

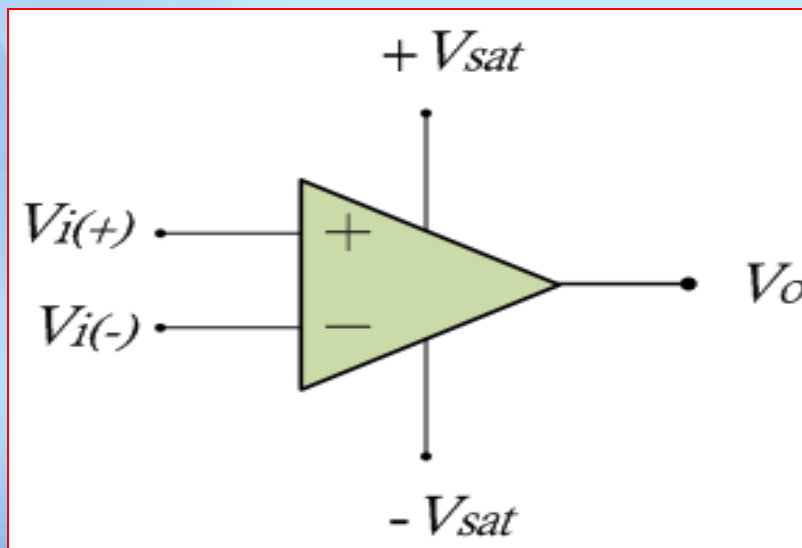
# 基本振盪電路應用

National Taiwan Normal University

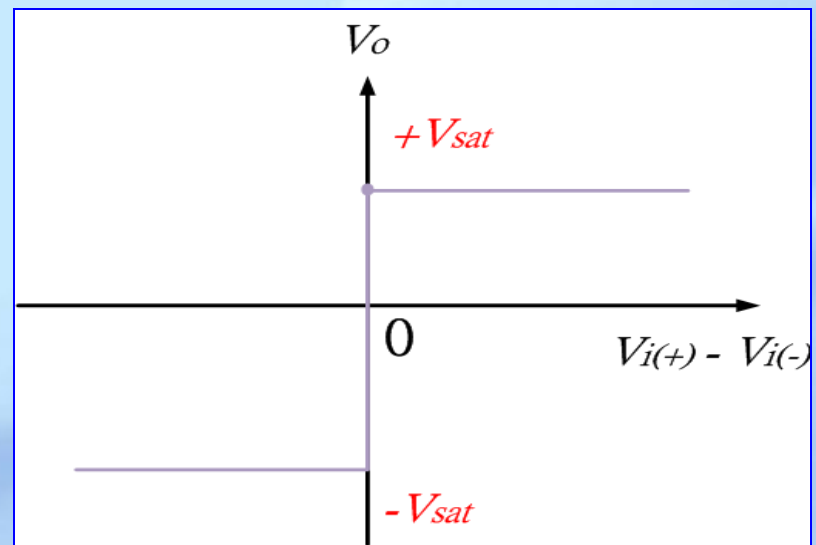
講師：謝政成

# 一、施密特觸發電路

## 比較器與施密特觸發器的差別



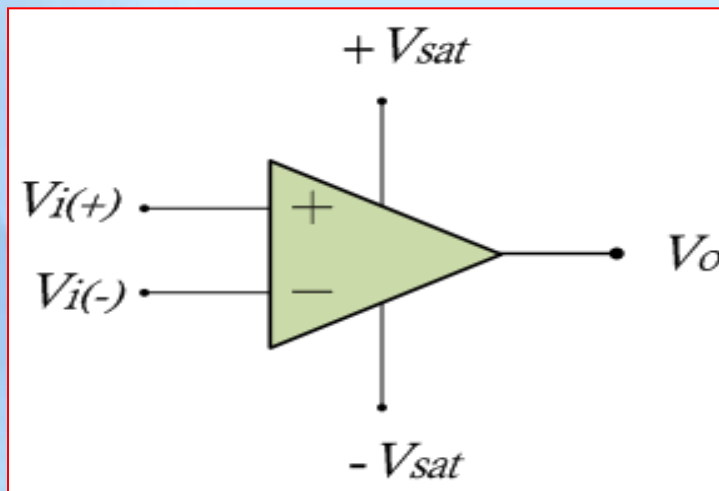
(a) 電路圖



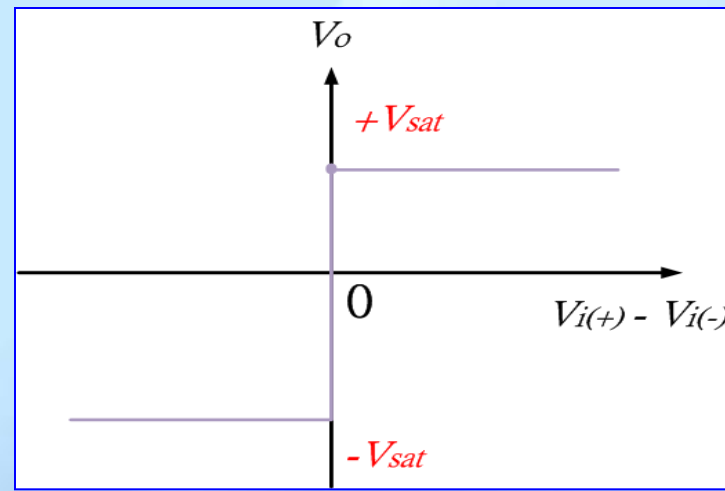
(b) 輸入-輸出特性曲線

# 一、施密特觸發電路

## 比較器與施密特觸發器的差別



(a) 電路圖



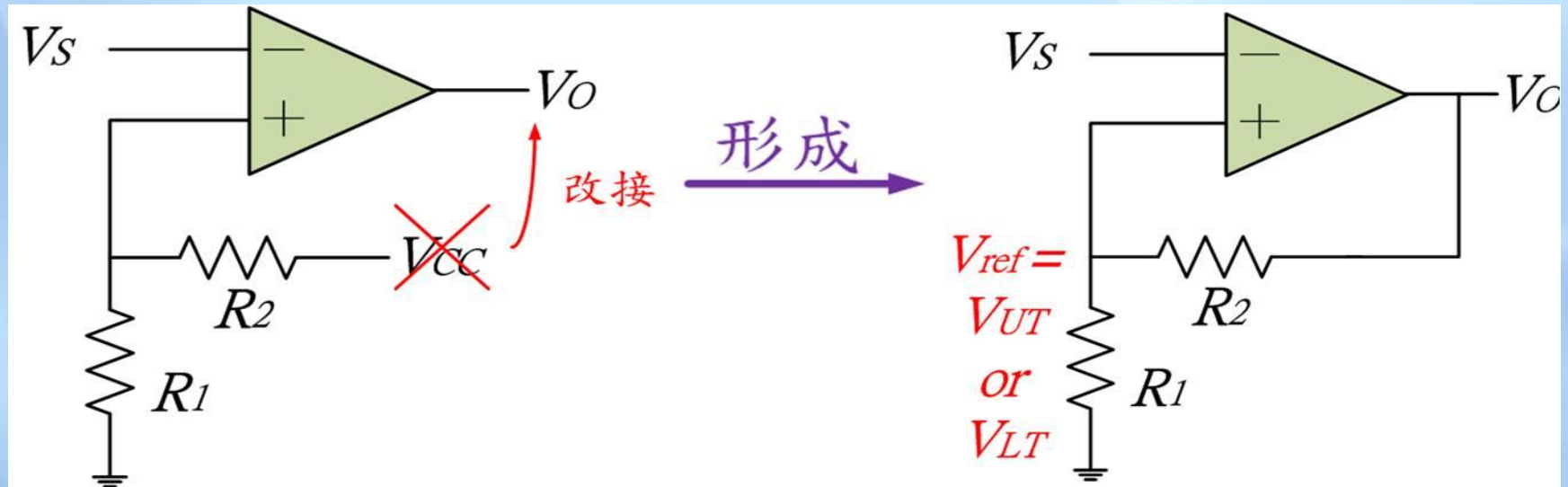
(b) 輸入-輸出特性曲線

反相輸入基本比較器應用電路

$V_{i(+)} = V_{ref} = V_{cc} \times \frac{R_1}{R_1 + R_2}$ , 此電壓又稱為轉折電壓。

# 一、施密特觸發電路

## 反相施密特觸發電路



雖然電路中的OPA有正回授網路，但無任何負回授網路存在，故此時OPA仍為比較器功能特性，其輸入有兩種狀態值。

# 一、施密特觸發電路

## 反相施密特觸發電路

① 當輸出為正飽和時(  $V_O = +V_{sat}$  )

$$V_{i(+)} = V_{ref} = V_O \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} = (+V_{sat}) \times \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

輸出要由  $+V_{sat}$  轉態為  $-V_{sat}$

$$\text{即 } V_S > (+V_{sat}) \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} = V_{UT}$$

稱為上臨界電壓(voltage of upper threshold)。

$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$  為反相施密特觸發電路之正回授因數值。

# 一、施密特觸發電路

## 反相施密特觸發電路

②當輸出為負飽和時(  $V_O = -V_{sat}$  )

$$V_{i(+)} = V_{ref} = V_O \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} = (-V_{sat}) \times \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

輸出要由  $-V_{sat}$  轉態為  $+V_{sat}$

$$\text{即 } V_S < (-V_{sat}) \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} = V_{LT}$$

稱為下臨界電壓(voltage of lower threshold)。

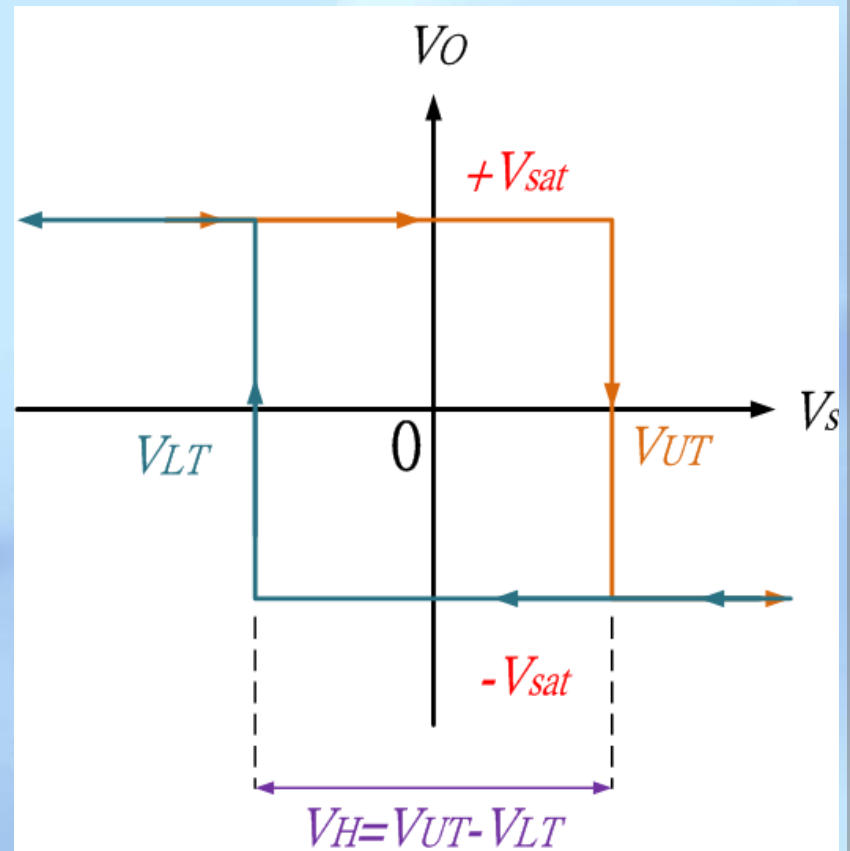
$$V_{LT} = (-V_{sat}) \times \beta$$

# 一、施密特觸發電路

## 反相施密特觸發電路

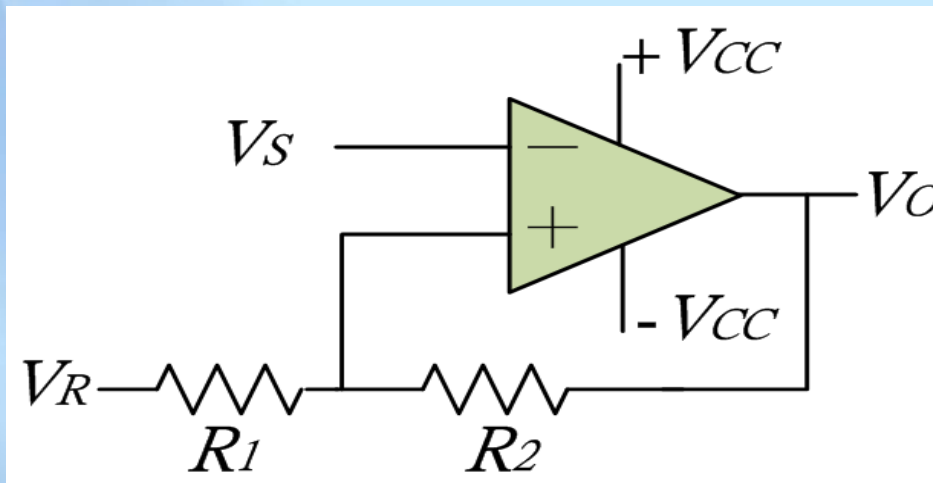
右圖為完整的輸入—輸出轉移特性曲線。

反相施密特觸發電路之轉移特性曲線具有封閉性的磁滯效應 (hysteresis effect)。故稱為磁滯曲線，且方向為順時針旋轉，其中  $V_H$  定義為磁滯電壓又稱磁滯寬度，即  $V_H = V_{UT} - V_{LT} = 2V_{sat} \times \beta$

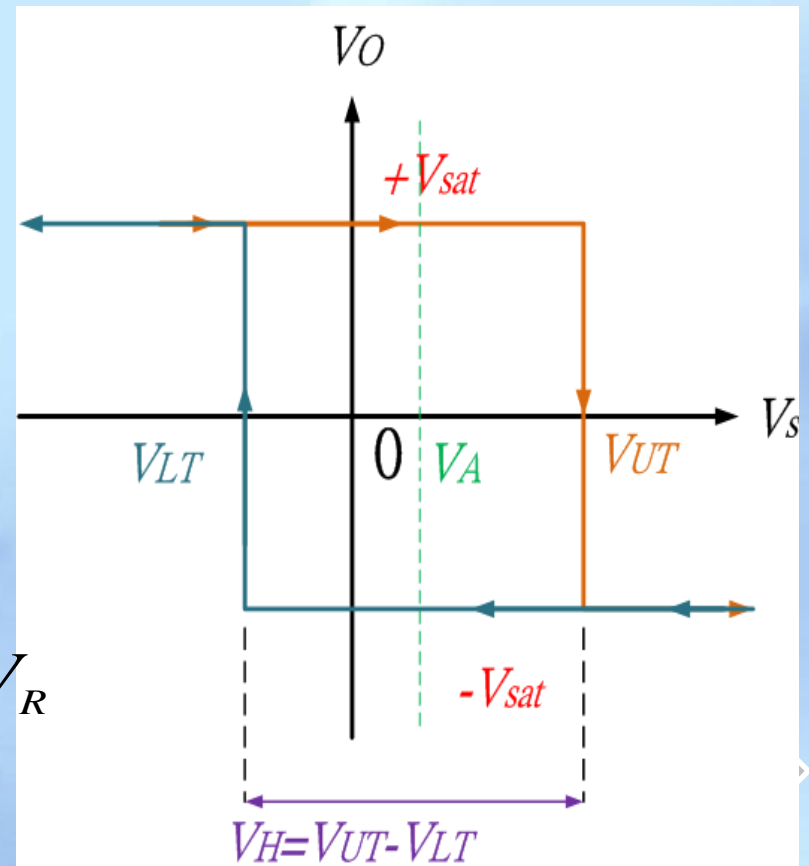


# 一、施密特觸發電路

## 加偏壓之反相施密特觸發電路



將反相施密特觸發電路中的正回授接地端，改接一個偏壓時，即  $V_R$  為加偏壓之反相施密特觸發電路。





# 一、施密特觸發電路

## 加偏壓之反相施密特觸發電路

① 當輸出為正飽和時(  $V_O = +V_{sat}$  )

$$V_{i(+)} = V_{ref} = V_O \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} + V_R \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$= (+V_{sat}) \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} + V_R \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

輸出要由  $+V_{sat}$  轉態為  $-V_{sat}$ ，即

$$V_S > (+V_{sat}) \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} + V_R \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

其上臨界電壓

$$V_{UT} = (+V_{sat}) \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} + V_R \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} = (+V_{sat}) \times \beta + V_R \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

# 一、施密特觸發電路

## 加偏壓之反相施密特觸發電路

② 當輸出為負飽和時(  $V_O = -V_{sat}$  )

$$\begin{aligned} V_{i(+)} = V_{ref} &= V_O \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} + V_R \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} \\ &= (-V_{sat}) \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} + V_R \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} \end{aligned}$$

輸出要由  $-V_{sat}$  轉態為  $+V_{sat}$

即下臨界電壓

$$V_{LT} = (-V_{sat}) \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} + V_R \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} = (-V_{sat}) \times \beta + V_R \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

# 一、施密特觸發電路

## 加偏壓之反相施密特觸發電路

綜合以上分析比較，

可知加偏壓之反相施密特觸發電路，其

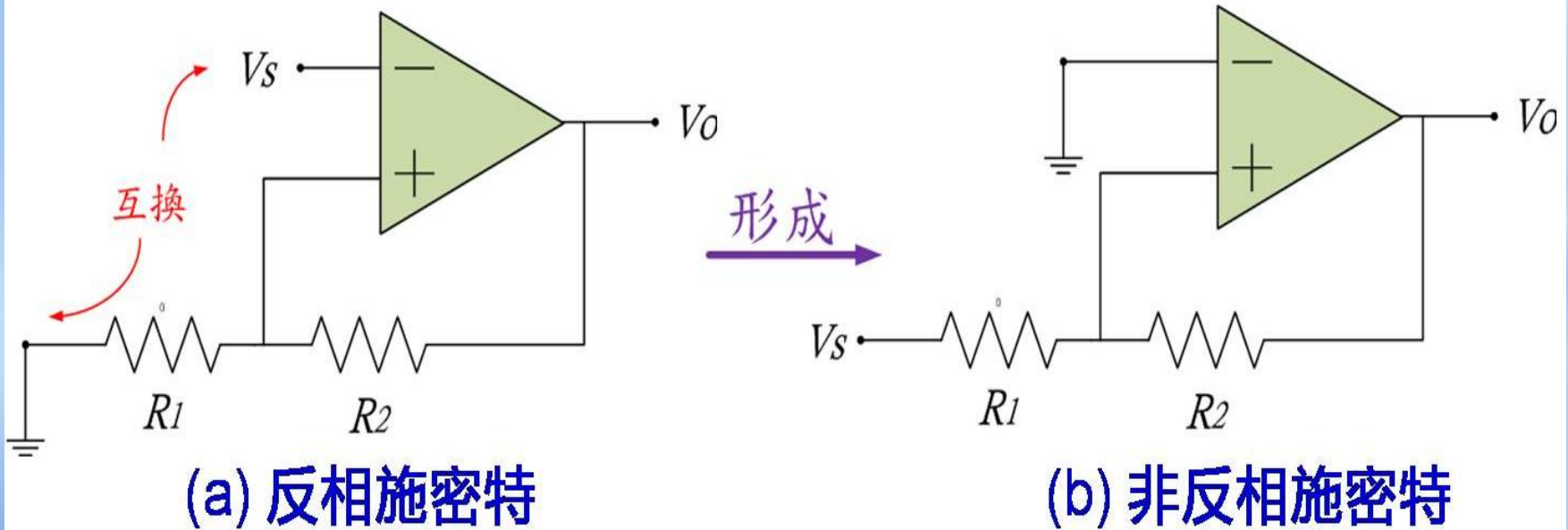
- 1) 上下臨界電壓皆增加  $V_R \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}$ 。
- 2) 磁滯電壓  $V_H = V_{UT} - V_{LT}$  不受偏壓影響。

- 3) 其中輸入—輸出轉移特性曲線之中點電壓  $V_A$

由 0 移至  $V_R \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}$ ，即  $V_A = \frac{V_{UT} + V_{LT}}{2} = V_R \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}$

# 一、施密特觸發電路

## 非反相施密特觸發電路



若將反相施密特觸發電路之正回授接地端與OPA反相輸入信號端互換，及形成非反相施密特觸發電路。

# 一、施密特觸發電路

## 非反相施密特觸發電路

① 當輸出為正飽和時( $V_O = +V_{sat}$ )

$$V_{i(+)} = V_S \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} + V_O \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} = V_S \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} + (+V_{sat}) \times \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

輸出要由  $+V_{sat}$  轉態為  $-V_{sat}$  之條件為  $V_{S(+)} < V_{S(-)}$  ,

$$\text{即 } V_S \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} + (+V_{sat}) \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} < 0, \text{ 即 } V_S < -(+V_{sat}) \times \frac{R_1}{R_2},$$

其下臨界電壓  $V_{LT} = -(+V_{sat}) \times \frac{R_1}{R_2} = -(+V_{sat}) \times \beta$

$\beta = \frac{R_1}{R_2}$  為非反相施密特觸發電路之正回授因數值。

# 一、施密特觸發電路

## 非反相施密特觸發電路

② 當輸出為負飽和時(  $V_O = -V_{sat}$  )

$$V_{i(-)} = V_S \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} + V_O \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} = V_S \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} + (-V_{sat}) \times \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

輸出要由  $-V_{sat}$  轉態為  $+V_{sat}$  之條件為  $V_{S(+)} > V_{S(-)}$ ,

即 
$$V_S \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} + (-V_{sat}) \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} < 0$$

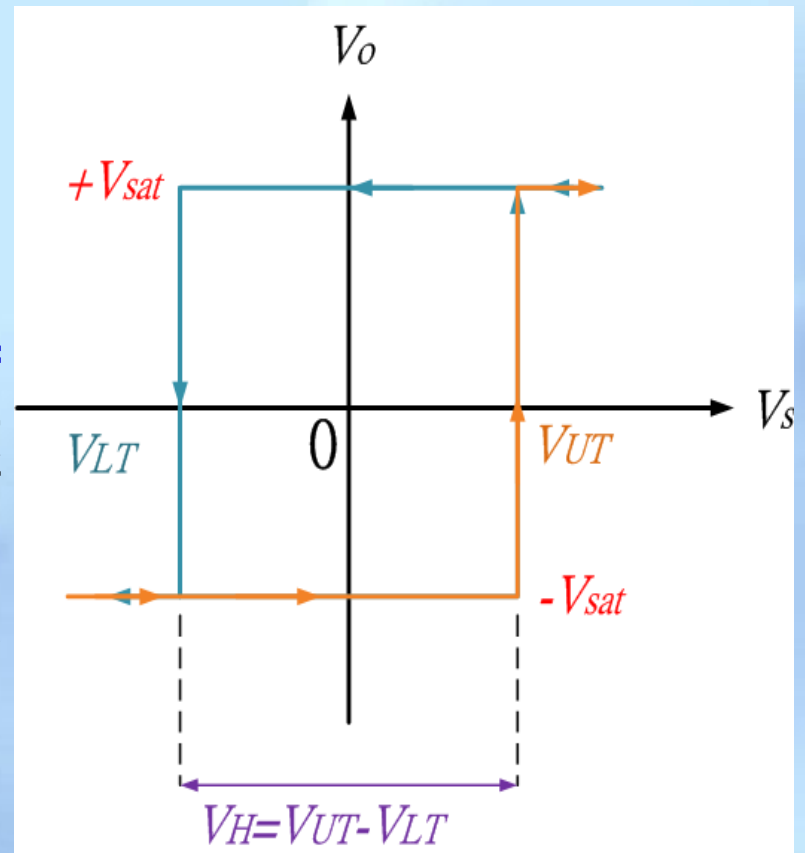
即 
$$V_S > -(+V_{sat}) \times \frac{R_1}{R_2}, \text{ 其上臨界電壓 } V_{UT} = -(-V_{sat}) \times \frac{R_1}{R_2} = -(-V_{sat}) \times \beta$$

# 一、施密特觸發電路

## 非反相施密特觸發電路

右圖為完整的輸入—輸出轉移特性曲線。

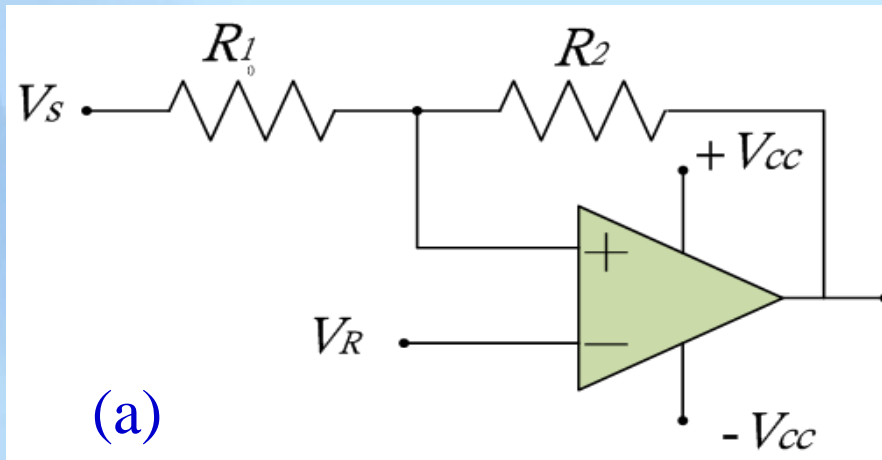
綜合以上分析，可知非反相施密特觸發電路上臨界電壓與下臨界電壓為對稱相等(即 $V_{HT} = -V_{LT}$ )。非反相施密特觸發電路其磁滯曲線變化方向為逆時針旋轉。



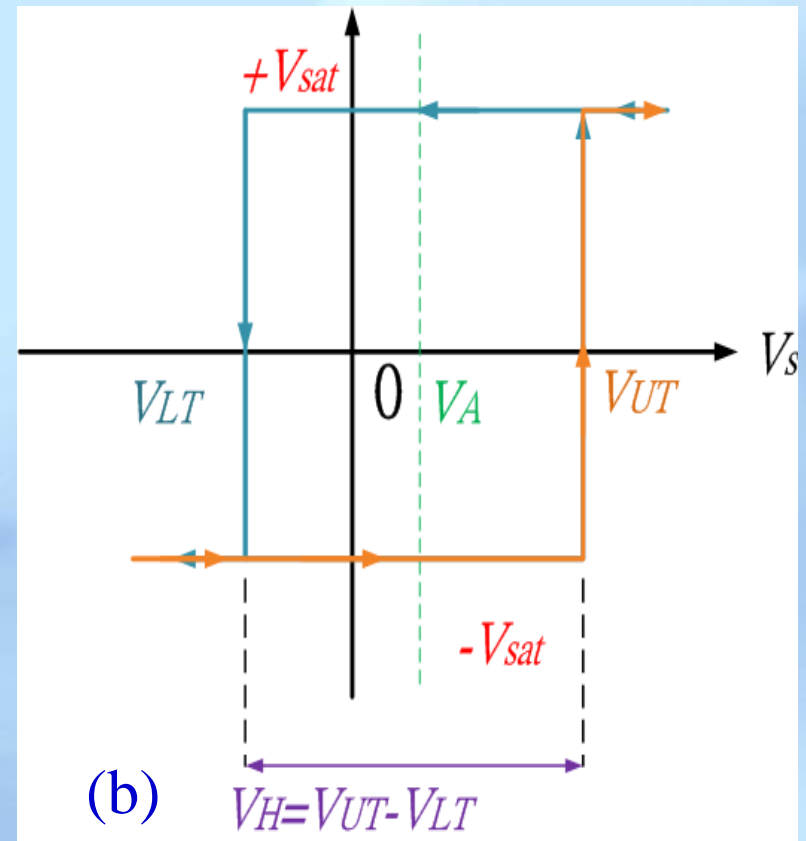


# 一、施密特觸發電路

## 加偏壓之非反相施密特觸發電路



將非反相施密特觸發電路中的反回授接地端，改接一個偏壓時，即為加偏壓之非反相施密特觸發電路。





# 一、施密特觸發電路

## 加偏壓之非反相施密特觸發電路

① 當輸出為正飽和時( $V_O = +V_{sat}$ )

$$V_{i(+)} = V_S \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} + V_O \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} = V_S \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} + (+V_{sat}) \times \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

輸出要由 $+V_{sat}$  轉態為 $-V_{sat}$  之條件為  $V_{i(+)} < V_{i(-)}$  ,

$$\text{即 } V_S \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} + (+V_{sat}) \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} < V_R$$

其下臨界電壓

$$V_{LT} = -(+V_{sat}) \times \frac{R_1}{R_2} + V_R \times \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) = -(+V_{sat}) \times \beta + V_R \times \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)$$

# 一、施密特觸發電路

## 加偏壓之非反相施密特觸發電路

② 當輸出為正飽和時( $V_O = -V_{sat}$ )

$$V_{i(+)} = V_S \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} + V_O \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} = V_S \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} + (-V_{sat}) \times \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

輸出要由 $-V_{sat}$  轉態為 $+V_{sat}$  之條件為  $V_{i(+)} > V_{i(-)}$  ,

$$\text{即 } V_S \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} + (-V_{sat}) \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} > V_R$$

其上臨界電壓

$$V_{UT} = -(-V_{sat}) \times \frac{R_1}{R_2} + V_R \times \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) = -(-V_{sat}) \times \beta + V_R \times \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)$$

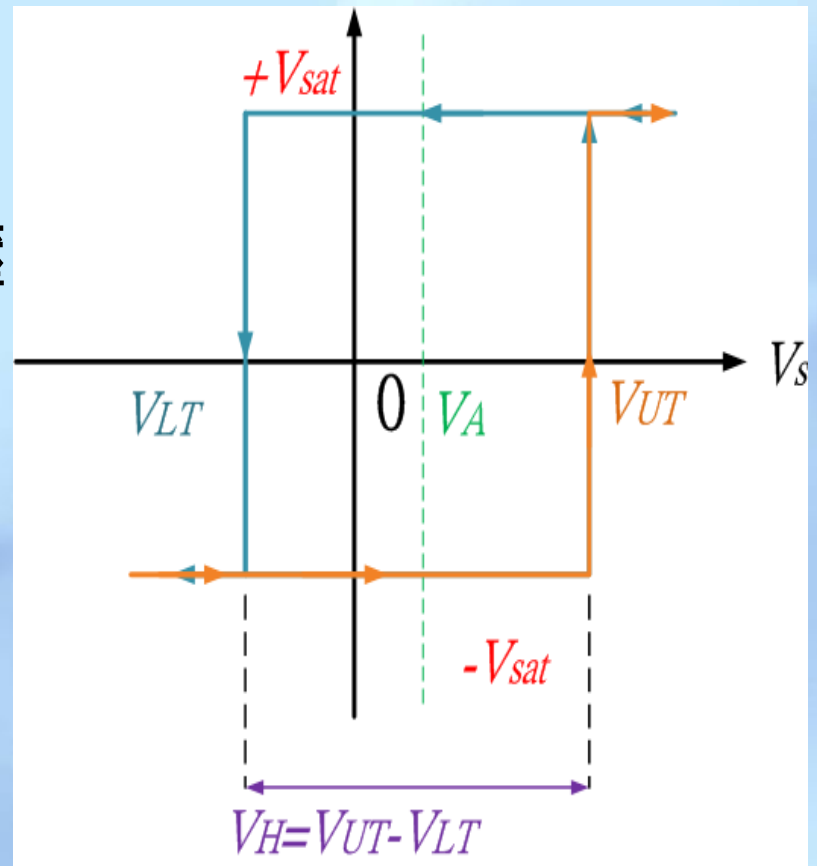
# 一、施密特觸發電路

## 加偏壓之非反相施密特觸發電路

分析比較可知，將加偏壓非反相施密特觸發電路其上下臨界電壓皆增加  $V_R \times \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)$  磁滯電壓

不受偏壓影響，右圖為輸入-輸出轉移特性曲線，其中曲線之中點電壓由0 移至  $V_R \times \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)$

$$\text{即 } V_A = \frac{V_{UT} + V_{LT}}{2} = V_R \times \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)$$



# 一、施密特觸發電路

## 例題

加偏壓之反相施密特觸發電路，若  $R_1 = 5k\Omega$ ， $R_2 = 10k\Omega$ ， $\pm V_{CC} = \pm 15V$ ，偏壓  $V_R = 3V$ ，試求

- (1) 正回授因數值  $\beta$
- (2) 上下臨界電壓  $V_{UT}$  &  $V_{LT}$
- (3) 磁滯電壓  $V_R$
- (4) 中點電壓  $V_A$ 。

Ans :

$$(1) \beta = \frac{1}{3}$$

$$(2) V_{UT} = -3V; V_{LT} = 7V$$

$$(3) V_H = 10V$$

$$(4) V_A = 2V$$

## 二、方波產生電路

### 方波振盪電路的基本原理

- 方波振盪電路的基本原理：主要是利用**電容充放電**的特性，改變比較器輸出(Hi, Lo)狀態，屬於弛張振盪器(relaxation oscillator)和正弦波振盪電路利用**諧振原理**產生振盪的方式不同。
- 因方波是由所有奇數諧波(弦波)組成，故方波振盪器又稱**多諧振盪器**(multivibrator)簡稱**複振器**。

## 二、方波產生電路

---

多諧振盪器依功能可分為三類：

1. 雙穩態多諧振盪器(bistable multivibrator)：

此振盪器有兩個穩定的輸出狀態，即Hi狀態或Lo狀態。其功能可應用於波形整形電路、正反器或記憶性電路。

2. 無穩態多諧振盪器(astable multivibrator)：

此種振盪器不需要輸入任何處發信號，即能自發振盪出週期性的方波信號，而其振盪周期時間由電容充放電時間決定，可應用於方波產生電路。

3. 單穩態多諧振盪器(monostable multivibrator)：

此種振盪器在加入觸發信號後可改變原狀態至另一狀態，且經過一段時間後，會自動回復到未觸發前之原狀態，可應用於定時控制電路。

## 二、方波產生電路

---

### OPA 施密特觸發振盪電路

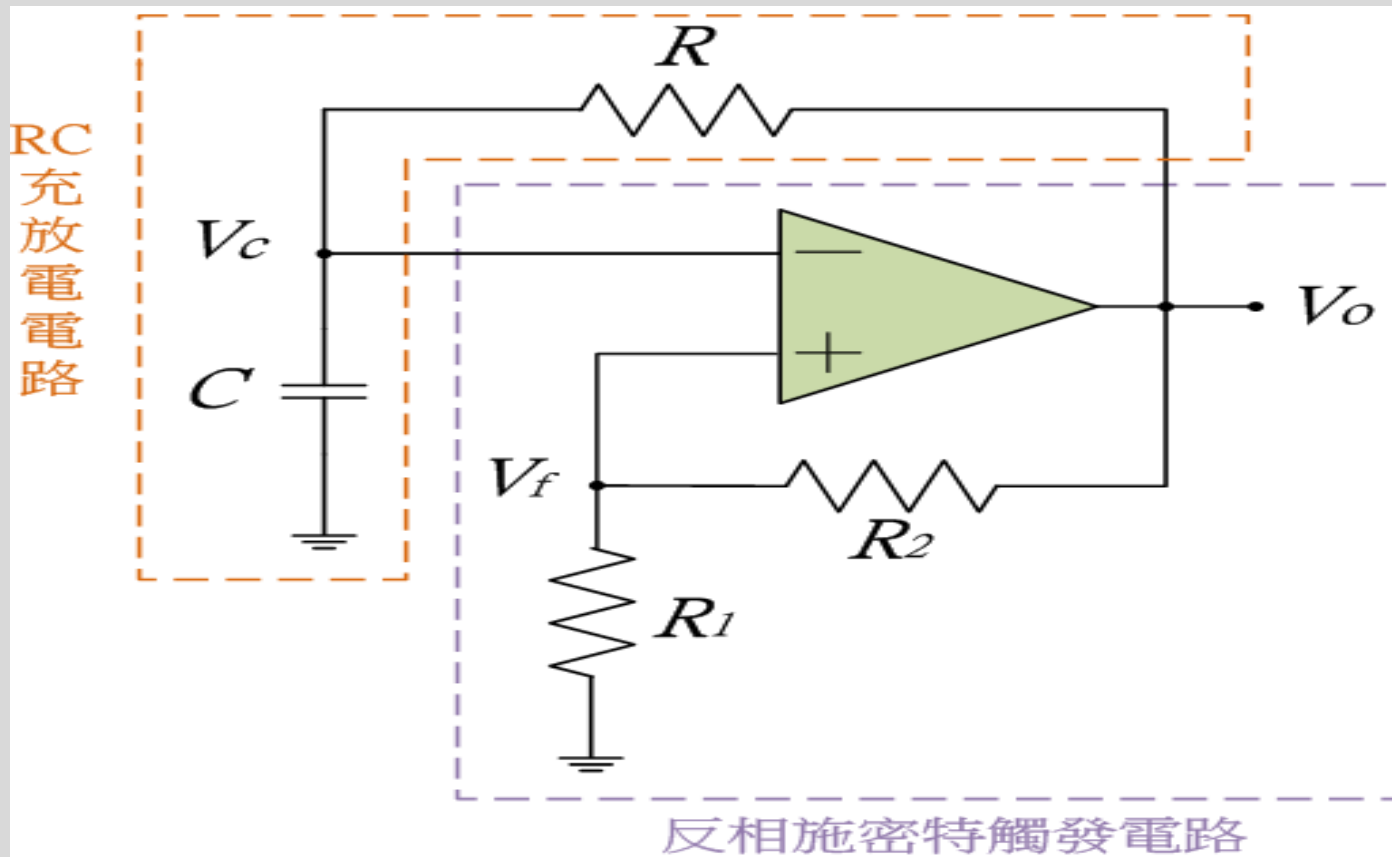
雙穩態多諧  
振盪器

無穩態多諧  
振盪器

單穩態多諧  
振盪器

## 二、方波產生電路

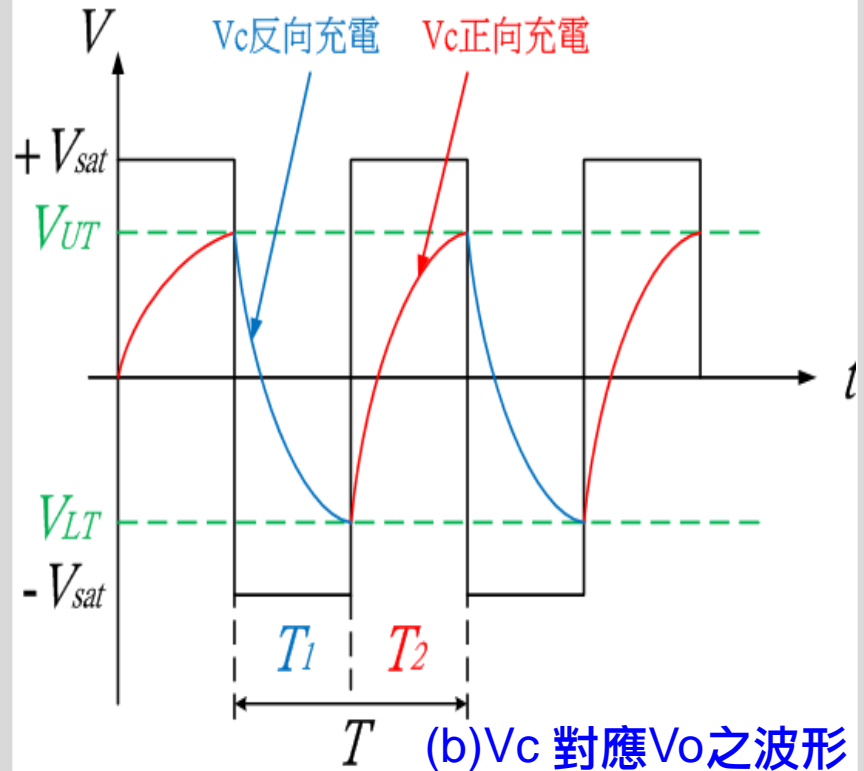
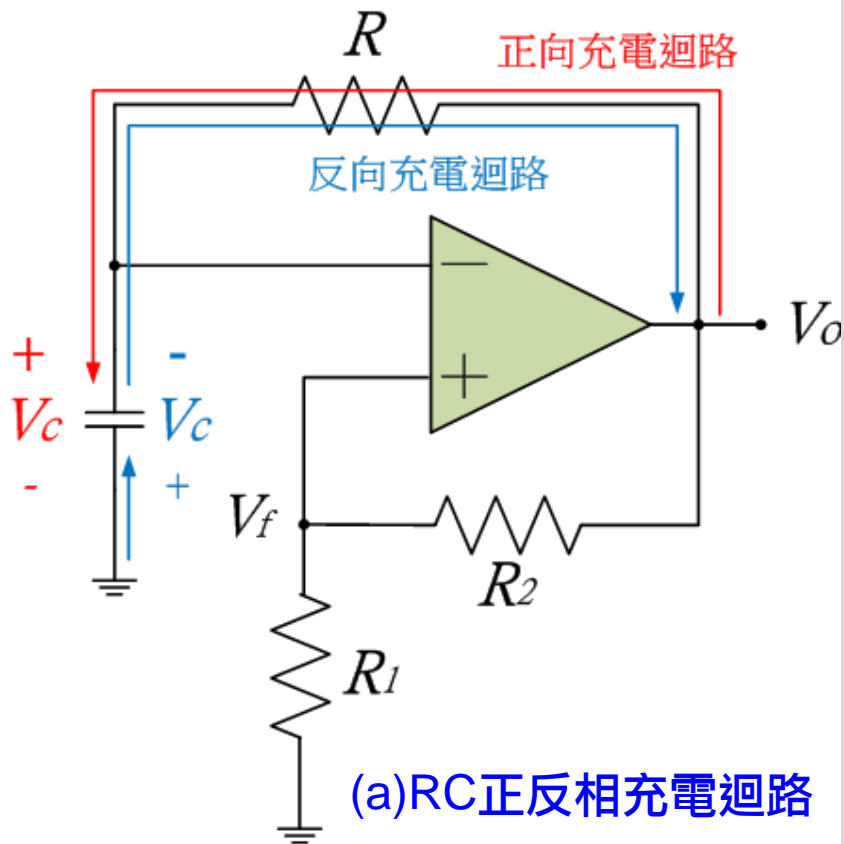
### 無穩態多諧振盪器





## 二、方波產生電路

### 無穩態多諧振盪器



## 二、方波產生電路

### 無穩態多諧振盪器

- 在  $T_1$  時間內，輸出  $V_o = -V_{sat}$  並向電容  $C$  由  $V_{UT}$  反向充電至  $V_{LT}$  為止，依據電容充放電公式，可得

$$V_C = V_{LT} = (-V_{sat}) \times \left(1 - e^{\frac{-t}{RC}}\right) + V_{UT} \times e^{\frac{-t}{RC}}$$

代入  $V_{LT} = (-V_{sat}) \times \beta$  與  $V_{UT} = (+V_{sat}) \times \beta$ ，可得

$$(-V_{sat}) \times \beta = (-V_{sat}) \times \left(1 - e^{\frac{-t}{RC}}\right) + (+V_{sat}) \times \beta \times e^{\frac{-t}{RC}}$$

$$\Rightarrow \beta = 1 - e^{\frac{-t}{RC}} - \beta \times e^{\frac{-t}{RC}}$$

$$\Rightarrow t = T_1 = RC \times \ln \left( \frac{1 + \beta}{1 - \beta} \right)$$

## 二、方波產生電路

### 無穩態多諧振盪器

- 同理，在 $T_2$ 時間內，輸出 $V_o = +V_{sat}$  並向電容 C 由 $V_{LT}$  正向充電至 $V_{UT}$  為止，因此可解得

$$t = T_2 = RC \times \ln \left( \frac{1 + \beta}{1 - \beta} \right)$$

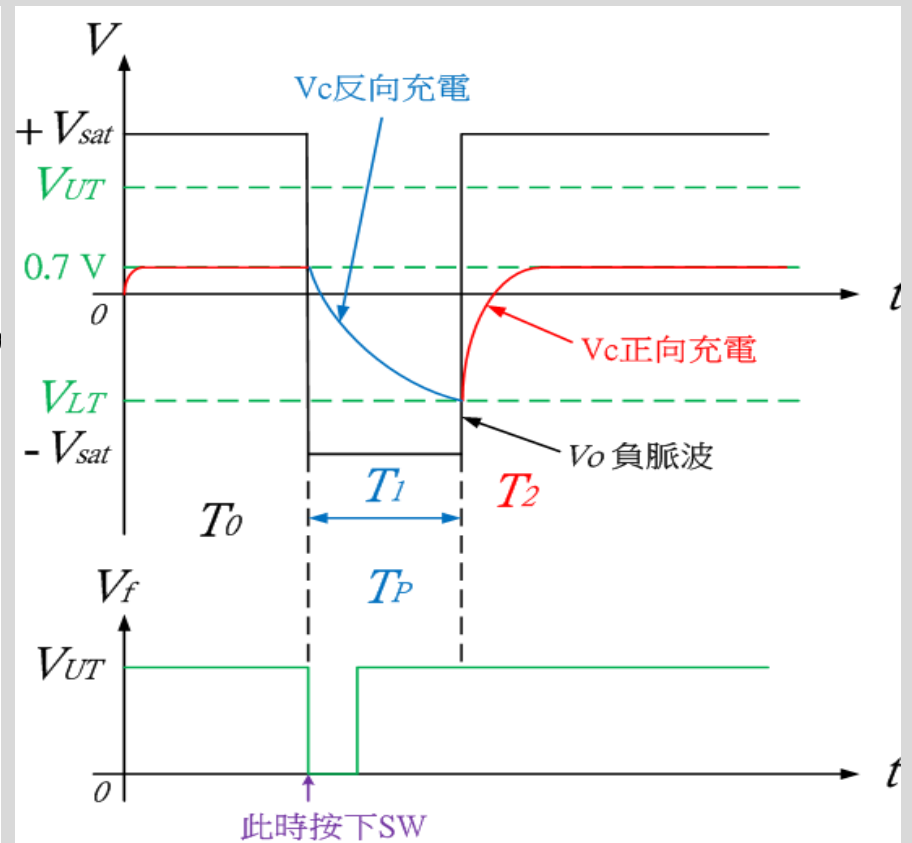
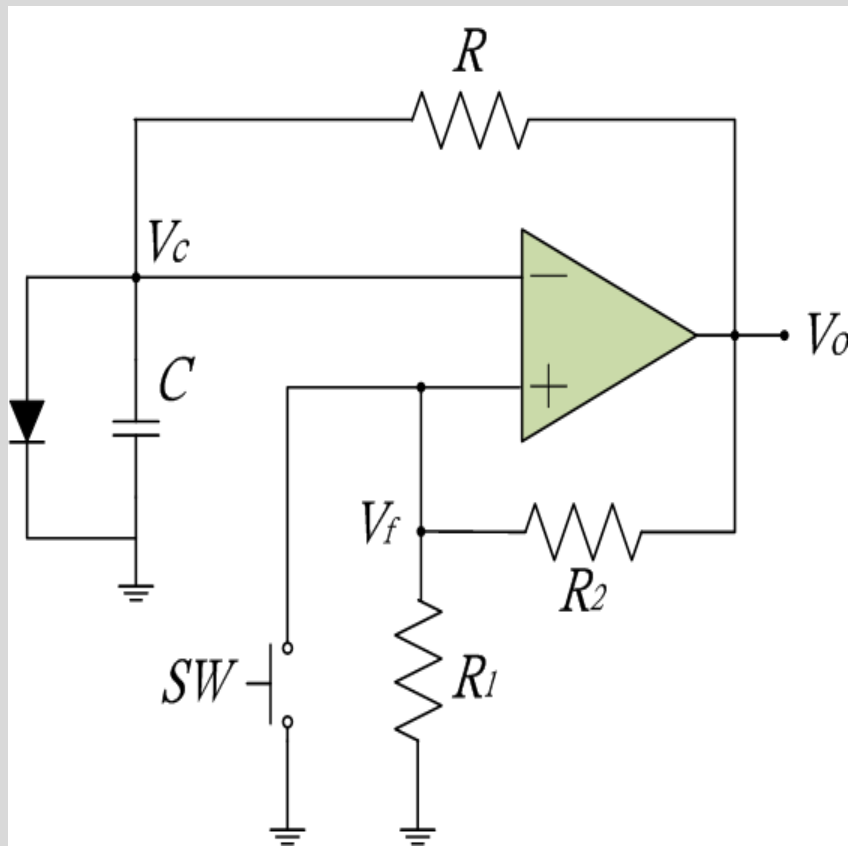
最後可得振盪週期  $T = T_1 + T_2$  為

$$T = 2RC \times \ln \left( \frac{1 + \beta}{1 - \beta} \right) \quad \text{或} \quad T = 2RC \times \ln \left( 1 + 2 \frac{R_1}{R_2} \right)$$

其中  $\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$ ，振盪頻率  $f = \frac{1}{T}$ 。

# 二、方波產生電路

## 單穩態多諧振盪器



## 二、方波產生電路

### 單穩態多諧振盪器

- 在負脈波  $T_p$  時間內，輸出  $V_o = -V_{sat}$  並向電容C由0.7V 反向充電至  $V_{LT}$  為止，根據電容充放電方程式可得電

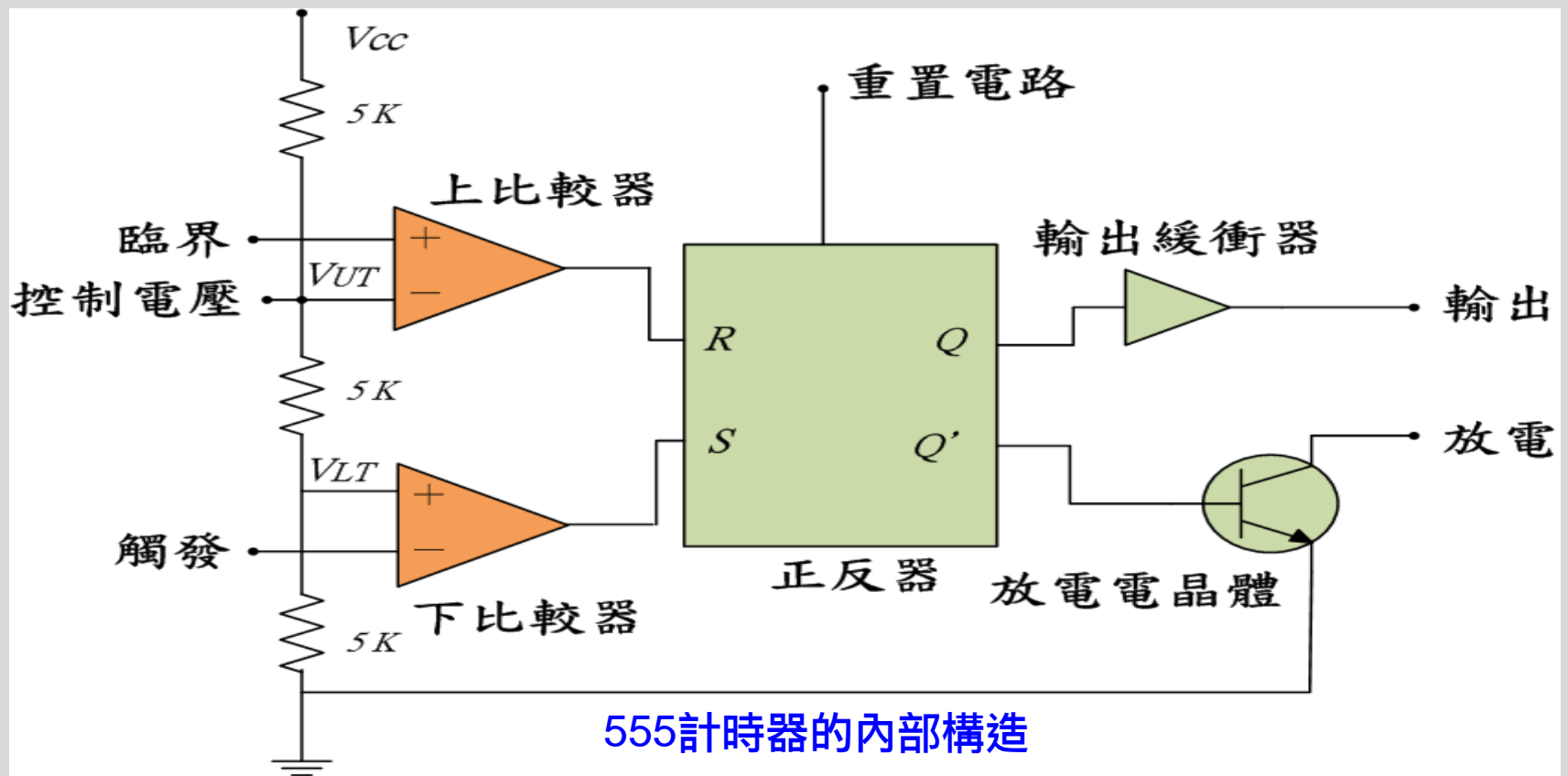
容電壓為  $V_C = V_{LT} = (-V_{sat}) \times \left(1 - e^{\frac{-t}{RC}}\right) + 0.7 \times e^{\frac{-t}{RC}}$

代入  $V_{LT} = (-V_{sat}) \times \beta$ ，可得  $\Rightarrow t = T_p = RC \times \ln \left( \frac{1 + \frac{0.7}{V_{sat}}}{1 - \beta} \right)$

$$T_p \approx RC \times \ln \left( \frac{1}{1 - \beta} \right) \quad \text{或} \quad T_p \approx RC \times \ln \left( 1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$

## 二、方波產生電路

### 555 計時振盪電路



## 二、方波產生電路



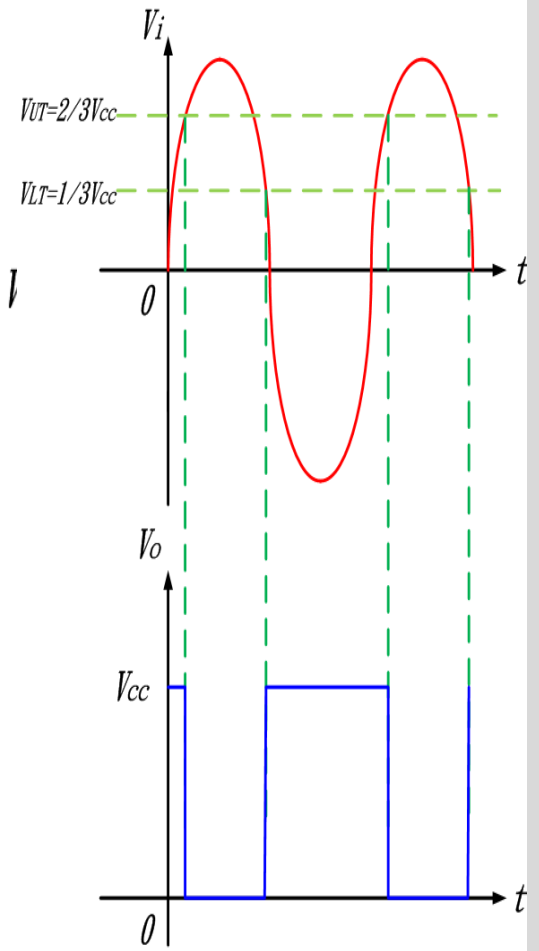
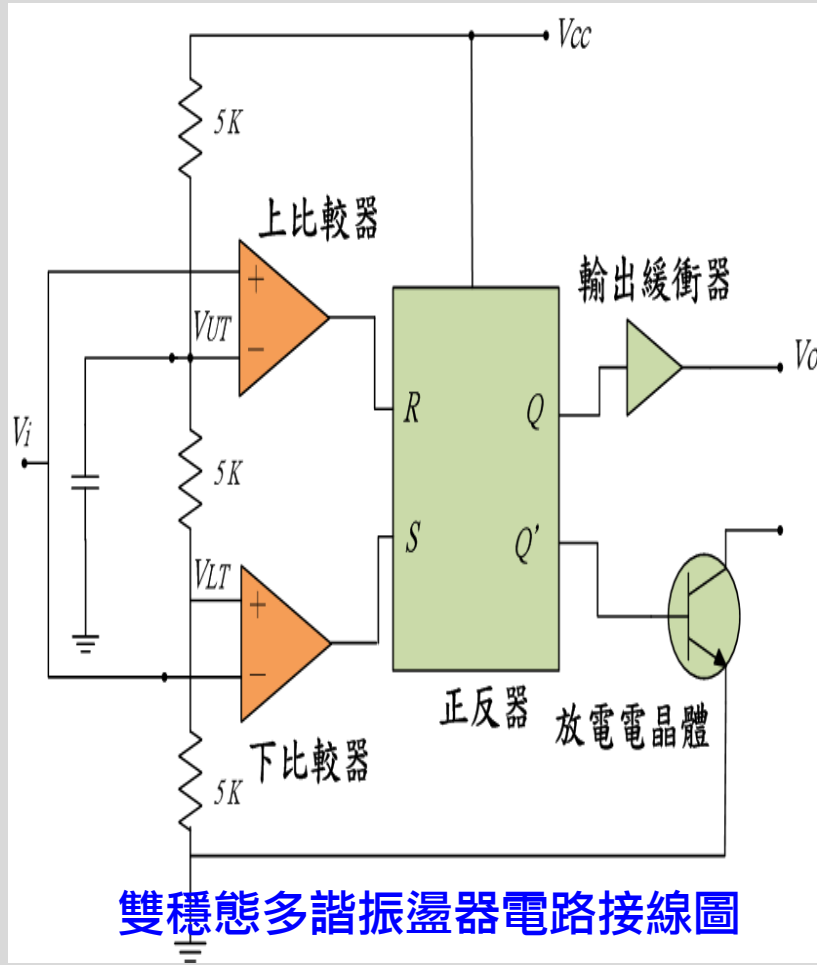
### 555 計時振盪電路



- 編號555的 IC 是一顆可用於計時/計數的通用IC，他常被用於產生方波產生電路，組成元件的功能分別為：
  - 1) 兩顆比較器：作為輸入電壓比較用。
  - 2) 三顆 $5k\Omega$ 的分壓電阻：提供上比較器的參考電位 $V_{UT} = \frac{2}{3}V_{CC}$  與下比較器的參考電位 $V_{LT} = \frac{1}{3}V_{CC}$ 。
  - 3) 正反器：提供電路記憶功能。
  - 4) 放電電晶體：提供電路放電迴路。
  - 5) 輸出緩衝器：具有阻抗匹配特性，可提供數位輸入信號 $Hi = V_{CC}$  或  $Lo = 0 \text{ V}$ 。

# 二、方波產生電路

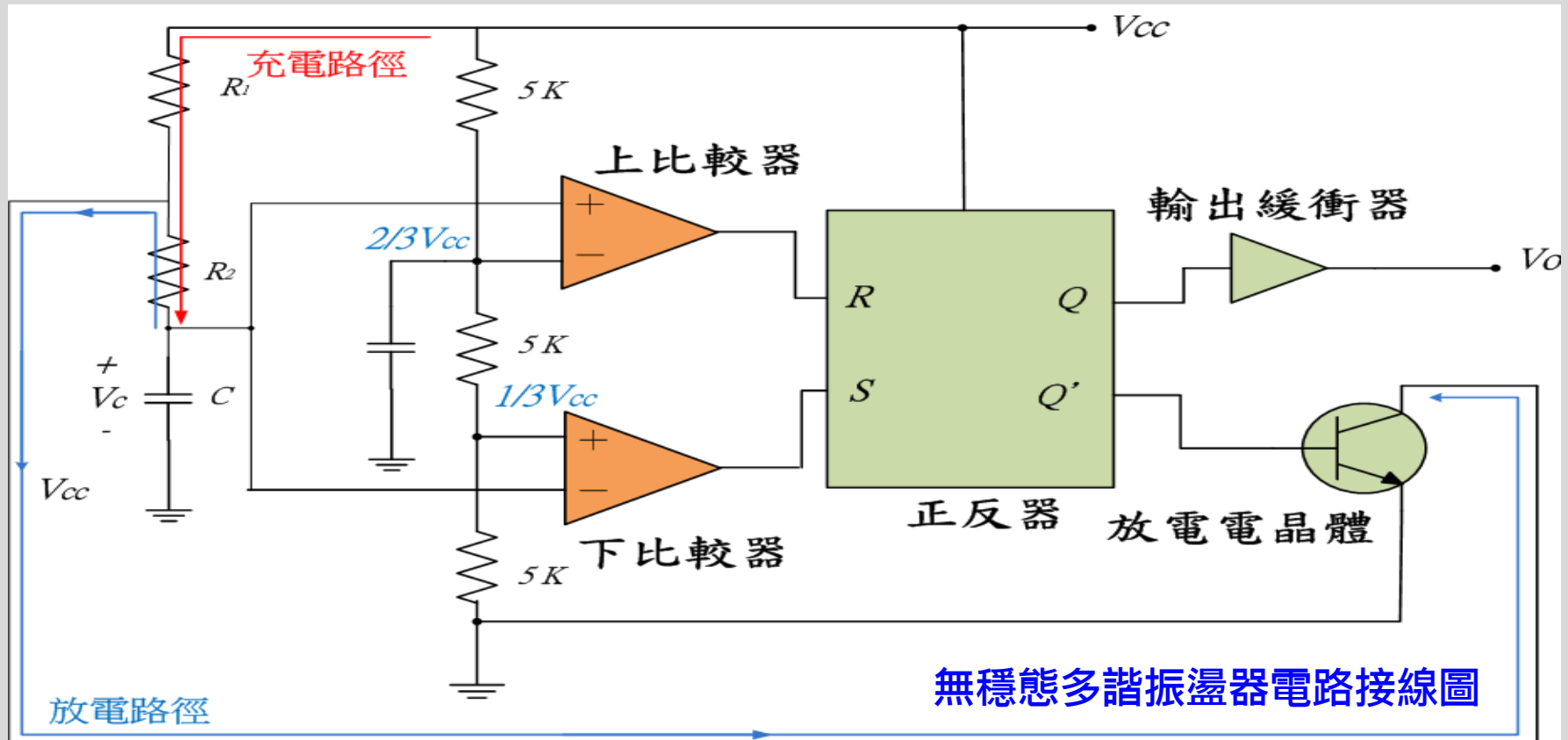
## 555 計時振盪電路





# 二、方波產生電路

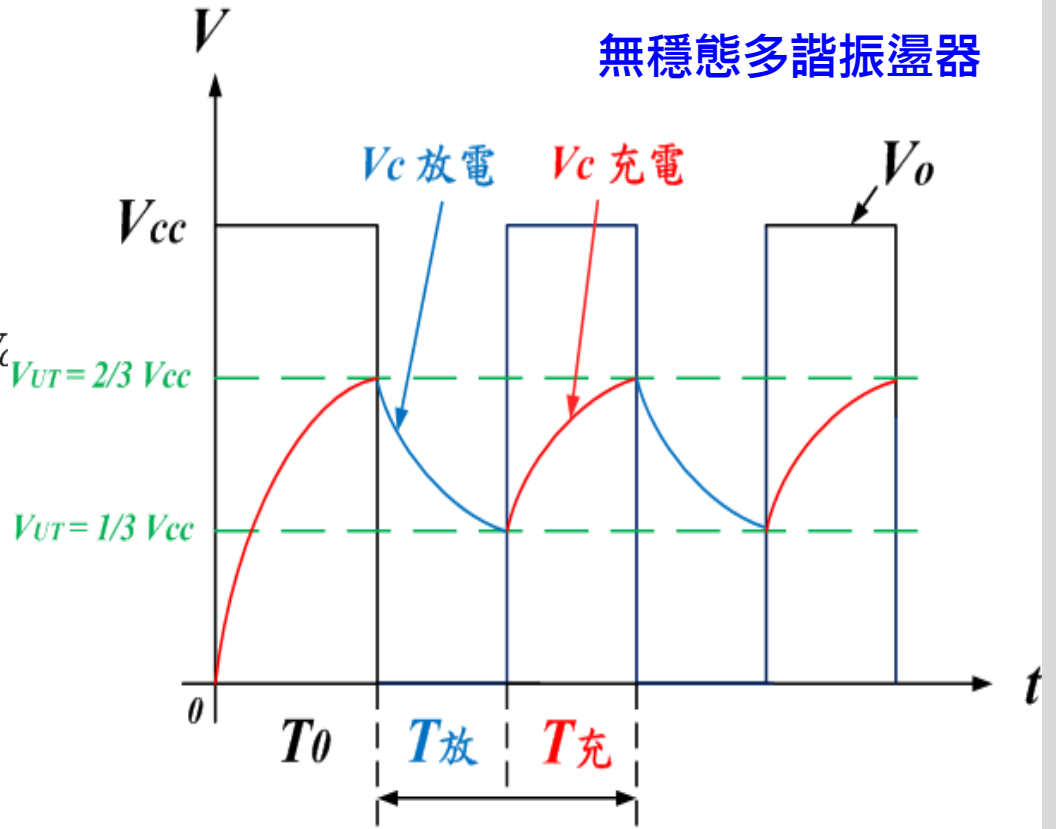
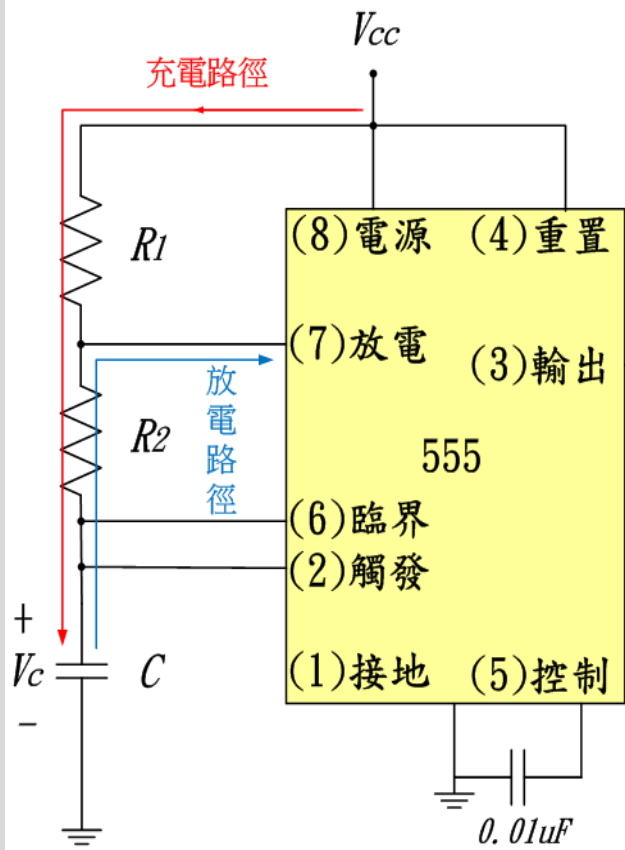
## 555 計時振盪電路



無穩態多諧振盪器電路接線圖

# 二、方波產生電路

## 555 計時振盪電路



## 二、方波產生電路

### 555 計時振盪電路

- 無穩態多諧振盪器：

在放電時間  $T_{\text{放}}$  內，電容  $C$  經  $R_2$  由  $V_{UT} = \frac{2}{3} V_{CC}$

放電至  $V_{LT} = \frac{1}{3} V_{CC}$  為止，依據電容充放電公式，可

$$\text{得 } V_C = V_{LT} = V_{UT} \times e^{\frac{-t}{R_2 C}} \quad \frac{1}{3} V_{CC} = \frac{2}{3} V_{CC} \times e^{\frac{-t}{R_2 C}}$$

$$\Rightarrow t = T_{\text{放}} = R_2 C \times \ln(2) \approx 0.7 R_2 C$$

## 二、方波產生電路

### 555 計時振盪電路

- 無穩態多諧振盪器：

在充電時間  $T_{\text{充}}$  內，電容  $C$  經  $R_1$ 、 $R_2$  由  $V_{LT} = \frac{1}{3} V_{CC}$

充電至  $V_{UT} = \frac{2}{3} V_{CC}$  為止，依據電容充放電公式，可得

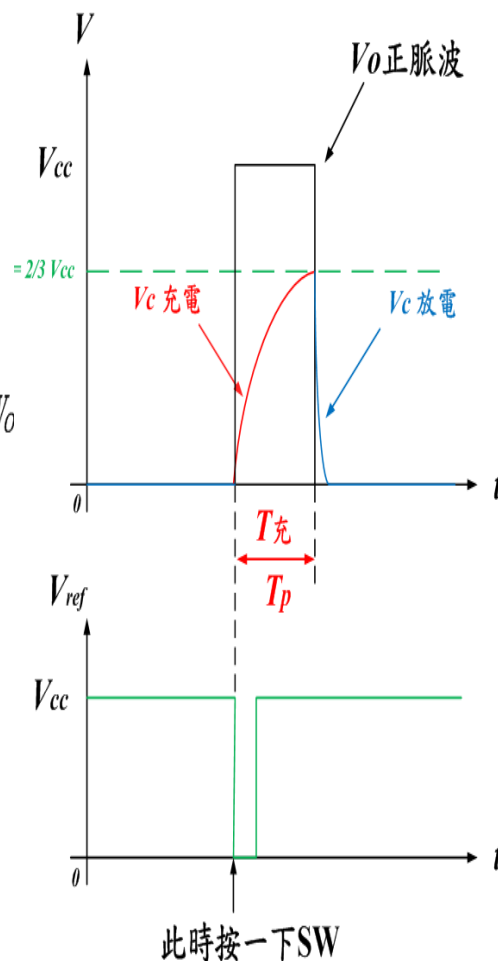
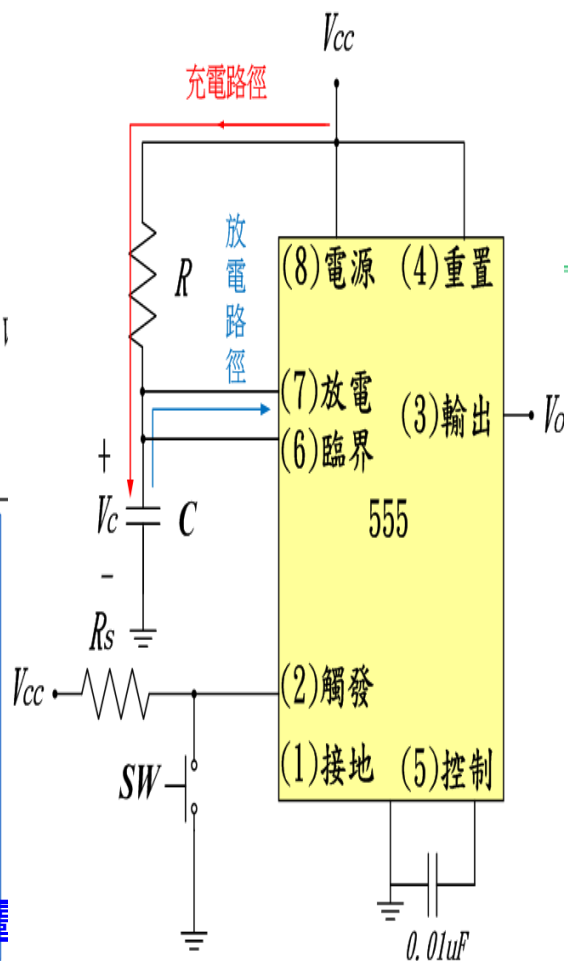
$$V_C = V_{UT} = V_{CC} \times \left( 1 - e^{\frac{-t}{(R_1 + R_2)C}} \right) + V_{LT} \times \left( 1 - e^{\frac{-t}{(R_1 + R_2)C}} \right)$$

$$\Rightarrow t = T_{\text{充}} = (R_1 + R_2)C \times \ln(2) \approx 0.7(R_1 + R_2)C$$

可得振盪週期  $T = T_{\text{放}} + T_{\text{充}}$

$$T \approx 0.7(R_1 + 2R_2)C$$

# 555 計時振盪電路



## 二、方波產生電路

### 555 計時振盪電路

- 單穩態多諧振盪器：

在正脈波 $T_P$ 時間內，電源 $V_{CC}$ 經電阻  $R$  向電容  $C$  由

0V 充電至  $V_{UT} = \frac{2}{3} V_{CC}$  為止，依據電容充放電公式，

$$\text{可得 } V_C = V_{UT} = V_{CC} \times \left(1 - e^{\frac{-t}{RC}}\right) \quad V_C = \frac{2}{3} V_{CC} = V_{CC} \times \left(1 - e^{\frac{-t}{RC}}\right)$$

→ 正脈波時間  $t = T_P = RC \times \ln(3) \approx 1.1RC$

## 二、方波產生電路

### 例題

- 555無穩態多諧振盪電路中，若 $R_1 = 1k\Omega$ ， $R_2 = 1k\Omega$ ， $C = 0.2\mu F$   
試求 (1)振盪週期 $T$  (2)工作週期 (3)振盪頻率 $f$

Ans:

- (1)  $\beta = \frac{1}{3}$
- (2)  $T = 1.4ms$
- (3)  $f = 714Hz$

- 已知555單穩態多諧振盪電路 $R_1 = 50k\Omega$ ， $C = 20\mu F$ ，  
試求輸出正脈波時間 $T$ 。

Ans:  $T_p = 0.7ms$