

## 第七章 脉冲波形的产生和整形电路

### 本章目录

- 7.1 概述
- 7.2 施密特触发电路
- 7.3 单稳态电路
- 7.4 多谐振荡电路
- 7.5 555定时器及其应用

2022-9-9

第七章 脉冲波形的产生和整形电路

1

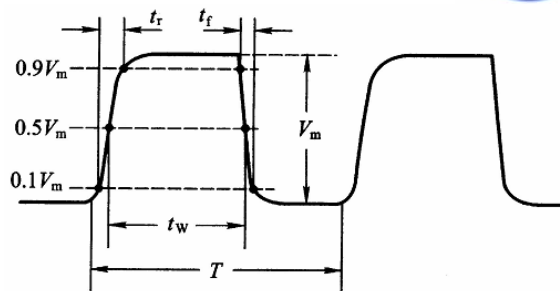
### § 7.1 概述



#### 一、获取矩形脉冲的方法

1. 脉冲波形发生电路
2. 脉冲波形整形电路

#### 二、描述矩形脉冲特性的主要参数



1. **脉冲周期 $T$** ：周期性重复的脉冲序列中，两个相邻脉冲之间的时间间隔。
2. **脉冲幅度 $V_m$** ：脉冲电压的最大变化幅度。
3. **脉冲宽度 $t_w$** ：从脉冲前沿到达 $0.5V_m$ 起，到脉冲后沿到达 $0.5V_m$ 为止的一段时间。
4. **上升时间 $t_r$** ：脉冲上升沿从 $0.1V_m$ 上升到  $0.9V_m$ 所需要的时间。
5. **下降时间 $t_f$** ：脉冲下降沿从 $0.9V_m$ 下降到  $0.1V_m$ 所需要的时间。
6. **占空比 $q$** ：脉冲宽度与脉冲周期的比值，即 $q = t_w / T$

2022-9-9

第七章 脉冲波形的产生和整形电路

2

## § 7.2 施密特触发电路



施密特触发电路：常用的一种脉冲整形电路

施密特触发电路具有两个性能特点：

第一 输入信号从低电平上升的过程中，电路状态转换时对应的输入电平，与输入信号从高电平下降过程中对应的输入转换电平不同；

第二 在电路状态转换时，通过电路内部的正反馈过程使输出电压波形的边沿变得很陡。

2022-9-9

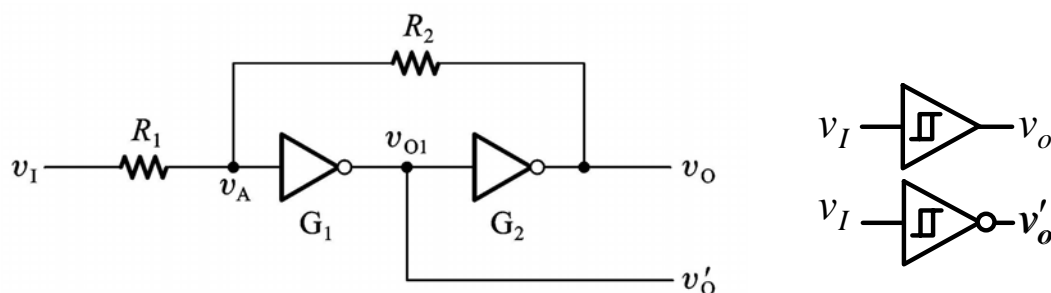
第七章 脉冲波形的产生和整形电路

3

## § 7.2 施密特触发电路



### 7.2.2 用门电路组成的施密特触发电路



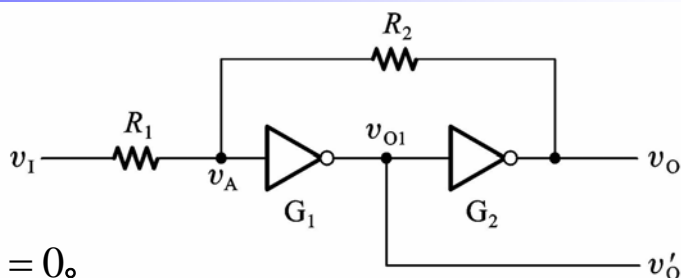
设反相器 $G_1$ 和 $G_2$ 均为CMOS门，其阈值电压为 $V_{TH} = V_{DD}/2$ ，输出高低电平分别为 $V_{OH} = V_{DD}$ ， $V_{OL} = 0$ ，且 $R_1 < R_2$

2022-9-9

第七章 脉冲波形的产生和整形电路

4

## § 7.2 施密特触发电路



\* 当  $v_I = 0$  时,  $v_O = 0$ 。

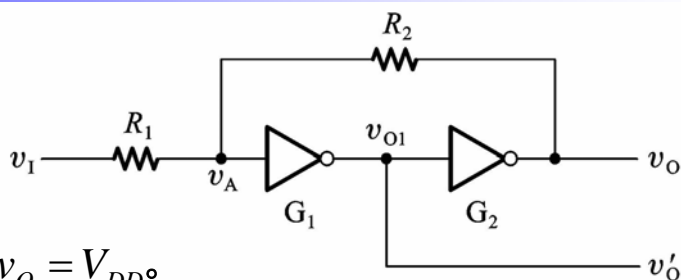
\* 当  $v_I \uparrow$ , 至  $v_A = V_{TH}$  时,  $G_1$  进入电压传输特性的转折区,

故  $v_A \uparrow \rightarrow v_{O1} \downarrow \rightarrow v_O \uparrow \Rightarrow$  使电路迅速跳变到  $v_O = V_{OH} = V_{DD}$

设输入  $v_I$  上升过程中电路状态发生转换时对应的输入电平为  $V_{T+}$ ,  $V_{T+}$  称为正向阈值电压

$$v_A = V_{TH} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{T+} \Rightarrow V_{T+} = (1 + \frac{R_1}{R_2}) V_{TH}$$

## § 7.2 施密特触发电路



\* 当  $v_I = V_{DD}$  时,  $v_O = V_{DD}$ 。

\* 当  $v_I \downarrow$ , 至  $v_A = V_{TH}$  时,  $G_1$  进入电压传输特性的转折区,

故  $v_A \downarrow \rightarrow v_{O1} \uparrow \rightarrow v_O \downarrow \Rightarrow$  使电路迅速跳变到  $v_O = V_{OL} = 0$

设输入  $v_I$  下降过程中电路状态发生转换时对应的输入电平为  $V_{T-}$ ,  $V_{T-}$  称为负向阈值电压

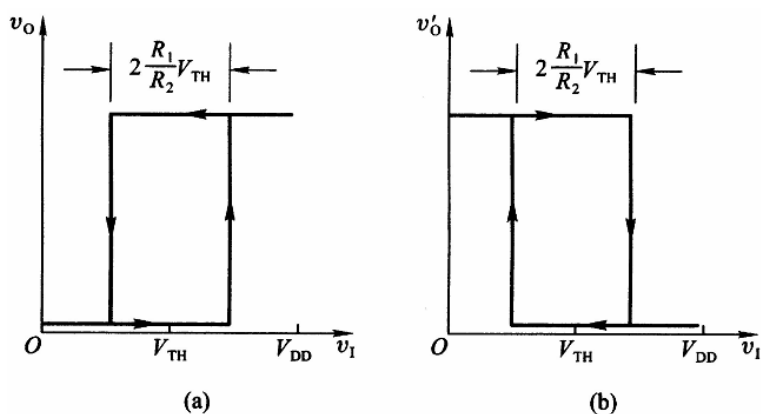
$$v_A = V_{TH} = V_{DD} - (V_{DD} - V_{T-}) \frac{R_2}{R_1 + R_2} \Rightarrow V_{T-} = (1 - \frac{R_1}{R_2}) V_{TH}$$

## § 7.2 施密特触发电路

$$v_I = V_{T+} = (1 + \frac{R_1}{R_2})V_{TH} \quad v_I = V_{T-} = (1 - \frac{R_1}{R_2})V_{TH}$$

将 $V_{T+}$ 和 $V_{T-}$ 之间的差值定义为回差电压，用 $\Delta V_T$ 表示，即

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

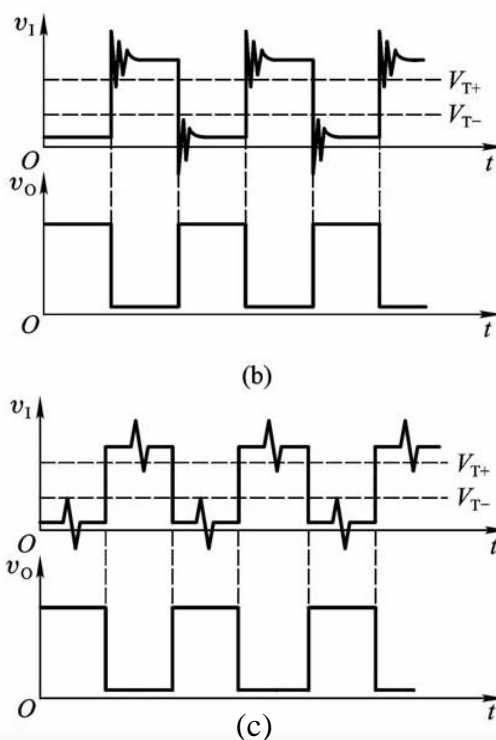
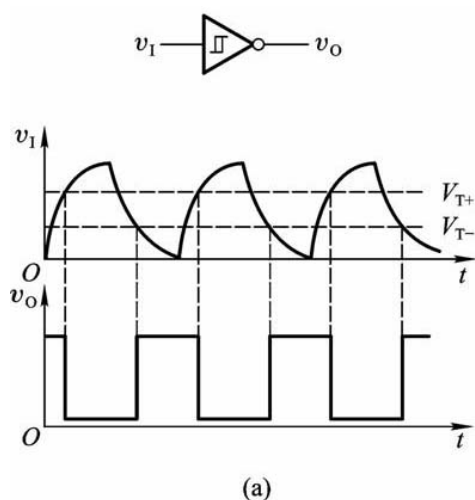


电压传输特性  
(a) 同相输出 (b) 反相输出

## § 7.2 施密特触发电路

### 7.2.3 施密特触发电路的应用

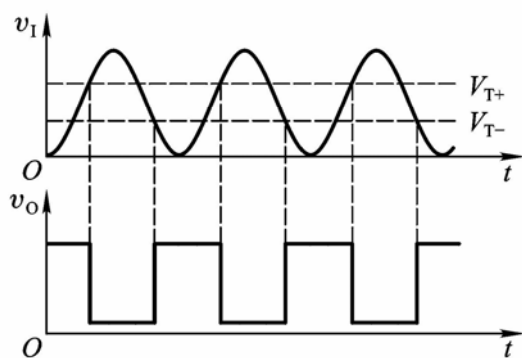
#### 一、用于脉冲整形



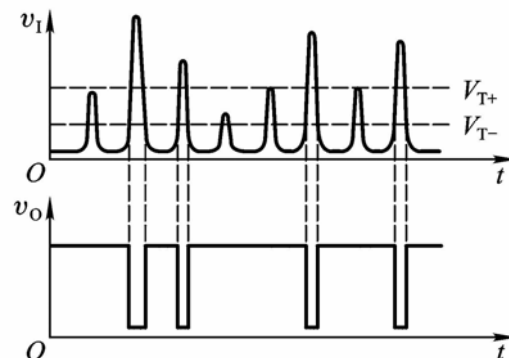
## § 7.2 施密特触发电路

### 7.2.3 施密特触发电路的应用

#### 二、用于波形变换



#### 三、用于脉冲鉴幅



## § 7.3 单稳态电路

### 波形分析法——单稳态电路和多谐振荡电路的分析方法

#### 步骤：

- ① 分析电路的工作过程，定性地画出电路中各点电压的波形，找出决定电路状态发生转换的控制电压。
- ② 画出控制电压充、放电的等效电路，并将得到的电路化简。
- ③ 确定每个控制电压充、放电的起始值、终了值和转换值。
- ④ 计算充、放电时间，求出所需的计算结果。

电压充、放电开始到变化至某一数值所经过的时间为：

由一阶电路三要素公式： $v(t) = v(\infty) + [v(0+) - v(\infty)]e^{-t/\tau}$

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

特点:

- ①有**稳态**和**暂稳态**两个不同的工作状态。
- ②在外界触发脉冲作用下, 能从**稳态**→**暂稳态**, 维持一段时间后**自动**返回稳态。
- ③暂稳态维持的时间长短取决于**电路本身的参数**。

## § 7.3 单稳态电路



### 7.3.1 用门电路组成的单稳态电路

#### 一、微分型单稳态电路

$G_1$ 和 $G_2$ 为CMOS门

$$V_{OH} = V_{DD}, V_{OL} = 0, V_{TH} = \frac{1}{2}V_{DD}$$

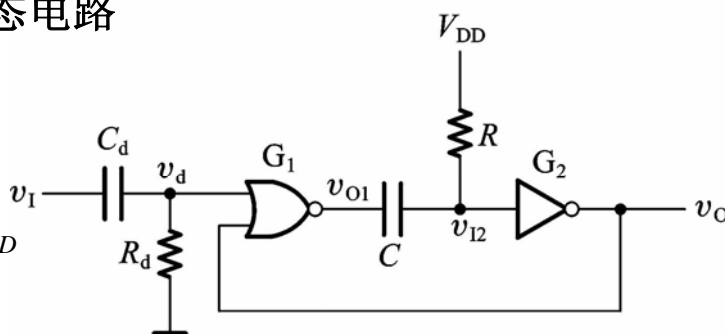
#### 1 原理分析

稳态下:  $v_I = 0, v_d = 0, v_{I2} = V_{DD}, v_O = 0, (v_{O1} = V_{DD}), C$ 上无电压;

加触发信号  $v_I \uparrow$ ,

$v_d \uparrow \rightarrow v_{O1} \downarrow \rightarrow v_{I2} \downarrow \rightarrow v_O \uparrow$

$v_O = V_{DD}, v_{O1} = 0$ , 电路迅速进入暂稳态,  $C$ 开始充电



## § 7.3 单稳态电路

### 7.3.1 用门电路组成的单稳态电路

#### 一、微分型单稳态电路

$G_1$ 和 $G_2$ 为CMOS门

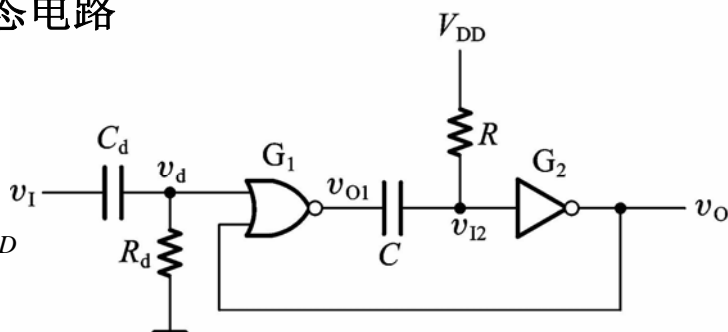
$$V_{OH} = V_{DD}, V_{OL} = 0, V_{TH} = \frac{1}{2}V_{DD}$$

#### 1 原理分析

充电至 $v_{I2} = V_{TH}$ 时,  $v_{I2} \uparrow$  又引起正反馈

$$v_{I2} \uparrow \rightarrow v_O \downarrow \rightarrow v_{O1} \uparrow$$

电路迅速返回 $v_O = 0, v_{O1} = V_{DD}$ ,  $C$ 放电至没有电压, 恢复稳态。



## § 7.3 单稳态电路

### 2 性能参数计算

#### ●输出脉冲宽度 $t_w$

电容 $C$ 开始充电到 $v_{I2}$ 上升至 $V_{TH}$ 的时间

#### ●输出脉冲幅度 $V_m$

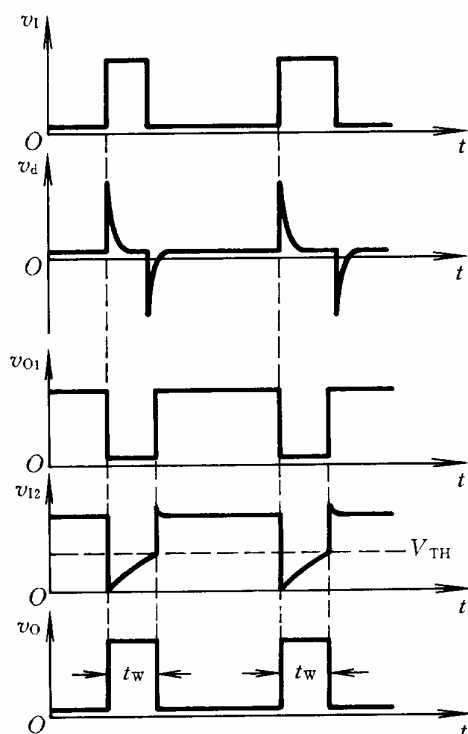
输出脉冲的最大变化幅度

#### ●恢复时间 $t_{re}$

$v_O$ 返回低电平后, 电容 $C$ 放电至恢复为起始稳态的时间

#### ●分辨时间 $t_d$

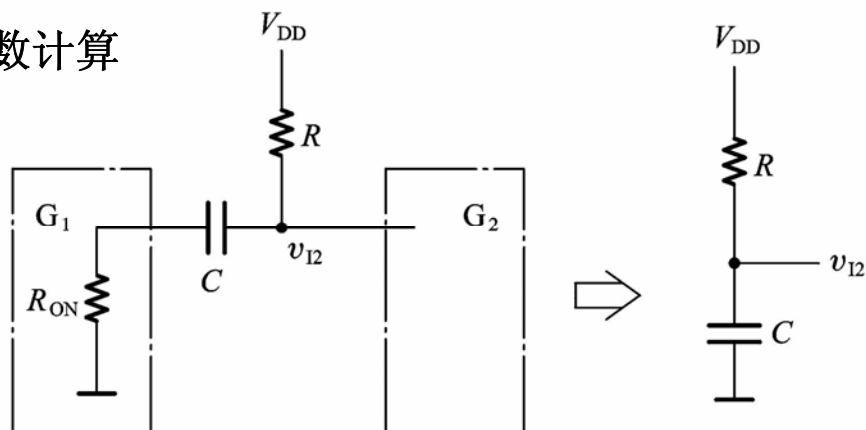
电路正常工作时, 允许两个相邻触发脉冲之间的最小时间间隔





## § 7.3 单稳态电路

### 2 性能参数计算



输出脉冲宽度  $t_w$

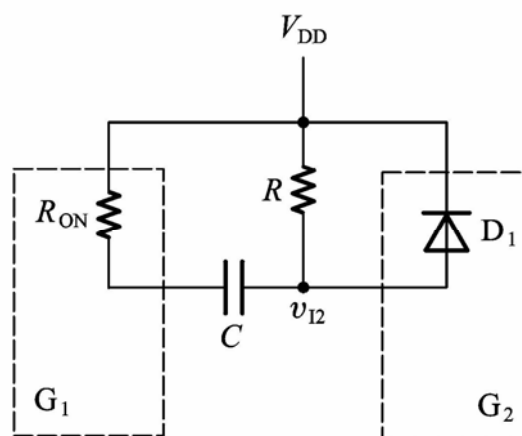
$$t_w = RC \ln \frac{v_c(\infty) - v_c(0)}{v_c(\infty) - V_{TH}} = RC \ln \frac{V_{DD} - 0}{V_{DD} - V_{TH}} = RC \ln 2 = 0.69RC$$

输出脉冲幅度  $V_m$

$$V_m = V_{OH} - V_{OL} = V_{DD}$$

## § 7.3 单稳态电路

### 2 性能参数计算



恢复时间  $t_{re}$

$$t_{re} = (3 \sim 5)(R // r_{D1} + R_{ON})C \approx (3 \sim 5)R_{ON}C$$

分辨时间  $t_d$

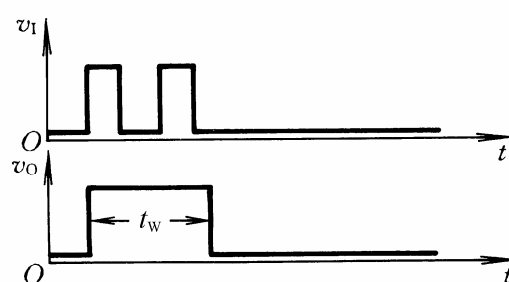
$$t_d = t_w + t_{re}$$



## § 7.3 单稳态电路

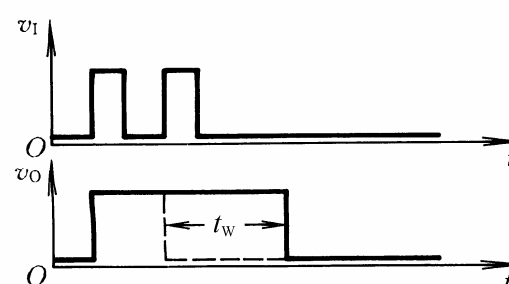
### 7.3.2 集成单稳态电路

(a)不可重复触发型



(a)

(b)可重复触发型



(b)

2022-9-9

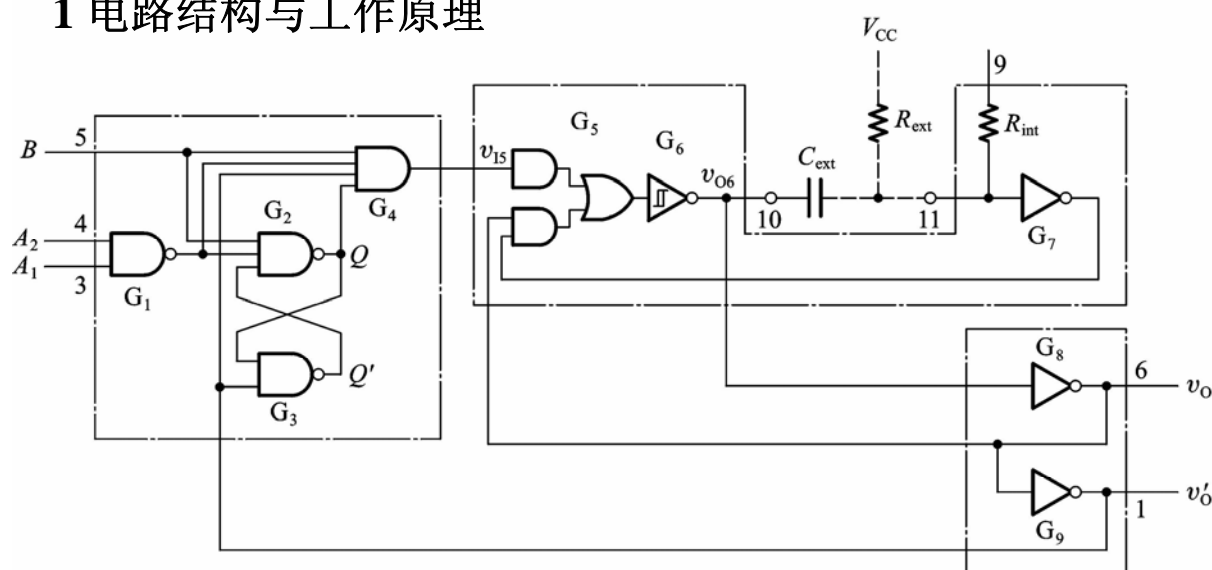
第七章 脉冲波形的产生和整形电路

17

## § 7.3 单稳态电路

### 一、TTL集成单稳态电路(74121)

#### 1 电路结构与工作原理



2022-9-9

第七章 脉冲波形的产生和整形电路

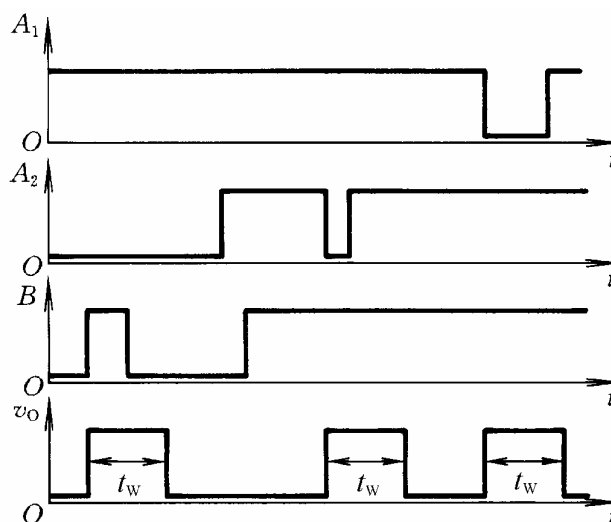
18

## § 7.3 单稳态电路

### 2 集成单稳态电路 74121 的功能表

输入			输出	
$A_1$	$A_2$	$B$	$v_O$	$v_O'$
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	↑		

### 集成单稳态电路 74121 的工作波形图



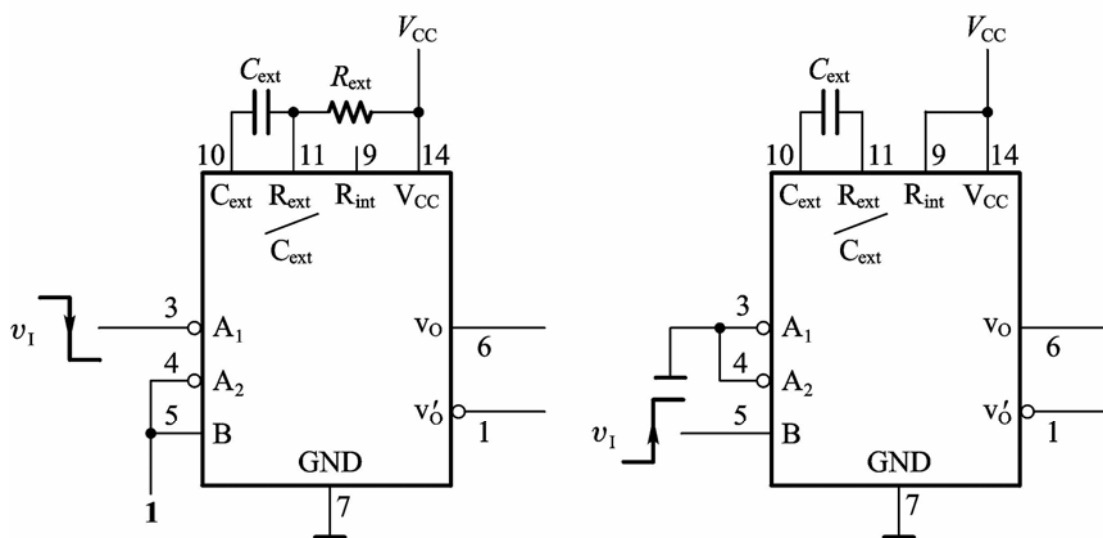
2022-9-9

第七章 脉冲波形的产生和整形电路

19

## § 7.3 单稳态电路

### 3 集成单稳态电路 74121 的外部连接方法



$$t_w \approx R_{ext} C_{ext} \ln 2 = 0.69 R_{ext} C_{ext}$$

2022-9-9

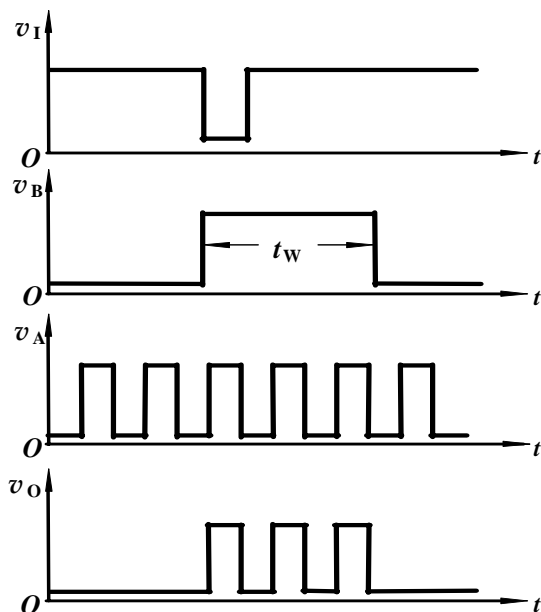
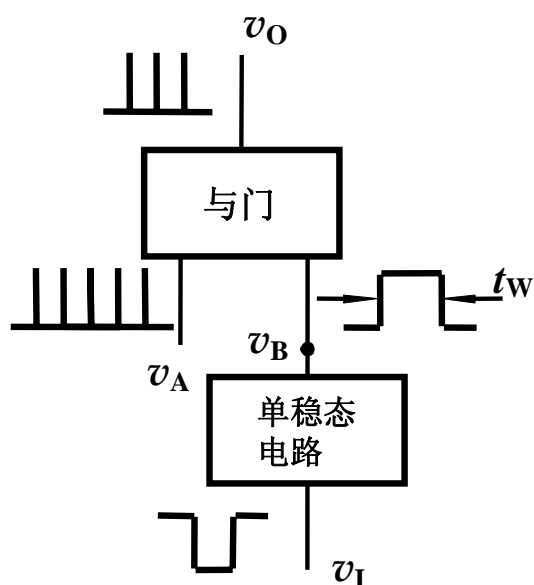
第七章 脉冲波形的产生和整形电路

20

## § 7.3 单稳态电路

### 二、单稳态电路的应用

#### 1 定时：产生固定时间宽度的脉冲信号



2022-9-9

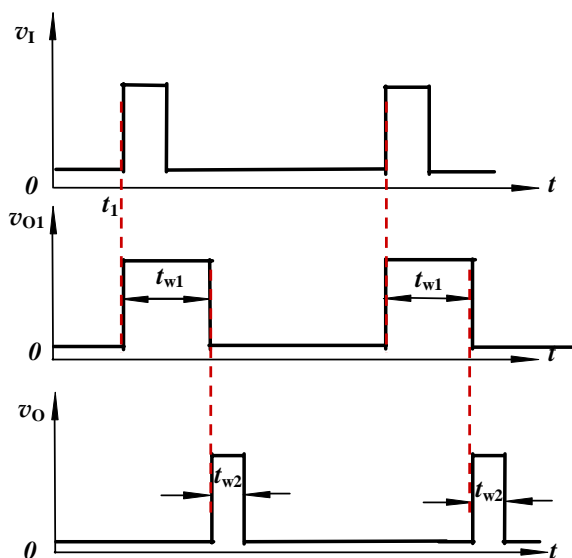
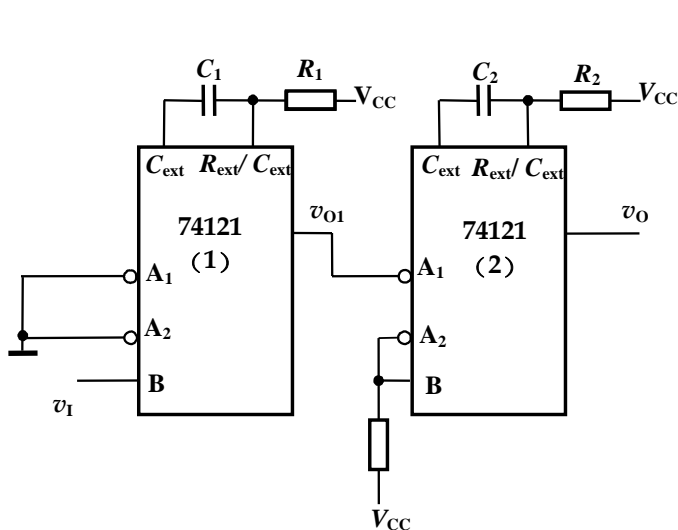
第七章 脉冲波形的产生和整形电路

21

## § 7.3 单稳态电路

### 二、单稳态电路的应用

#### 2 延时：产生滞后于触发脉冲的输出脉冲



2022-9-9

第七章 脉冲波形的产生和整形电路

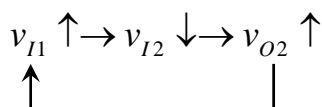
22

## § 7.4 多谐振荡电路

### 7.4.2 非对称式多谐振荡电路

#### 一、工作原理 (CMOS)

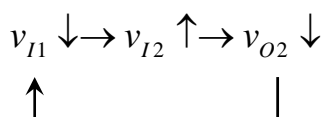
(1) 由于“扰动”使  $v_{I1}$  有微小  $\uparrow$ , 则有:



使  $v_{O1}$  迅速 = 低, 而  $v_{O2}$  迅速 = 高。

电路进入第一个暂稳态  $\Rightarrow C$  开始放电,  $v_{I1} \downarrow$

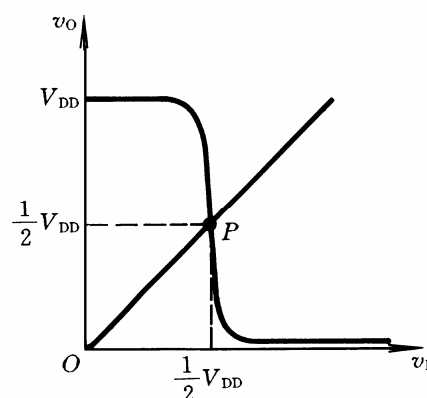
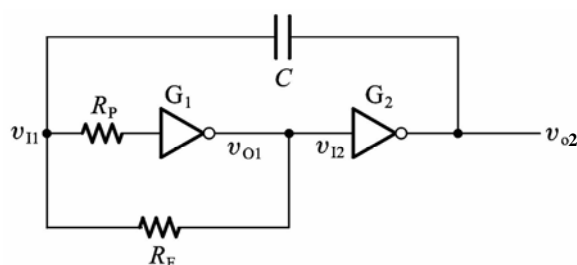
(2)  $v_{I1} \downarrow$  至  $V_{TH}$ , 则有:



使  $v_{O1}$  迅速 = 高, 而  $v_{O2}$  迅速 = 低。

电路进入第二个暂稳态  $\Rightarrow C$  开始充电,  $v_{I1} \uparrow$

(3) 当  $v_{I1} \uparrow$  至  $V_{TH}$ , 又返回第一个暂稳态。



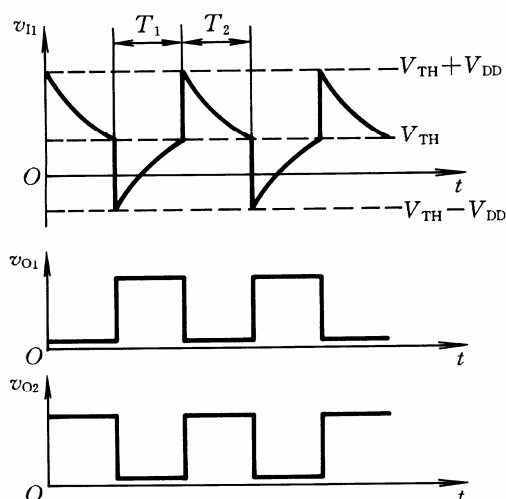
2022-9-9

第七章 脉冲波形的产生和整形电路

23

## § 7.4 多谐振荡电路

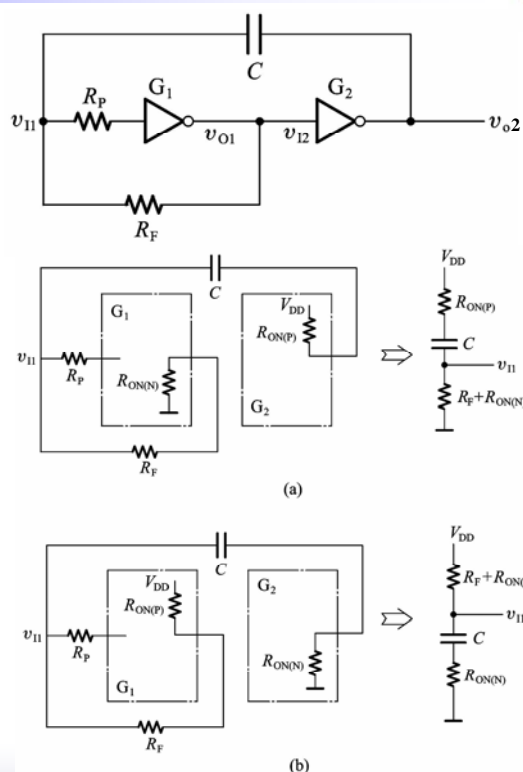
### 二、电压波形



$T_2$ :  $C$  放电, 从  $V_{TH} + V_{DD}$  放至  $V_{TH}$

$T_1$ :  $C$  充电, 从  $V_{TH} - V_{DD}$  充至  $V_{TH}$

振荡周期:  $T = T_1 + T_2 \approx 2.2 R_F C$



2022-9-9

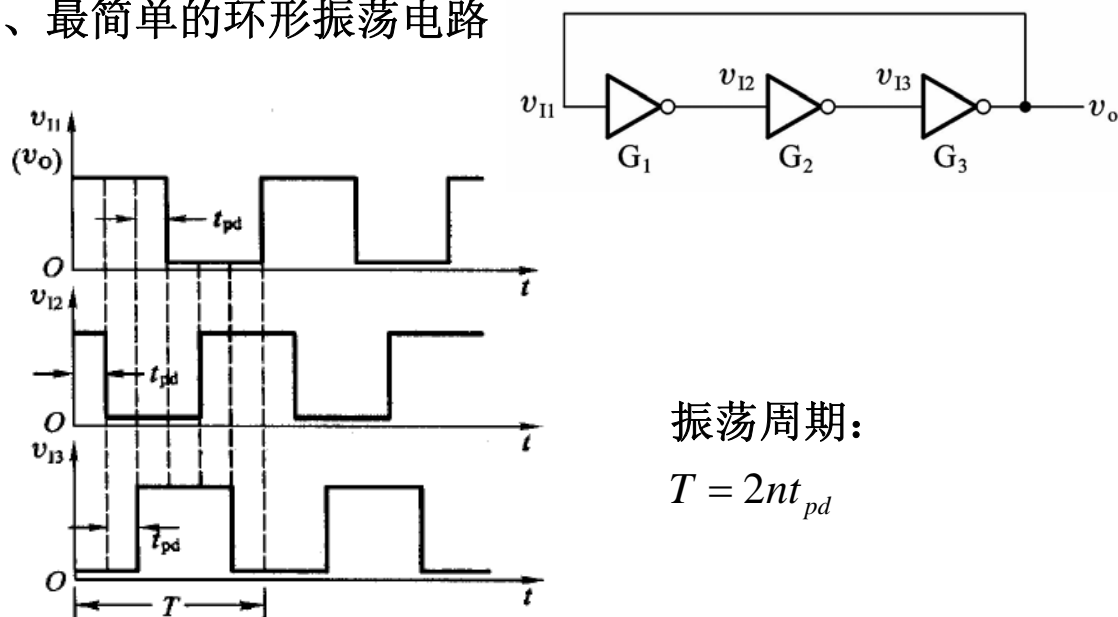
第七章 脉冲波形的产生和整形电路

24

## § 7.4 多谐振荡电路

### 7.4.3 环形振荡电路

#### 一、最简单的环形振荡电路



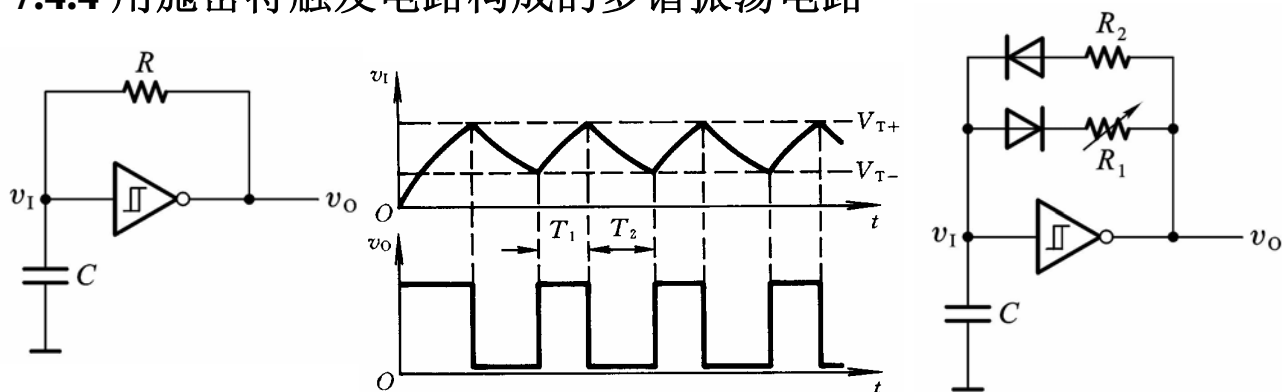
2022-9-9

第七章 脉冲波形的产生和整形电路

25

## § 7.4 多谐振荡电路

### 7.4.4 用施密特触发器构成的多谐振荡电路



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

$$T = T_1 + T_2 \approx R_2 C \ln \frac{V_{DD} - V_{T-}}{V_{DD} - V_{T+}} + R_1 C \ln \frac{V_{T+}}{V_{T-}}$$

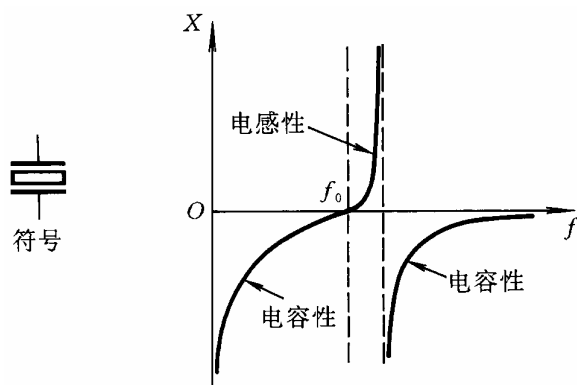
2022-9-9

第七章 脉冲波形的产生和整形电路

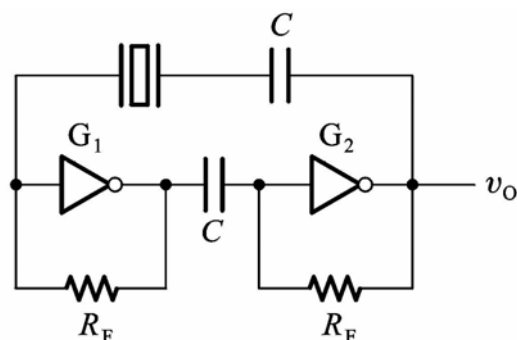
26

## § 7.4 多谐振荡电路

### 7.4.5 石英晶体多谐振荡电路



石英晶体的符号和电抗频率特性



石英晶体多谐振荡电路

\* 振荡电路的频率取决于石英晶体的固有谐振频率  $f_0$

\* 频率稳定性极高，频率稳定度  $(\Delta f_0 / f_0)$  可达  $10^{-10} \sim 10^{-11}$

## § 7.5 555定时器及其应用

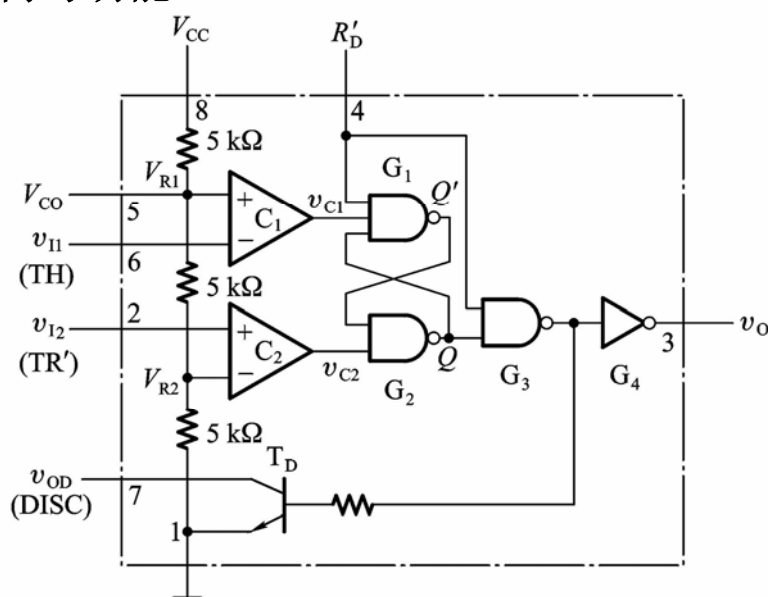
### 7.5.1 555定时器的电路结构与功能

#### 一、电路结构

电压比较器(C1,C2)

SR锁存器

OC输出的三极管( $T_D$ )

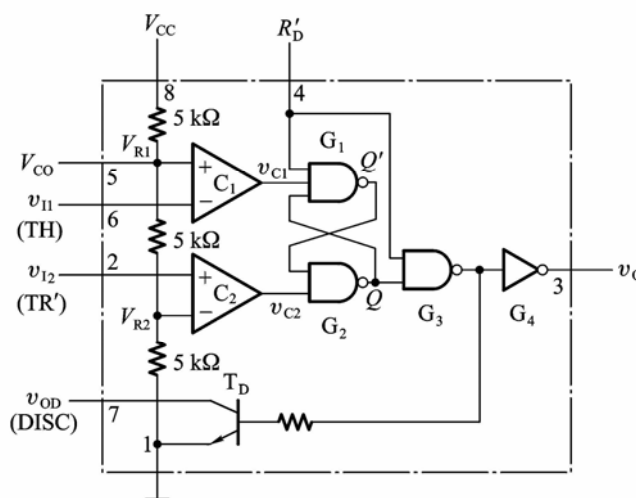




## § 7.5 555定时器及其应用

### 二、功能表

输 入			输 出	
$R'_D$	$v_{I1}$	$v_{I2}$	$v_O$	$T_D$
0	X	X	0	导通
1	$> \frac{2}{3}V_{CC}$	$> \frac{1}{3}V_{CC}$	0	导通
1	$< \frac{2}{3}V_{CC}$	$> \frac{1}{3}V_{CC}$	不变	不变
1	$< \frac{2}{3}V_{CC}$	$< \frac{1}{3}V_{CC}$	1	截止
1	$> \frac{2}{3}V_{CC}$	$< \frac{1}{3}V_{CC}$	1	截止



2022-9-9

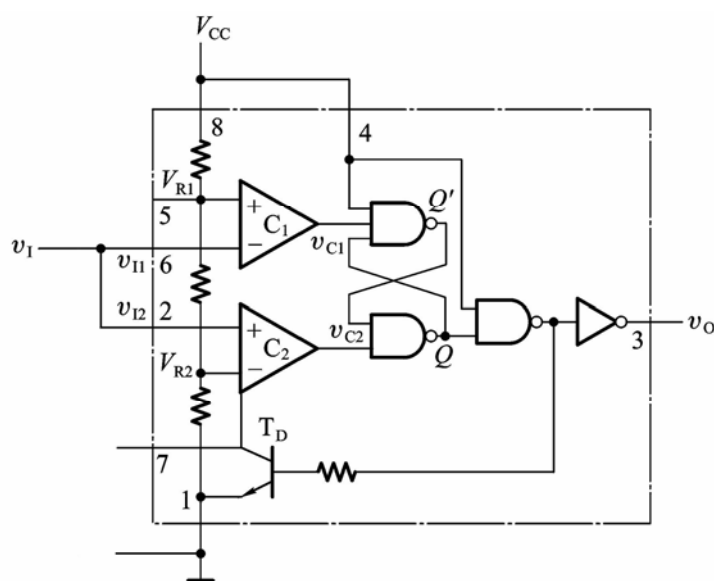
第七章 脉冲波形的产生和整形电路

29



## § 7.5 555定时器及其应用

### 7.5.2 用555定时器接成施密特触发电路



输 入			输 出	
$R'_D$	$v_{I1}$	$v_{I2}$	$v_O$	$T_D$
0	X	X	0	导通
1	$> \frac{2}{3}V_{CC}$	$> \frac{1}{3}V_{CC}$	0	导通
1	$< \frac{2}{3}V_{CC}$	$> \frac{1}{3}V_{CC}$	不变	不变
1	$< \frac{2}{3}V_{CC}$	$< \frac{1}{3}V_{CC}$	1	截止
1	$> \frac{2}{3}V_{CC}$	$< \frac{1}{3}V_{CC}$	1	截止

2022-9-9

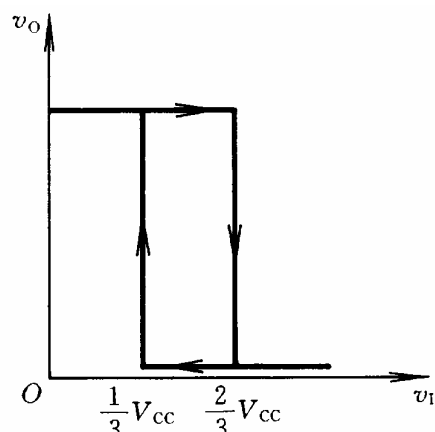
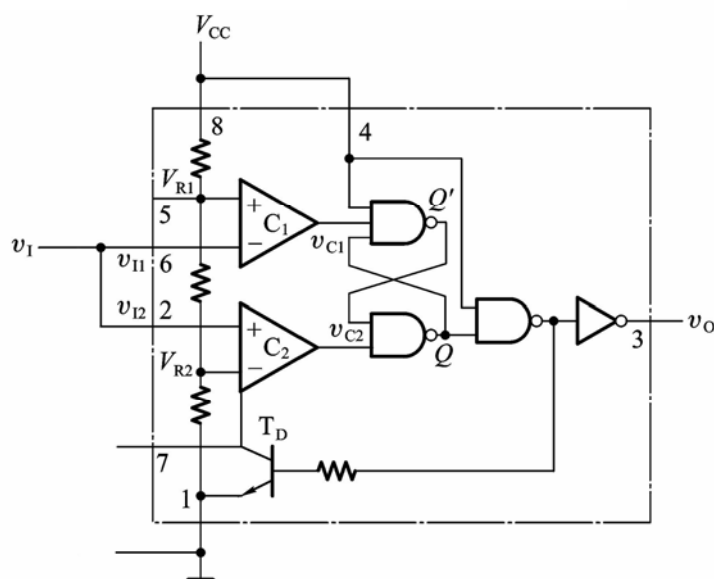
第七章 脉冲波形的产生和整形电路

30



## § 7.5 555定时器及其应用

### 7.5.2 用555定时器接成施密特触发电路



$$V_{T+} = \frac{2}{3}V_{CC}, V_{T-} = \frac{1}{3}V_{CC}$$

$$\Delta V_T = V_{T+} - V_{T-} = \frac{1}{3}V_{CC}$$

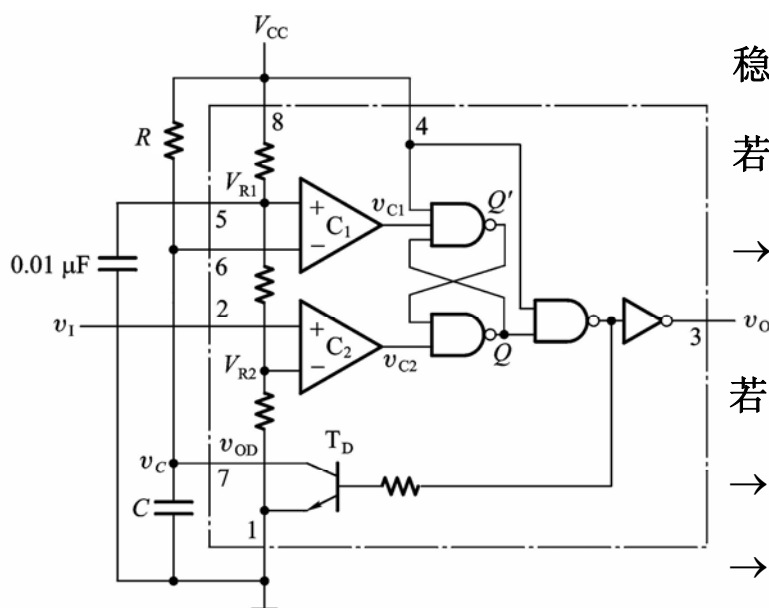
2022-9-9

第七章 脉冲波形的产生和整形电路

31

## § 7.5 555定时器及其应用

### 7.5.3 用555定时器接成单稳态电路



稳态时:  $v_i = 1, v_o = 0, T_D$  导通

稳态时, 无触发信号:  $v_i = 1$

若通电后  $Q = 0 \rightarrow T_D$  导通

$\rightarrow v_c = 0 \begin{cases} v_{C1} = 1 \\ v_{C2} = 1 \end{cases} \rightarrow Q = 0$  保持

若通电后  $Q = 1 \rightarrow T_D$  截止

$\rightarrow C$  充电至  $v_c = \frac{2}{3}V_{CC}$

$\rightarrow v_{C1} = 0 \rightarrow Q = 0 \rightarrow T_D$  导通

$\rightarrow C$  放电  $\rightarrow \begin{cases} v_{C1} = 1 \\ v_{C2} = 1 \end{cases} \rightarrow Q = 0$  保持

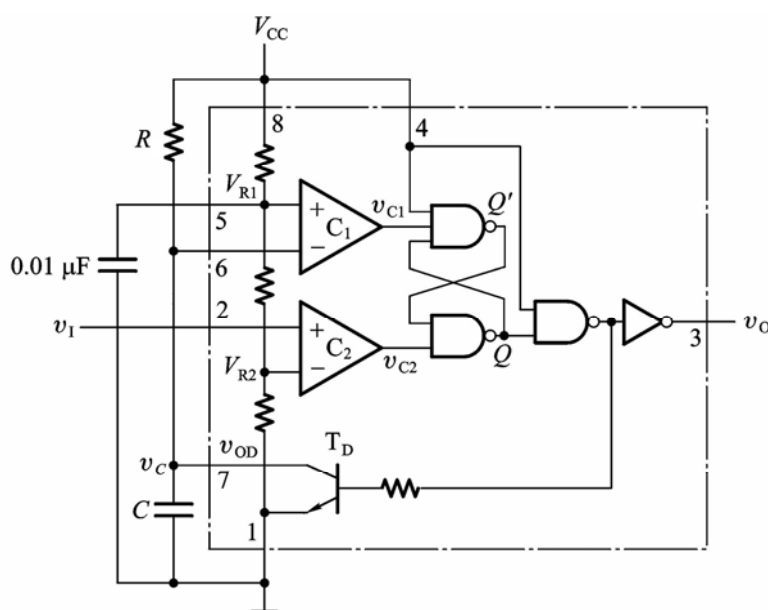
2022-9-9

第七章 脉冲波形的产生和整形电路

32

## § 7.5 555定时器及其应用

### 7.5.3 用555定时器接成单稳态电路



触发时  $V_I \downarrow$

只要  $v_I$  降至  $\frac{1}{3}V_{CC}$ , 则  $\begin{cases} v_{C1} = 1 \\ v_{C2} = 0 \end{cases}$

$\rightarrow Q = 1, T_D$  截止  $\rightarrow C$  开始充电

当  $v_C$  充至  $\frac{2}{3}V_{CC}$  时

(假定此时  $v_I$  已经回到高电平)

则  $\begin{cases} v_{C1} = 0 \\ v_{C2} = 1 \end{cases} \rightarrow Q = 0, T_D \text{ 导通}$

$\rightarrow C$  开始放电至 0

$\rightarrow \begin{cases} v_{C1} = 1 \\ v_{C2} = 1 \end{cases} \rightarrow Q = 0 \text{ 保持}$

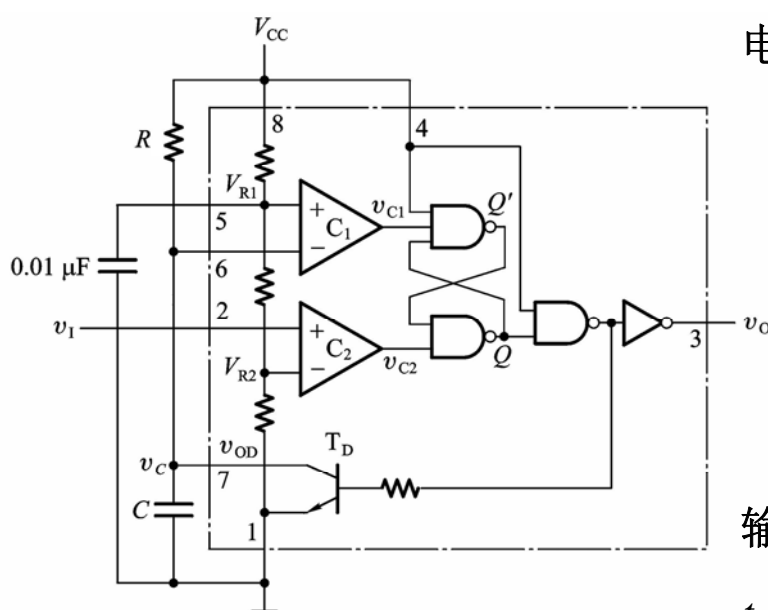
2022-9-9

第七章 脉冲波形的产生和整形电路

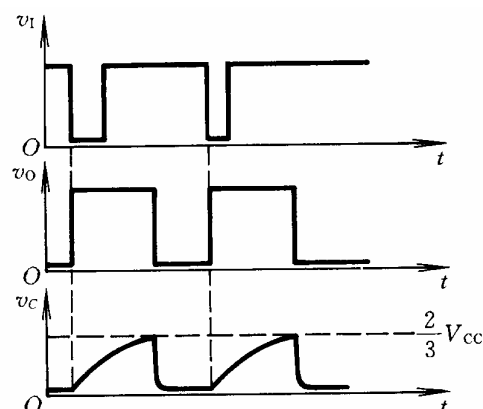
33

## § 7.5 555定时器及其应用

### 7.5.3 用555定时器接成单稳态电路



电压波形图:



输出脉冲的宽度  $t_w$ :

$$t_w = RC \ln \frac{V_{CC} - 0}{V_{CC} - \frac{2}{3}V_{CC}} = RC \ln 3$$

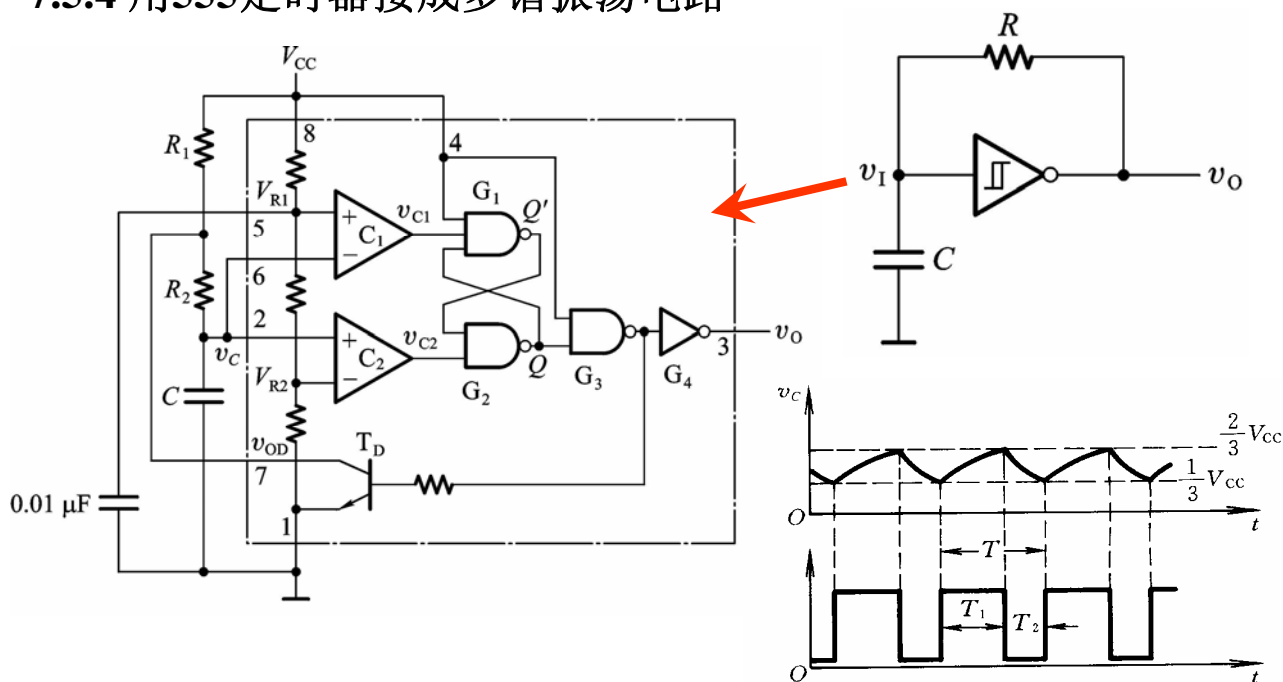
2022-9-9

第七章 脉冲波形的产生和整形电路

34

## § 7.5 555定时器及其应用

### 7.5.4 用555定时器接成多谐振荡电路



2022-9-9

第七章 脉冲波形的产生和整形电路

35

## § 7.5 555定时器及其应用

### 7.5.4 用555定时器接成多谐振荡电路

#### 振荡频率计算

充电时间 $T_1$ :

$$T_1 = (R_1 + R_2)C \ln \frac{V_{CC} - V_{T-}}{V_{CC} - V_{T+}}$$

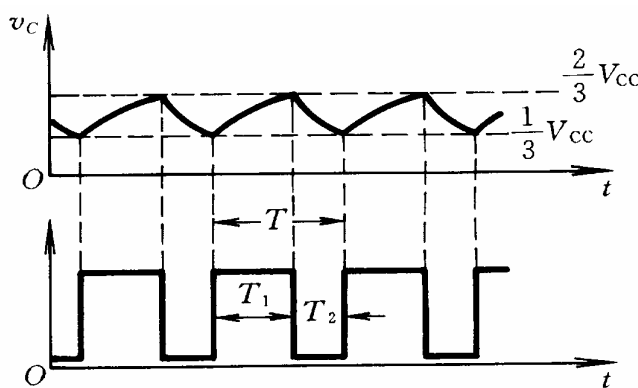
$$= (R_1 + R_2)C \ln 2$$

放电时间 $T_2$ :

$$T_2 = R_2 C \ln \frac{0 - V_{T+}}{0 - V_{T-}} = R_2 C \ln 2$$

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

振荡频率:  $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{(R_1 + 2R_2)C \ln 2}$  占空比:  $q = \frac{T_1}{T} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2} > 50\%$



2022-9-9

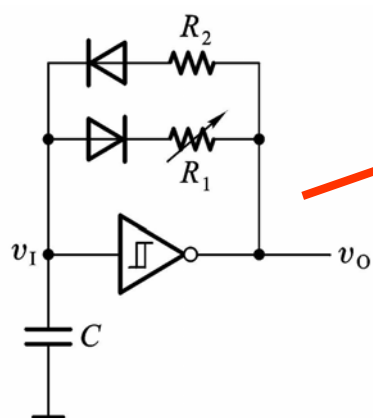
第七章 脉冲波形的产生和整形电路

36

## § 7.5 555定时器及其应用

### 7.5.4 用555定时器接成多谐振荡电路

#### • 占空比可调的多谐振荡电路



$$T_1 = R_1 C \ln 2 \quad T_2 = R_2 C \ln 2$$

$$T = T_1 + T_2 = (R_1 + R_2) C \ln 2 \quad q = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

