, 7 \rightarrow 开

V_{CC} 向 C 充电, V_C 升高,

当 $V_C > \frac{2}{3}V_{CC}$, $Q=0$

$\overline{Q}=1$, 放电管 T 通过

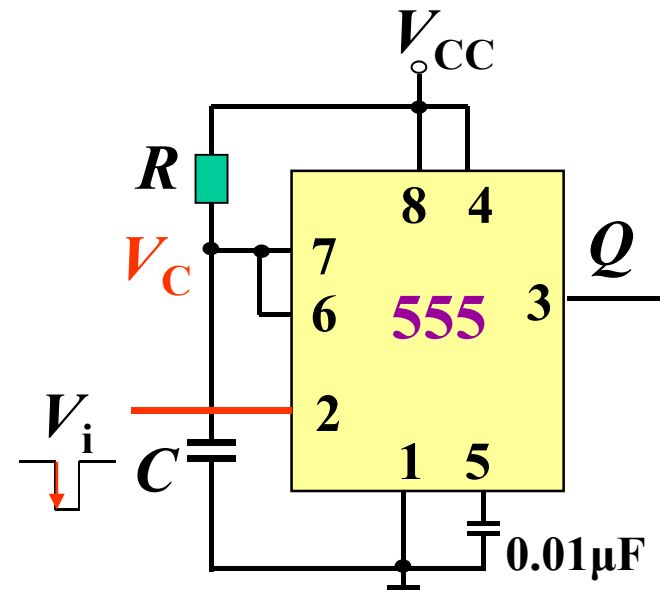
$V_6 < \frac{2}{3}V_{CC}$, $V_2 > \frac{1}{3}V_{CC}$

$Q=0$ 保持

所以, 稳定状态为: $Q=0$

工作原理

触发前, $Q=0$ (T 导通, 6,7 地)



触发瞬间, $V_i < \frac{1}{3} V_{CC}$ $Q=1$

$\bar{Q}=0$, T 截止 (断开), C 充电

充电路径: $V_{CC} \rightarrow R \rightarrow C \rightarrow \text{地}$

时间常数 $\tau_1 = RC$, C 充电, $V_C \uparrow$

当 $V_C > \frac{2}{3} V_{CC}$ ($V_6 > \frac{2}{3} V_{CC}$)

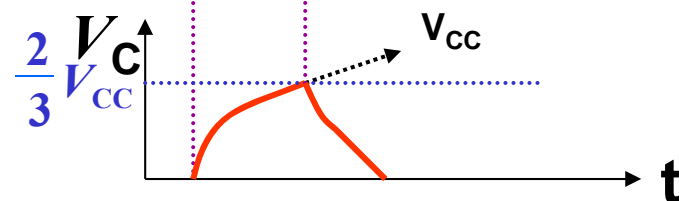
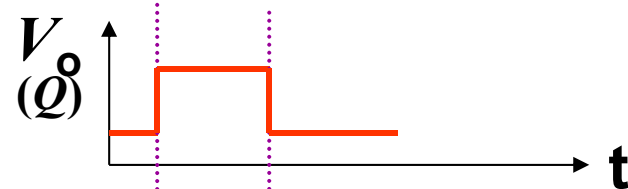
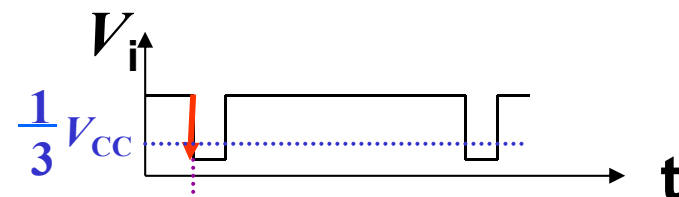
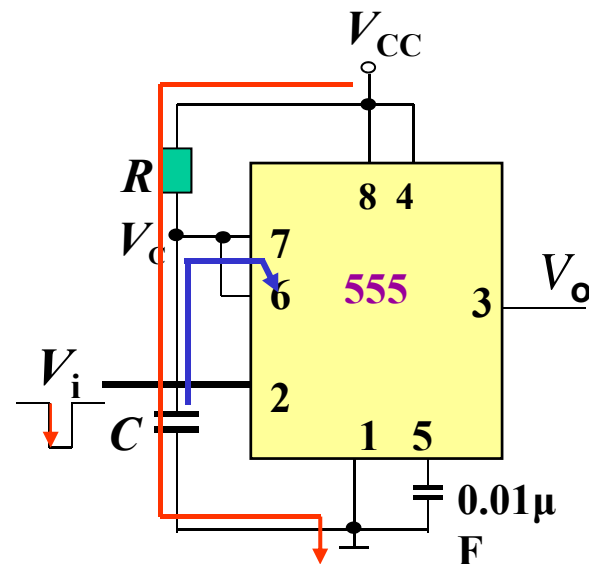
V_i 回到 1 ($V_2 > \frac{1}{3} V_{CC}$)

$Q=0$, $\bar{Q}=1$, T 导通 (地),

C 放电, 路径: $C \rightarrow T \rightarrow \text{地}$

时间常数 $\tau_2 = R_{on} C$,

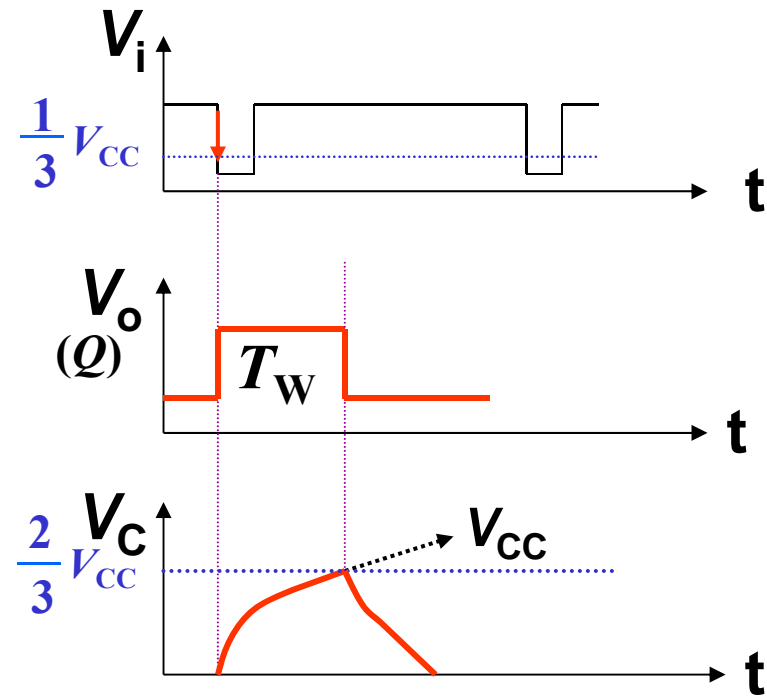
R_{on} : T 导通电阻 $V_C \downarrow$



暂稳态持续时间 T_W

$$T_W = RC \ln \frac{V_C(\infty) - V_C(0^+)}{V_C(\infty) - V_C(t)}$$
$$= RC \ln \frac{V_{CC} - 0}{V_{CC} - \frac{2}{3}V_{CC}} = 1.1RC$$

$$T_W = 1.1RC$$



T_W 是重要参数，是电容 C 充电到 $\frac{2}{3}V_{CC}$ 所用时间

FF的恢复时间

$$T_R = (3\sim 5)R_{on}C = 4R_{on}C$$

∴ 触发信号最小周期:

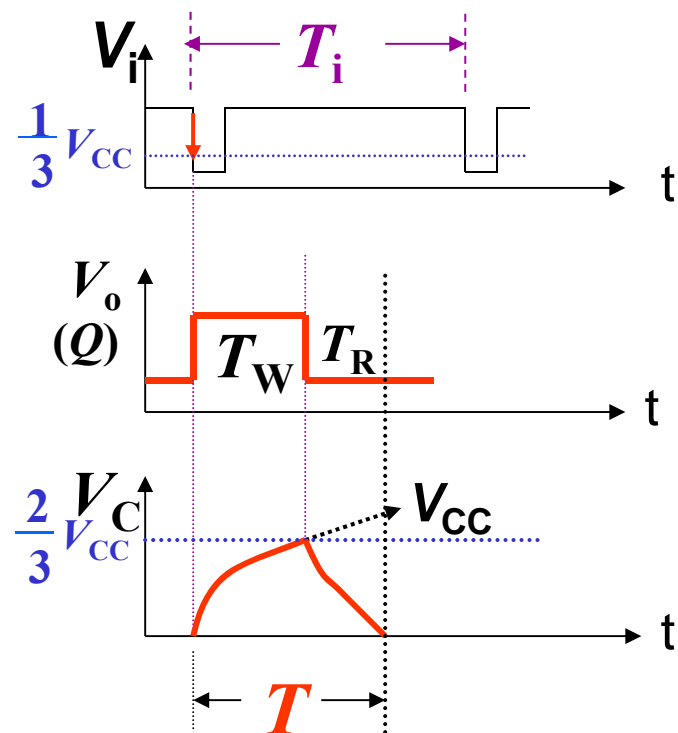
$$T = T_w + T_R = 1.1RC + 4R_{on}C$$

T: resolution 分辨率

触发信号最大工作频率:

$$f = \frac{1}{T}$$

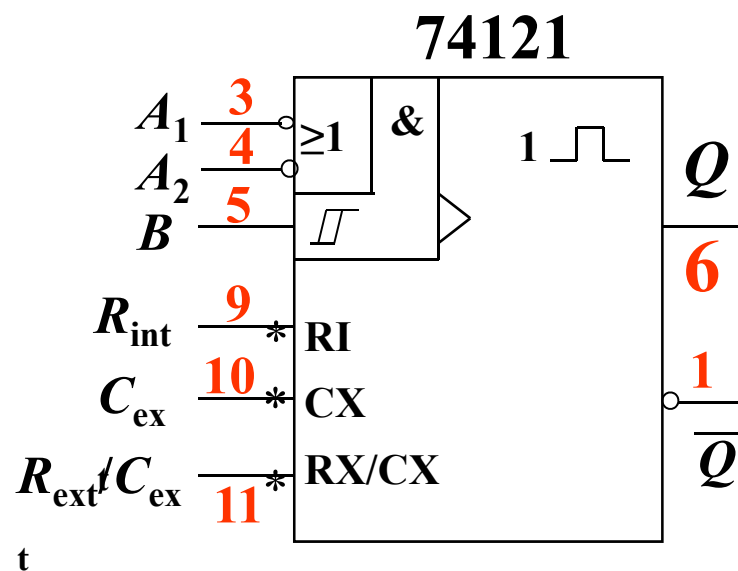
实际触发周期 T_i : $T_i \geq T$



7.3.3 集成单稳态触发器74121

74121 是非重复触发的单稳态触发器，FF进入暂稳态后，不再接收新触发信号，直到 T_w 时间后结束。

IEEE 符号：



7 GND, 14 V_{CC} ,
2, 8, 12, 13 空

输入 (触发):

$\left\{ \begin{array}{l} A_1, A_2 \text{ 低有效. “或”} \\ B \text{ 高有效, Schmitt,} \\ (A_1 + A_2)B \end{array} \right.$

CLK 正边沿触发











R_{int} : 内电阻 (不用时悬空)

C_{ext} : 外接电容

R_{ext}/C_{ext} : 共用

* 非数字信号, 接 R , C

74121 功能表

Inputs			Outputs	
A_1	A_2	B	Q	\overline{Q}
0	X	1	0	1
X	0	1	0	1
X	X	0	0	1
1	1	X	0	1
1	↓	1		
↓	1	1		
↓	↓	1		
0	X	↑		
X	0	↑		

74121



(1) 稳定状态：

3变量 (A_1, A_2, B)

→ 8 个组合

8 个状态都是稳定状态

(2) 暂稳态

- ① $B = 1$, A_1 和 A_2 至少有一个为下降沿, 另一个为高电平. 
- ② $A_1 \cdot A_2 = 0$, B 上升沿 

(3) 定时元件接法

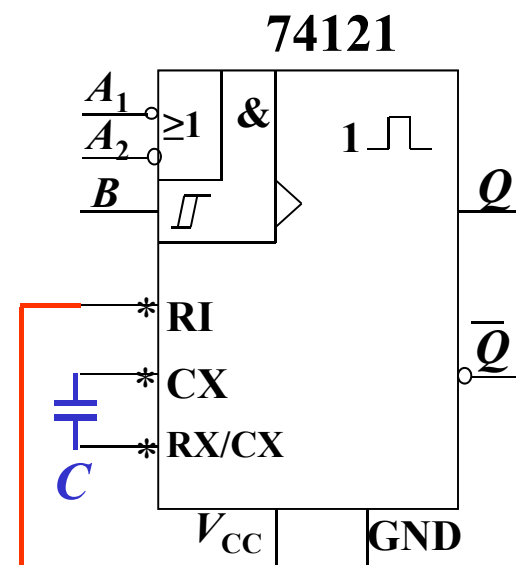
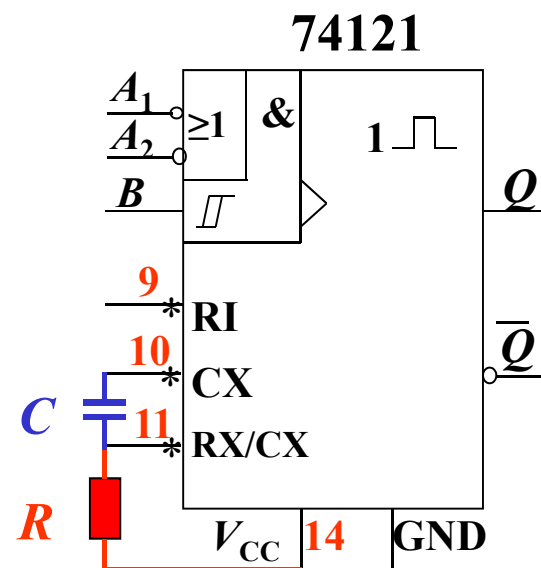
定时元件 R, C

外接 $\begin{cases} R: RX \sim V_{CC} \text{ 之间} \\ C: CX \sim RX \text{ 之间} \end{cases}$

内接 $\begin{cases} R_{\text{int}} (RI): R_{\text{int}} = 2 \text{ k}\Omega \\ RI \sim V_{CC} \text{ (内接电阻)} \\ C: CX \text{ (外接电容)} \end{cases}$

74121 暂稳态时间 T_w :

$$T_w = 0.7RC$$



7.3.4 单稳态触发器应用

1. 波形转换

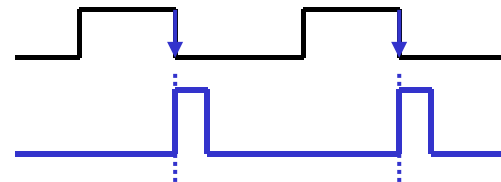
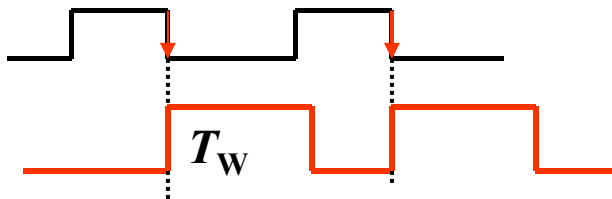
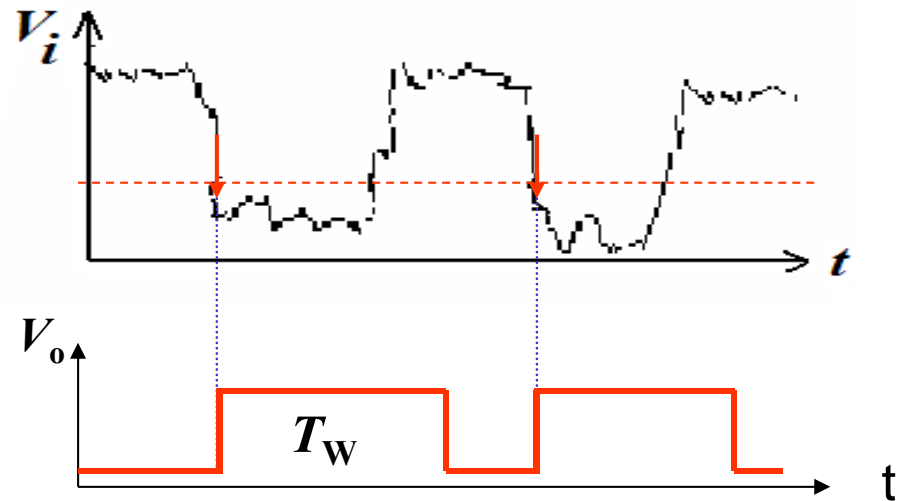
把不符合要求的波形整形成 T_w , V_m 都一定的脉冲.

$$T_w \sim R, C.$$

555 定时器单稳态:

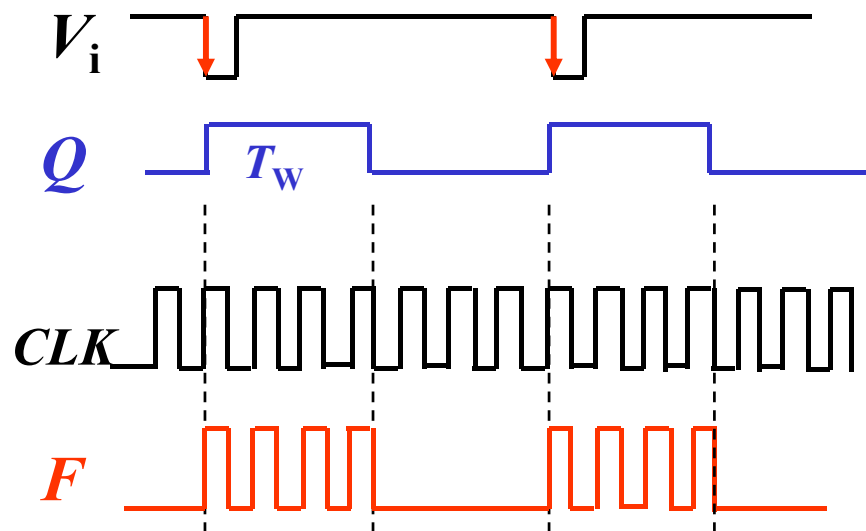
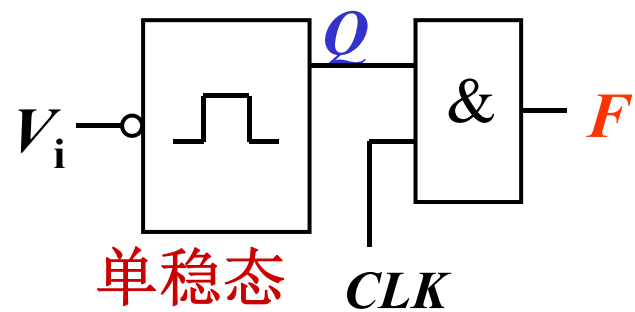
触发 $\left\{ \begin{array}{l} \text{负边沿} \\ < \frac{1}{3} V_{CC} \end{array} \right.$

脉冲展宽和变窄



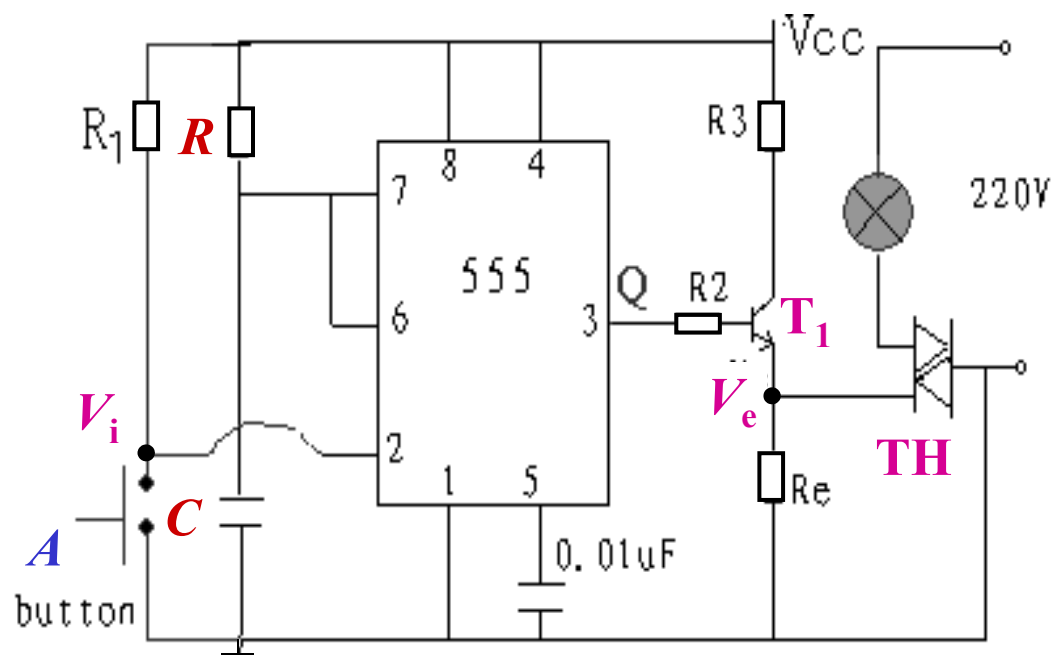
2. 定时

例 1



CLK 输出

例 2. 楼道照明灯控制电路



定时元件： R, C

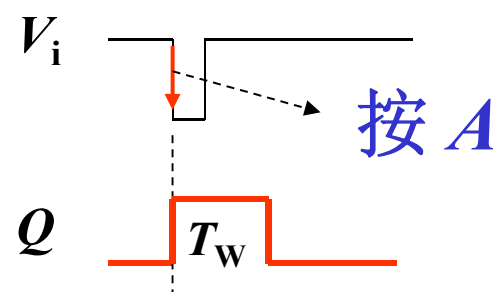
TH : 晶闸管

灯亮时间： $T_w = 1.1RC$

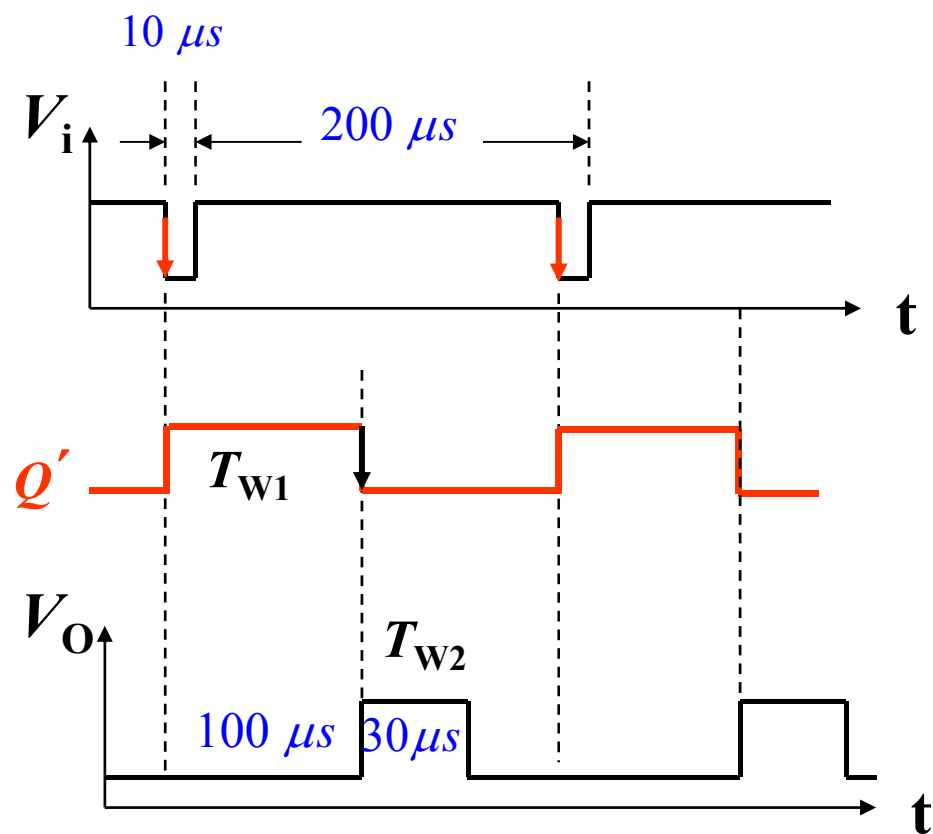
工作原理

按 A 之前, $V_i = 1$,
 $Q = 0$, 稳态,
 T_1 截止, $V_e = 0$,
 TH 开路, 灯不亮;

按 A , $V_i = 0$, $Q = 1$,
 T_1 导通, $V_e > 0$,
 TH 导通, 灯亮.



3. 用 74121 设计电路，其输入输出波形如图所示：



分析

在输入和输出间需要一个输出 Q' ，其下降沿触发第二个 74121.

$$\begin{aligned} T_{W1} &= 100 \times 10^{-6} \\ &= 0.7R_1C_1 \end{aligned}$$

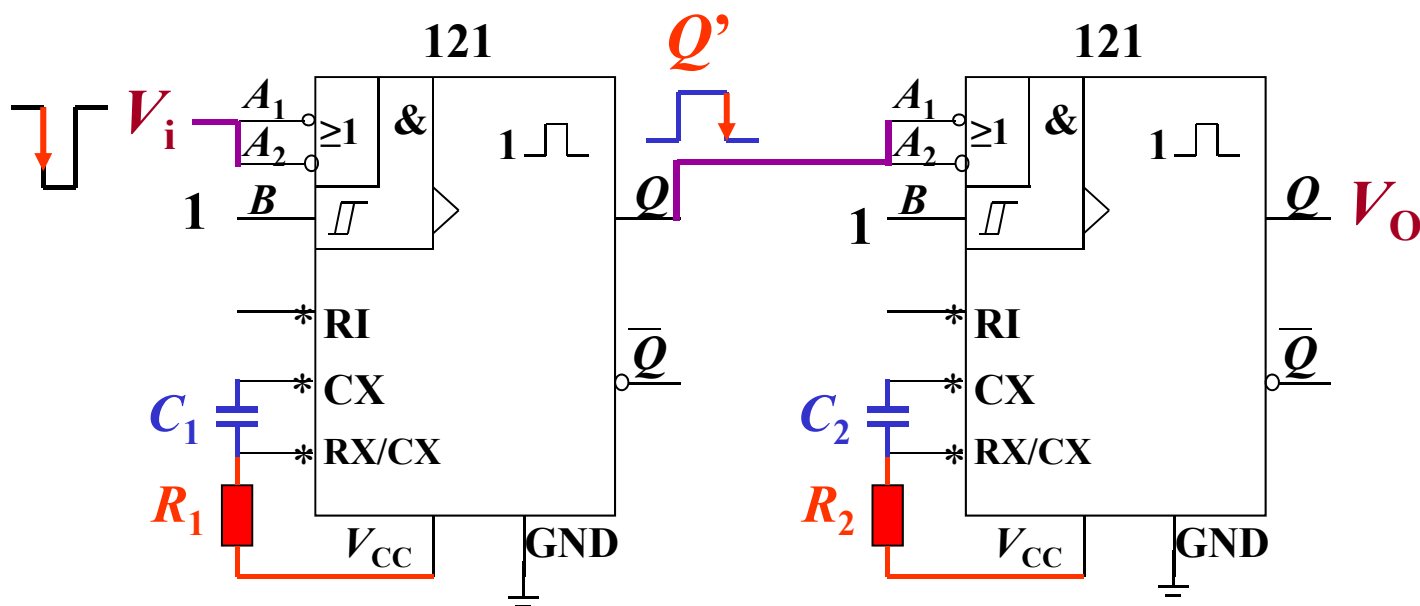
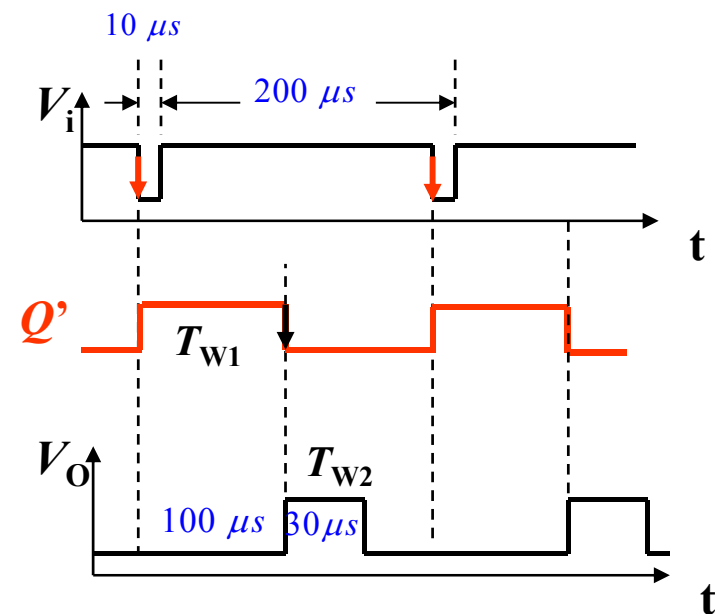
$$\begin{aligned} T_{W2} &= 30 \times 10^{-6} \\ &= 0.7R_2C_2 \end{aligned}$$

设 $R_1 = R_2 = 10\ \text{k}\Omega$, 求 C_1, C_2

电路 方法 1

暂稳态

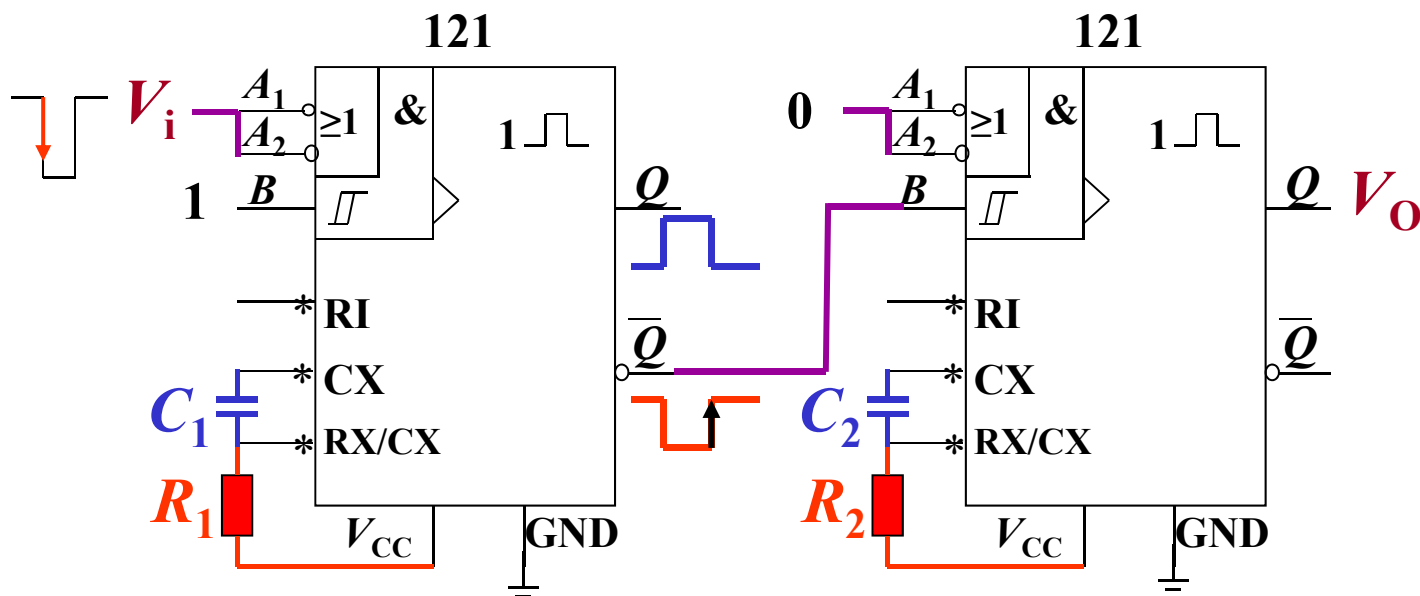
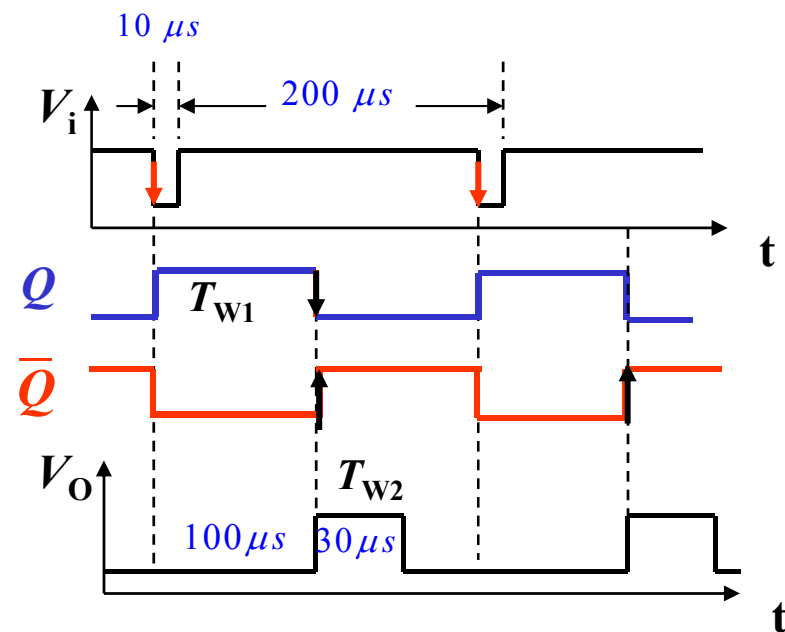
$$\begin{cases} A_1 = A_2 \\ B = 1 \end{cases}$$



方法 2

暂稳态

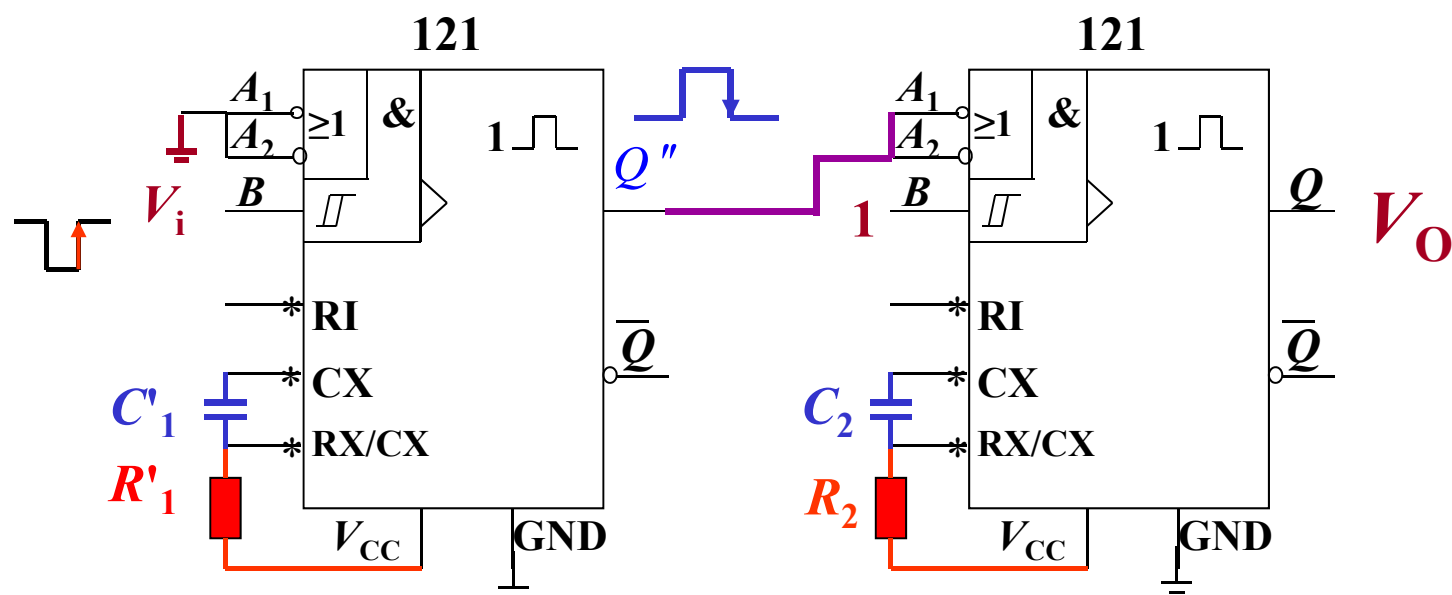
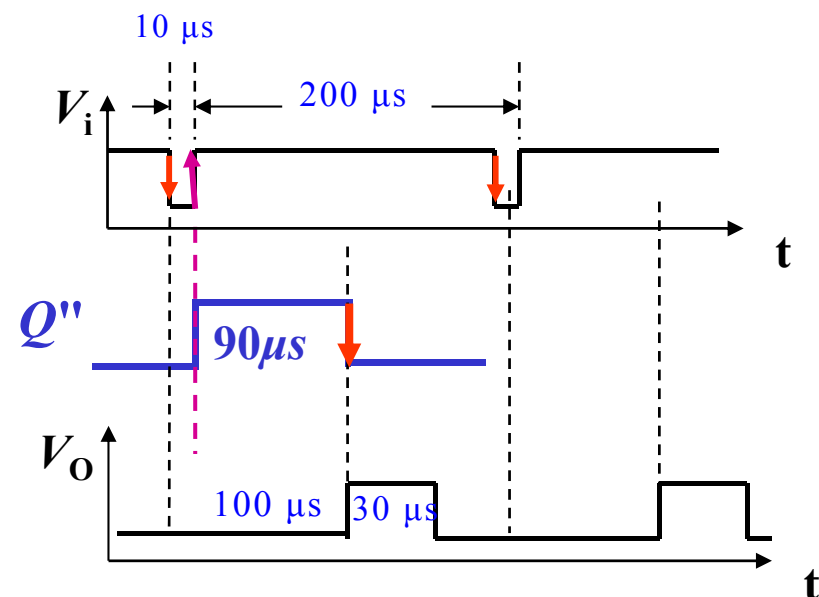
$$\text{II} \left\{ \begin{array}{l} B \\ A_1 \cdot A_2 \end{array} = 0 \right.$$



方法 3

暂稳态

$$\begin{cases} B = 1 \\ A_1 \cdot A_2 = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} B = 1 \\ A_1 = A_2 = 0 \end{cases}$$



$$0.7C'_1R'_1 = 90\ \mu\text{s}$$

§ 7.4 多谐振荡器

Astable Multivibrators (Oscillators)

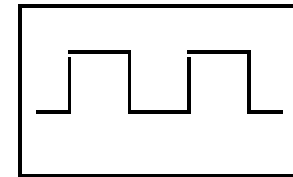
产生矩形波的自激振荡器.

1) 两个稳定状态 $\begin{cases} Q = 0, \overline{Q} = 1 \\ Q = 1, \overline{Q} = 0 \end{cases}$

2) 无触发信号

3) 输出: 周期性的从一个暂稳态
转到另一个暂稳态

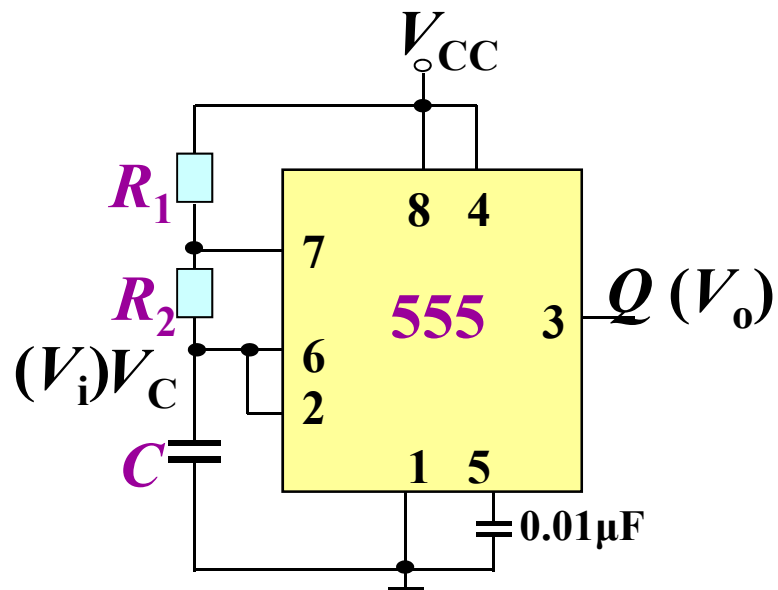
符号 :



许多电路可以组成多谐振荡器, 如 TTL逻辑门, 施密特触发器, 石英晶体, 555 定时器等。

利用RC电路中电容的充放电来改变电平的高低。

7.4.1 555 定时器构成的多谐振荡器

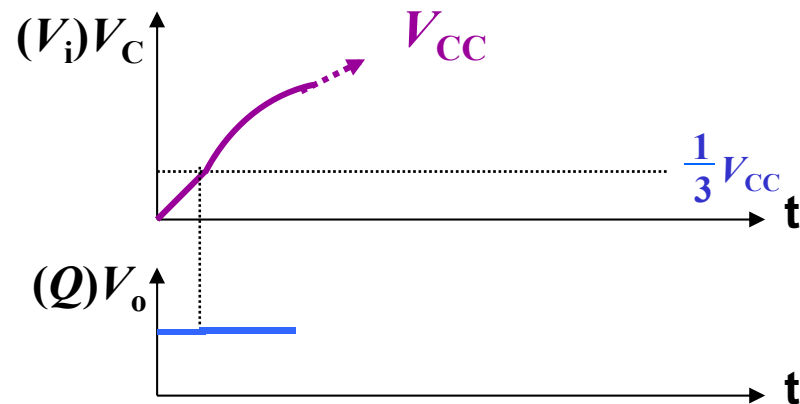
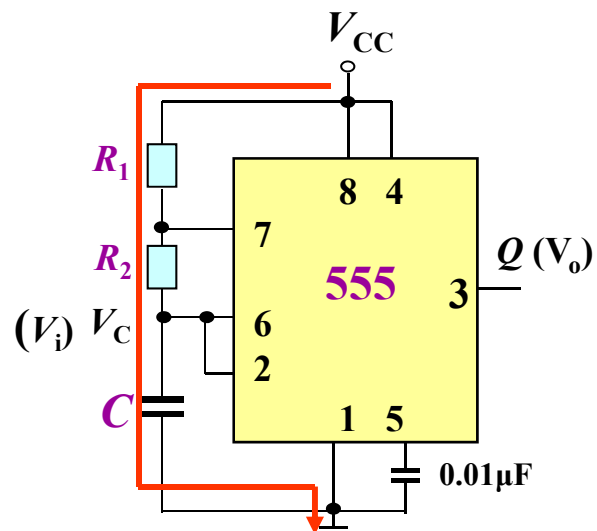


2, 6 端相连

定时元件: R_1, R_2, C

利用放电管 (7端) 和
电容充放电改变电压

工作原理: 开关闭合前, $V_C = 0$



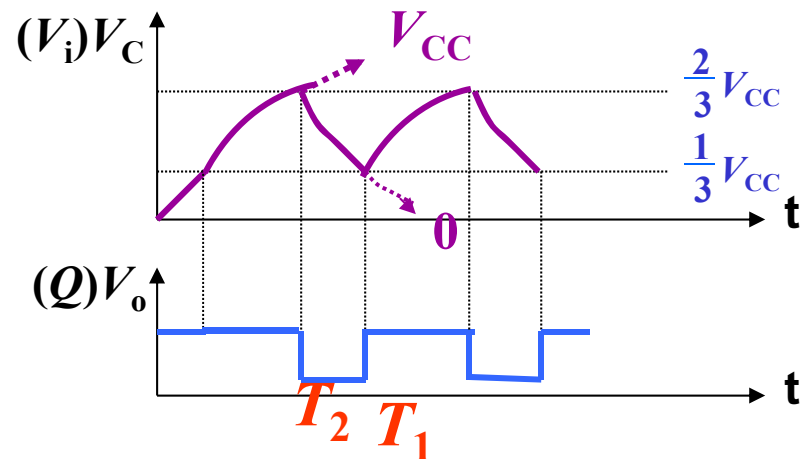
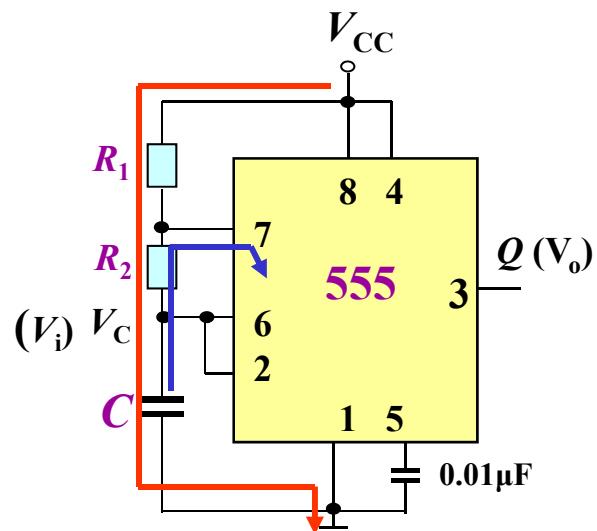
电源开, $V_C = 0$ 电容上电压不能跳变

$Q = 1$ ($V_i < 1/3 V_{CC}$) $\overline{Q} = 0$, T 截止 (7 断开)

C: 充电 充电路径: $V_{CC} \rightarrow R_1 \rightarrow R_2 \rightarrow C \rightarrow \text{地}$

充电时间常数 $\tau_1 = (R_1 + R_2)C$

$V_C \uparrow$, $1/3 V_{CC} < V_C < 2/3 V_{CC}$ **Q: 保持**



当 $V_C \rightarrow \frac{2}{3} V_{CC}$ $Q = 0$, $\bar{Q} = 1$, T 导通 (7 地)

C : 放电

$C \rightarrow R_2 \rightarrow T \rightarrow \text{地}$

$$\tau_2 = R_2 C$$

$V_C \downarrow$

当 $V_C \rightarrow \frac{1}{3} V_{CC}$

$Q = 1$, $\bar{Q} = 0$, T 截止

C : 再充电

两个暂稳态持续时间 T_1, T_2 :

高电平时间：

$$T_1 = \tau_1 \ln \frac{V_C(\infty) - V_C(0^+)}{V_C(\infty) - V_C(T_1)} = (R_1 + R_2)C \ln \frac{V_{CC} - \frac{1}{3}V_{CC}}{V_{CC} - \frac{2}{3}V_{CC}} = 0.7(R_1 + R_2)C$$

低电平时间：

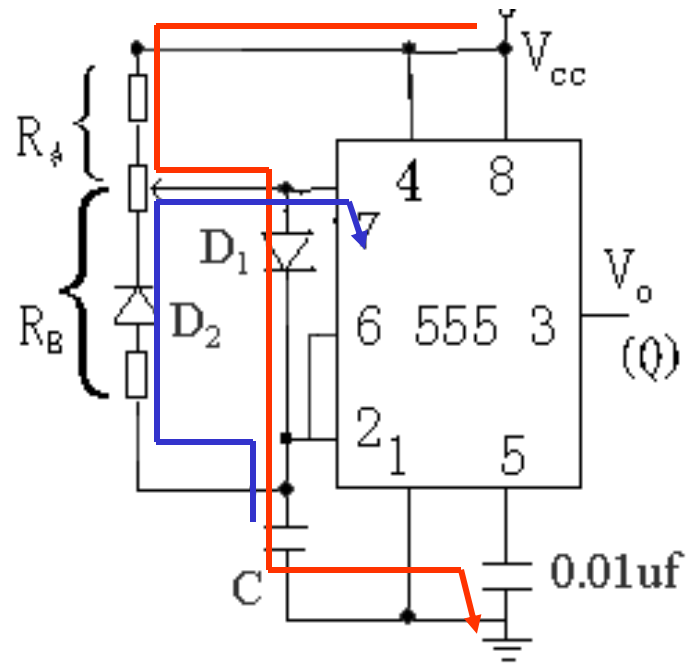
$$T_2 = \tau_2 \ln \frac{V_C(\infty) - V_C(0^+)}{V_C(\infty) - V_C(T_2)} = R_2 C \ln \frac{0 - \frac{2}{3}V_{CC}}{0 - \frac{1}{3}V_{CC}} = \mathbf{0.7 R_2 C}$$

振荡周期 T ： $T = T_1 + T_2 = 0.7(R_1 + 2R_2)C$

频率 f ： $f = \frac{1}{T}$

占空比： $q = \frac{T_1}{T} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2} > \frac{1}{2}$

占空比可调的多谐振荡器



充放电原理相同,
充放电回路不同

当 $V_o = 1$, T截止 (7 断开),

C: 充电, 充电路径:

$V_{CC} \rightarrow R_A \rightarrow D_1 \rightarrow C \rightarrow \text{地}$

时间常数: $\tau_1 = R_A C$

$V_C \uparrow \quad V_C \geq \frac{2}{3} V_{CC} \quad V_o(Q) = 0,$

T 导通, C: 放电

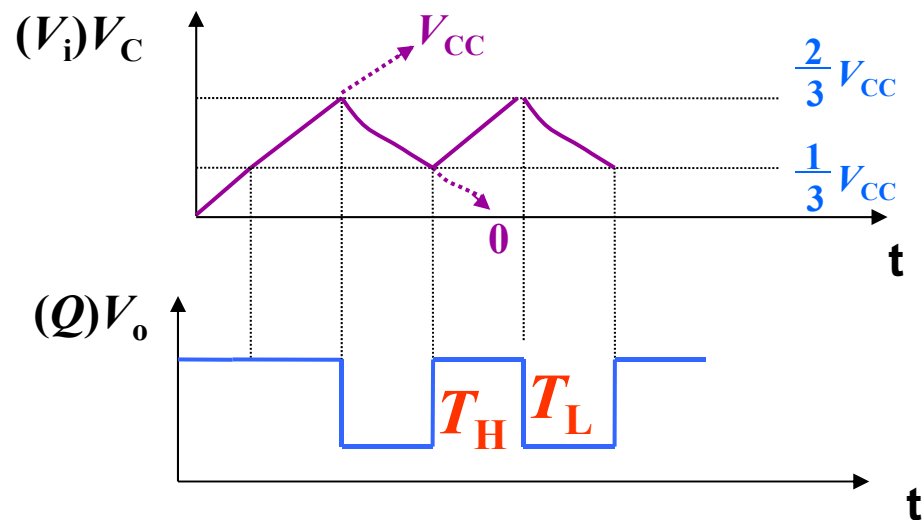
放电路径:

$C \rightarrow R_B \rightarrow D_2 \rightarrow T \rightarrow \text{地}$

时间常数: $\tau_2 = R_B C$

两个暂稳态时间

$$\left\{ \begin{array}{l} T_H = 0.7R_A C \\ T_L = 0.7R_B C \end{array} \right.$$



周期

$$T = T_H + T_L = 0.7(R_A + R_B)C$$

占空比

$$q = \frac{T_H}{T} = \frac{R_A}{R_A + R_B}$$

当 $R_A = R_B$ $q = \frac{1}{2}$ 方波

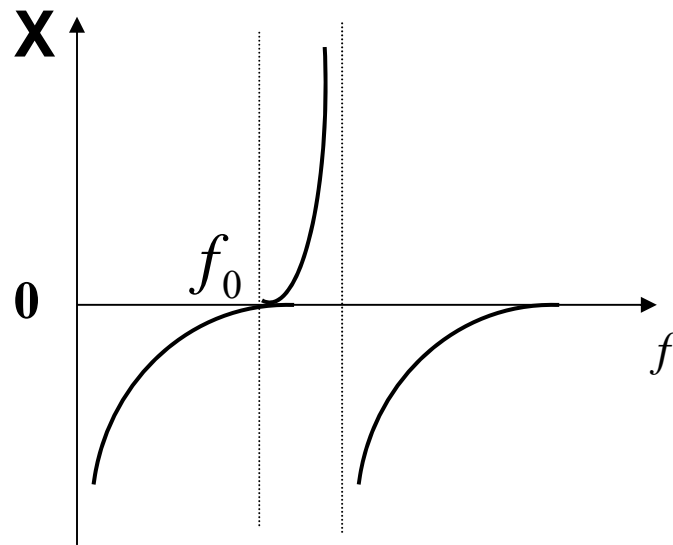
7.4.3 石英晶体振荡器

实际工作中,经常需要一个稳定的频率.

方法: 石英晶体振荡器



电抗—频率特性



当电压频率为 f_0 时,
其电抗最小

将石英晶体接入多谐振荡器, 频率为 f_0 的电压信号最容易通过, 其他频率信号经过石英晶体时被衰减。

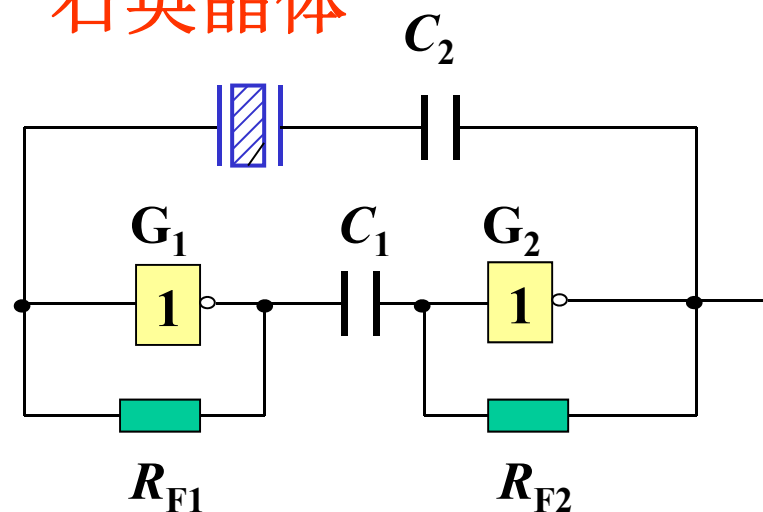
振荡器的工作频率一定等于石英晶体的振荡频率 f_0

振荡频率取决于石英晶体的固有谐振频率 f_0 ，而不是电阻和电容。

石英晶体振荡频率 { 结晶方向
外形尺寸

电路

石英晶体

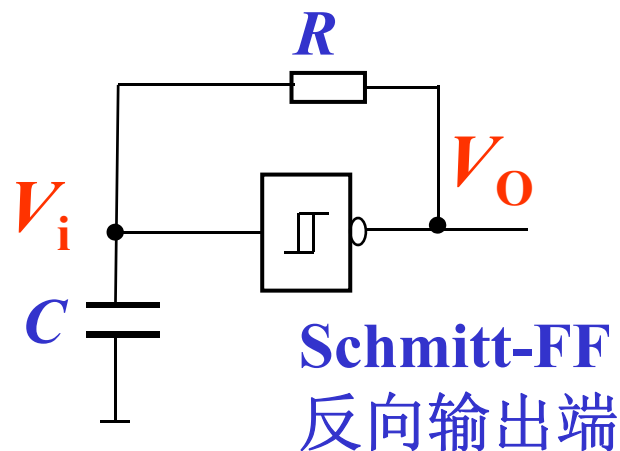


7.4.4 Schmitt-FF构成的多谐振荡器

施密特触发器滞后:

回差电压

$$\Delta V = V_{T+} - V_{T-}$$



将Schmitt-FF反向输出端经 RC 积分回路接入输入端，利用输入电压在 V_{T+} 与 V_{T-} 之间往复变化，在输出端得到矩形脉冲。

工作原理:

初始, $V_C = 0$,

V_i 低, V_O 高.

充电: $V_O \rightarrow R \rightarrow C$.

当 $V_i = V_{T+}$, V_O 跳变到低.

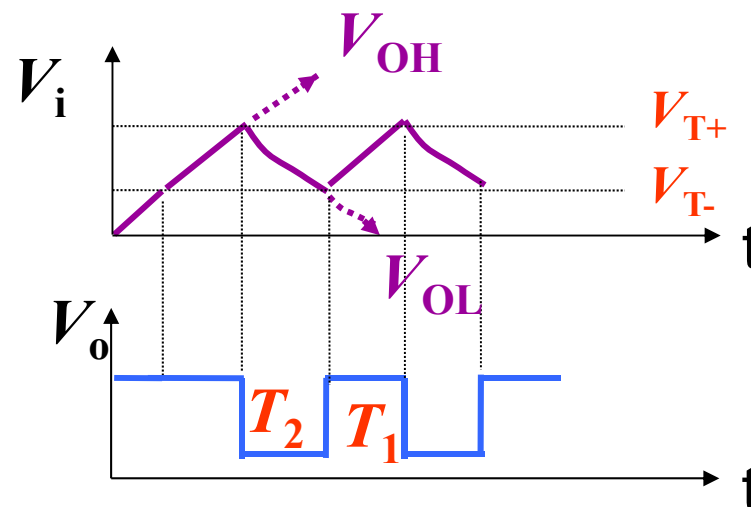
放电: $C \rightarrow R$. 当 $V_i = V_{T-}$, V_O 跳变到高.

电路振荡

高、低电平时间:

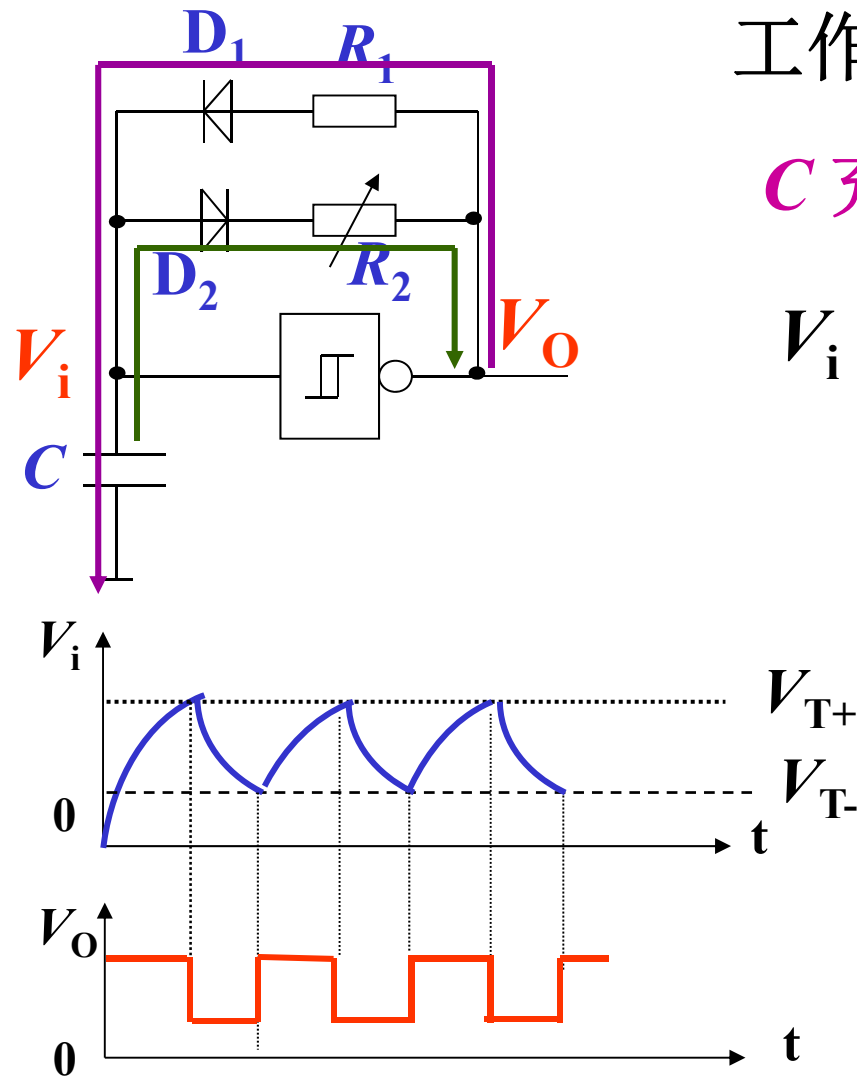
$$T_1 = RC \ln \frac{V_{OH} - V_{T-}}{V_{OH} - V_{T+}} = 0.7RC \quad T_2 = RC \ln \frac{V_{OL} - V_{T+}}{V_{OL} - V_{T-}} = 0.7RC$$

$T_1 = T_2 = 0.7RC$ 方波, 占空比不可调



占空比可调振荡器

电路



工作原理： 设 $V_O =$ 高电平，

C 充电 $V_O \rightarrow R_1 \rightarrow D_1 \rightarrow C \rightarrow$ 地

$V_i \uparrow$ 当 $V_i = V_{T+}$, $V_O =$ 低

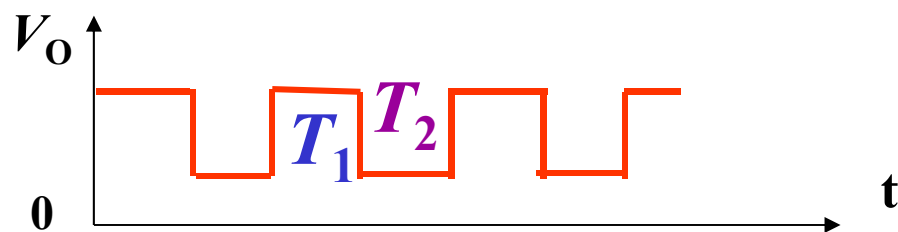
C 放电: $C \rightarrow D_2 \rightarrow R_2$

$V_i \downarrow$ 当 $V_i = V_{T-}$

$V_O =$ 高电平, C 充电

$V_i \uparrow$

输出矩形波



高电平时间 T_1 :

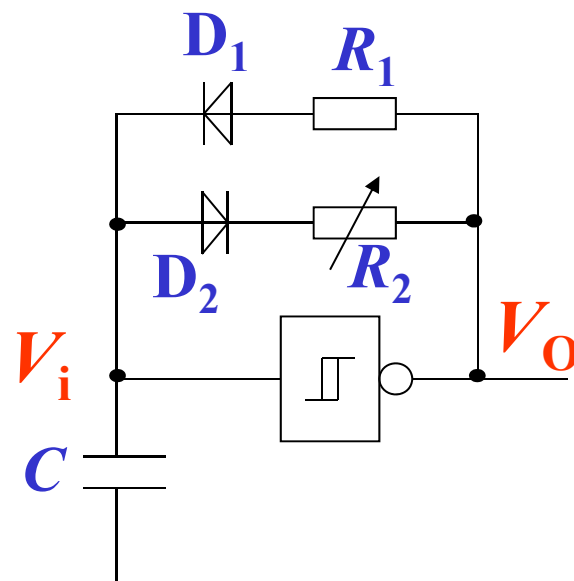
$$T_1 = 0.7 R_1 C$$

低电平时间 T_2 :

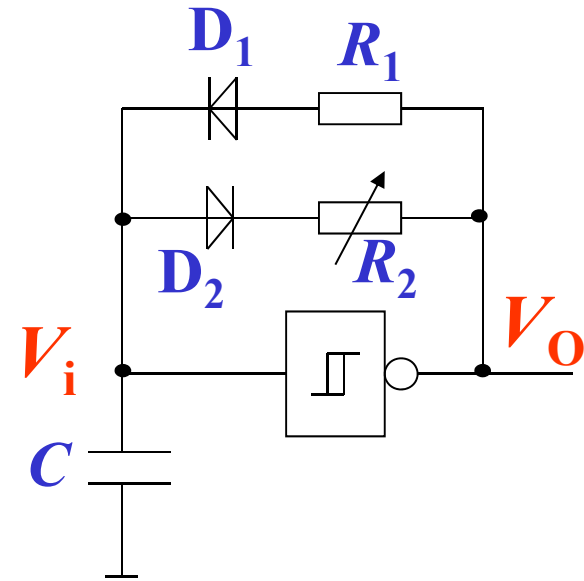
$$T_2 = 0.7 R_2 C$$

周期 T : $T = T_1 + T_2 = 0.7(R_1 + R_2)C$

占空比 $q = \frac{T_1}{T} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$



例： 已知右图电路中
Schmitt-FF 为CMOS 电路
CC40106, $V_D = 12\text{ V}$, $R_1 = R_2$
 $= 20\text{ k}\Omega$, $C = 0.01\mu\text{F}$, 试求该
电路的振荡周期 T .



$$\begin{aligned} \text{周期 } T: T &= T_1 + T_2 = 0.7(R_1 + R_2)C \\ &= 0.7 \times (2 \times 20 \times 10^3) \times 0.01 \times 10^{-6} \\ &= 280\mu\text{s} \end{aligned}$$

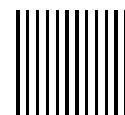
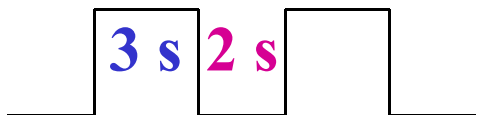
7.4.5 多谐振荡器应用

例 1. 用555定时器设计一个每隔2 s振荡3 s的多谐振荡器, 其振荡频率为200 Hz, $q = 1/2$, 电容取10 μF .

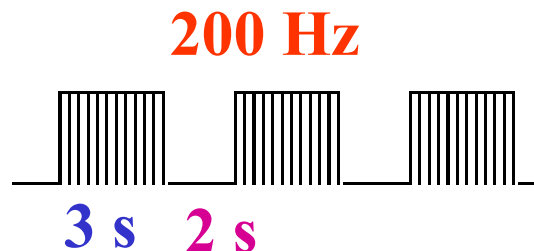
分析: 两个振荡器

I: 振荡 3 s, 停 2 s

II: 频率: 200 Hz $q = \frac{1}{2}$

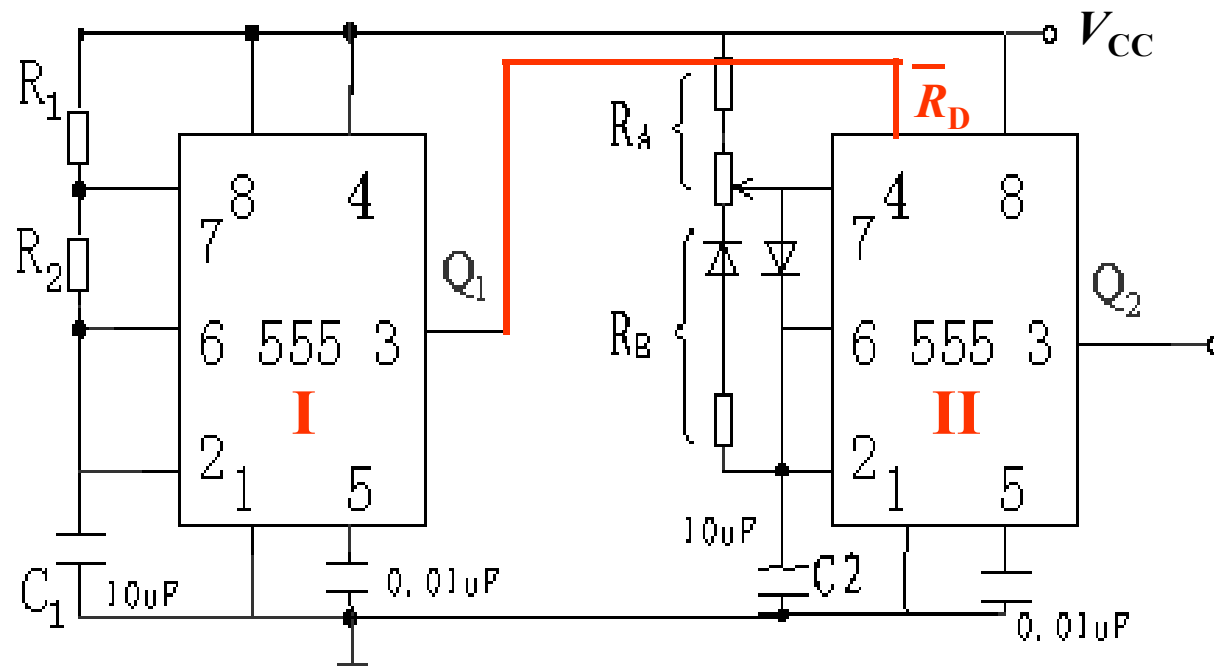


两个振荡器:



用555定时器的 4 脚复位端来控制 II 是否工作

$\begin{cases} \overline{R_D} = 1, \text{ II 工作} \\ \overline{R_D} = 0, \text{ II 清0, 停.} \end{cases}$
 $\text{I: } q > 1/2, \text{ 用不可调类型;}$
 $\text{II: } q = 1/2, \text{ 用占空比可调型}$



$Q_1 = 1, \overline{R_D} = 1$

II 工作;

$Q_1 = 0, \overline{R_D} = 0$ II 停止, $V_0 = Q_2 = 0$

电路参数:

振荡器 I : 已知

$$\left\{ \begin{array}{l} T = 3 + 2 = 5 \text{ s} \\ q = \frac{3}{5} \quad C_1 = 10 \mu\text{F} \end{array} \right.$$

$$\left. \begin{array}{l} T = 0.7(R_1 + 2R_2)C_1 = 5 \text{ s} \\ q = \frac{T_1}{T} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2} = \frac{3}{5} \end{array} \right\}$$

$$R_2 = 2R_1$$

$$5 = 0.7(R_1 + 4R_1) \times 10 \times 10^{-6}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} R_1 = 143 \text{ K}\Omega \\ R_2 = 286 \text{ K}\Omega \end{array} \right.$$

振荡器 II : 已知

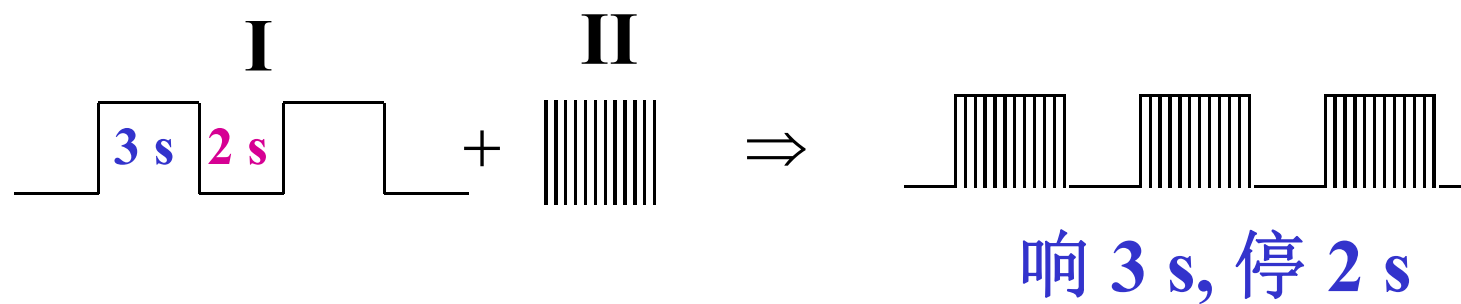
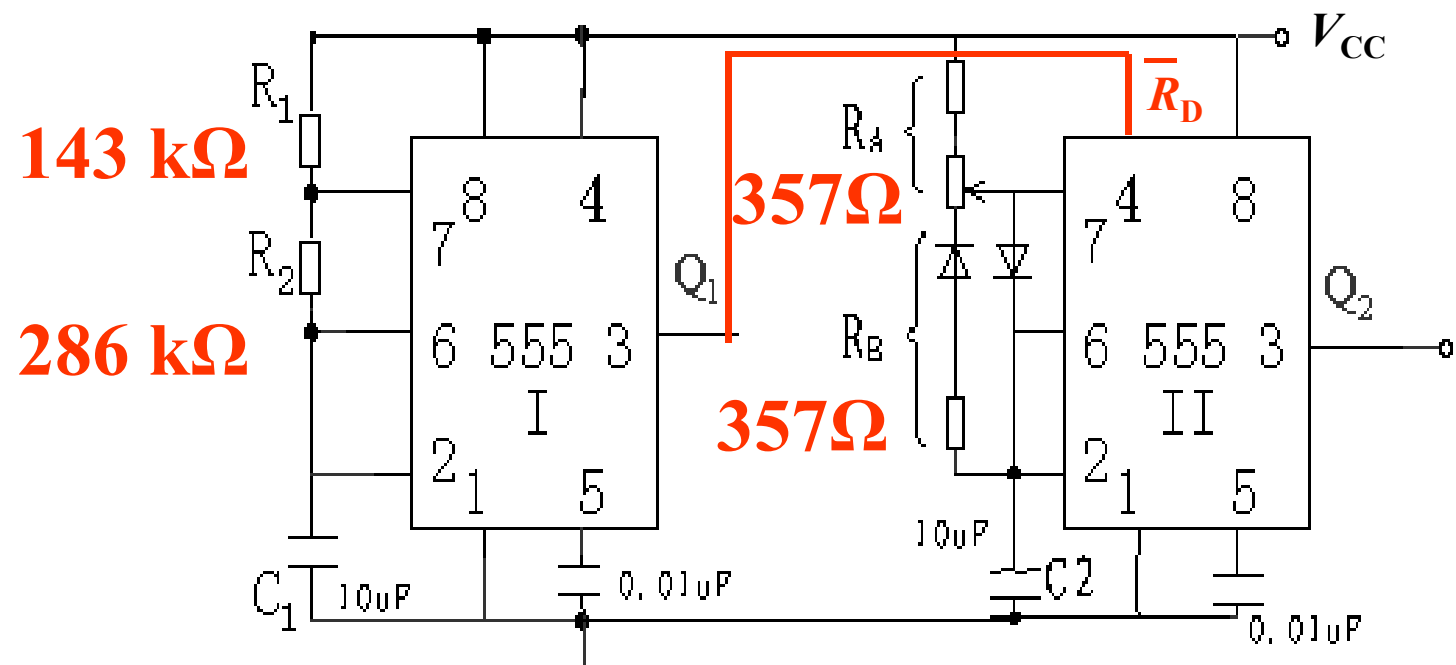
$$\left\{ \begin{array}{l} f = 200 \text{ Hz}, T = \frac{1}{f} = \frac{1}{200} = 0.005 \text{ s} \\ q = \frac{1}{2} \quad C_2 = 10 \mu\text{F} \end{array} \right.$$

$$\left. \begin{array}{l} T = 0.7(R_A + R_B)C_2 = 0.005 \text{ s} \\ q = \frac{R_A}{R_A + R_B} = \frac{1}{2} \end{array} \right\}$$

$$R_A = R_B$$

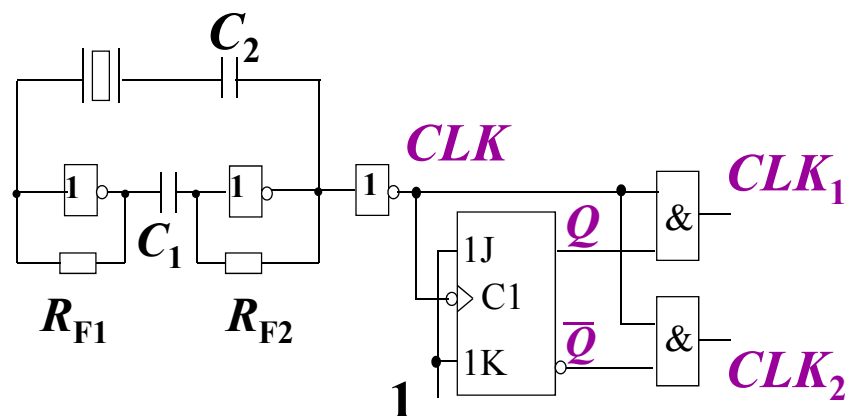
$$1.4R_A = \frac{0.005}{10 \times 10^{-6}} = 500$$

$$R_A = R_B = 357 \Omega$$

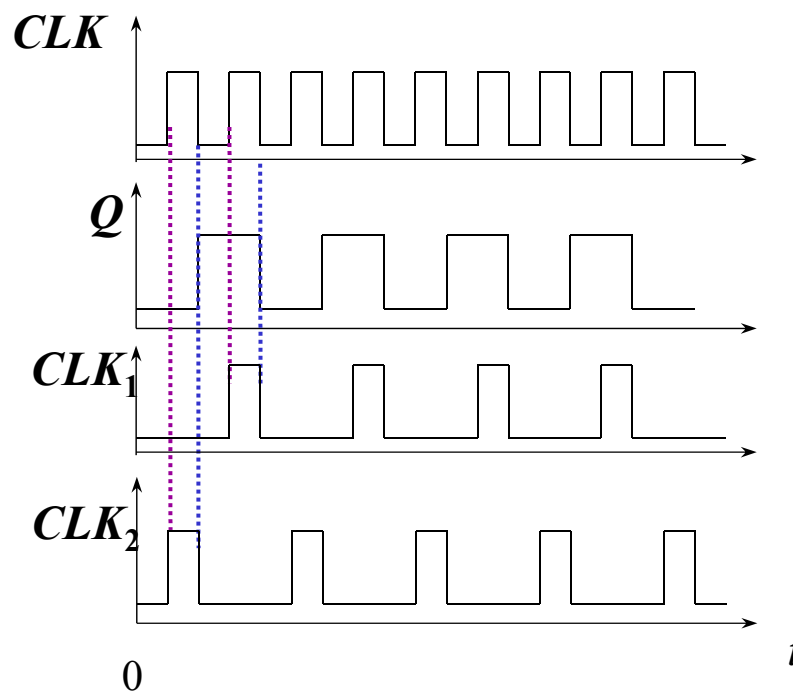


例 2. 两相时钟产生电路及工作波形。

电路



工作波形



多谐振荡器 $\rightarrow CLK$

T' -FF $\rightarrow Q$ (CLK 下降沿)

$$CLK_1 = CLK \cdot Q$$

$$CLK_2 = CLK \cdot \overline{Q}$$