

# 第零章 基本運算放大器之理論

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)

# 電路符號

- 下圖是一個標準運算放大器的電路符號：

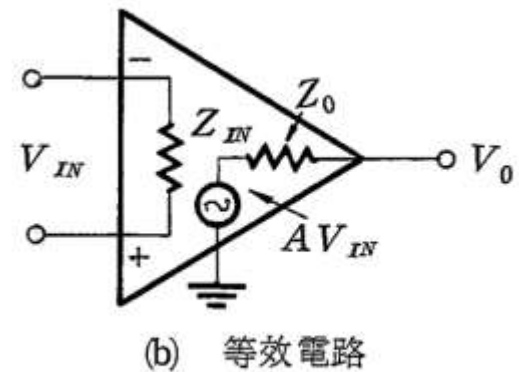
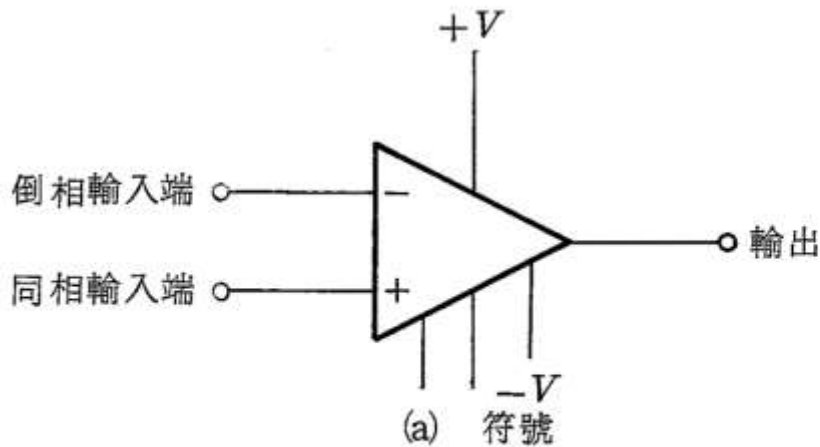
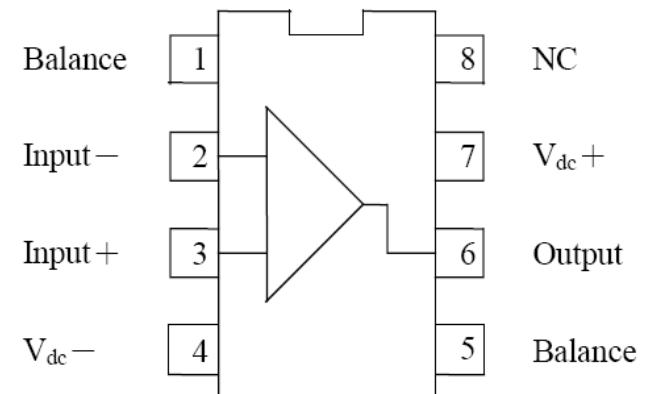
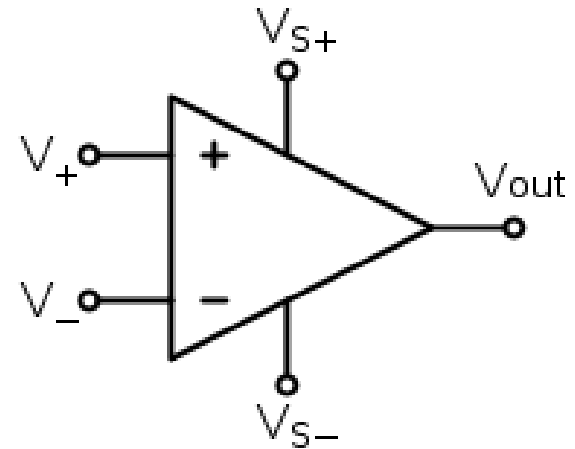


圖 0-1 OP Amp 之符號及等效電路



# 電路符號



■ 其中，

- $V_+$ ：非反相輸入端（non-inverting input）
- $V_-$ ：反相輸入端（inverting input）
- $V_{out}$ ：輸出端（output）
- $V_{S+}$ ：正電源端（亦可能以  $V_{DD}$ 、 $V_{CC}$  或  $V_{CC} +$  表示）
- $V_{S-}$ ：負電源端（亦可能以  $V_{SS}$ 、 $V_{EE}$  或  $V_{CC} -$  表示）

# 理想運算放大器的操作原理

- 一個理想的運算放大器（**ideal OPAMP**）必須具備下列特性：
  - **無限大的輸入阻抗（ $Z_{in}=\infty$ ）**：理想的運算放大器輸入端不容許任何電流流入，即上圖中的V+與V-兩端點的電流訊號恆為零，亦即輸入阻抗無限大。
  - **趨近於零的輸出阻抗（ $Z_{out}=0$ ）**：理想運算放大器的輸出端是一個完美的電壓源，無論流至放大器負載的電流如何變化，放大器的輸出電壓恆為一定值，亦即輸出阻抗為零。

# 理想運算放大器的操作原理

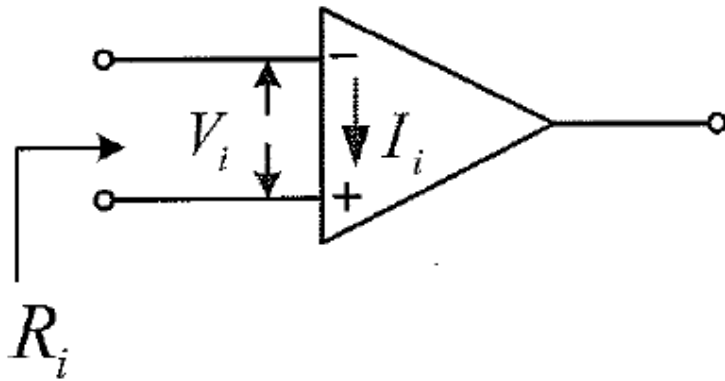
- ❑ 無限大的開迴路增益（ $A_d = \infty$ ）：理想運算放大器的一個重要性質就是開迴路的狀態下，輸入端的差動訊號有無限大的電壓增益，這個特性使得運算放大器十分適合在實際應用時加上負回授組態。
- ❑ 無限大的共模排斥比（ $CMRR = \infty$ ）：理想運算放大器只能對 $V_+$ 與 $V_-$ 兩端點電壓的差值有反應，亦即只放大 $V_+ - V_-$ 的部份。對於兩輸入訊號的相同的部份（即共模訊號）將完全忽略不計。

# 理想運算放大器的操作原理

- ❑ 無限大的頻寬：理想的運算放大器對於任何頻率的輸入訊號都將以一樣的差動增益放大之，不因為訊號頻率的改變而改變。
- ❑ 輸入抵補（**offset**）電壓為零。
- ❑ 具備良好的溫度補償。

# 虛接地

## 虛擬短路 (Virtual Short)



已知

$$R_i = \infty \Rightarrow I_i = \frac{V_i}{R_i} = 0$$

又

$$A = \infty \Rightarrow V_i = \frac{V_o}{A} \approx 0$$

$$\Rightarrow I_i = 0$$

$V_i = 0$ ，即  $V_- = V_+$  (等電位)， $I_i = 0$  表示『+』『-』端點間無電流流動→這現象稱『+』『-』兩端為虛擬短路

# 開迴路組態

- 當一個理想運算放大器採用開迴路的方式工作時，其輸出與輸入電壓的關係式如下：

$$V_{\text{out}} = (V_+ - V_-) \cdot A_{\text{do}}$$

- 其中 $A_{\text{do}}$ 代表運算放大器的開迴路差動增益（**open-loop differential gain**）。由於運算放大器的開迴路增益非常高，因此就算輸入端的差動訊號很小，仍然會讓輸出訊號「飽和」（**saturation**），導致非線性的失真出現。因此運算放大器很少以開迴路組態出現在電路系統中，少數的例外是用運算放大器做比較器（**comparator**），比較器的輸出通常為邏輯準位的「0」與「1」。



# 負回授組態

- 將運算放大器的反向輸入端與輸出端連接起來，放大器電路就處在負回授組態的狀況，此時通常可以將電路簡單地稱為閉迴路放大器。閉迴路放大器依據輸入訊號進入放大器的端點，又可分為反相（**inverting**）與非反相（**non-inverting**）兩種。
- 必須注意的是，所有閉迴路放大器都是運算放大器的負回授組態。

# 實際運算放大器的侷限

- 理想的運算放大器並不存在於這個世界上，所有的運算放大器電路都會遇到下列的問題，影響了它們的應用，也讓設計者在使用運算放大器時必須考量到更多可能會發生的問題。

# 實際運算放大器的侷限

- 直流的非理想問題
  - 有限的開迴路增益
  - 有限的輸入阻抗
  - 大於零的輸出阻抗
  - 大於零的輸入偏壓電流
  - 大於零的共模增益
- 交流的非理想問題
  - 有限的頻寬
  - 輸入電容

# 實際運算放大器的侷限

- 非線性的問題
  - 訊號飽和
  - 延遲率
  - 非線性轉換函數
- 功率損耗的考量
  - 輸出功率的限制
  - 輸出電流的限制

# 在電路設計中的應用

- 積分器
- 微分器
- 樞密特觸發電路
- 穩壓電路
- 定電流電路
- 主動濾波器
- **D/A**轉換電路
- 精密整流電路
- 儀表電路
- 對數放大器
- 指數放大器...等

# 741運算放大器的內部結構

- 了解運算放大器的內部電路，對於使用者在遭遇應用上的極限而導致無法達成系統設計規格時，非常有幫助。而雖然各家廠商推出的運算放大器性能與規格互有差異，但是一般而言標準的運算放大器都包含下列三個部份：
- 差動輸入級
  - 以一差分放大器（differential amplifier）作為輸入級，提供高輸入阻抗以及低雜訊放大的功能。
- 增益級
  - 運算放大器電壓增益的主要來源，將輸入訊號放大轉為單端輸出後送往下一級。
- 輸出級
  - 輸出級的需求包括低輸出阻抗、高驅動力、限流以及短路保護等功能。

# 741運算放大器內部電路

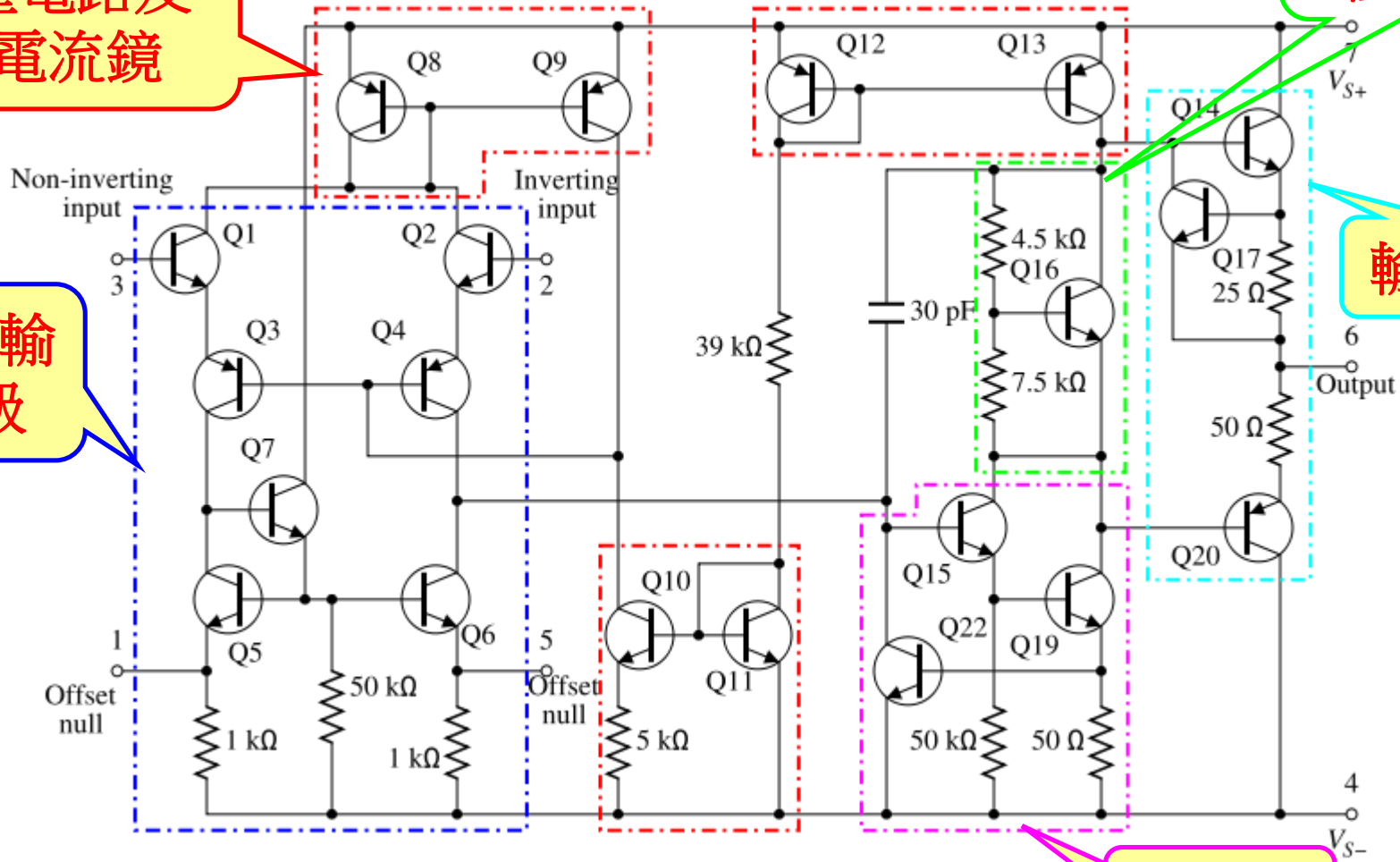
偏壓電路及其電流鏡

電壓位準  
移位器

輸出級

增益級

差分輸入級



741運算放大器內部電路

# 討論