



脉冲波形的产生与整形

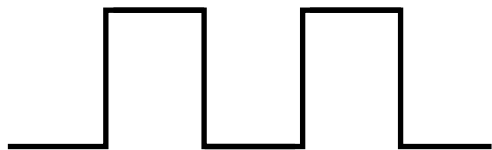
↑理解概念即可

- 1 概述
 - 2 555定时器
 - 3 单稳态触发器
 - 4 施密特触发器
 - 5 多谐振荡器
- 

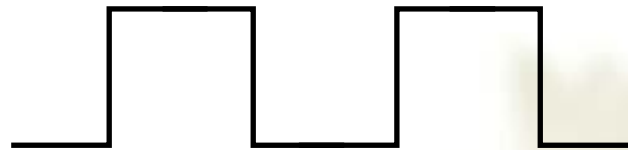
1 概述

一、脉冲信号

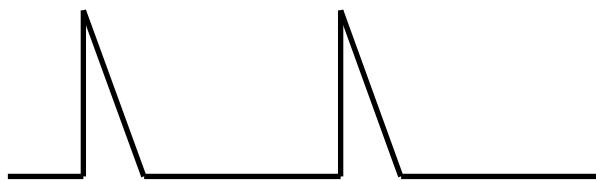
脉冲是**脉动**和**短促**的意思，凡是具有**不连续波形**的信号均可称为脉冲信号。广义讲，各种**非正弦信号**都是脉冲信号。



(a) 矩形波



(b) 方波



(c) 尖脉冲



(d) 锯齿波

1 概述

在数字系统中常常需要用到各种幅度、宽度以及具有陡峭边沿的矩形脉冲信号，如触发器的时钟脉冲（ CP ）。获取这些脉冲信号的方法通常有两种：

- ①脉冲产生电路直接产生；
- ②利用已有的周期信号整形、变换得到。

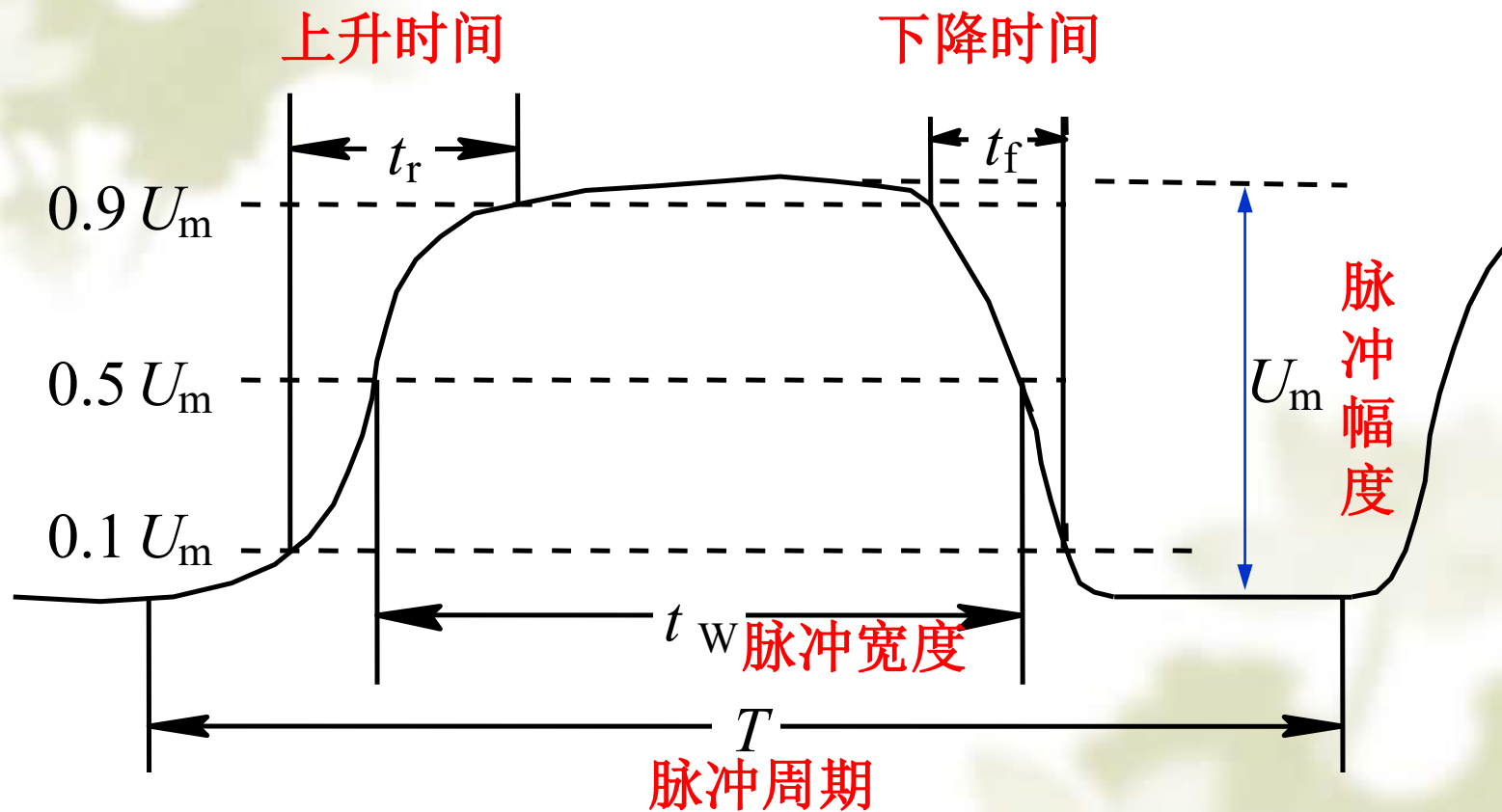
~~脉冲整形、变换电路~~——单稳态触发器
施密特触发器；

脉冲产生电路——多谐振荡器；

多用途的定时电路——555定时器。

1 概述

二、脉冲信号的参数



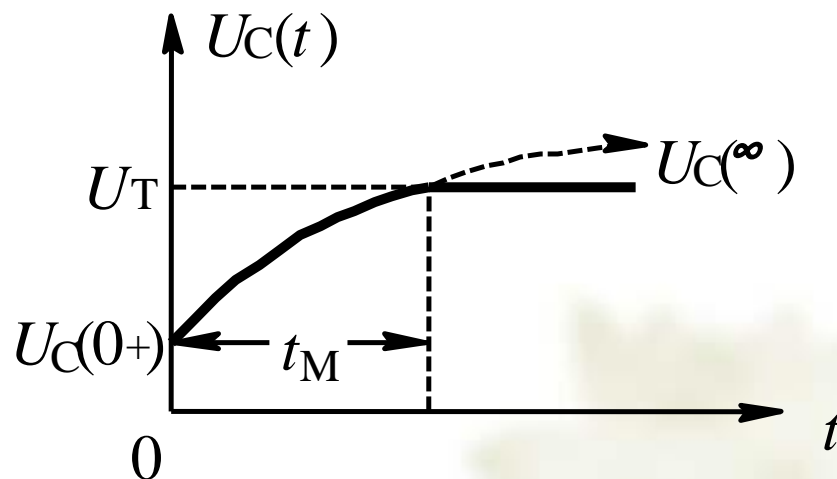
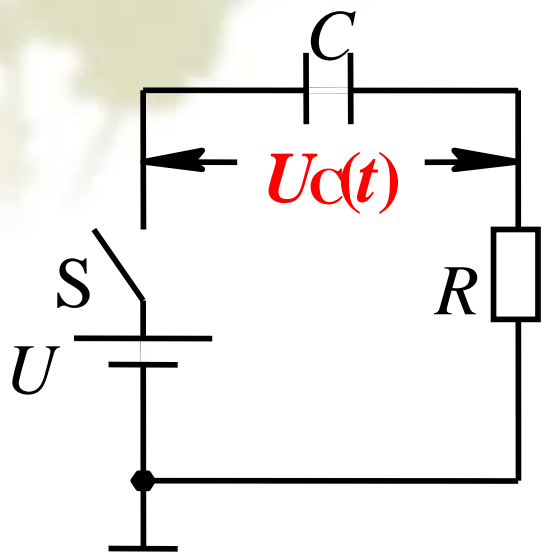
矩形脉冲信号的主要参数

占空比 D ——脉冲宽度与脉冲周期的比值, $D = t_w / T$ 。

1 概述

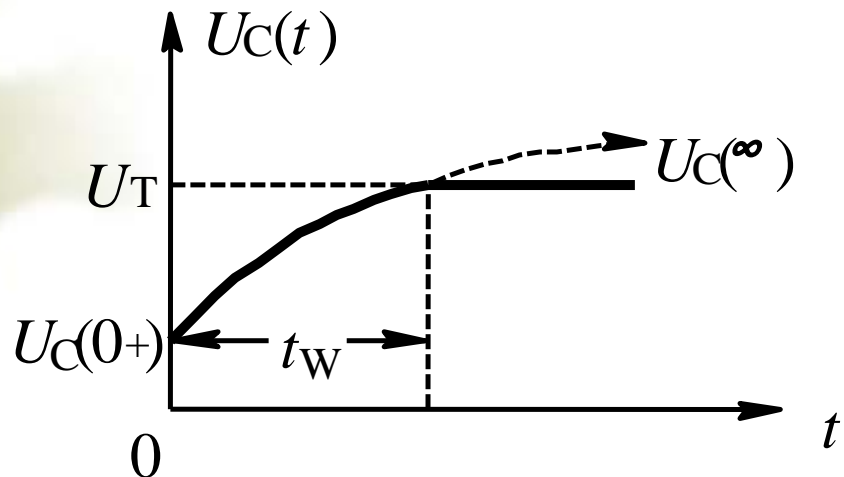
三、脉冲产生电路的暂态分析

脉冲波形产生与整形电路多是由RC充放电电路构成的。



- ① 开关闭合的一瞬间，电容器上电压不能突变，满足开关定理 $U_C(0_+) = U_C(0_-)$ 。
- ② 充电暂态过程结束后，流过电容器的电流 $i_C(\infty)$ 为0，即电容器相当于开路。

1 概述



③ 电路的时间常数 $\tau = RC$ ， τ 决定了暂态时间的长短。根据三要素公式，可以得到电压随时间变化的方程为

$$u_C(t) = U_C(\infty) + [U_C(0_+) - U_C(\infty)]e^{-t/\tau}$$

④ 令 $u_C(t_W) = U_T$ ，则从暂态过程的起始值 $U_C(0_+)$ 变到 U_T 所经历的时间 t_W （脉冲宽度）可用下式计算：

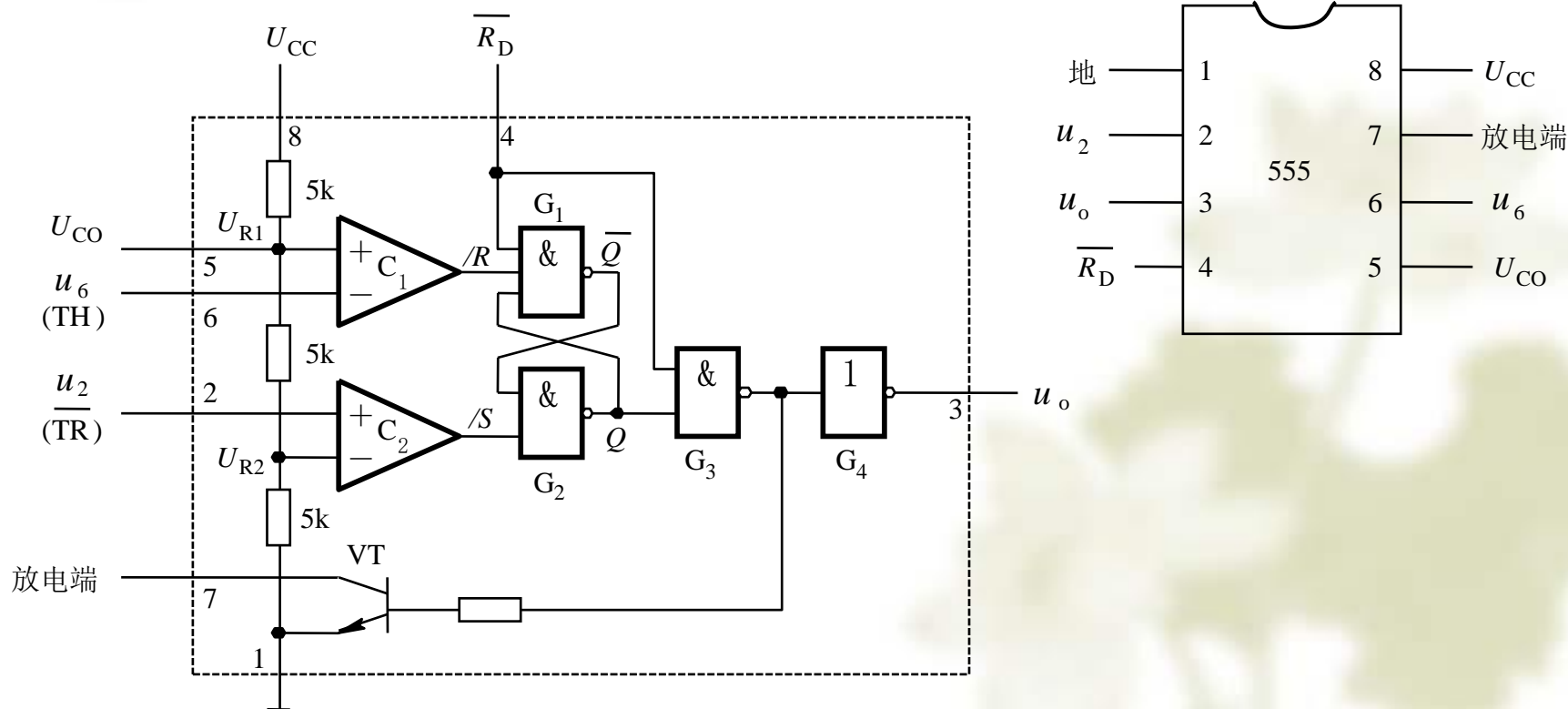
$$t_W = RC \ln \frac{U_C(\infty) - U_C(0_+)}{U_C(\infty) - U_T}$$

2 555定时器

555定时器是一种多用途的数字—模拟混合集成电路，可以方便地构成单稳态触发器，施密特触发器和多谐振荡器。

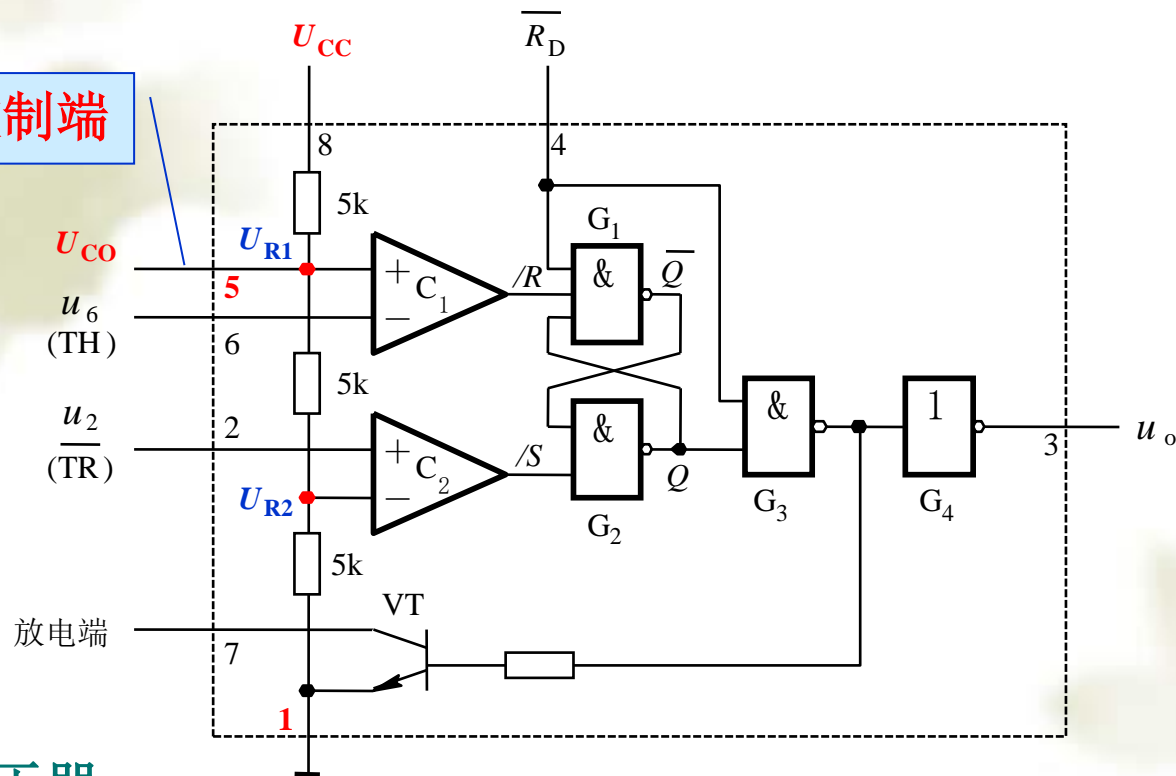
双极型产品型号最后数码为555，CMOS型产品型号最后数码为7555。其功能和外部引脚排列完全相同。

一、555定时器的电路结构



2 555定时器

电压控制端



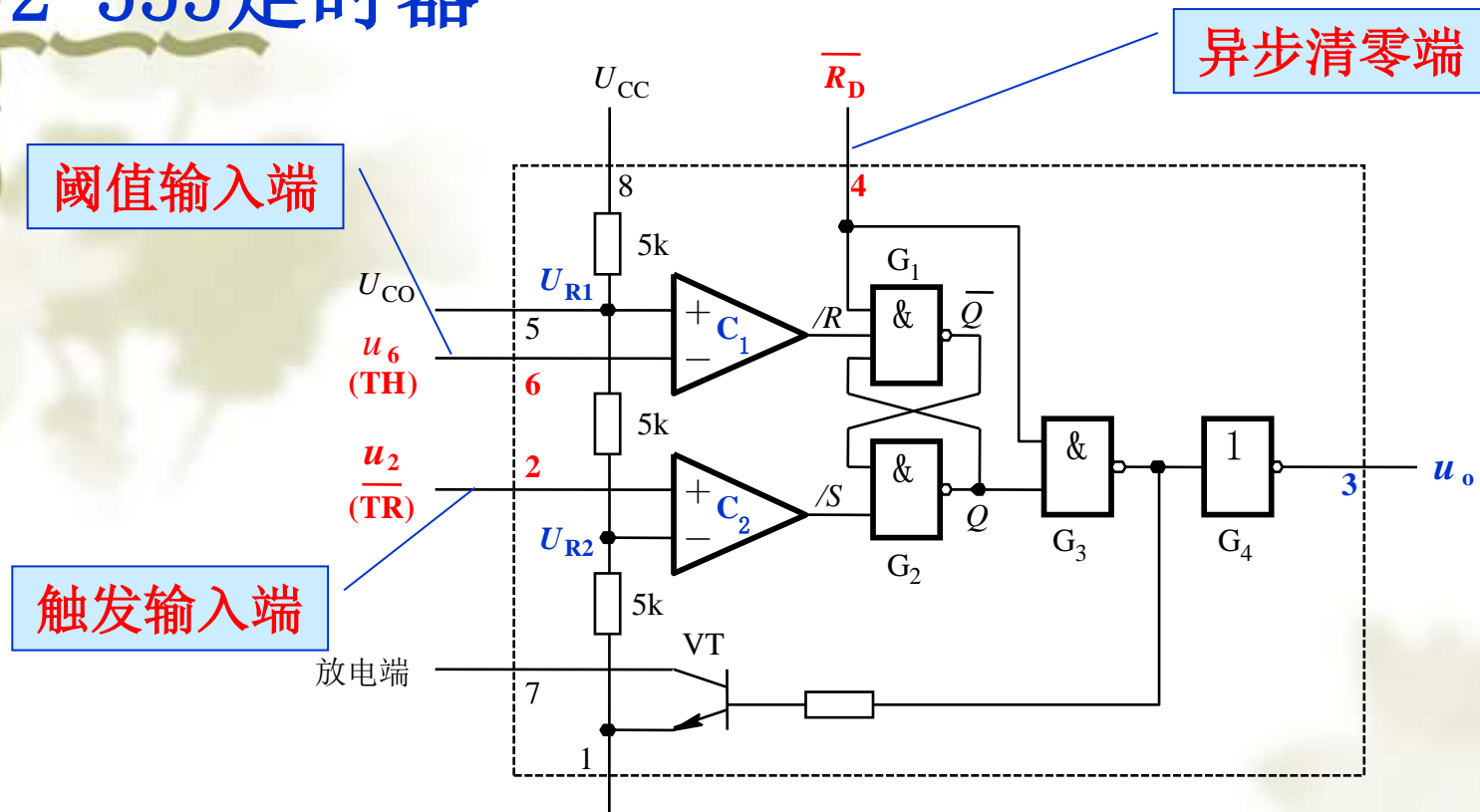
1. 分压器

①5脚悬空时， $U_{R1} = \frac{2}{3}U_{CC}$ ， $U_{R2} = \frac{1}{3}U_{CC}$ ；

②5脚外接控制电压 U_{CO} 时， $U_{R1} = U_{CO}$ ， $U_{R2} = \frac{1}{2}U_{CO}$ 。

注：当5脚不加控制电压时，通常经过一个 $0.01\mu F$ 的电容接地，以抑制干扰。

2 555定时器



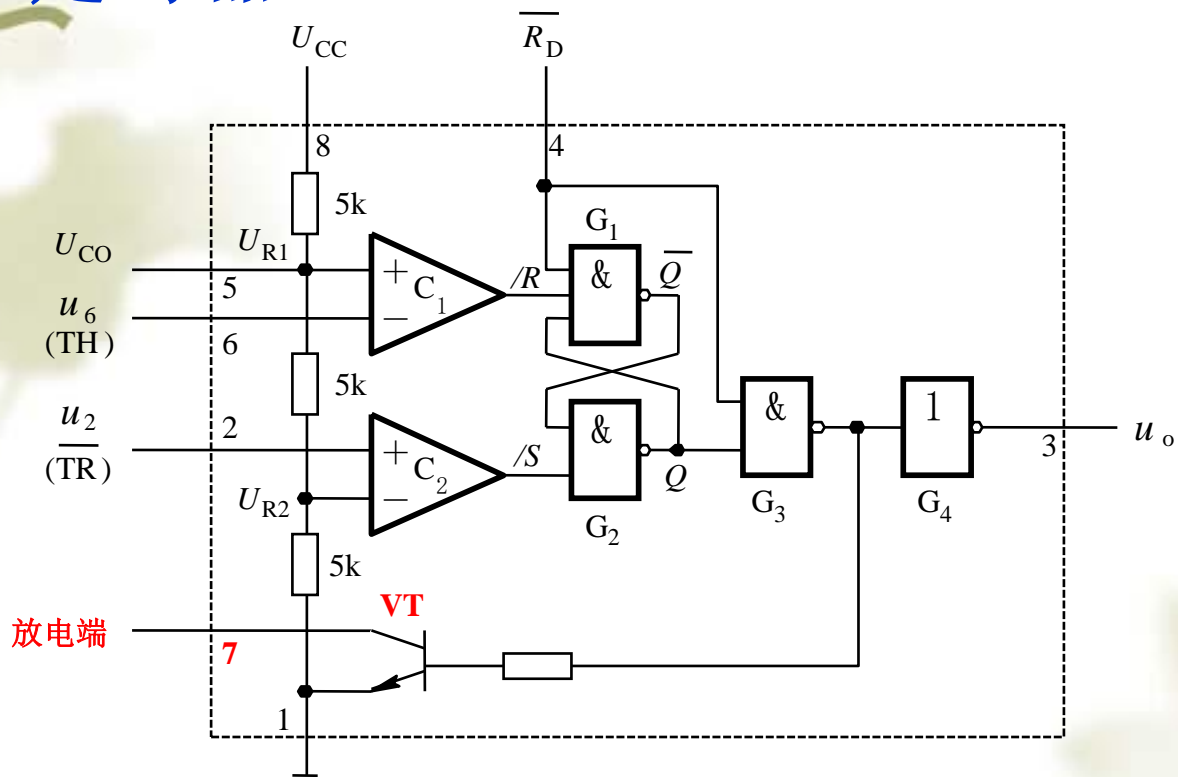
2. 电压比较器

$$\begin{cases} U_+ \geq U_- \text{ 时, } C_i = 1; \\ U_+ < U_- \text{ 时, } C_i = 0. \end{cases}$$

3. 基本RS触发器

/R	/S	Q^{n+1}
0	0	不定
0	1	0
1	0	1
1	1	Q^n

2 555定时器



4. 放电三极管

VT是一个**集电极开路**的放电三极管。

$\begin{cases} \text{当 } u_o = 0 \text{ 时, VT 导通;} \\ \text{当 } u_o = 1 \text{ 时, VT 截止。} \end{cases}$

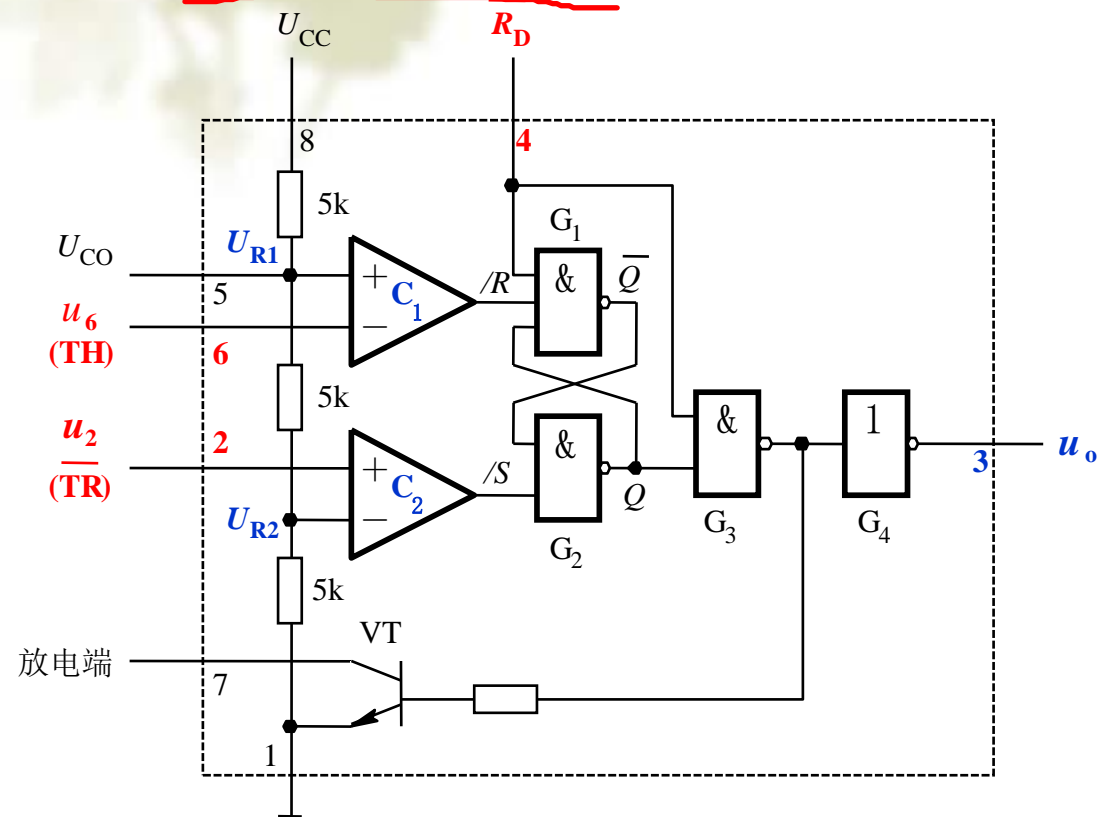
2 555定时器

二、555定时器的功能

定时器的主要功能取决于两个比较器输出对RS触发器和放电管VT状态的控制。

555定时器功能表

输入			输出	
$\overline{R_D}$	u_6	u_2	u_O	VT
0	×	×	0	导通
1	$< \frac{2}{3}U_{CC}$	$< \frac{1}{3}U_{CC}$	1	截止
1	$> \frac{2}{3}U_{CC}$	$> \frac{1}{3}U_{CC}$	0	导通
1	$< \frac{2}{3}U_{CC}$	$> \frac{1}{3}U_{CC}$	不变	不变



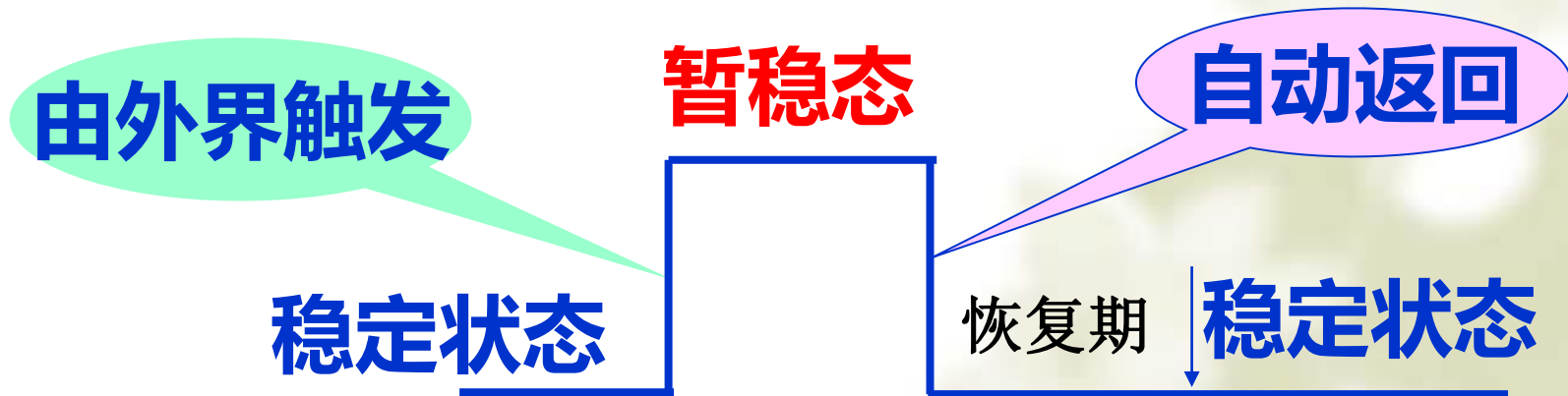
5脚不接控制电压，则 $U_{R1} = \frac{2}{3}U_{CC}$ ， $U_{R2} = \frac{1}{3}U_{CC}$ 。

3 单稳态触发器

单稳态触发器是一种常用的~~脉冲整形电路~~，简称单稳。

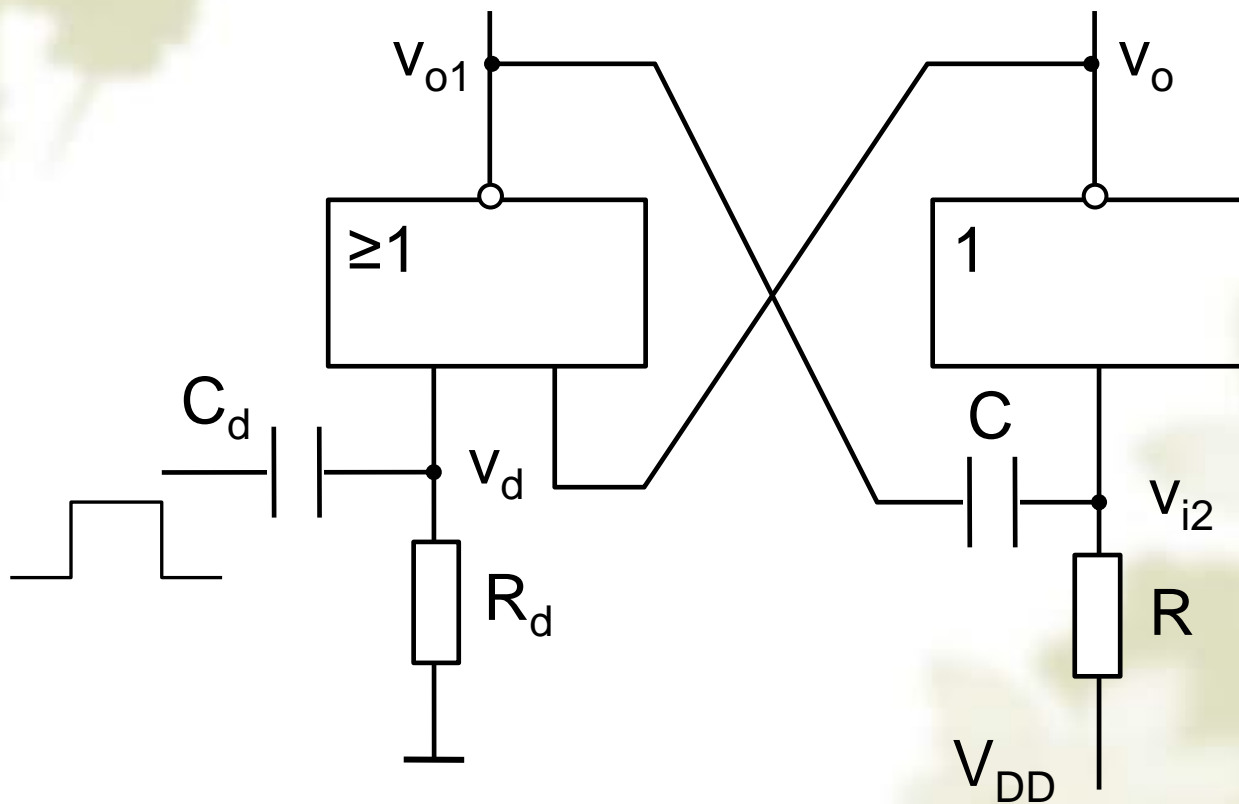
工作特性：

- ① 它有~~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~~翻转到~~暂稳态~~，在~~暂稳态~~维持一段时间以后，电路能~~自动返回稳态~~；
- ③ 暂稳态不能长久保持，其维持时间的长短取决于电路自身参数，与外界触发脉冲无关。

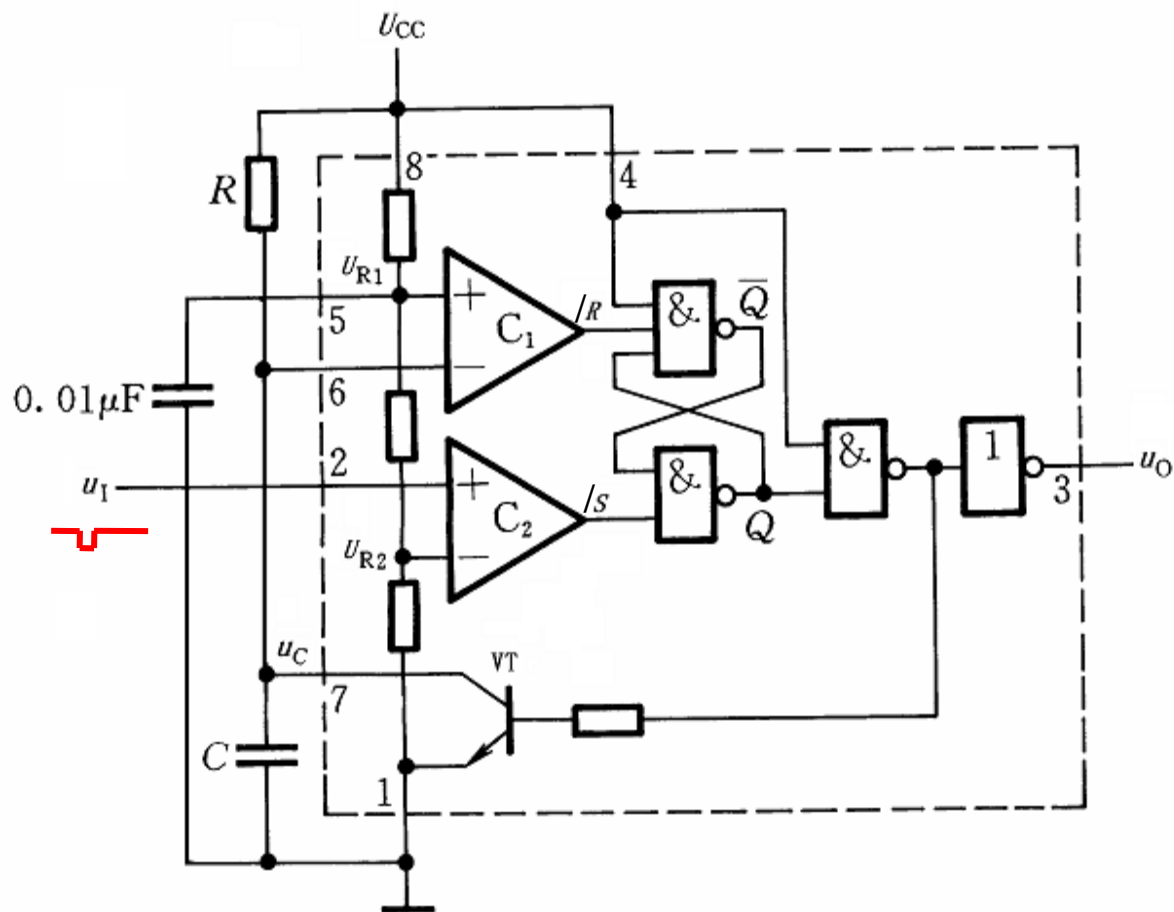


3 单稳态触发器

一、门电路构成的单稳态触发器



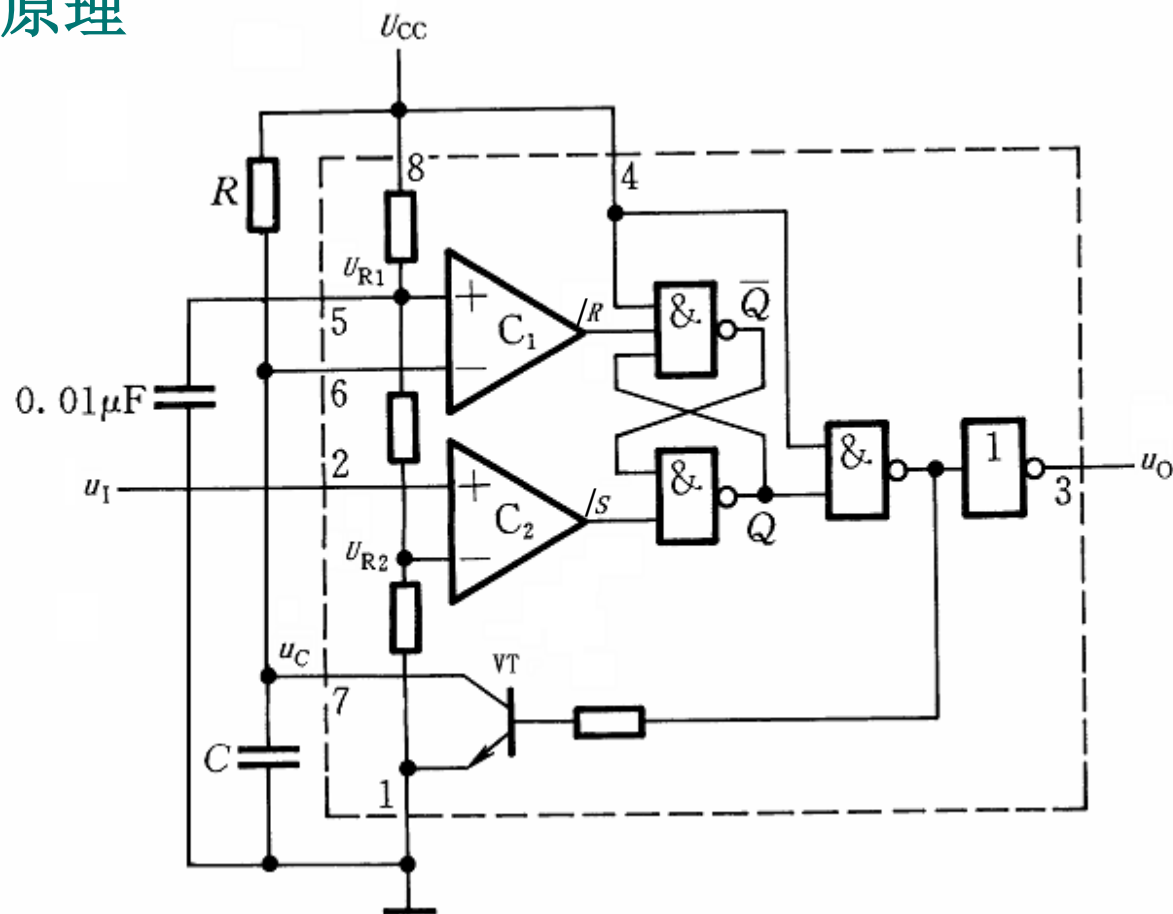
二、555定时器构成的单稳态触发器



5脚经过 $0.01\mu\text{F}$ 电容接地，则 $U_{R1} = \frac{2}{3}U_{CC}$ ， $U_{R2} = \frac{1}{3}U_{CC}$ 。

3 单稳态触发器

1. 工作原理

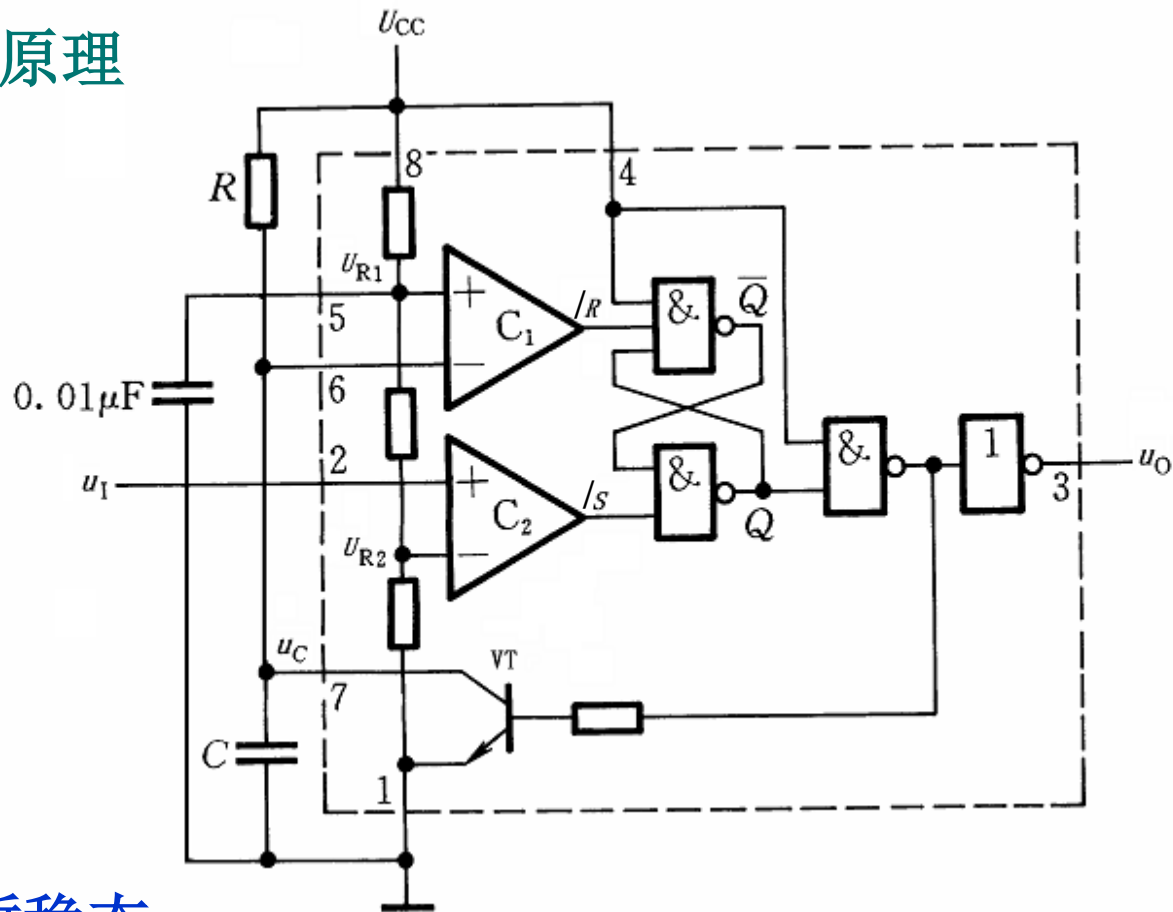


①稳态:

无触发信号时， u_I 为高电平。电容先充电后放电，当 $u_C=0$ 时，电路进入稳态： $u_O=0$ 。

3 单稳态触发器

1. 工作原理

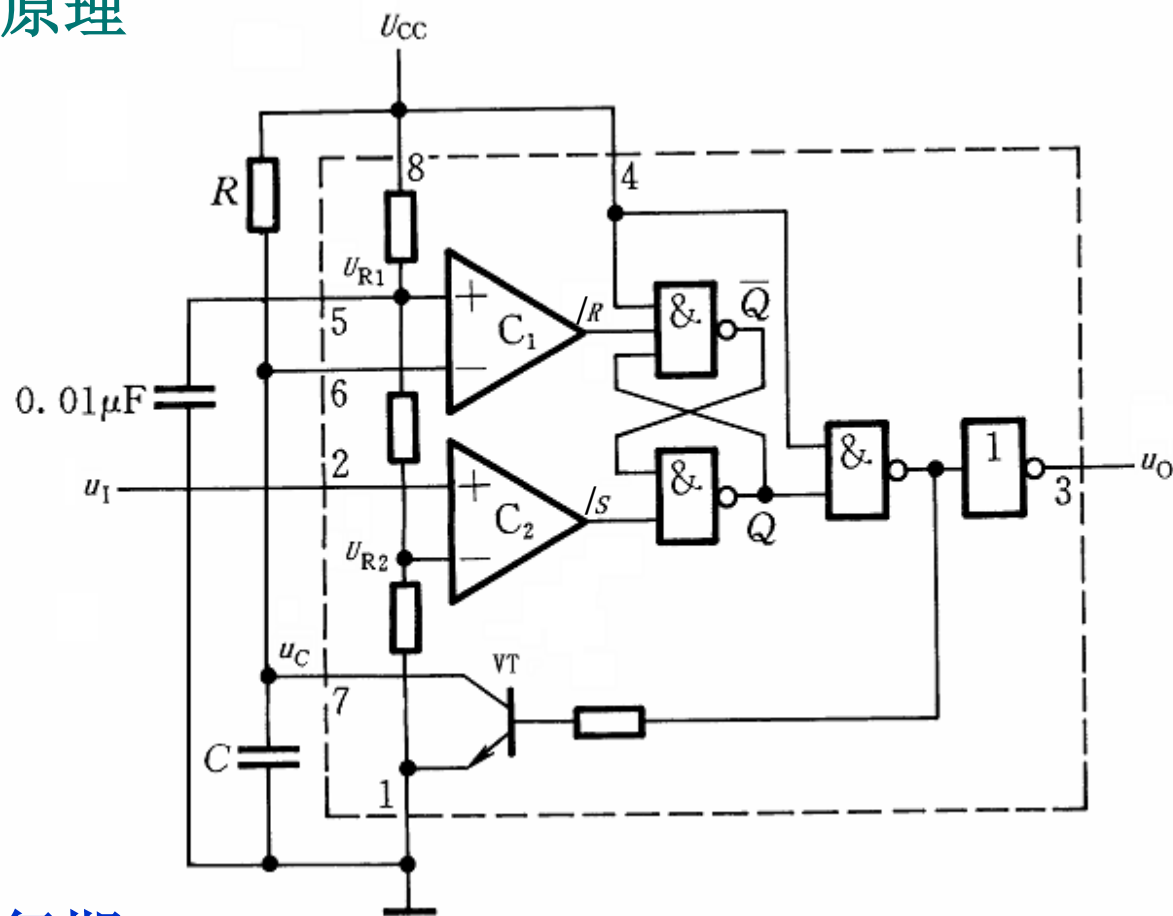


②暂稳态:

u_2 触发脉冲下降沿到达时 ($u_I < \frac{1}{3}U_{CC}$) , 电路进入暂稳态, $u_0=1$ 。当 $u_C > \frac{2}{3}U_{CC}$ 时, $u_0=0$, 暂稳态结束。

3 单稳态触发器

1. 工作原理

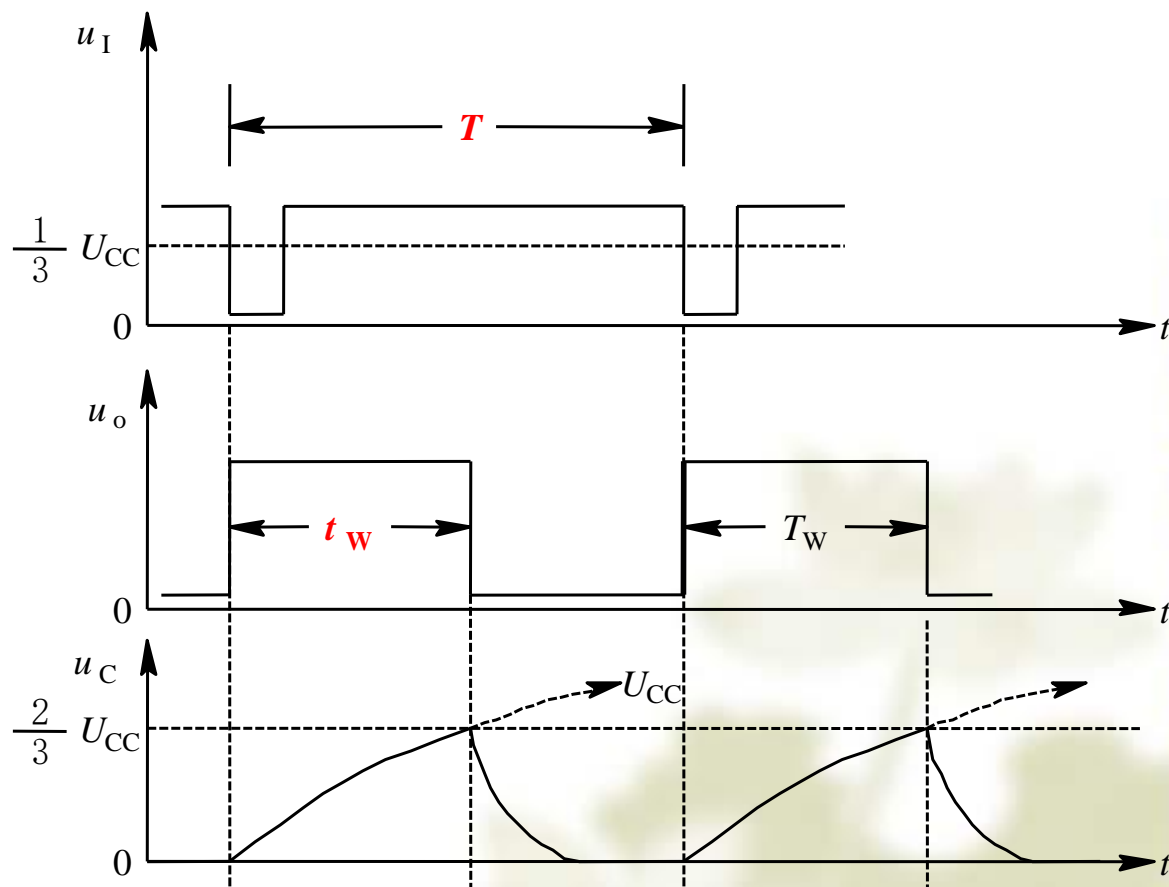
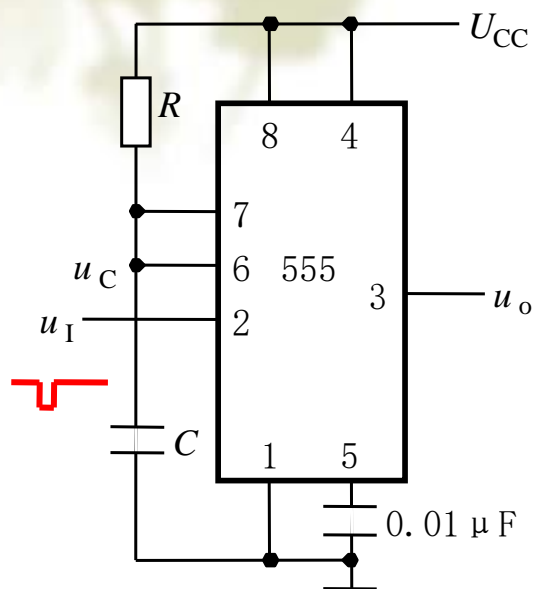


③恢复期:

VT导通，电容C迅速放电，直到使 $u_C \approx 0$ ，电路又恢复到稳态。

3 单稳态触发器

波形图



电路对输入触发脉冲的宽度有一定要求，它必须小于 t_W 。若输入触发脉冲宽度大于 t_W 时，应在 u_2 输入端加入微分电路。

3 单稳态触发器

2. 输出脉冲宽度 t_w

输出脉冲宽度 t_w 是 **暂稳态** 的停留时间，即电容 C 的电压从 **0 充电到 $\frac{2}{3}U_{cc}$** 所需的时间。根据电容 C 的充电过程可知：

$$U_C(0_+) = 0, U_C(\infty) = U_{cc}, U_T = u_C(t_w) = \frac{2}{3}U_{cc}, \tau = RC,$$

因此可得

$$t_w = RC \ln \frac{U_C(\infty) - U_C(0_+)}{U_C(\infty) - U_T} = RC \ln 3 = 1.1RC$$

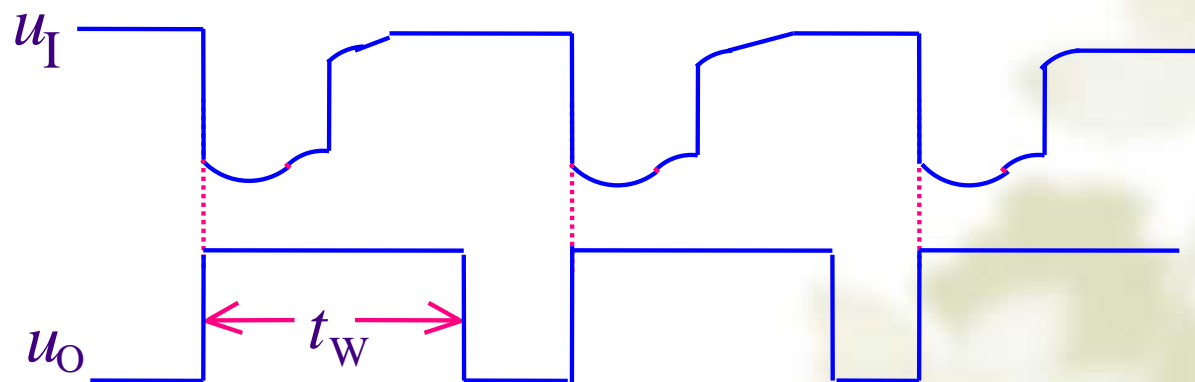
上式说明：~~单稳态触发器输出脉冲宽度 t_w 仅决定于定时元件 R 、 C 的取值，且成正比关系，而与输入触发信号和电源电压无关，因此调节 R 、 C 的大小，即可方便地改变 t_w 。~~矩形脉冲的周期与输入的触发信号周期相同。

3 单稳态触发器

三、单稳态触发器的应用

1. 脉冲整形

单稳态触发器能够把输入的不规则脉冲信号 u_I ，整形为具有一定幅度和一定宽度的标准矩形脉冲 u_O 。 u_O 的幅度取决于单稳态电路输出的高、低电平，宽度 t_w 决定于定时元件R和C。

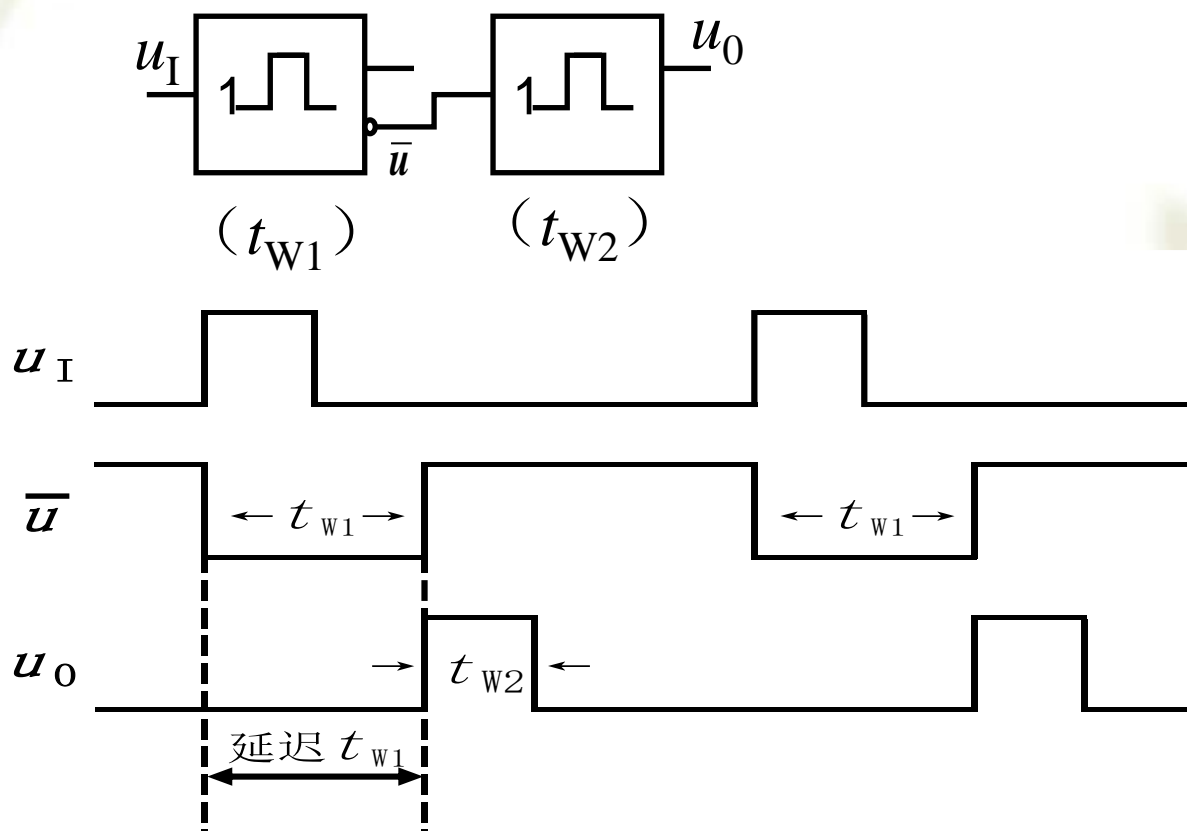


单稳态触发器的整形波形

3 单稳态触发器

2. 脉冲延时

脉冲延时电路一般要用两个单稳态触发器完成。**延时时间**为 t_{w1} ，它决定于第一级单稳态触发器的定时元件R和C。

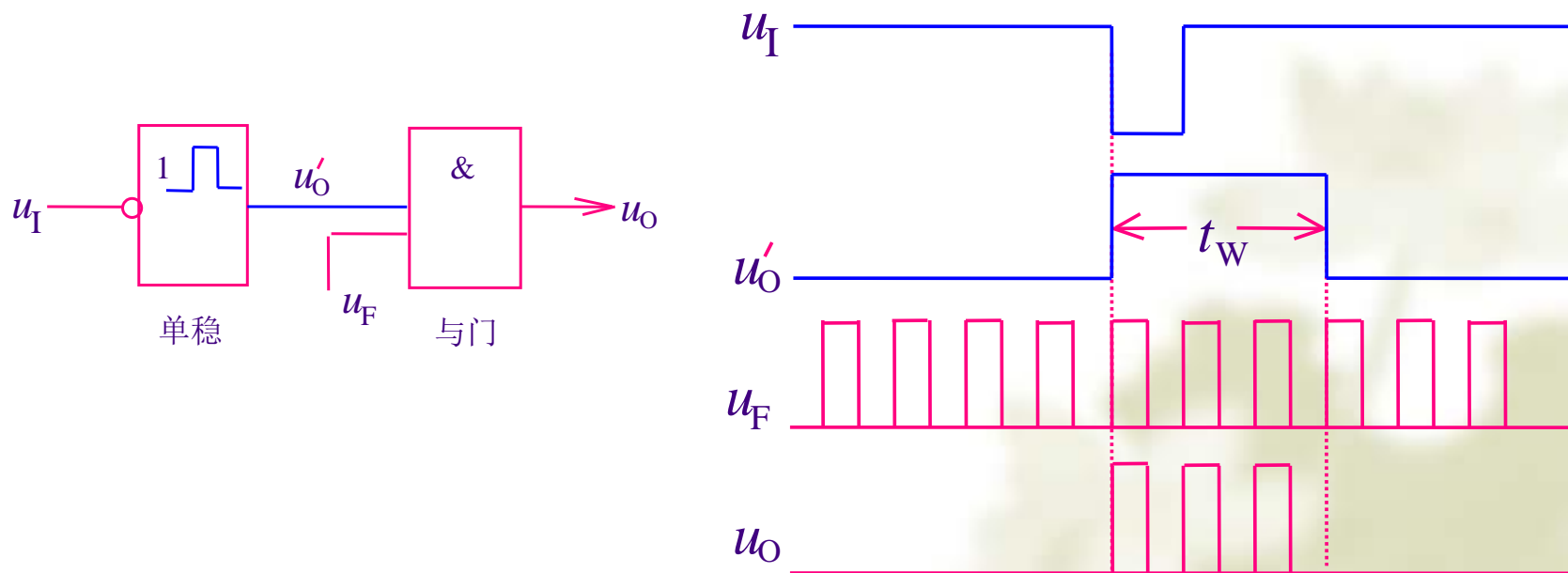


单稳态触发器的延时波形

3 单稳态触发器

3. 定时

由于单稳态触发器可产生宽度为 t_w 的矩形脉冲，利用这个矩形脉冲去控制某电路使它在 t_w 的时间内动作或不动作，这就是单稳态触发器的定时作用。定时时间为 t_w ，可通过调节定时元件 R 和 C 来调节定时时间。



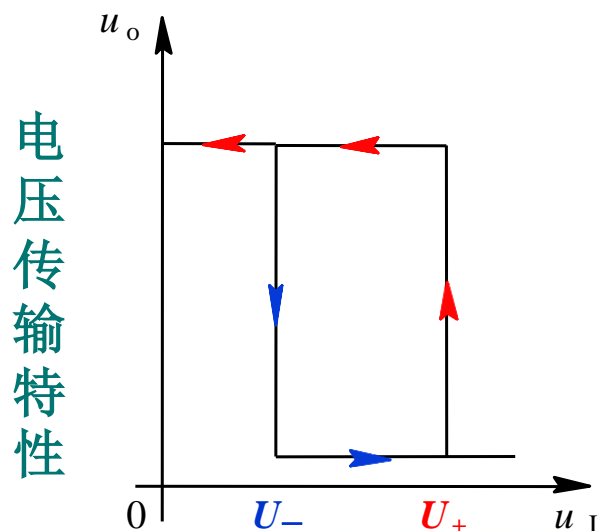
单稳态触发器的定时波形

4 施密特触发器

施密特触发器是又一种常用的脉冲信号整形电路。

工作特性：

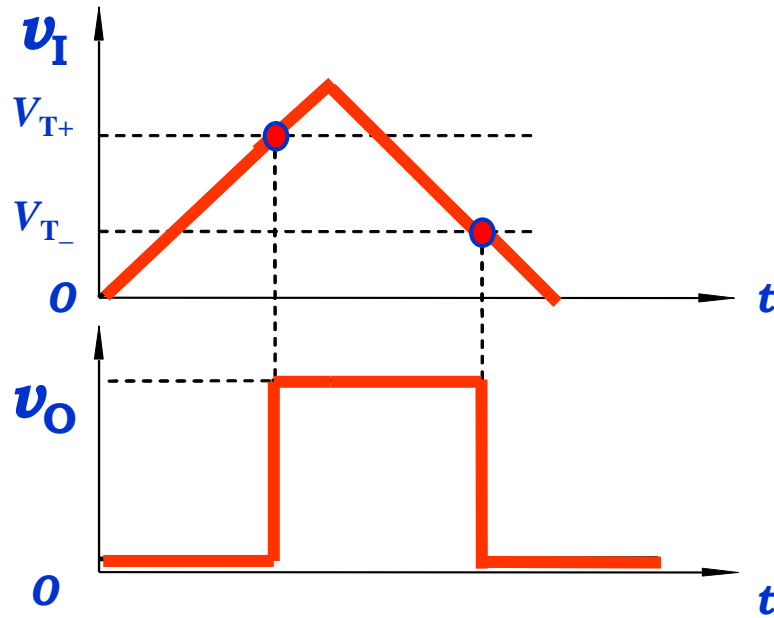
- ① 具有两个稳态；
- ② 属于电平触发，缓慢变化的信号也可以作为输入信号，当输入信号达到某一特定值时，输出电平就发生突变；
- ③ 输入信号从低电平上升时，电路状态转换时对应的输入电平，与输入信号从高电平下降时对应的输入转换电平不同。



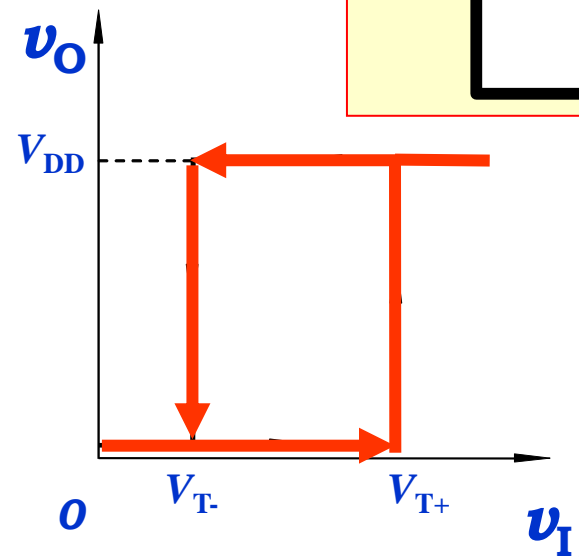
- ① 输入信号上升时对应的转换电平 U_+ ，称为正向阈值电压；
- ② 输入信号下降时对应的转换电平 U_- ，称为负向阈值电压；
- ③ 差值 $\Delta U = U_+ - U_-$ ，称为回差电压。

施密特触发器的工作波形和传输特性

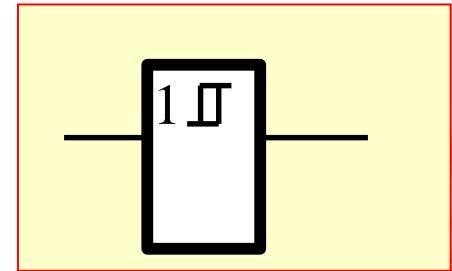
施密特触发器



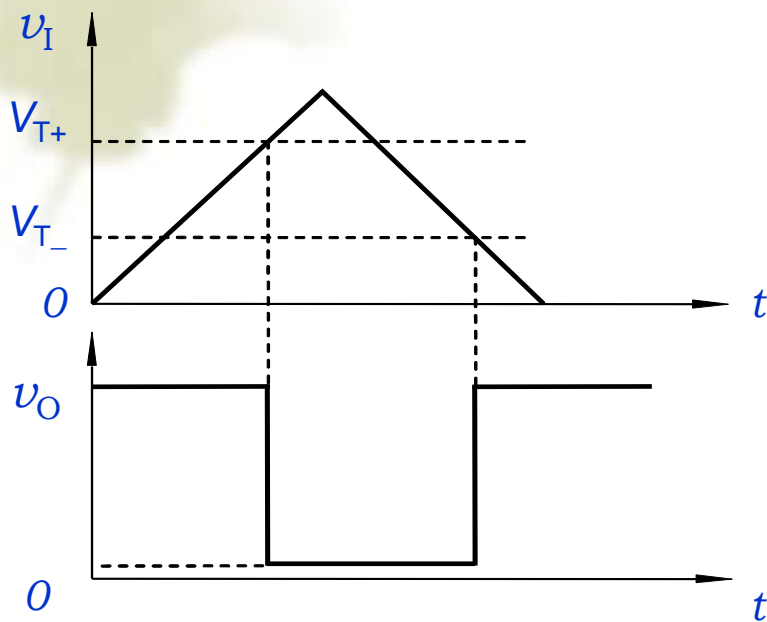
(a) 工作波形



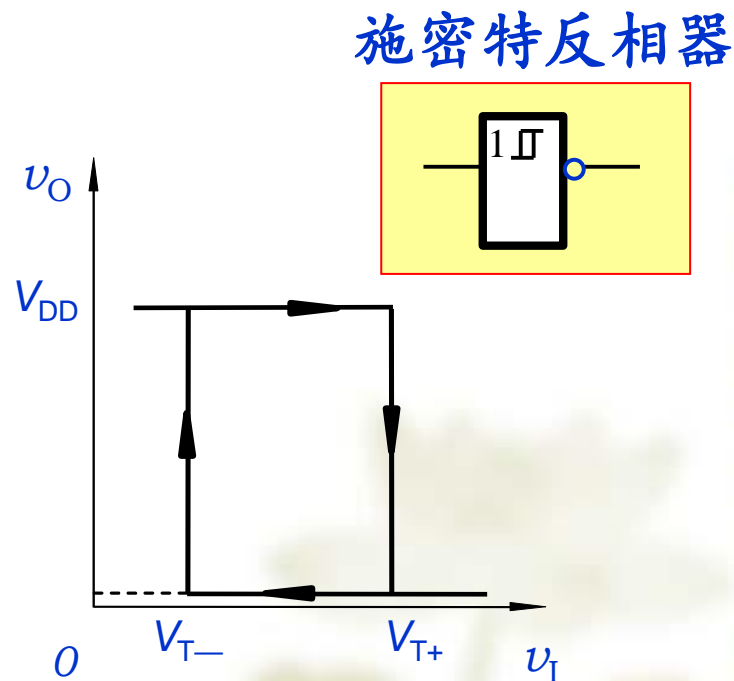
(b) 传输特性曲线



施密特触发器的工作波形和传输特性

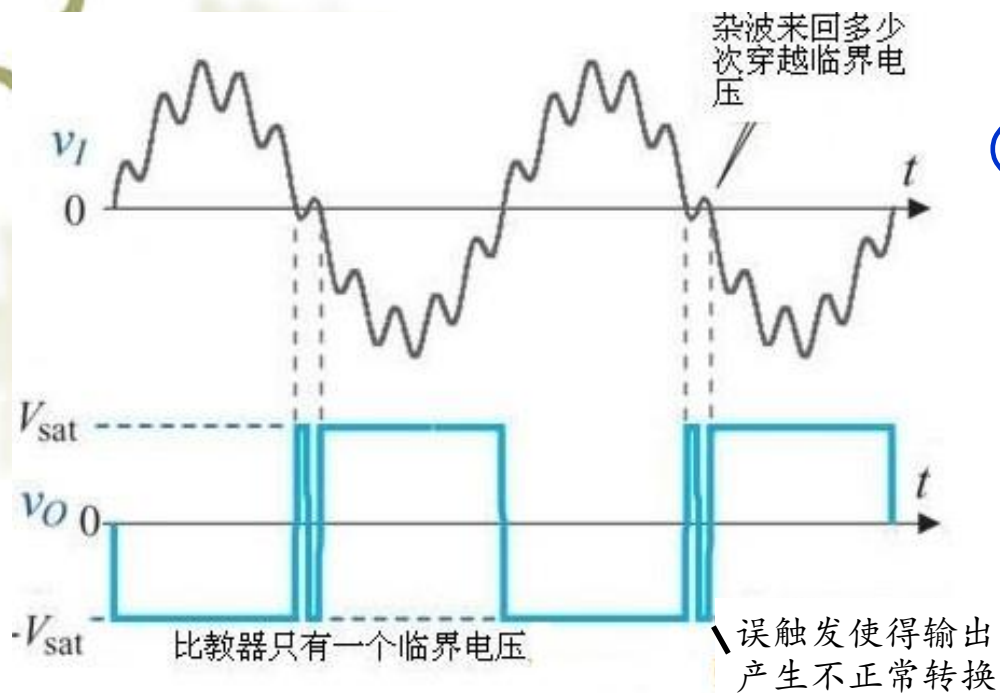


(c) 工作波形

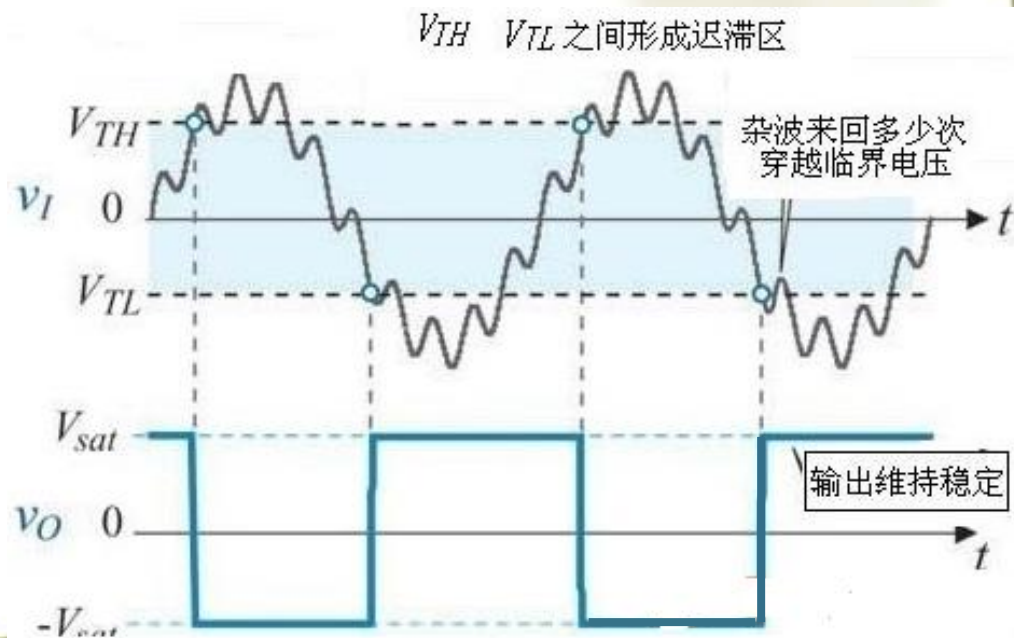


(d) 传输特性曲线

回差电压：两个门限电压之差 $\Delta V_T = V_{T+} - V_{T-}$



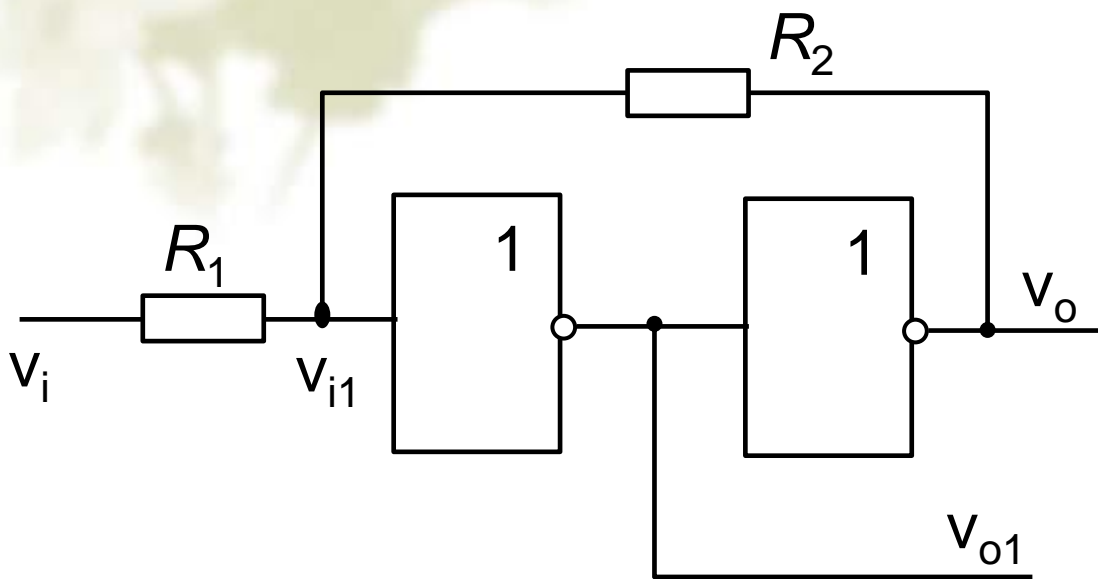
(a) 只有一个门限的反相器的工作波形



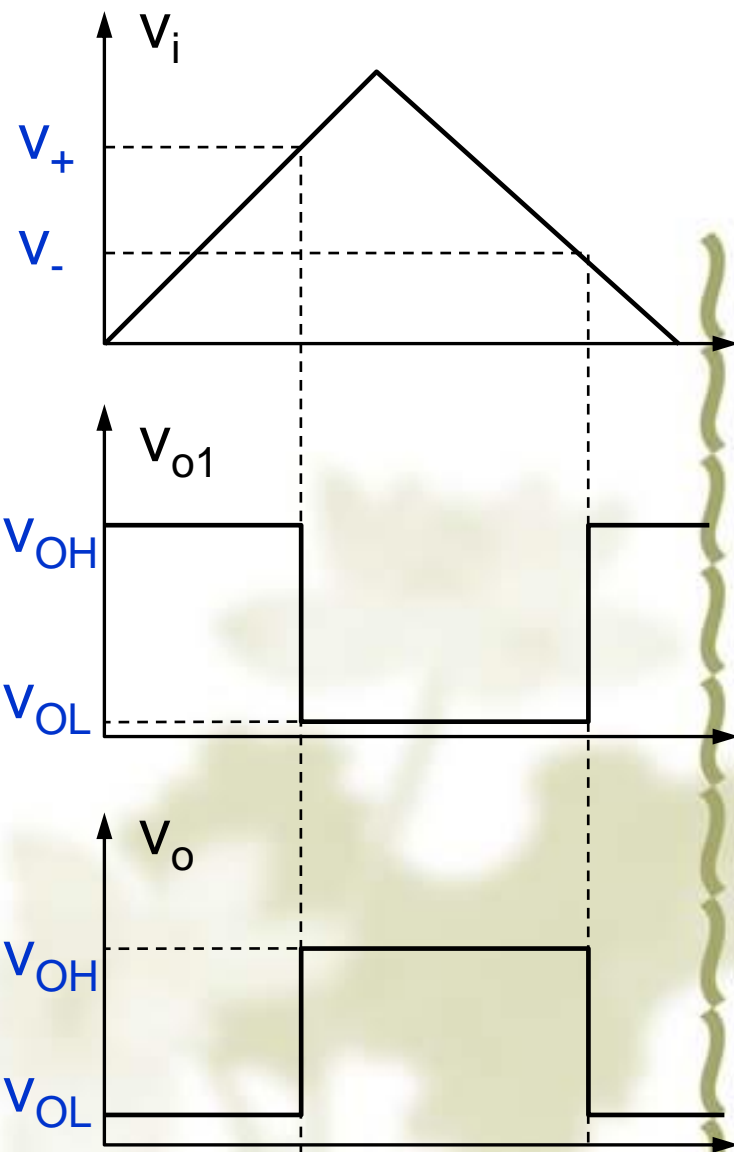
(b) 具有两个门限的施密特反相器的工作波形

4 施密特触发器

一、门电路构成的施密特触发器



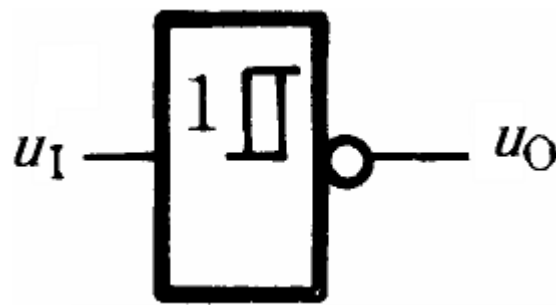
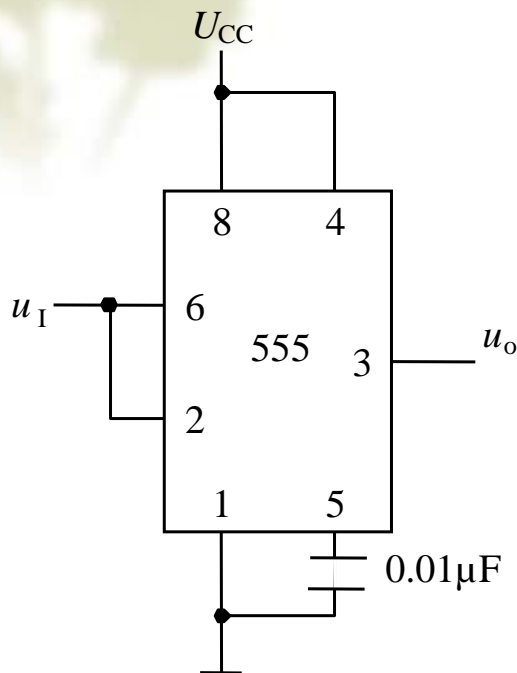
$$v_{i1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_i + \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_o$$



4 施密特触发器

二、555定时器构成的施密特触发器

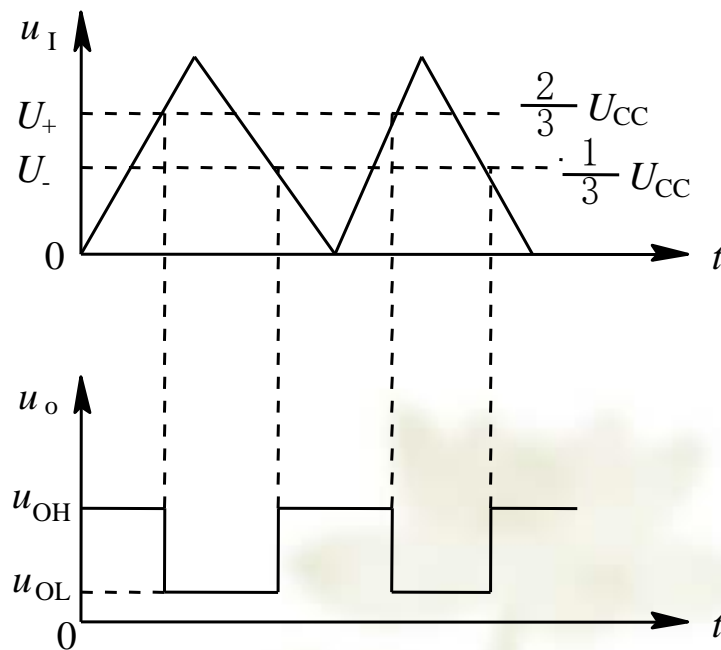
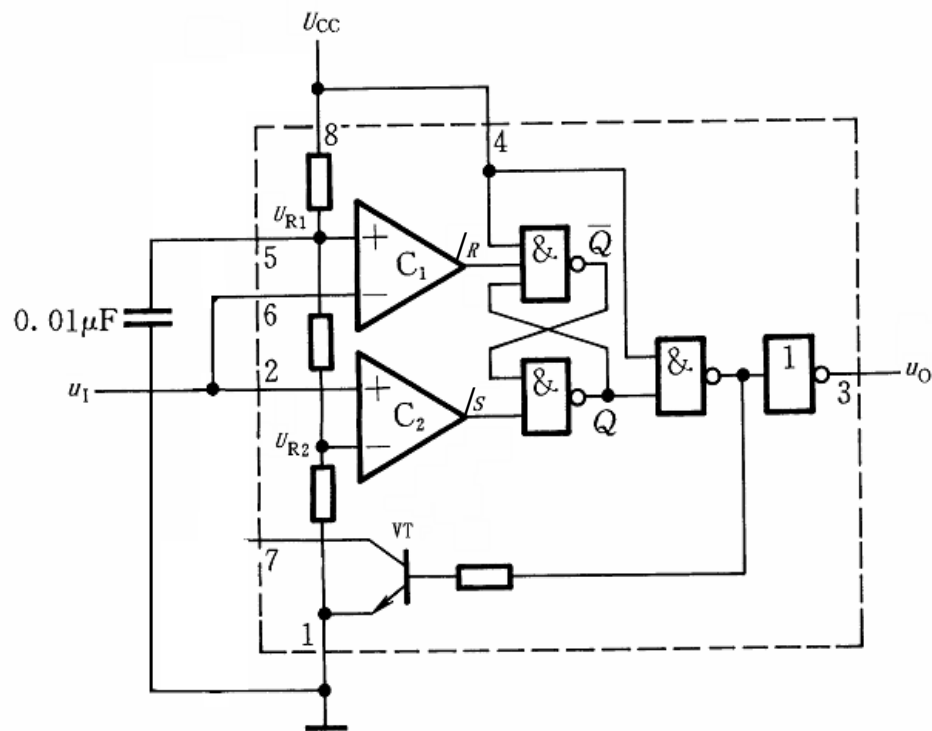
1. 电路结构和逻辑符号



反向输出施密特触发器

4 施密特触发器

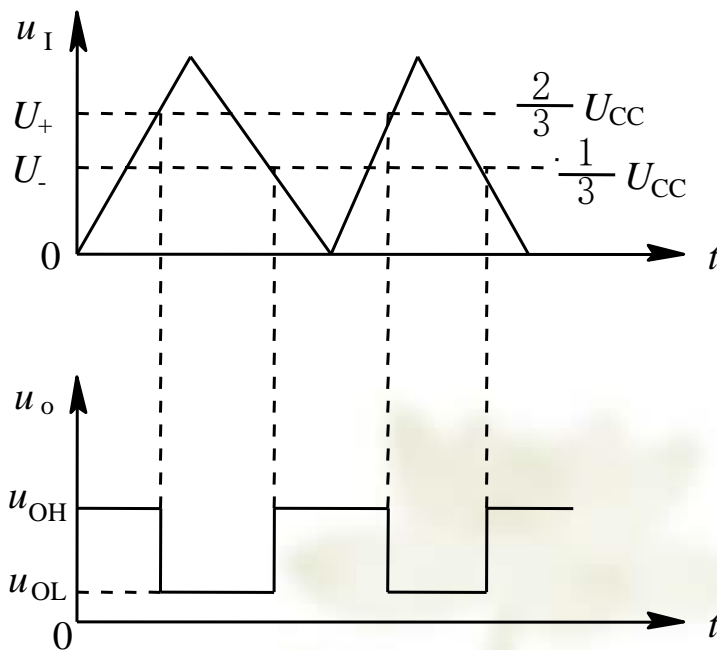
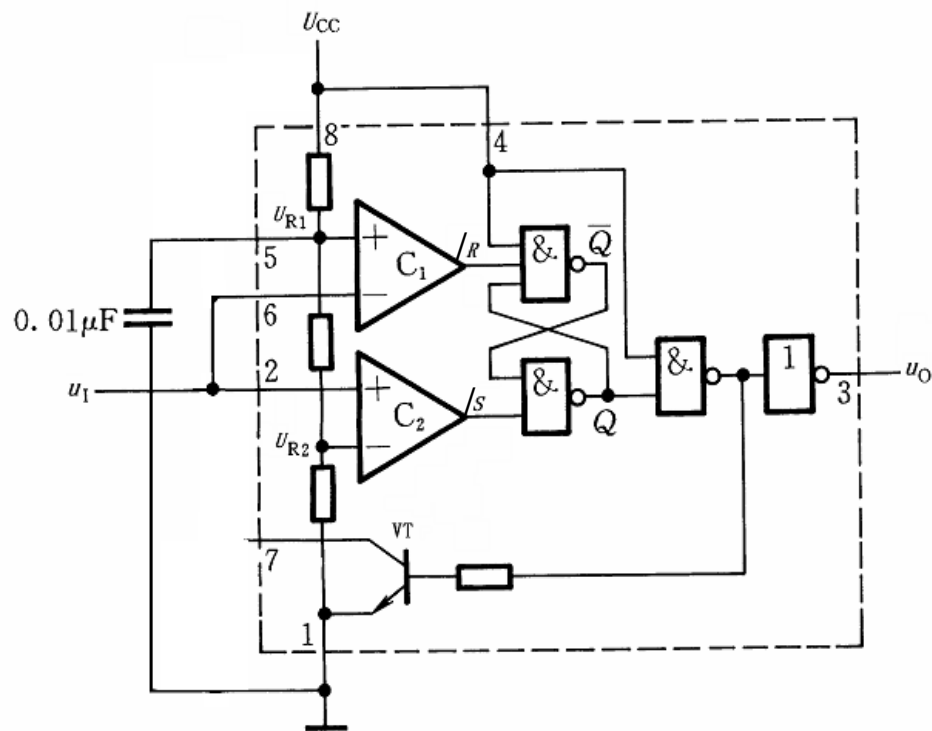
2. 工作原理



5脚经过 $0.01\mu F$ 电容接地，则 $U_{R1} = \frac{2}{3}U_{CC}$ ， $U_{R2} = \frac{1}{3}U_{CC}$ 。

4 施密特触发器

2. 工作原理

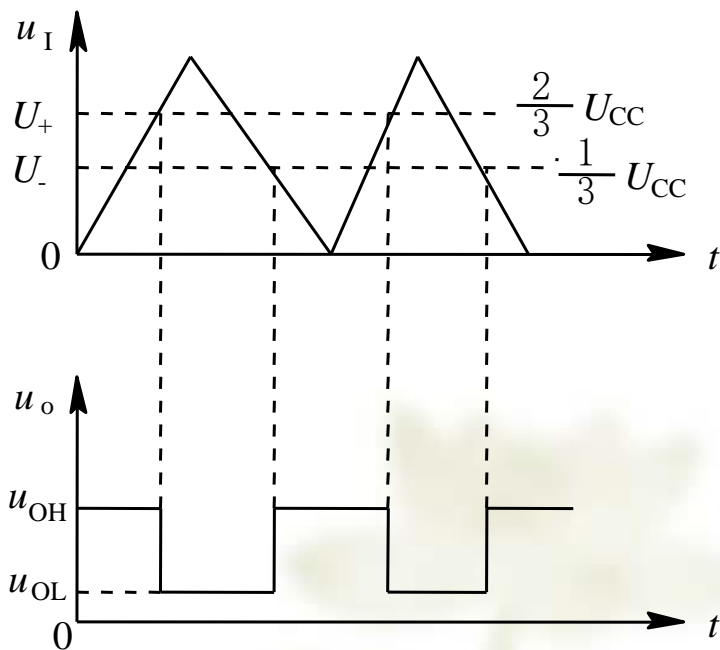
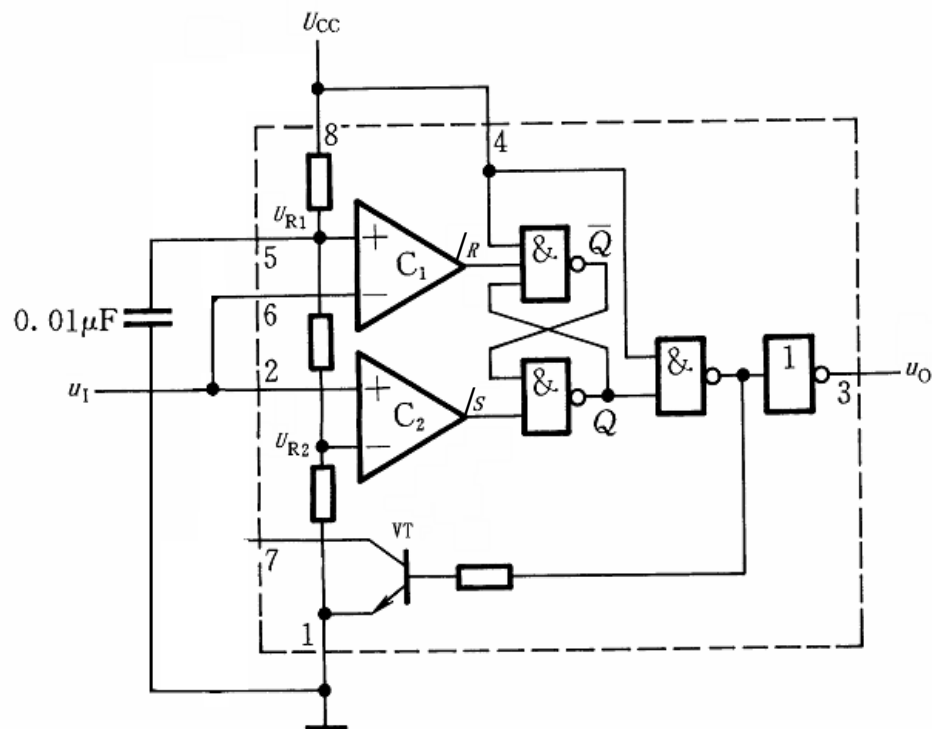


(1) 上升过程:

- ① $u_I < \frac{1}{3}U_{CC}$ 时, $u_O = 1$;
- ② $\frac{1}{3}U_{CC} < u_I < \frac{2}{3}U_{CC}$ 时, u_O 保持不变;
- ③ $u_I > \frac{2}{3}U_{CC}$ 时, 输出**翻转** $u_O = 0$ 。

4 施密特触发器

2. 工作原理

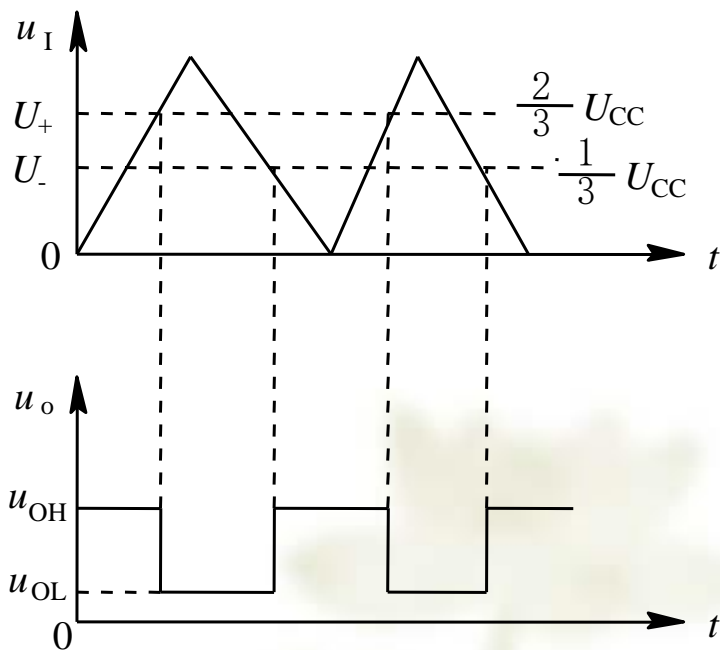
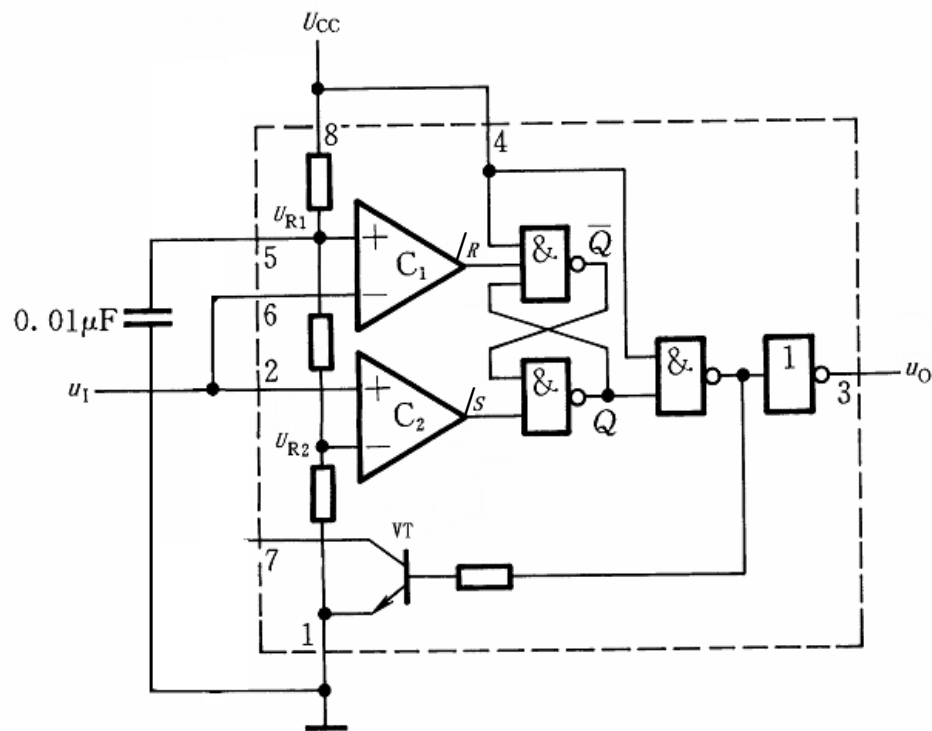


(2) 下降过程:

- ① $u_I > \frac{2}{3}U_{CC}$ 时, $u_O = 0$;
- ② $\frac{1}{3}U_{CC} < u_I < \frac{2}{3}U_{CC}$ 时, u_O 保持不变;
- ③ $u_I < \frac{1}{3}U_{CC}$ 时, 输出**翻转** $u_O = 1$ 。

4 施密特触发器

2. 工作原理



①当5脚不接控制电压时，

$$U_+ = \frac{2}{3}U_{CC} , U_- = \frac{1}{3}U_{CC} , \Delta U = U_+ - U_- = \frac{1}{3}U_{CC}$$

②当5脚接控制电压 U_{C0} 时，比较电压变为 U_{C0} 和 $(1/2) U_{C0}$ ，

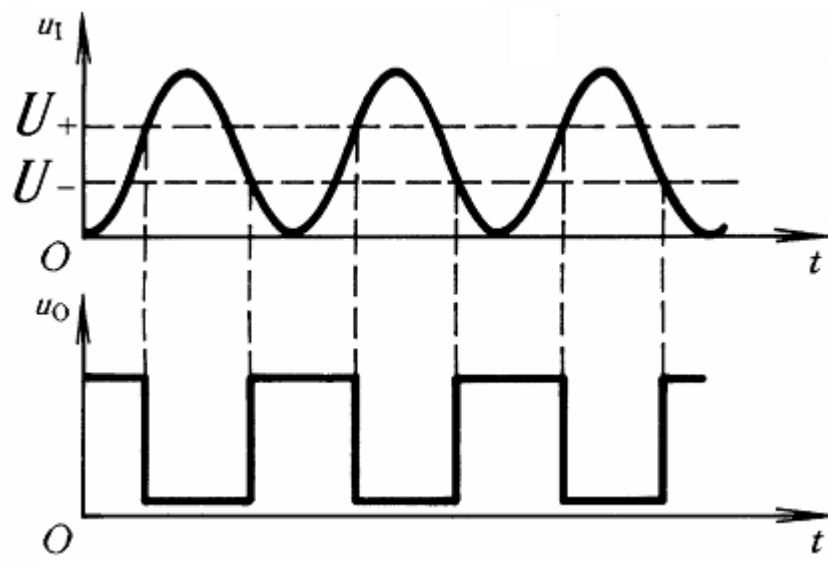
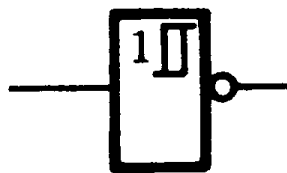
$$U_+ = U_{C0} , U_- = \frac{1}{2}U_{C0} , \Delta U = \frac{1}{2}U_{C0}$$

4 施密特触发器

三、施密特触发器的应用

1. 波形变换

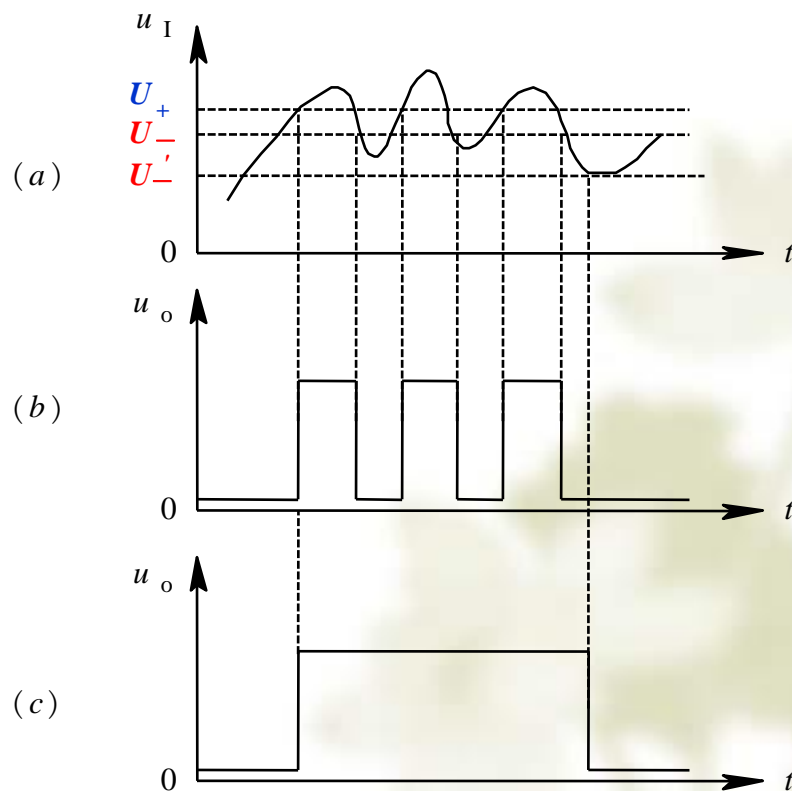
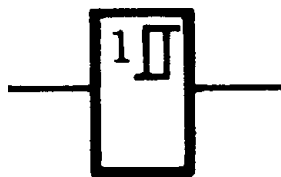
施密特触发器可以将边沿变化缓慢的周期性信号变换成边沿陡峭的矩形脉冲信号。



4 施密特触发器

2. 波形整形

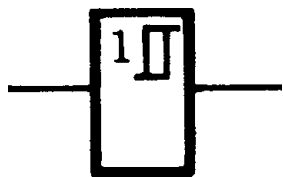
施密特触发器可以将不规则的波形整形为矩形波。若适当增大回差电压，可提高电路的抗干扰能力。回差电压是由5脚接入的控制电压 U_{CO} 来控制的。



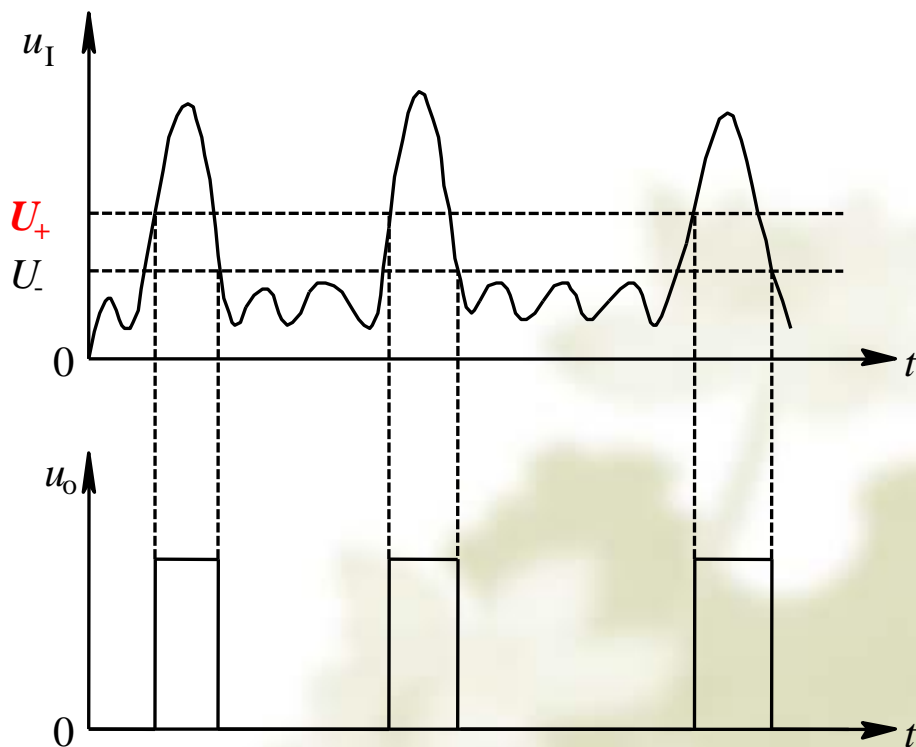
4 施密特触发器

3. 幅度鉴别

从一系列幅度不同的脉冲信号中**选出幅度大于正向阈值电压 U_+ 的输入脉冲**，即对幅度进行鉴别。

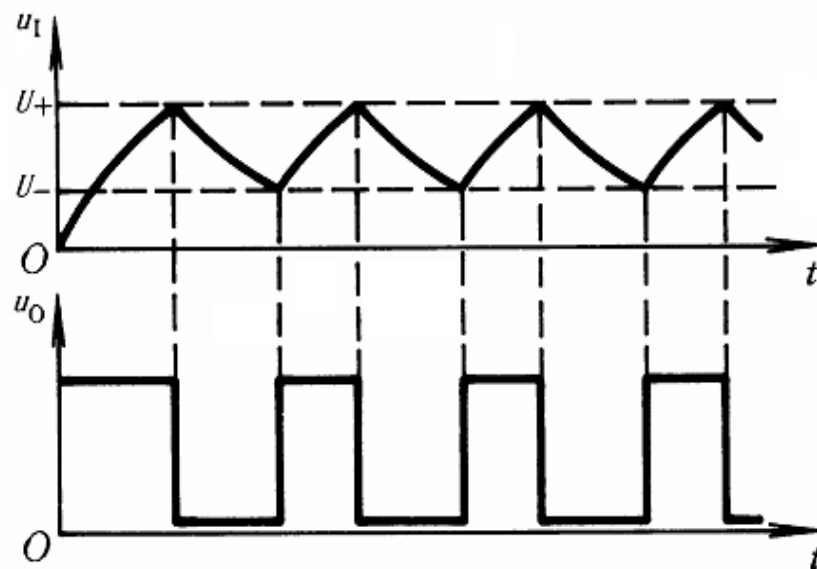
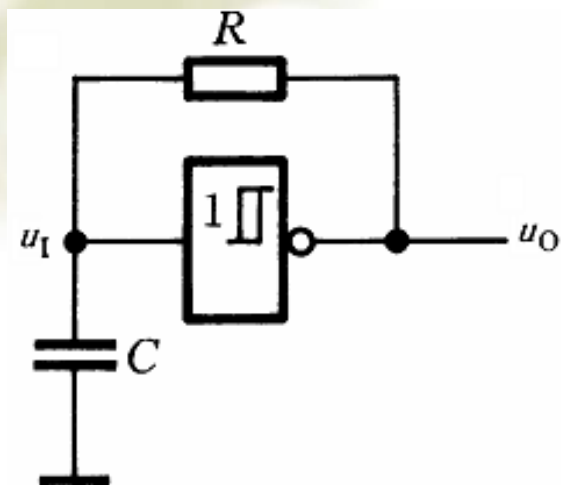


同向输出施密特触发器



4 施密特触发器

4. 构成多谐振荡器



工作原理:

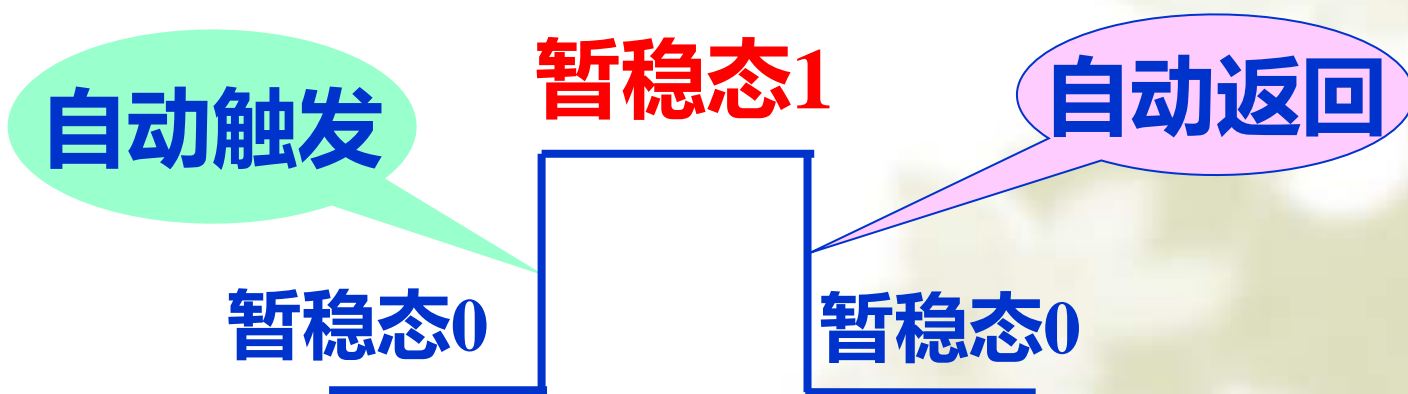
电容上初始电压为零, 即 $u_I = 0$, 则 $u_O = 1$, 并经 R 向 C 充电, 当充至 $u_I = U_+$ 时, 输出翻转 $u_O = 0$ 。电容 C 又经 R 进行放电, 当放电至 $u_I = U_-$ 时, 输出翻转 $u_O = 1$ 。

5 多谐振荡器

多谐振荡器是一种常用的脉冲信号产生电路。

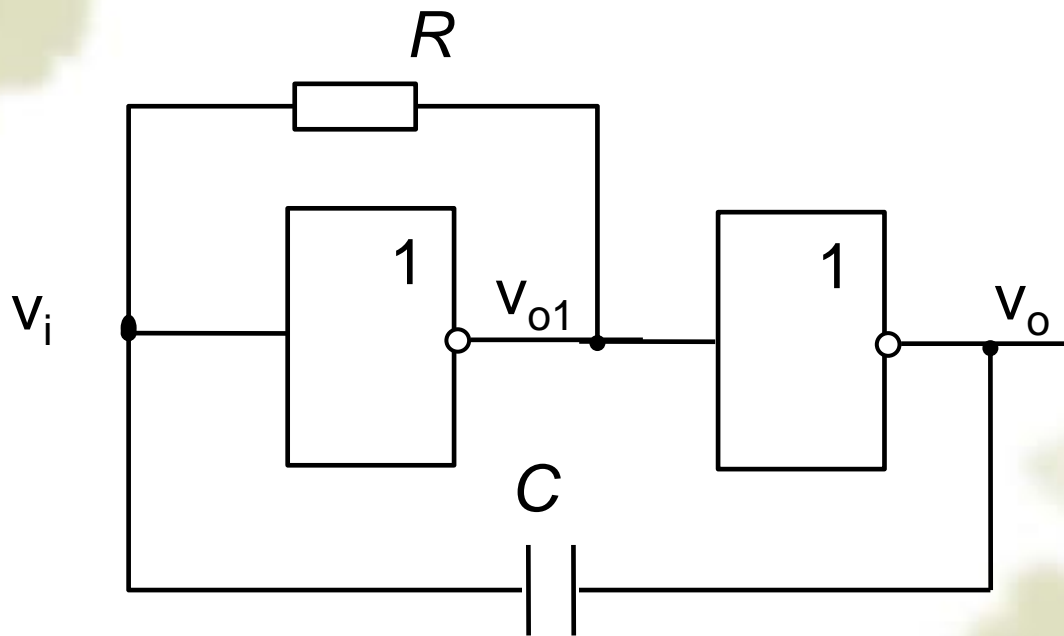
工作特性：

- ① 无稳态，具有两个暂稳态；
- ② 自激振荡器——在接通电源后，不需外加触发信号，便能自动产生矩形脉冲；
- ③ 矩形波中除基波外，还含有丰富的丰富的高次谐波——故称为多谐振荡器。



5 多谐振荡器

一、门电路构成的多谐振荡器

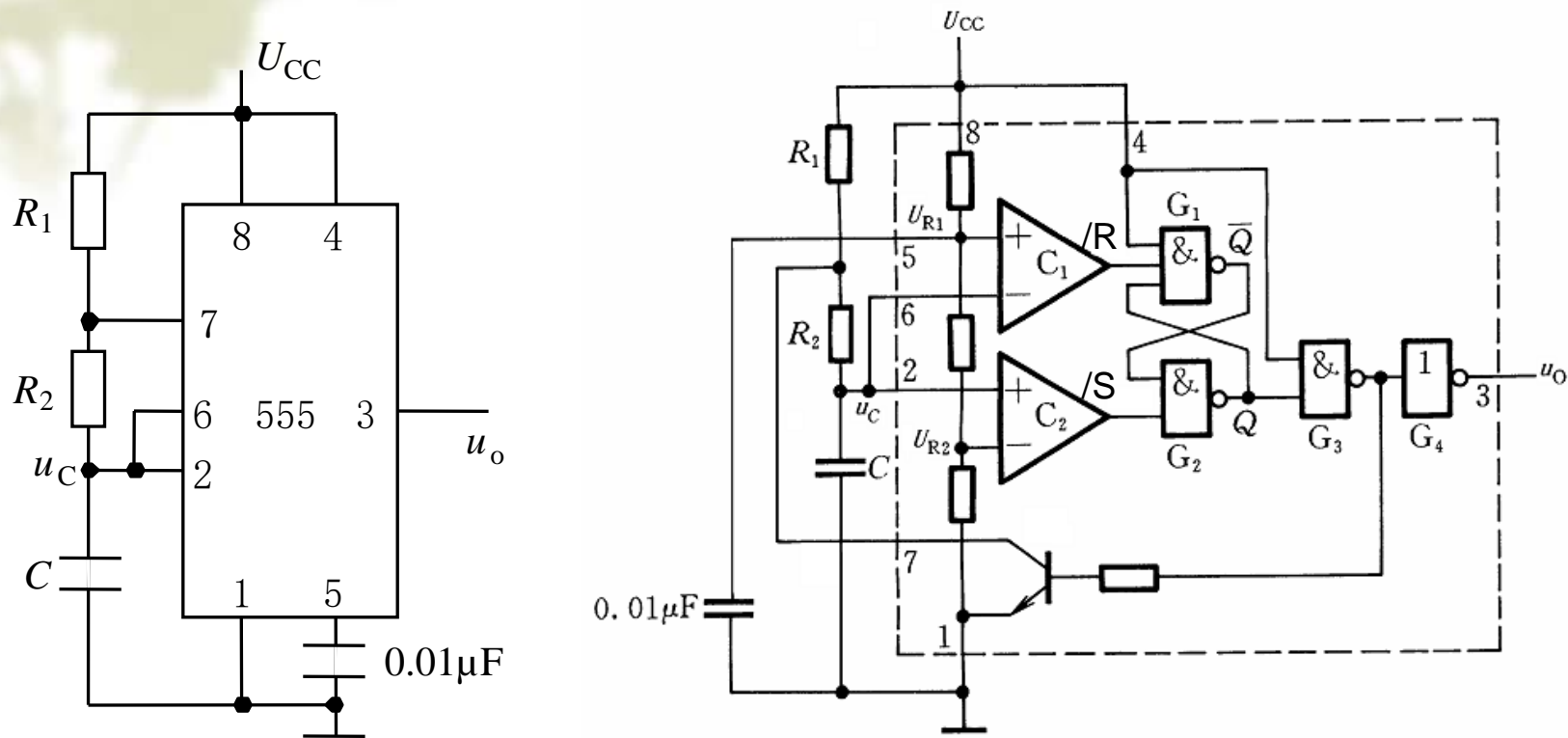


5 多谐振荡器

理解概念即可

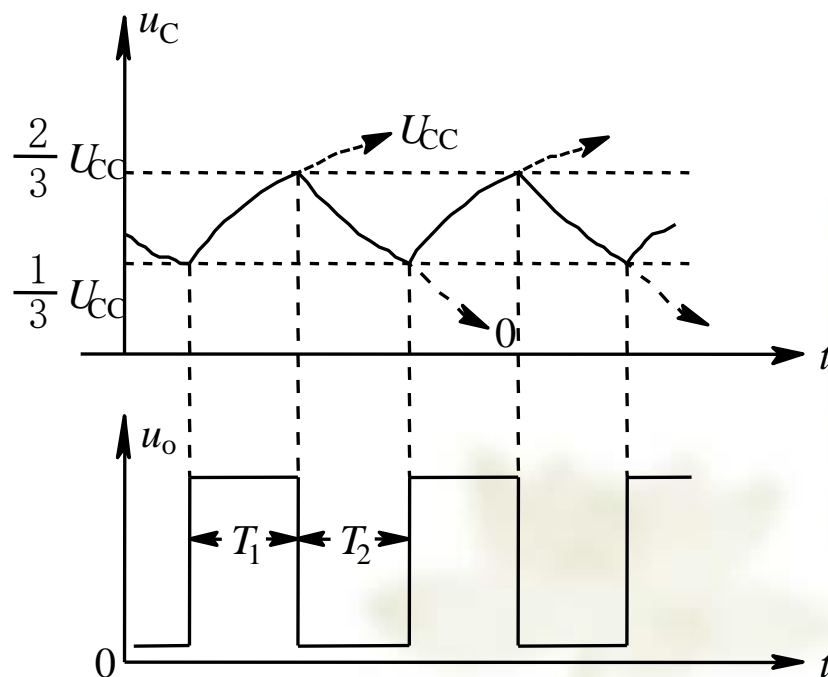
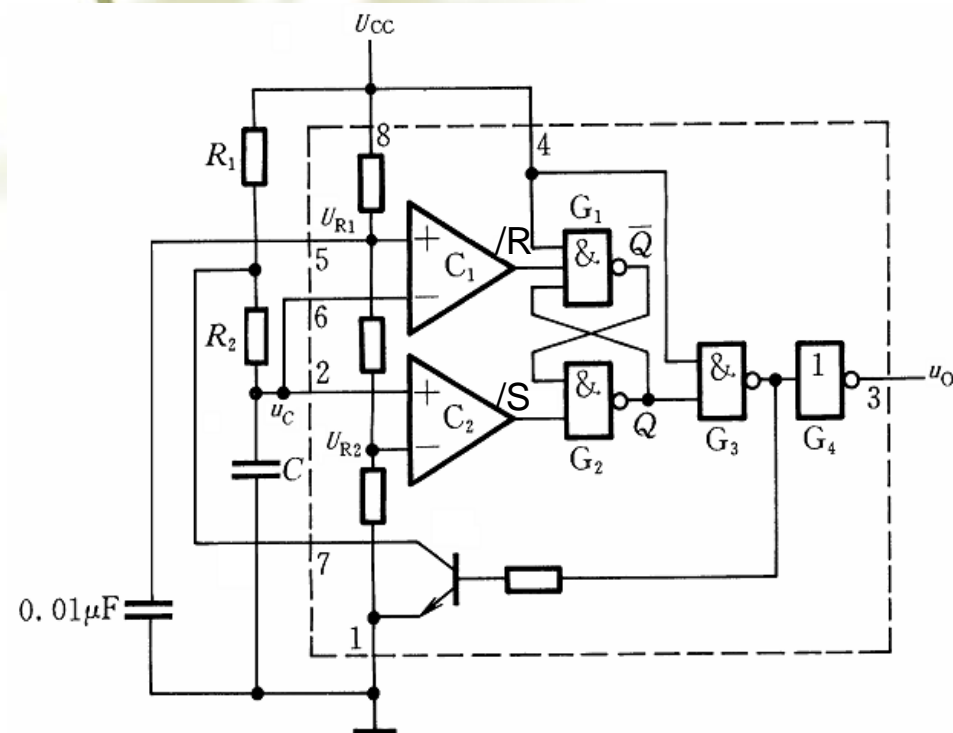
二、555定时器构成的多谐振荡器

1. 电路结构



5 多谐振荡器

2. 工作原理



接通电源后，电容C来不及充电， $u_c=0$ ，则 $u_o=1$ （第一个暂稳态），VT截止。这时 U_{CC} 经 R_1 和 R_2 向C充电，当充至 $u_c=2/3 U_{CC}$ 时，输出翻转 $u_o=0$ （第二个暂稳态），VT导通；这时电容C经 R_2 和VT放电，当降至 $u_c=1/3 U_{CC}$ 时，输出翻转 $u_o=1$ 。

5 多谐振荡器

3. 参数的估算

① 电容充电时间 T_1 :

$$T_1 = \tau_1 \ln \frac{U_C(\infty) - U_C(0_+)}{U_C(\infty) - u_C(T_1)}$$

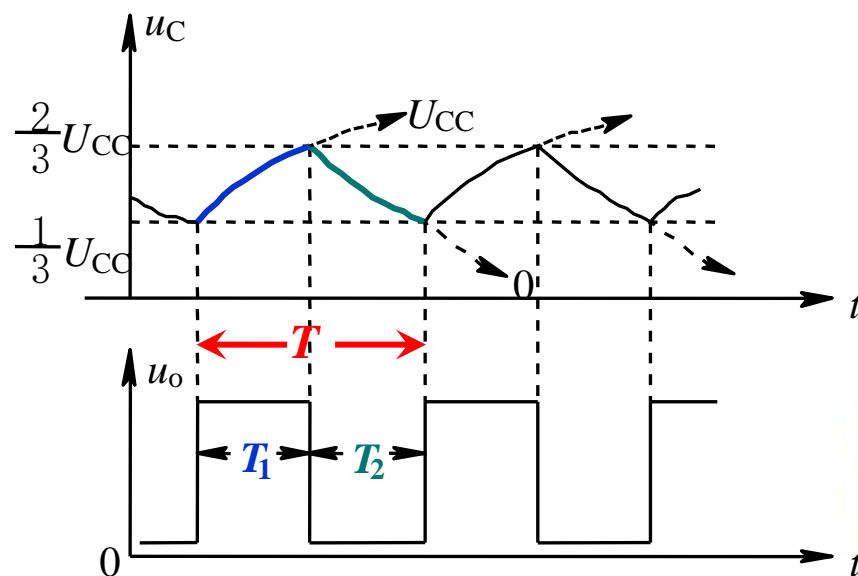
$$= (R_1 + R_2)C \ln \frac{U_{CC} - \frac{1}{3}U_{CC}}{U_{CC} - \frac{2}{3}U_{CC}} = (R_1 + R_2)C \ln 2 = 0.7(R_1 + R_2)C$$

② 电容放电时间 T_2 :

$$T_2 = 0.7 R_2 C$$

③ 电路振荡周期 T :

$$T = T_1 + T_2 = 0.7(R_1 + 2R_2)C$$



5 多谐振荡器

④电路振荡频率 f :

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.7(R_1 + 2R_2)C}$$

通过改变 R 、 C 的参数可改变振荡周期和振荡频率。

⑤输出波形占空比 D :

$$D = \frac{T_1}{T} = \frac{T_1}{T_1 + T_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2} \quad (D \geq 50\%)$$

若 $R_2 \gg R_1$ ，则 $D \approx 1/2$ ，即输出为对称方波。

5 多谐振荡器

4. 改进电路——占空比可调的多谐振荡器

利用二极管的**单向导电性**，把电容**C充电和放电回路隔离**开来，再加上一个**可调电位器 R_W** ，便可构成占空比可调的多谐振荡器。

①电容充电时间 T_1 :

$$T_1 = 0.7 R_1 C$$

②电容放电时间 T_2 :

$$T_2 = 0.7 R_2 C$$

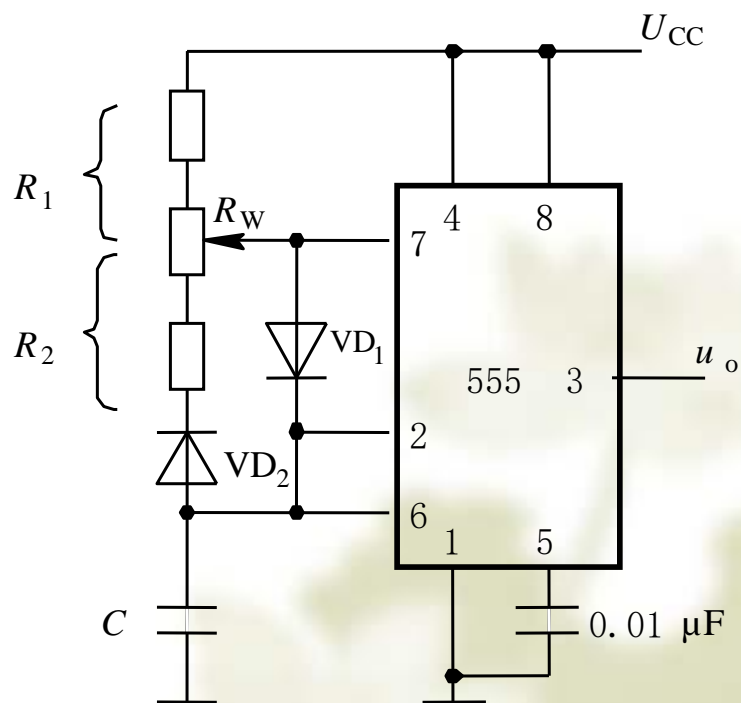
③电路振荡周期 T :

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

④输出波形占空比 D :

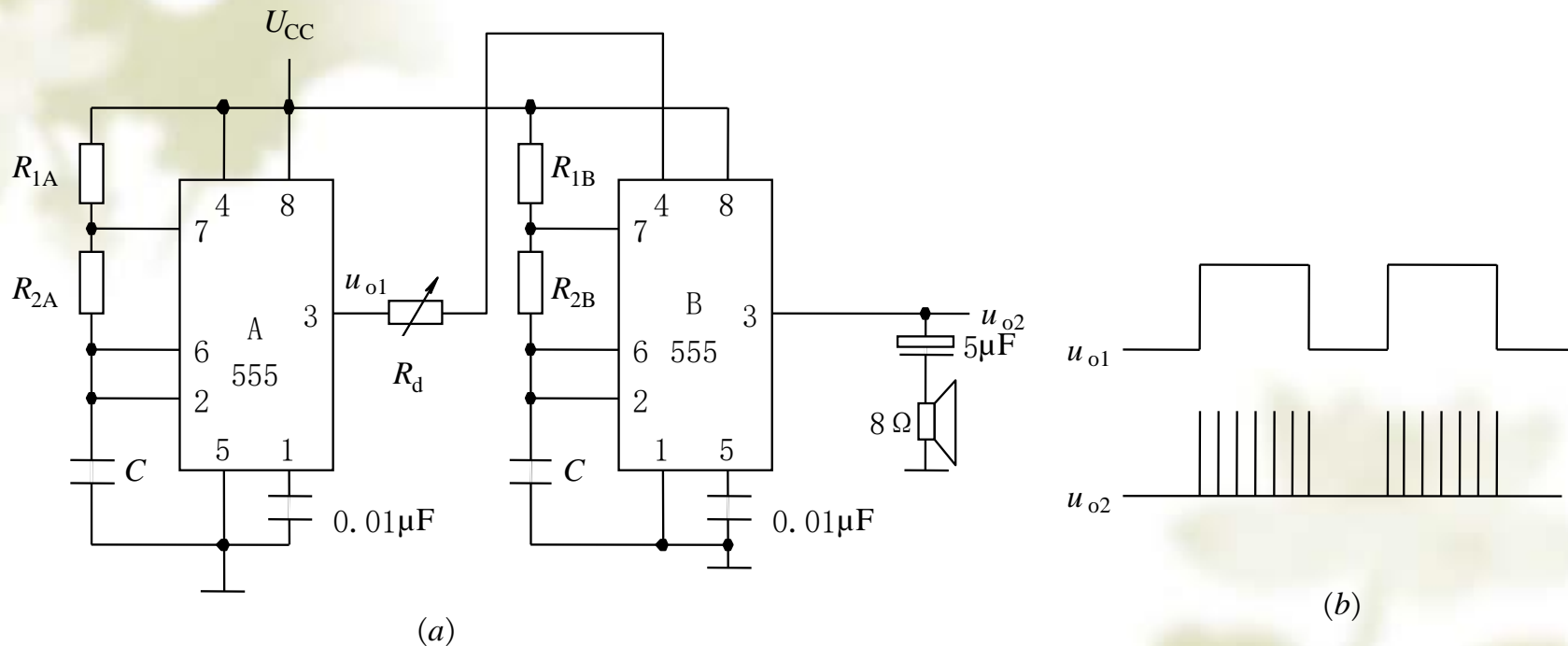
$$D = \frac{T_1}{T} = \frac{T_1}{T_1 + T_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

若 $R_1 = R_2$ ，则 $D = 50\%$ 。



5 多谐振荡器

5. 555定时器构成的振荡器应用实例——模拟声响发生器



将振荡器A的输出电压 u_{o1} ，接到振荡器B中555定时器的复位端（4脚）。当 u_{o1} 为高电平时振荡器B振荡，当 u_{o1} 为低电平时555定时器复位，振荡器B停止振荡。这样，扬声器便发出“鸣…鸣”的间歇声响。

5 多谐振荡器

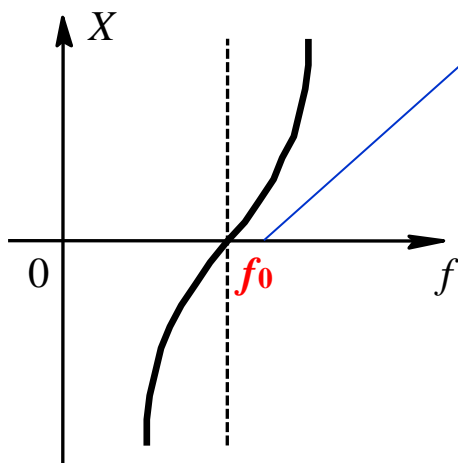
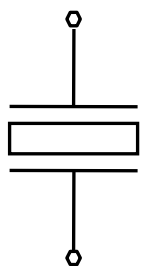
三、石英晶体多谐振荡器

555构成的多谐振荡器的特点：

①优点：工作可靠，调节方便。

②缺点：振荡频率不能太高，一般不超过几百千赫；
受电源波动、温度变化等影响，**频率稳定性较差。**

为了提高振荡器的频率稳定度，往往使用石英晶体多谐振荡器。



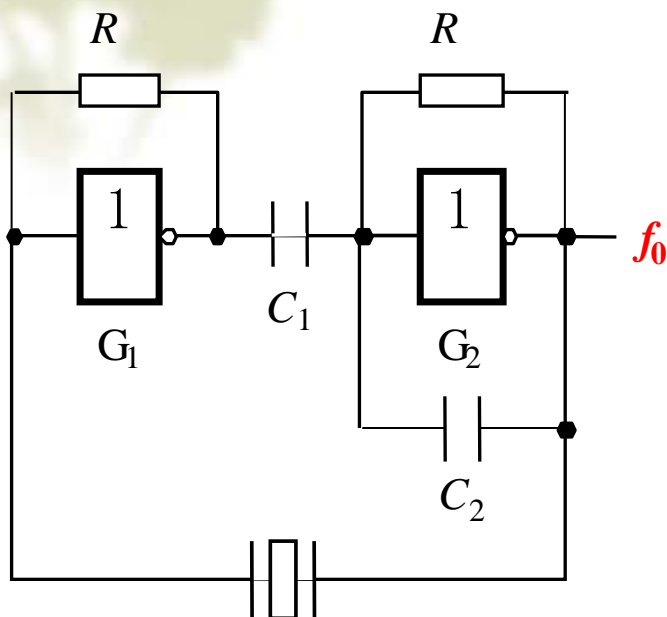
石英晶体的
图形符号和电抗频率特性

石英晶体的固有频率或谐振频率为 f_0 时，
电抗 X 为零，阻抗最小，
信号最容易通过，
其他频率信号均被衰减掉。

——输出频率稳定性极高。

5 多谐振荡器

石英晶体振荡器



①电阻 R_1 、 R_2 的作用：保证两个反相器在静态时都能工作在线性放大区。对TTL反相器，常取 $R = 0.7k\Omega \sim 2k\Omega$ ，而对于CMOS门，则常取 $R = 10M\Omega$ ；

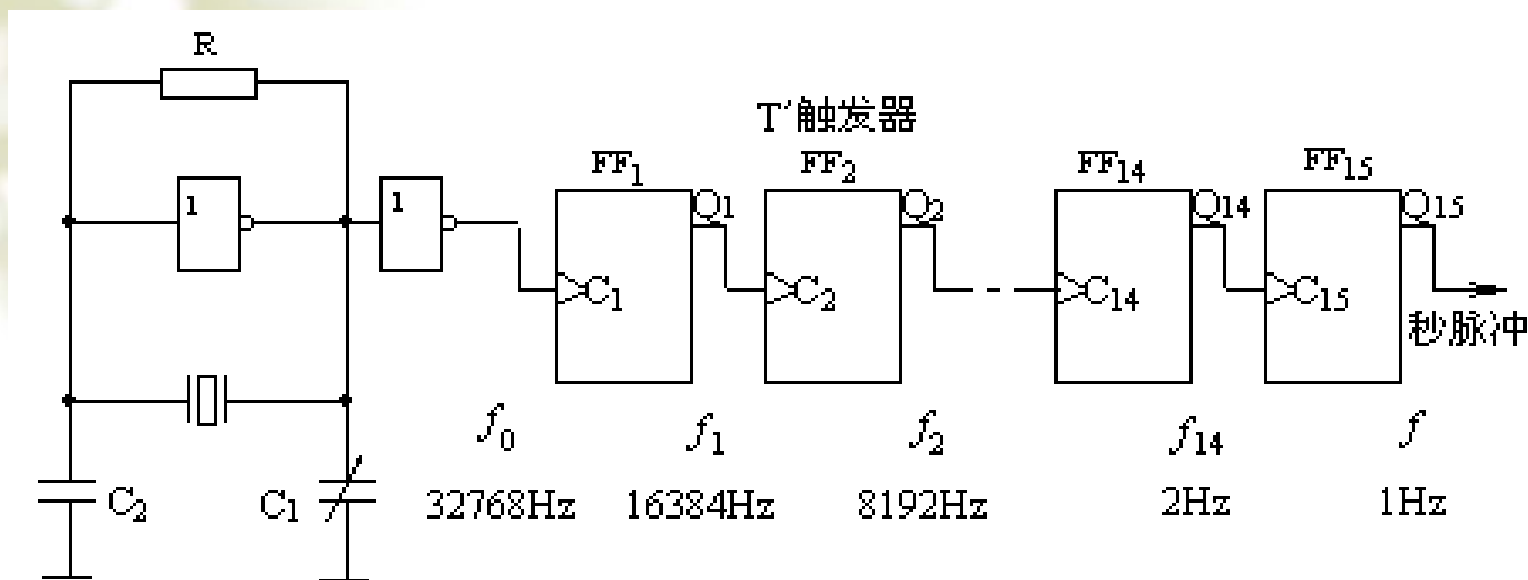
② C_1 是耦合电容；

③ C_2 的作用：抑制高次谐波。

电路的振荡频率等于石英晶体的谐振频率 f_0 。

5 多谐振荡器

秒脉冲发生器



- ① CMOS石英晶体多谐振荡器产生 $f=32768\text{Hz}$ 的基准信号；
- ② 经 T' 触发器构成的15级异步计数器分频后，便可得到稳定度极高的秒脉冲信号。
- ③ 这种秒脉冲发生器可做为各种计时系统的基准信号源。

小结

1. 熟练掌握555定时器的工作原理及应用；
2. 正确理解单稳态触发器、施密特触发器和多谐振荡器的工作原理及应用。