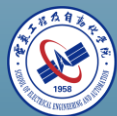




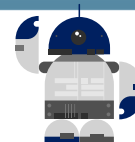
江苏师范大学
JIANGSU NORMAL UNIVERSITY



电气工程及自动化学院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING AND AUTOMATION

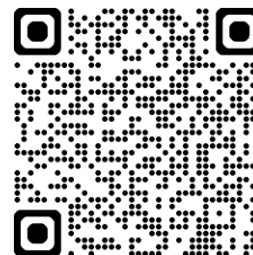
数字电子技术
实用教程

数电
技术



第5章 脉冲波形的产生与变换

李灿 | 12#503A | lic@jsnu.edu.cn | <https://sslic.cn>





第5章 脉冲波形的产生与变换

- 555定时器
- 多谐振荡器
- 单稳态触发器
- 施密特触发器



第5章 脉冲波形的产生与变换

重点	✓ 555定时器、两类触发器、多频振荡器的工作原理及应用
难点	● 电路综合设计



5.0 脉冲波形

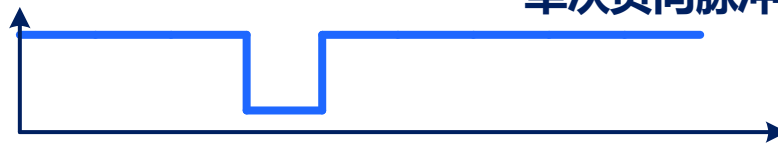
■ 什么是脉冲？

✧ 脉冲是指**电平的跳变**，然后迅速返回其初始电平的过程

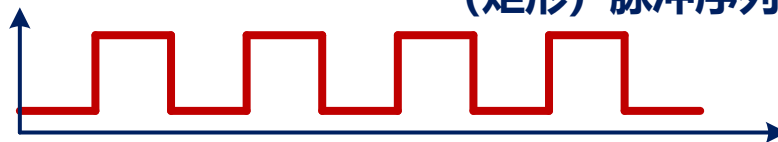
单次正向脉冲



单次负向脉冲



(矩形) 脉冲序列





5.0 脉冲波形

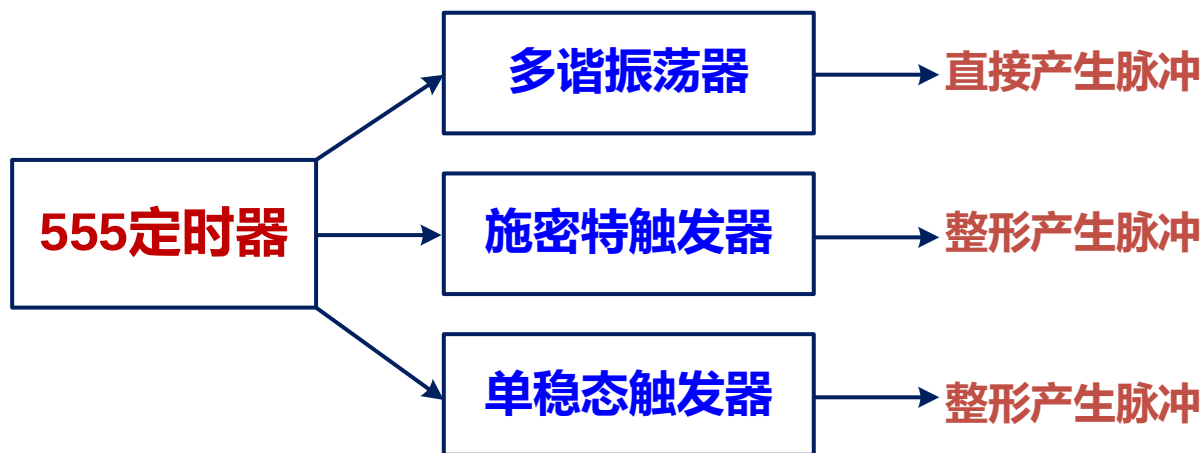
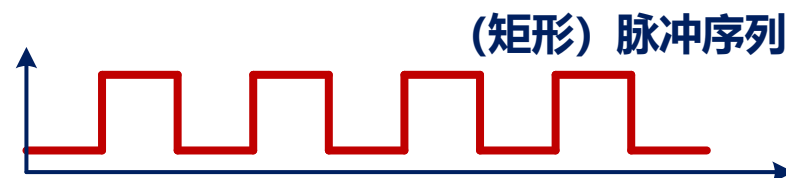
■ 获得脉冲波形的两种方式（3种脉冲电路）

① 直接产生

- 多谐振荡器

② 已有信号的整形与变换产生

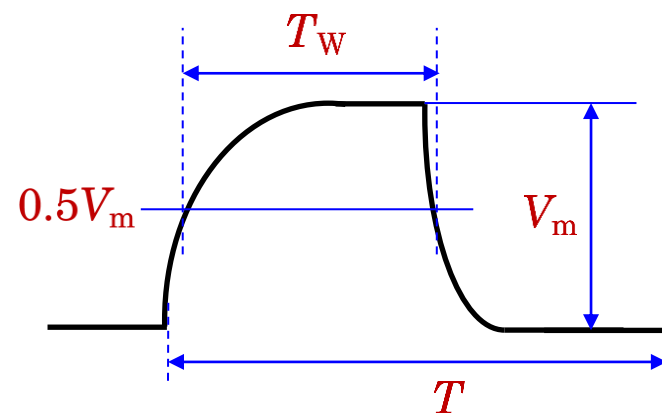
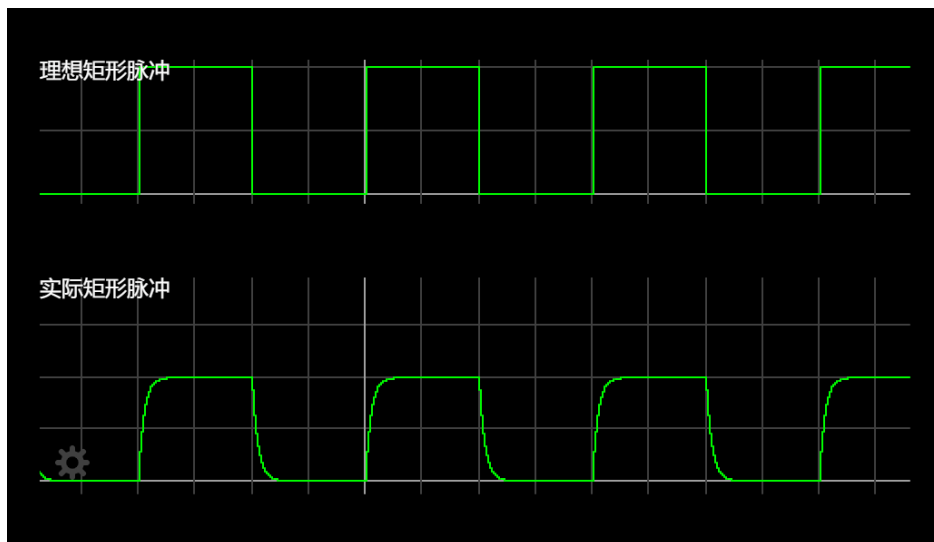
- 施密特触发器
- 单稳态触发器





5.0 脉冲波形

■ 描述脉冲波形的主要参数



▣ 脉冲幅度 V_m : 脉冲电压的幅值

▣ 脉冲宽度 T_W : 从脉冲前沿的 $0.5V_m$ 到脉冲后沿的 $0.5V_m$ 为止的一段时间

▣ 脉冲周期 T : 两个相邻脉冲之间的时间间隔

▣ 占空比 q : 脉冲宽度与脉冲周期的比值, $q = \frac{T_W}{T}$

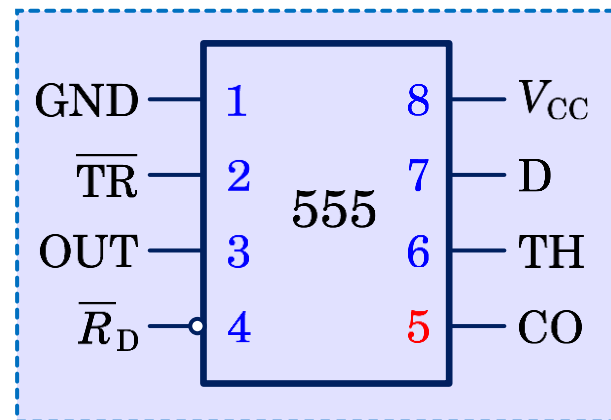
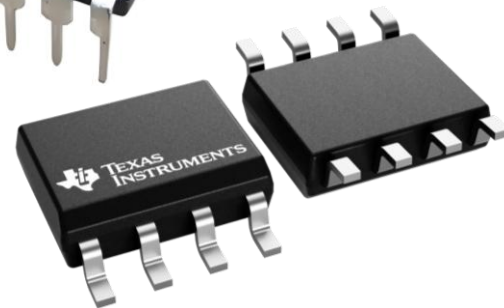
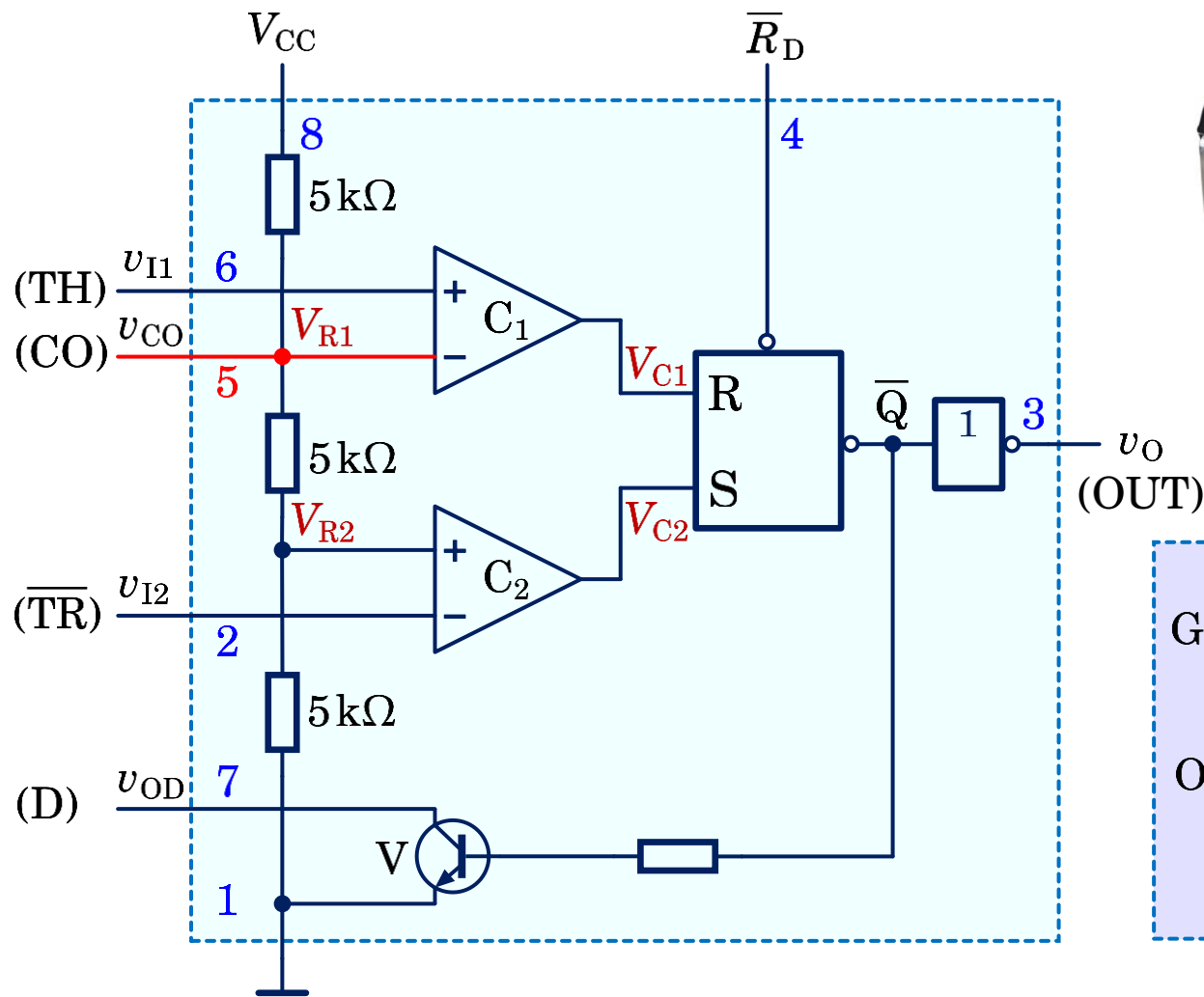
▣ 方波: 占空比 $q = 50\%$ 的矩形脉冲波形



§5.1 555定时器



5.1 555定时器

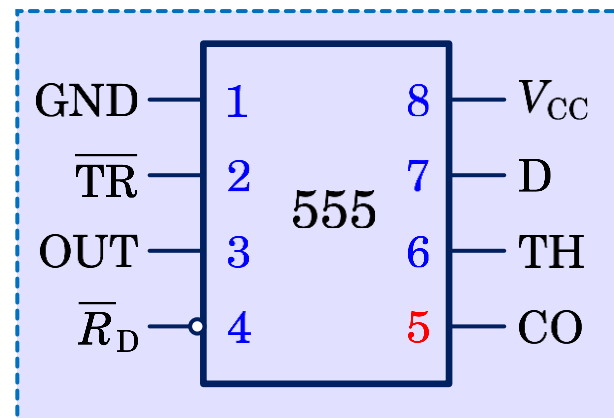
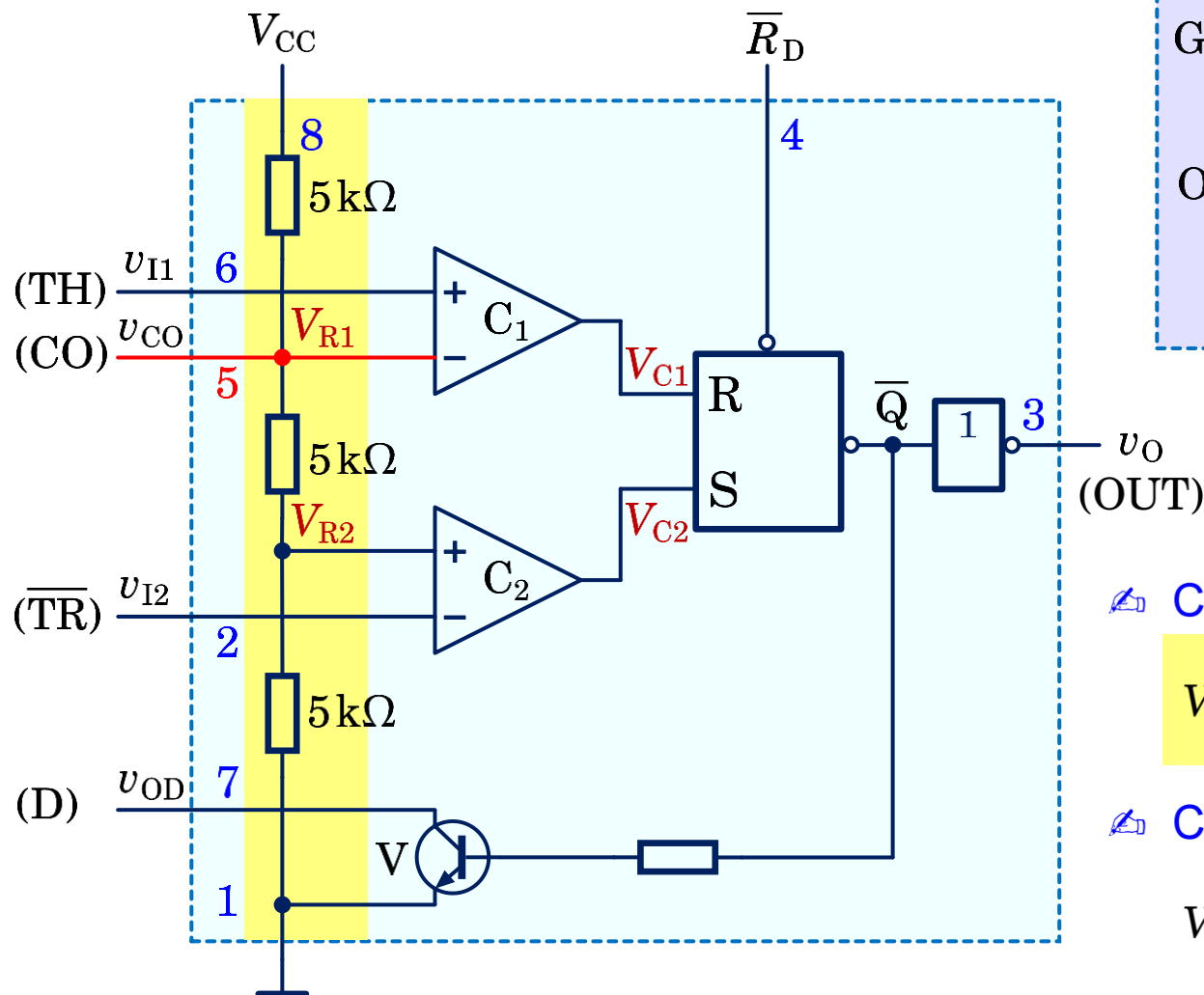


✧ 分压器 电压比较器 基本SR触发器 输出缓冲器 放电三极管



5.1 555定时器

■ 555定时器的功能



CO 端不加控制电压时:

$$V_{R1} = \frac{2}{3}V_{CC}, \quad V_{R2} = \frac{1}{3}V_{CC}$$

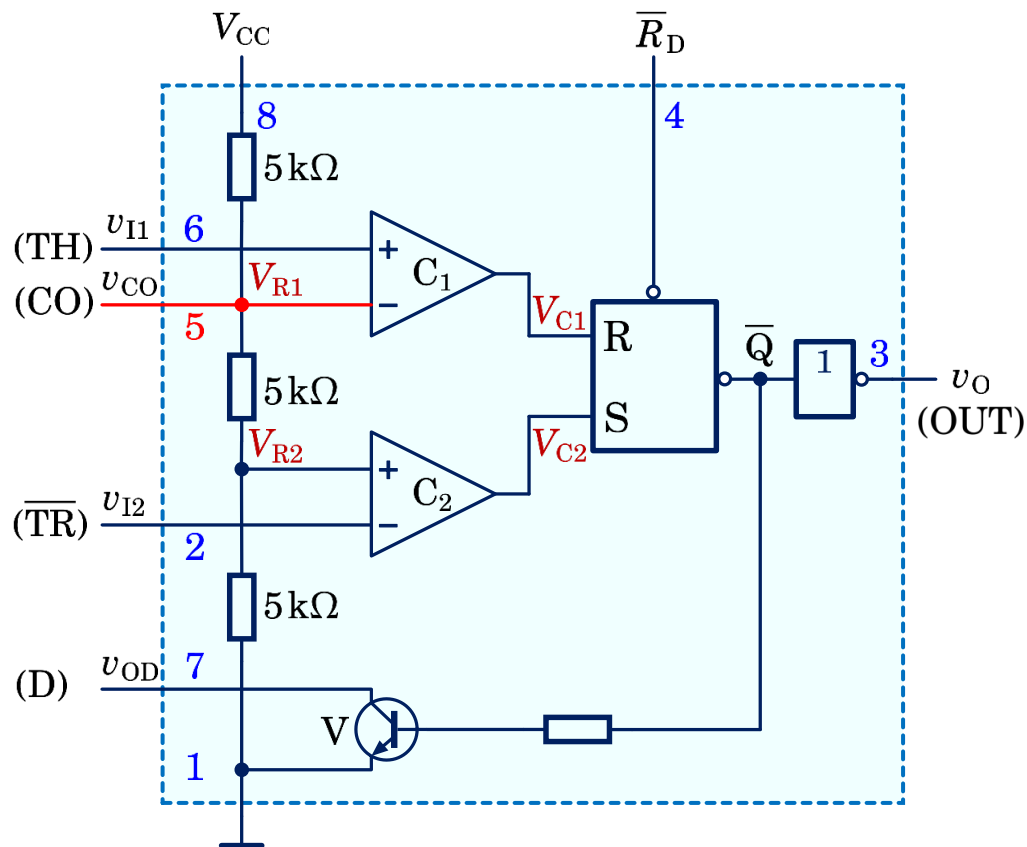
CO 端外加控制电压时:

$$V_{R1} = V_{CO}, \quad V_{R2} = \frac{1}{2}V_{CO}$$



5.1 555定时器

■ 555定时器的功能



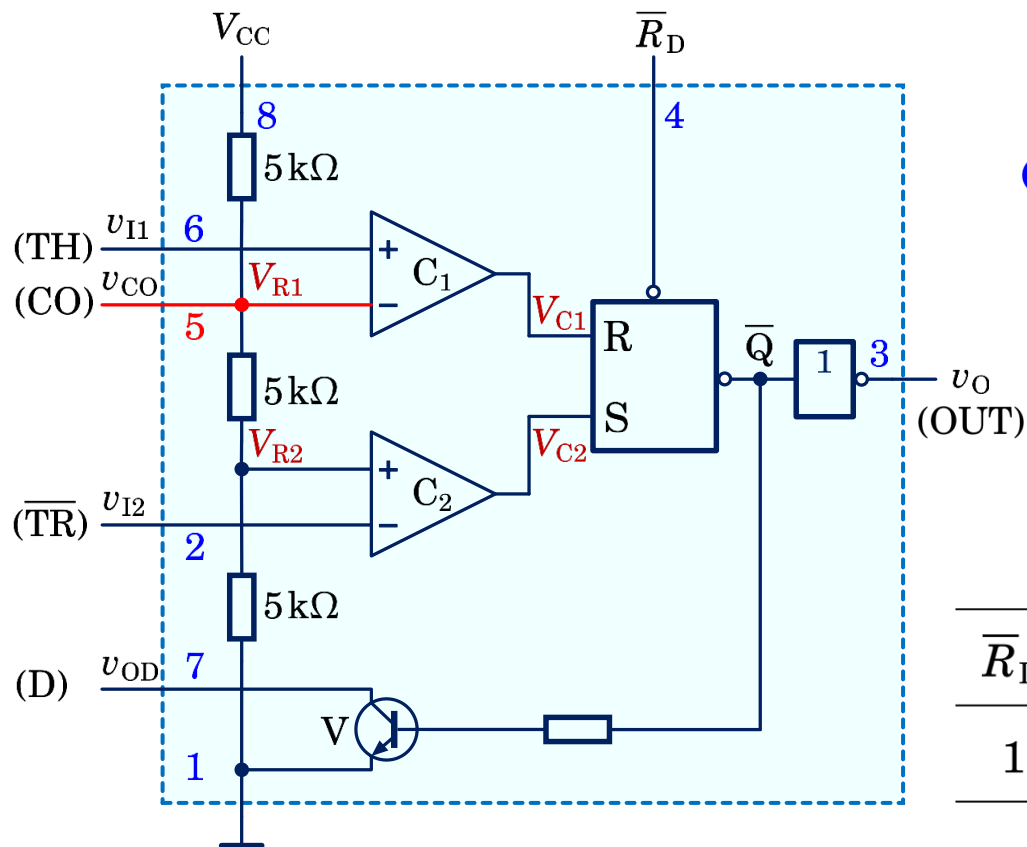
① 当 $\overline{R}_D = 0$ 时

$\overline{R}_D$	V_{TH}	V_{TR}	v_O	$\overline{Q}$	V
0	×	×	0	1	导通



5.1 555定时器

■ 555定时器的功能



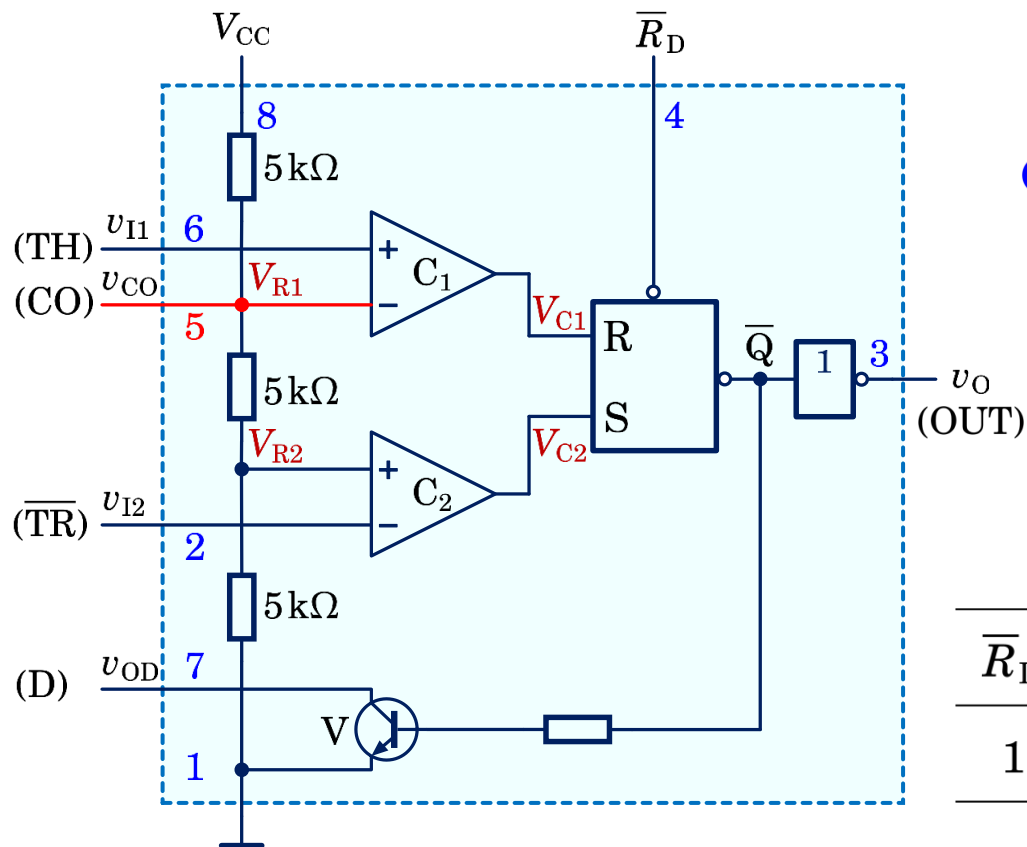
② 当 $V_{TH} > \frac{2}{3}V_{CC}$, $V_{TR} > \frac{1}{3}V_{CC}$ 时

$\overline{R}_D$	V_{TH}	V_{TR}	v_O	$\overline{Q}$	V
1	$> \frac{2}{3}V_{CC}$	$> \frac{1}{3}V_{CC}$	0	1	导通



5.1 555定时器

■ 555定时器的功能



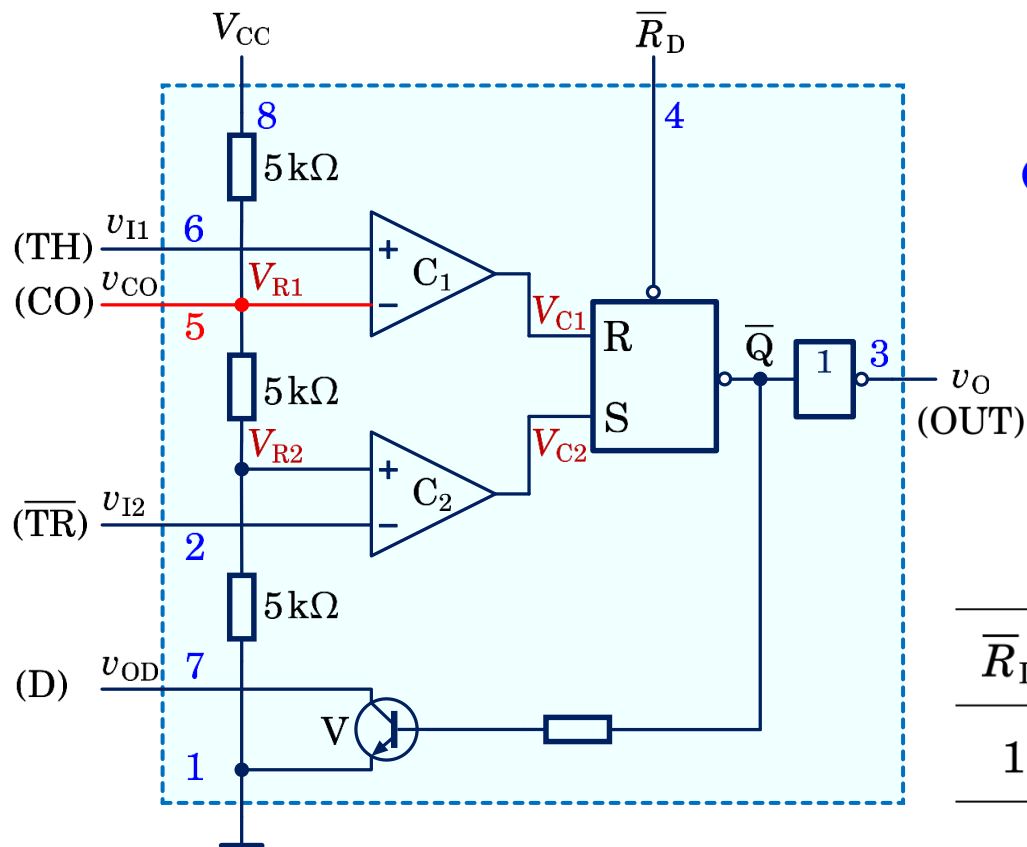
③ 当 $V_{TH} < \frac{2}{3}V_{CC}$, $V_{TR} < \frac{1}{3}V_{CC}$ 时

$\overline{R}_D$	V_{TH}	V_{TR}	v_O	$\overline{Q}$	V
1	$< \frac{2}{3}V_{CC}$	$< \frac{1}{3}V_{CC}$	1	0	截止



5.1 555定时器

■ 555定时器的功能



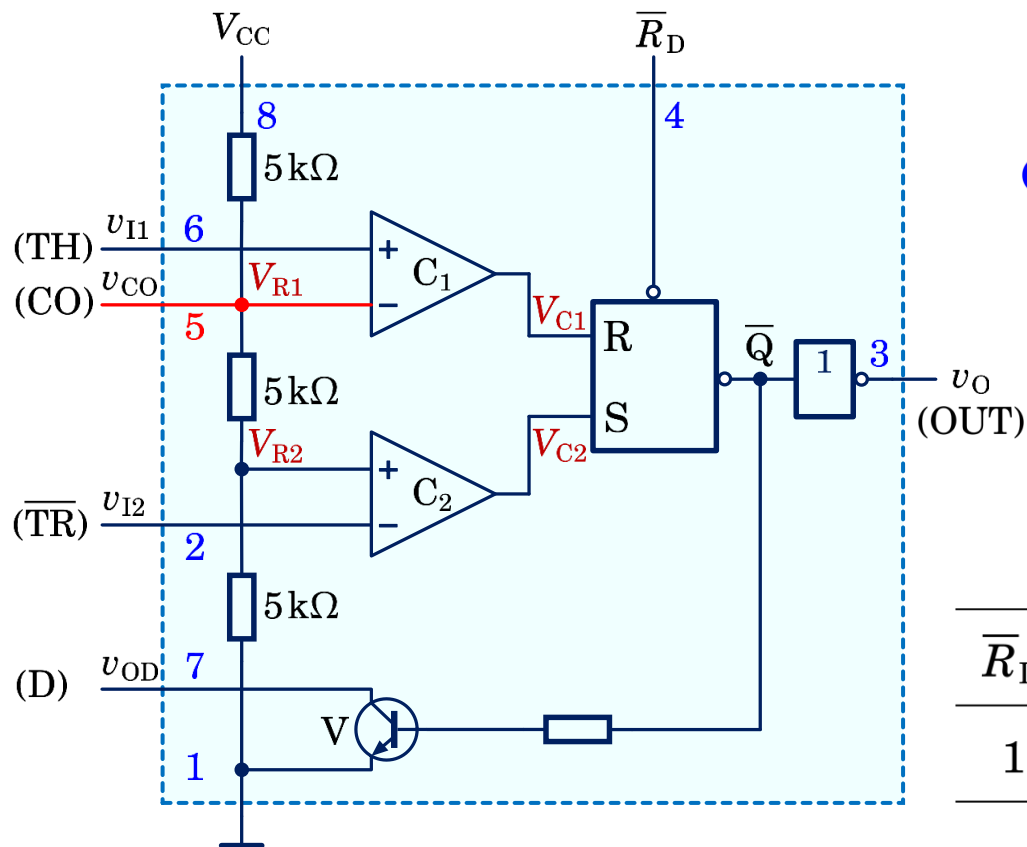
④ 当 $V_{TH} < \frac{2}{3}V_{CC}$, $V_{TR} > \frac{1}{3}V_{CC}$ 时

$\overline{R}_D$	V_{TH}	V_{TR}	v_O	$\overline{Q}$	V
1	$< \frac{2}{3}V_{CC}$	$> \frac{1}{3}V_{CC}$		保持	



5.1 555定时器

■ 555定时器的功能



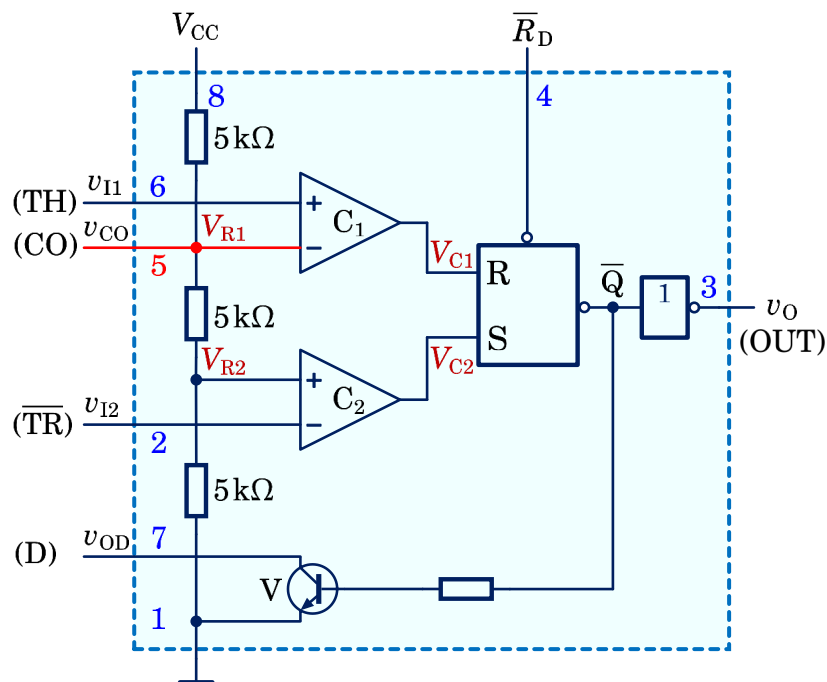
⑤ 当 $V_{TH} > \frac{2}{3}V_{CC}$, $V_{TR} < \frac{1}{3}V_{CC}$ 时

$\bar{R}_D$	V_{TH}	V_{TR}	v_O	$\bar{Q}$	V
1	$> \frac{2}{3}V_{CC}$	$< \frac{1}{3}V_{CC}$		非法	



5.1 555定时器

■ 555定时器的功能



$\overline{R}_D$	V_{TH}	V_{TR}	v_O	$\overline{Q}$	V
0	×	×	0	1	导通
1	$> \frac{2}{3} V_{CC}$	$> \frac{2}{3} V_{CC}$	0	1	导通
1	$< \frac{2}{3} V_{CC}$	$< \frac{2}{3} V_{CC}$	1	0	截止
1	$< \frac{2}{3} V_{CC}$	$> \frac{2}{3} V_{CC}$			保持
1	$> \frac{2}{3} V_{CC}$	$< \frac{2}{3} V_{CC}$			非法



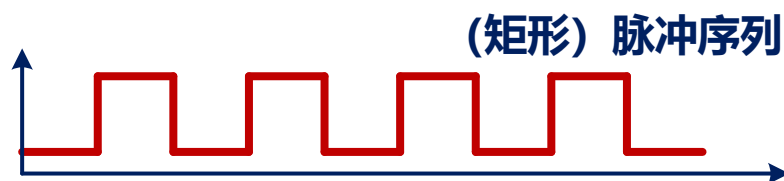
§5.2 多谐振荡器



5.2 多谐振荡器：555定时器应用（1）

■ 多谐振荡器

✧ 能发出周期性矩形脉冲序列的电路



✧ 特点

- ① 没有稳定状态，只有两个暂稳态，0态和1态周期性出现
- ② 无需外触发，通过电容的充电和放电，使两个暂稳态相互交替从而产生自激振荡

✧ 应用

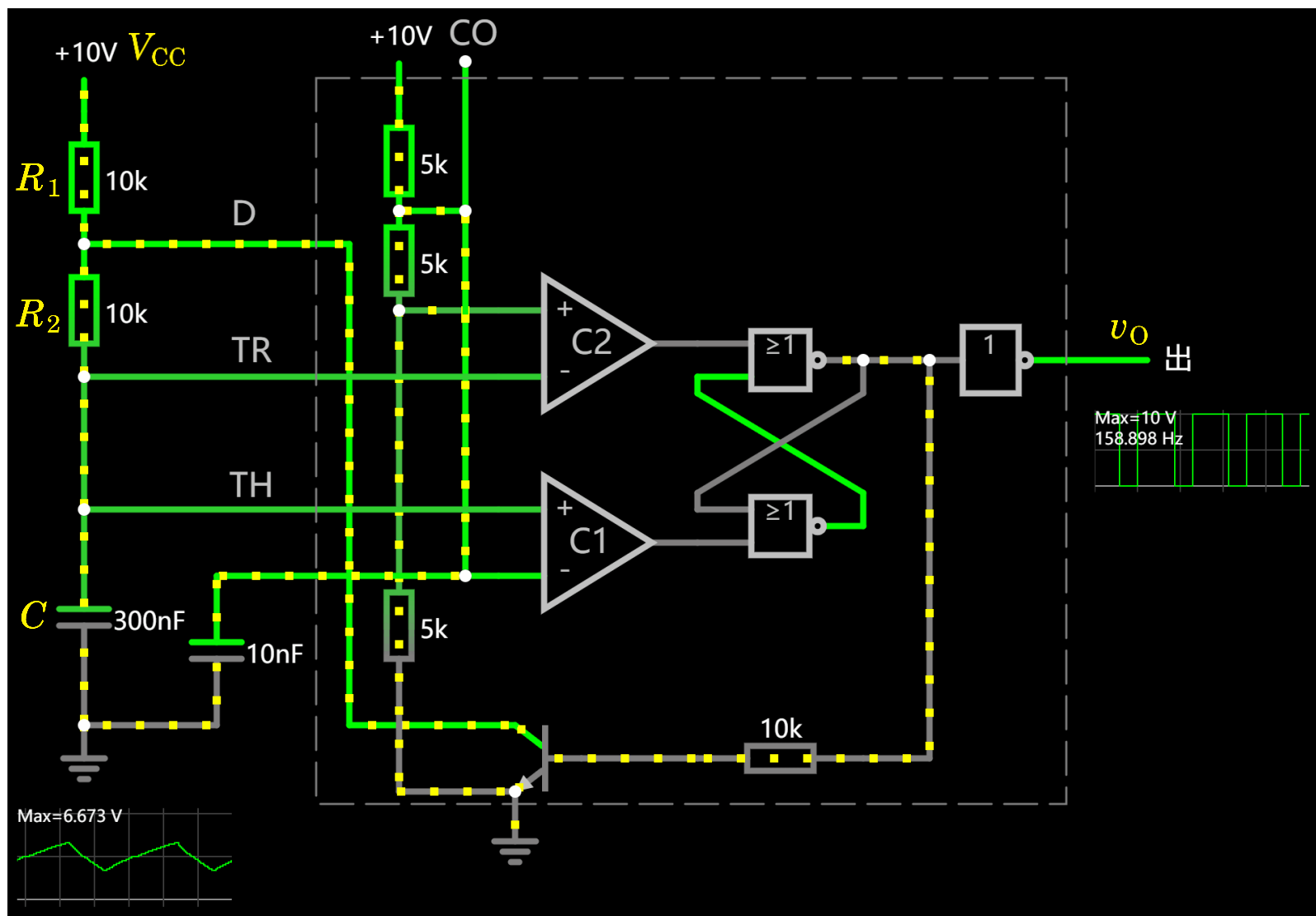
- 产生时钟脉冲

✧ 常见的多谐振荡器

- 环形振荡器（门电路构成）、石英晶体振荡器（频率稳定度很高）

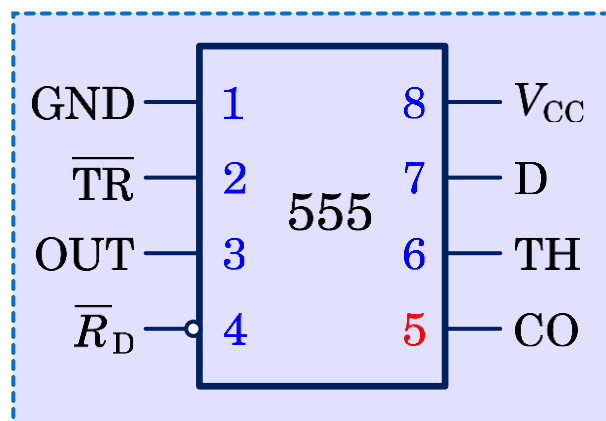
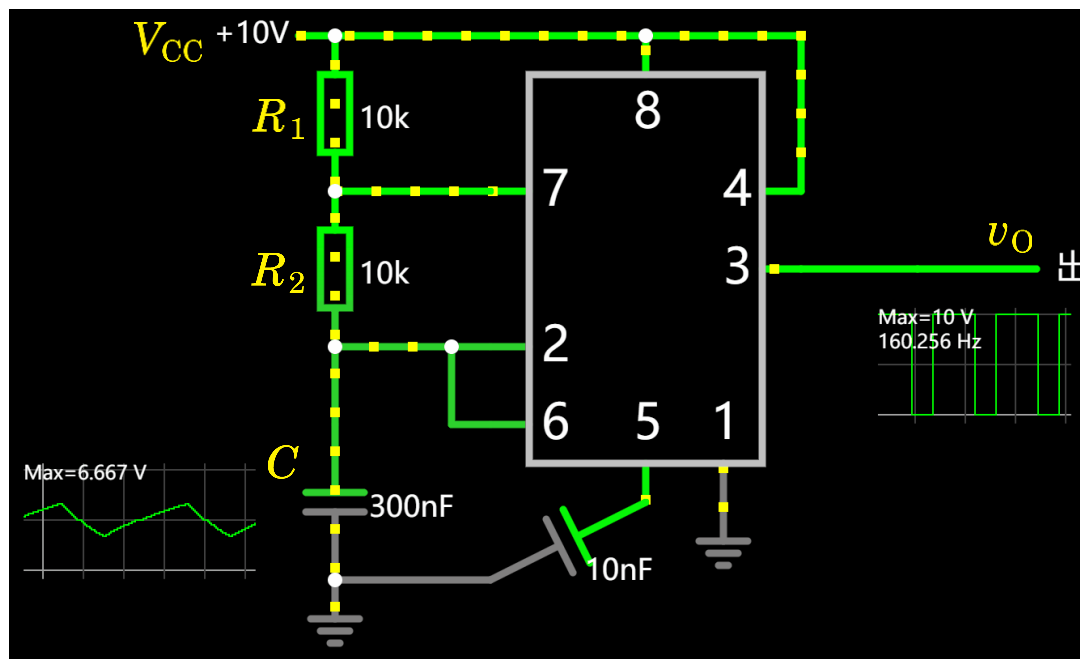


5.2 多谐振荡器：555定时器应用（1）

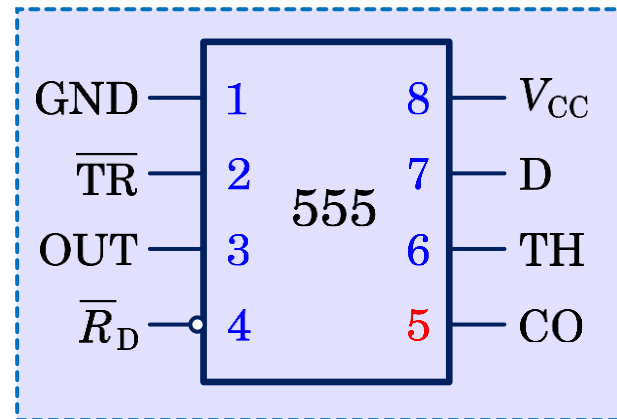
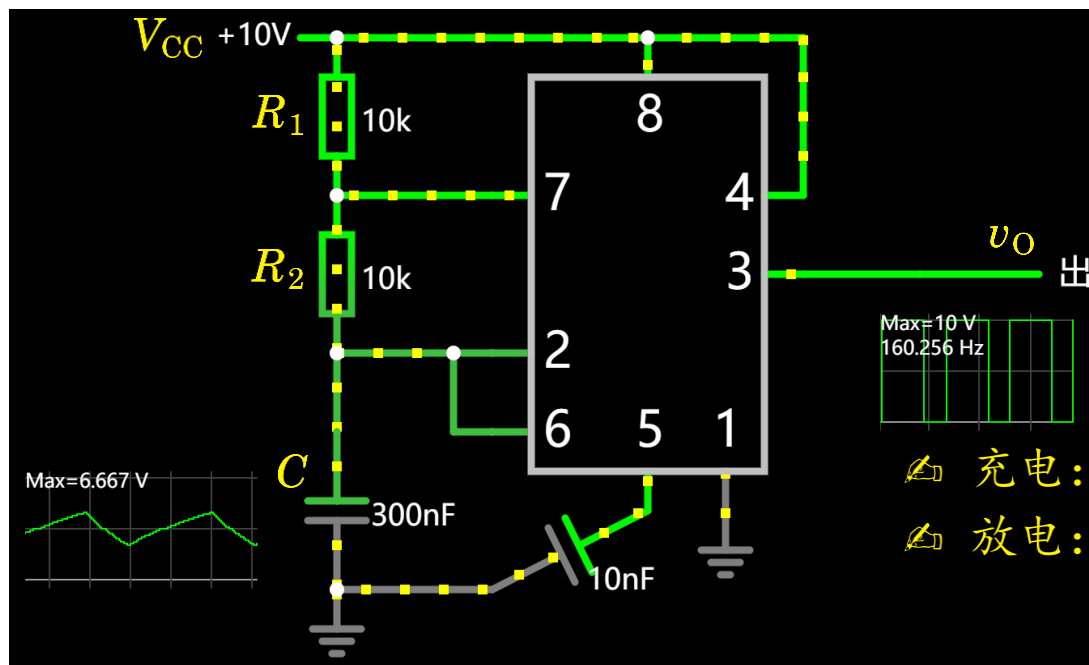




5.2 多谐振荡器：555定时器应用（1）



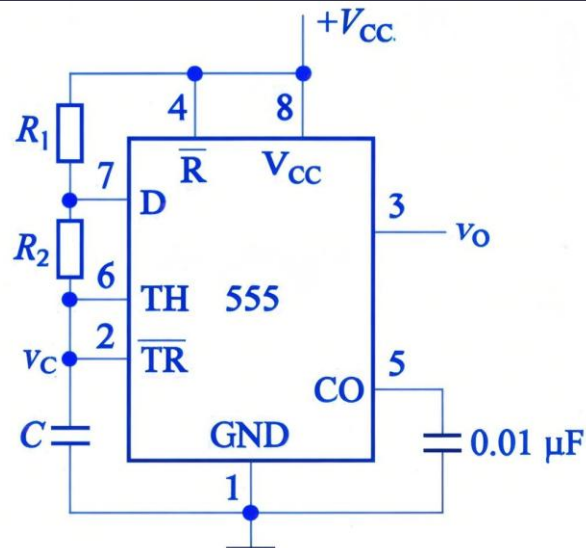
5.2 多谐振荡器：555定时器应用（1）



充电： $V_{CC} \rightarrow R_1 \rightarrow R_2 \rightarrow C \rightarrow \text{地}$
放电： $C^+ \rightarrow R_2 \rightarrow 7 \rightarrow V \rightarrow \text{地}$

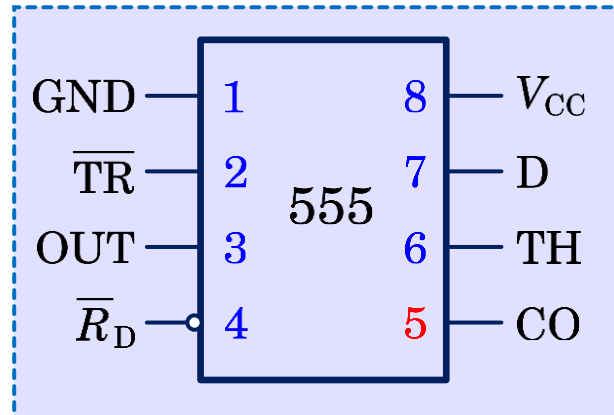
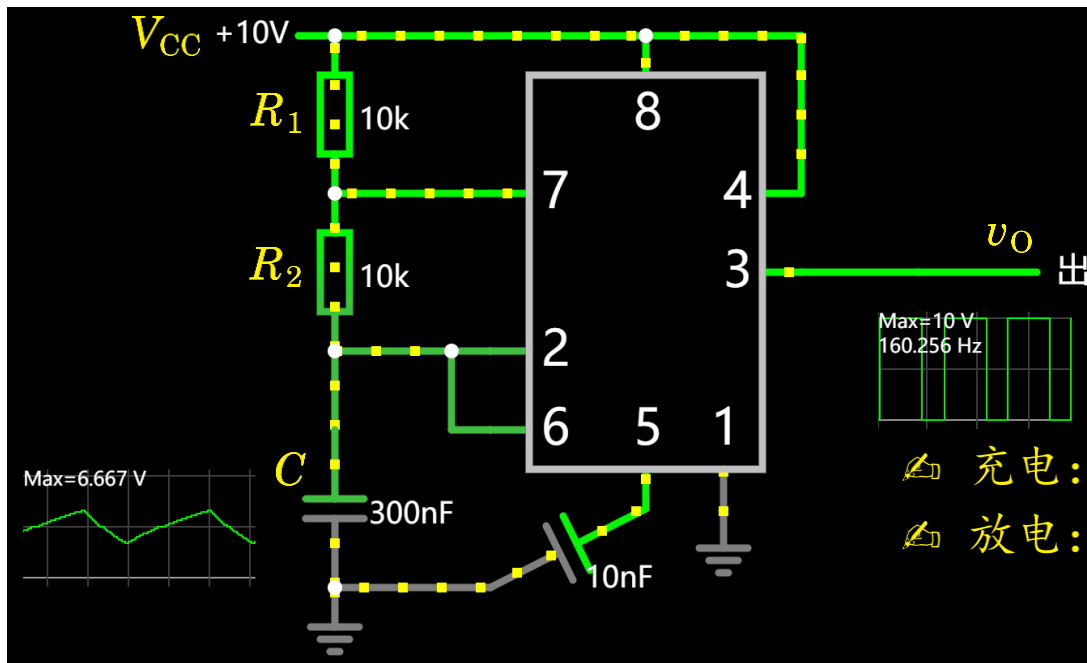
工作原理

	v_C	v_6	v_2	v_O	V
起始	0	$< \frac{2}{3} V_{CC}$	$< \frac{1}{3} V_{CC}$	1	截止
C充电	$\uparrow = \frac{2}{3} V_{CC}$	$> \frac{2}{3} V_{CC}$	$> \frac{1}{3} V_{CC}$	0	导通
C放电	$\downarrow = \frac{1}{3} V_{CC}$	$< \frac{2}{3} V_{CC}$	$< \frac{1}{3} V_{CC}$	1	截止





5.2 多谐振荡器：555定时器应用（1）



工作原理

	v_C	v_6	v_2	v_O	V
起始	0	$< \frac{2}{3} V_{CC}$	$< \frac{1}{3} V_{CC}$	1	截止
C充电	$\uparrow = \frac{2}{3} V_{CC}$	$> \frac{2}{3} V_{CC}$	$> \frac{1}{3} V_{CC}$	0	导通
C放电	$\downarrow = \frac{1}{3} V_{CC}$	$< \frac{2}{3} V_{CC}$	$< \frac{1}{3} V_{CC}$	1	截止

Max=0 V
电容电压

Min=0 V

Max=0 V
输出电压

Min=0 V



5.2 多谐振荡器：555定时器应用（1）

■ 振荡周期/频率的计算

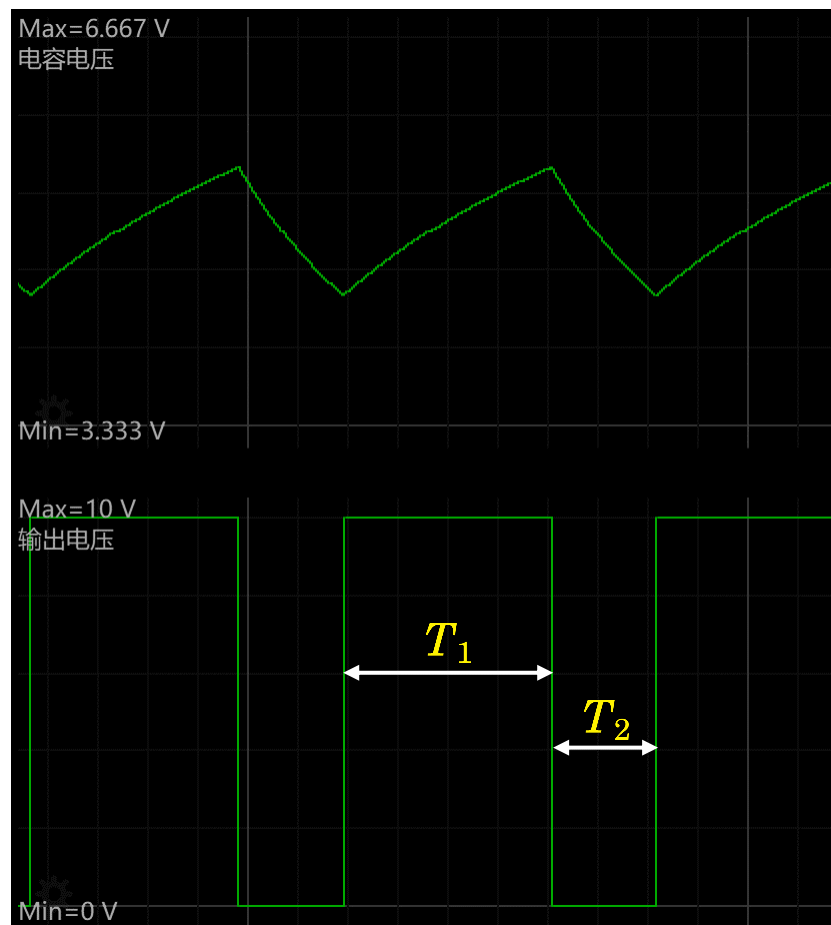
$$T_1 = (R_1 + R_2)C \ln \frac{V_{CC} - \frac{1}{3}V_{CC}}{V_{CC} - \frac{2}{3}V_{CC}}$$

$$T_2 = R_2C \ln \frac{0 - \frac{2}{3}V_{CC}}{0 - \frac{1}{3}V_{CC}}$$

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

$$\diamond \text{ 占空比计算} \quad f = \frac{1}{T}$$

$$q = \frac{T_1}{T} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2} > \frac{R_1 + R_2}{2R_1 + 2R_2}$$



- ① 可以通过外电阻设置占空比（举例：电机调速） **如何实现占空比可调？**
- ② 占空比始终大于 50%；改变占空比，同时也会改变振荡频率 f

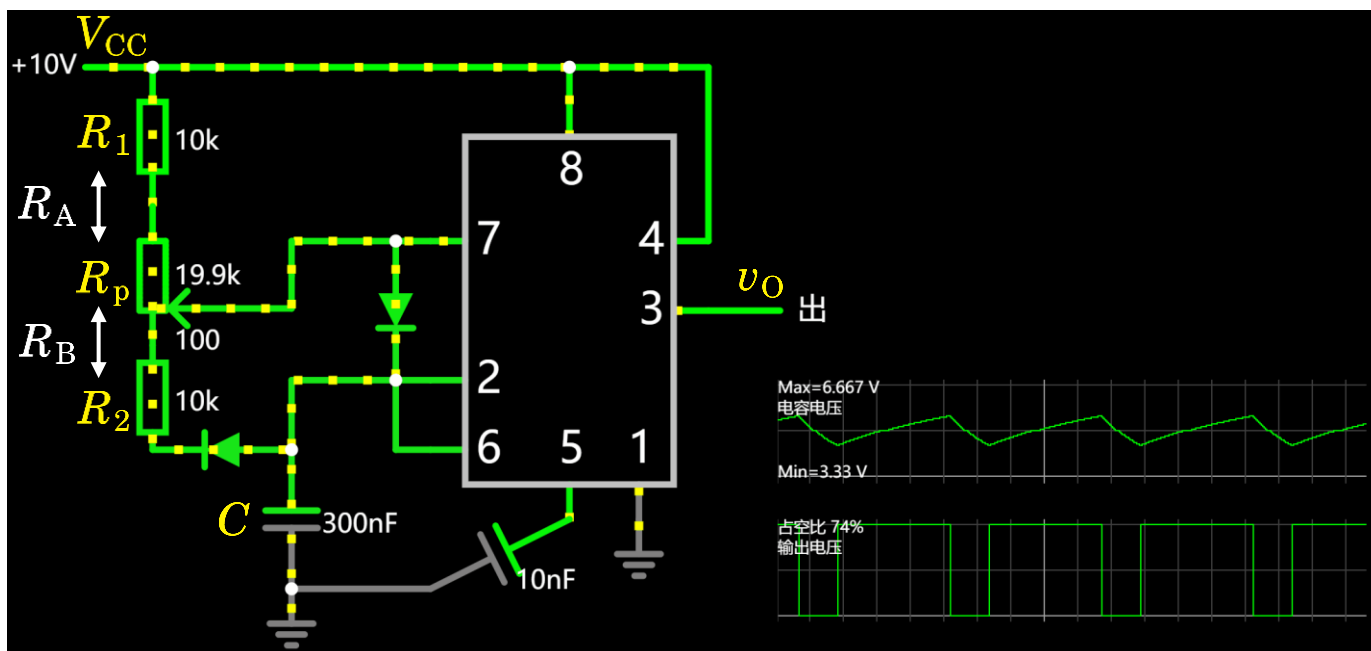
5.2 多谐振荡器：555定时器应用（1）

■ 改进电路

✧ 增加二极管和电位器

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

如何实现占空比可调？





§5.3 单稳态触发器



5.3 单稳态触发器：555定时器应用（2）

■ 单稳态触发器

✧ 第2章的各种触发器为双稳态触发器

- 包含0和1两个稳定状态

✧ 单稳态触发器只有一个稳定状态：0或者1

✧ 特点

- ① 包含稳态和暂态两个不同工作状态
- ② 在外加脉冲作用下，能从稳态翻转到暂态
- ③ 暂态维持一段时间后，将自动返回稳态
(暂态维持时间取决于电路参数，与外加脉冲无关)

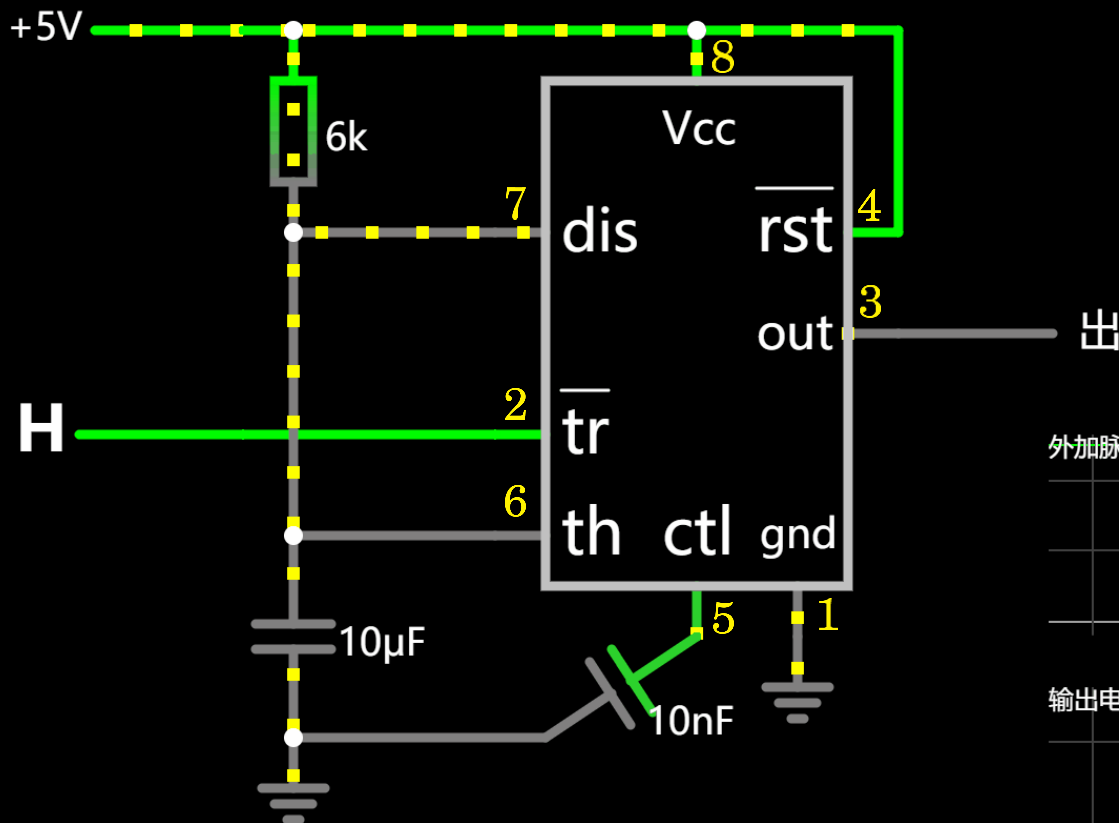
✧ 应用

- 延时、定时、整形

✧ 常见的集成单稳态触发器

- 74121、CC14528

5.3 单稳态触发器：555定时器应用（2）

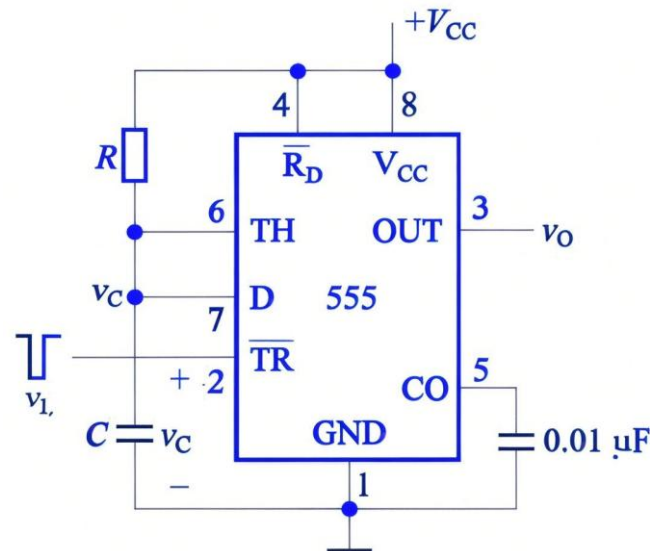
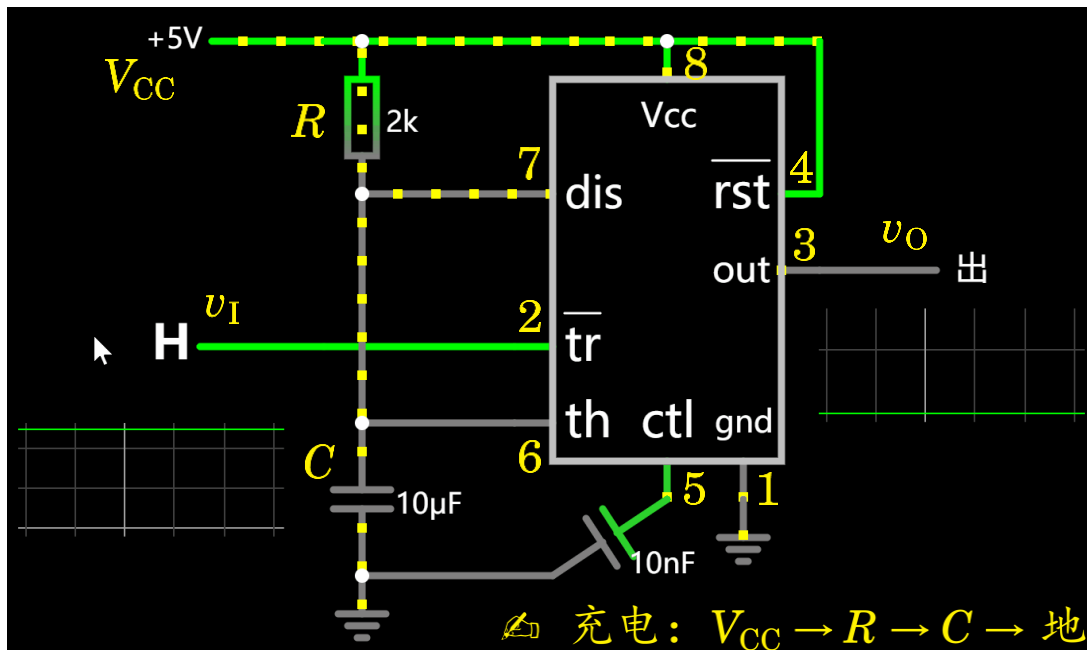


外加脉冲

输出电平



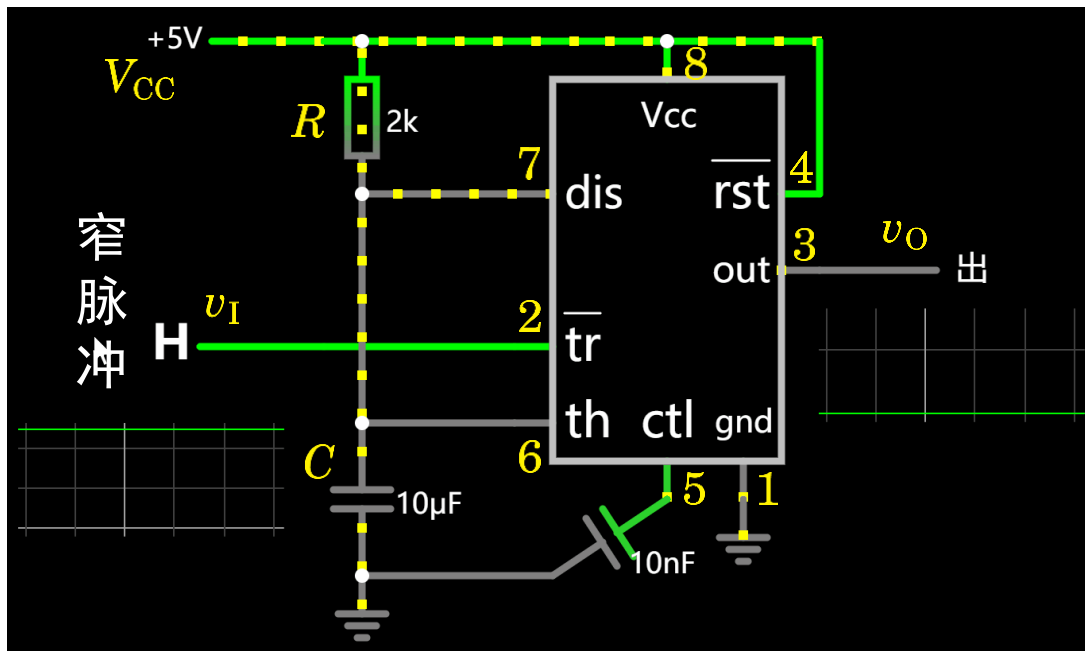
5.3 单稳态触发器：555定时器应用（2）



	C	v_C	$v_{TH} = v_C$	$v_{TR} = v_I$	v_O	V	说明
未触发且 $v_I = 1$	无电荷	0	$< \frac{2}{3} V_{CC}$	$> \frac{1}{3} V_{CC}$	0	导通	保持 $v_O = 0$
触发	无电荷	0	$< \frac{2}{3} V_{CC}$	$< \frac{1}{3} V_{CC}$	1	截止	暂态 $v_O = 1$
$v_I = 1$	充电	$\uparrow = \frac{2}{3} V_{CC}$	$> \frac{2}{3} V_{CC}$	$> \frac{1}{3} V_{CC}$	0	导通	返回 $v_O = 0$
	放电	$\downarrow = 0$	$< \frac{2}{3} V_{CC}$	$> \frac{1}{3} V_{CC}$			保持 $v_O = 0$



5.3 单稳态触发器：555定时器应用（2）



外加脉冲



输出电平

电容电压



	C	v_C	$v_{TH} = v_C$	$v_{TR} = v_I$	v_O	V	说明
未触发且 $v_I = 1$	无电荷	0	$< \frac{2}{3} V_{CC}$	$> \frac{1}{3} V_{CC}$	0	导通	保持 $v_O = 0$
触发	无电荷	0	$< \frac{2}{3} V_{CC}$	$< \frac{1}{3} V_{CC}$	1	截止	暂态 $v_O = 1$
$v_I = 1$	充电	$\uparrow = \frac{2}{3} V_{CC}$	$> \frac{2}{3} V_{CC}$	$> \frac{1}{3} V_{CC}$	0	导通	返回 $v_O = 0$
	放电	$\downarrow = 0$	$< \frac{2}{3} V_{CC}$	$> \frac{1}{3} V_{CC}$			保持 $v_O = 0$



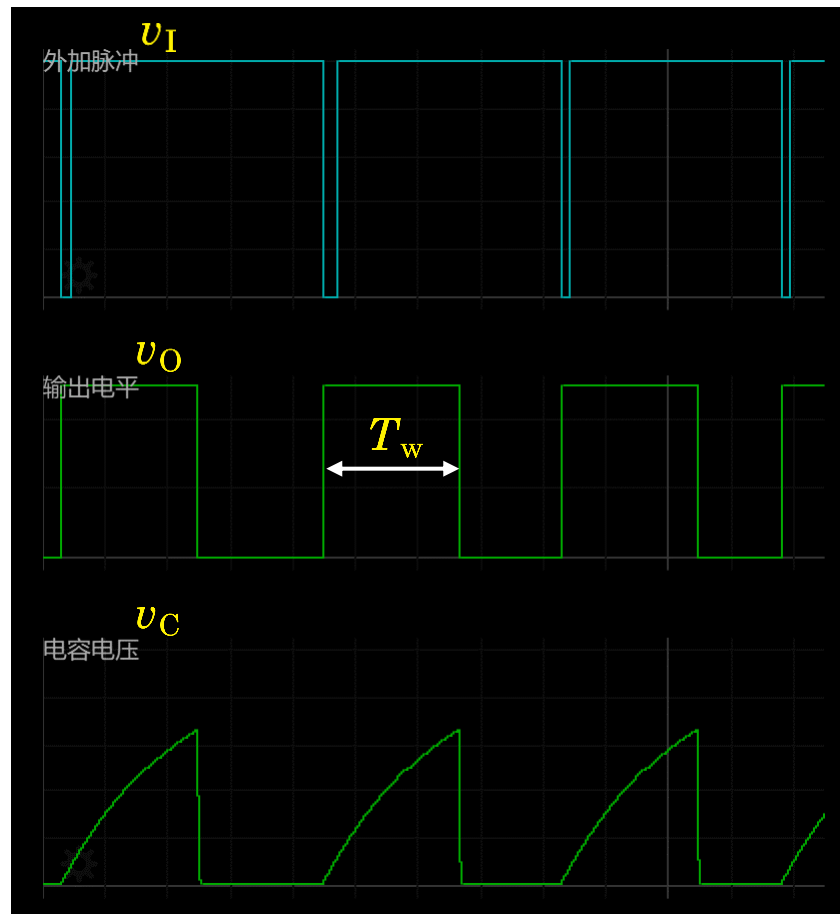
5.3 单稳态触发器：555定时器应用（2）

■ 延迟时间的计算

- ✧ 输出脉冲的宽度等于电容充电到 $2/3V_{CC}$ 所用时间

$$T_w = RC \ln \frac{V_{CC} - 0}{V_{CC} - \frac{2}{3}V_{CC}} \\ = RC \ln 3 \approx 1.1RC$$

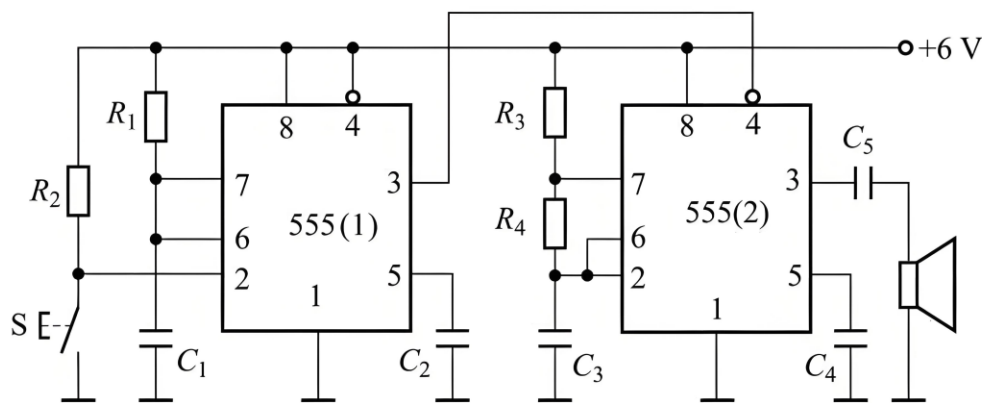
- 第2次触发必须在第1次触发稳定之后进行



5.3 单稳态触发器：555定时器应用（2）

■ 举例

（6）如图 5.15 所示电路是用两个 555 定时器组成的电子门铃电路，按下按钮 S 时可使门铃以 1.2 kHz 频率鸣响 10 s。问：① 555（1）和 555（2）分别接成什么典型电路？② 分析电路的工作原理；③ 改变电路中什么参数可改变铃响的持续时间？④ 改变电路中什么参数可改变铃响的音调高低？





§5.4 施密特触发器



5.4 施密特触发器：555定时器应用（3）

■ 施密特触发器

✧ 是一种常用的波形变换电路

✧ 特点

① 其输出为数字信号：0态、1态

② 其输入为缓慢变化的信号

③ 电压传输特性具有滞回特性

（输入信号增加和减少时，电路的阈值电压不同）

✧ 应用

• 波形变换、脉冲整形、脉冲鉴幅、多谐振荡器

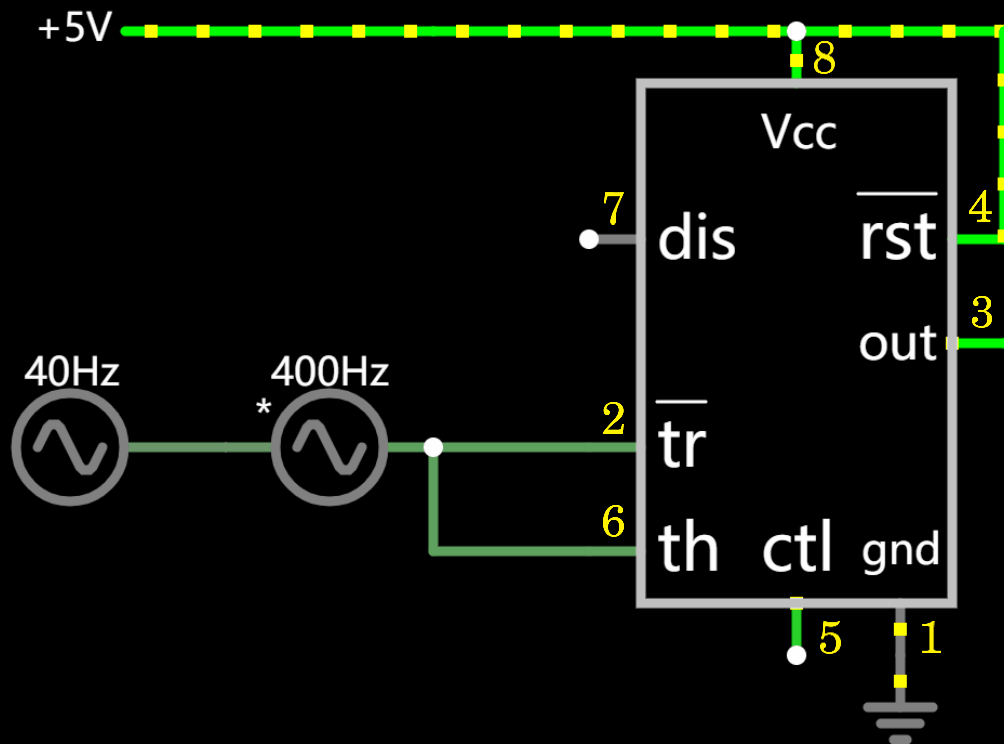
✧ 常见的集成施密特触发器

• 7413、7414、74132

• CC40106、CC4583

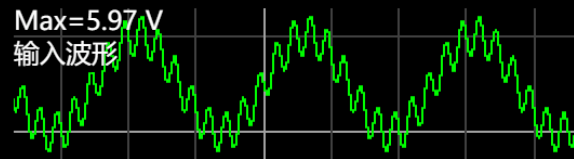


5.4 施密特触发器：555定时器应用（3）



将引脚6和
引脚2短接

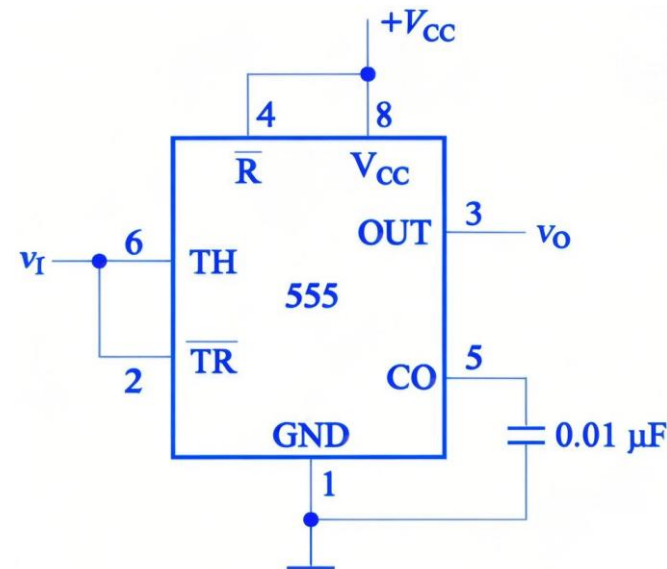
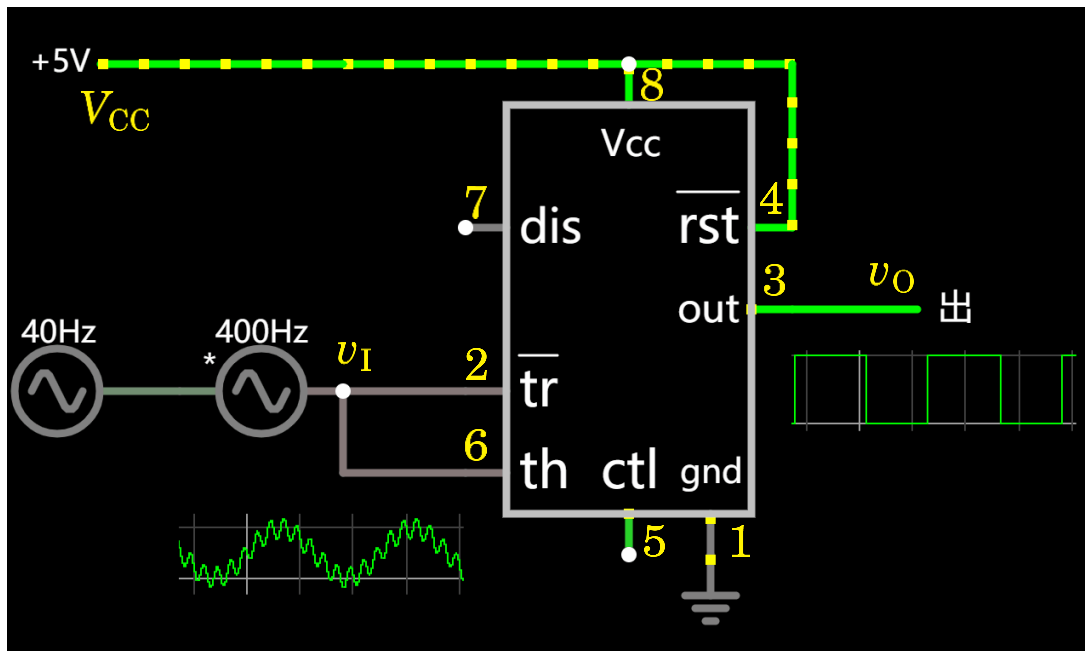
Max=5.97V
输入波形



Max=5V
输出波形



5.4 施密特触发器：555定时器应用（3）

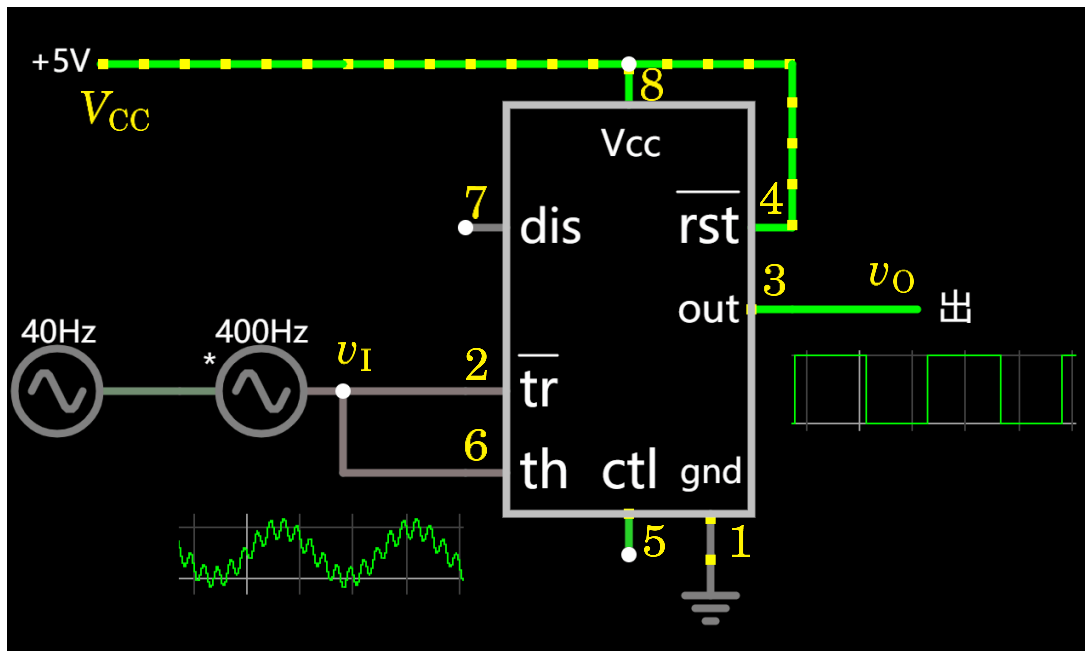


工作原理

v_I	v_6	v_2	v_O
0	$< \frac{2}{3} V_{CC}$	$< \frac{1}{3} V_{CC}$	1
$\uparrow \geq \frac{2}{3} V_{CC}$	$> \frac{2}{3} V_{CC}$	$> \frac{1}{3} V_{CC}$	0
$\downarrow \leq \frac{1}{3} V_{CC}$	$< \frac{2}{3} V_{CC}$	$< \frac{1}{3} V_{CC}$	1



5.4 施密特触发器：555定时器应用（3）



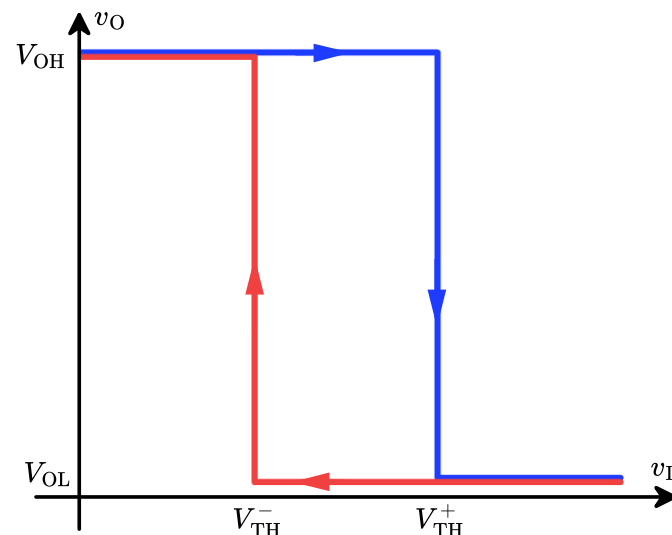
输出电压翻转条件：与输入电压变化方向有关

输入电压增加到 $\frac{2}{3}V_{CC}$ 时

输入电压减少到 $\frac{1}{3}V_{CC}$ 时

v_6	v_2	v_O
$< \frac{2}{3}V_{CC}$	$> \frac{1}{3}V_{CC}$	保持

工作原理			
v_I	v_6	v_2	v_O
0	$< \frac{2}{3}V_{CC}$	$< \frac{1}{3}V_{CC}$	1
$\uparrow \geq \frac{2}{3}V_{CC}$	$> \frac{2}{3}V_{CC}$	$> \frac{1}{3}V_{CC}$	0
$\downarrow \leq \frac{1}{3}V_{CC}$	$< \frac{2}{3}V_{CC}$	$< \frac{1}{3}V_{CC}$	1





5.4 施密特触发器：555定时器应用 (3)

■ 阈值电压

✧ 当输入信号达到某一定电压值时，输出电压会发生突变

① 正向阈值电压 V_{TH}^+

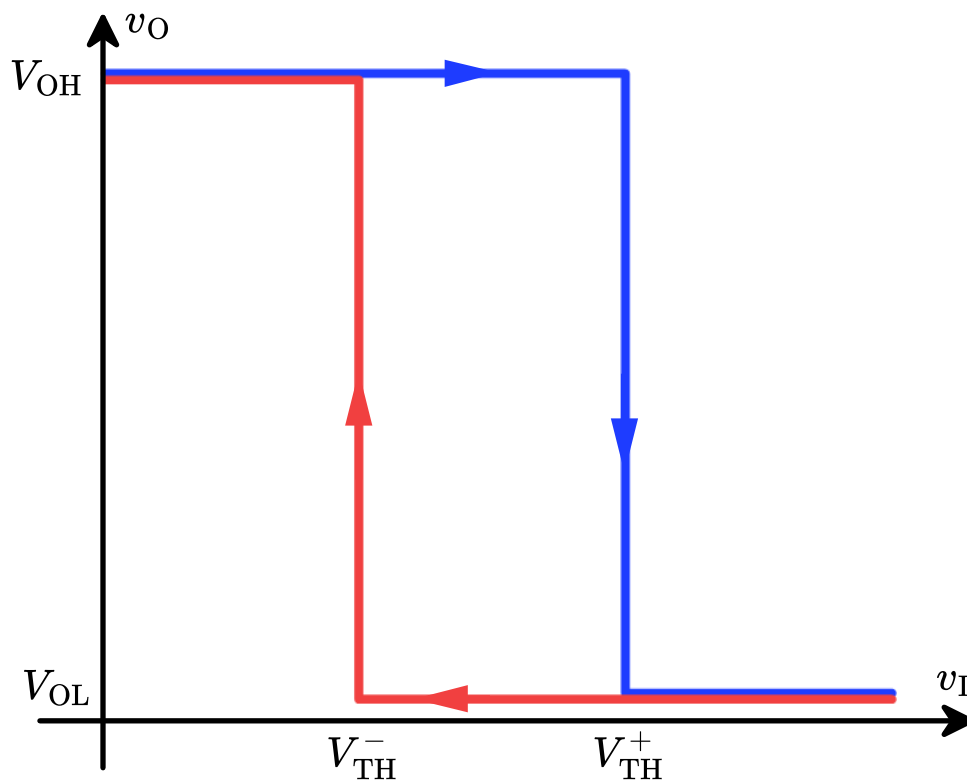
$$V_{TH}^+ = \frac{2}{3} V_{CC}$$

② 负向阈值电压 V_{TH}^-

$$V_{TH}^- = \frac{1}{3} V_{CC}$$

③ 回差电压 $\Delta V_{TH} = V_{TH}^+ - V_{TH}^-$

$$\Delta V_{TH} = \frac{1}{3} V_{CC}$$



如果电压控制 5 号端外接控制电压 V_{CO} ，那么回差电压变成多少？



5.4 施密特触发器：555定时器应用（3）

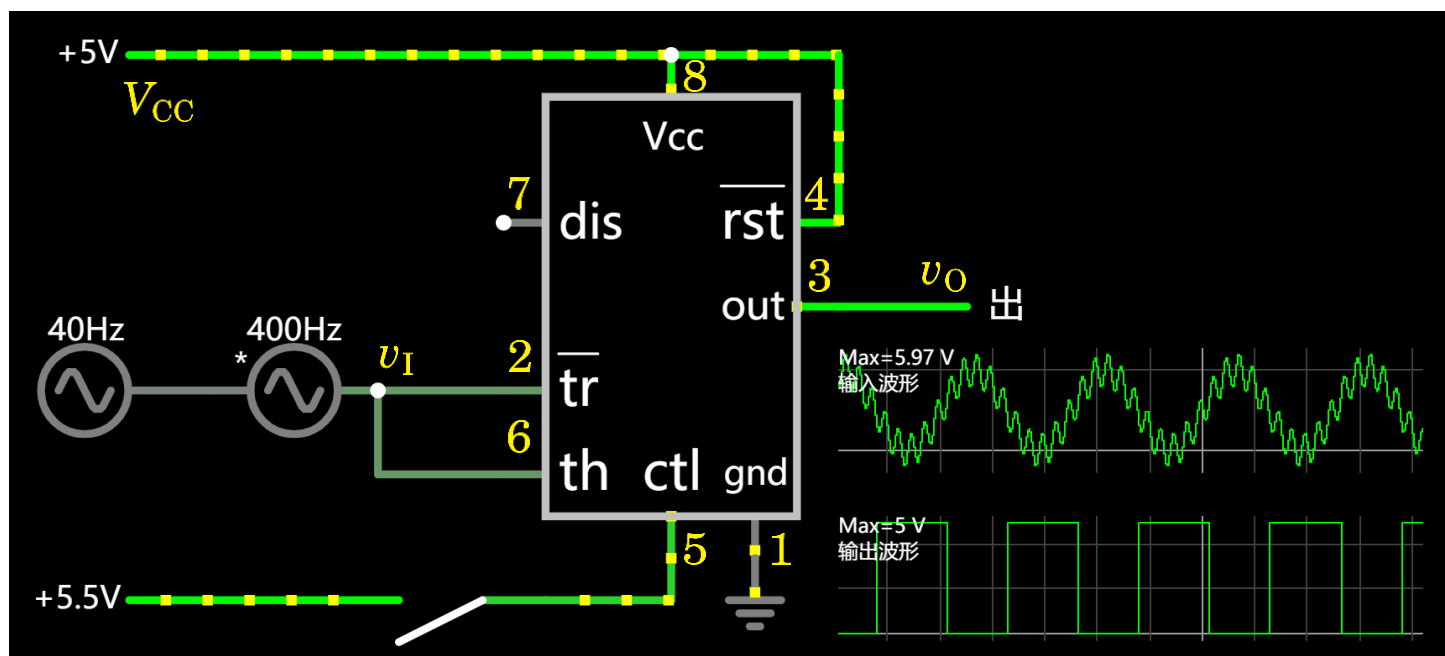
■ 改变输出波形的脉宽

✧ 当5号引脚CO端接有控制电压时

$$V_{TH}^+ = v_{CO}$$

$$V_{TH}^- = \frac{1}{2} v_{CO}$$

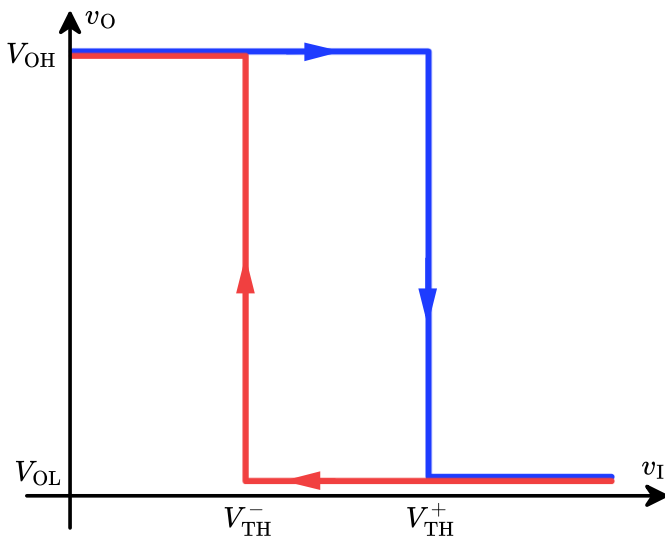
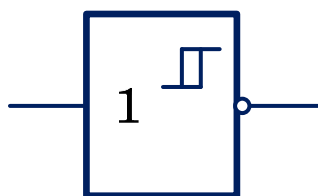
$$\Delta V_{TH} = \frac{1}{2} V_{CO}$$



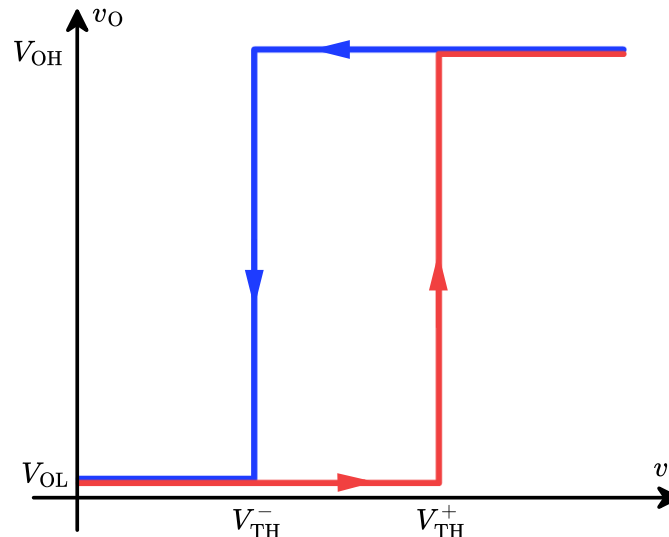
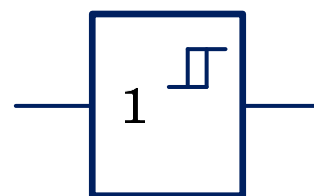
5.4 施密特触发器：555定时器应用（3）

■ 反相 v.s. 同相

✧ 施密特反相器



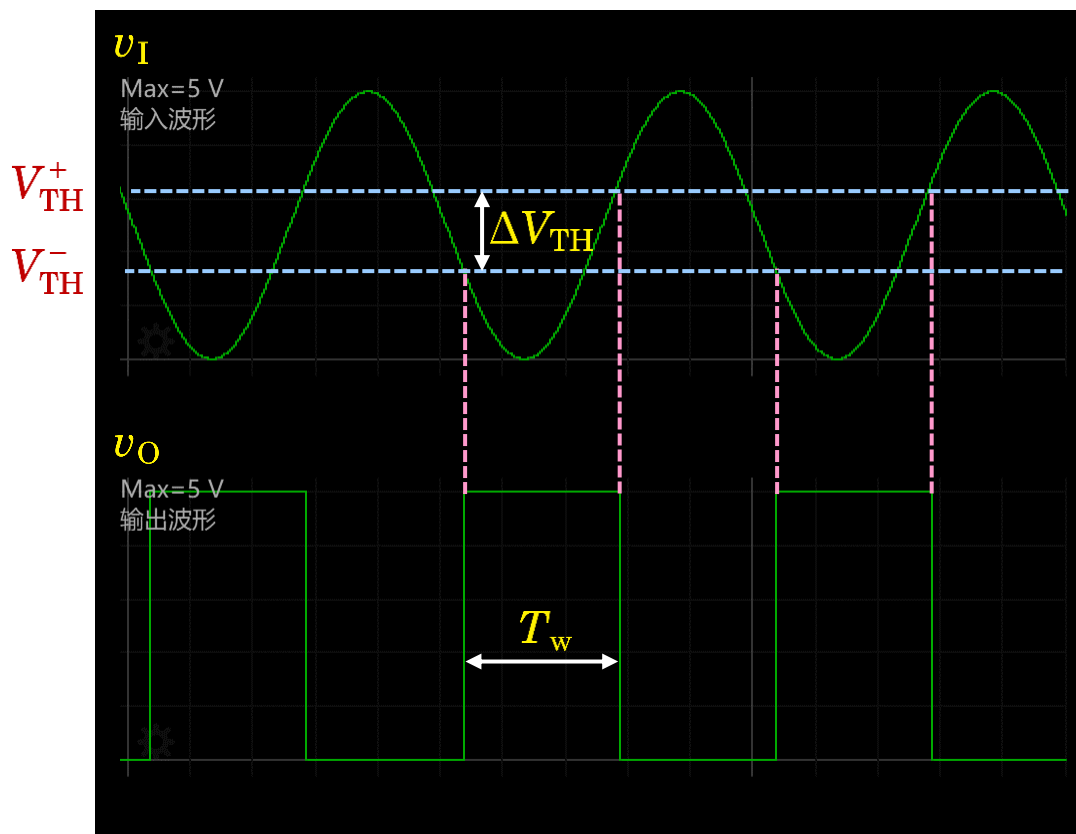
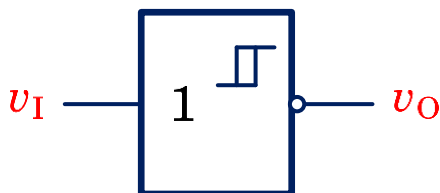
✧ 施密特同相器





5.4 施密特触发器：555定时器应用（3）

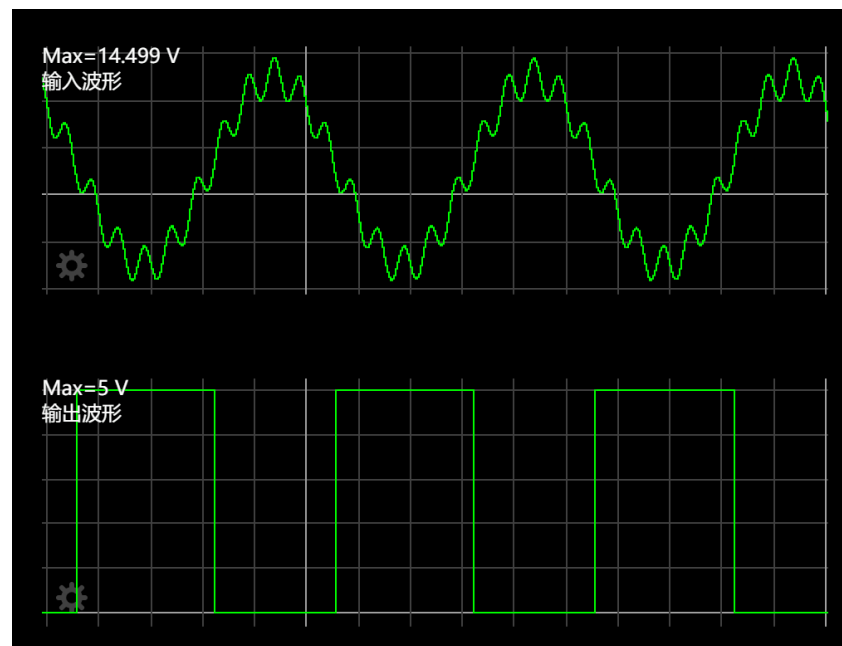
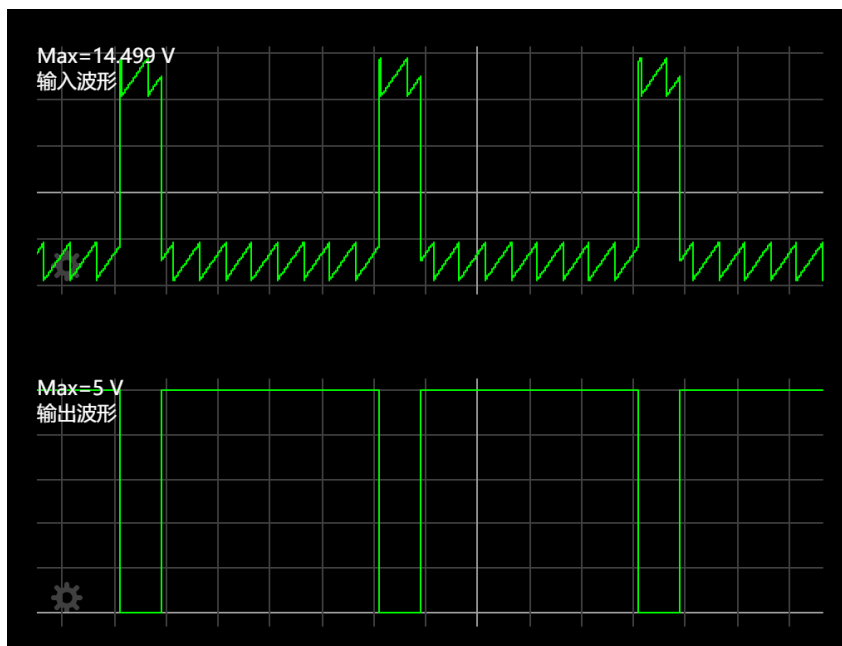
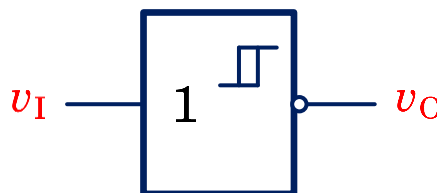
① 用于波形变换



5.4 施密特触发器：555定时器应用（3）

② 用于脉冲整形

✧ 如果矩形脉冲发生波形畸变，或者边沿产生振荡，可以通过施密特触发器整形

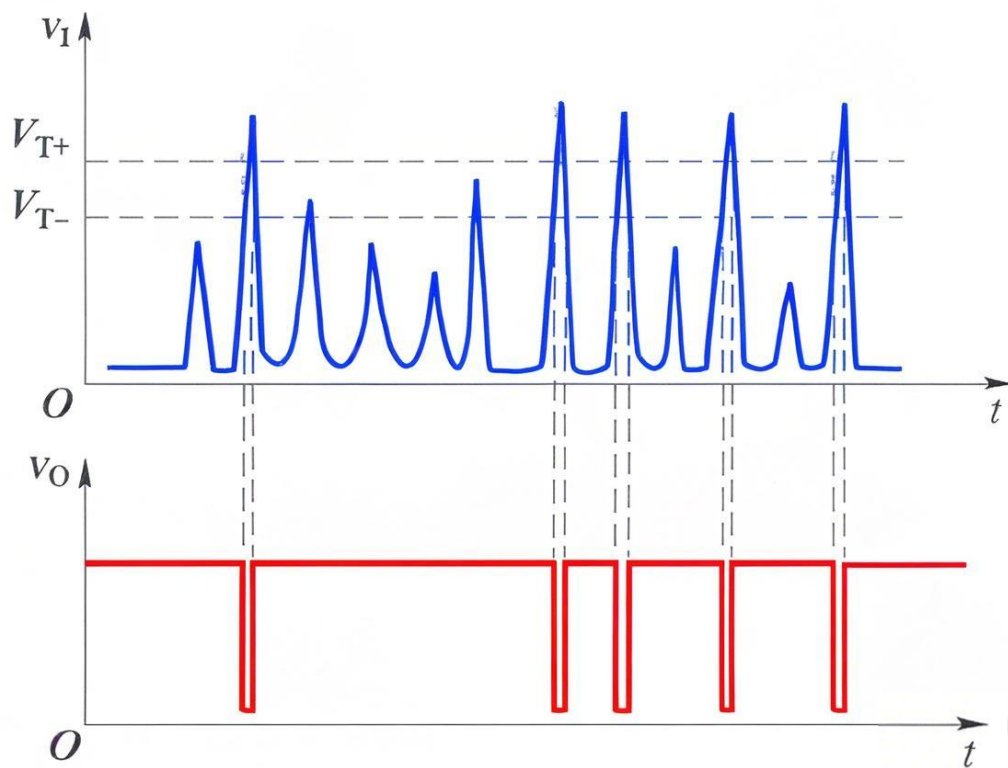
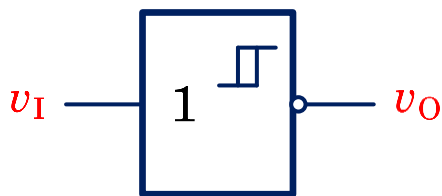




5.4 施密特触发器：555定时器应用（3）

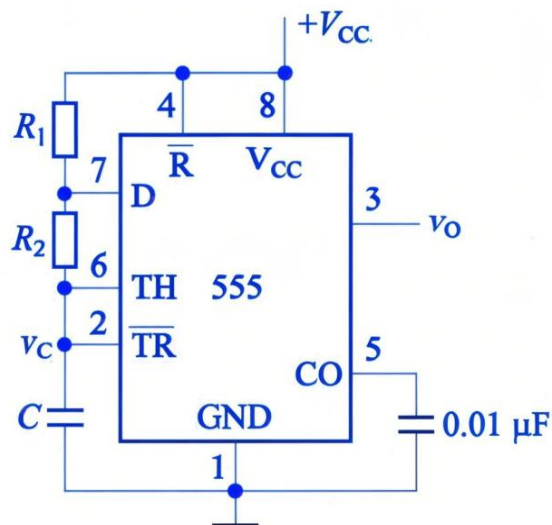
③ 用于脉冲鉴幅

✧ 从一串不等的脉冲中，将幅度大于 V_{TH+} 的信号鉴别出来

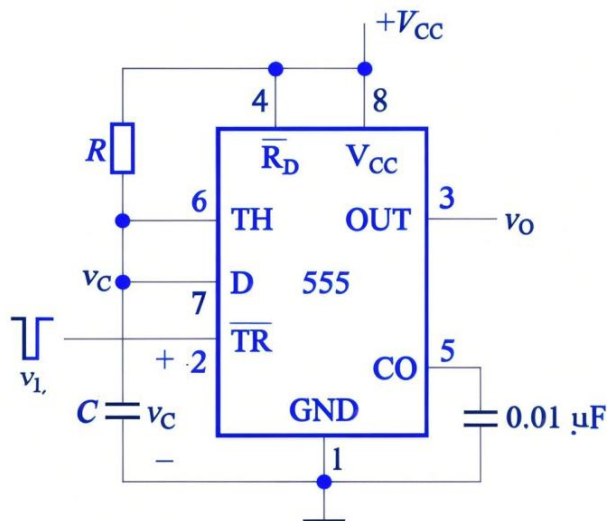




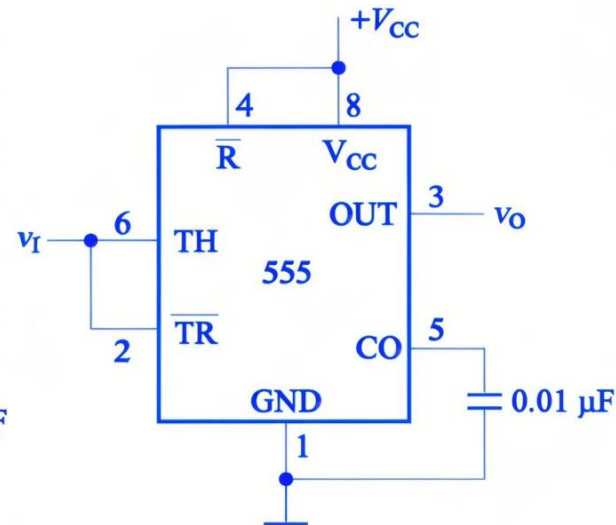
5.4 三个555定时器应用



多谐振荡器



单稳态触发器



施密特触发器



多谐振荡器补充：石英晶体振荡器

■ 普通多谐振荡器的不足

- ✧ 振荡频率易受温度、电源电压波动、**RC**参数等各种因素的影响
 - 对频率稳定性要求较高的场合，必须采取稳频措施

■ 石英晶体

- ✧ 具有很好的选频特性
 - 石英晶体的固有振荡频率 **f_0** 由结晶方向、外形尺寸决定
 - 频率稳定度可达

$$\frac{\Delta f_0}{f_0} = 10^{-10} \sim 10^{-11}$$



多谐振荡器补充：石英晶体振荡器

■ 石英晶体

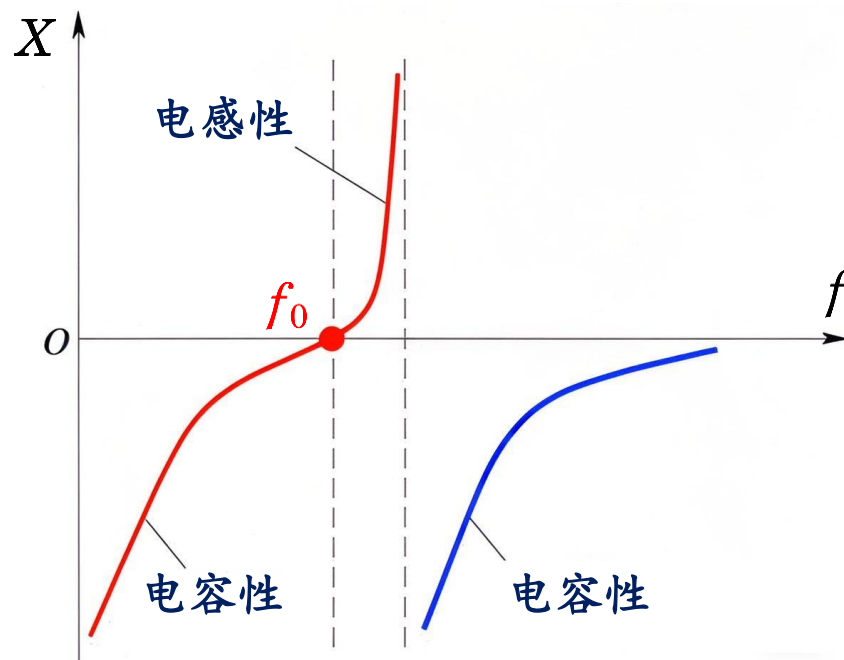
✧ 具有很好的选频特性

- 当振荡信号的频率和石英晶体的固有谐振频率 f_0 相同时，石英晶体呈现很低的阻抗，信号很容易通过，其它频率的信号则被衰减掉



🔧 外电压频率 $f = f_0$ 时，电抗 $X = 0$

🔧 此时产生谐振，阻抗最小





多谐振荡器补充：石英晶体振荡器

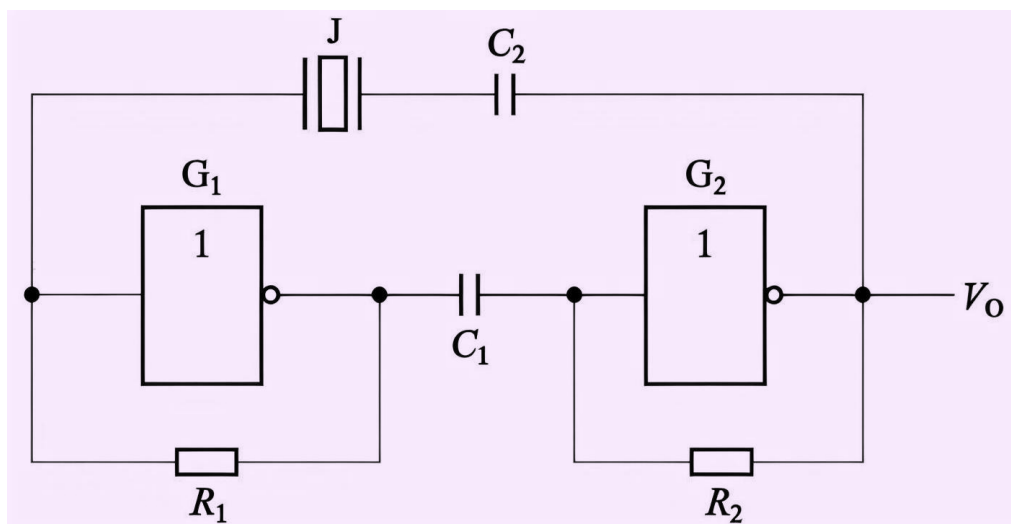
■ 石英晶体振荡器

✧ 适用场合

- 要求振荡频率十分稳定时，如数字钟的秒脉冲频率

✧ 设计方法

- 最简便的方法是在振荡器中接入石英晶体，构成石英晶体振荡器





本章小结

- 555定时器
- 多谐振荡器
- 单稳态触发器
- 施密特触发器