
数 字 逻 辑

丁 贤 庆

ahhfdxq@163.com

通知

实验安排

数字逻辑电路课程有16个学时的实验，初步安排：
具体安排参见公共邮箱中的word文档。

本周开始进行实验环节，实验结束后16周周日（6月16号）晚23点前，各班学委要提交实验报告的电子版给我的邮箱ahhfdxq@163.com。不用收纸质报告了。

实验地点：综合实验楼306房间

关于实验报告

- 8次实验中，自己选择4次写到实验报告中就可以了。
- 补充的实验不需要写到实验报告中。

第九章 作业布置

- 1、本周有实验。
- 2、下次交作业第11周。
- 3、本周作业：从第9章课后习题中选2题写到作业本上。

第九章

脉冲波形的变换与产生

9 脉冲波形的变换与产生

9.1 单稳态触发器

9.2 施密特触发器

9.3 多谐振荡器

9.4 555定时器及其应用

9.1 单稳态触发器

9.1.1 用门电路组成的微分型单稳态触发器

9.1.2 集成单稳态触发器

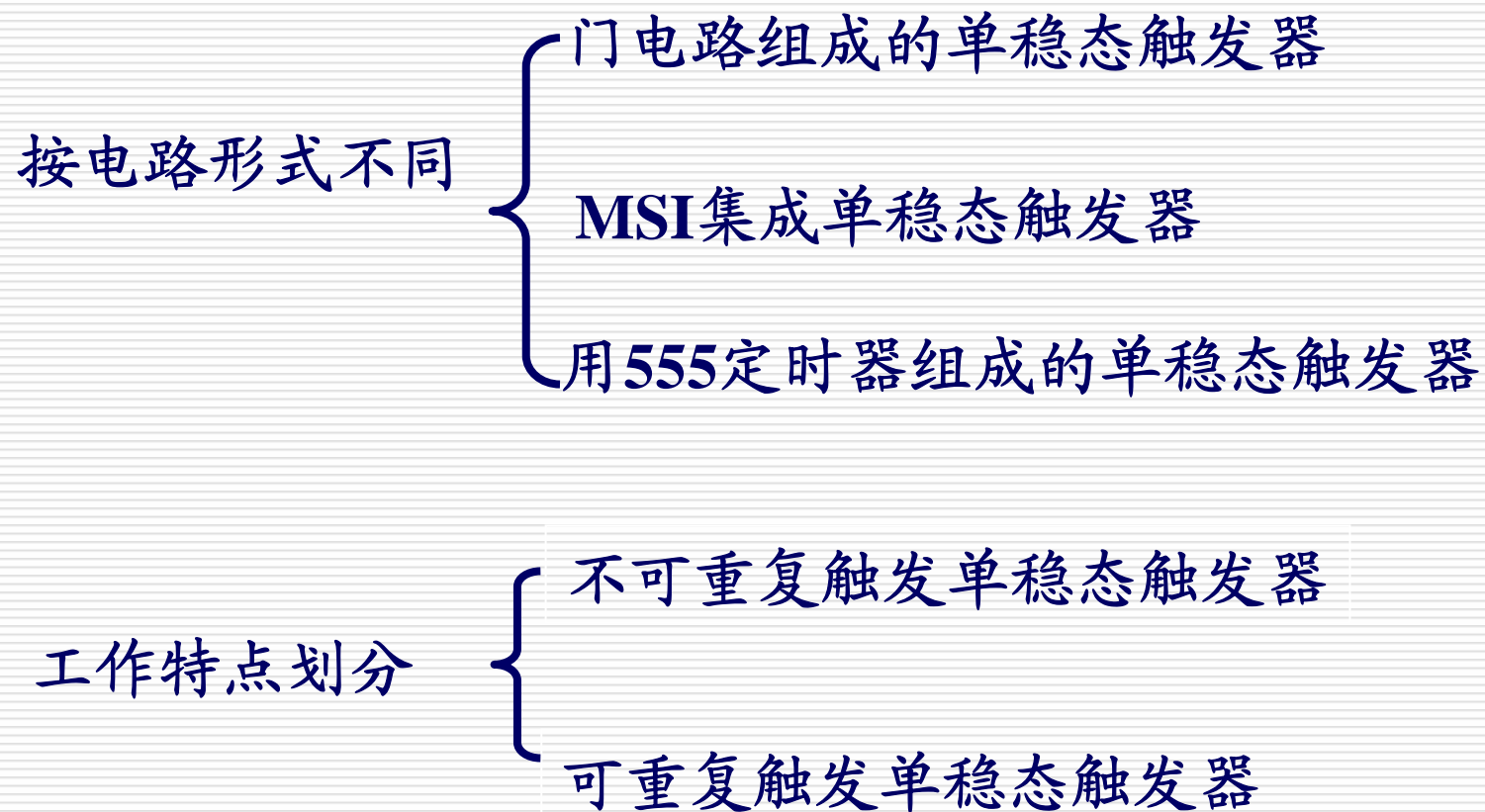
9.1.3 单稳态触发器的应用

9.1单稳态触发器

单稳态触发器的工作特点:

- ① 电路在没有触发信号作用时处于一种稳定状态。
- ② 在外来触发信号作用下，电路由稳态翻转到暂稳态；
- ③ 由于电路中 RC 延时环节的作用，暂稳态不能长保持，经过一段时间后，电路会自动返回到稳态。暂稳态的持续时间仅取与 RC 参数值有关。

单稳态触发器的分类

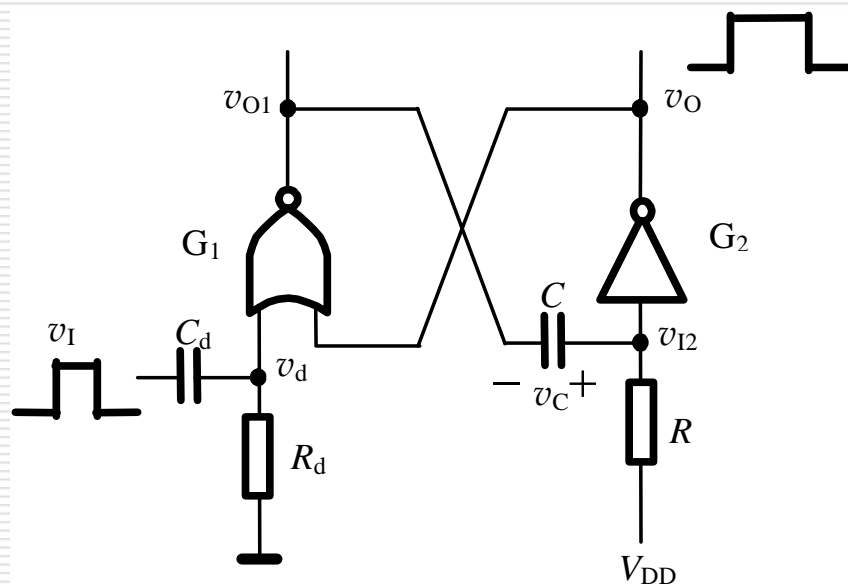


9.1.1 用CMOS门电路组成的微分型单稳态触发器

1. 电路

CMOS或非门构成的微分型
单稳态触发器

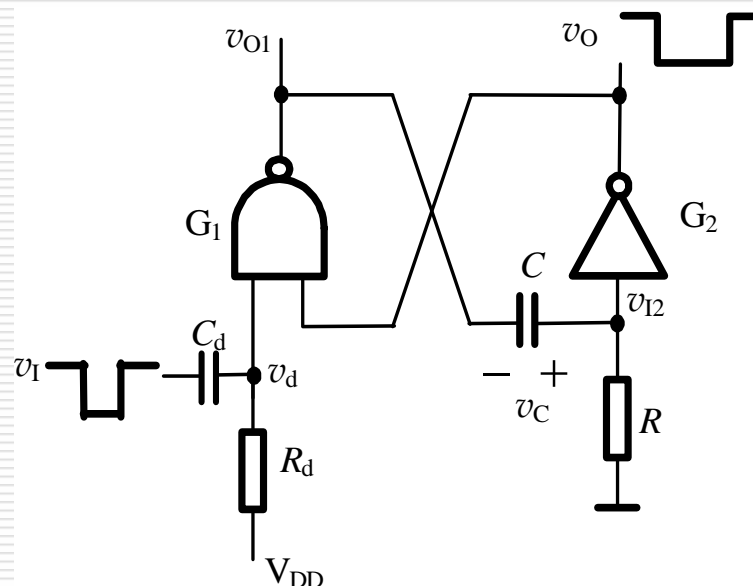
稳态为0,暂稳态为1



正脉冲触发

CMOS与非门构成的微分型
单稳态触发器

稳态为1,暂稳态为0



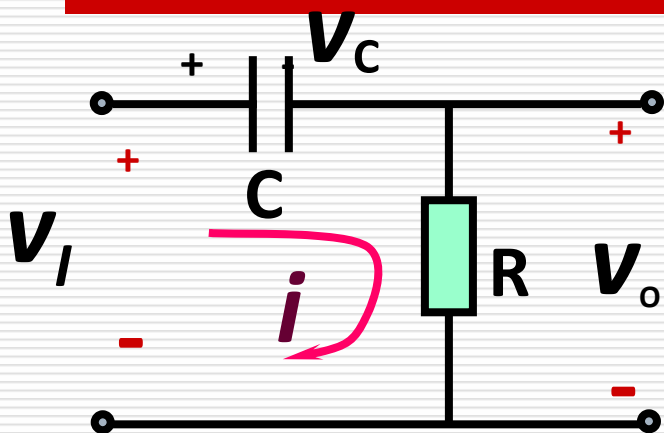
负脉冲触发

补充知识：常用的几种电容器



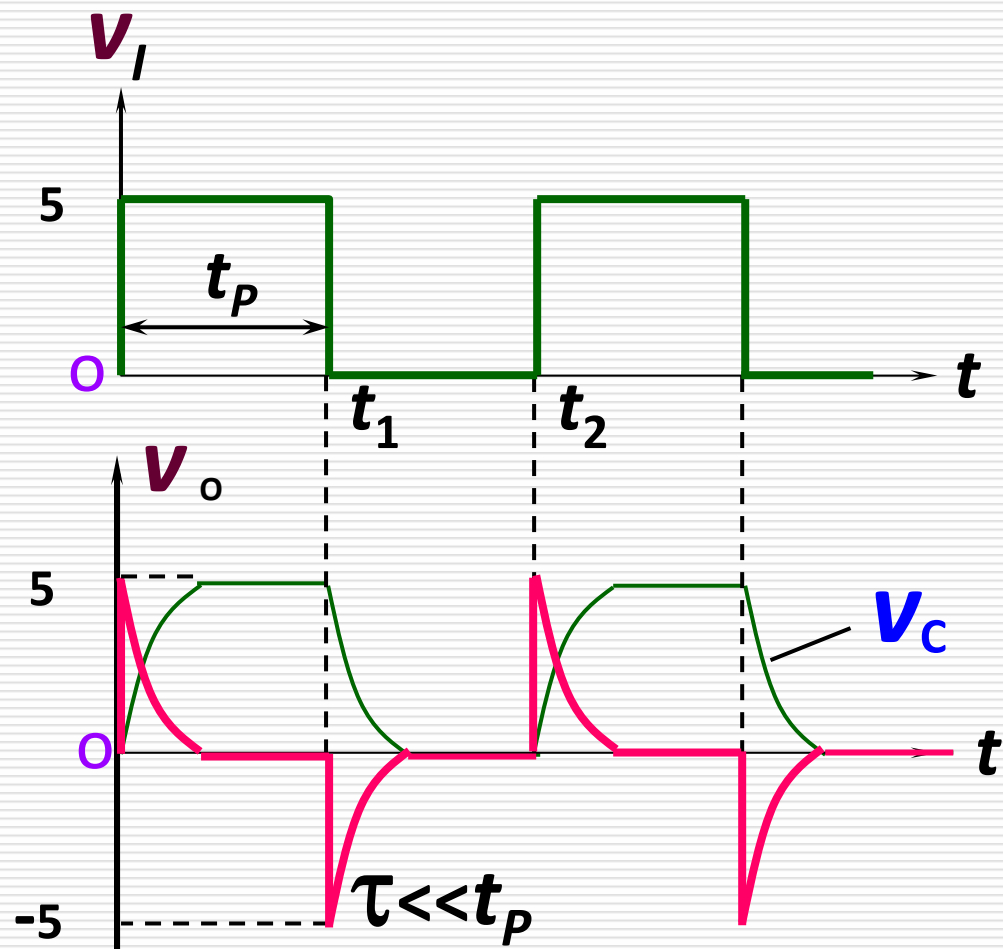
补充知识: 微分电路

注意：电容两端电压不能突变！其电压变化只能通过充放电完成！



微分电路的条件

- (1) $\tau \ll t_p$ (一般 $\tau < 0.2t_p$);
- (2) 从电阻 R 两端输出电压 V_O 。



补充知识： 电容元件

电容元件的定义是：如果一个二端元件在任一时刻，其电荷与电压之间的关系由 u - q 平面上一条曲线所确定，则称此二端元件为电容元件。

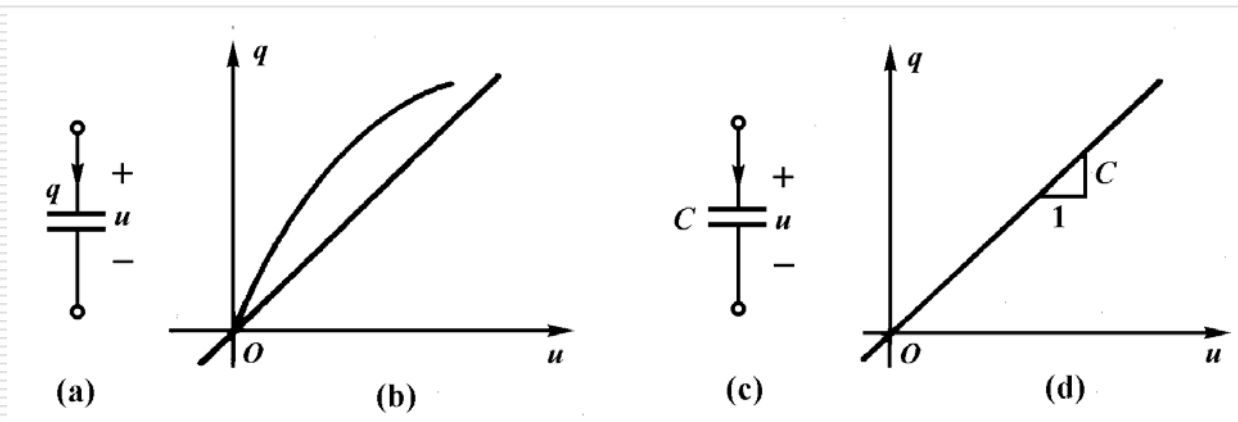
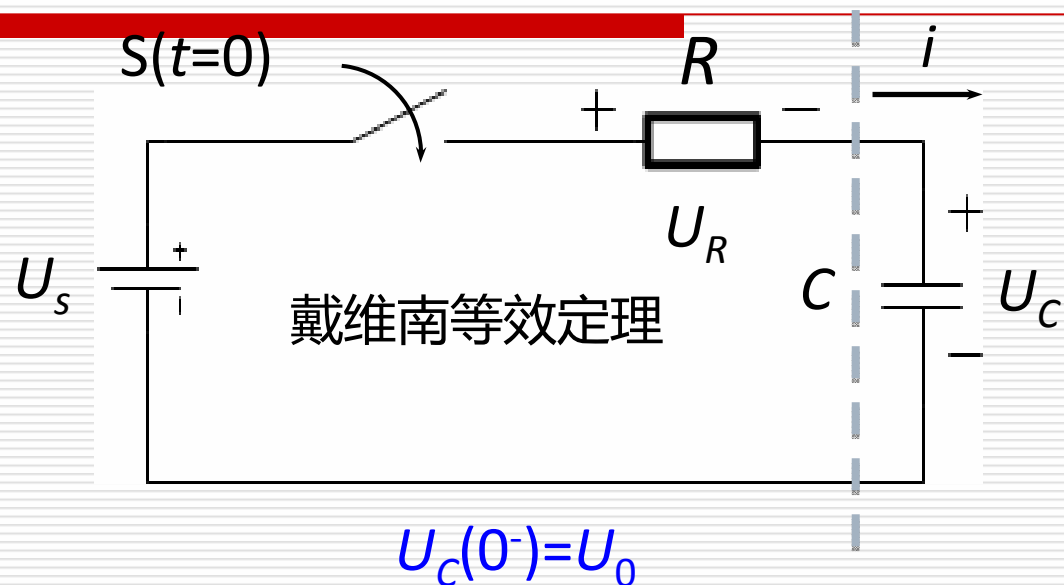


图7-1

补充知识：RC充放电电路结构和分析



建立电路方程



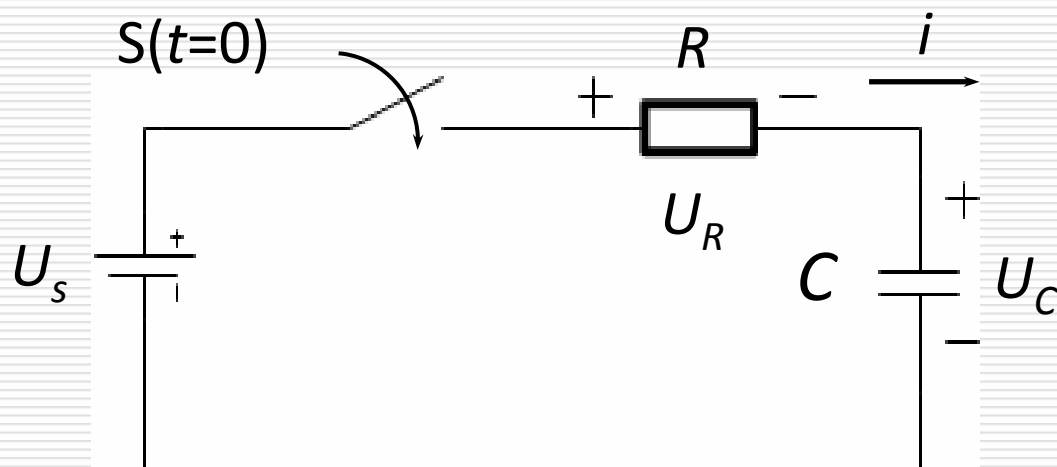
求解电路方程



分析电路方程的解

时域分析法：涉及函数变量均为时间 t

建立电路方程



$$U_C(0^-) = U_0$$

基尔霍夫电压定律

建立电路方程

元件伏安关系

$$RC \frac{du_C}{dt} + u_C = U_s$$

$$u_C(0^+) = U_0$$

求解电路方程

一阶常系数非齐次线性微分方程 $RC \frac{du_C}{dt} + u_C = U_S$

$$u_C(0^+) = U_0$$

$$U_{ph} = U_0$$

对应齐次微分方程的通解

$$u_{ch}(t) = Ae^{-\frac{t}{RC}}$$

特解+通解

利用初始条件求待定系数

特解

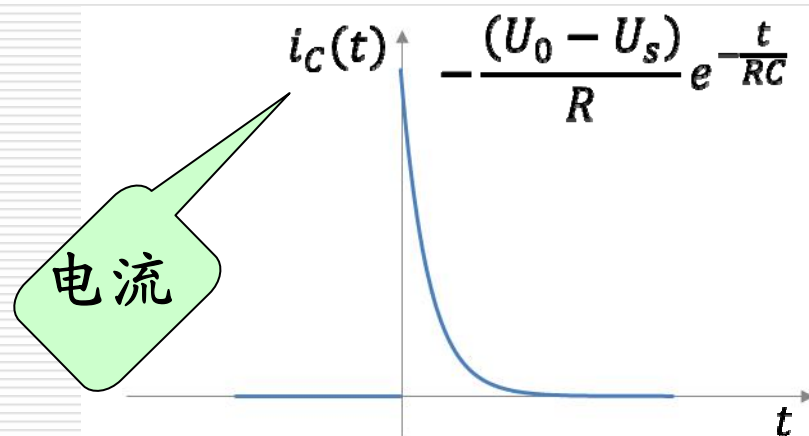
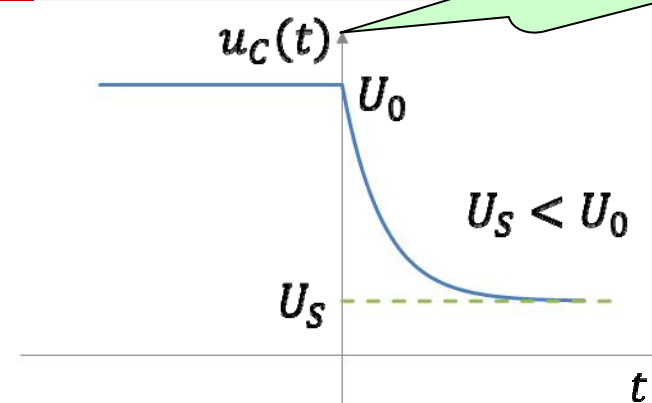
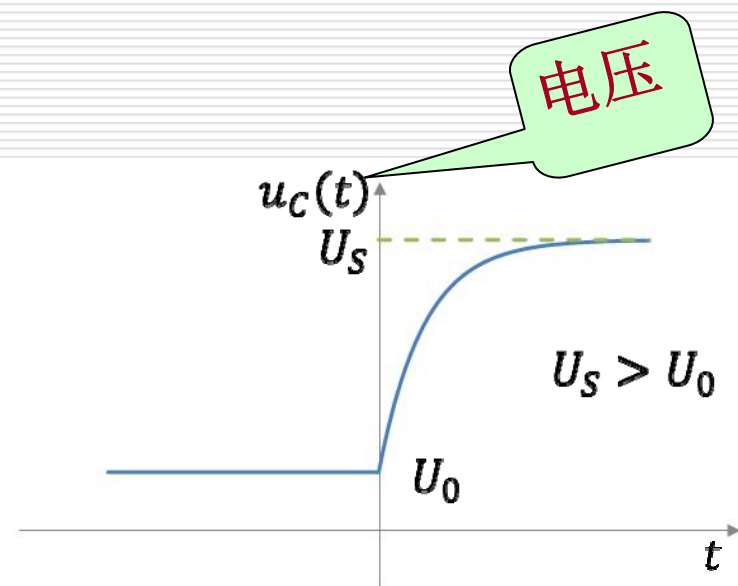
通解

全解

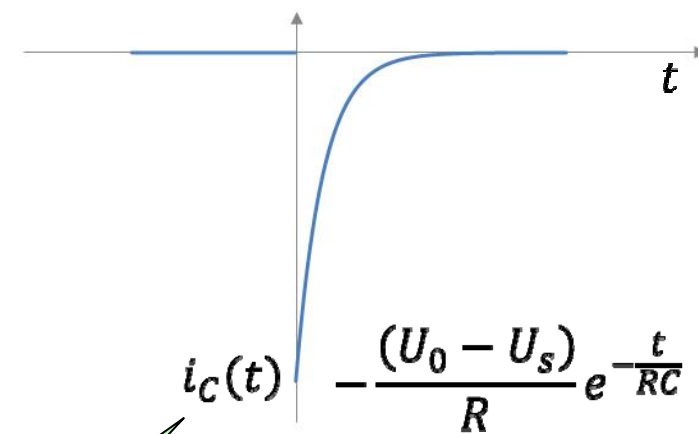
$$u_C(t) = U_S + (U_0 - U_S)e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$i_C(t) = -\frac{(U_0 - U_S)}{R}e^{-\frac{t}{RC}}$$

充放电波形图



充电波形



放电波形

电流

9.2 施密特触发器

9.2.1 用门电路组成的施密特触发器

9.2.2 集成施密特触发器

9.2.3 施密特触发器的应用

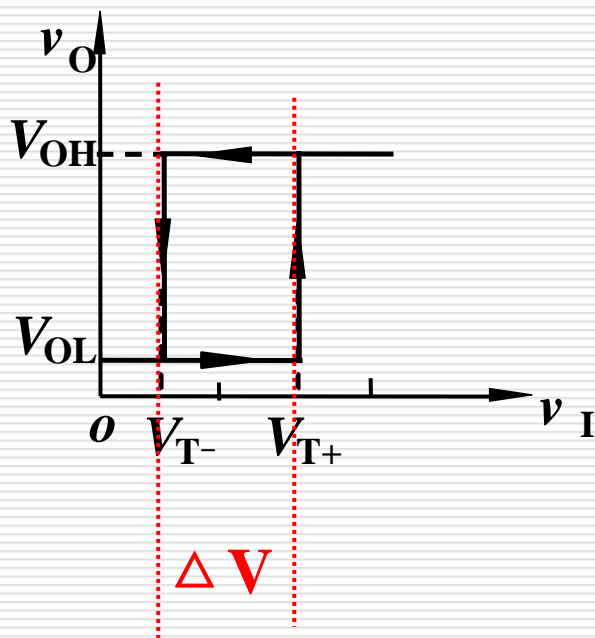
9.2 施密特触发器

施密特触发器电压传输特性及工作特点:

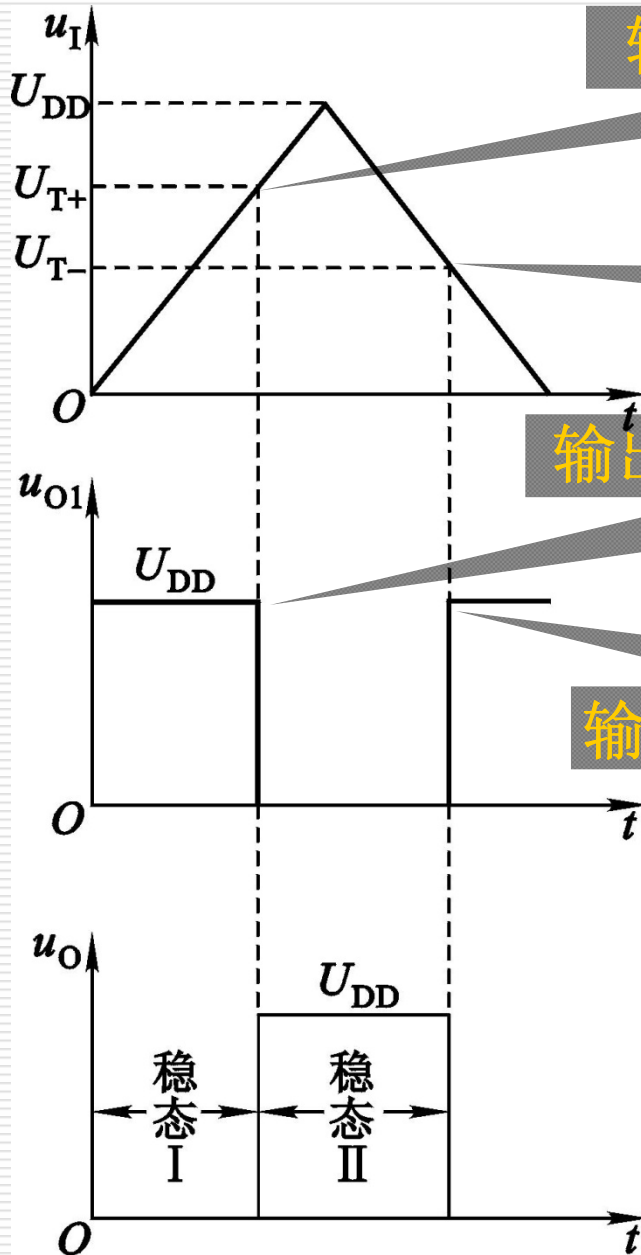
9.2 施密特触发器

施密特触发器特点:

施密特触发器有两个稳定的工作状态，所以是双稳态触发器的一种。但是又不同于一般的双稳态触发器，其两个稳态互相翻转所需的输入信号电平不相同，具有滞后电压传输特性，即回差特性。如下图所示其输出信号与输入信号关系的电压传输特性曲线图。



其中 V_{T+} 为正向阈值电压， V_{T-} 为负向阈值电压， ΔV 为滞后电压或回差电压。



输入信号上升时按照 U_{T+} 阈值翻转

输入信号下降时按照 U_{T-} 阈值翻转

可以用**CMOS**基本门电路组成施密特触发器:
输出信号由高 (High) 翻转 为 低 (Low)

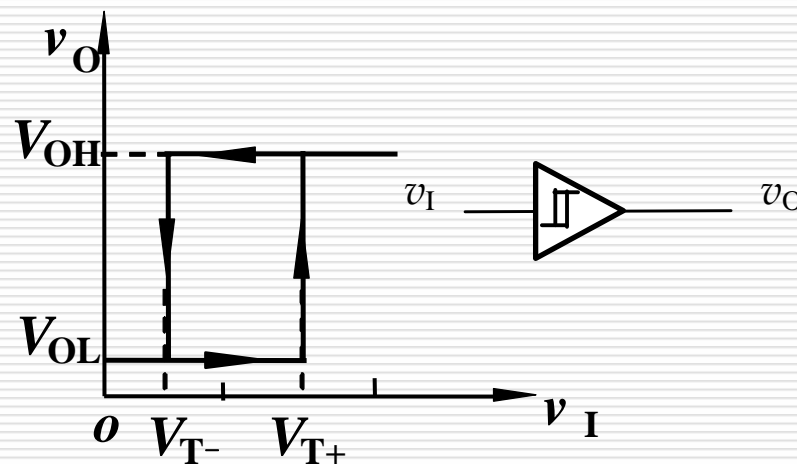
输出信号由低 (Low) 翻转 为 高 (High)

9.2 施密特触发器

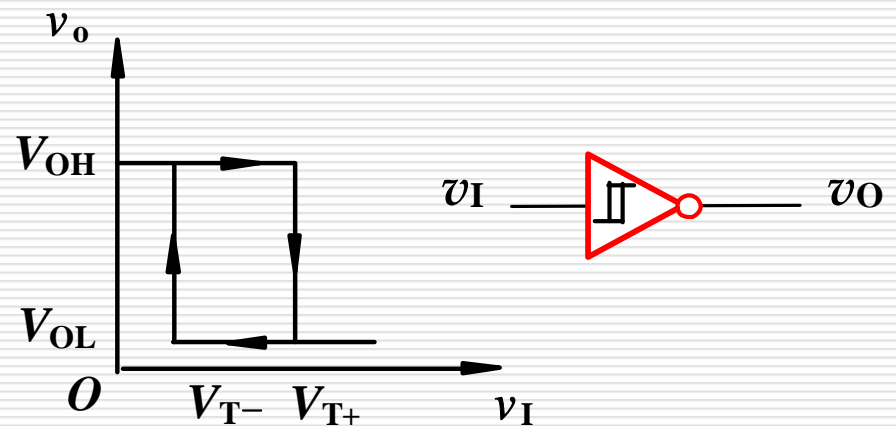
施密特触发器电压传输特性及工作特点:

① 施密特触发器属于**电平触发**器件，当输入信号**达到某一定电压值**时，输出电压会发生突变。

② 电路有两个阈值电压。输入信号**增加和减少**时，电路的阈值电压分别是**正向阈值电压 (V_{T+})**和**负阈值电压 (V_{T-})**。



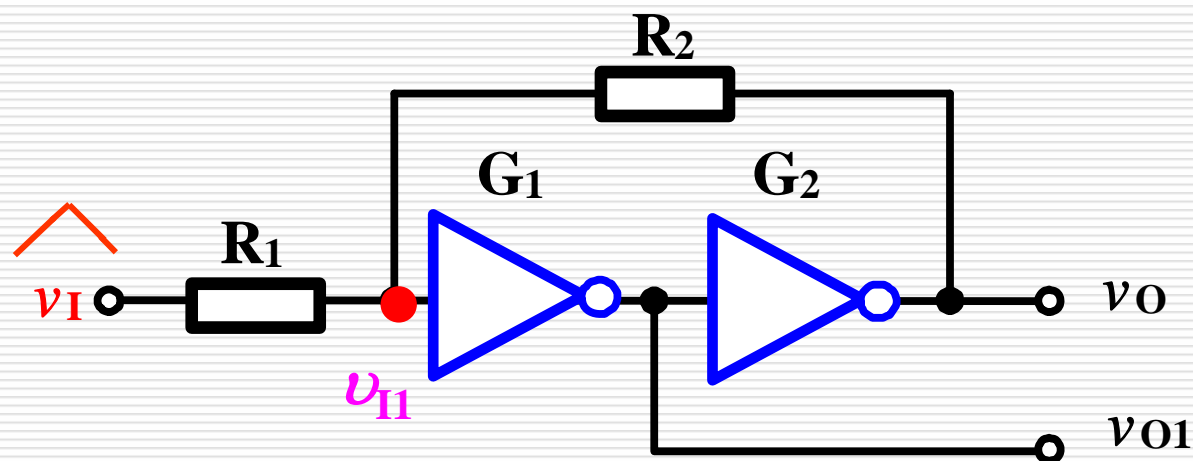
同相输出施密特触发器



反相输出施密特触发器

9.2.1 用门电路组成的施密特触发器

1、电路组成



2、工作原理

假定: $V_{TH} \approx \frac{V_{DD}}{2}$ $R_1 < R_2$ v_I 为三角波

$$v_{I1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot v_I + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot v_O$$

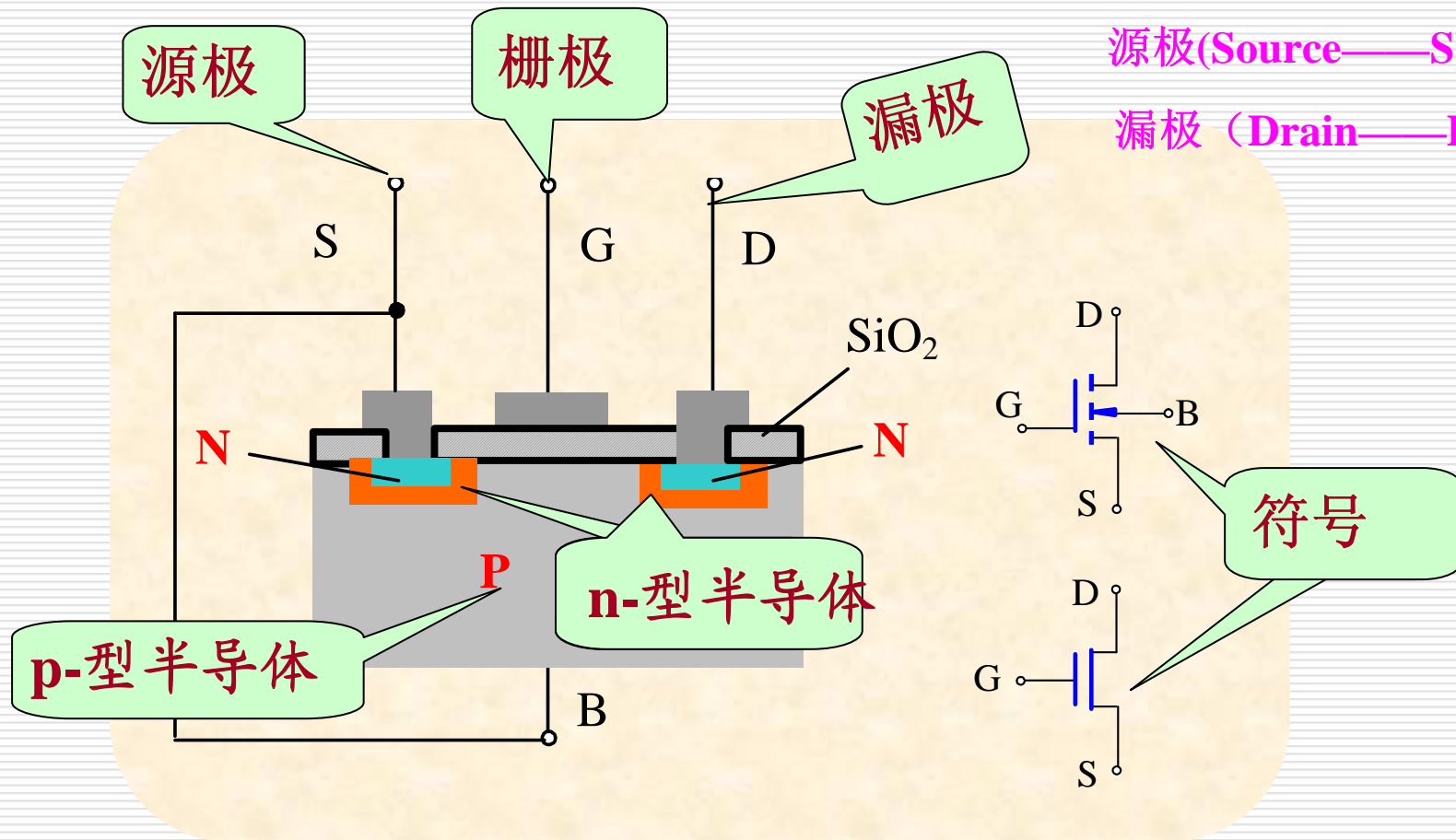
补充知识: N沟道增强型MOS管的结构和工作原理

MOS管的分类:

栅极 (Gate——G, 也叫做门极)

源极 (Source——S)

漏极 (Drain——D)



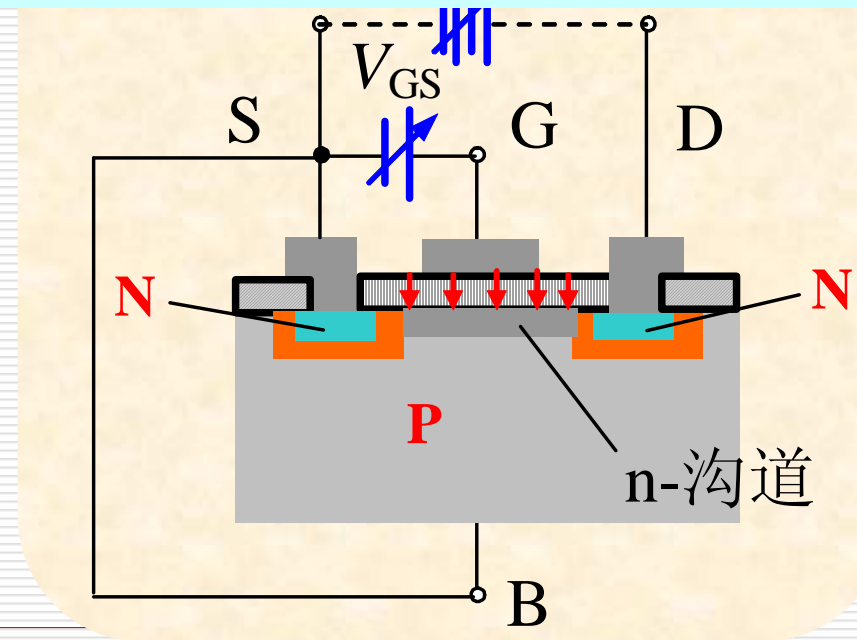
补充知识: N沟道增强型MOS管的结构和工作原理

(1) V_{GS} 控制沟道的导电性

□ $v_{GS}=0, v_{DS} \neq 0$, 等效背靠背连接的两个二极管, $i_D \approx 0$ 。

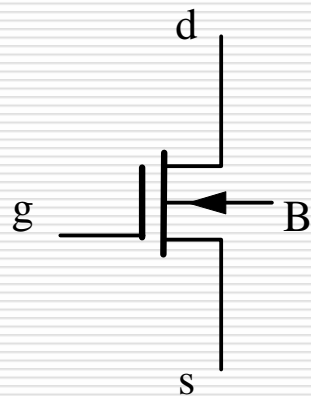
□ $v_{GS} > 0$, 建立电场 \rightarrow 反型层 $\rightarrow v_{DS} > 0, i_D \neq 0$ 。

□ 沟道建立的最小 v_{GS} 值称为开启电压 V_T 。

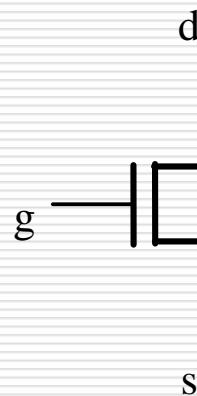


N沟道增强型MOS管

N沟道增强型MOS管符号如图。



(a) 标准符号

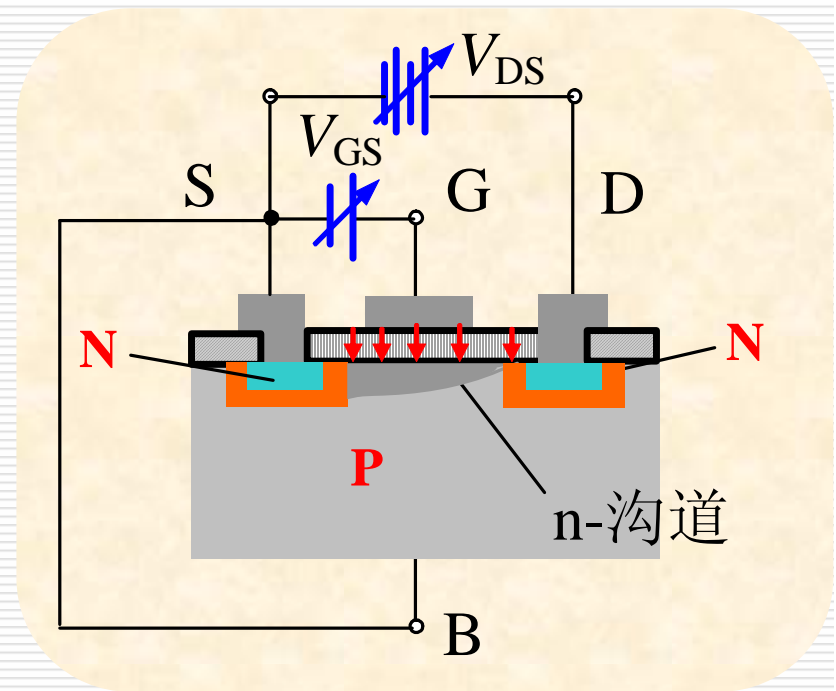


(b) 简化符号

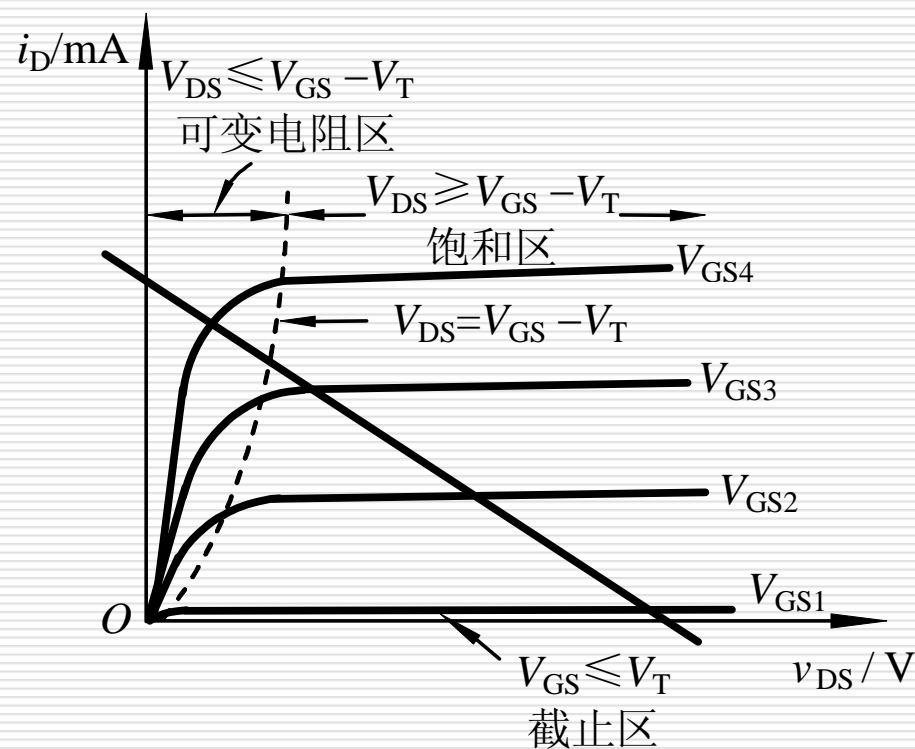
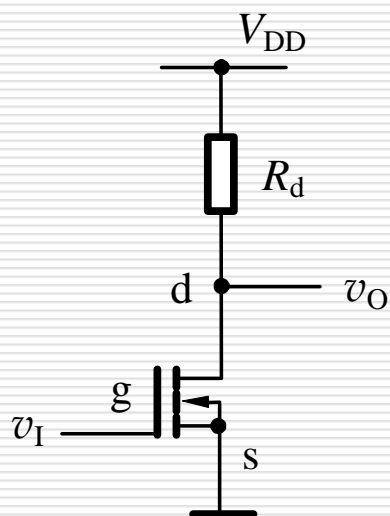
补充知识: N沟道增强型MOS管的结构和工作原理

□ $v_{GS} > V_T$, 导通。

□ 当 $v_{GS} \leq V_T$, 截止。



补充知识:MOS管开关电路



当 $v_I < V_T$: MOS管截止, 输出高电平

当 $v_I > V_T$: MOS管导通, 输出低电平

补充知识:MOS管开关电路

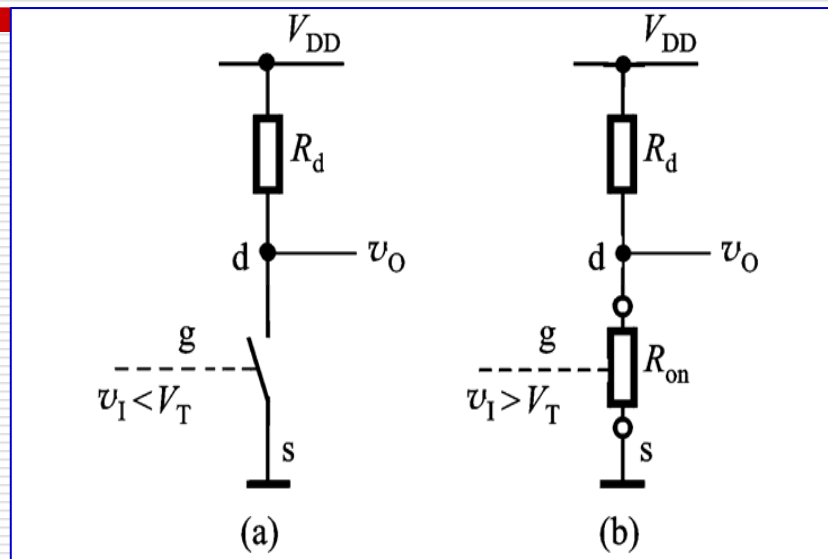
□ 当 v_I 为低电平时:

MOS管截止, 相当于开关“断开”, 输出为高电平。

□ 当 v_I 为高电平时:

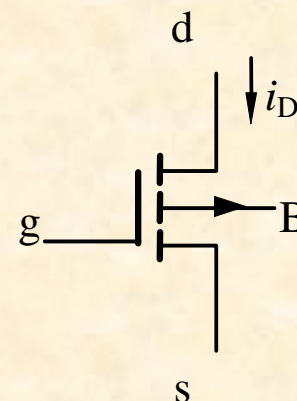
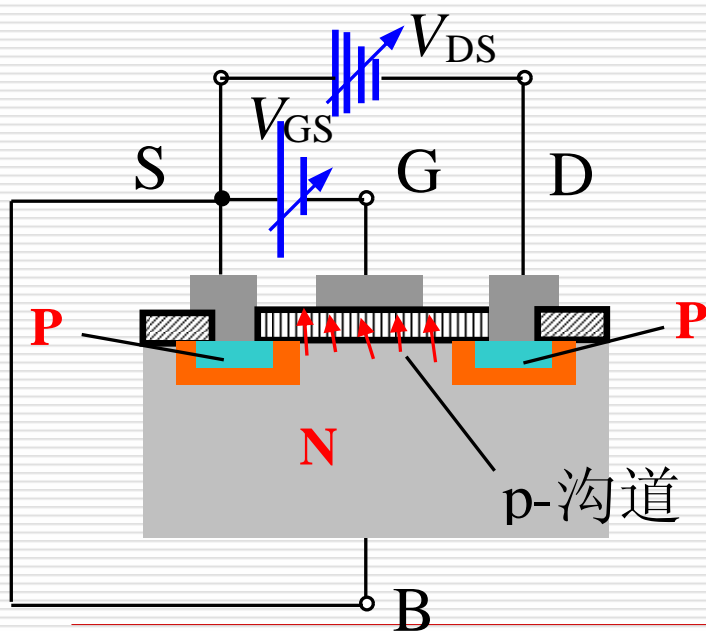
MOS管导通, 相当于开关“闭合”, 输出为低电平。

□ MOS管相当于一个由 v_{GS} 控制的无触点开关。

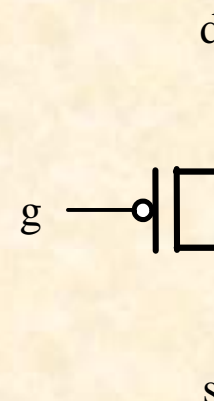


补充知识: P沟道增强型MOS管

- 开启电压 v_T 为负值
- 结构与NMOS管相反。
- v_{GS} 、 v_{DS} 电压极性与NMOS管相反。



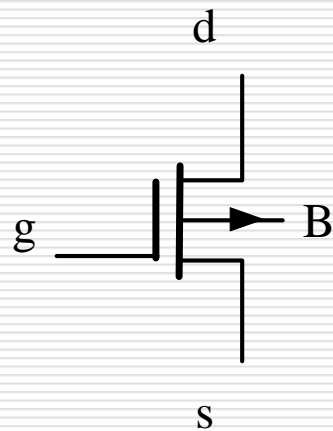
(a) 标准符号



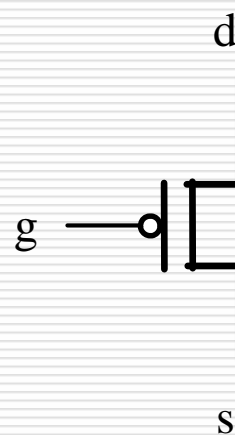
(b) 简化符号

P沟道增强型MOS管

P沟道增强型MOS管。
符号如图所示。



(a) 标准符号



(b) 简化符号

补充知识：CMOS或非门

$$L = \overline{A+B}$$

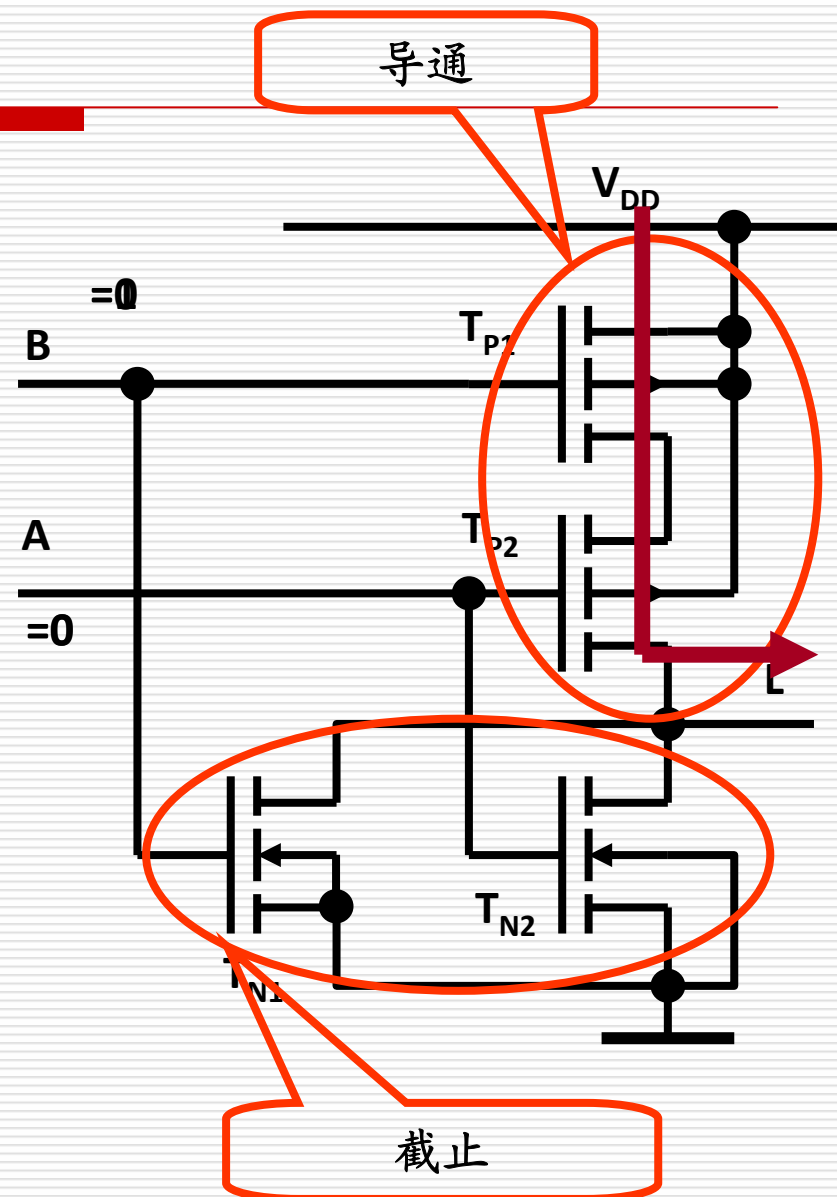
两个PMOS管串联，

两个NMOS管并联

两个输入端A、B分别与一个NMOS和一个PMOS管的栅极相连。

工作原理：

A=B=0时：T_{P1}、T_{P2}导通，T_{N1}、T_{N2}截止，输出高电平。



CMOS或非门

$$L = \overline{A+B}$$

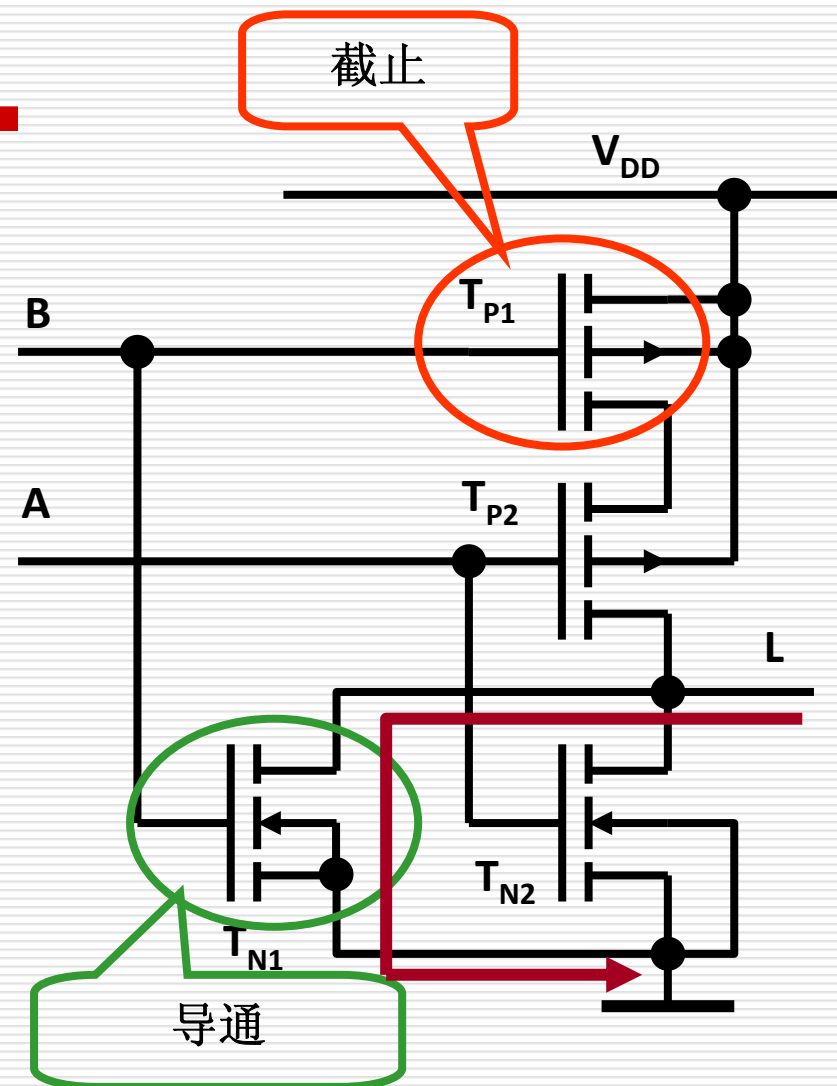
两个PMOS管串联，

两个NMOS管并联

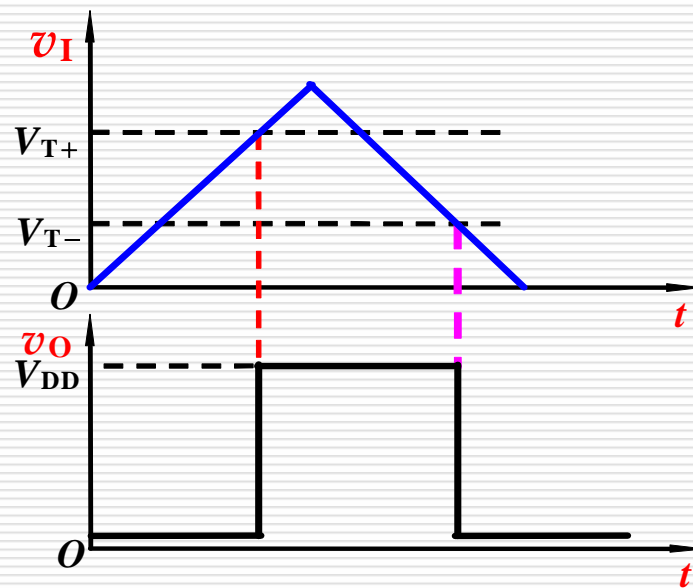
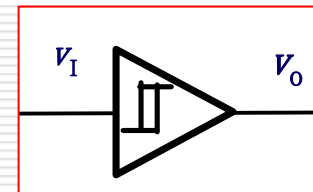
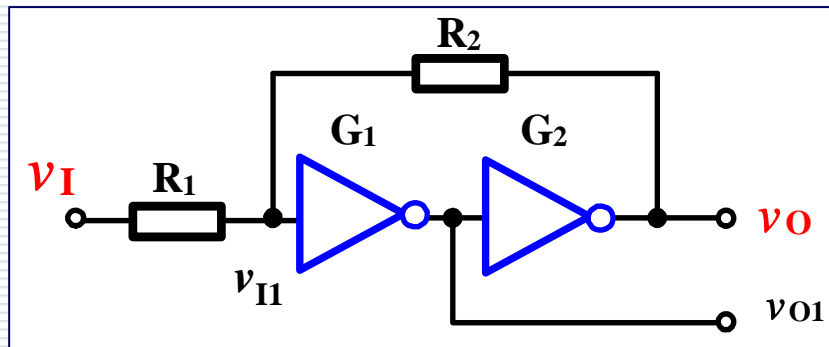
两个输入端A、B分别与一个NMOS和一个PMOS管的栅极相连。

工作原理：

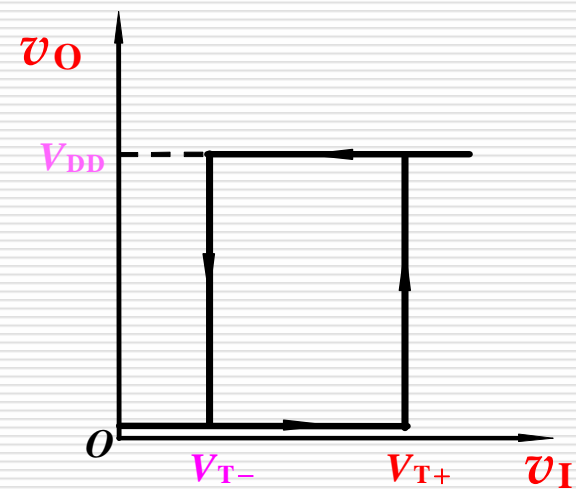
A、B中有一个为1时， T_{P1} 、 T_{P2} 中有一个截止， T_{N1} 、 T_{N2} 中有一个导通，输出低电平。



下图中G1和G2这两个MOS管中必有一个截止，另一个为导通。



工作波形



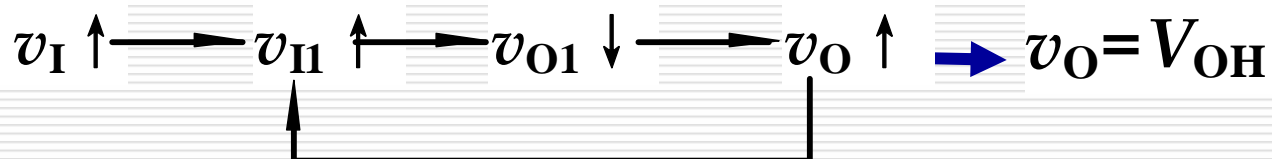
传输特性曲线

当 $v_{I1}=0$, $v_O=0V$

G1截止, G2导通。

(1) v_I 上升 只要 $v_{I1} < V_{TH}$, 则保持 $v_O = 0V$

(2) 当 $v_{I1} = V_{TH}$, 电路发生正反馈:

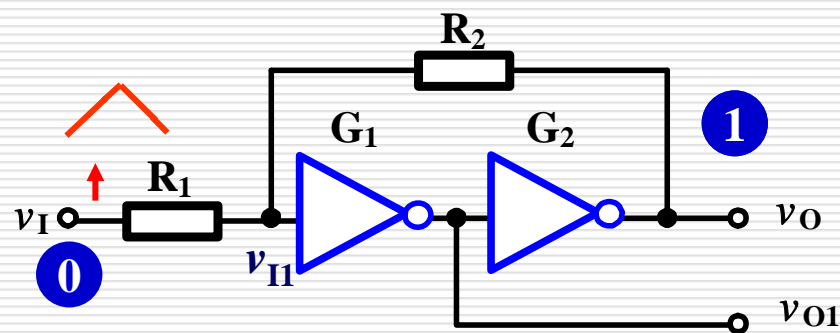
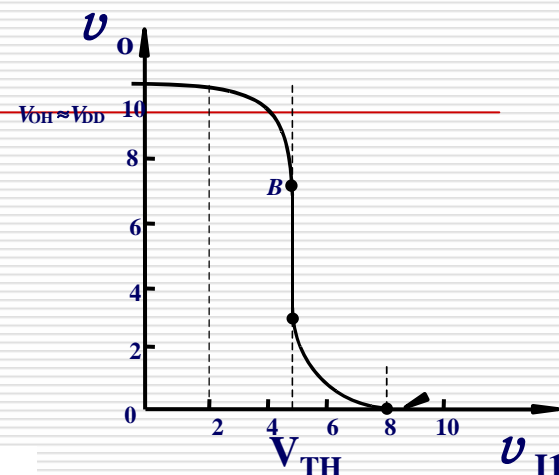


正向阈值电压 (V_{T+}): v_I 值在增加过程中, 使输出电压产生跳变时所对应 v_I 的值。

$$v_{I1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot v_I + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot v_O$$

$$v_{I1} = V_{TH} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{T+}$$

$$V_{T+} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) V_{TH}$$

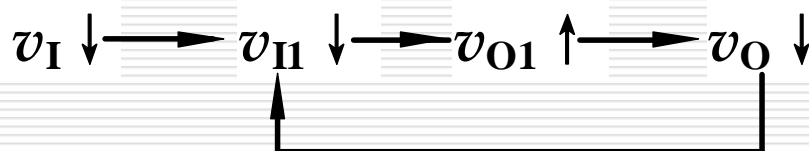


(3) $v_{I1} > V_{TH}$ 时, 电路维持 $v_O = V_{OH}$ 不变。

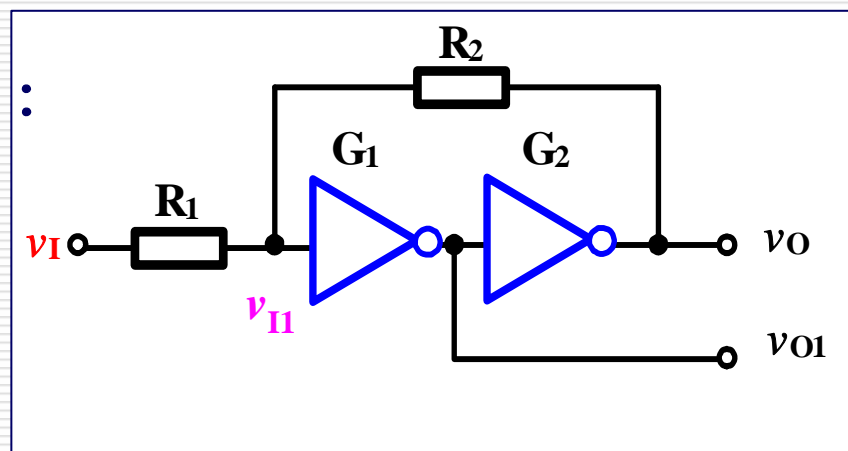
G1导通, G2截止。

(4) 当 v_I 下降, v_{I1} 也下降, 只要 $v_{I1} > V_{TH}$, 则保持 $v_O = V_{OH}$

当 $v_{I1} = V_{TH}$, 电路产生如下正反馈:



→ $v_O = V_{OL}$



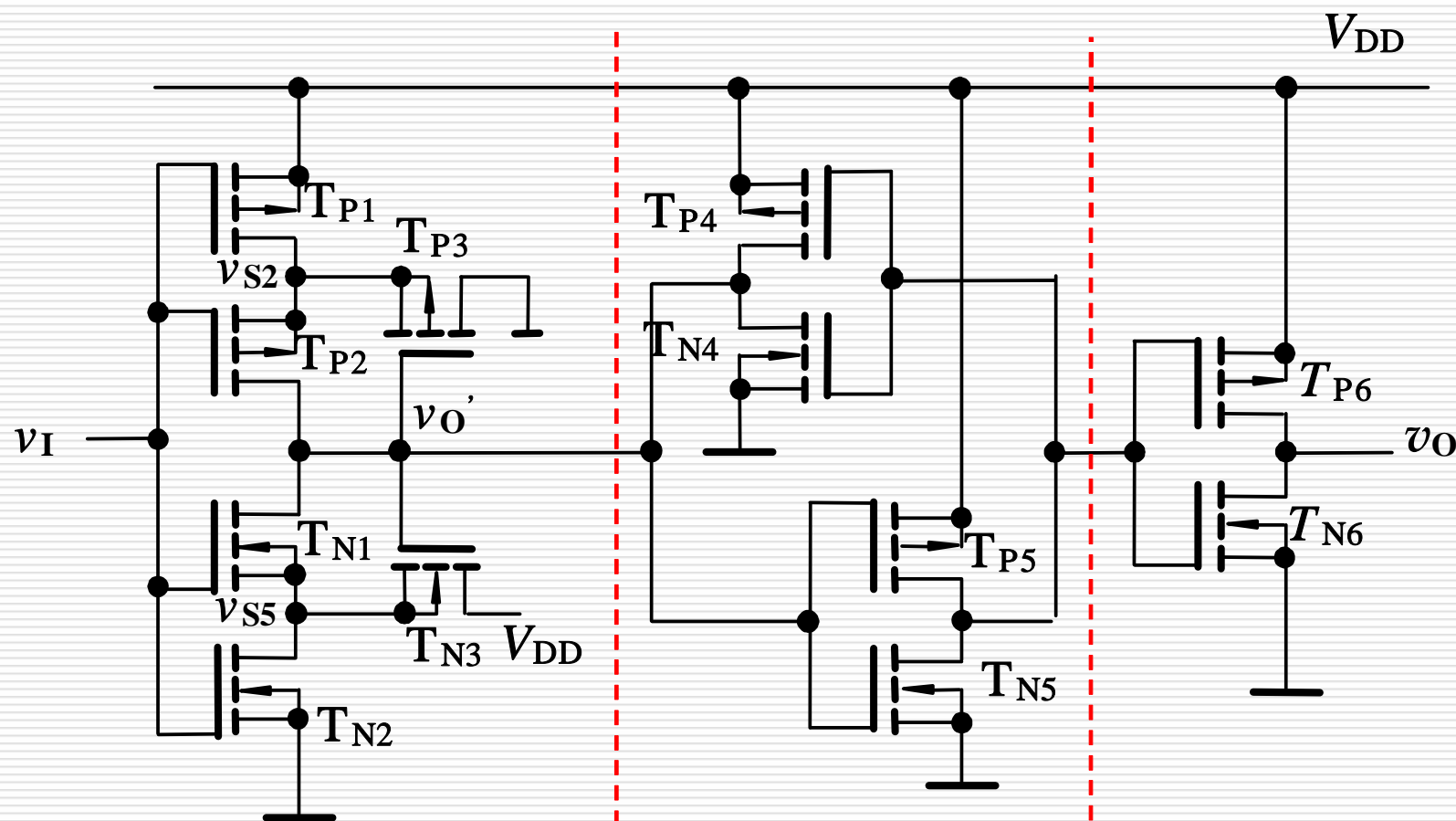
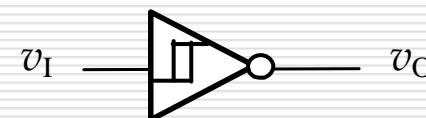
$$v_{I1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot v_I + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot v_O$$

$$v_{I1} \approx V_{TH} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{T-} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{DD}$$

$$V_{T-} = \left(1 - \frac{R_1}{R_2}\right) V_{TH}$$

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

9.2.2 集成施密特触发器



施密特电路

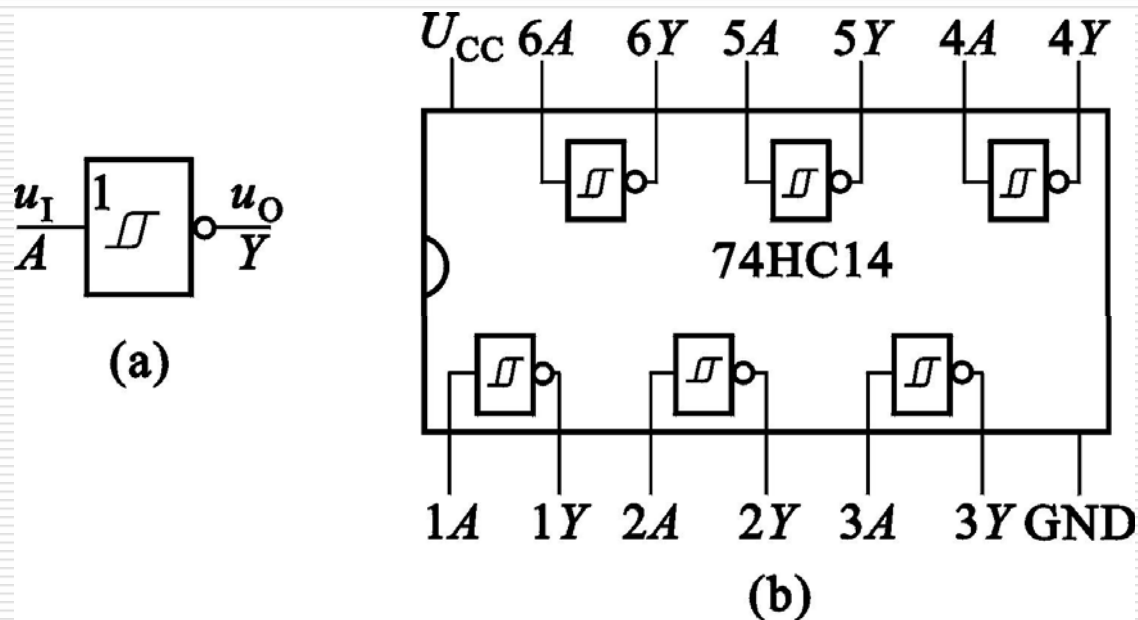
整形电路

输出电路

当 $v_I = 0$ 时, $v_O = V_H$

TN1, TN2截止, TP1, TP2导通。

芯片74HC14逻辑符号



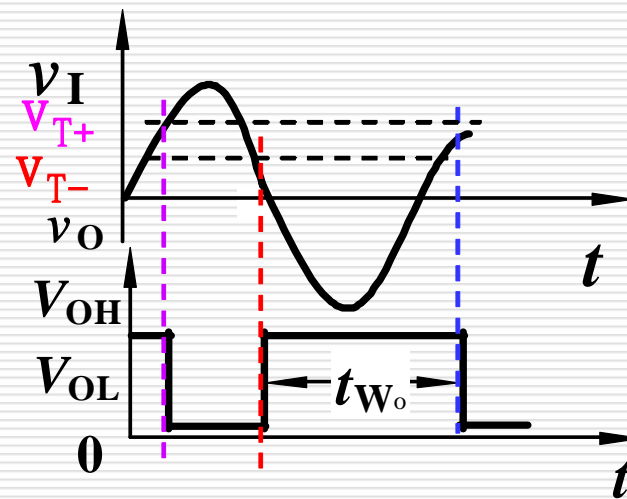
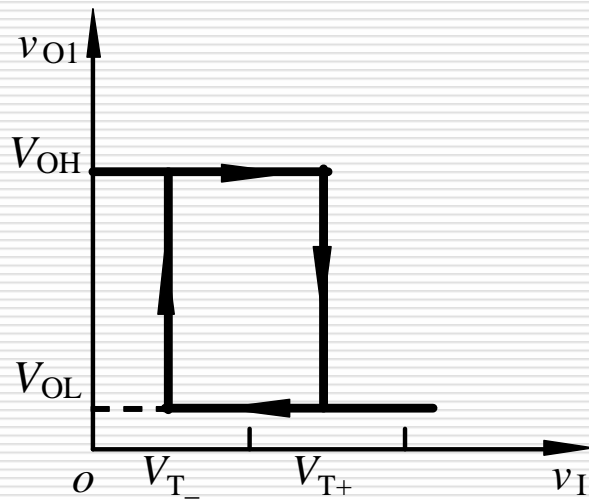
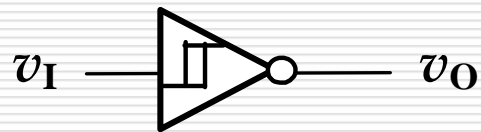
芯片74HC14引脚图

其基本逻辑功能仍是输入低电平输出为高电平，输入高电平输出为低电平，但具有回差，其负压传输特性同前所述。

9.2.3 施密特触发器的应用

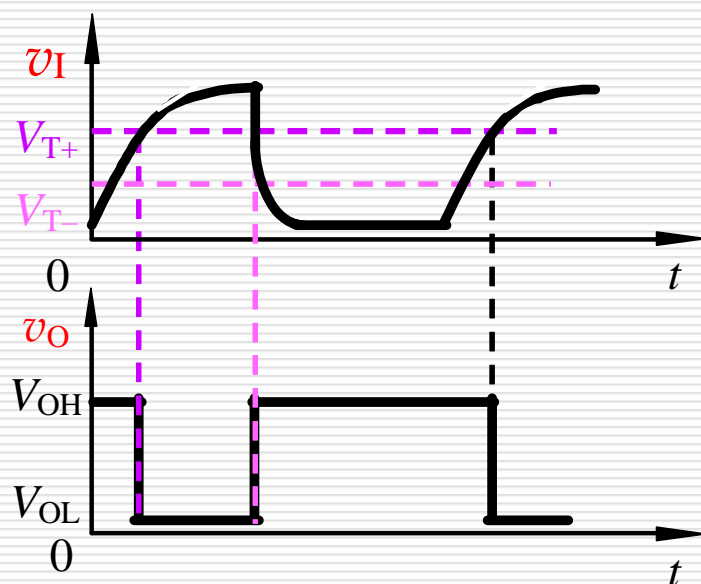
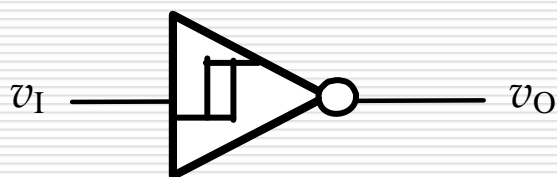
1. 波形变换

施密特触发器利用其迟滞翻转的传输特性可以将三角波、正弦波、锯齿波等变换为矩形波。

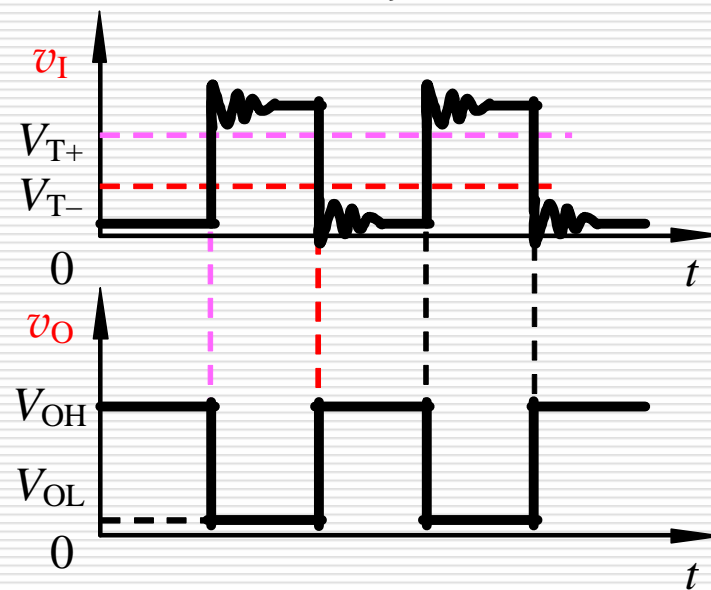
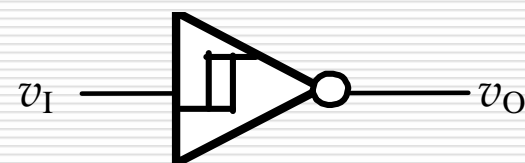


2. 波形的整形

当其他脉冲信号通过导线间的分布电容或公共电源线叠加到矩形信号上时，产生附加噪声干扰的整形过程



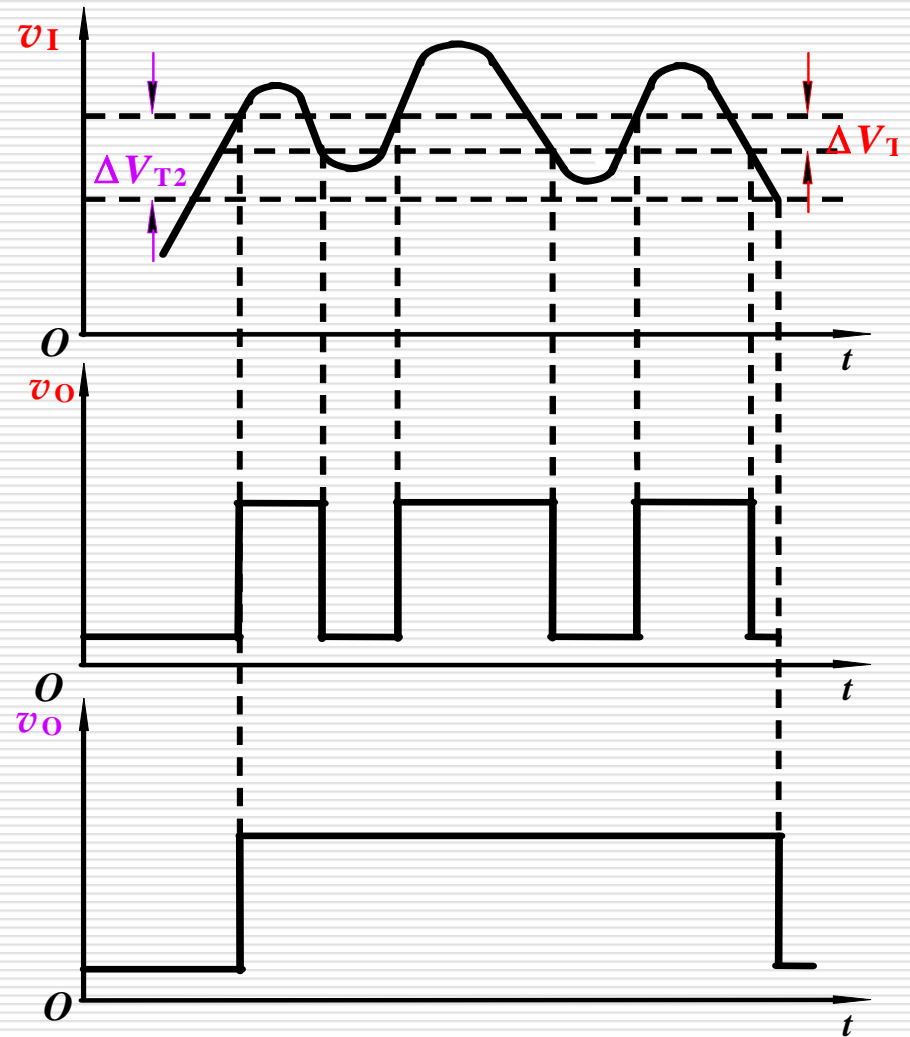
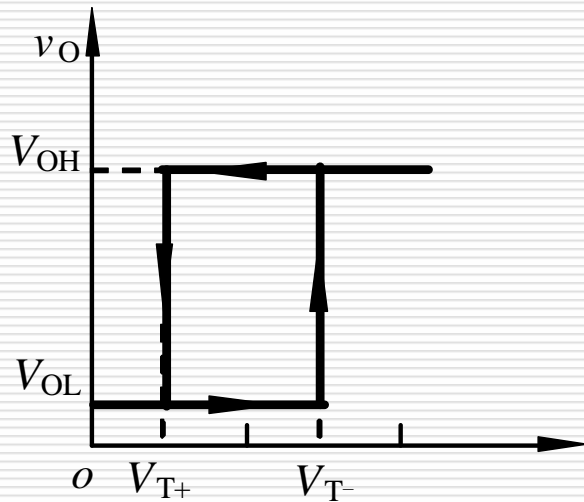
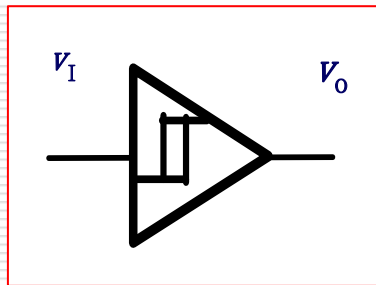
(a)



(b)

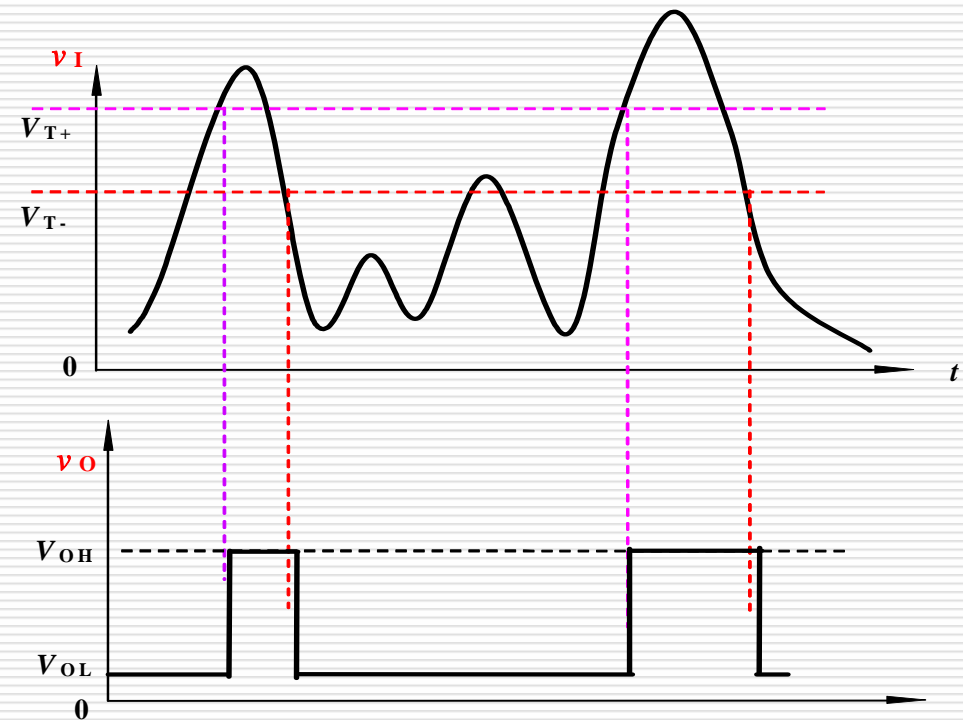
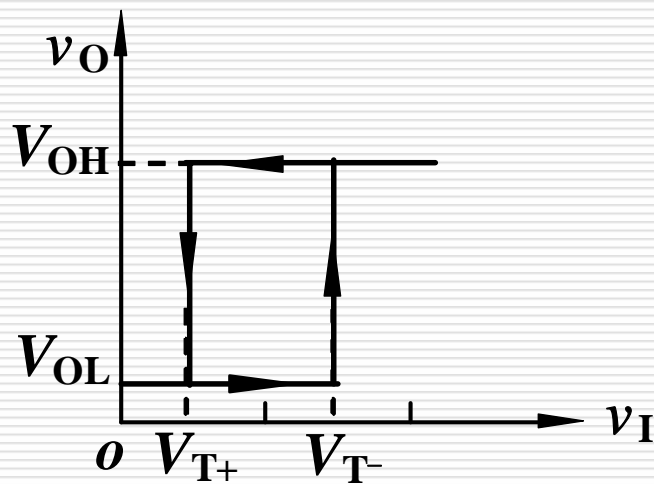
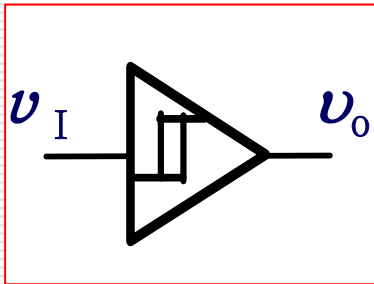
3. 消除干扰信号

合理选择回差电压，可消除干扰信号。



4. 幅度鉴别

将一系列幅度各异的脉冲信号加到施密特触发器的输入端时，只有那些幅度大于 v_{T+} 的脉冲才会在输出端产生输出信号，即将幅度大于 V_{T+} 的脉冲选出，叫做鉴幅。



9.3 多谐振荡器

9.3.1 门电路组成的多谐振荡器

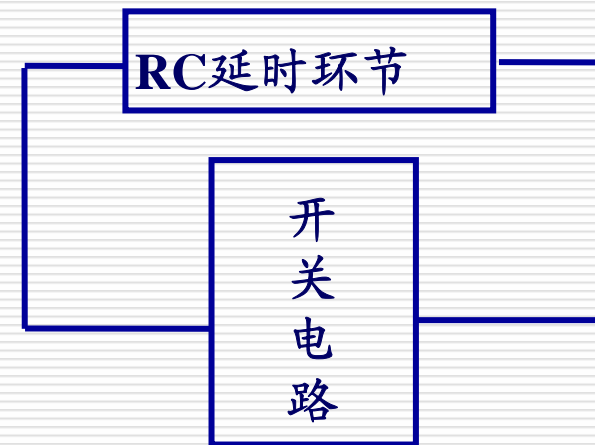
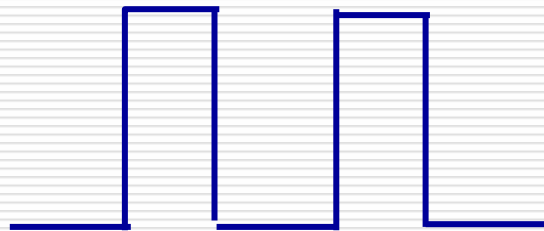
9.3.2 用施密特触发器构成多谐振荡器

9.3.3 石英晶体多谐振荡器

9.3 多谐振荡器

多谐振荡器是能产生矩形脉冲的自激振荡器，它产生的脉冲具有高、低两种状态并交替转换，称为两个暂态。故又称为无稳态电路。由于矩形脉冲波形是由基波和许多高次谐波组成的，故称为多谐振荡器。

反馈延迟环节（ RC 电路）：利用 RC 电路的充放电特性实现延时，输出电压经延时后，反馈到开关器件输入端，改变电路的输出状态，以获得对应的脉冲波形输出。



9.3.1 门电路组成的多谐振荡器

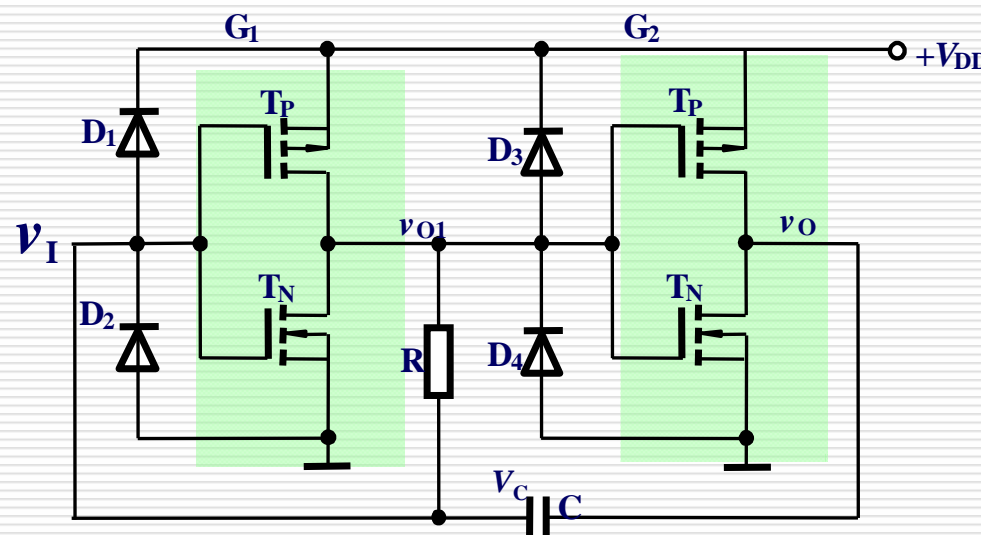
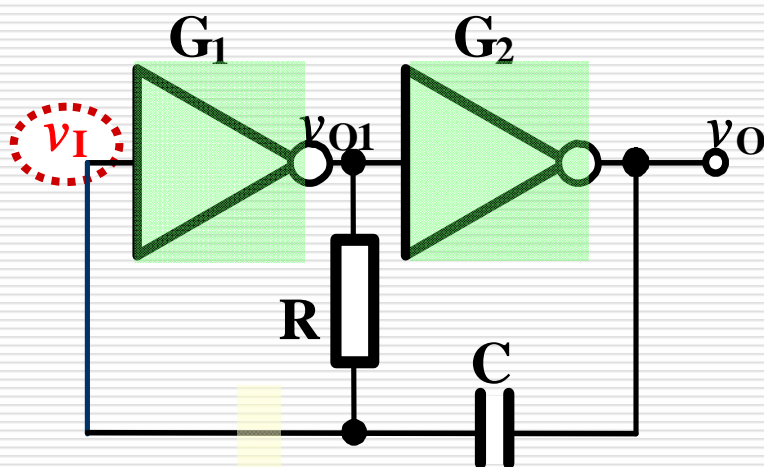
不同于触发器，多谐振荡器没有信号输入端，只要接上直流电源，就有如下图的波形信号输出。

1. 电路组成

v_{o1} 与 v_o 反相,电容接在 v_o 与 v_I 之间:

• $v_{o1}=1$, $v_o=0$ 时,电容充电, v_I 增加;

$v_{o1}=0$, $v_o=1$ 时,电容放电, v_I 下降;



CMOS门组成的多谐振荡器

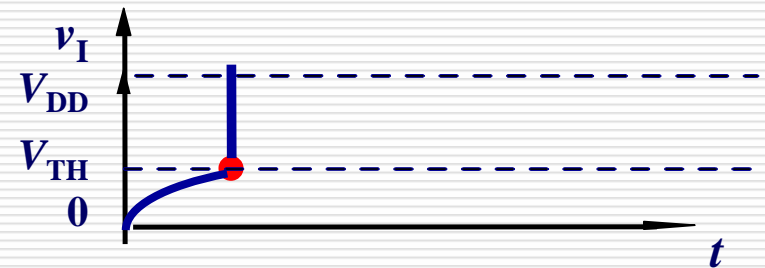
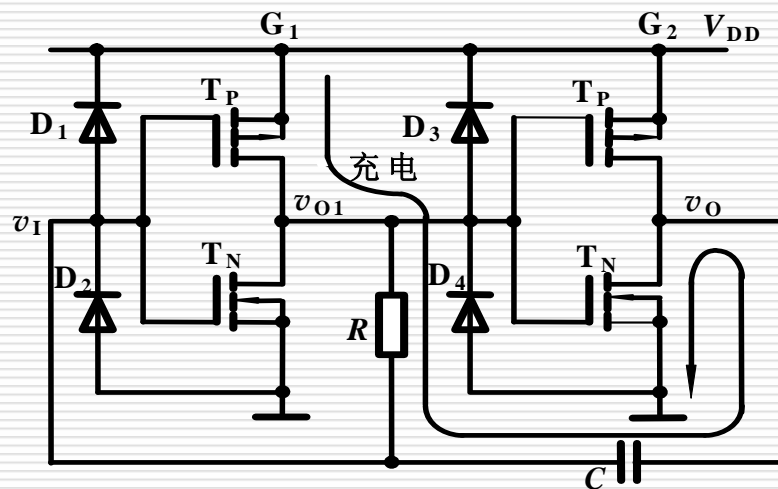
2. 工作原理

(1) 第一暂稳态（初态）电容充电，电路自动翻转到第二暂稳态

假定 $V_{TH} = V_{ON} = V_{OFF} = V_{DD}/2$ 电路初态: $v_{O1} = 1$ $v_O = 0$ $v_C = 0V$

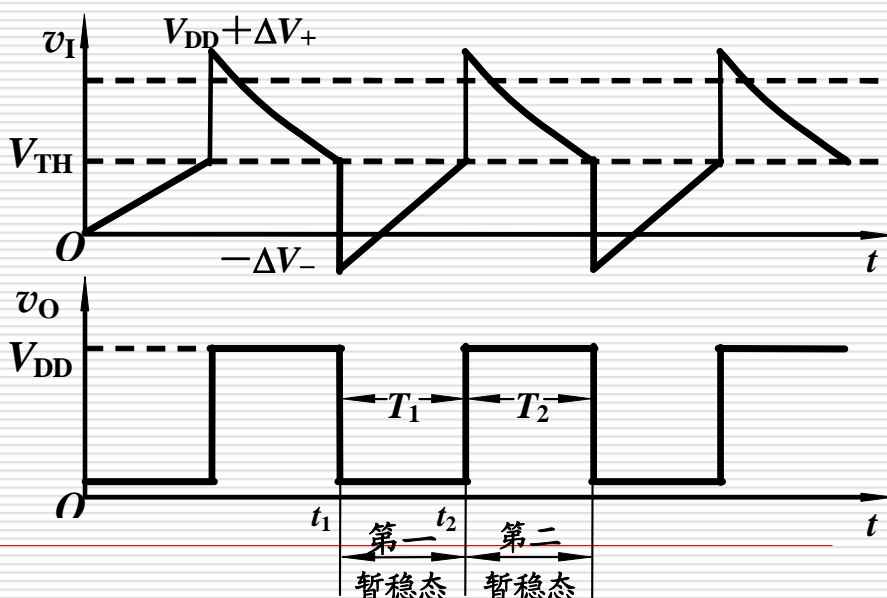
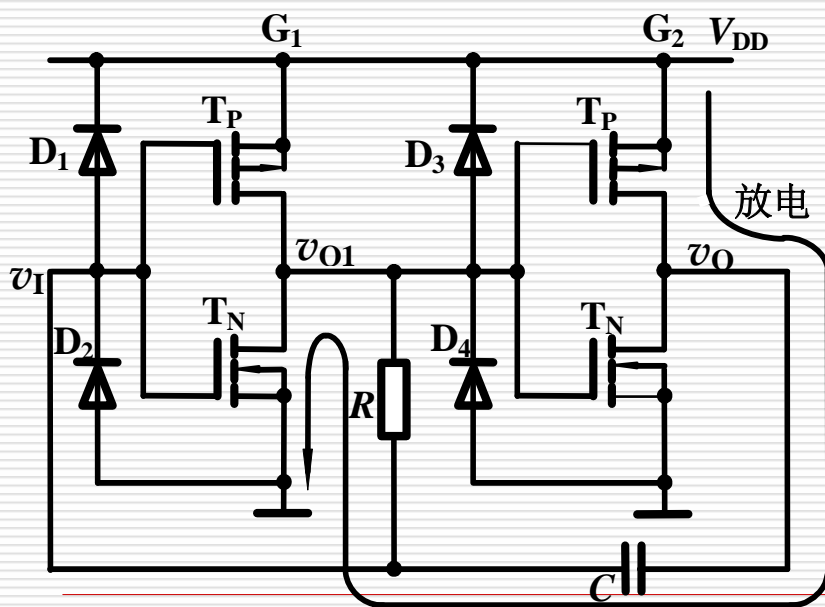
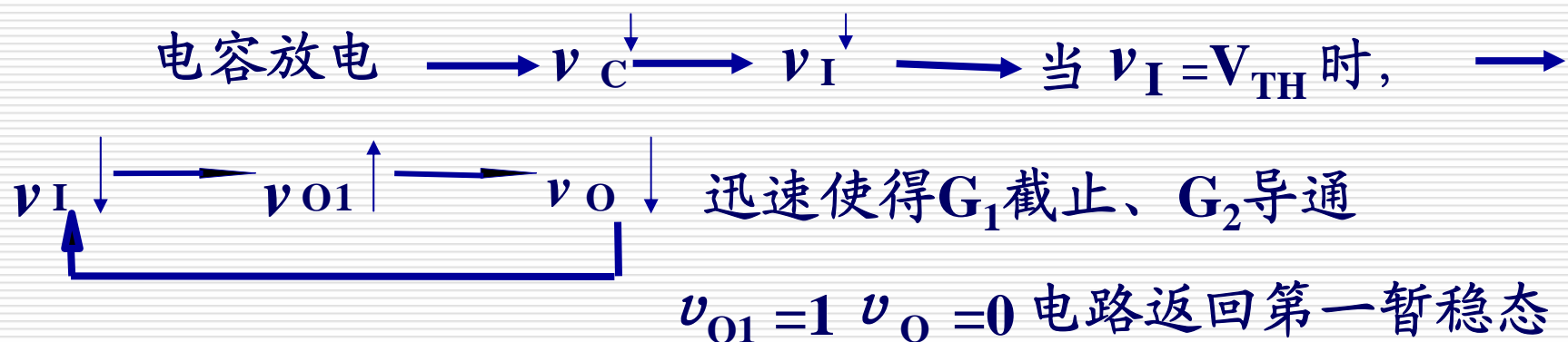
电容充电 $\longrightarrow v_C \uparrow \longrightarrow v_I \uparrow \longrightarrow$ 当 $v_I = V_{TH}$ 时,
 $v_I \uparrow \longrightarrow v_{O1} \downarrow \longrightarrow v_O \uparrow$ 迅速使 G_1 导通、 G_2 截止

$v_{O1} = 0$ $v_{O2} = 1$ 电路进入第二暂态 $v_{O1} = 0$ $v_O = 1$



2. 工作原理

(2) 第二暂稳态电容放电，电路自动翻转到第一暂稳态



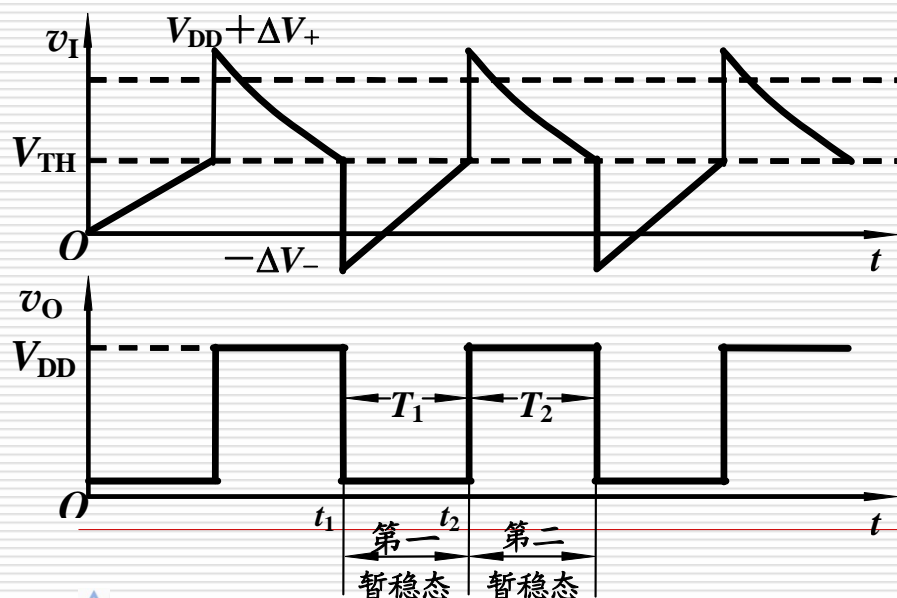
3. 振荡周期的计算

$$T_1: \quad v_I(0+) \approx 0; \quad v_C(\infty) \approx V_{DD} \quad \tau = RC, \quad t = t_2 - t_1$$

$$T_1 = RC \ln \frac{V_{DD}}{V_{DD} - V_{TH}}$$

$$T_2: \quad v_I(0+) \approx V_{DD}; \quad v_C(\infty) \approx 0 \quad \tau = RC, \quad t = t_3 - t_2$$

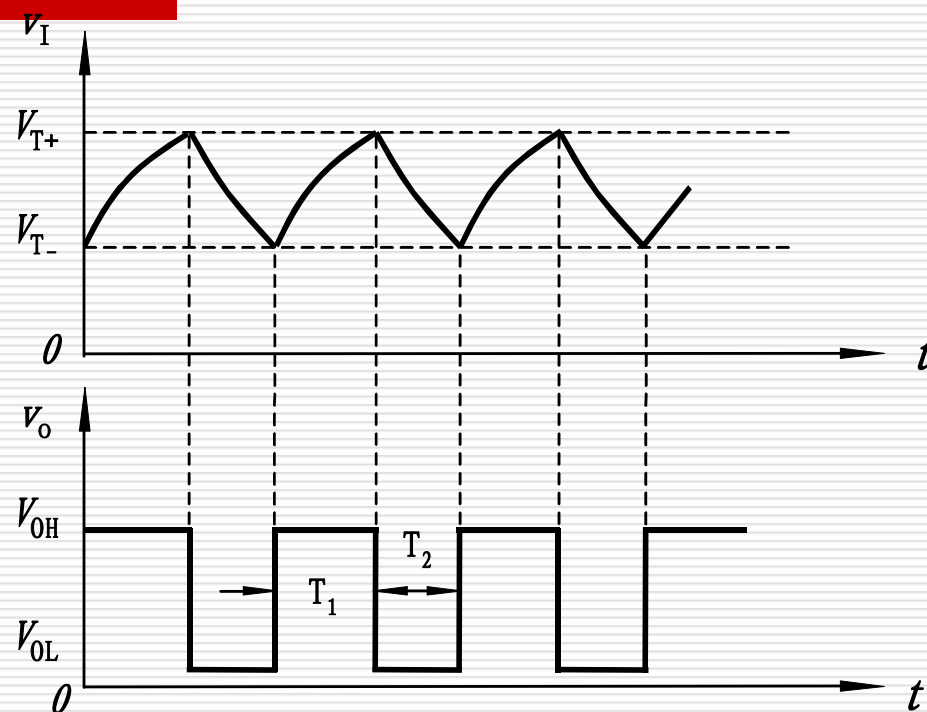
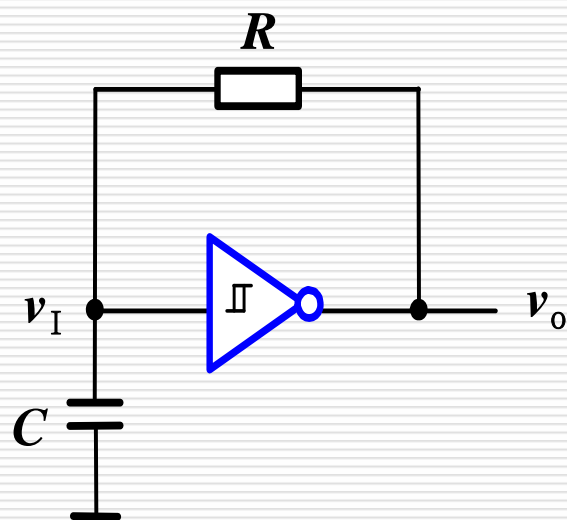
$$T_2 = RC \ln \frac{V_{DD}}{V_{TH}} \quad T = T_1 + T_2 = RC \ln \left[\frac{V_{DD}^2}{(V_{DD} - V_{TH}) \cdot V_{TH}} \right]$$



$$T = RC \ln 4 \approx 1.4RC$$

由门电路组成的多谐振荡器的振荡周期 T 取决于 R 、 C 电路和 V_{TH} ，频率稳定性较差。

9.3.2 用施密特触发器构成多谐振荡器



$$T = T_1 + T_2$$

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

9.3.3 石英晶体振荡器

1、石英晶体电路符号和选频特性

石英晶体的选频特性非常好，只有在频率为 f_0 的信号最容易通过，而其他频率的信号均会被晶体所衰减。石英晶体的谐振频率是由它的大小、几何形状及材料所决定的。

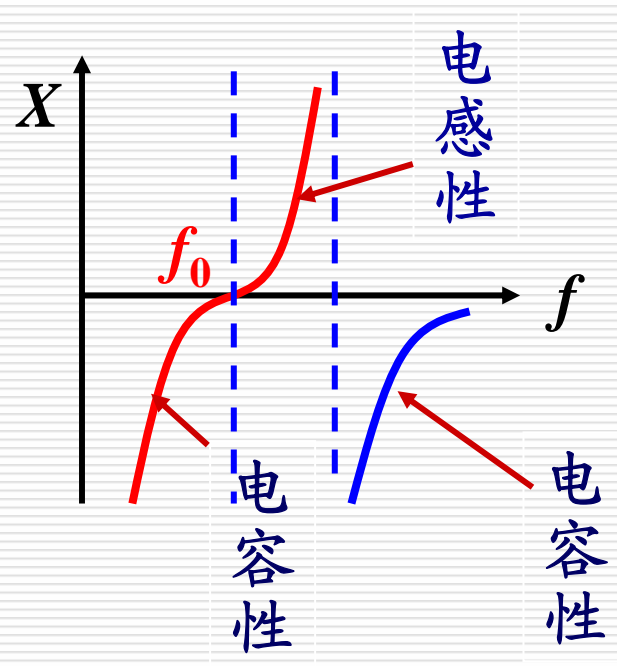
电路符号



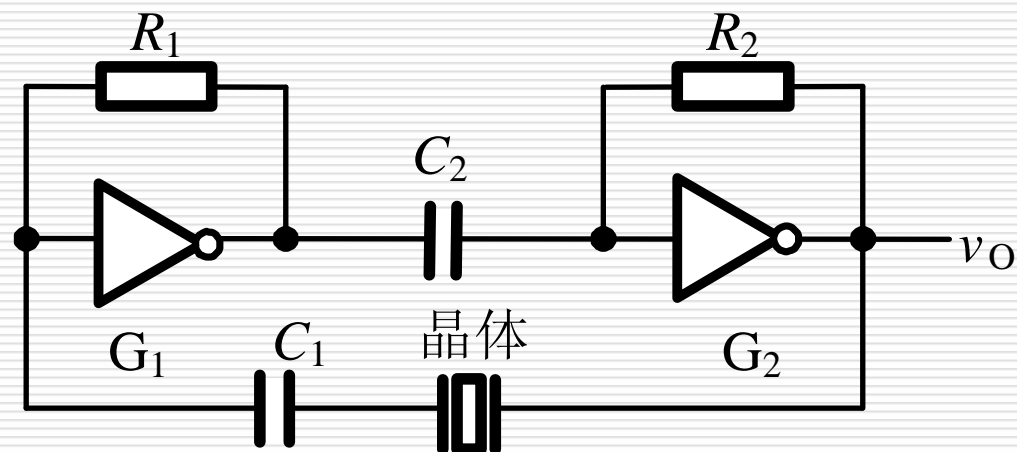
当 $f = f_0$ 时，

电抗 $X = 0$

阻抗特性



2、石英晶体振荡器



R_1 和 R_2 : 使对应门工作在线性区

C_1 : 耦合电容

C_2 : 抑制高次谐波

3、双相脉冲产生电路

