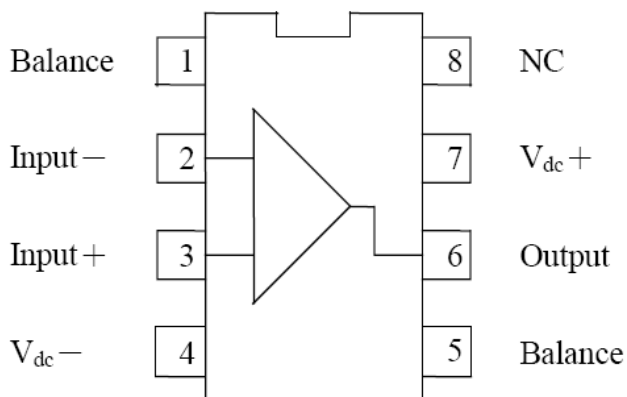


# 第十章 比較器

國立勤益科技大學資工系  
游正義

【E424研究室】

[youjy@ncut.edu.tw](mailto:youjy@ncut.edu.tw)



# 實驗目的

- 瞭解比較器的基本原理。
- 探討比較器在電路上之應用。
- 比較放大電路與比較電路的異同。

# 實驗原理

# 比較器

- 在前面所討論的放大電路中（包括積分器與微分器），其輸出端必須經過迴授零件，接至 **OP Amp** 的 “-” 輸入端，而構成一放大電路。假使有一電路如圖10-1所示。
- 輸入訊號由 “-” 輸入端輸入，而輸出經由電阻回授至 “+” 輸入端，因 “+”、“-” 端之電壓差為零，故在 “+” 端之電壓亦為  $V_{IN}$ 。

$$I_2 = \frac{V_{IN}}{R_2}$$

$$I_1 = \frac{V_0 - V_{IN}}{R_1}$$

由於  $I_1 = I_2$

故可得  $\frac{V_{IN}}{R_2} = \frac{V_0 - V_{IN}}{R_1}$

$$V_0 = V_{IN} \left( 1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$

(1)

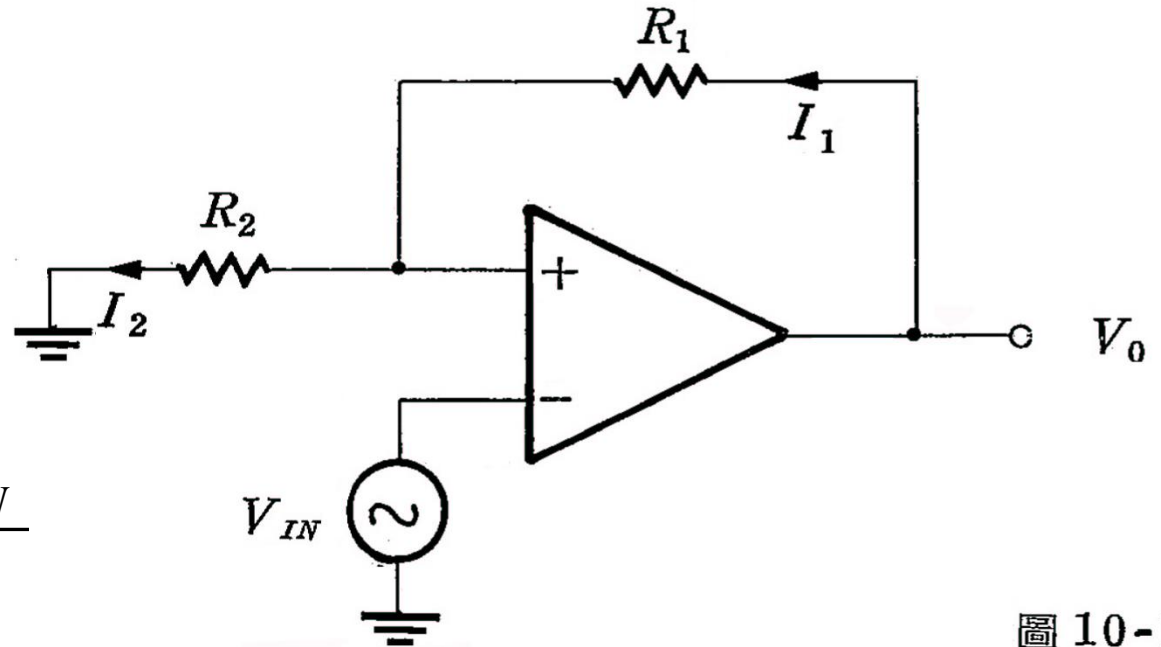


圖 10-1

- 由（1）式，可知輸出訊號與輸入訊號同相，且具有放大作用，而在前面介紹OP Amp的特性時，提到若訊號從“－”輸入端輸入，其輸出訊號應該反相，因此對於圖10-1電路之分析，以上的討論是錯誤的，（1）式亦不能成立。
- 故我們可以瞭解到，電路之輸出若有回授電阻回授至“＋”輸入端，則無法構成放大作用。圖10-1之電路留待下一個實驗再詳細討論整個電路之工作情形，此時，首先討論最基本的比較電路。

- 對於輸出沒有回授零件的電路來說，此種電路也無法構成放大作用，此時必須以另一種觀念來討論。
- 圖10-2為一基本的比較器，“+”輸入端接地，由於OP Amp本身具有無限大的開環路增益 $A$ ，當電壓比零電位高時，輸出電壓為

$$V_0 = -A \cdot V_{IN} = -\infty \quad (2)$$

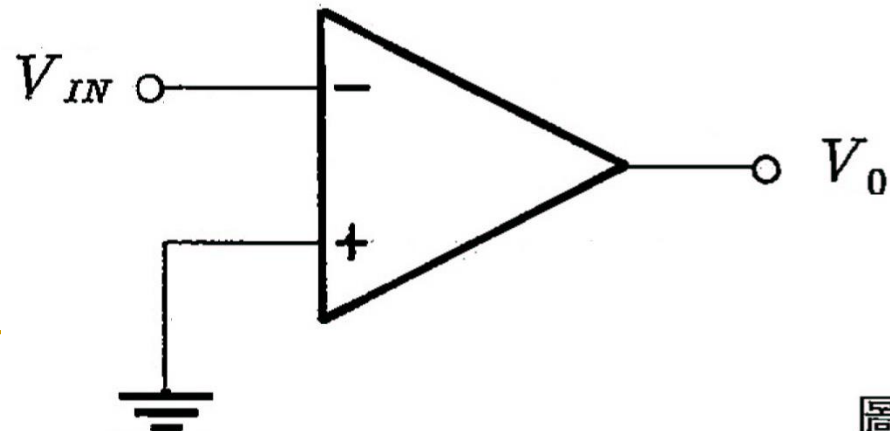


圖 10-2

- 其中 $V_{IN}$ 電壓為大於零之任何值，但是不能太大，否則會將輸入端之電晶體燒燬。
- 由(2)式知，輸出電壓為負無限大，但是OP Amp本身所加的電源有一定的限制，因此輸出電壓將為負的飽和電壓（比電源電壓小些），若 $V_{IN}$ 電壓比零伏低，則輸出電壓為正的飽和電壓。
- 假使輸入為一正弦波訊號，則可以得到一對稱的方波輸出，如圖10-3所示。（圖中，可以假設OP Amp的輸出飽和電壓近似相等於所加的電源電壓）



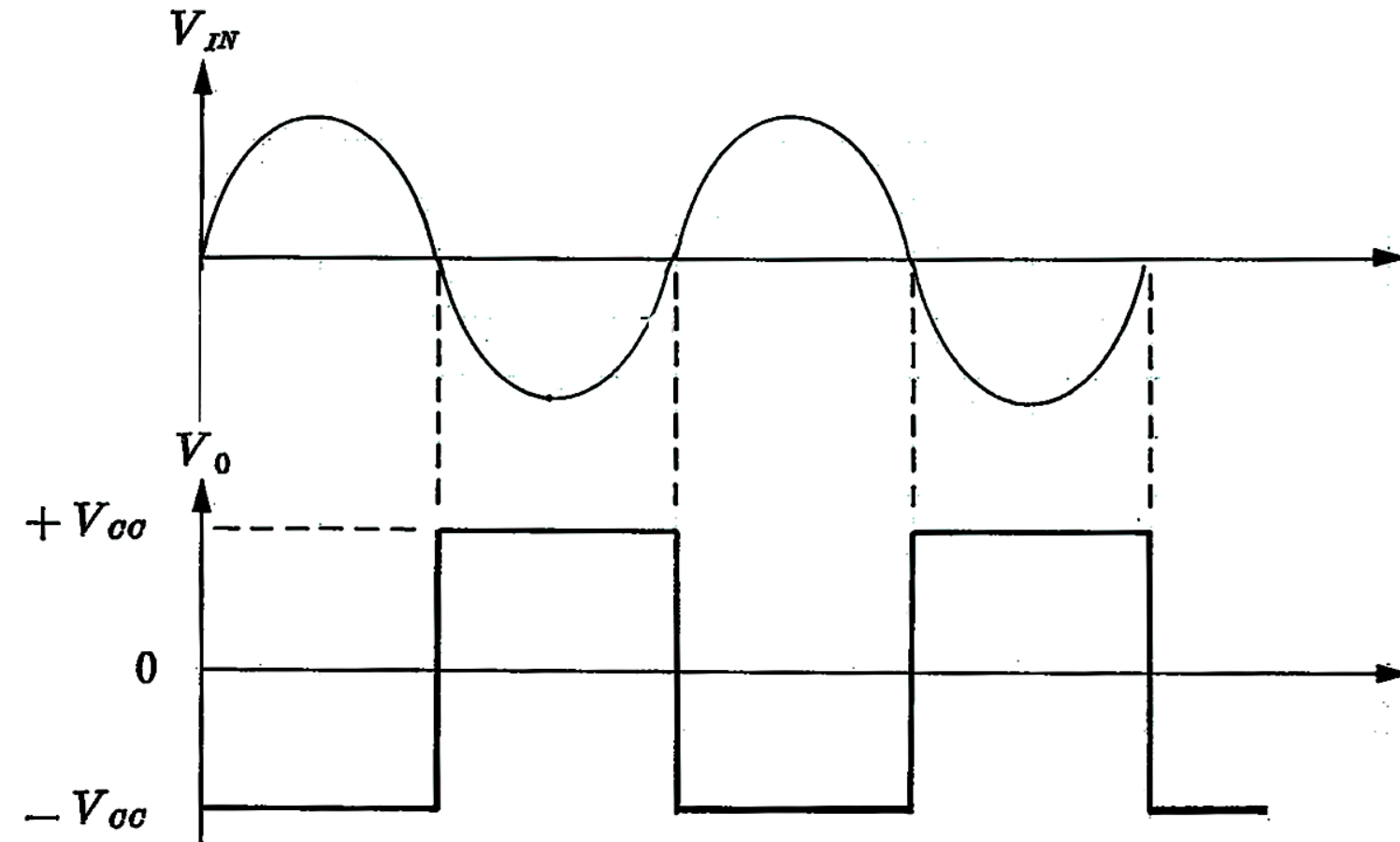


圖 10-3

若“-”輸入端接地，而輸入訊號由“+”輸入端加入，如圖10-4 (a) 所示，則輸出電壓與前面所討論的極性正好相反，當輸入電壓超過零伏時，輸出端可得到正的飽和電壓，如圖10-4 (b) 所示。

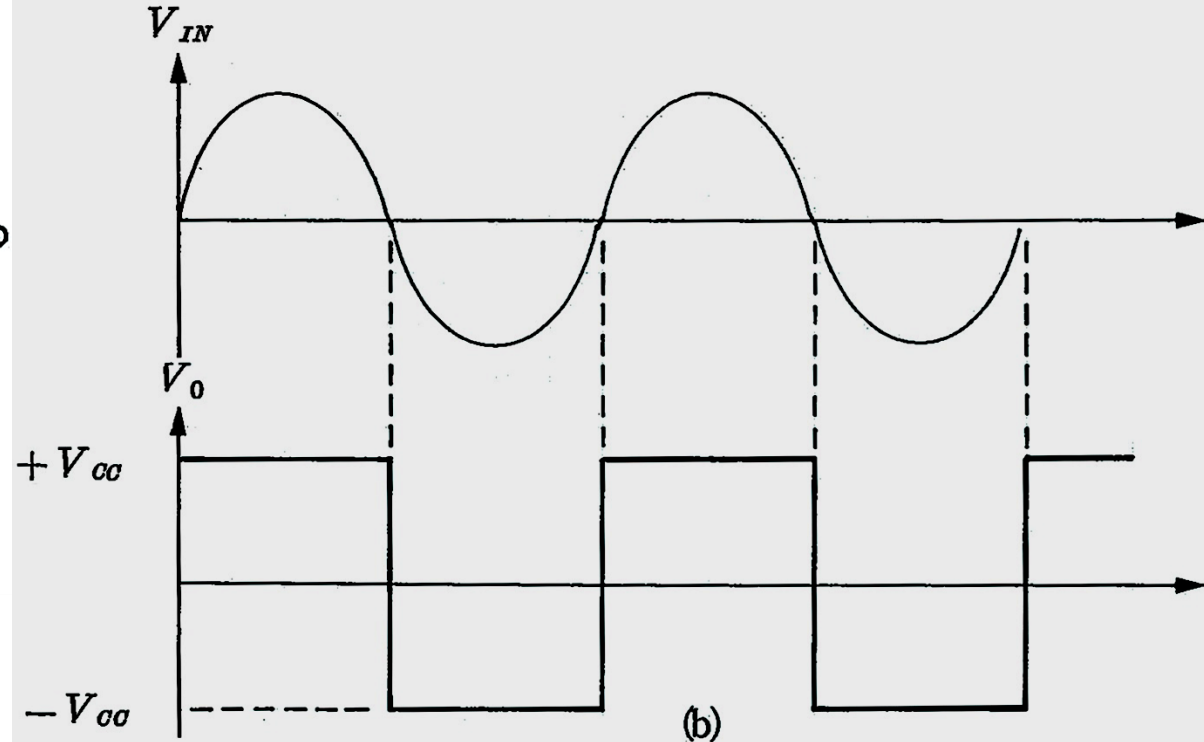
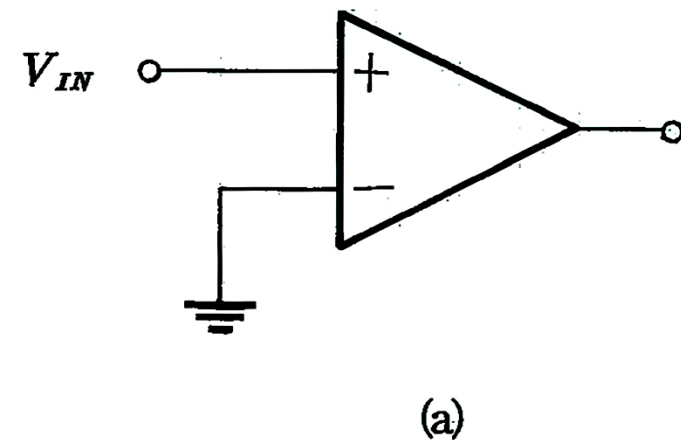


圖10-5 (a) 所示的比較器， “+”輸入端接一直流電壓，則 “-” 輸入端之輸入電壓必須大於 $V_1$ ，輸出才能得到負的飽和電壓；反之，若小於，則輸出為正的飽和電壓，如圖10-5 (b) 所示。

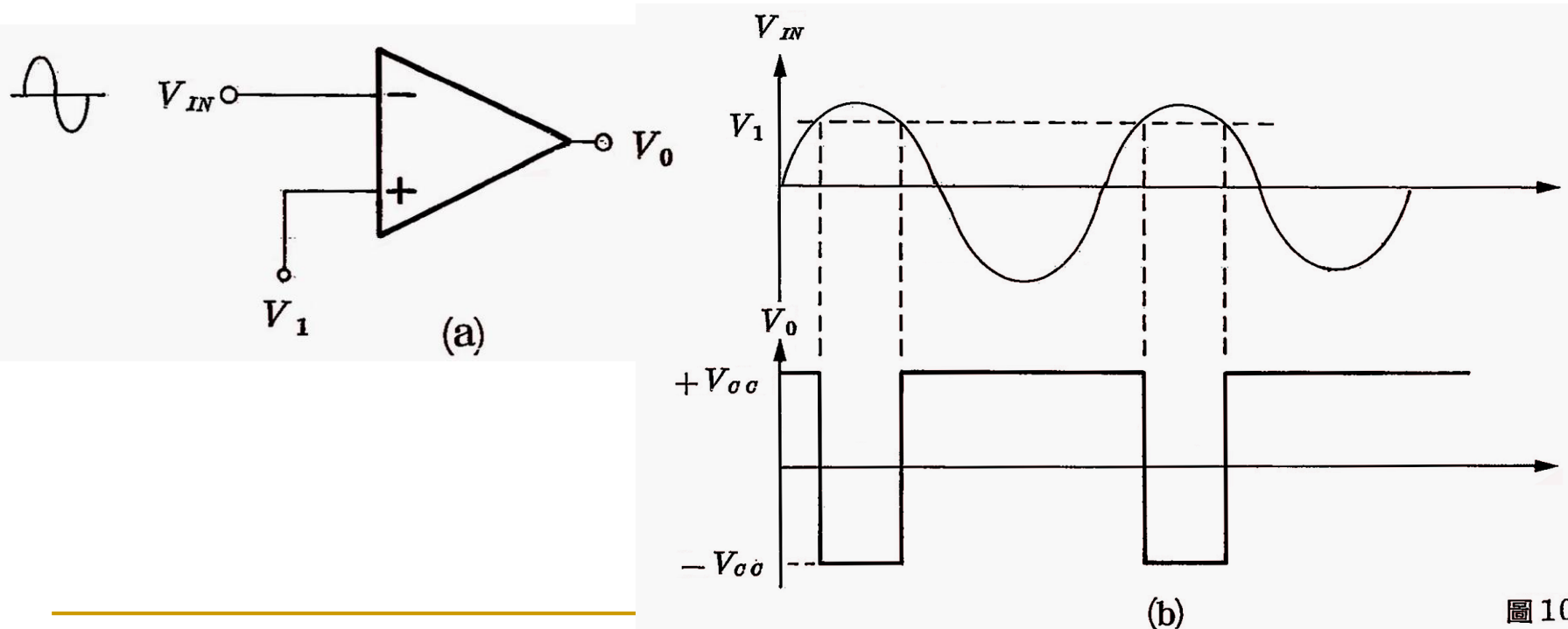


圖 10-5

假使 $V_1$ 電壓改接“-”輸入端， $V_{IN}$ 接於“+”輸入端，如圖10-6 (a) 所示，則可以得到一相反的輸出波形，如圖10-6 (b) 所示。

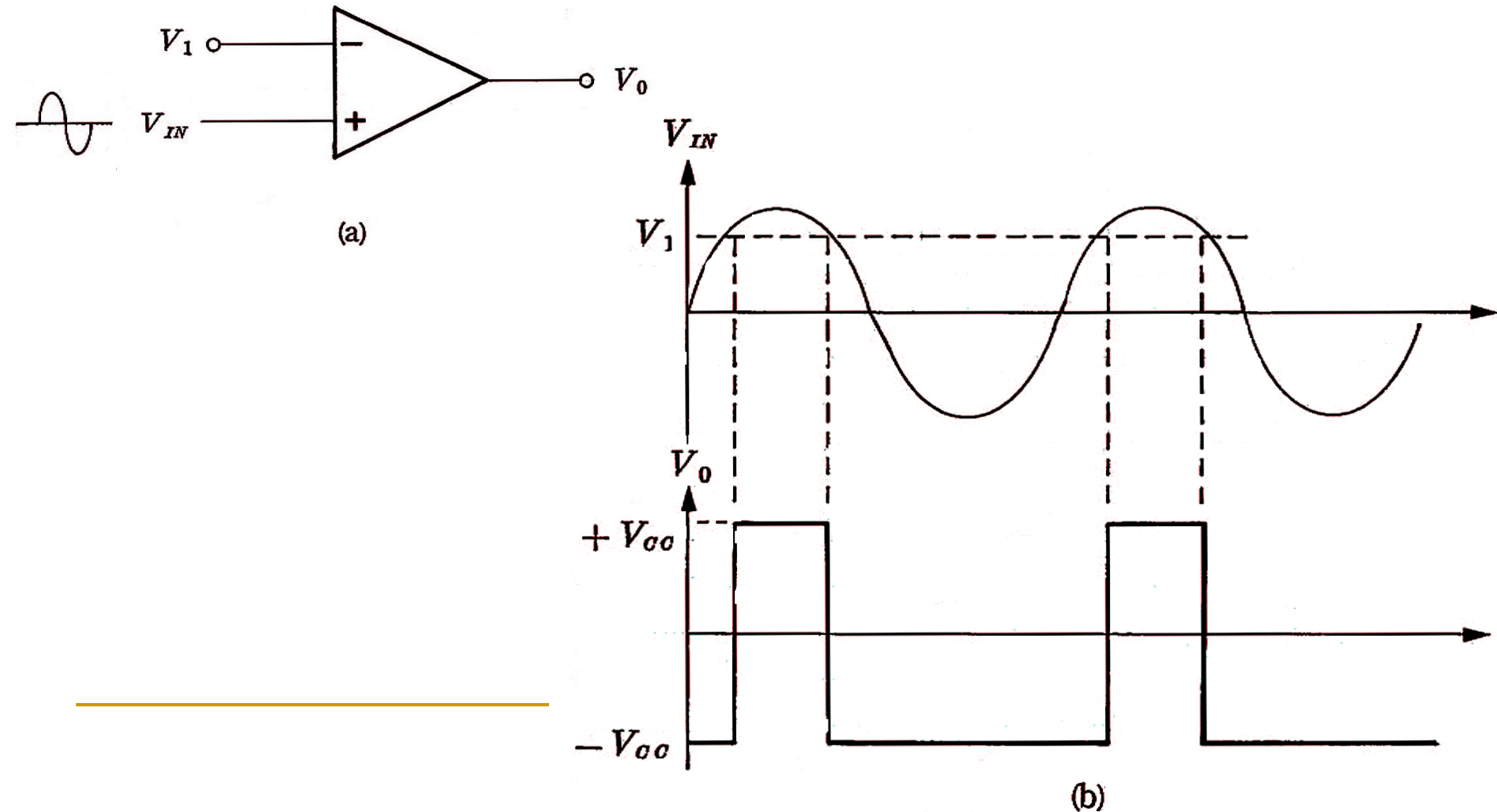


圖10-7為另一種比較器，它可以利用電阻的改變，變更觸發臨界電壓（**threshold level**）。圖中“+”輸入端接地，因此“-”輸入端的電壓只要大於或小於零電位，就能使輸出為負飽和或正飽和，而“-”輸入端的電壓為輸入電壓 $V_{IN}$ 與參考電壓 $V_f$ 之合成電壓，根據重疊原理，可知

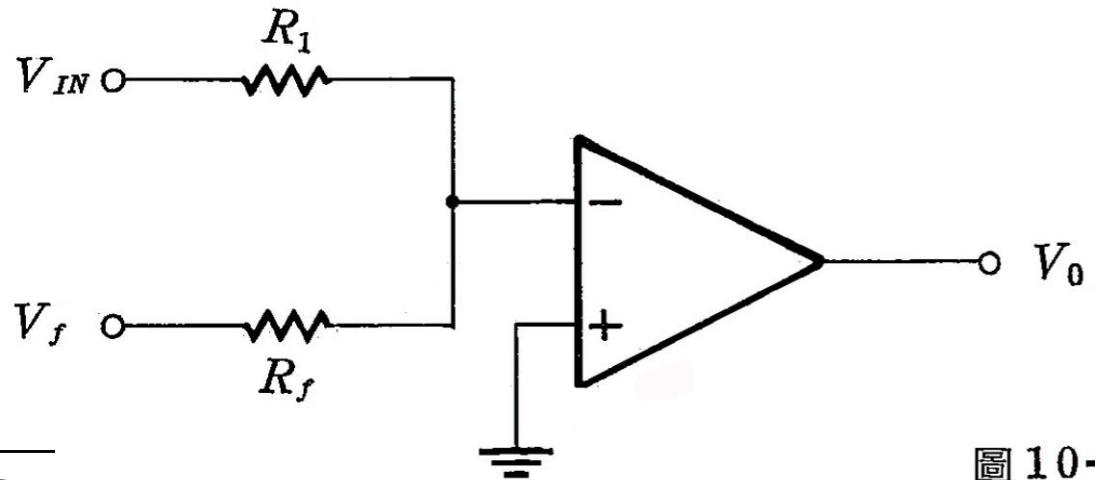


圖 10-7

$$\begin{aligned}
 V_{(-)} &= V_{IN} \frac{R_f}{R_1 + R_f} + V_f \frac{R_1}{R_1 + R_f} \\
 &= \frac{V_{IN} R_f + V_f R_1}{R_1 + R_f}
 \end{aligned}$$

(3)

欲使輸出為正或負飽和電壓，則必須使 $V_{(-)}$ 電壓小於或大於零電位，因此可以假設 $V_{(-)}$ 為0V，則（3）式為

$$\frac{V_{IN}R_f + V_fR_1}{R_1 + R_f} = 0 \quad (4)$$

因為 $R_1 + R_f \neq 0$ ，故(4)式可改寫為

$$V_{IN}R_f + V_fR_1 = 0$$

- 因此圖10-7之輸入訊號的臨界電壓（可使輸出為正或負飽和電壓之輸入電壓轉換點）為

$$V_{IN} = -\frac{R_1}{R_f} \cdot V_f \quad (5)$$

假使 $R_1 = 5K$ ， $R_f = 1K$ ， $V_f = +1V$ ，則  
 $V_{IN} = -5V$ ，亦即當輸入電壓大於 $-5V$ 時，  
 “—” 輸入端之電壓大於零電位，當輸入電  
 壓小於 $-5V$ 時，“—” 輸入端之電壓小於零  
 電位，因此可以得到圖10-8所示之輸入、輸出  
 波形的相對位置圖。

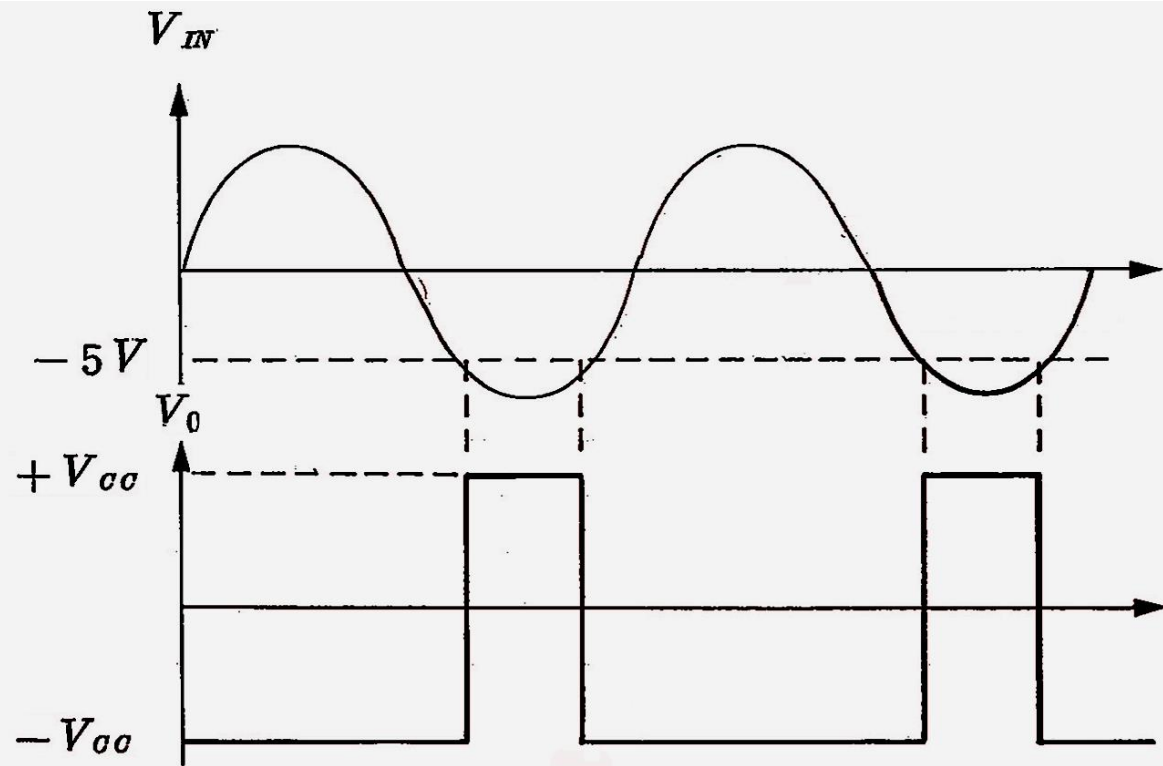


圖 10-8

(5) 式中， $R_1$ 及 $R_f$ 的改變，會影響到輸入的臨界電壓，因此我們不需要太大或特殊值的參考電壓，即可得到所要的輸入轉換電壓點。

- 假使圖10-7之“+”輸入端不接地電位，而改接一參考電壓 $V_1$ ，則輸入訊號的臨界電壓將變為

$$\frac{V_{IN} R_f + V_f R_1}{R_1 + R_f} = V_1$$

$$V_{IN} = -\frac{R_1}{R_f} V_f + \frac{R_1 + R_f}{R_f} V_1$$



在 $V_1$ 為 $+2V$ 的情況下， $V_{IN}=+7V$ ，此臨界電壓與 $V_1=0$ 的臨界電壓（ $=-5V$ ）有很大的差別，應特別注意。

- 比較器的輸出電壓一般均在正、負飽和電壓擺動，假使希望限制輸出電壓在正電壓與零電位擺動，則可如圖10-9所示。
- 在輸出端與“ $-$ ”輸入端接一二極體，此電路輸入電壓的工作情況與圖10-7所分析的一樣。

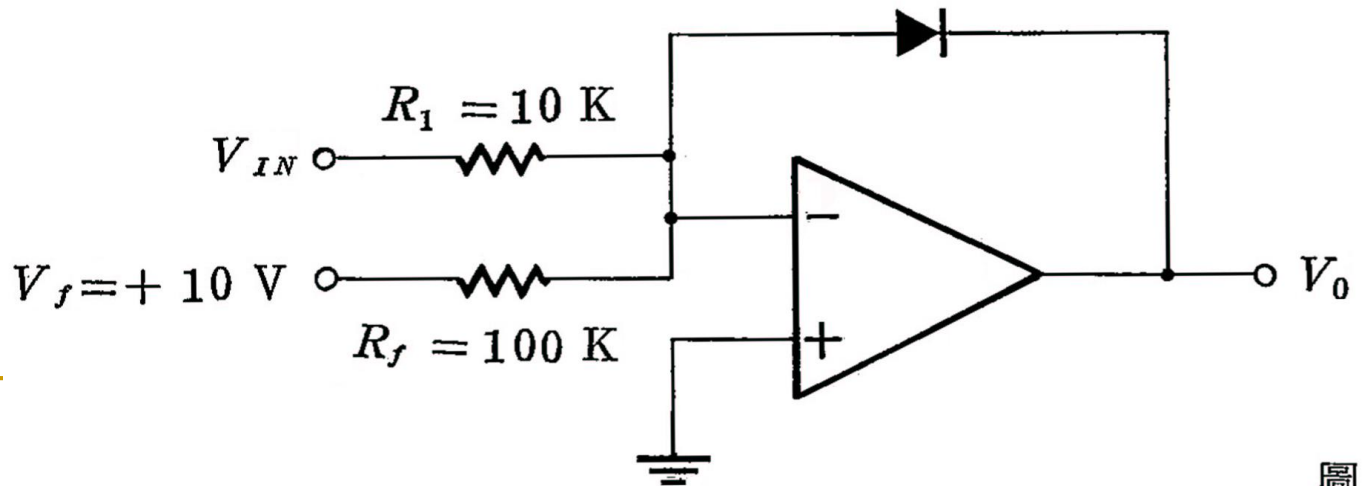


圖 10-9

由於二極體的存在，當輸出為負飽和時，“—”輸入端大於零電位，故二極體導通，而有一極小之電阻值，電路可以看成一倒相放大電路，且增益很小（除非 $R_1$ 及 $R_f$ 兩電阻亦很小），故圖10-9之比較器，在 $R_1$ 及 $R_f$ 為較高之電阻時，輸出之負飽和電壓被限制在零電位附近；當輸出為正飽和時，“—”輸入端小於零電位，故二極體截止，輸出維持在正飽和電壓不變，因此可以得到圖10-10所示輸入、輸出波形之相對位置圖。

$$V_{IN} = -\frac{R_1}{R_f} \cdot V_f = -\frac{10k}{100k} \cdot 10 = -1$$

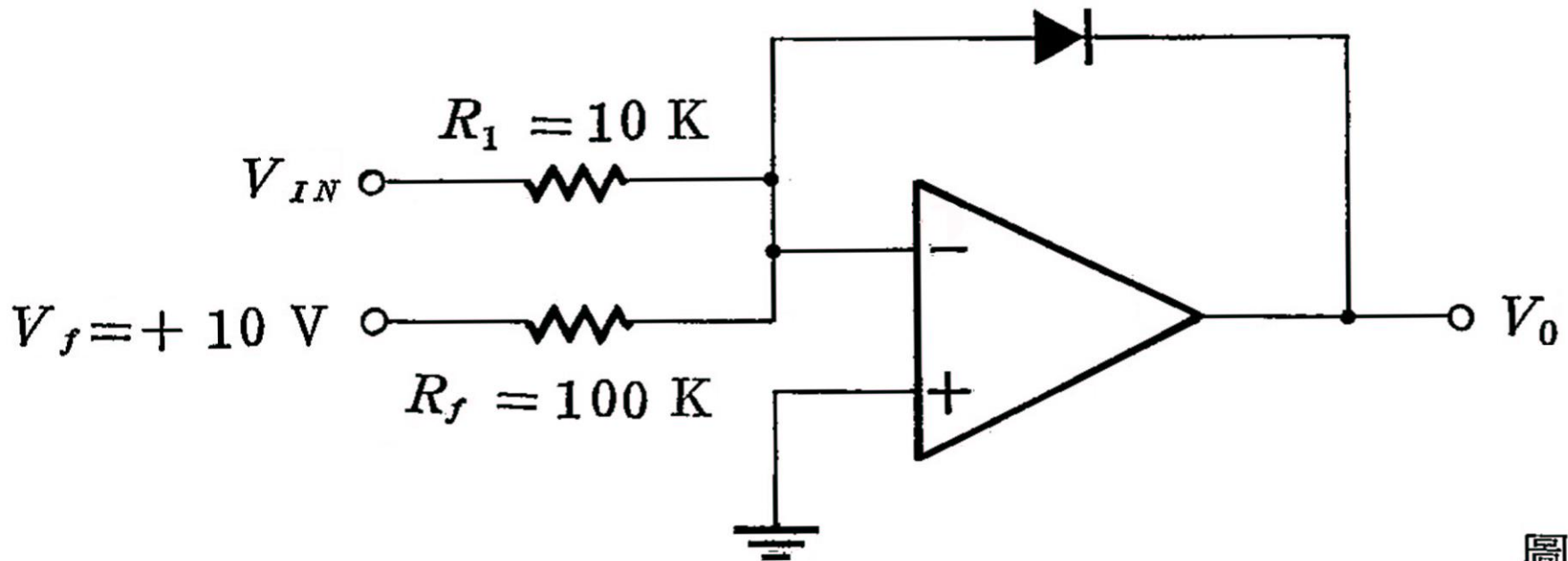


圖 10-9

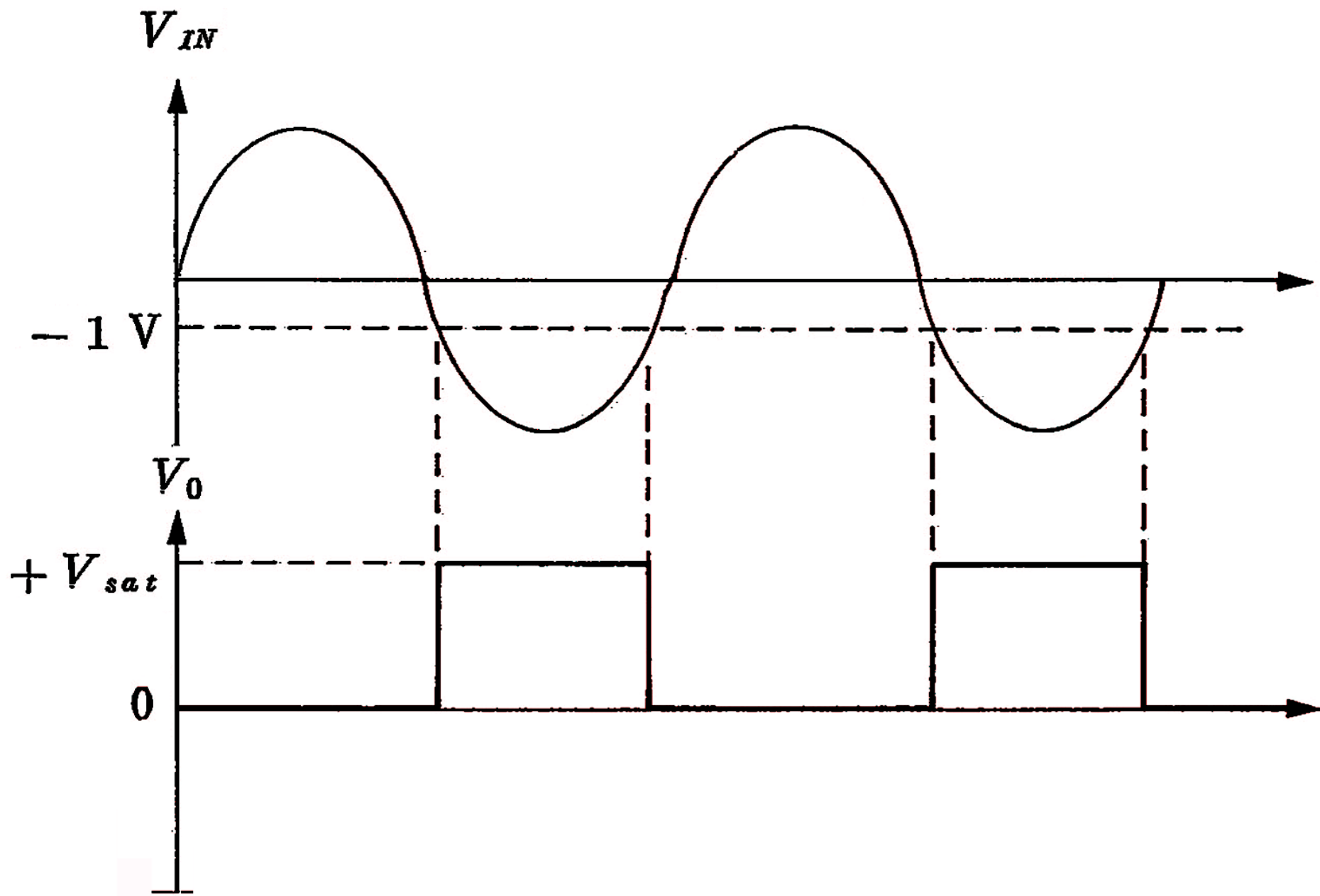
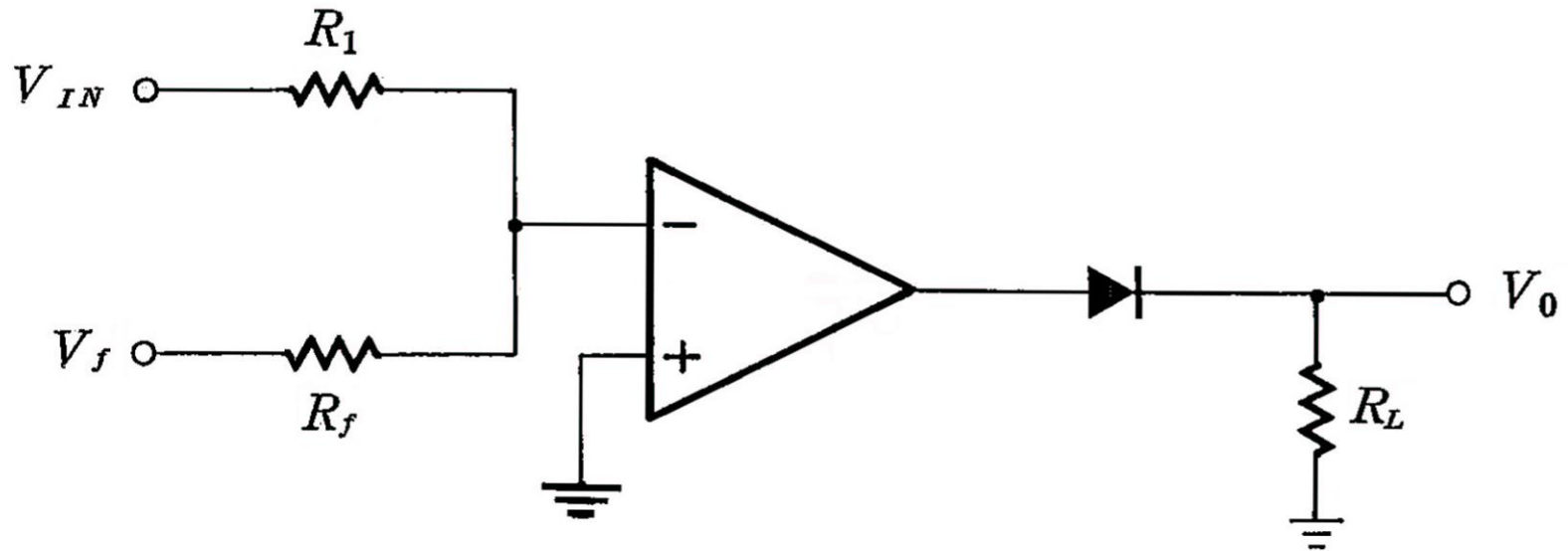


圖 10-10

圖10-9之電路，若二極體為理想，則負飽和電壓被限制於0V左右，否則將有一微小的負電壓存在。假使圖10-9之二極體極性接反，則輸出端之正飽和電壓將被限制於0V左右。

- 圖10-9之電路也可改用圖10-11之電路，二極體接在輸出端，阻止負飽和電壓通過，因此在 $V_O$ 上只能得到正飽和電壓與零電位，若 $R_L$ 值太大，將會有負電壓存在。



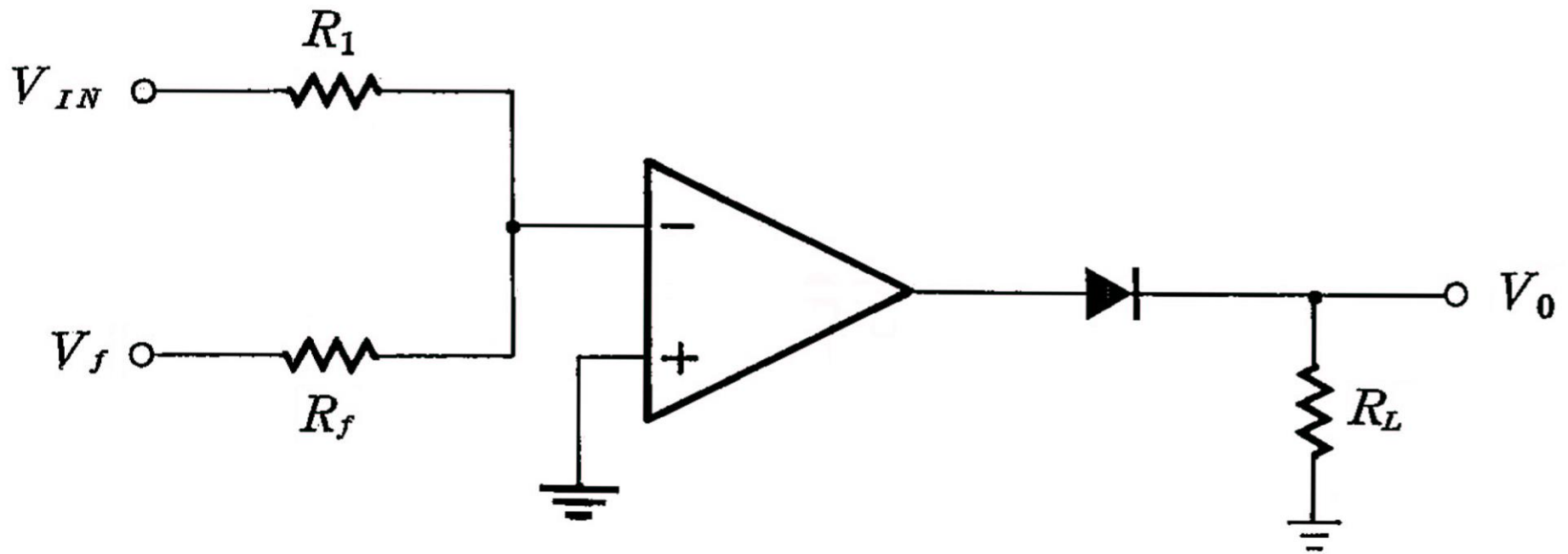


圖 10-11

若欲使比較器的輸出電壓箝位（clamping）至某一電壓值而不達到OP Amp的飽和電壓，我們可接成圖10-12所示之比較電路。

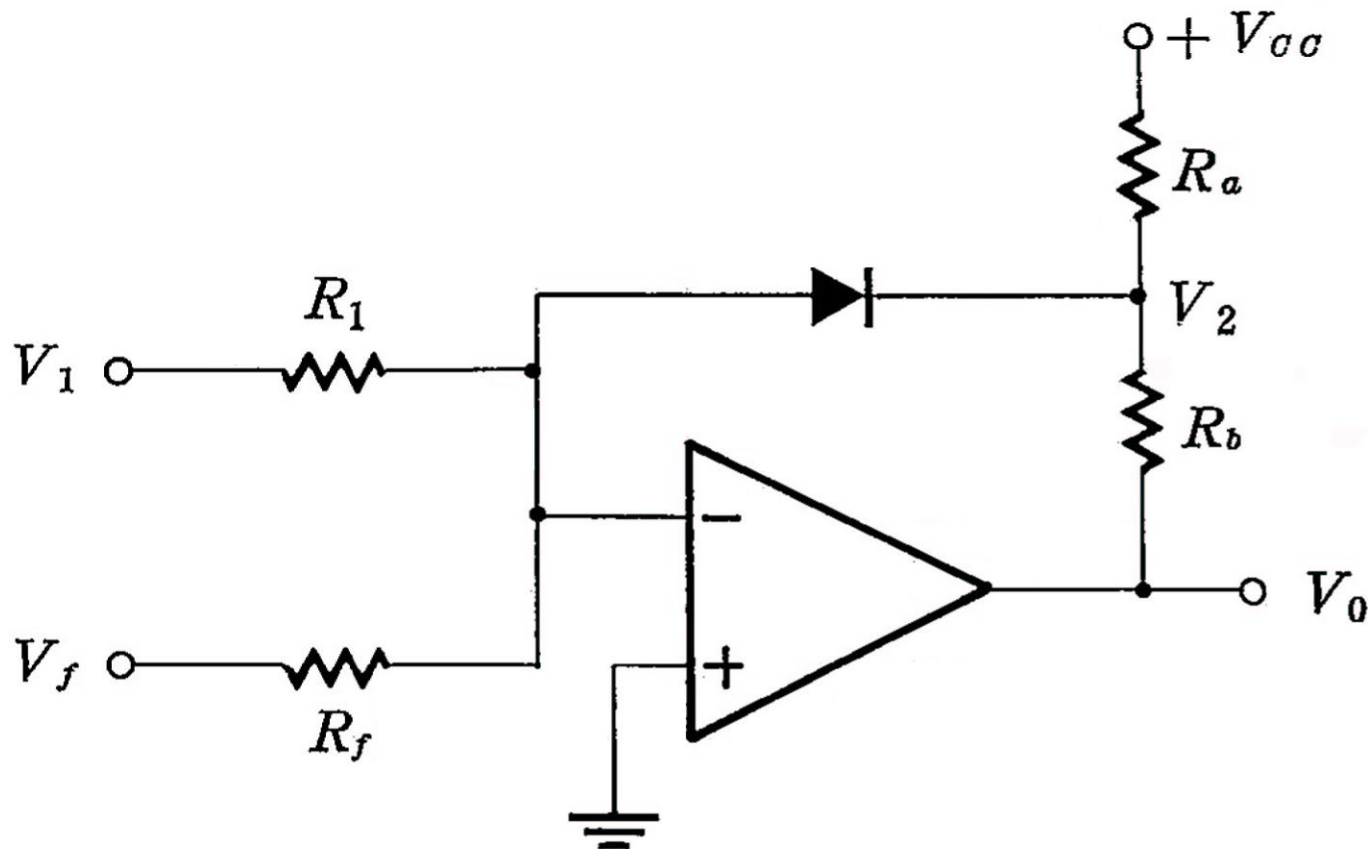


圖 10 - 12

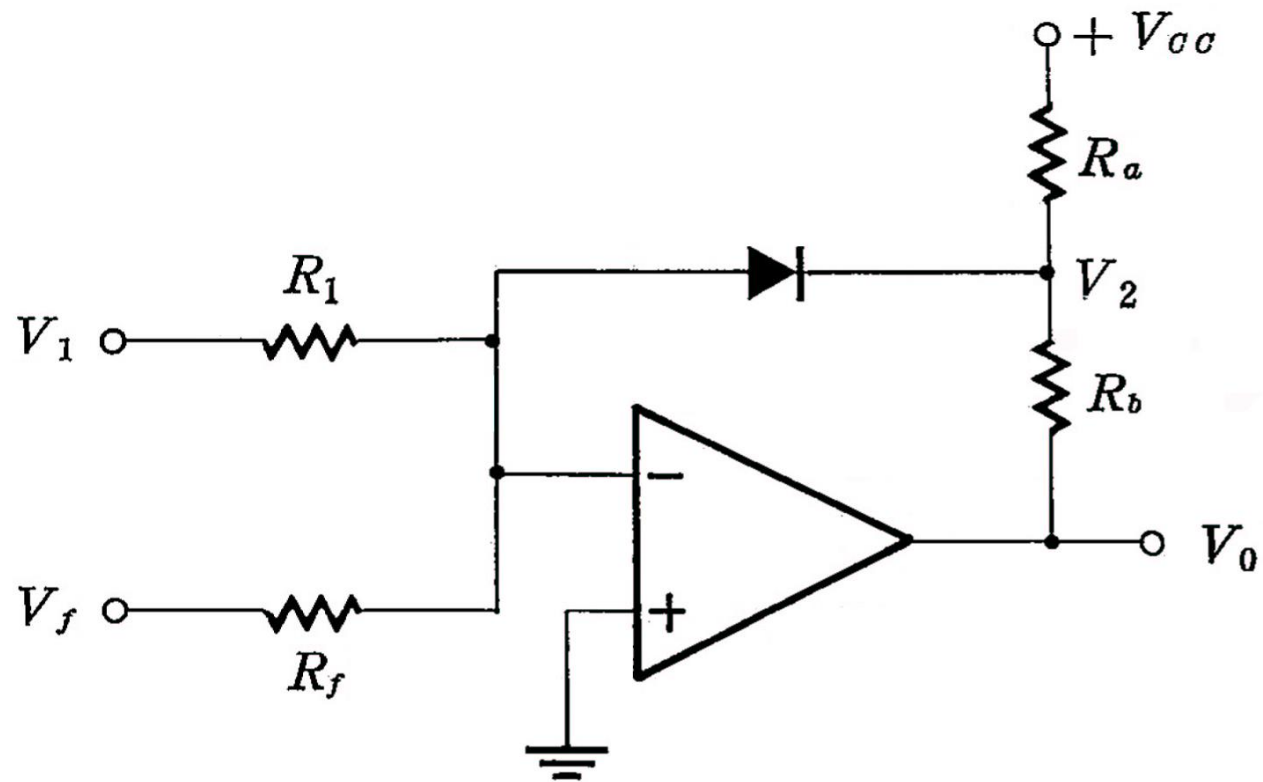


圖 10-12



在圖中，當輸出電壓為正飽和電壓時， $V_2$ 電壓亦為正值，此時“－”輸入端為低於零電位之電壓，故二極體不導通，因此二極體對輸出電壓不發生箝位的作用。

- 當輸出電壓變為負飽和電壓時，選擇 $R_b$ 小於 $R_a$ ，則 $V_2$ 電壓將為一負值電壓，此時“－”輸入端為高於零電位之電壓，故二極體導通，如同圖10-9電路之分析， $V_2$ 電壓將被限制在0V左右，由重疊原理，可以求得 $V_2$ 與 $V_{CC}$ 及 $V_O$ 之關係為

$$V_2 = V_{CC} \frac{R_b}{R_a + R_b} + V_O \frac{R_a}{R_a + R_b} \quad (7)$$

因  $V_2 \cong 0$ ，故 
$$V_0 = -\frac{R_b}{R_a} V_{CC} \quad (8)$$

- 由（8）式可知，輸出電壓不是負飽和電壓，而被箝位至一負值電壓，此電壓由 $R_a$ 及 $R_b$ 兩電阻決定，若  $R_a = 10K$ ， $R_b = 5K$ ， $V_{CC} = +10V$ 則輸出電壓被箝位於

$$V_0 = -\frac{R_b}{R_a} \cdot V_{CC} = -\frac{5K}{10K} \cdot 10V = -5V$$

- 圖10-12為單方向輸出箝位的比較電路，若要作一正、負半週均箝位的電壓比較電路，則可接成圖10-13所示之電路。

$$V_1 = -\frac{R_1}{R_f} V_f = -\frac{4}{1} \times 1 = -4V$$

$$V_2 = V_{CC} \frac{R_b}{R_a + R_b} + V_0 \frac{R_a}{R_a + R_b} \cong 0$$

$$V_0 R_a = -V_{CC} R_b$$

$$V_0 = -\frac{R_b}{R_a} V_{CC}$$

$$V_3 = -V_{CC} \frac{R_c}{R_c + R_d} + V_0 \frac{R_d}{R_c + R_d} \cong 0$$

$$V_0 R_d = V_{CC} R_c$$

$$V_0 = \frac{R_c}{R_d} V_{CC}$$

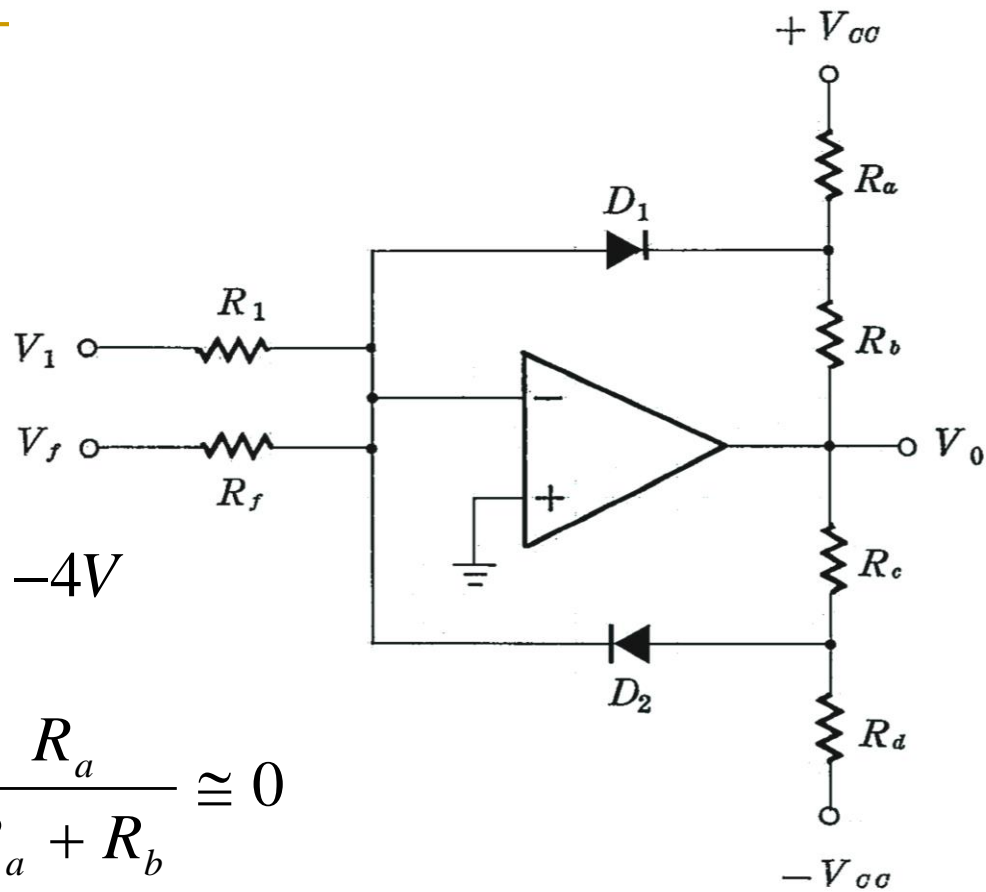
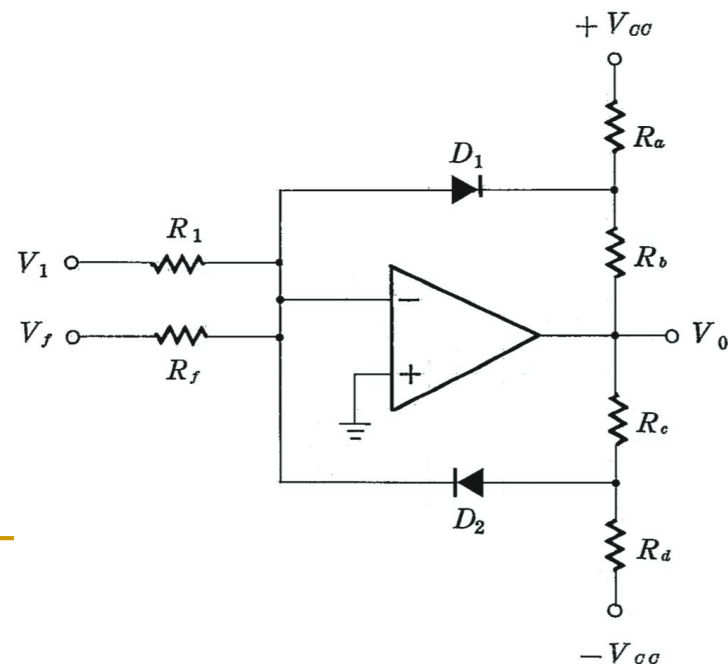


圖 10-13

- 圖中 $D_1$ 、 $R_a$ 、 $R_b$ 及 $+V_{cc}$ 箝位負的輸出電壓，而 $D_2$ 、 $R_c$ 、 $R_d$ 及 $-V_{cc}$ 箝位正的輸出電壓。
- $R_a = 10K$ ， $R_b = 5K$ ， $R_c = 2K$ ， $R_d = 10K$ ， $R_1 = 4K$ ， $R_f = 1K$ ， $V_f = +1V$ ，而 $V_{cc}$ 為 $\pm 10V$ ，此時若有一 $5V$ 峯值電壓之正弦波加至輸入端，則可得到圖10-14所示，輸入、輸出波形之相對位置圖。



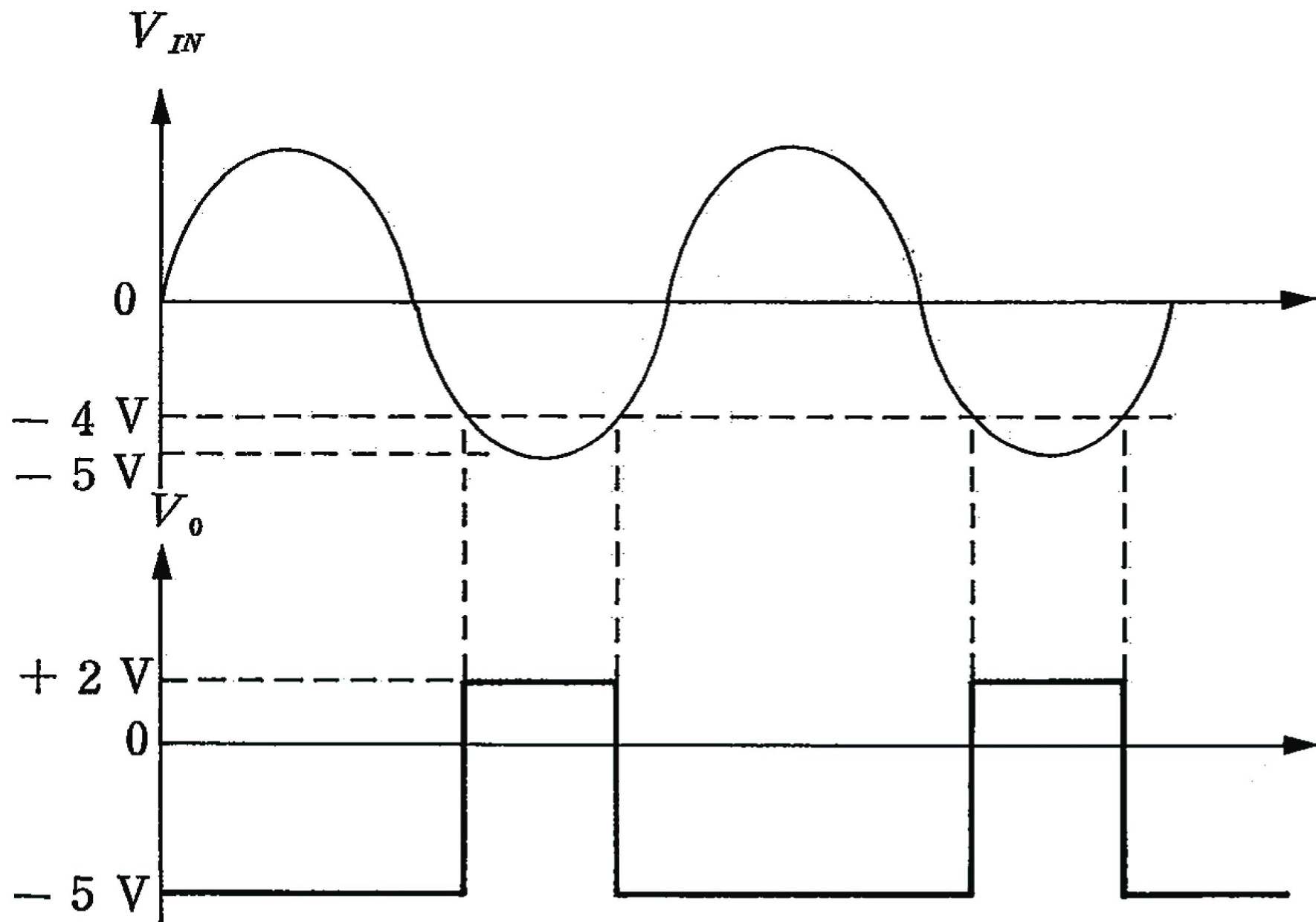


圖 10-14

### 三、實驗步驟

#### 1. 基本比較器之測試：

- (1) 如圖 10-15 連接綫路。
- (2) 調整  $V_B$  直流電壓爲零伏，輸入訊號  $V_{IN}$  之振幅爲 5 V 峯值電壓，頻率爲 100 Hz。
- (3) 以示波器  $DC$  檔觀測輸入及輸出之相對波形及電壓，並繪其波形於表 10-1 中。
- (4) 繪出理論之輸出波形，並與觀測波形相比較。
- (5) 改變輸入頻率如表 10-1 所示，重覆(2)~(4)之步驟，並繪其波形於表 10-1 中。
- (6) 改變  $V_B$  電壓如表 10-1 所示，重覆(2)~(5)之步驟，並繪其波形於表 10-1 中。
- (7) 若  $V_B$  改接“-”輸入端， $V_{IN}$  輸入訊號改接“+”輸入端，重覆(2)~(6)之步驟，並繪其波形於表 10-2 中。
- (8) 改用其他型號之 OP Amp，重覆(1)~(6)之步驟，並繪其波形於表 10-3 中。

#### 2. 電阻調整之比較器測試：

- (1) 如圖 10-16 連接綫路。
- (2) 調整  $V_B$  直流電壓爲零伏，輸入訊號  $V_{IN}$  之振幅爲 5 V 峯值電壓，頻率爲 100 Hz， $V_f$  參考電壓爲  $+V_{CC}$  電壓。

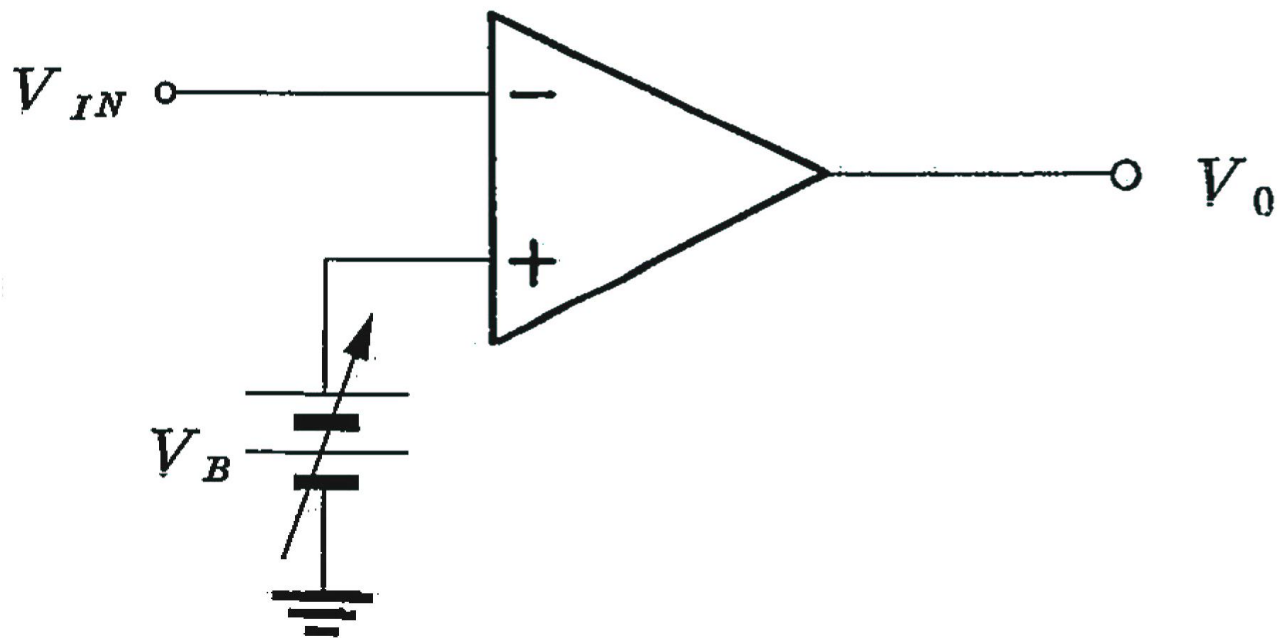


圖 10-15

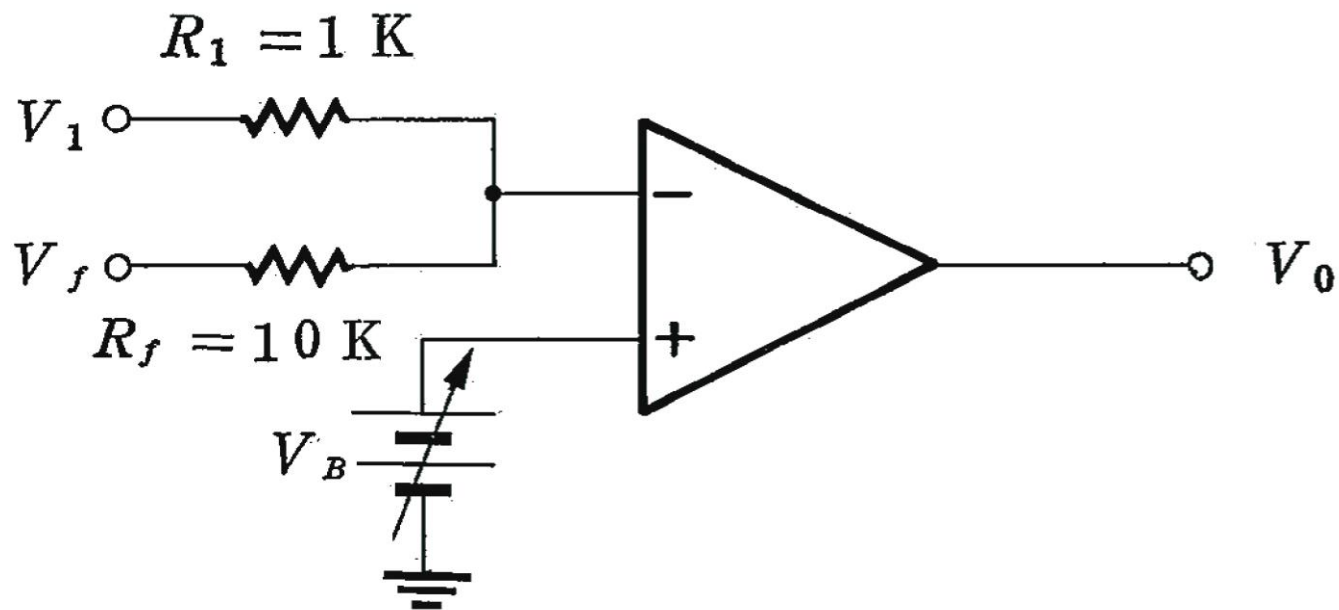


圖 10-16



- (3) 以示波器  $DC$  檔觀測輸入及輸出之相對波形及電壓，並繪其波形於表 10-4 中。
  - (4) 繪出理論之輸出波形，並與觀測波形相比較。
  - (5) 改變  $V_B$  電壓如表 10-4 所示，重覆(2)~(4)之步驟，並繪其波形於表 10-4 中。
  - (6) 改變  $R_1$  及  $R_f$  電阻如表 10-4 所示，重覆(2)~(5)之步驟，並繪其波形於表 10-4 中。
  - (7) 若將  $V_f$  電壓改接  $-V_{cc}$ ，重覆(2)~(6)之步驟，並繪其波形於表 10-5 中。
3. 單方向輸出箝位之比較器測試：
- (1) 如圖 10-17 連接綫路。
  - (2) 置  $V_f$  參考電壓為  $+V_{cc}$  電壓，輸入訊號  $V_{IN}$  之振幅為 5 V 峯值電壓，頻率為 1 KHz。
  - (3) 以示波器  $DC$  檔觀測輸入及輸出之相對波形及電壓，並繪其波形於表 10-6 中。
  - (4) 繪出理論之輸出波形，並與觀測波形相比較。
  - (5) 改變  $R_a$  及  $R_b$  電阻如表 10-6 所示，重覆(2)~(4)之步驟，並繪其波形於表 10-6 中。
  - (6) 改變  $R_1$  及  $R_f$  電阻如表 10-6 所示，重覆(2)~(5)之步驟，並繪其波形於表 10-6 中。
  - (7) 將圖 10-17 電路之二極體反接， $+V_{cc}$  改為  $-V_{cc}$ ，重覆(1)~(6)之步驟，並繪其波形於表 10-7 中。
4. 雙方向輸出箝位之比較器測試：

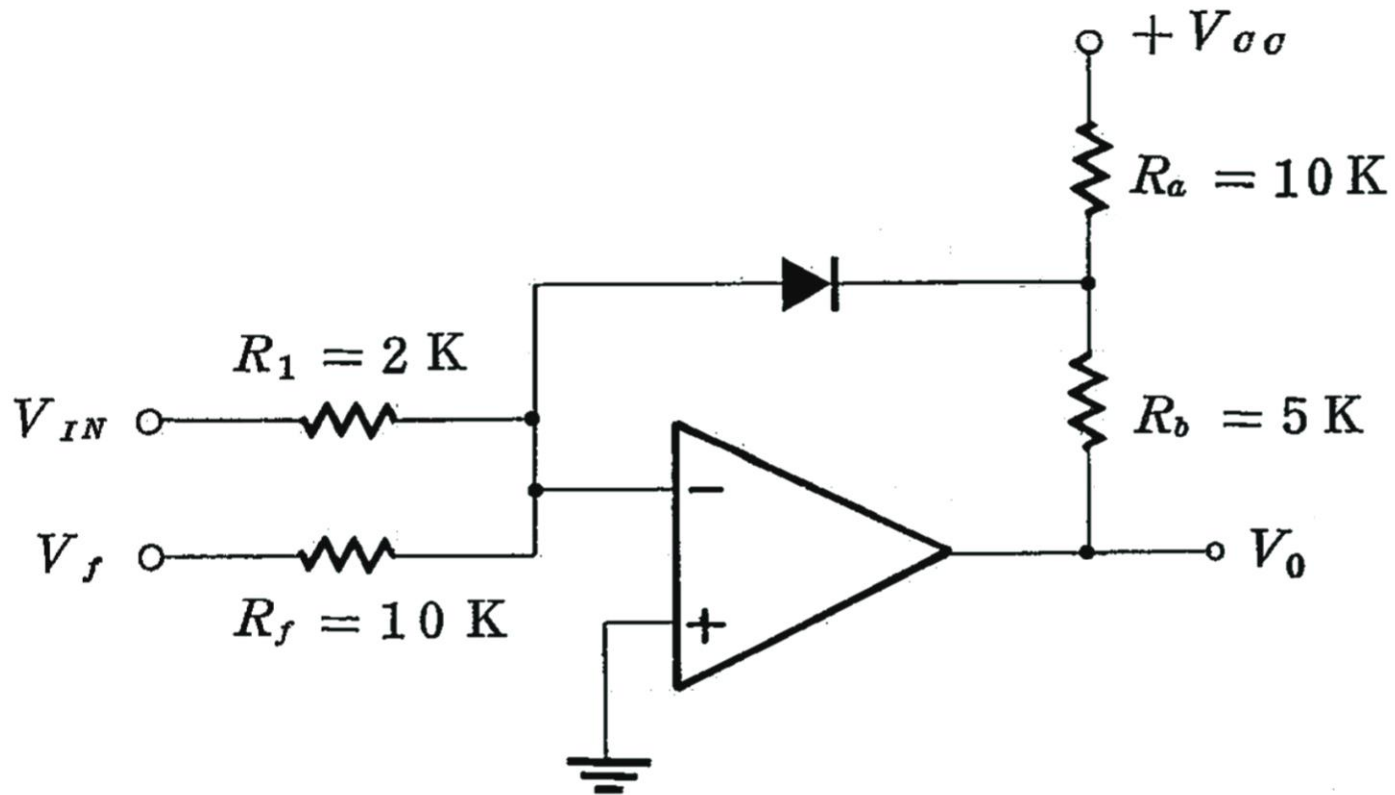


圖 10-17

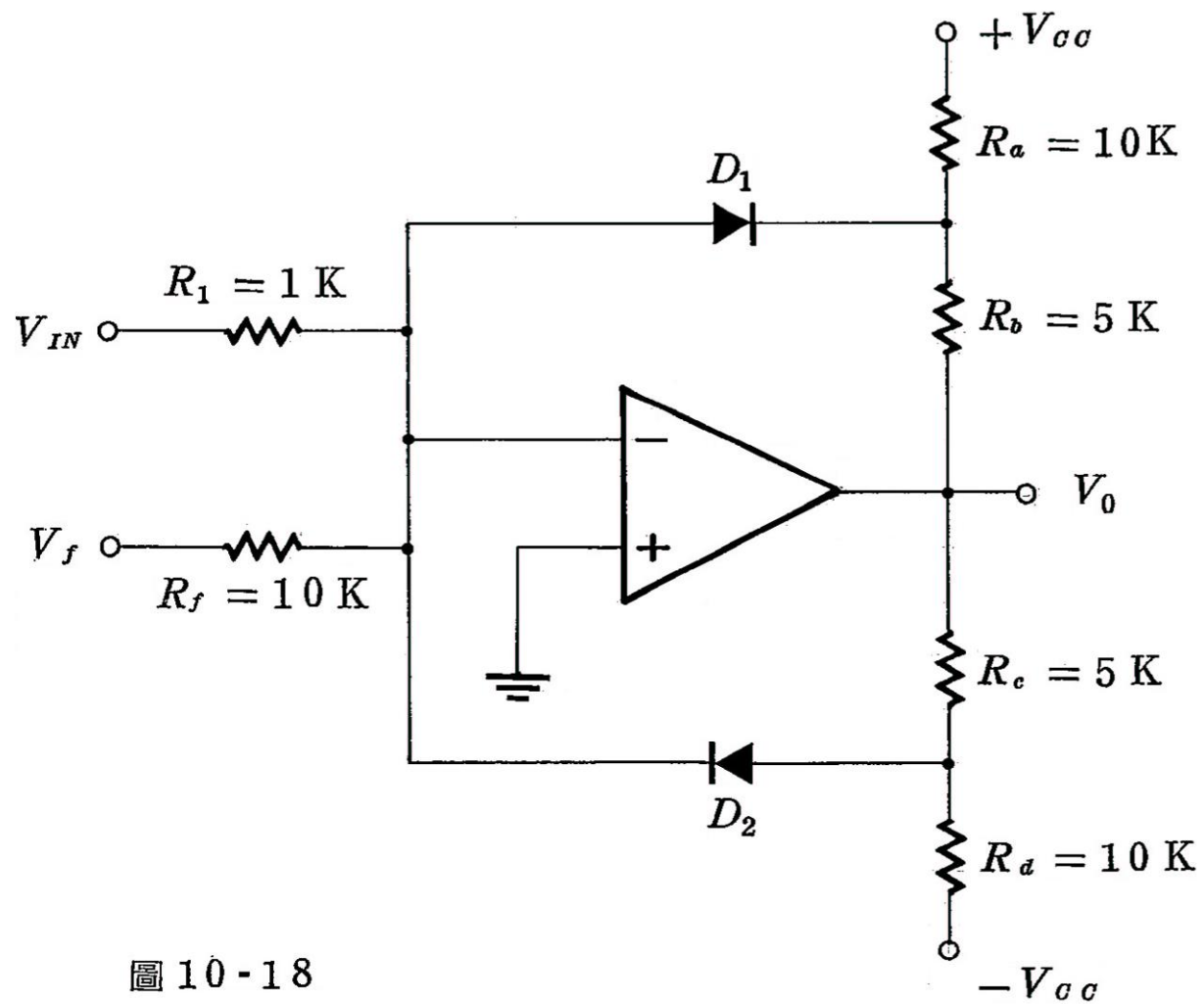


圖 10-18

- (1) 如圖 10-18 連接綫路。
- (2) 置  $V_f$  參考電壓為  $+V_{CC}$  電壓，輸入訊號  $V_{IN}$  之振幅為 5 V 峯值電壓，頻率為 1 KHz。
- (3) 以示波器  $DC$  檔觀測輸入及輸出之相對波形及電壓，並繪其波形於表 10-8 之中。
- (4) 繪出理論之輸出波形，並與觀測波形相比較。
- (5) 改變  $R_a$ 、 $R_b$ 、 $R_c$  及  $R_d$  電阻如表 10-8 所示，重覆(2)~(4)之步驟，並繪其波形於表 10-8 中。
- (6) 改變  $R_1$  及  $R_f$  電阻如表 10-8 所示，重覆(2)~(5)之步驟，並繪其波形於表 10-8 中。

# 討論