

数字电路分析与设计

数字信号的产生

(5)

n 数字信号的产生

ü 电子系统中，广泛使用：正弦波、三角波、锯齿波和脉冲波。

ü 本章节：讨论采用数字电路产生脉冲波和正弦波的原理和方法。

n 数字信号的产生

ü 介绍采用数字电路产生数字信号的原理、方法。

✓ CMOS 门组成的晶体振荡器（5.1）

✓ 555 集成定时器（5.2）

✓ 数字式正弦波发生器（5.3）

✓ CMOS 门组成的晶体振荡器

ü 石英晶体振荡器，简称晶振。

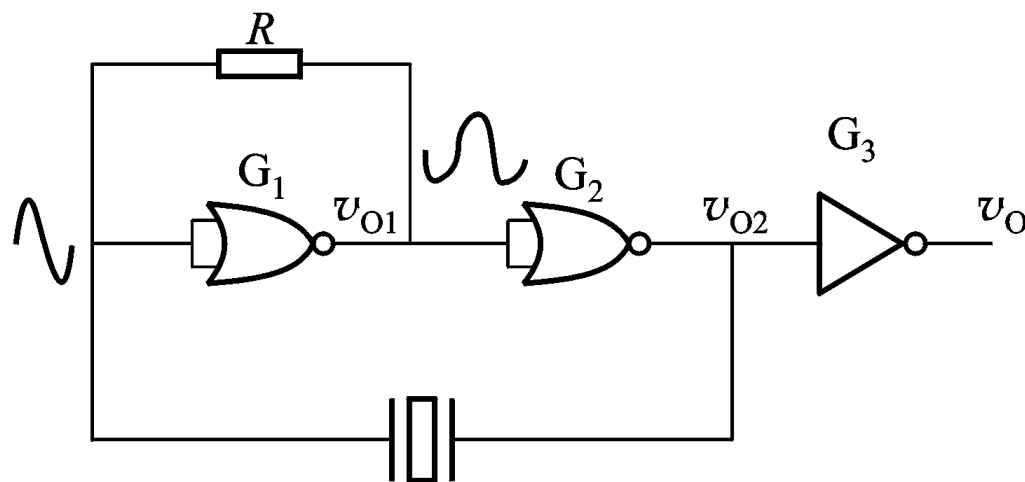
ü 谐振频率 $f=f_s$ 时，对外等效电抗为 0。
(可用于正反馈网络中，构成串联谐振电路)

ü 谐振频率 f 介于 f_s 和 f_p 之间时，对外等效为电感。
(可用于构成并联谐振电路)

ü 常用于在数字系统中提供时钟脉冲。
(频率稳定度非常高，可产生高精度时基信号)

Ø 串联型晶体多谐振荡器

ü 下图所示由 CMOS 门和石英晶体组成的串联型多谐振荡器。

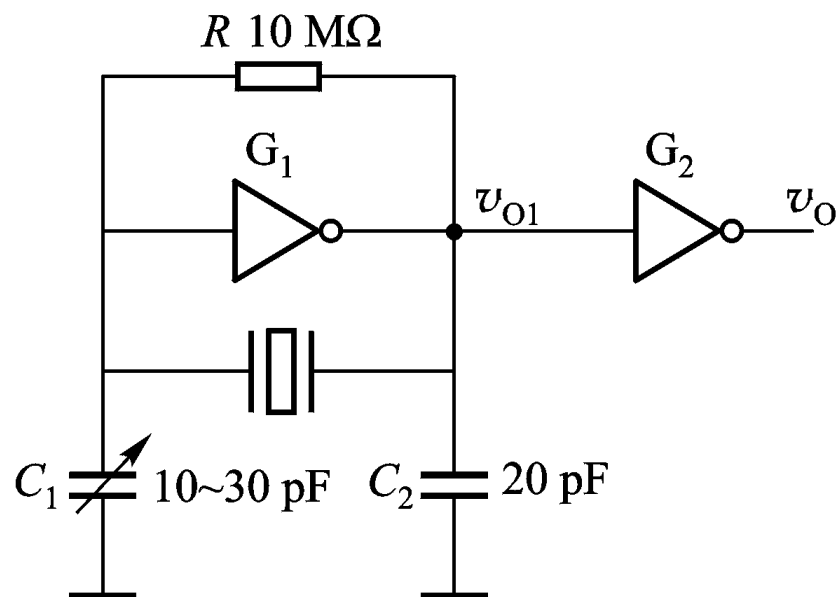


ü 当振荡频率等于晶体的串联谐振频率 f_s 时：
晶体阻抗最小（对外呈纯电阻特性，电路的正反馈效果最强）。

ü 石英晶体的串联谐振频率 f_s 非常稳定。

Ø 并联型晶体多谐振荡器

ü 下图所示由 CMOS 门和石英晶体组成的并联型多谐振荡器。

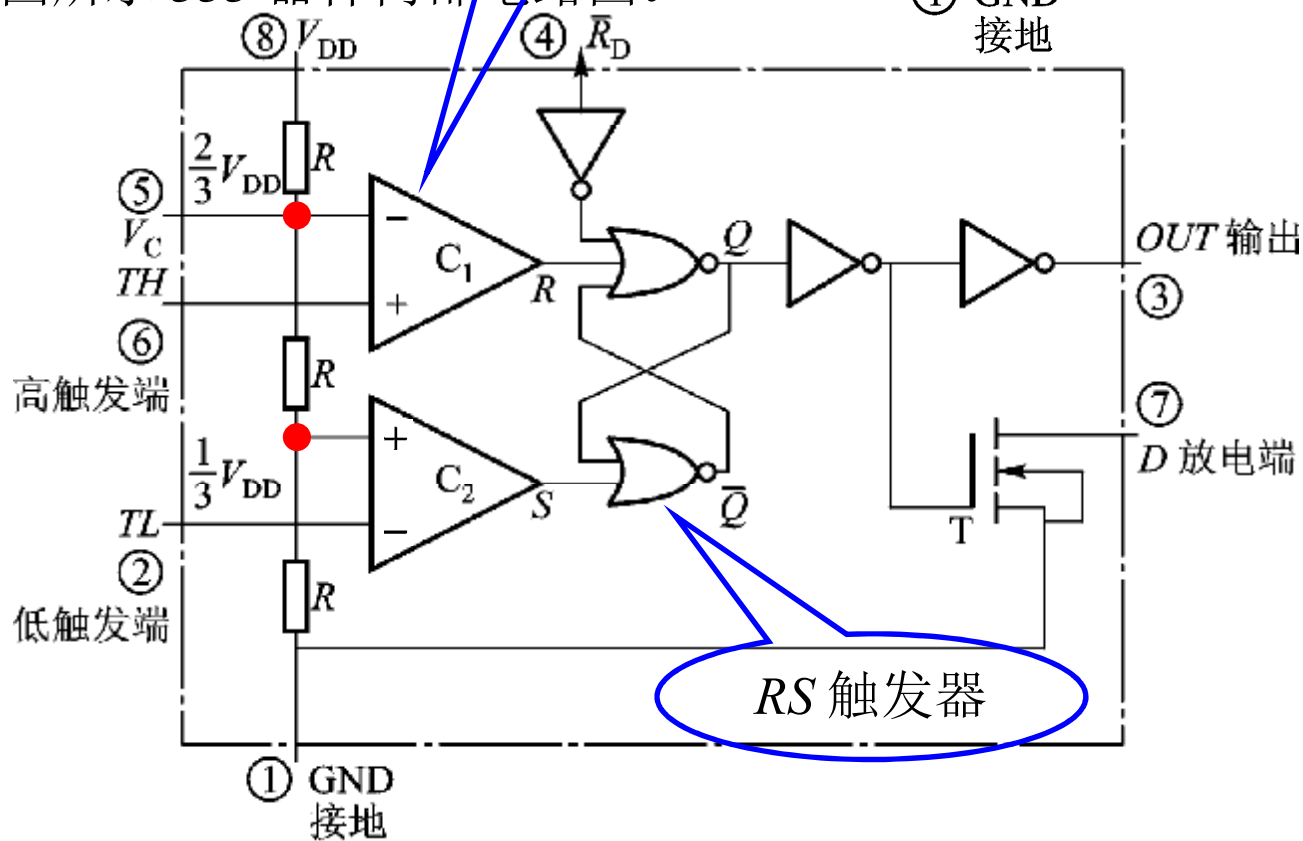
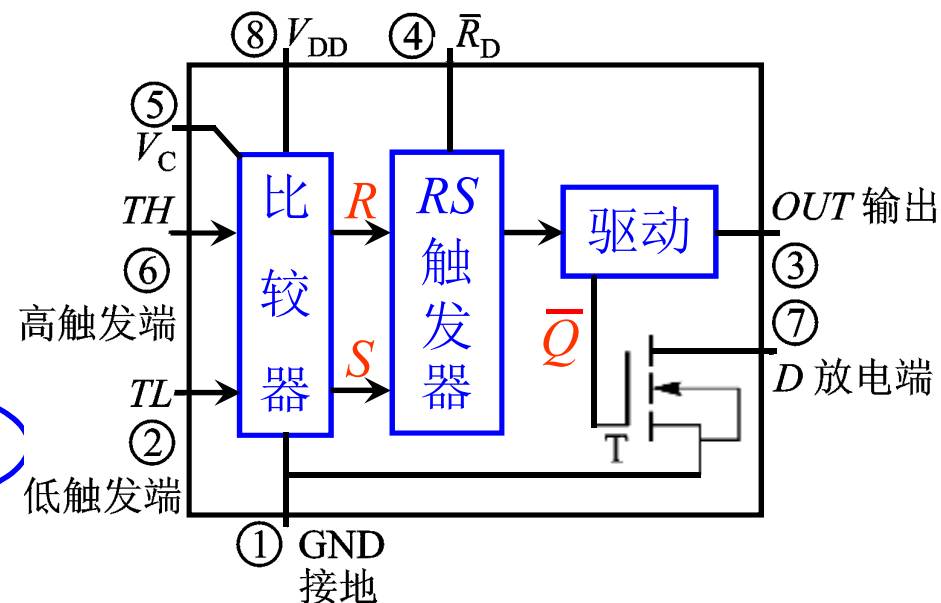


ü 工作频率介于晶体的串联谐振频率 f_s 和并联谐振频率 f_p 之间；
晶体对外等效为电感；
整体电路为电容三点式振荡器。

✓ 555 集成定时器

- 内部结合了模拟和数字电路；
设计新颖，构思巧妙；
应用领域非常广泛。

- 下图所示 555 器件内部电路图。

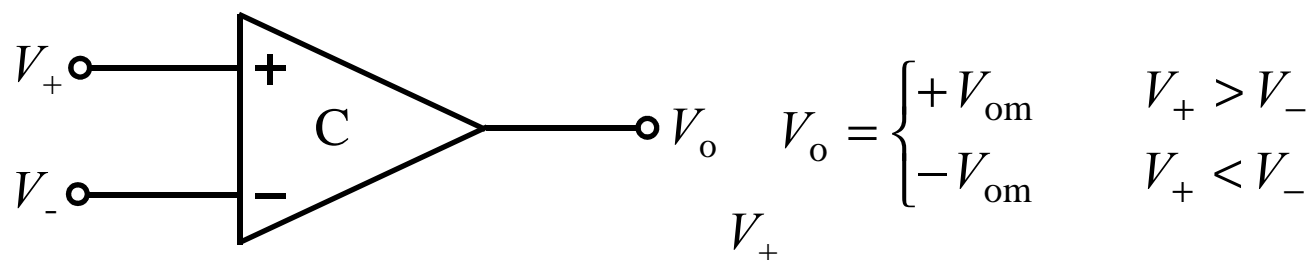


Ø 模拟电压比较器

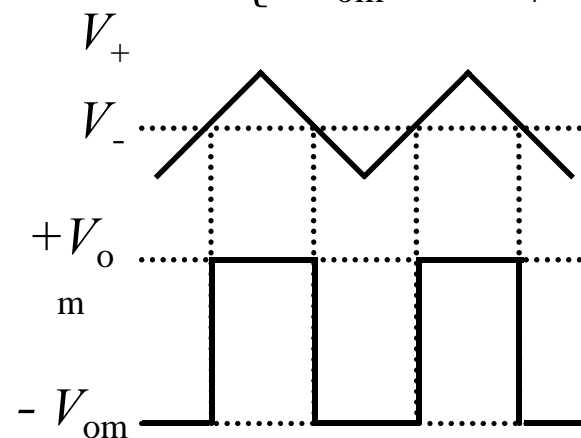
ü 模拟电路产生非正弦波形时，电压比较器是其中的主要单元。

ü 模拟电压比较器：

根据对两个输入的模拟信号大小比较，使电路输出在两个极限电平 $+V_{om}$ 和 $-V_{om}$ 之间转换。

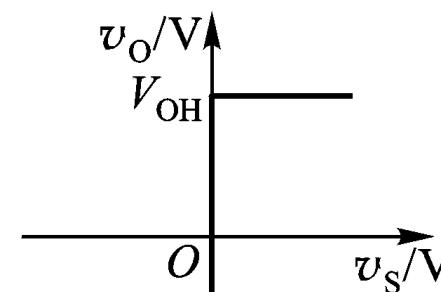
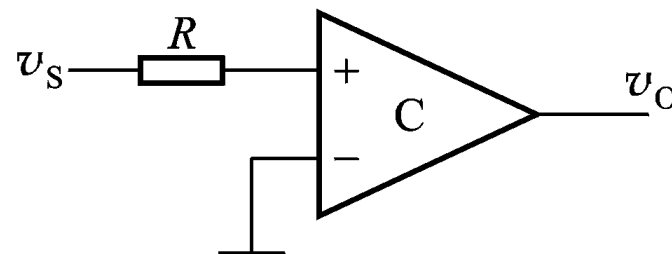


简单应用

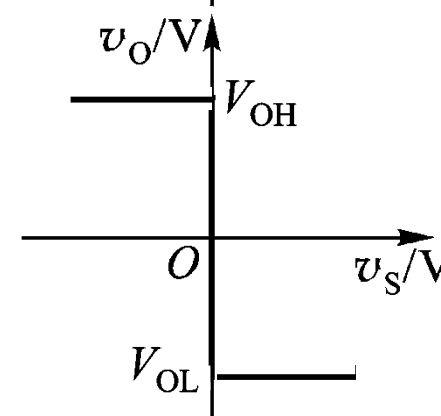
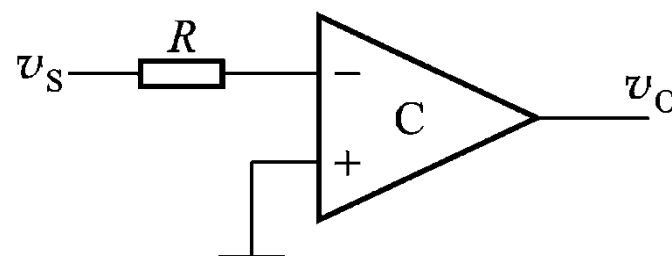


Ø 模拟电压比较器（过零比较器）

ü 同相过零比较器：

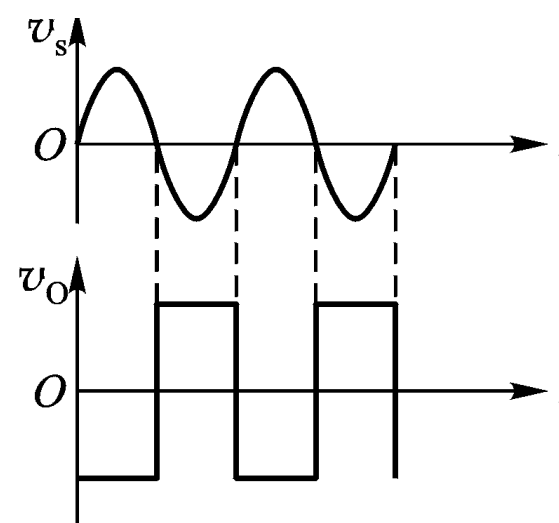


ü 反相过零比较器：



ü 应用

（将正弦波变换成同频率方波）



Ø 模拟电压比较器（单限比较器）

ü 单限比较器：包括过零比较器、单门限比较器。

ü 优点：利用运放开环增益无穷大特点，简单，灵敏度高；

缺点：抗干扰能力较差；

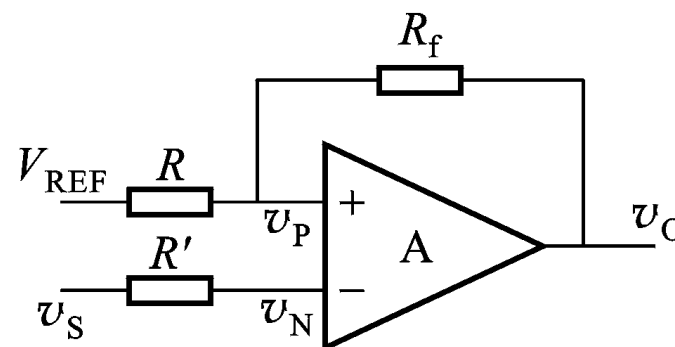
用途：整形、波形变换等。

ü 迟滞型比较器：有效提高比较器的抗干扰能力。

Ø 模拟电压比较器（滞回比较器）

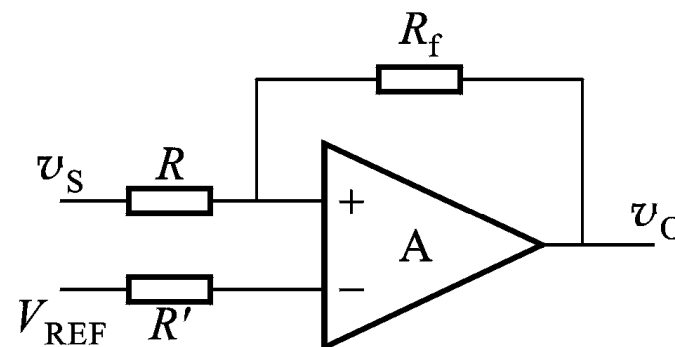
ü 反相滞回比较器：

被比较电压接反相端，参考电压接同相端；
输出与输入构成正反馈。



ü 同相滞回比较器：

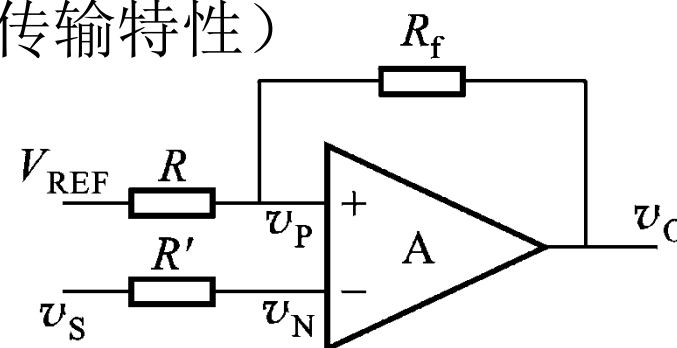
被比较电压接同相端，参考电压接反相端；
输出与输入构成正反馈。



ü 由于运放的开环增益无穷大，所以比较器实际上是对 v_P 和 v_N 两点的电平大小进行比较。

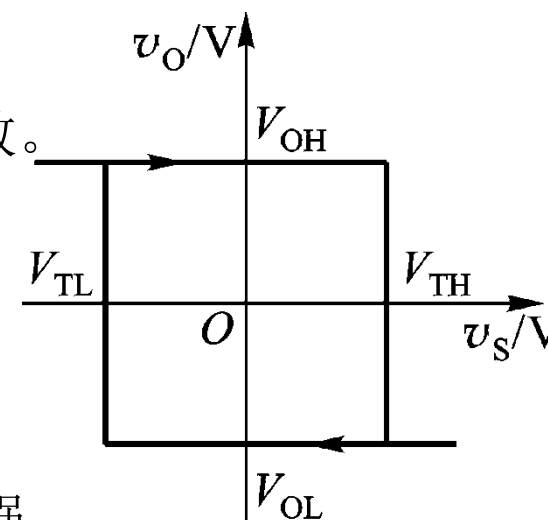
Ø 模拟电压比较器（反相滞回比较器传输特性）

ü 曲线形如磁性材料的磁滞回线。
（滞迟比较器）



ü 回差特性：

电路由低电平翻转到高电平所需的触发电平 V_{TH} ，
和由高电平翻转到低电平所需的触发电平 V_{TL} 不一致。



ü 回差（电压）：两个触发电平之差。

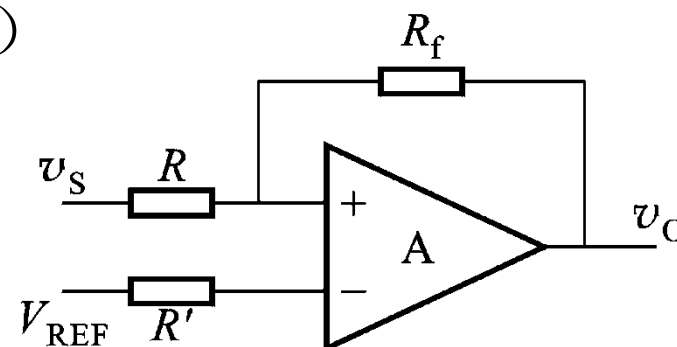
$$\Delta V = V_{TH} - V_{TL}$$

滞回比较器的固有特性，其大小可调；

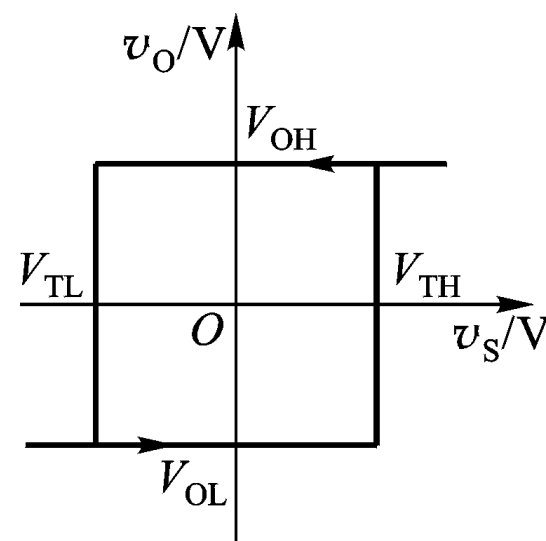
回差越大，电路越不易误触发，即抗干扰能力越强。

Ø 模拟电压比较器（同相滞回比较器）

ü 同相滞回比较器。



ü 电压传输特性曲线



ü 回差特性

Ø 555 （分析步骤）

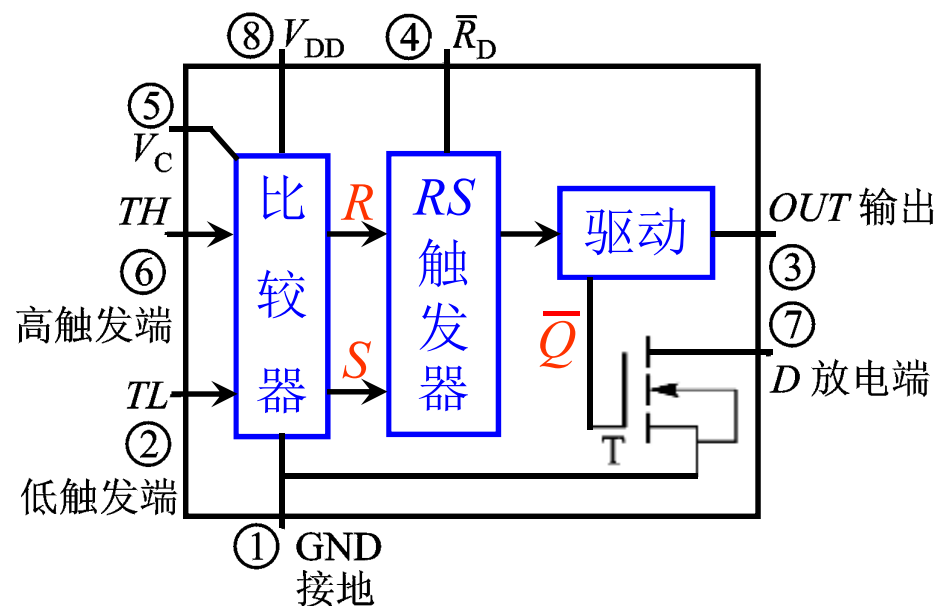
ü 根据外电路（555 以外）情况，确定第 6、2 脚电压值。

ü 根据第 6、2 脚电压值，确定内部的 R 、 S 端状态。

ü 根据 R 、 S 端状态，确定内部场效应管状态，以及输出状态。

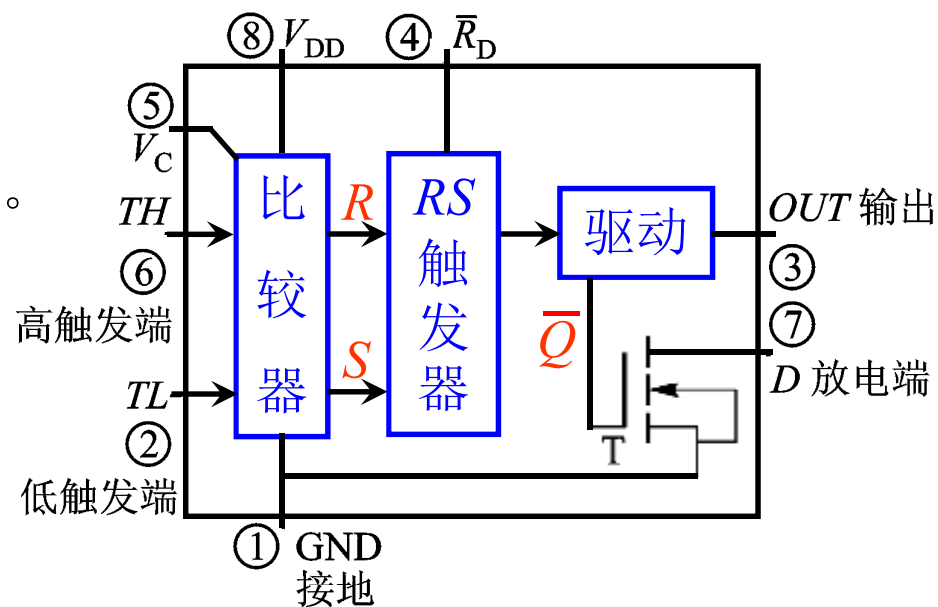
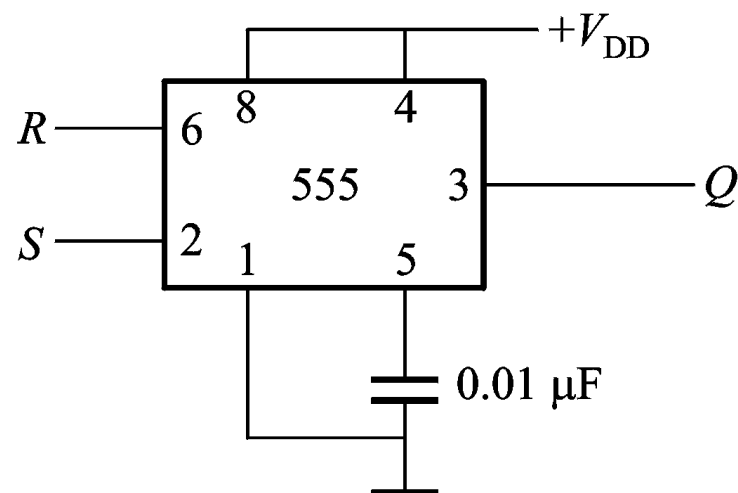
ü 若场效应管的输出（第 7 脚）连回至第 6 或 2 脚，则转至前述第 1 步继续分析。

（若 6、2 脚的电压值被改变，则电路很有可能构成振荡器）



555 （构成 RS 触发器）

下图所示由 555 构成的 RS 触发器。



原理分析：

高触发端 TH 等效为内部 R ，低触发端 TL 等效为内部 \bar{S} ；

...

Ø 555 （构成多谐振荡器）

ü 多谐振荡器：

只要一合上电源，电路的输出就能在高、低电平两状态间进行自动的转换，产生前后沿都很陡的矩形波。

（方波、三角波发生器电路？）

ü 下图所示由 555 构成的多谐振荡器。

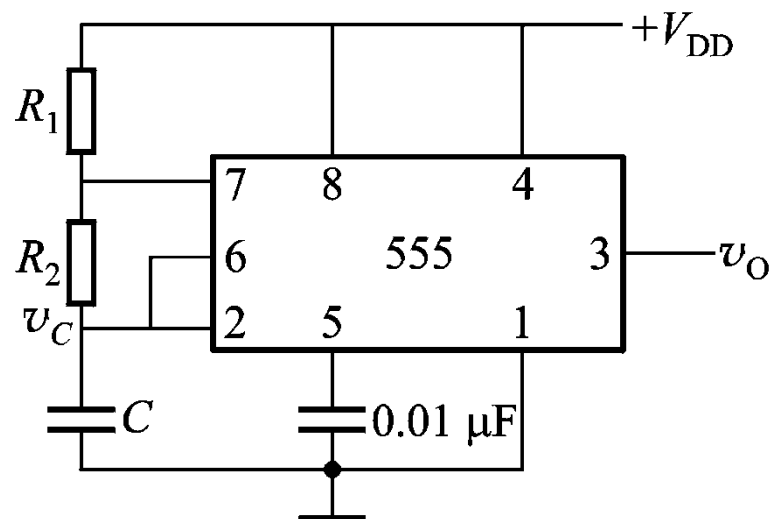
ü 多谐振荡器分析特点：

人为地选择一个时间点（上电瞬间）；

根据 6、2 脚状态，
确认电容的状态（充电或放电）；

由于电容的充电或放电，
导致在某一时间点，6、2 脚状态翻转，
从而导致电容的状态发生改变；

...



Ø 555 多谐振荡器（工作步骤 0）

☺ 合上电源：

$v_C = 0$ ；

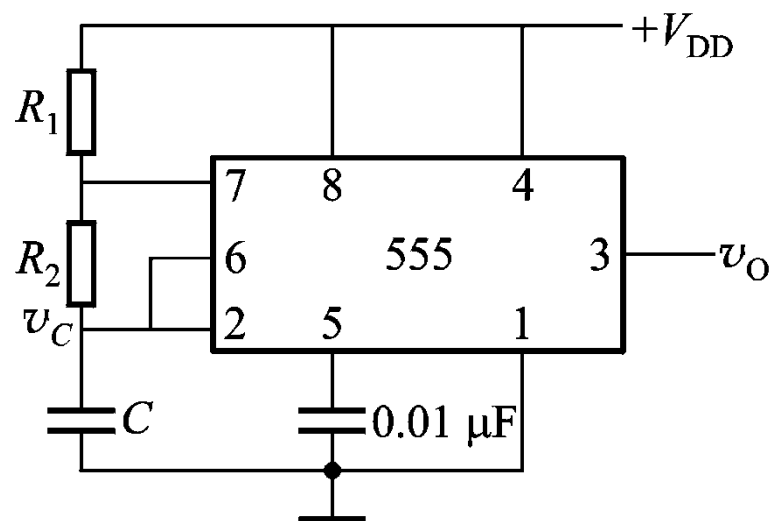
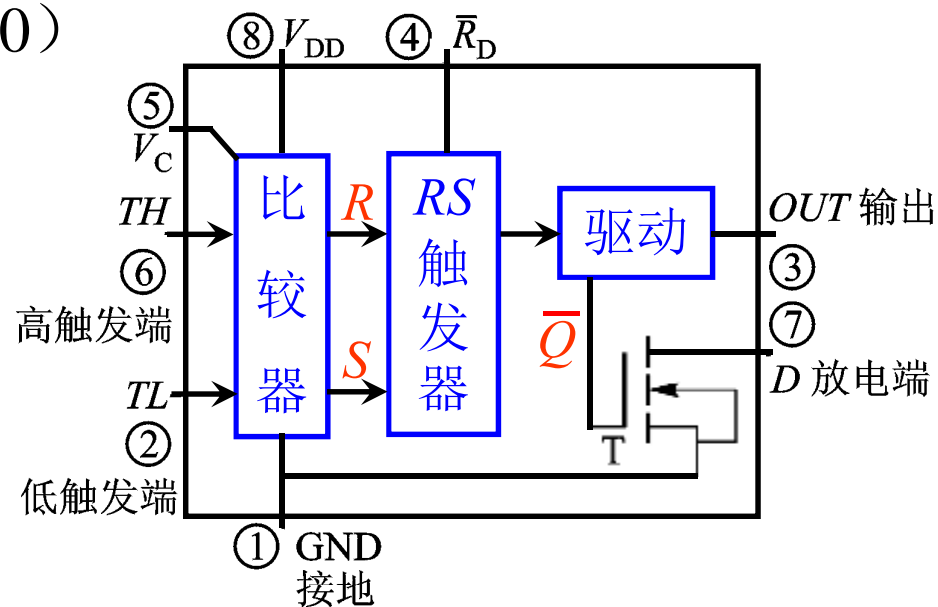
6 脚低电平，2 脚低电平；

$R = 0$ ， $S = 1$ ；

$Q = 1$ ， 场效应管 T 截止；

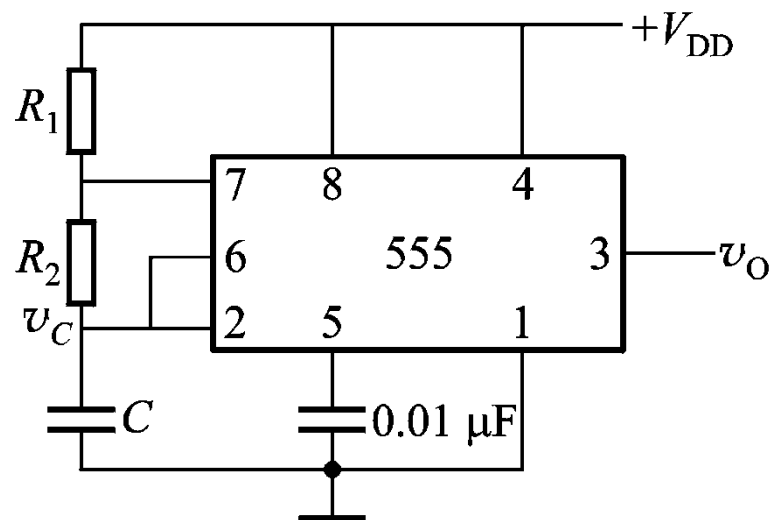
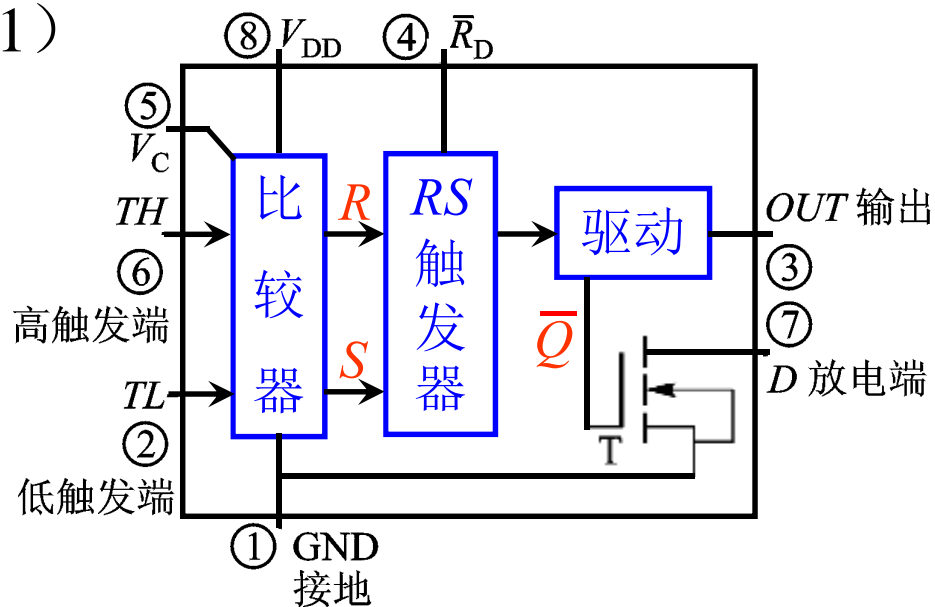
电容 C 充电；

6、2 脚电压上升。



555 多谐振荡器（工作步骤 1）

充电至 $v_C = 1/3 V_{DD}$ 后：
6 脚低电平，2 脚高电平；
 $R = 0$ ， $S = 0$ ；
 $Q = 1$ ，场效应管 T 截止；
电容 C 继续充电；
6、2 脚电压继续上升。



555 多谐振荡器（工作步骤 2）

充电至 $v_C = 2/3 V_{DD}$ 后：

6 脚高电平，2 脚高电平；

$R = 1$ ， $S = 0$ ；

$Q = 0$ ，场效应管 T 导通；

电容 C 放电；

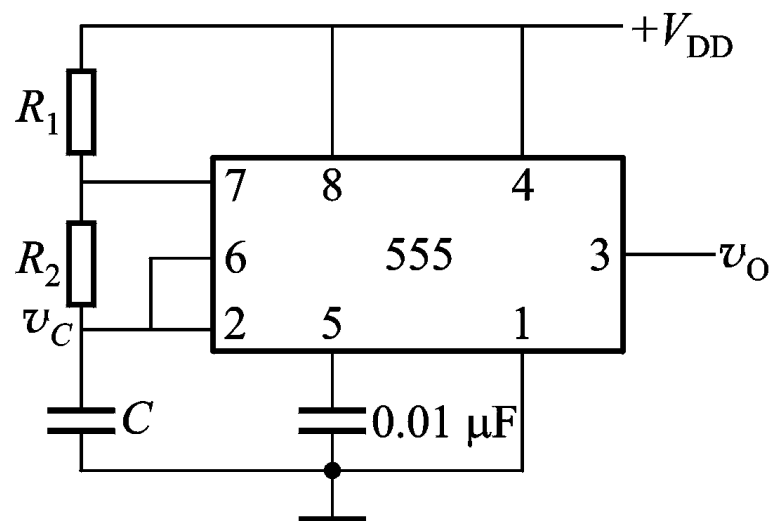
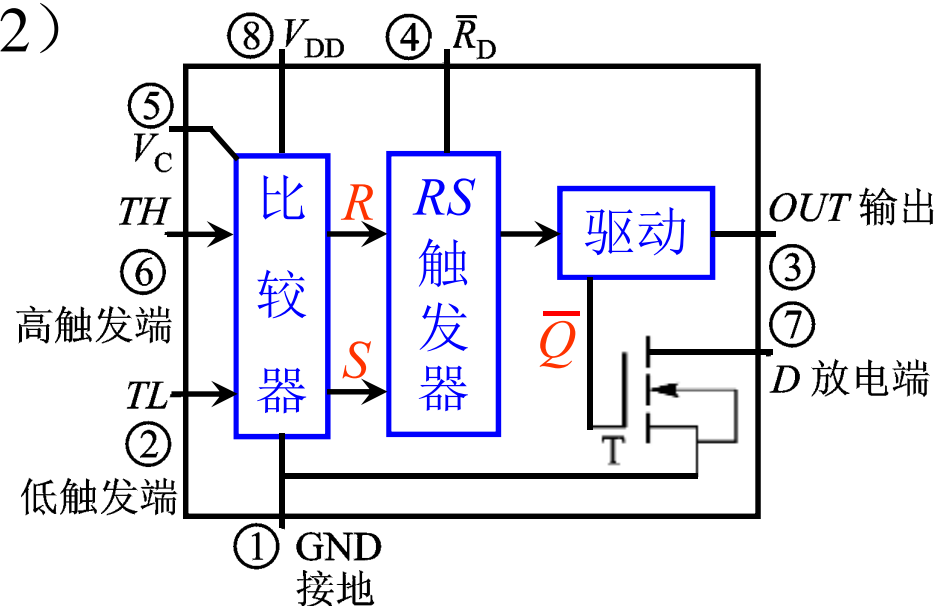
6 脚低电平，2 脚高电平；

$R = 0$ ， $S = 0$ ；

$Q = 0$ ，场效应管 T 导通；

电容 C 继续放电；

6、2 脚电压继续下降。



555 多谐振荡器（工作步骤 3）

放电至 $v_C = 1/3 V_{DD}$ 后：

6 脚低电平，2 脚低电平；

$R = 0$ ， $S = 1$ ；

$Q = 1$ ，场效应管 T 截止；

电容 C 充电；

6 脚低电平，2 脚高电平；

$R = 0$ ， $S = 0$ ；

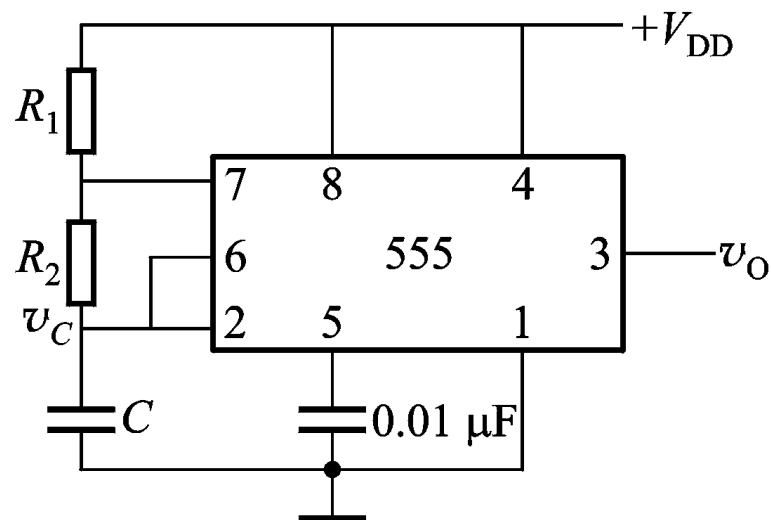
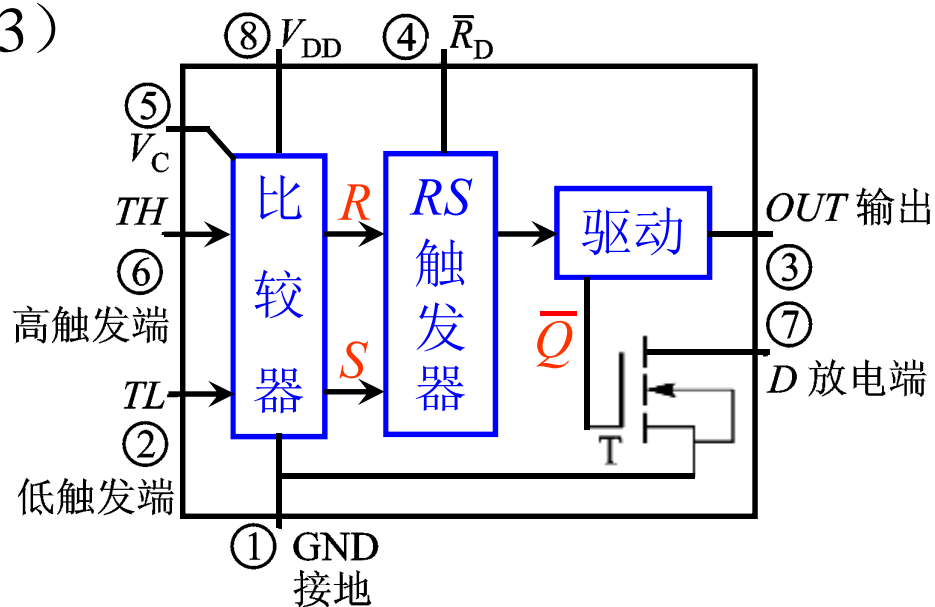
$Q = 1$ ，场效应管 T 截止；

电容 C 继续充电；

6、2 脚电压继续上升。

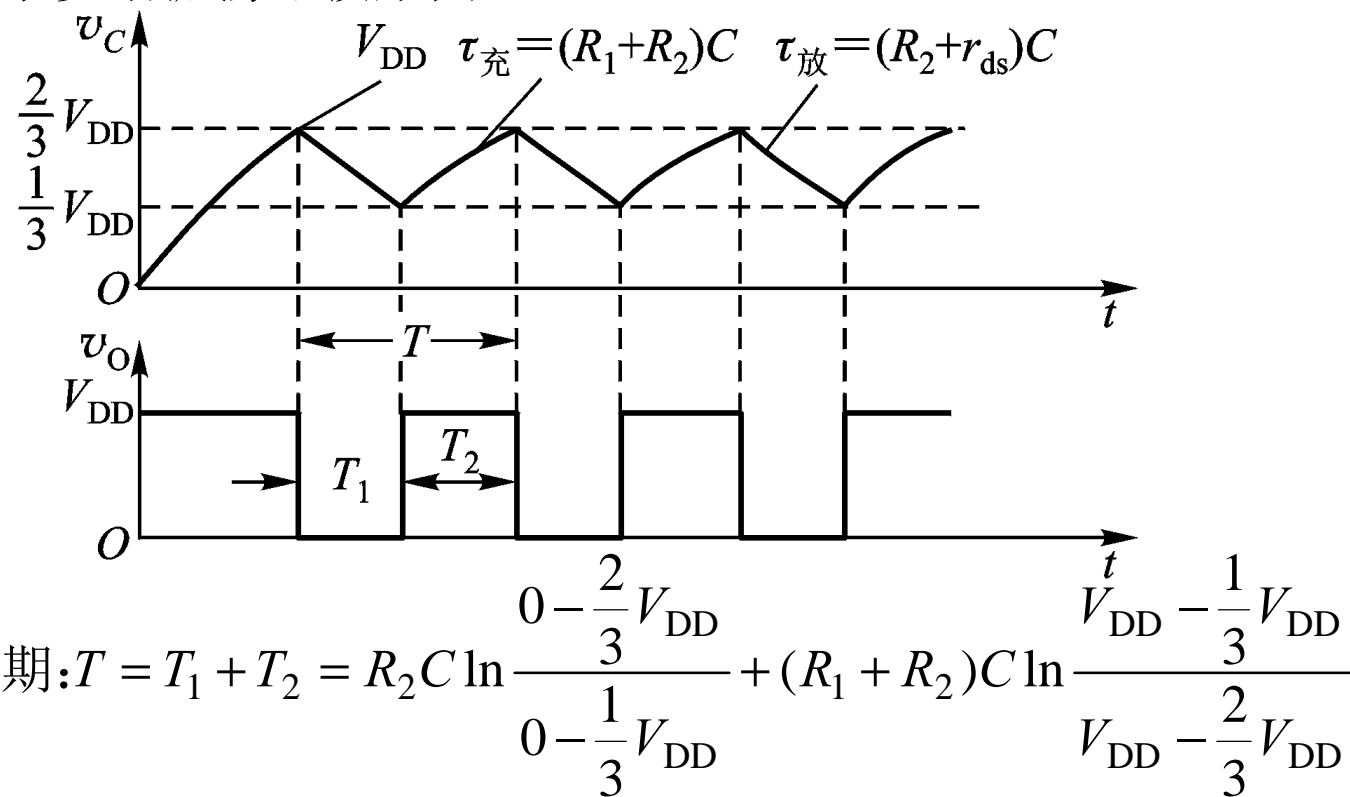
（已回至步骤 2）

振荡周期分析完毕



Ø 555 多谐振荡器

ü 下图所示多谐振荡器波形图。



ü 振荡周期: $T = T_1 + T_2 = R_2 C \ln \frac{0 - \frac{2}{3}V_{DD}}{0 - \frac{1}{3}V_{DD}} + (R_1 + R_2)C \ln \frac{V_{DD} - \frac{1}{3}V_{DD}}{V_{DD} - \frac{2}{3}V_{DD}}$

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

ü 占空比: $D = \frac{T_2}{T} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2}$

Ø 555 多谐振荡器

ü 几种调整/改进电路：

压控振荡器；

脉冲调制波；

占空比可调的多谐振荡器；

充放电电容分开的多谐振荡器。

Ø 555 （构成单稳态触发器）

ü 单稳态：

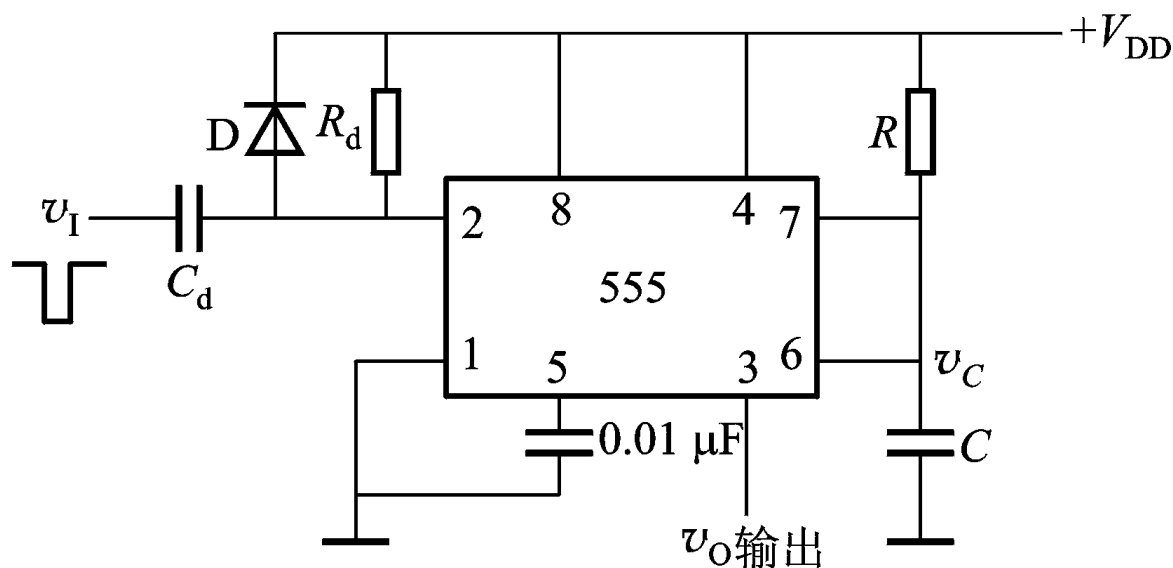
电路需要触发信号；

无触发信号输入时，电路处稳定状态（由电路结构决定）；

受触发后，电路立刻进入暂稳态，并维持一定时间后自动返回稳态；

暂态的维持时间长短由电路中的定时元件决定。

ü 下图所示由 555 构成的单稳态触发器。



555 单稳态触发器（工作步骤 0）

无触发信号输入时：

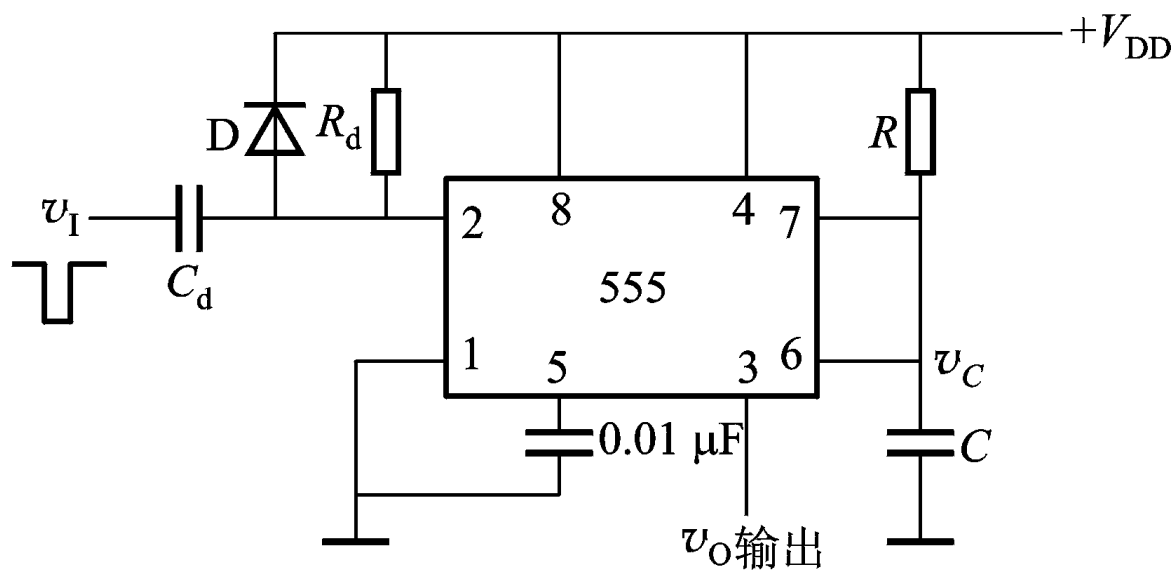
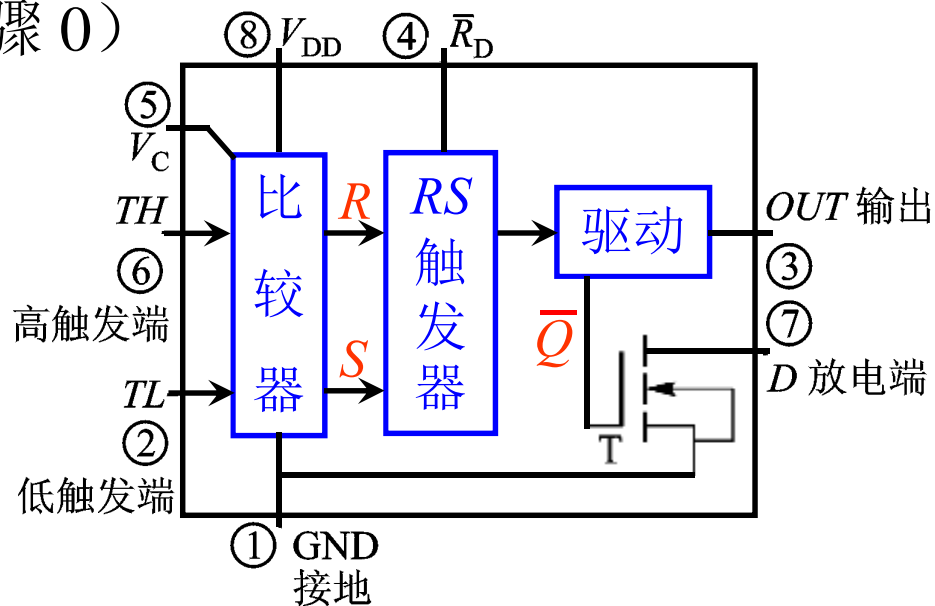
6 脚低电平，2 脚高电平；

$R = 0$ ， $S = 0$ ；

$Q = 0$ ，场效应管 T 导通；

6 脚低电平。

电路处于稳态



Ø 555 单稳态触发器（工作步骤 1）

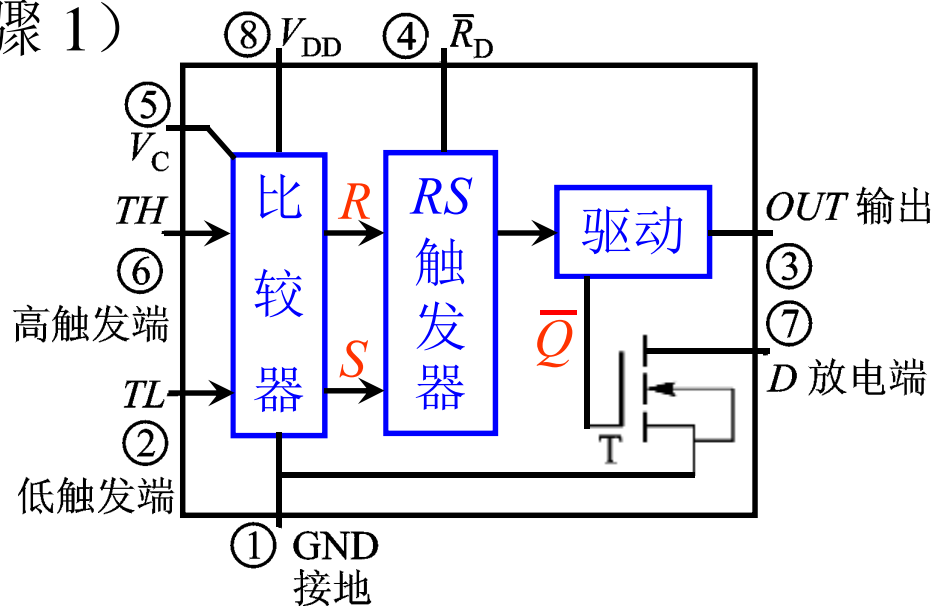
加入触发信号（负脉冲）：

6 脚低电平，2 脚低电平；

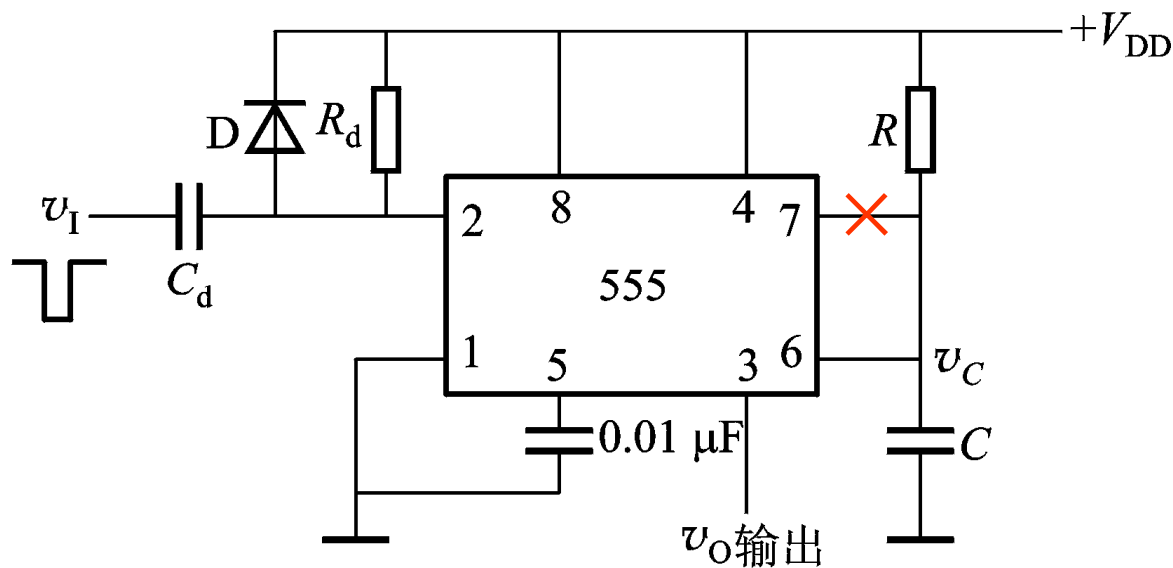
$R = 0$ ， $S = 1$ ；

$Q = 1$ ，场效应管 T 截止；

电容 C 充电（6 脚电压上升）。



电路进入暂态



Ø 555 单稳态触发器（工作步骤 2）

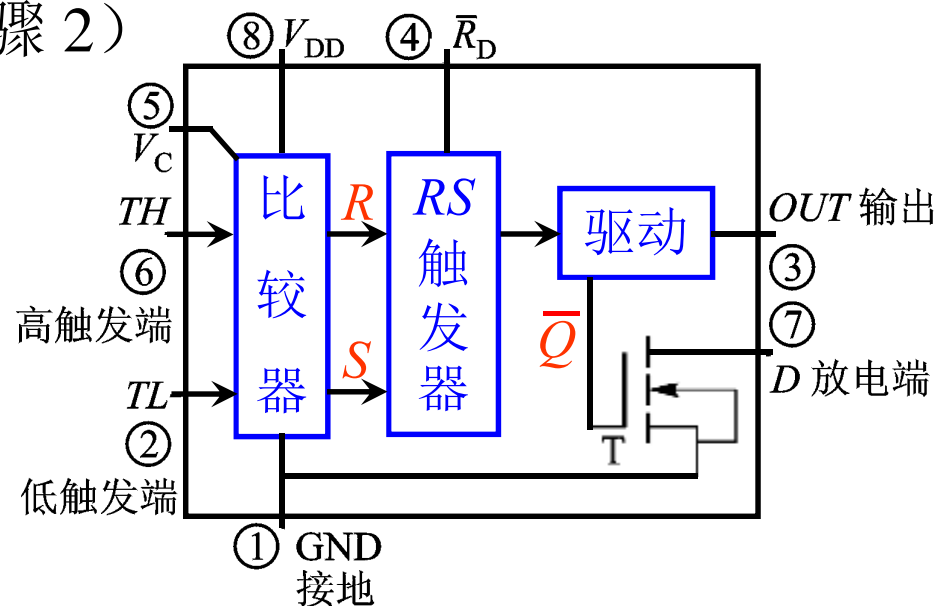
ü 充电至 $v_C = 2/3 V_{DD}$ 后：

6 脚高电平，2 脚高电平；

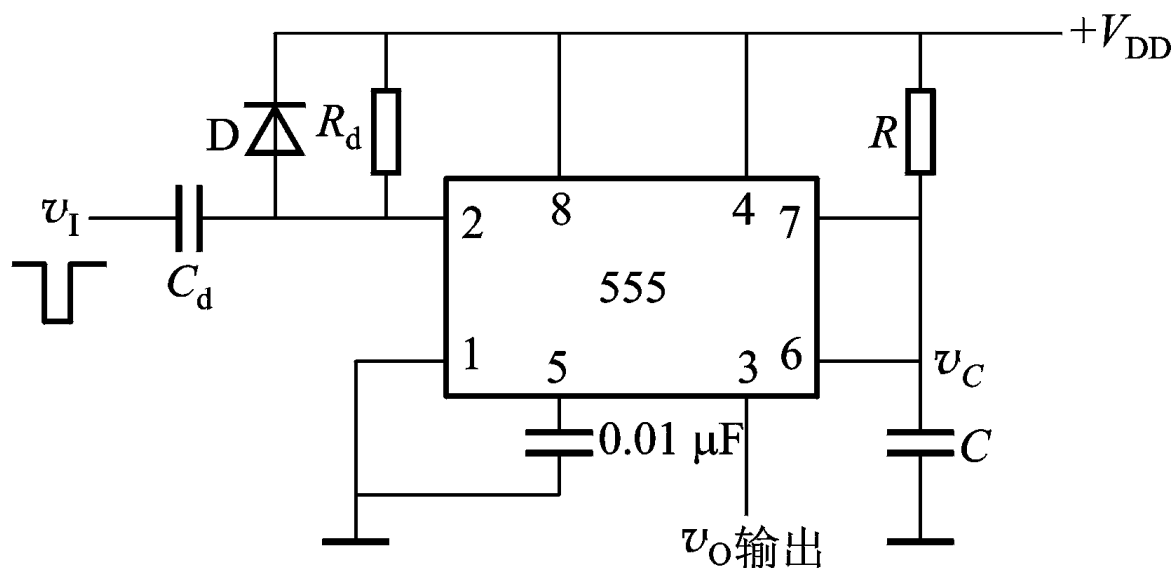
$R = 1$ ， $S = 0$ ；

$Q = 0$ ，场效应管 T 导通；

电容 C 快速放电（6 脚电压清零）



暂态结束，电路还原至稳态

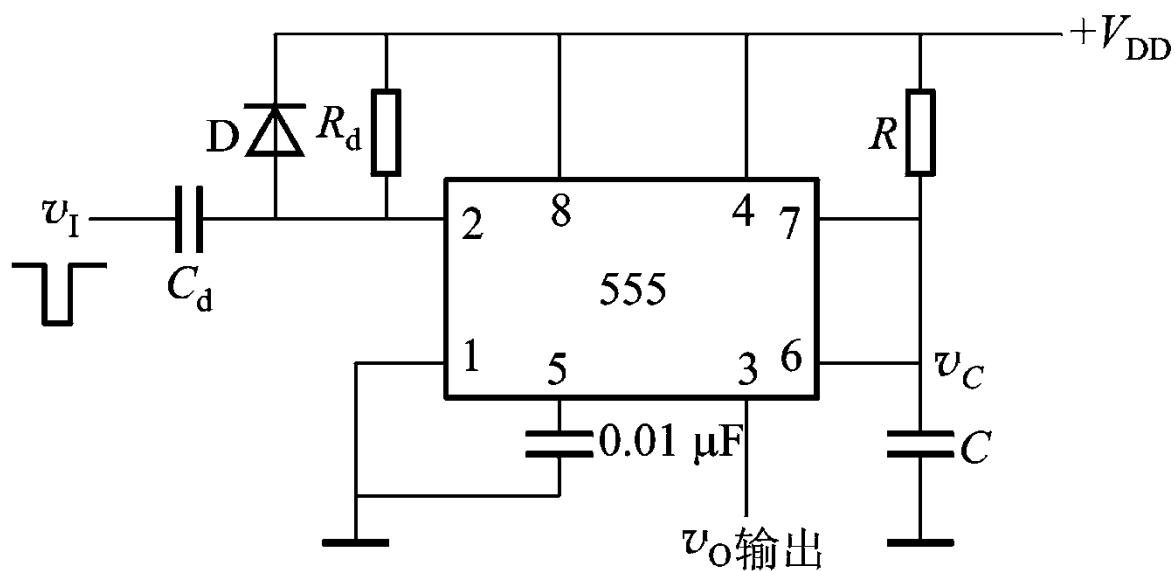
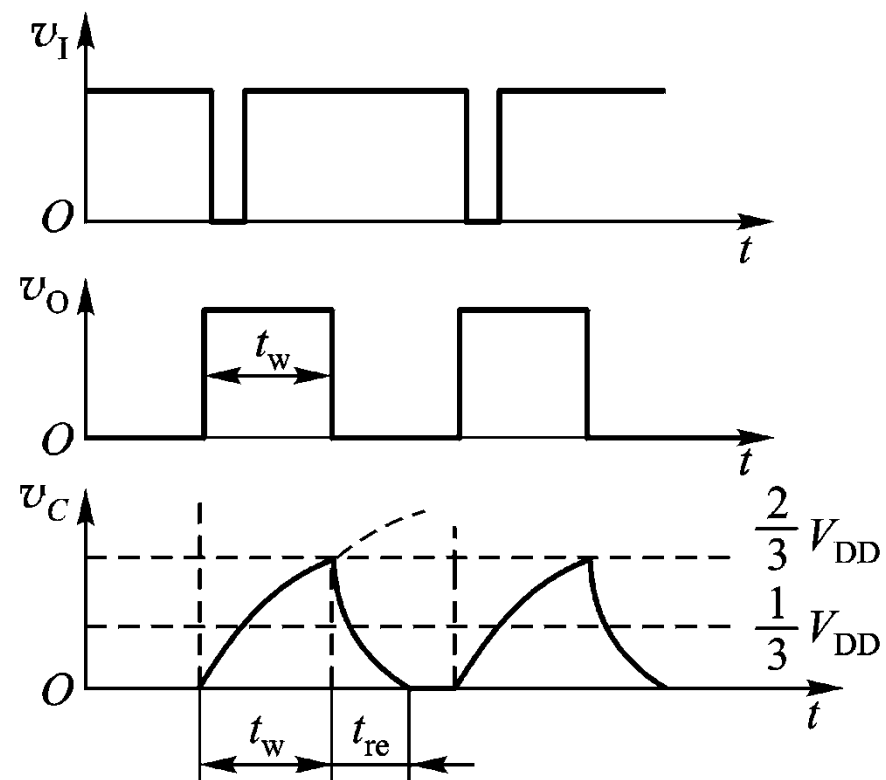


555 单稳态触发器

右图所示单稳态波形图。

脉冲宽度：

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



Ø 555 单稳态触发器

ü 右图所示单稳态波形图。

ü 脉冲宽度：

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

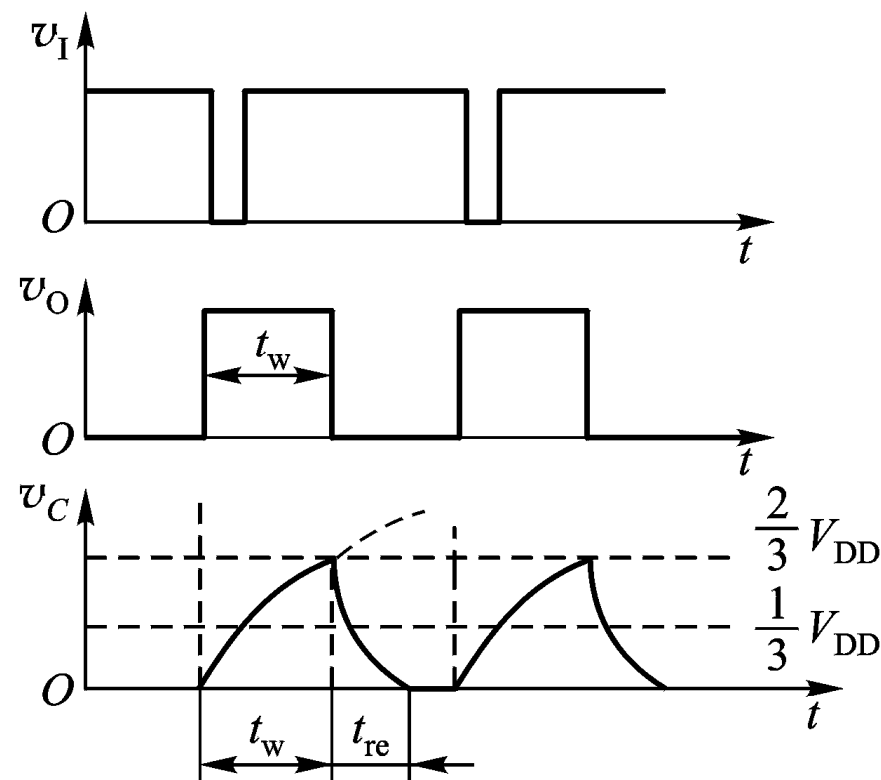
ü 恢复时间（暂态结束，并使电容放电完所需时间）：

$$t_{re} = (3 \sim 5)t_{放} = (3 \sim 5)R_{CH}C$$

R_{CH} ：场效应管沟道电阻。

ü 分辨时间（二次触发时间的最短间隔）：

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



Ø 555 单稳态触发器

ü 电路被触发进入暂态后，必须等待暂态结束，并让电路状态完全回到稳态后，才能加入第二次触发信号，否则电路工作将会混乱。

ü 可重触发：

单稳电路在第一次受触发进入暂态定时后，可以连续加入触发脉冲；

每加入一次触发信号，电路的延迟时间将从原延时继续，使暂态时间不断地延续下去，以得到长时间的延迟时间；

电路及其波形图，请参考教材 P250 。

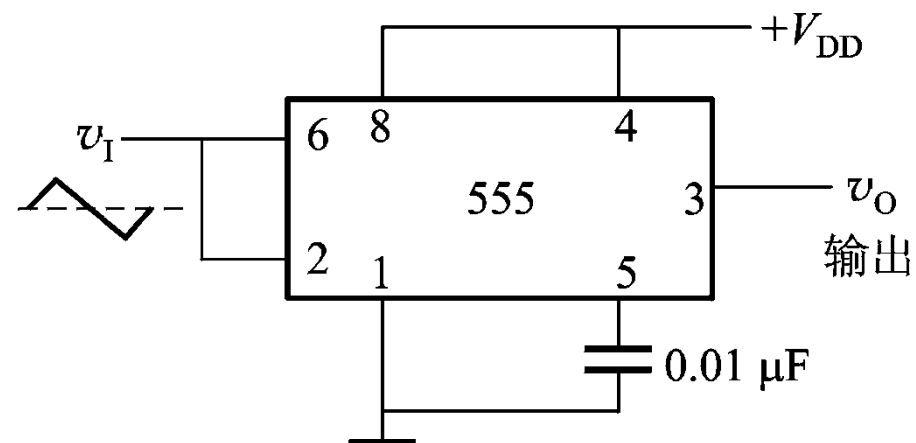
Ø 555 （构成施密特触发器）

ü 施密特触发器：

电路有两个稳定状态，在输入触发信号的作用下，输出能在两个稳定状态之间转换。

（滞回比较器？）

ü 下图所示由 555 构成的施密特触发器。



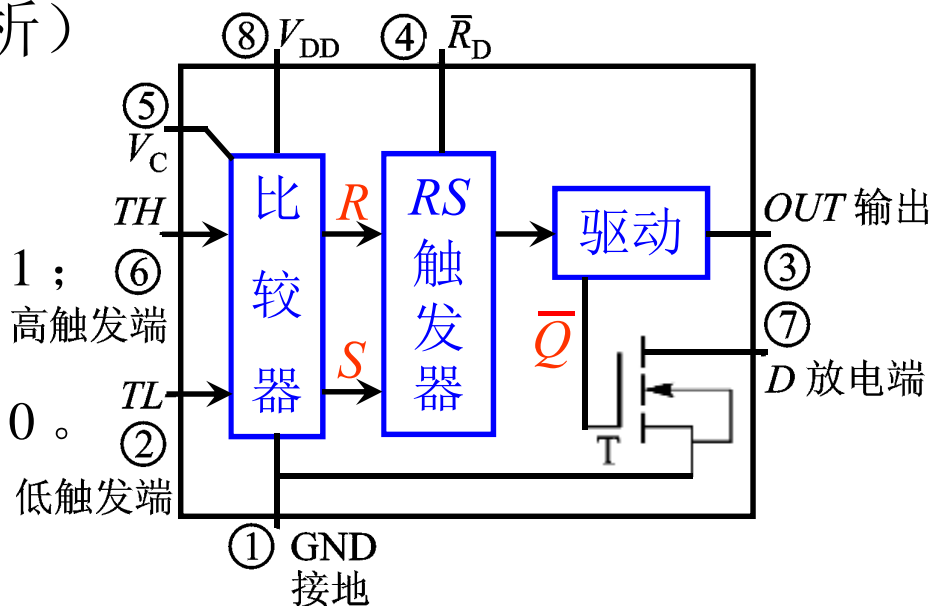
555 施密特触发器（原理分析）

触发信号由小开始不断增长：

$v_I < 1/3 V_{DD}$ 时， $R = 0$ ， $S = 1$ ， $Q = 1$ ；

$v_I < 2/3 V_{DD}$ 时， $R = S = 0$ ， $Q = 1$ ；

$v_I > 2/3 V_{DD}$ 后， $R = 1$ ， $S = 0$ ， $Q = 0$ 。

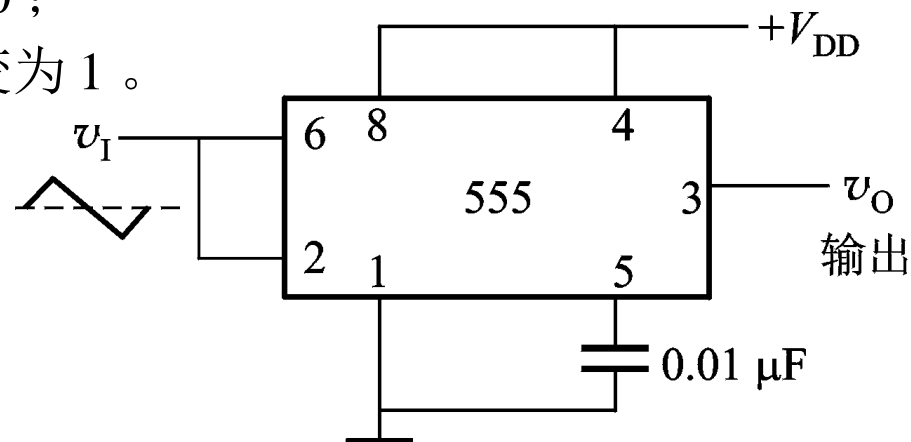
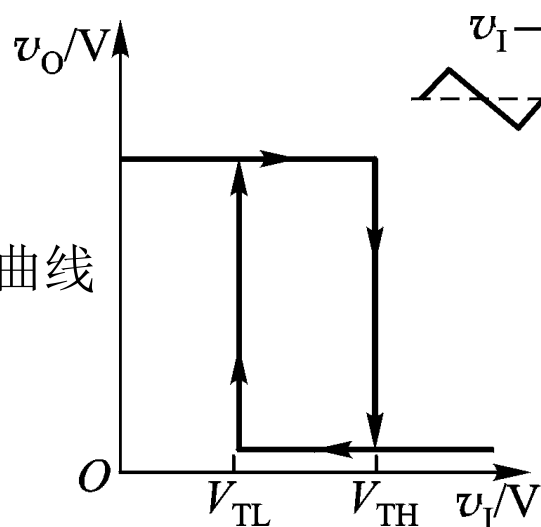


此后，若触发信号变化：

只要 $v_I > 1/3 V_{DD}$ ， Q 始终保持 0；

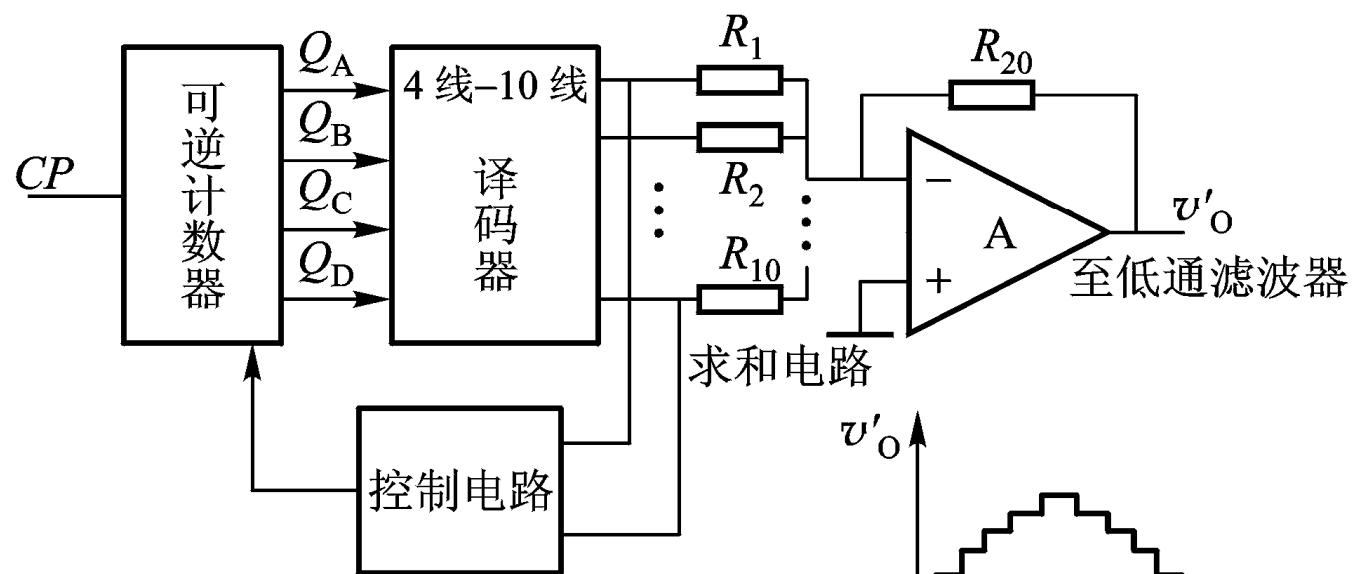
只有当 $v_I < 1/3 V_{DD}$ 后， Q 才会变为 1。

电压传输特性曲线



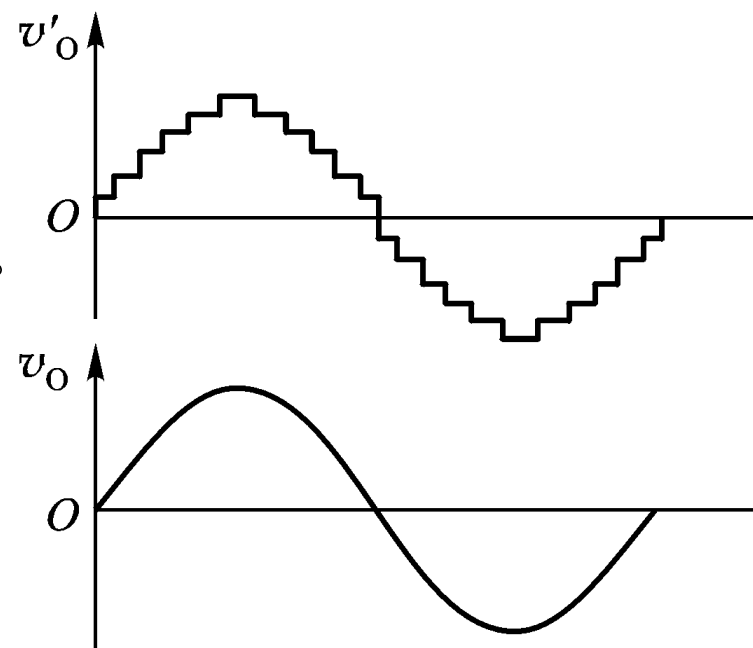
✓ 数字式正弦波发生器

ü 下图所示数字式正弦电路实现方案。



ü 基本思路：依次使译码器的某输出有效。
(电阻阻值按对应正弦值，教材 P253)

ü 输出波形：



✓ 本节作业

ü 习题 5 (P255)

5、6。

所有的题目，需要有解题过程（不是给一个答案即可）。