



# 脉冲电路2

刘鹏

liupeng@zju.edu.cn

浙江大学信息与电子工程学院

# 一阶电路的分析

## 三要素分析方法

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

$$t = RC \ln \frac{x(\infty) - x(0^+)}{x(\infty) - x(t)}$$

三要素 {

- 时间常数 $\tau$ :  $\tau = RC, \tau = L/R$
- 初始值 $x(0^+)$ :  $V_c(0^+) = V_c(0^-), i_L(0^+) = i_L(0^-)$
- 趋向 (稳态) 值 $x(\infty)$ :

- 电容不再充放电,  $i_c=0$ 。此时, 电容可视为开路
- 电感电流不再变化,  $v_L=0$ 。此时, 电感可视为短路

# 概述

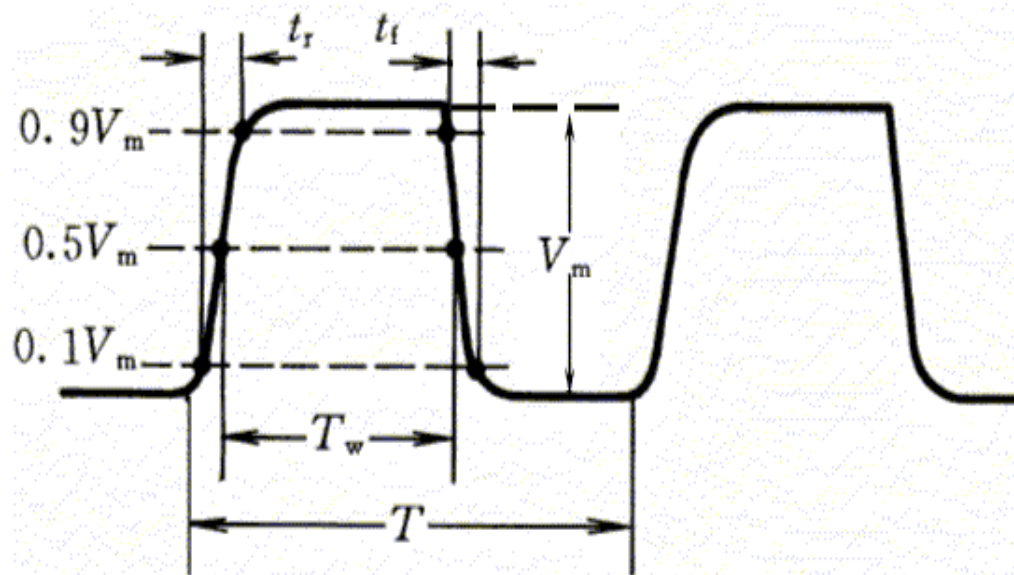
## □ 参数

- 脉冲周期 $T$
- 脉冲幅度 $V_m$
- 脉冲宽度 $T_w$
- 上升时间 $t_r$
- 下降时间 $t_f$
- 占空比 $q$

$$q = T_w / T$$

## □ 获取矩形波形

- 多谐振荡器电路
- 整形电路变换已有的周期性波形

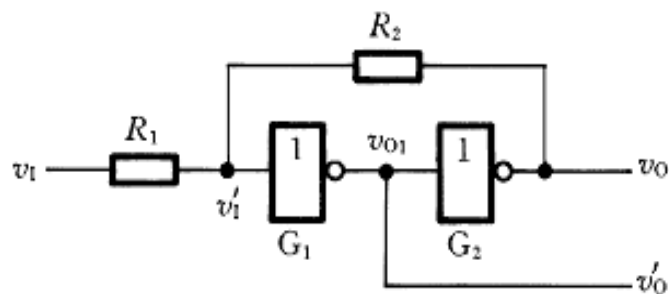


## 描述矩形脉冲特性的主要参数

# 施密特触发器

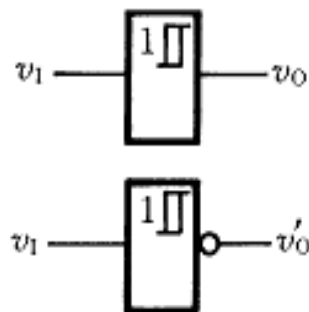
## 用CMOS非门电路组成施密特触发器

### 1.电路组成



条件:  $R1 < R2$

### 2.符号



### 3.原理

**假设: CMOS为理想器件, 即**

$$R_i = \infty, V_{TH} = V_{DD} / 2, V_{OH} = V_{DD}, V_{OL} = 0V$$

$$(1) \quad V'_i = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_i + \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_o$$

**与 $v_i, v_o$ 均有关**

$$\text{当 } V'_i < V_{DD} / 2 \Rightarrow v_i < \left(1 - \frac{R_1}{R_2}\right) \cdot V_{TH}$$

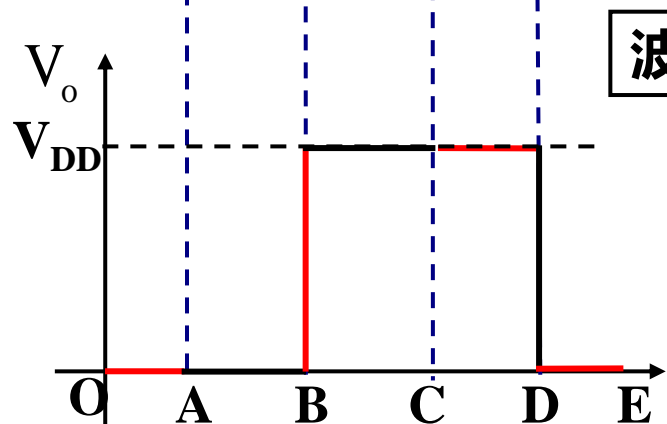
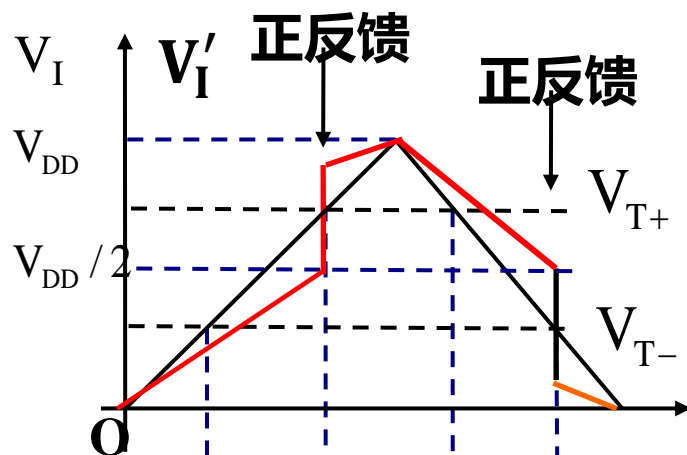
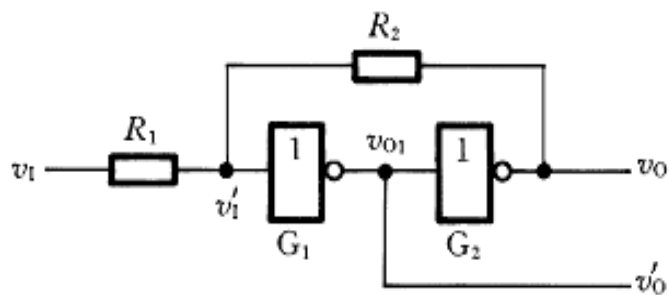
**电路输出低电平**

$V_{T-}$   
**负向阈值电压**

$$\text{当 } V'_i > V_{DD} / 2 \Rightarrow v_i > \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \cdot V_{TH}$$

**电路输出高电平**

$V_{T+}$   
**正向阈值电压**



波形分析

## (2) 当 $V_{T-} < v_i < V_{T+}$ 时?

• 当  $v_i < V_{T-}$  时,  $V_O = 0$  (OA段、DE段)

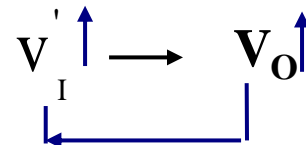
• 当  $v_i > V_{T+}$  时,  $V_O = V_{DD}$  (BC段)

• 当  $v_i$  从 0 变大时

$$V_I' = \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_i$$

$v_i < V_{T+}$  时,  $V_I' < V_{TH}$   $V_O = 0$  (AB段)

$v_i$  略大于  $V_{T+}$  时, 有一正反馈过程

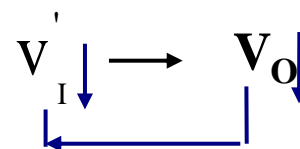


• 当  $v_i$  从  $V_{DD}$  变小时

$$V_I' = \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_i + \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{DD}$$

$v_i > V_{T-}$  时,  $V_I' > V_{TH}$ ,  $V_O = V_{DD}$  (CD段)

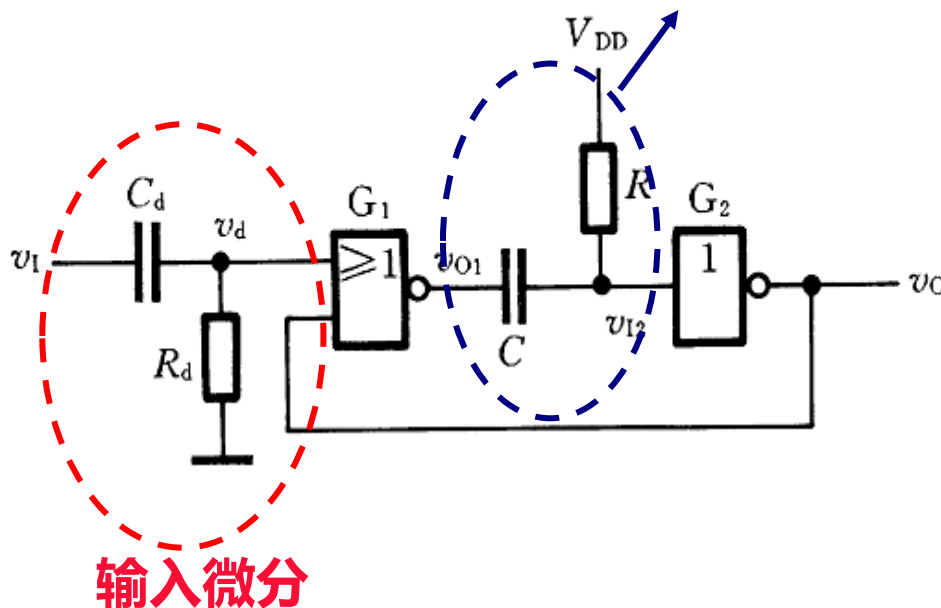
$v_i$  略小于  $V_{T-}$  时, 有一正反馈过程



# 用门电路组成的单稳态触发器

## 微分型单稳态触发器

### 1. 电路组成 (CMOS门和RC微分电路)



**输入微分作用:**  
使触发信号对暂稳持续时间不影响

### 2. 原理:

• 一般:  $R \gg 1k$ , 分析时可忽略  $R_{OH}$ 、 $R_{OL}$  的影响

• 对于CMOS门, 可作以下近似:

$$\begin{cases} V_{OL} = 0V, V_{OH} = V_{DD}; \\ R_i = \infty; \\ V_{TH} = V_{DD} / 2 \end{cases}$$

#### (1) 求稳态:

电路不再充放电, 电路可视为开路。

$$V_{I2} = V_{DD} \Rightarrow V_O = 0V$$

$$V_{O1} = V_{DD}$$

$$V_C = 0V$$

为下一阶段服务

# 多谐振荡器

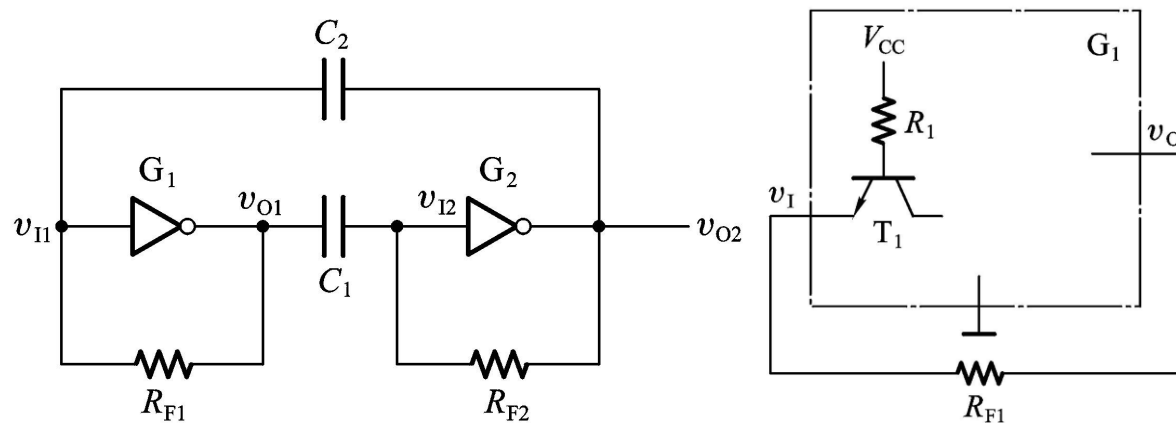
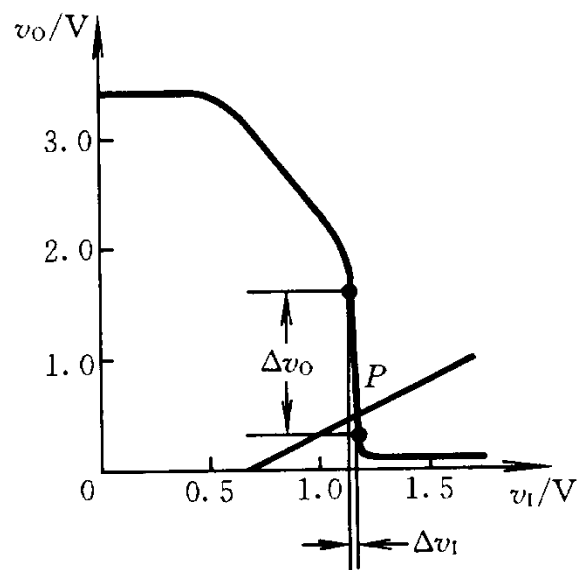
- ❑ 对称式多谐振荡器
- ❑ 非对称式多谐振荡器
- ❑ 环形振荡器
- ❑ 施密特触发器组成的多谐振荡器
- ❑ 石英晶体多谐振荡器

# 多谐振荡器

## 对称式多谐振荡器

### 一、工作原理 (TTL)

(1)静态 (未振荡)  
时应是不稳定的



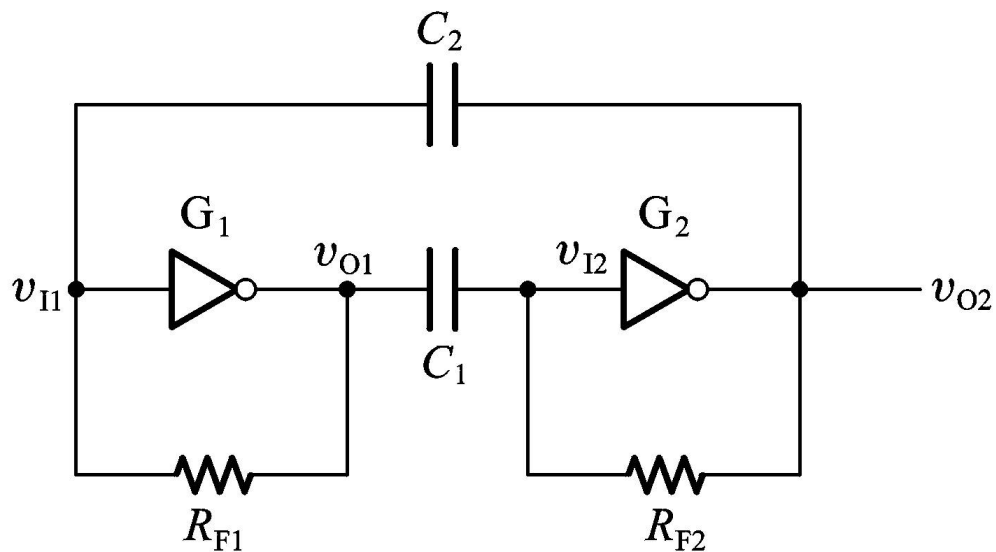
(2)由于“扰动”使 $V_{I1}$ 有微小 $\uparrow$ ，则有：

$$V_{I1} \uparrow \rightarrow V_{O1} \downarrow \rightarrow V_{I2} \downarrow \rightarrow V_{O2} \uparrow$$

使 $V_{O1}$ 迅速跳变为低，而  
 $V_{O2}$ 迅速跳变为高。

电路进入第一个暂稳态，  
 $C_1$ 开始充电， $C_2$ 开始放电。





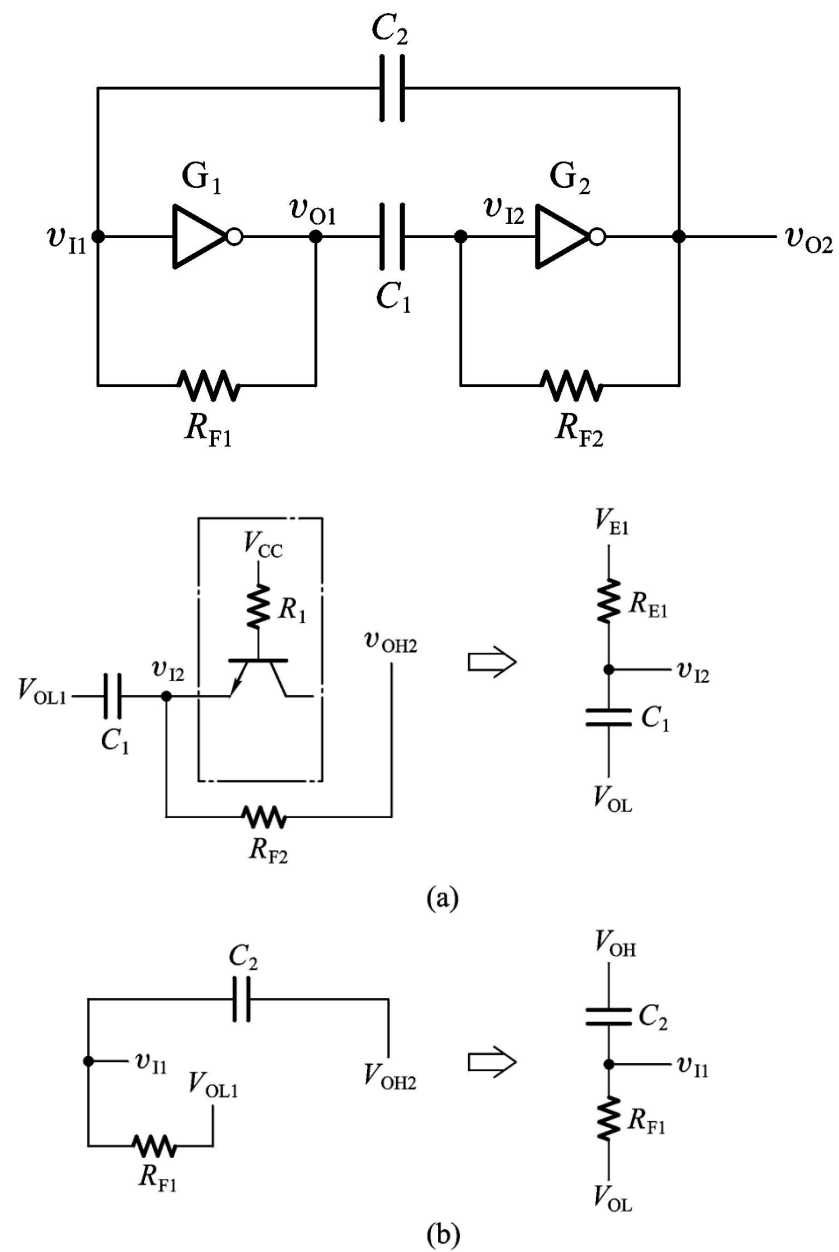
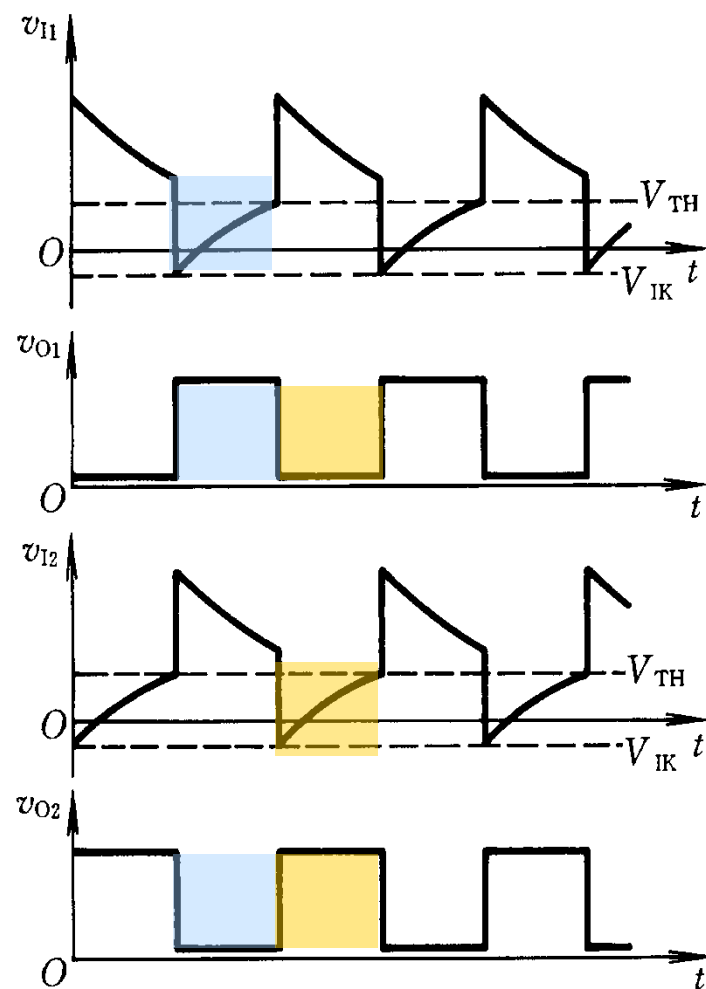
(3)当  $V_{I2}$  充至  $V_{TH}$  时, 再  $\uparrow$  将引起如下正反馈:

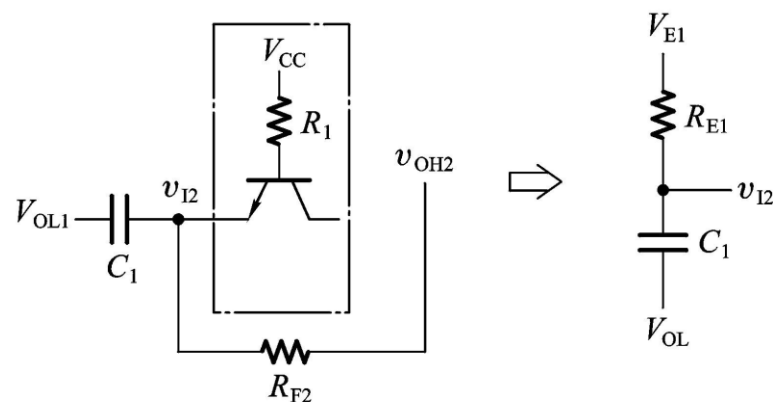
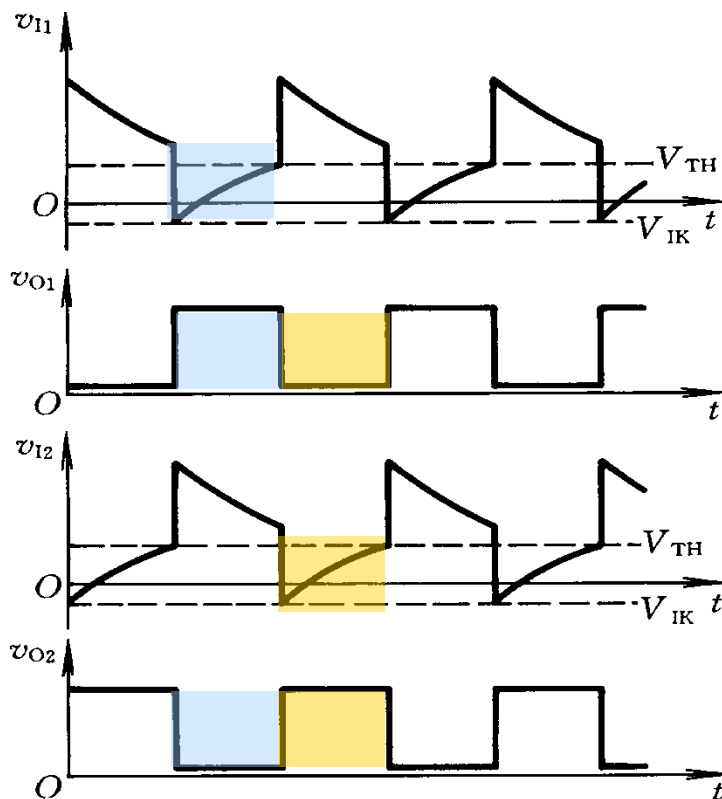
$$V_{I2} \uparrow \rightarrow V_{O2} \downarrow \rightarrow V_{I1} \downarrow \rightarrow V_{O1} \uparrow$$

使  $V_{O1}$  迅速跳变为高, 而  
 $V_{O2}$  迅速跳变为低。

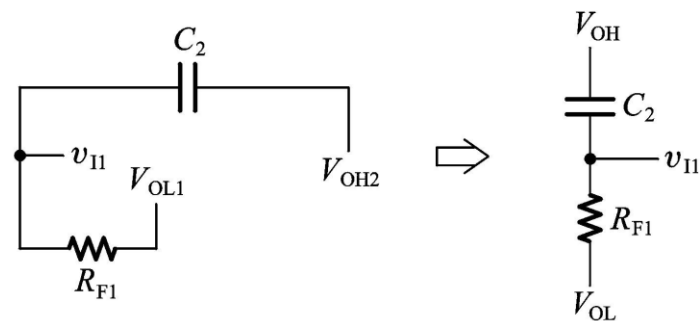
电路进入第二个暂稳态,  
 $C_2$  开始充电,  $C_1$  开始放电。

## 二、电压波形





(a)



(b)

### 三、振荡频率计算

$T = V_{I1}$  从充电开始到充至  $V_{TH}$  的时间 +  $V_{I2}$  从充电开始到充至  $V_{TH}$  的时间

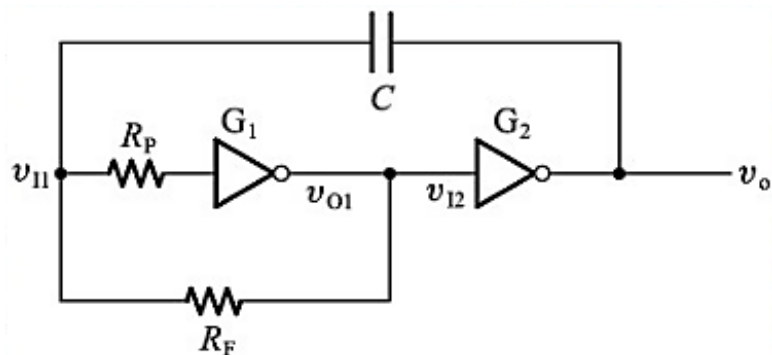
$$V_E = V_{OH} + (V_{CC} - V_{BE} - V_{OH}) \frac{R_{F2}}{R_1 + R_{F2}} \quad \rightarrow \quad T = 2R_E C \ln \frac{V_E - V_{IK}}{V_E - V_{TH}}$$

$$R_E = R_1 // R_{F2}$$

# 多谐振荡器

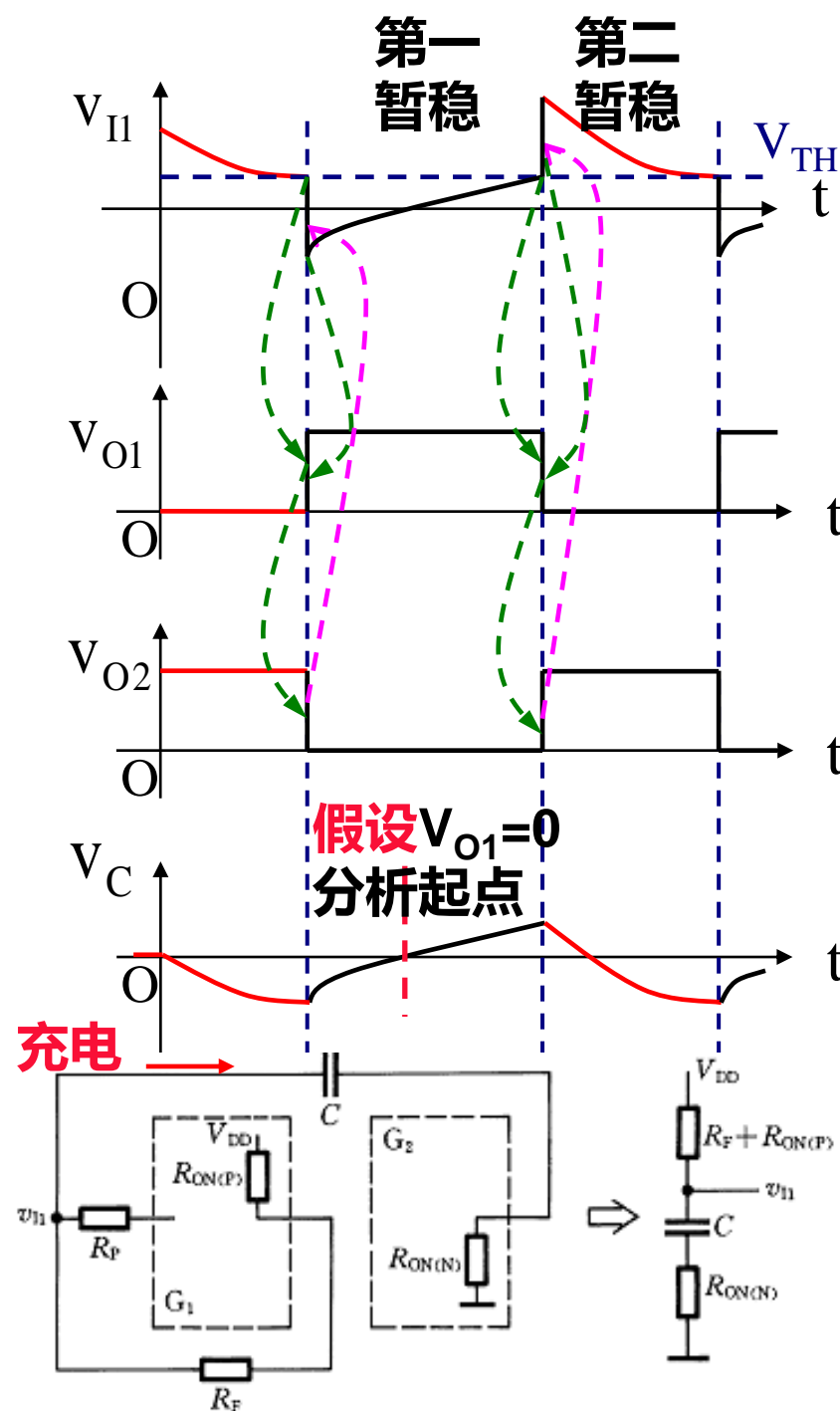
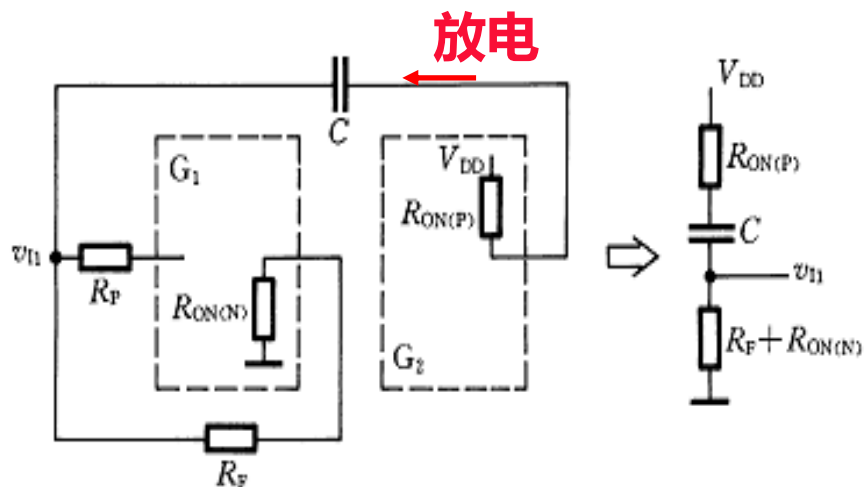
## 非对称式多谐振荡器电路

1. 电路组成:  $V_C$



2. 原理: 以CMOS器件为例分析

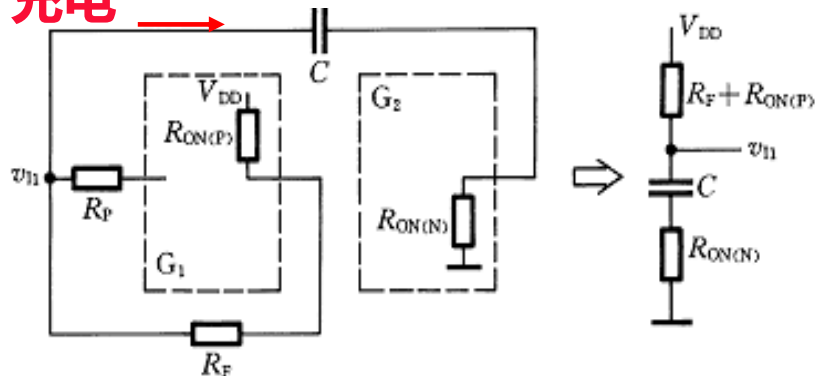
• 电路分析起点:  $\begin{cases} \text{开机瞬间: } v(0^-)=0 \\ \text{假设 } V_{O1}=0 \end{cases}$



### 3. 计算振荡周期

#### (1) 计算 $t_{w1}$ :

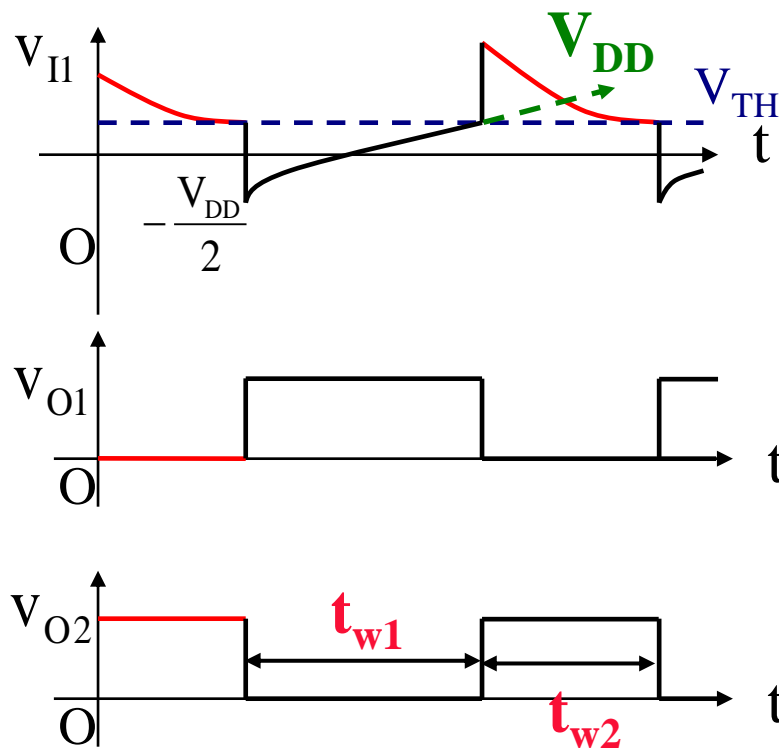
充电



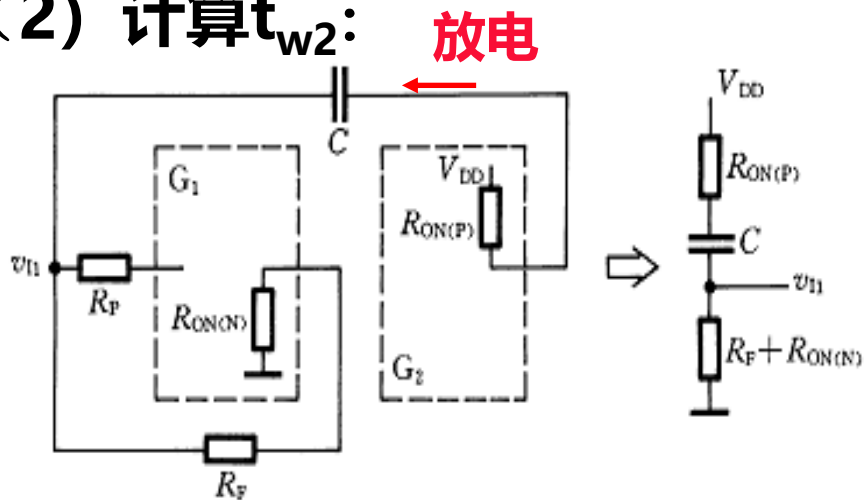
$$\begin{cases} v_{I1}(0^+) = -0.5V_{DD} \\ v_{I1}(\infty) = V_{DD} \\ \tau = (R_{ON(P)} + R_f)C \approx R_f C \end{cases}$$

$$v_{I1}(t) = V_{DD} - 1.5V_{DD}e^{-t/\tau}$$

$$\because V_{TH} = V_{DD}/2 \quad \therefore t_{w1} = \tau \ln 3 = R_f C \ln 3$$



## (2) 计算 $t_{w2}$ :

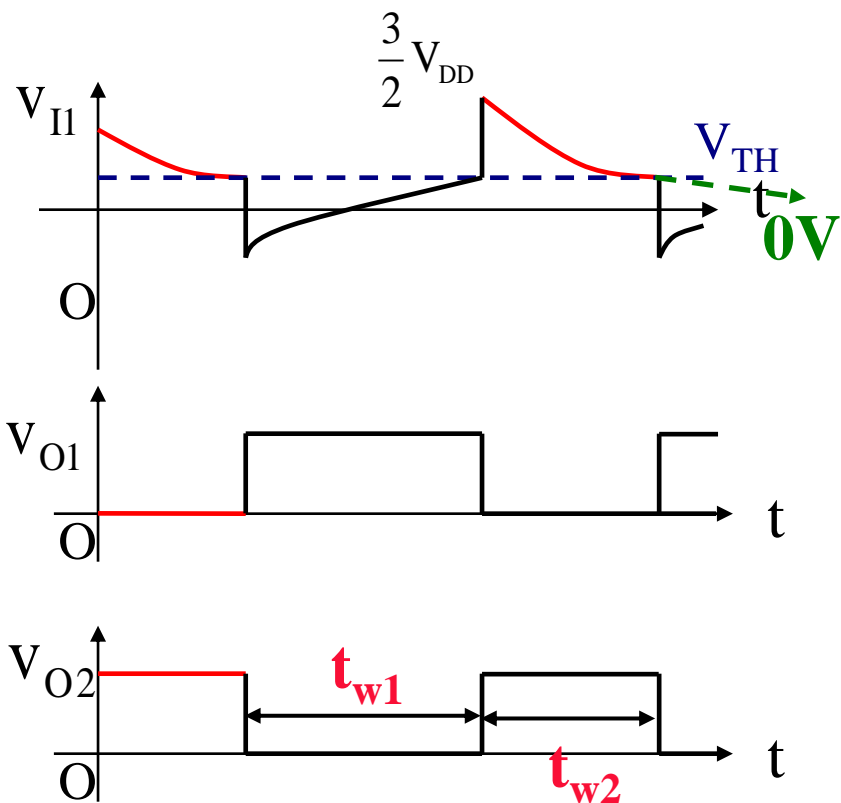


$$\begin{cases} v_{I1}(0^+) = 1.5V_{DD} \\ v_{I1}(\infty) = 0 \\ \tau = (R_{ON(P)} + R_f)C \approx R_f C \end{cases}$$

$$v_{I1}(t) = 1.5V_{DD}e^{-t/\tau}$$

$$\because V_{TH} = V_{DD}/2$$

$$\therefore t_{w2} = \tau \ln 3 = R_f C \ln 3$$

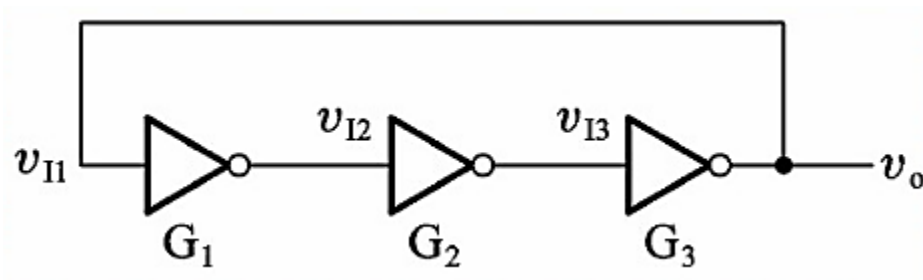


## 周期

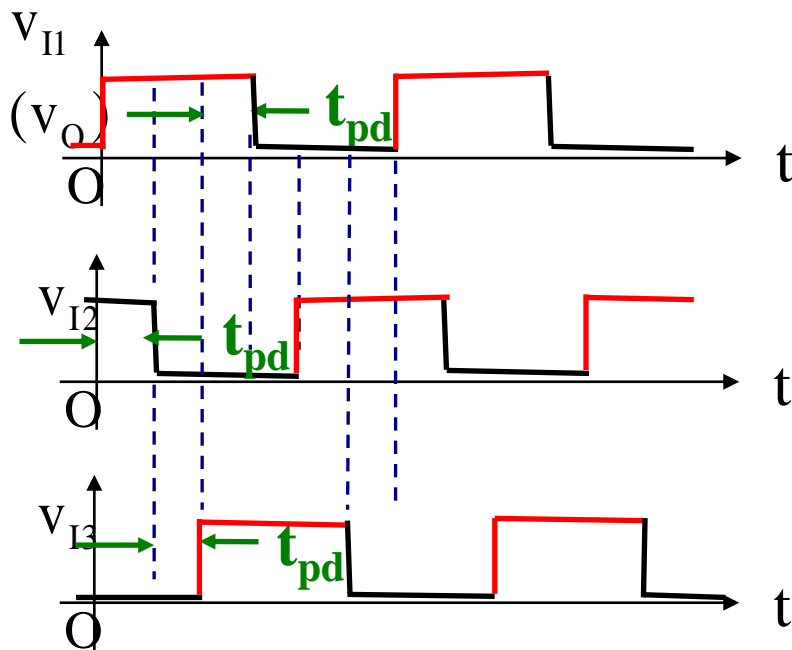
$$T = t_{w1} + t_{w2} = 2R_f C \ln 3$$

# 环形振荡器

## 1. 电路组成:



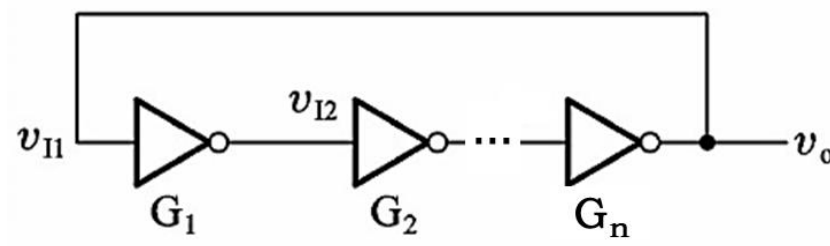
## 2. 波形分析: 以 $V_O$ 从 0 变为 1 开始



## 3. 周期:

$$T = 6t_{pd}$$

## 4. 推广:

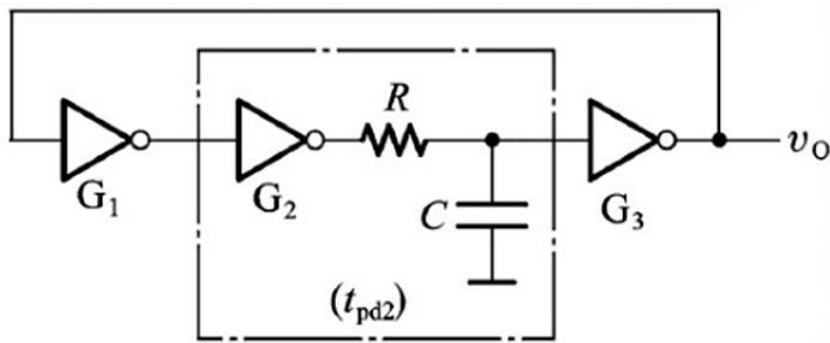


其中:  $n$  为奇数, 且  $n \geq 3$

$$T = 2nt_{pd}$$

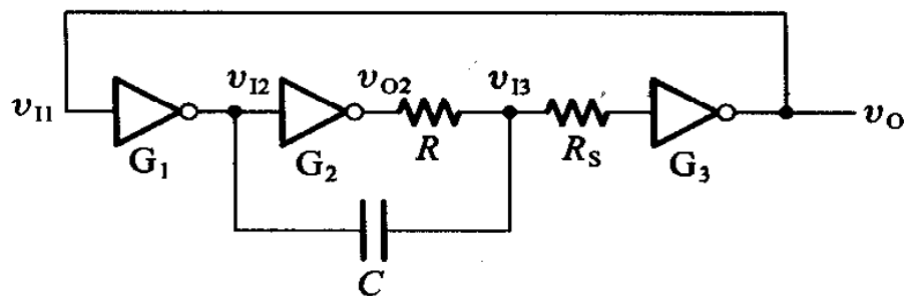
# 带RC延时的环形振荡器

## (1) 原理性电路



目的：获取较低振荡频率

## (2) 实用电路



对于TTL要求：  $R < R_{OFF}$ ,  $R_S < R_{OFF}$

## 特点：

- 频率高，获取低频脉冲困难
- 频率不稳定，且频率不易调节

## 振荡周期：

CMOS

$$T = 2RCLn3 \approx 2.2RC$$

TTL (估算)

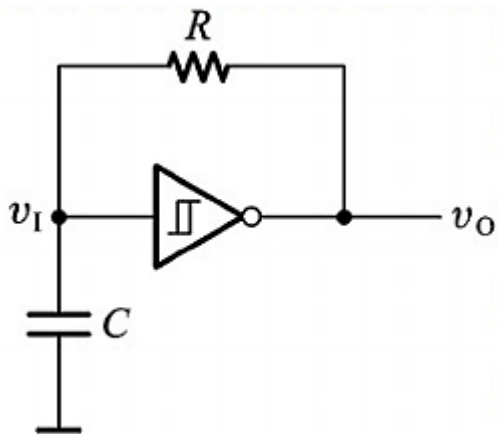
$$T \approx 2.2RC$$

与R、 $R_S$ 及TTL类型有关

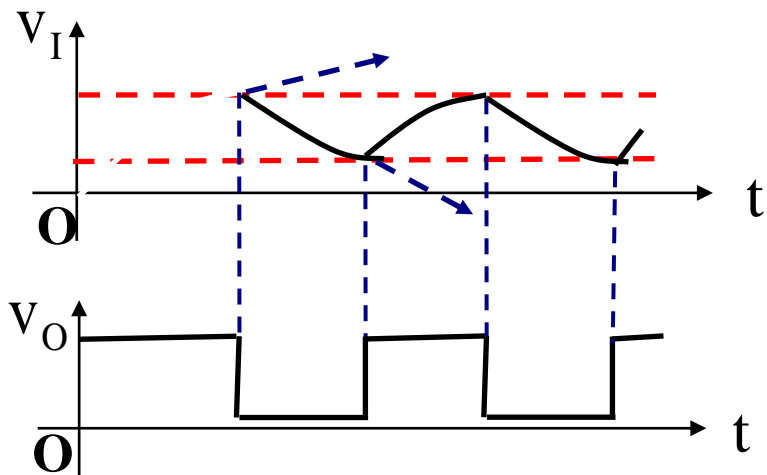


# 用施密特触发器构成的多谐振荡器

## 1. 电路结构



## 2. 原理

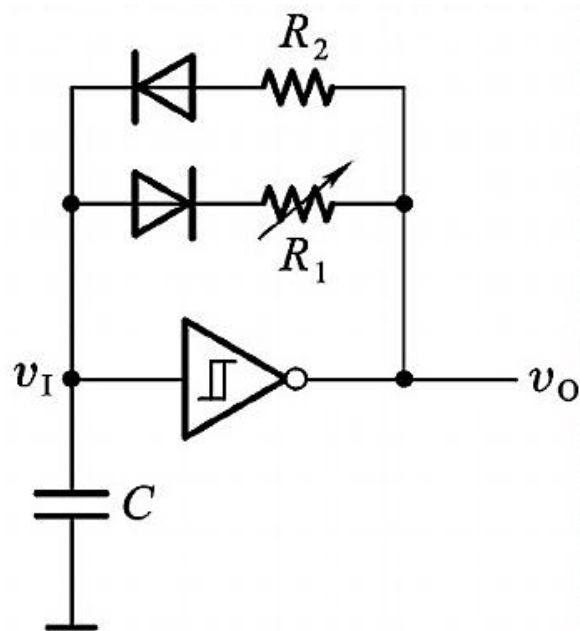


## 3. 振荡周期

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

## 4. 改进型

目的，调节占空比



# 石英晶体多谐振荡电路

## 一、RC振荡器的缺点

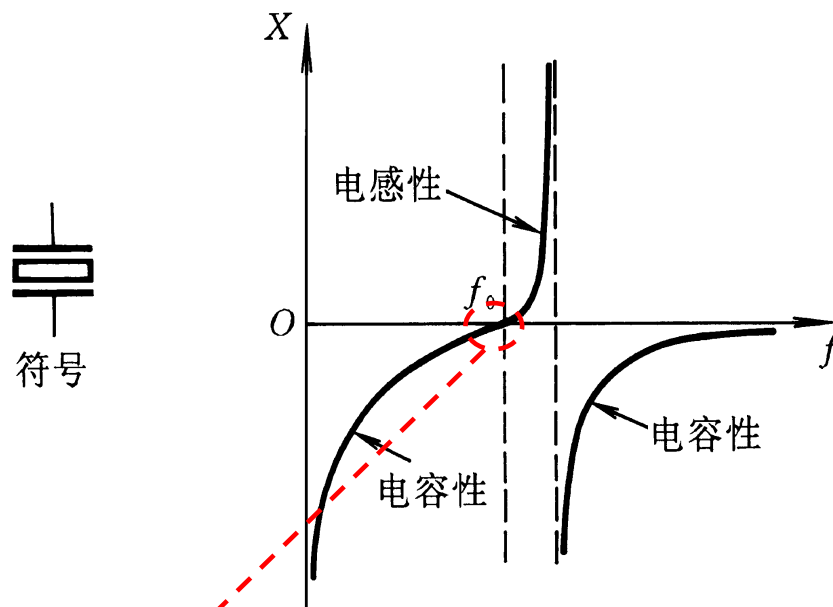
### 频率稳定性差

- $f$ 与 $V_T$ 有关，因此频率受温度、电源电压影响
- 易受干扰
- RC本身也不稳定

### 解决方法

- 石英晶体多谐振荡器

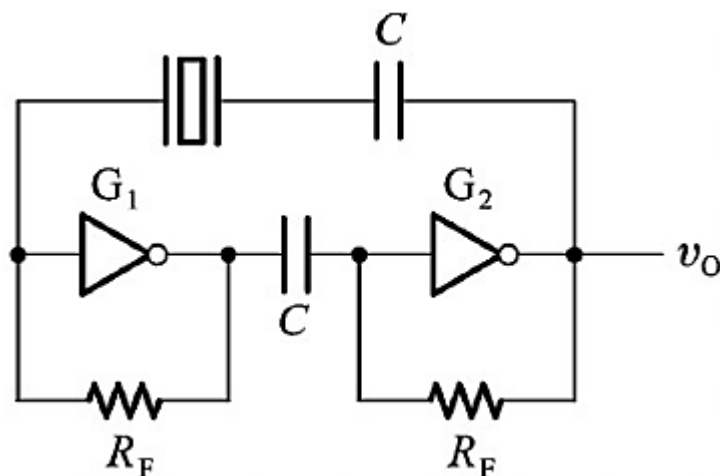
## 二、石英晶体的电抗频率特性曲线



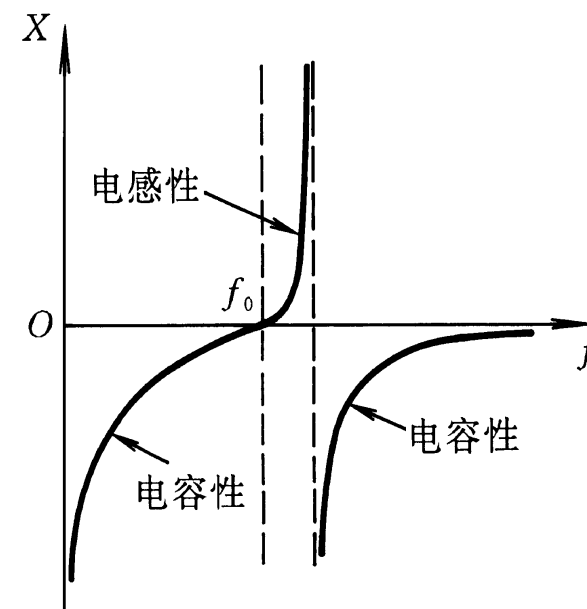
由电抗频率特性可知，当外加电压频率为 $f_0$ 时，其阻抗最小，此频率的信号最易通过，其他频率信号被衰减，故振荡器工作在频率 $f_0$ 处

# 石英晶体多谐振荡电路

## 三、电路结构



石英晶体多谐振荡电路



石英晶体多谐振荡电路的振荡频率取决于石英晶体的固有谐振频率 $f_0$ ,而与外接电阻、电容无关

1922年美国卡第提出用石英压电效应调制电磁振荡的频率。巴黎广播电台首先用**严济慈**制作的石英振荡片实现了无线电播音中的稳频