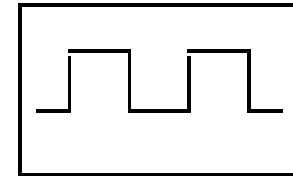


§7.4 多谐振荡器

Astable Multivibrators (Oscillators)

产生矩形波的自激振荡器

- 1) 两个不稳定状态 $\begin{cases} Q = 0, \bar{Q} = 1 \\ Q = 1, \bar{Q} = 0 \end{cases}$ 符号 :
- 2) 无触发信号
- 3) 输出: 周期性的从一个暂稳态转到另一个暂稳态

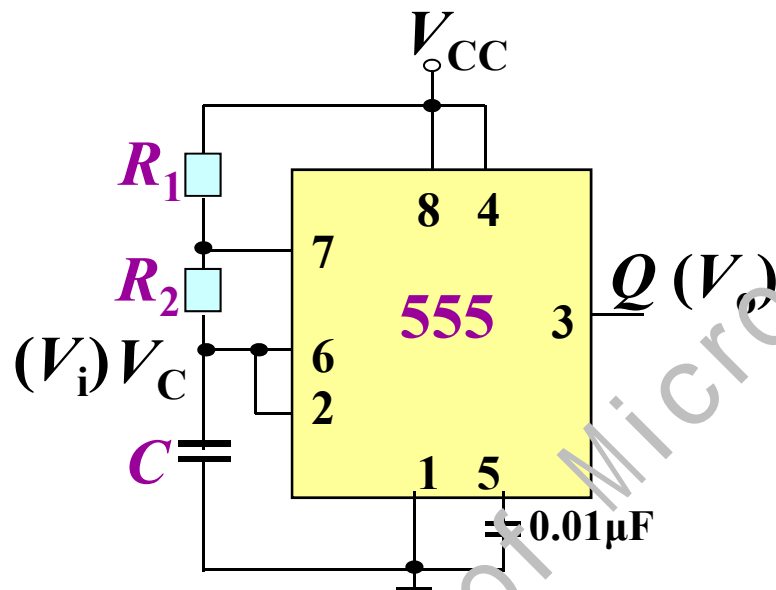


许多电路可以组成多谐振荡器, 如 CMOS逻辑门, Shmitt-FF, 石英晶体, 555 定时器等

利用RC电路中电容的充放电来改变电平的高低

§7.4.1 555 定时器构成的多谐振荡器

Astable Multivibrator Composed of 555 Timer



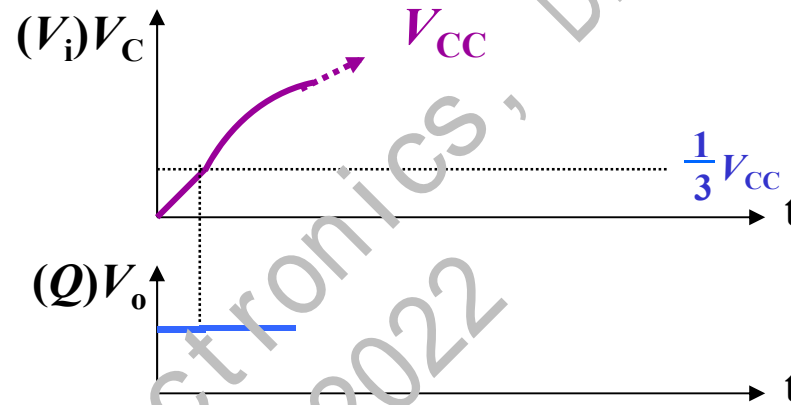
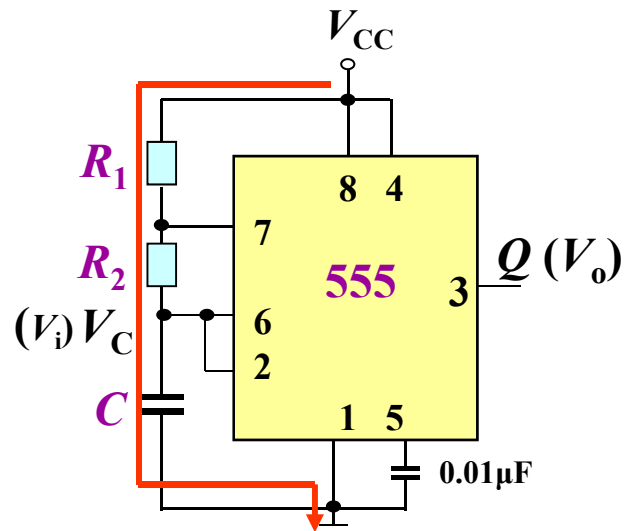
2, 6 端相连, 接入RC电路的串联点

7端连接RC电路放电点

定时元件: R_1, R_2, C

利用放电管 (7端) 和电容充放电改变电压

工作原理

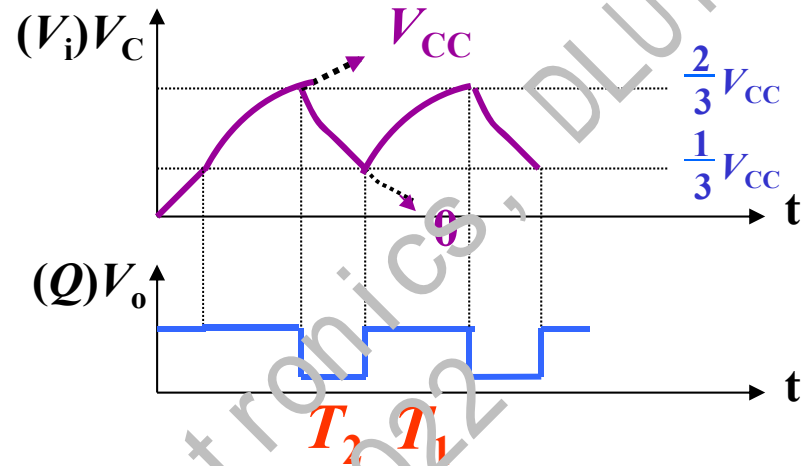
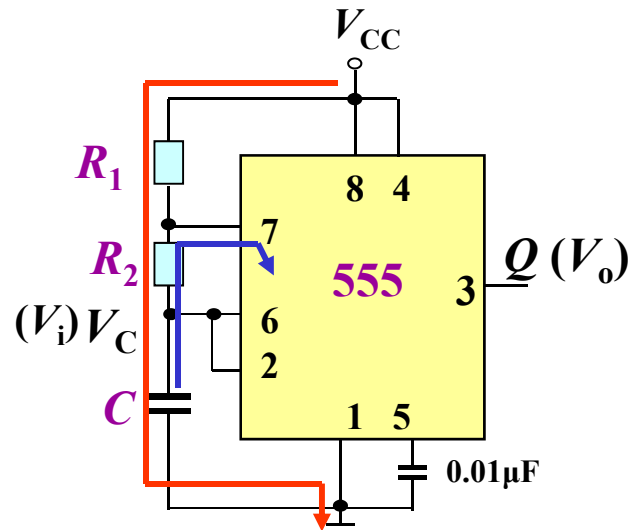


电源刚接通, $V_C = 0$ 电容上电压不能跳变

$Q = 1$ ($V_i < 1/3 V_{CC}$) $\overline{Q} = 0$, T 截止 (7 断开)

C : 充电 充电路径: $V_{CC} \rightarrow R_1 \rightarrow R_2 \rightarrow C \rightarrow \text{地}$

$V_C \uparrow$, $1/3 V_{CC} < V_C < 2/3 V_{CC}$ Q : 保持



当 $V_C \rightarrow \frac{2}{3} V_{CC}$ $Q = 0$, $\bar{Q} = 1$, T 导通 (7 地)

C: 放电 $C \rightarrow R_2 \rightarrow T \rightarrow \text{地}$

$V_C \downarrow$ 当 $V_C \rightarrow \frac{1}{3} V_{CC}$

$Q = 1$, $\bar{Q} = 0$, T 截止 **C: 再充电**

两个暂稳态持续时间 T_1 , T_2

高电平时间：

$$T_1 = \tau_1 \ln \frac{V_C(\infty) - V_C(0^+)}{V_C(\infty) - V_C(T_1)} = (R_1 + R_2)C \ln \frac{V_{CC} - \frac{1}{3}V_{CC}}{V_{CC} - \frac{2}{3}V_{CC}} = 0.7(R_1 + R_2)C$$

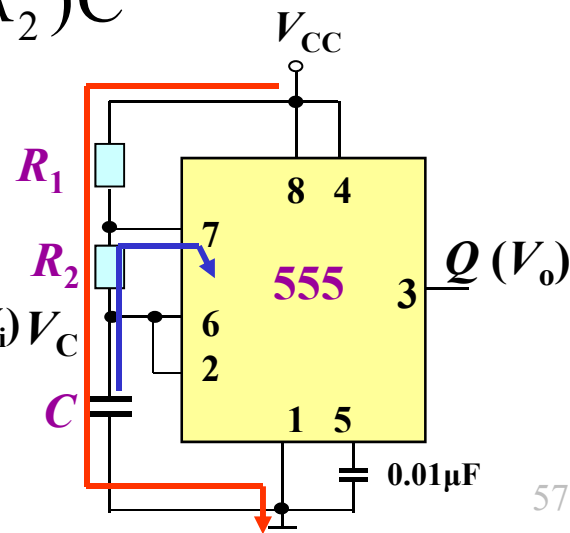
低电平时间：

$$T_2 = \tau_2 \ln \frac{V_C(\infty) - V_C(0^+)}{V_C(\infty) - V_C(T_2)} = R_2C \ln \frac{0 - \frac{2}{3}V_{CC}}{0 - \frac{1}{3}V_{CC}} = 0.7 R_2C$$

振荡周期 T ： $T = T_1 + T_2 = 0.7(R_1 + 2R_2)C$

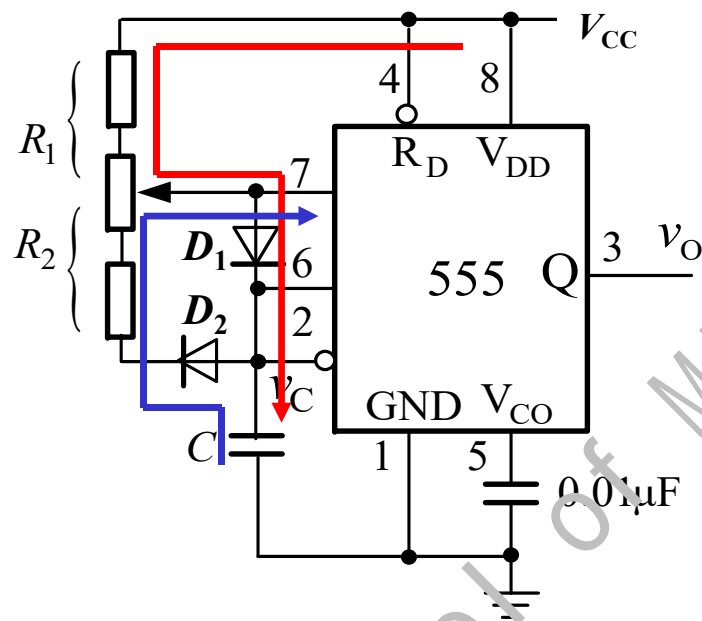
频率 f ： $f = \frac{1}{T}$

占空比： $q = \frac{T_1}{T} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2} > \frac{1}{2}$



占空比可调的多谐振荡器

利用二极管的单向导电特性，把电容充放电回路隔离开，加上滑动变阻器，构成占空比可调的多谐振荡器。



充放电原理相同，
充放电回路不同

当 $V_O = 1$, T截止 (7 断开),

C充电路径: $V_{CC} \rightarrow R_1 \rightarrow D_1 \rightarrow C \rightarrow \text{地}$

时间常数: $\tau_1 = R_1 C$

$V_C \uparrow \quad V_C > \frac{2}{3} V_{CC} \quad V_O(Q) = 0,$

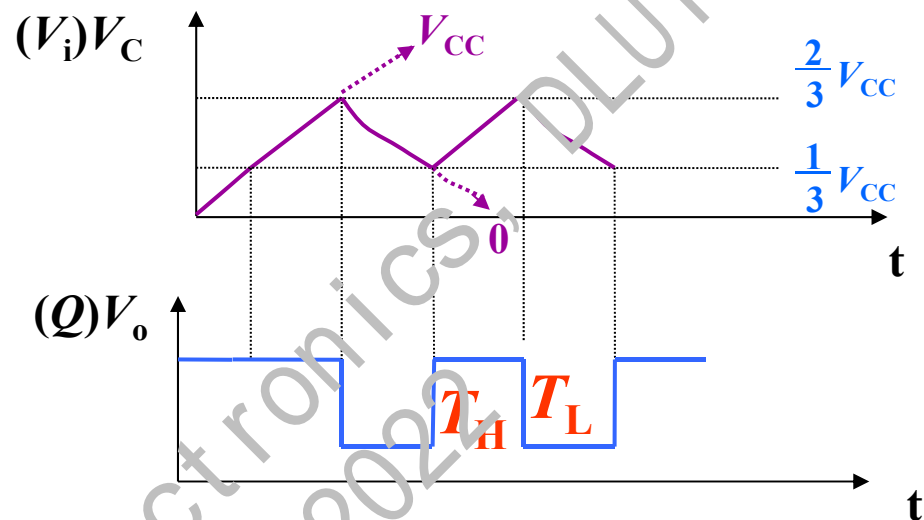
T 导通, C: 放电

放电路径: $C \rightarrow D_2 \rightarrow R_2 \rightarrow T \rightarrow \text{地}$

时间常数: $\tau_2 = R_2 C$

两个暂稳态时间

$$\left\{ \begin{array}{l} T_H = 0.7R_1C \\ T_L = 0.7R_2C \end{array} \right.$$



周期

$$T = T_H + T_L = 0.7(R_1 + R_2)C$$

占空比

$$q = \frac{T_H}{T} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

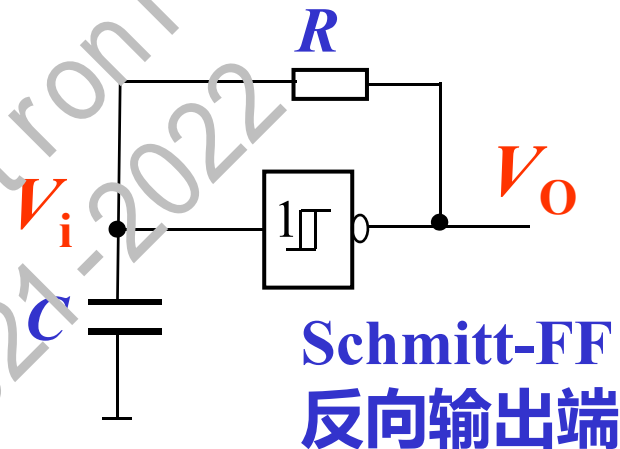
当 $R_1 = R_2$ $q = \frac{1}{2}$ 方波

§7.4.2 Schmitt-FF构成的多谐振荡器

施密特触发器滞后

回差电压

$$\Delta V = V_{T+} - V_{T-}$$



将Schmitt-FF反向输出端经 RC 积分回路接入输入端，利用输入电压在 V_{T+} 与 V_{T-} 之间往复变化，在输出端得到矩形脉冲。

工作原理:

初始, $V_C = 0$,
 V_i 低, V_O 高

充电: $V_O \rightarrow R \rightarrow C$

当 $V_i = V_{T+}$, V_O 跳变到低

放电: $C \rightarrow R$ 当 $V_i = V_{T-}$, V_O 跳变到高

电路振荡

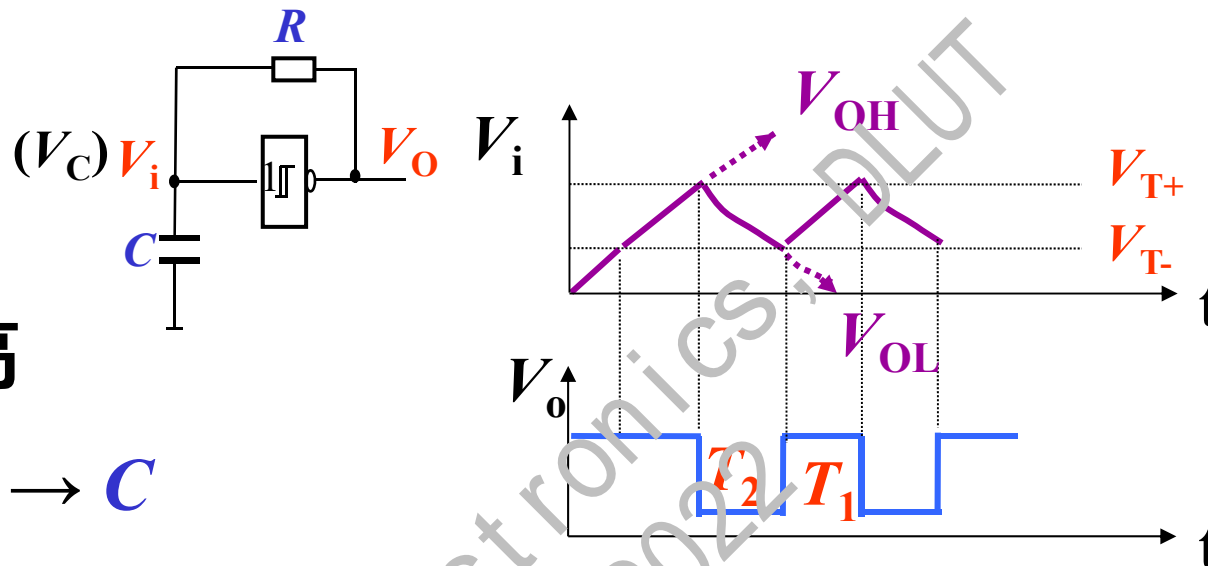
高、低电平时间:

$$T_1 = RC \ln \frac{V_{OH} - V_{T-}}{V_{OH} - V_{T+}} = 0.7RC$$

$$T_2 = RC \ln \frac{V_{OL} - V_{T+}}{V_{OL} - V_{T-}} = 0.7RC$$

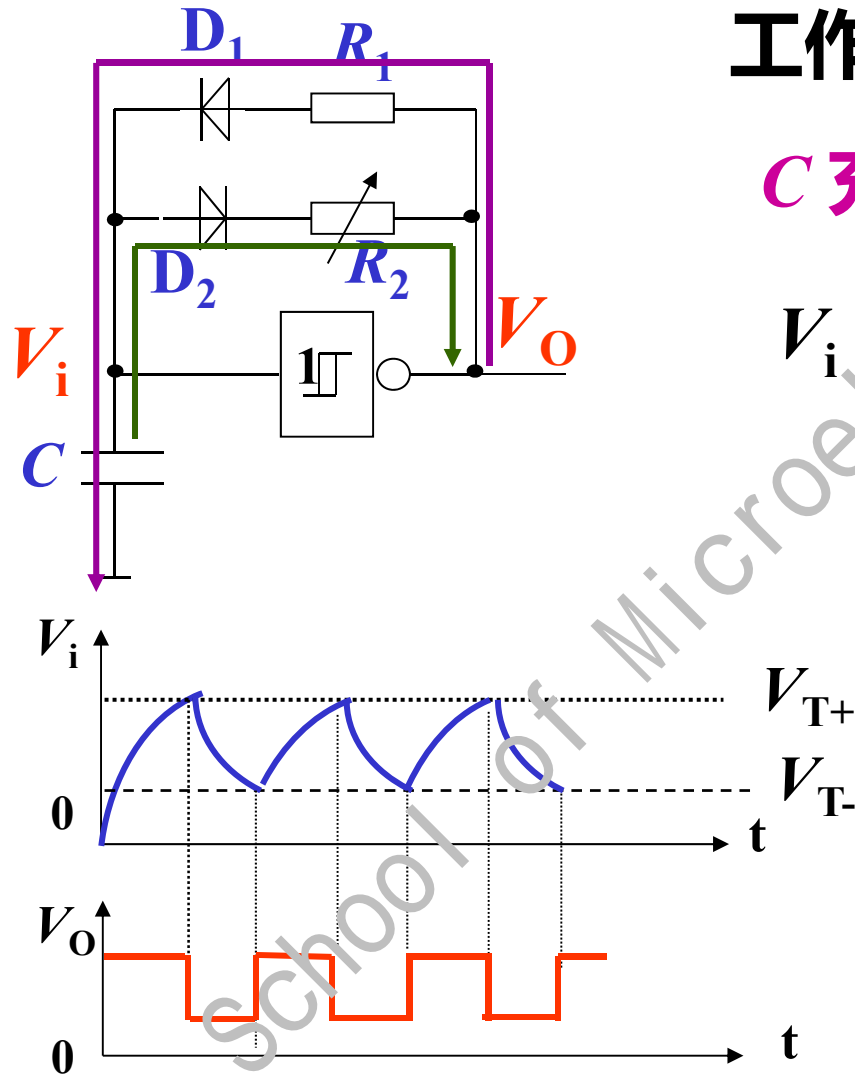
$$T_1 = T_2 = 0.7RC$$

方波, 占空比不可调



占空比可调振荡器

电路



工作原理: 设 $V_o = \text{高电平}$,

C 充电 $V_o \rightarrow R_1 \rightarrow D_1 \rightarrow C \rightarrow \text{地}$

$V_i \uparrow$ 当 $V_i = V_{T+}$, $V_o = \text{低}$

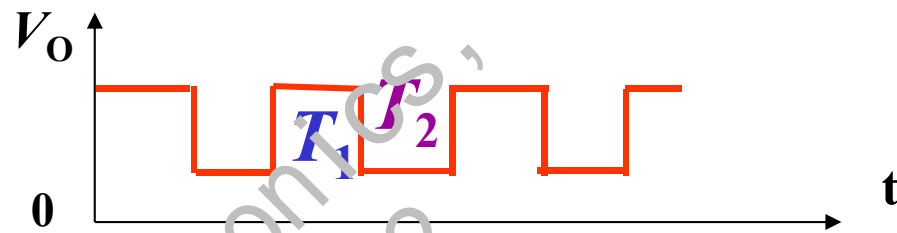
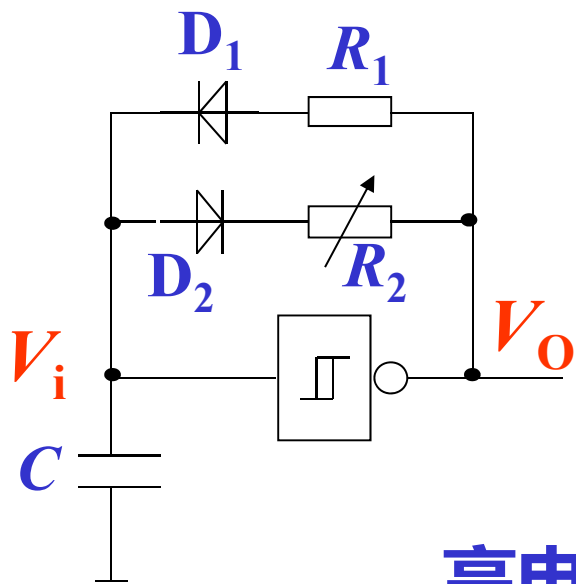
C 放电: $C \rightarrow D_2 \rightarrow R_2$

$V_i \downarrow$ 当 $V_i = V_{T-}$

$V_o = \text{高电平}$, C 充电

$V_i \uparrow$

输出矩形波



高电平时间 $T_1: T_1 = 0.7 R_1 C$

低电平时间 $T_2: T_2 = 0.7 R_2 C$

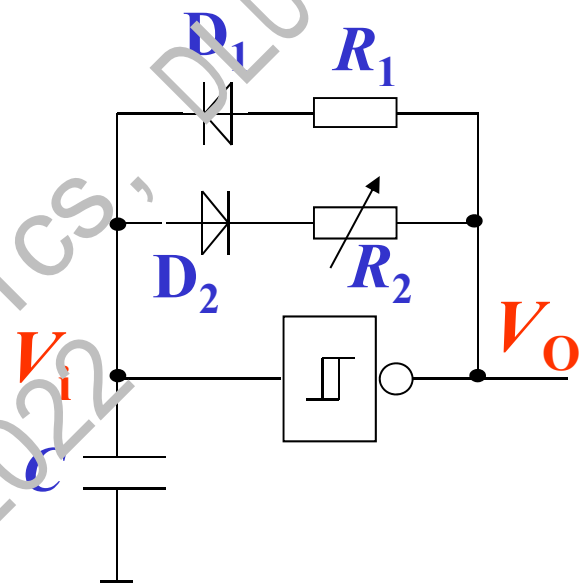
周期 $T: T = T_1 + T_2 = 0.7(R_1 + R_2)C$

占空比 $q = \frac{T_1}{T} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$

例1. 已知右图电路中

Schmitt-FF 为CMOS 电路

**CC40106, $V_D = 12\text{ V}$, $R_1 = R_2$
 $= 20\text{ k}\Omega$, $C = 0.01\mu\text{F}$, 试求该
电路的振荡周期 T**



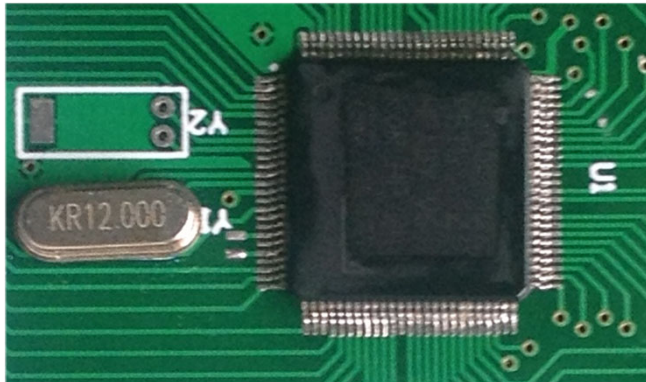
周期 T : $T = T_1 + T_2 = 0.7(R_1 + R_2)C$

$$= 0.7 \times (2 \times 20 \times 10^3) \times 0.01 \times 10^{-6}$$

$$= 280\text{ }\mu\text{s}$$

§7.4.3 石英晶体振荡器

Quartz Crystal Oscillators



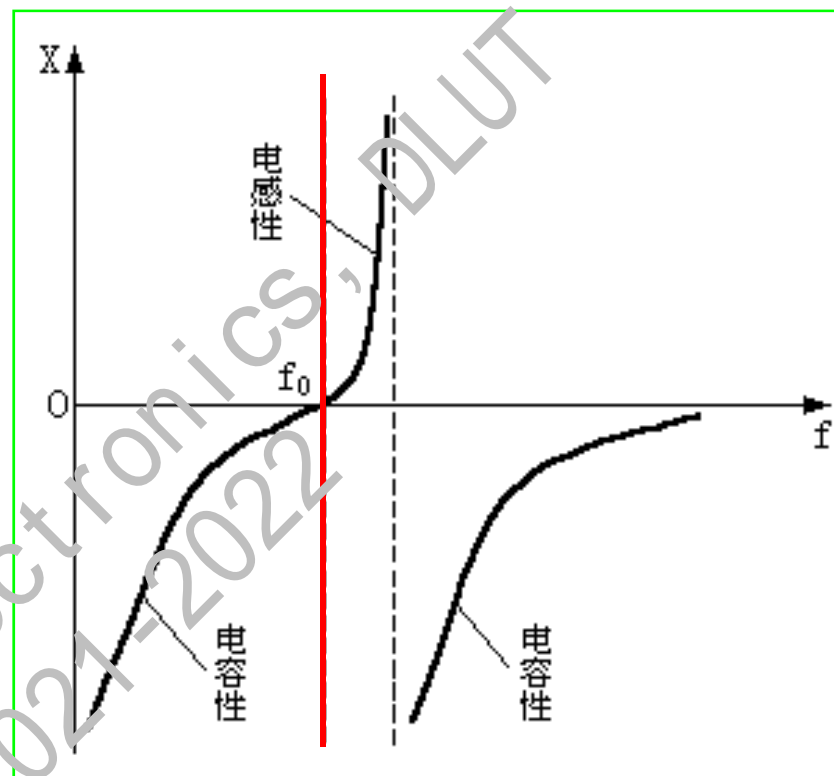
多谐振荡器的**振荡频率不稳定**，容易受**温度、电源电压波动和RC参数误差**的影响。

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，随后各国相继采用。无线广播振荡电磁回路稳频成为压电晶体的最重要应用之一

石英晶体具有很好的**选频特性**。

当振荡信号频率和石英晶体**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，而其它频率的信号则被衰减掉。



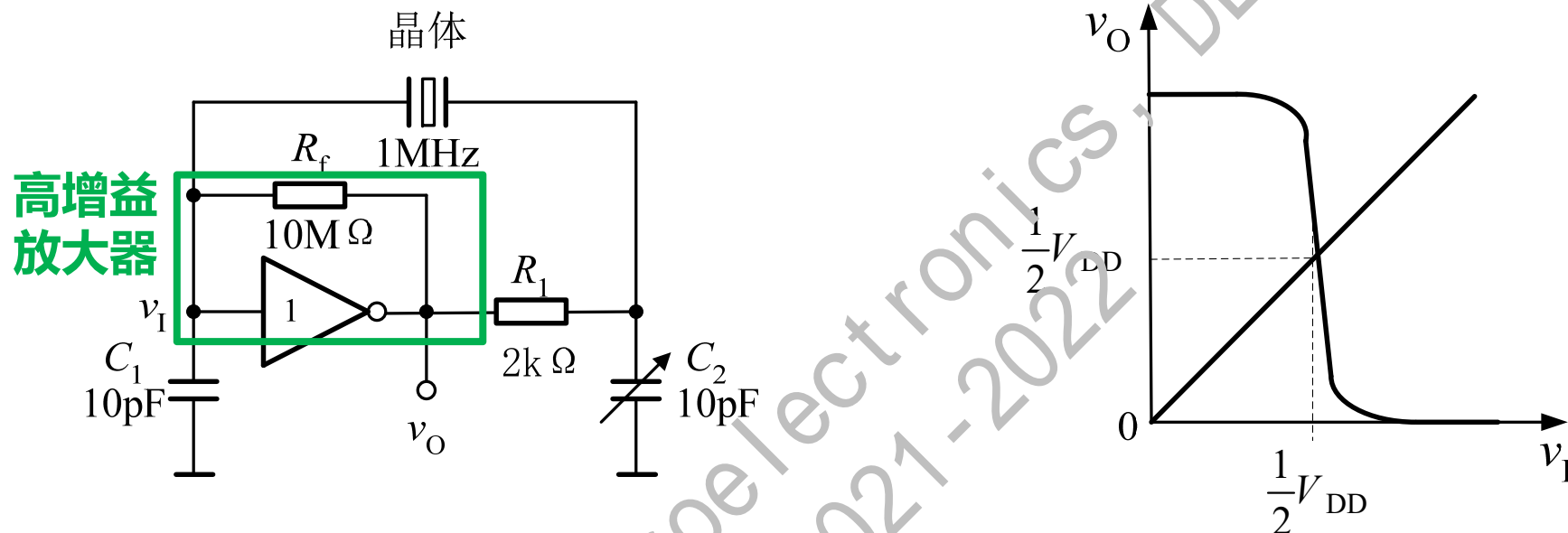
石英晶体的阻抗频率特性图

振荡器的工作频率等于石英晶体的谐振频率 f_0 ，而**与RC无关**

石英晶体振荡频率 { 结晶方向
外形尺寸



电路



精度达到 10^{-6} ，典型石英晶体振荡器频率为32768Hz。
因为 $32768 = 2^{15}$ ，将32768Hz经过15次二分频，即可得到1Hz的时钟脉冲作为计时标准

§7.4.4 多谐振荡器应用

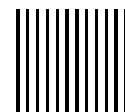
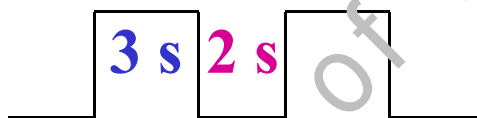
Applications of Astable Multivibrators

例 1. 用555定时器设计一个每隔2 s振荡3 s的多谐振荡器, 其振荡频率为200 Hz, $q = 1/2$, 电容取10 μF

分析: 两个振荡器

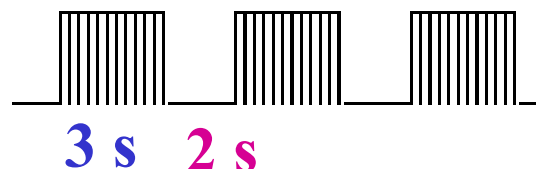
I: 振荡 3 s, 停 2 s

II: 频率: 200 Hz $q = \frac{1}{2}$



200 Hz

两个振荡器:



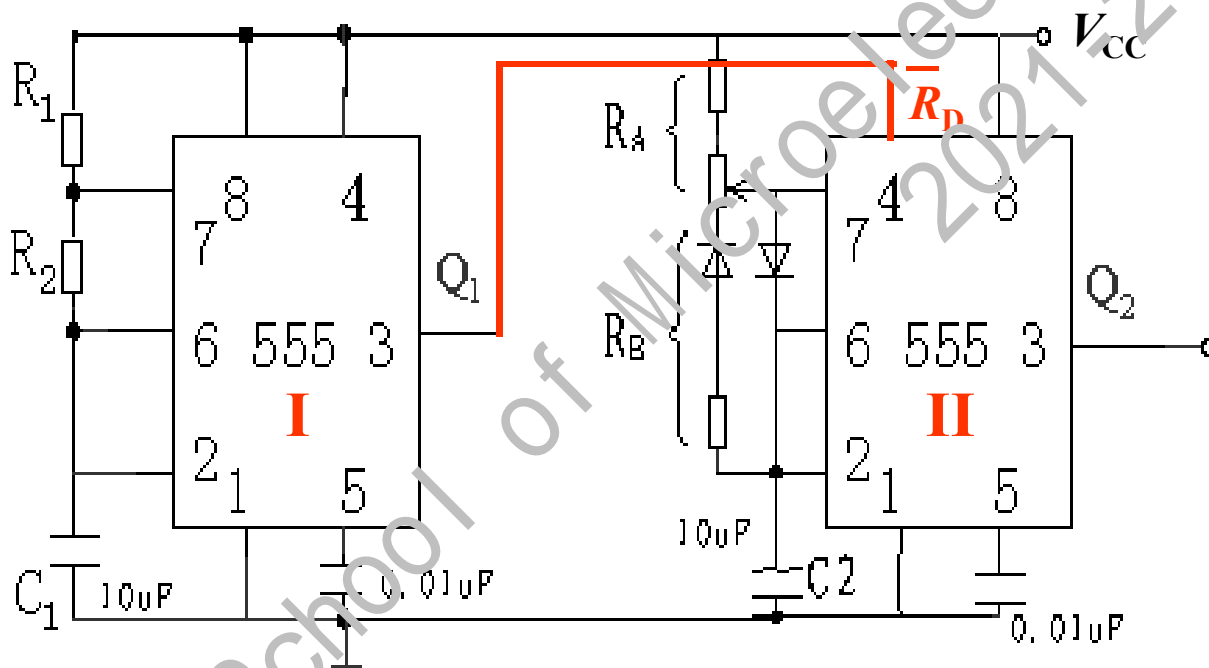
I: $q > 1/2$, 用不可调类型

II: $q = 1/2$, 用占空比可调型

用555定时器的 4 脚复位端来控制II是否工作



$\begin{cases} \bar{R}_D = 1, \text{ II 工作} \\ \bar{R}_D = 0, \text{ II 清0, 停} \end{cases}$



$Q_1 = 1, \bar{R}_D = 1$

II 工作;

$Q_1 = 0, \bar{R}_D = 0$

II 停止,

$V_0 = Q_2 = 0$

电路参数:

振荡器I: 已知

$$\left\{ \begin{array}{l} T = 3 + 2 = 5 \text{ s} \\ q = \frac{3}{5} \quad C_1 = 10 \mu\text{F} \end{array} \right.$$

$$T = 0.7(R_1 + 2R_2)C_1 = 5 \text{ s}$$

$$q = \frac{T_1}{T} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2} = \frac{3}{5}$$

$$R_2 = 2R_1$$

$$5 = 0.7(R_1 + 4R_1) \times 10 \times 10^{-6}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} R_1 = 143 \text{ K}\Omega \\ R_2 = 286 \text{ K}\Omega \end{array} \right.$$

振荡器II: 已知

$$\left\{ \begin{array}{l} f = 200 \text{ Hz}, \quad T = \frac{1}{f} = \frac{1}{200} = 0.005 \text{ s} \\ q = \frac{1}{2} \quad C_2 = 10 \mu\text{F} \end{array} \right.$$

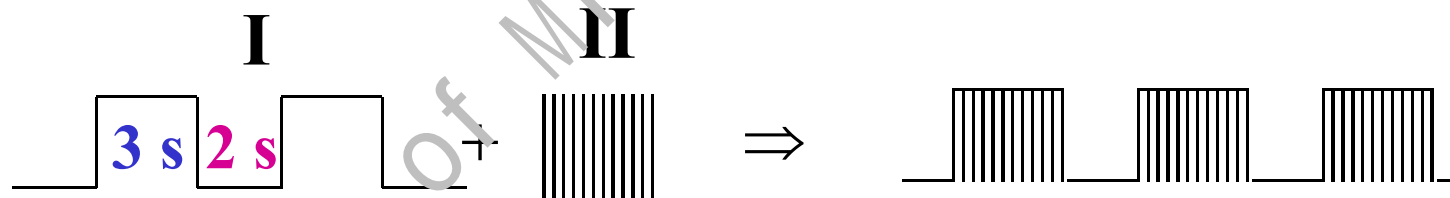
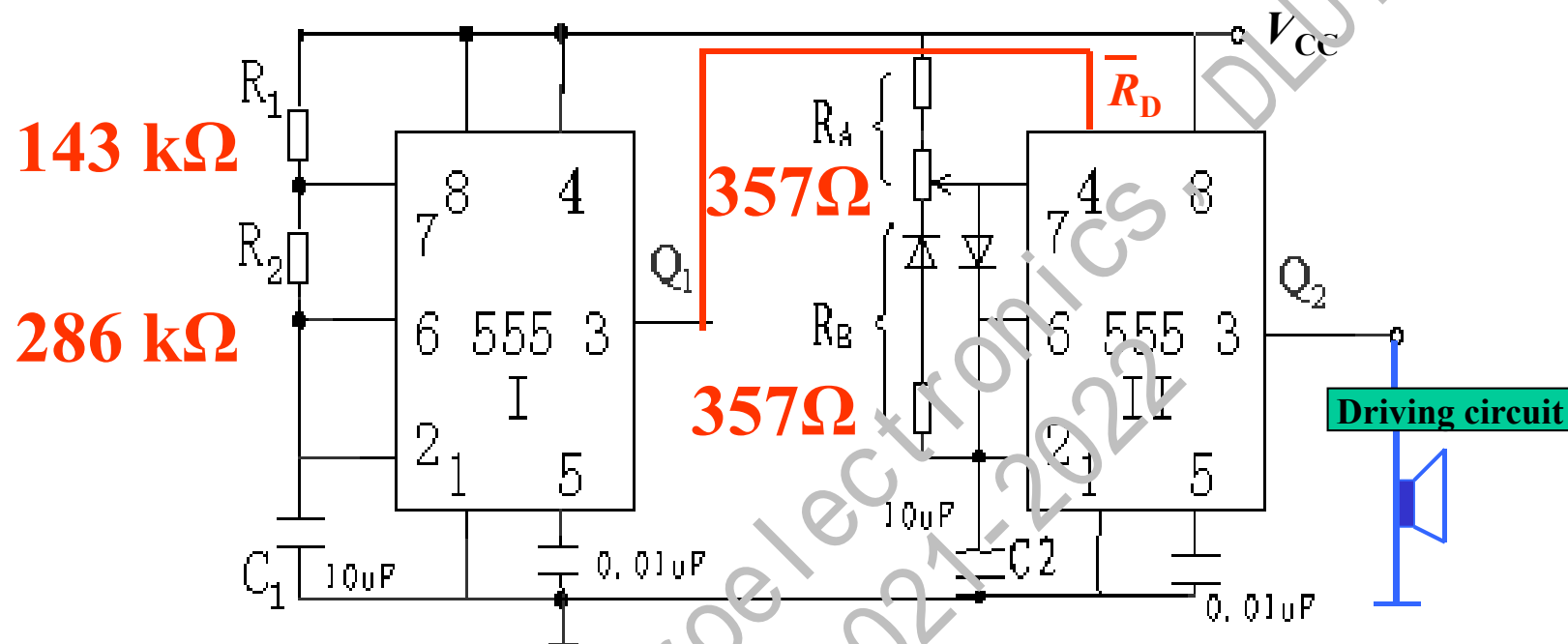
$$T = 0.7(R_A + R_B)C_2 = 0.005 \text{ s}$$

$$q = \frac{R_A}{R_A + R_B} = \frac{1}{2}$$

$$R_A = R_B$$

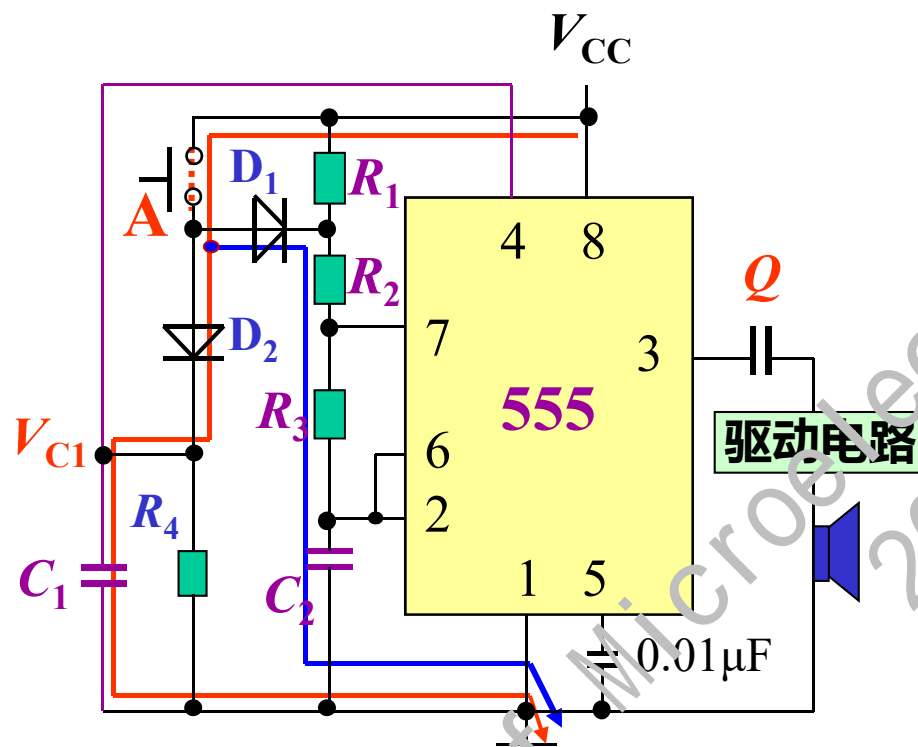
$$1.4R_A = \frac{0.005}{10 \times 10^{-6}} = 500$$

$$R_A = R_B = 357 \Omega$$



例 2 “叮咚” 门铃电路

工作原理:



无人叫门, A 断开,
 $V_{C1} = 0$, 4脚→地, 电路
不振荡, 门铃不响

有人按铃A, V_{CC} 同
时向 C_1 和 C_2 充电

$V_{C1} = 1$, 4脚高电平,
振荡器振荡

按钮A: 按“叮”,
松开“咚”

充电

$\left\{ \begin{array}{l} C_1 \text{ 4脚} \rightarrow \text{高电平, 振荡} \\ C_2 \text{ 定时元件} \end{array} \right.$

按 A：振荡电路

充电:

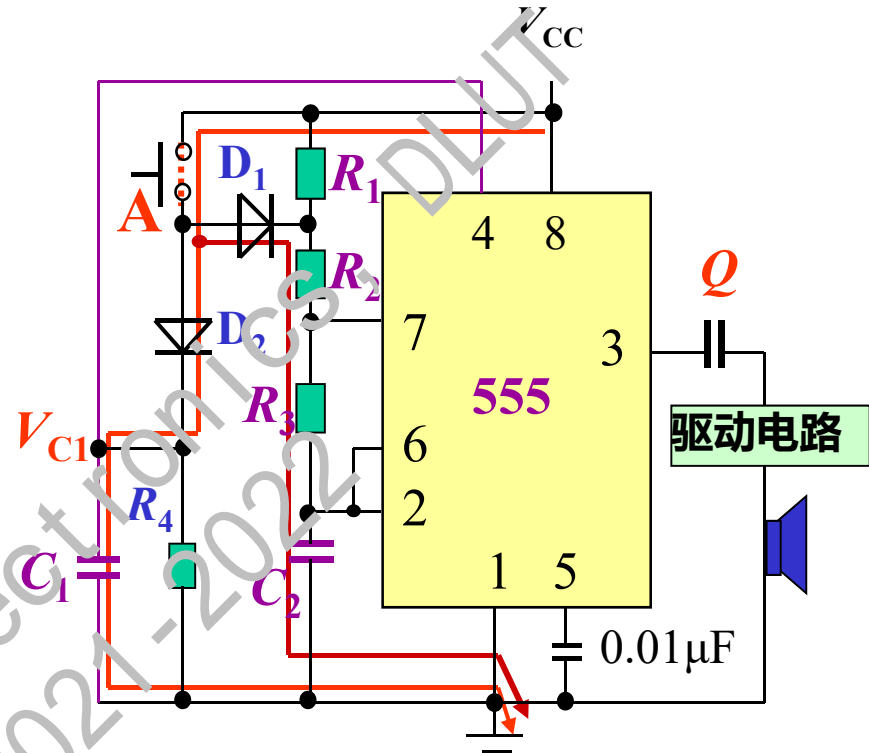
$$T_1 = 0.7(R_2 + R_3)C_2$$

放电:

$$T_2 = 0.7R_3C_2$$

$$T = 0.7(R_2 + 2R_3)C_2$$

$$f = \frac{1}{T}$$



松开 A

V_{C1} 不突变, 仍高

$V_{CC} \rightarrow R_1 \rightarrow R_2 \rightarrow R_3 \rightarrow C_2 \rightarrow \text{地}$

充电:

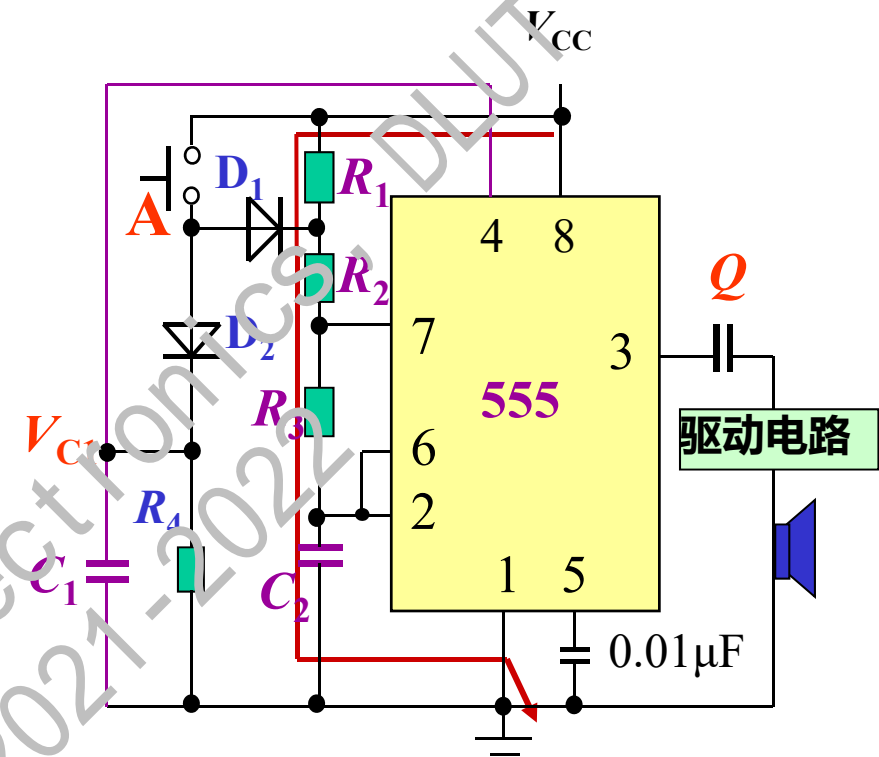
$$T_1' = 0.7(R_1 + R_2 + R_3)C_2$$

放电:

$$T_2' = 0.7R_3C_2$$

$$T' = 0.7(R_1 + R_2 + 2R_3)C_2$$

$$f' = \frac{1}{T'}$$



按 A

$$T=0.7(R_2+2R_3)C_2$$

$$f=\frac{1}{T}$$

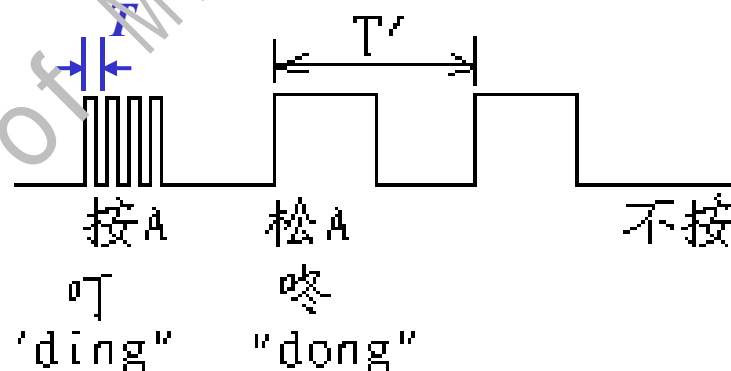
松开 A

$$T'=0.7(R_1+R_2+2R_3)C_2$$

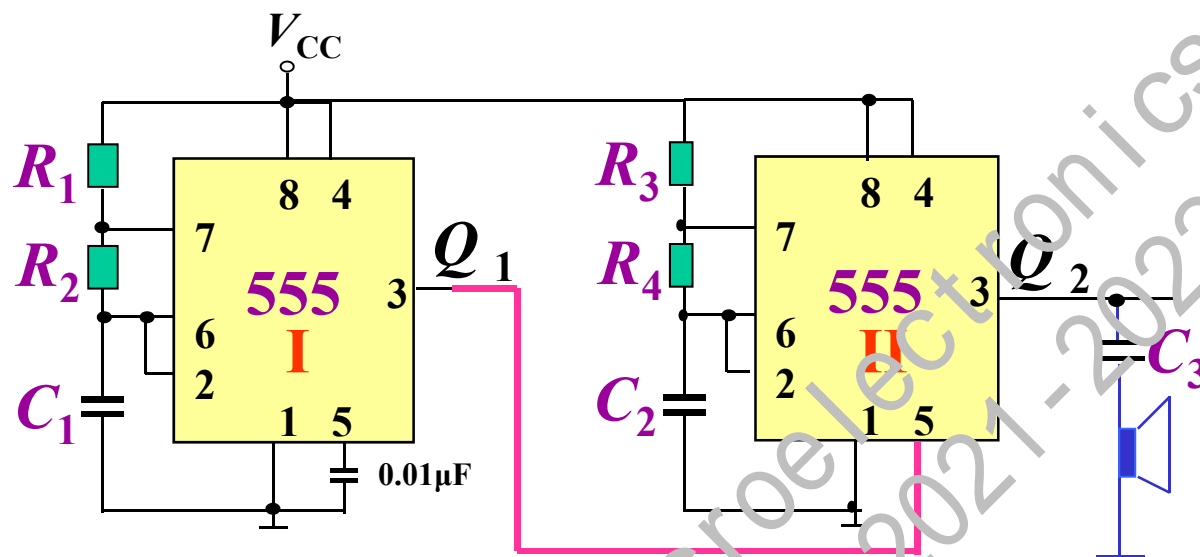
$$f'=\frac{1}{T'}$$

T 小, f 大, 声音尖 “叮”

T' 大, f' 小, 声音粗 “咚”



例 3 救护车、警笛等扬声器发声电路



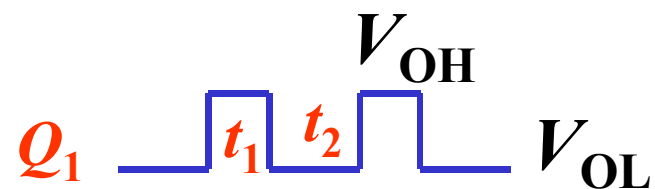
两个频率

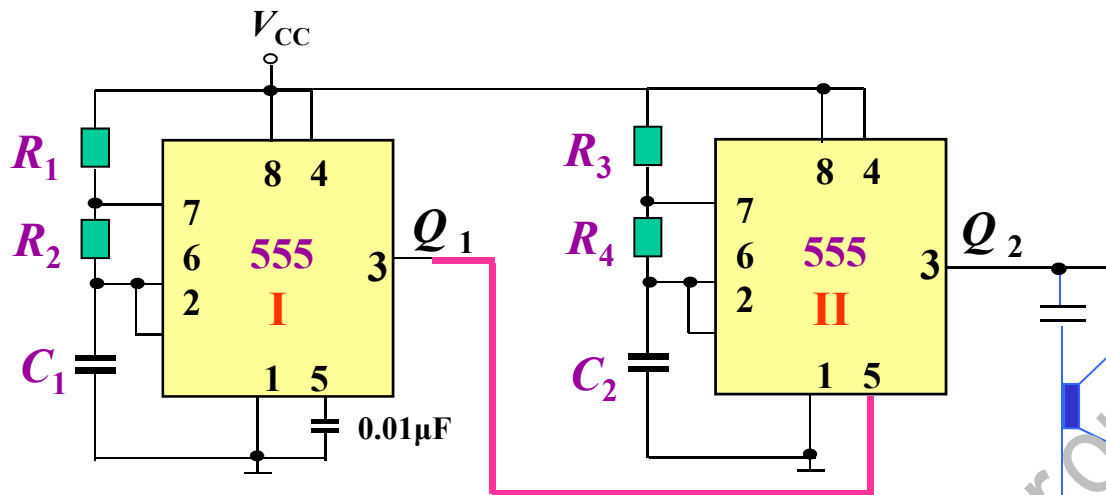
由第II个555
的5脚(V_{CO})
控制

R_1, R_2 and $C_1 \rightarrow Q_1$

振荡器 I

高电平时间 t_1
低电平时间 t_2
周期 $T_1 = t_1 + t_2$





555 输出:

$$V_{OH} = 3.6 \text{ V}$$

$$V_{OL} = 0.3 \text{ V}$$

I 控制 II :

I 输出高, $Q_1=1$, $V_{CO}=3.6 \text{ V}$,

Q_2 振荡周期 T_2

I 输出低, $Q_1=0$, $V_{CO}=0.3 \text{ V}$,

Q_2 振荡周期 T_3

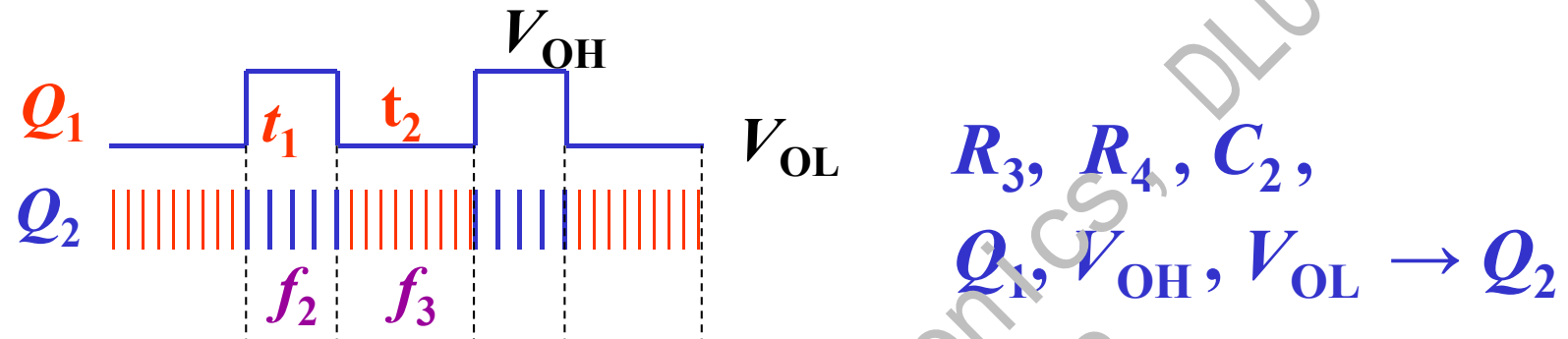
$$T_{\text{充电}} = \tau_1 \ln \frac{V_{CC} - V_T^-}{V_{CC} - V_T^+}$$

$$T_{\text{放电}} = \tau_2 \ln \frac{0 - V_T^+}{0 - V_T^-} = \tau_2 \ln 2$$

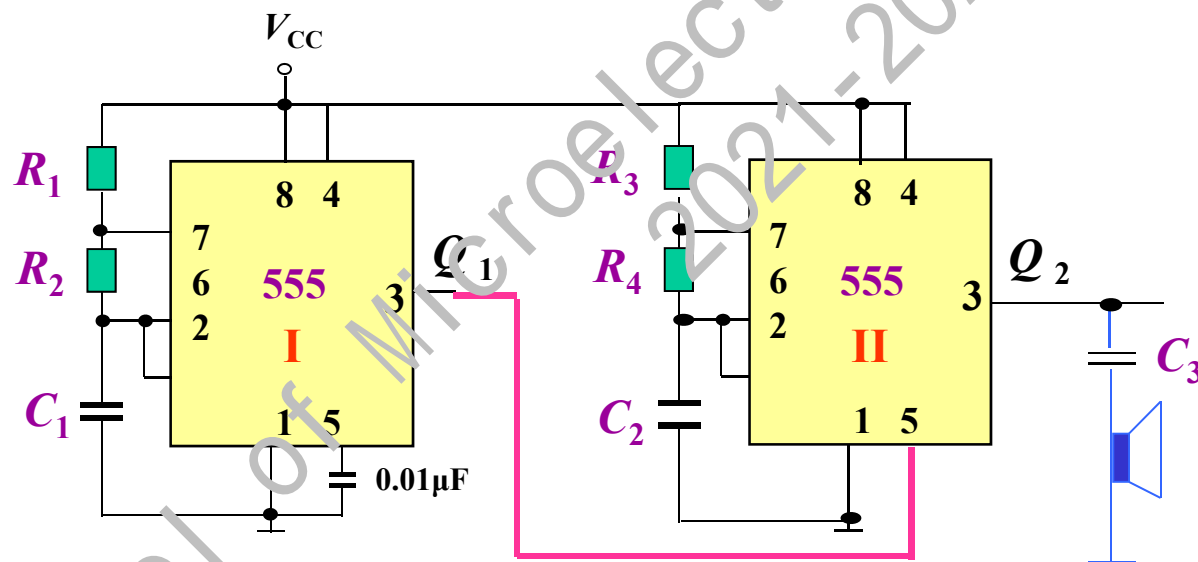
T_2 大, f_2 小

T_3 小, f_3 大

扬声器发声频率分别为 f_2 和 f_3 , 持续时间分别为 t_1 和 t_2



$R_3, R_4, C_2,$
 $Q_1, V_{OH}, V_{OL} \rightarrow Q_2$



本章总结

- 掌握555定时器
- 掌握基于555构成的施密特触发器；了解基于CMOS门电路构成的施密特触发器
- 掌握基于555构成的单稳态触发器；了解74121集成单稳态触发器
- 掌握基于555构成的多谐振荡器；掌握基于施密特触发器构成的多谐振荡器；了解石英晶体振荡器