

開迴路組態

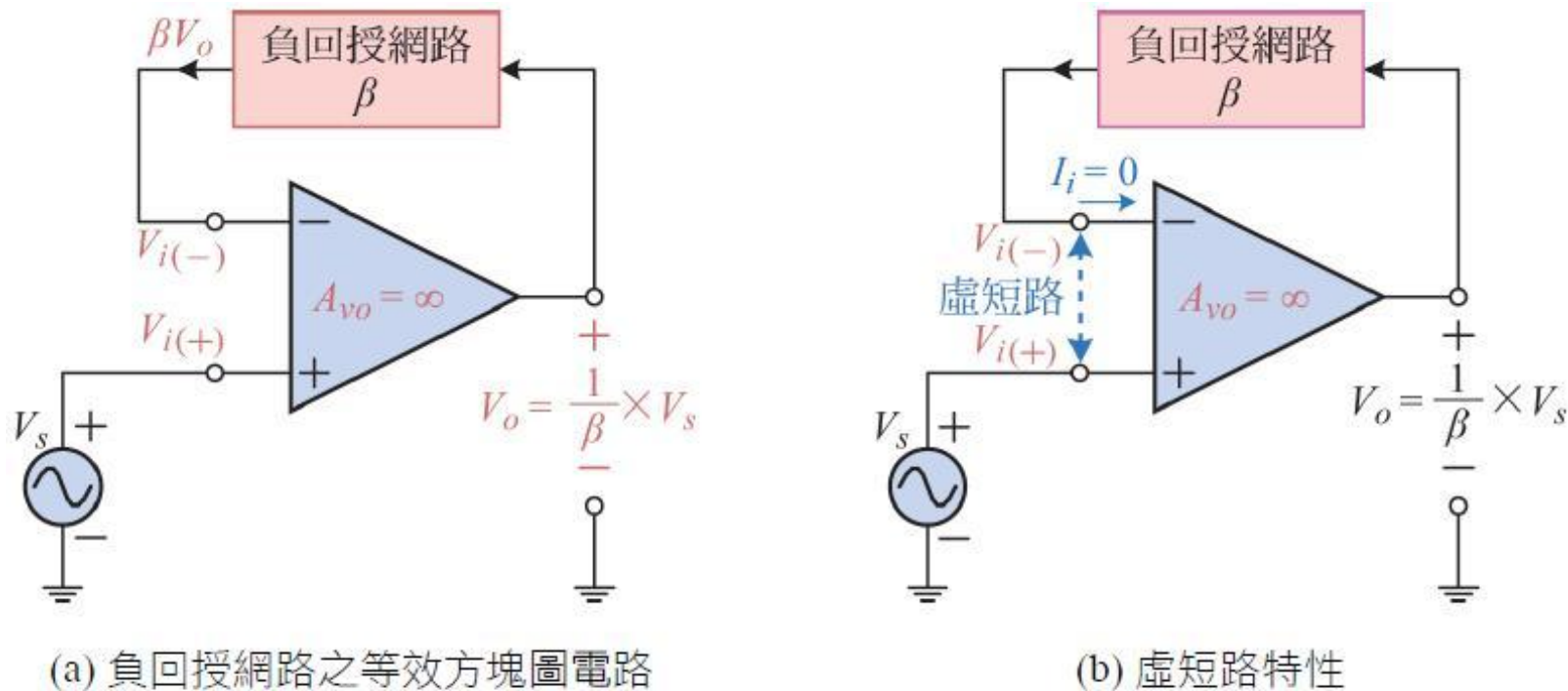
r 當一個理想運算放大器採用開迴路的方式工作時，其輸出與輸入電壓的關係式如下：

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

r 其中 A_{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」。

放大器的負回授基本觀念

因理想運算放大器的開迴路電壓增益為無窮大，在作為放大器使用時，必須加入負回授網路，以控制其閉迴路增益值。如圖10-9(a)為OPA加入負回授網路後之等效方塊圖電路。



↑ 圖 10-9 運算放大器的負回授放大特性

其中， $\beta = \frac{V_{i(-)}}{V_o}$ 為負回授因數值，其值由負回授網路電路決定， $A_{vo} = \infty$ 為理想 OPA 之開迴路電壓增益值。由圖 10-9 分析推導可知：

$$\begin{aligned}V_o &= A_{vo} \times (V_{i(+)} - V_{i(-)}) = A_{vo} \times (V_{i(+)} - \beta V_o) = A_{vo} \times V_{i(+)} - \beta A_{vo} \times V_o \\ \Rightarrow V_o + \beta A_{vo} \times V_o &= A_{vo} \times V_{i(+)} \\ \Rightarrow V_o &= \frac{A_{vo}}{1 + \beta A_{vo}} \times V_{i(+)} = \frac{1}{\frac{1}{A_{vo}} + \beta} \times V_{i(+)} = \frac{1}{\frac{1}{\infty} + \beta} \times V_{i(+)} = \frac{1}{0 + \beta} \times V_{i(+)} \\ &= \frac{1}{\beta} \times V_{i(+)}\end{aligned}$$

最後可證明 OPA 加入負回授網路後之閉迴路增益值：

$$A_{vf} = \frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{V_{i(+)}} = \frac{1}{\beta}$$

公式
10-1

上式結果表示，OPA 加入負回授網路後之閉迴路增益值 A_{vf} 只與負回授因數值 β 有關。

反向放大器(9/15)

T具T-網路的放大器

I 反向放大器

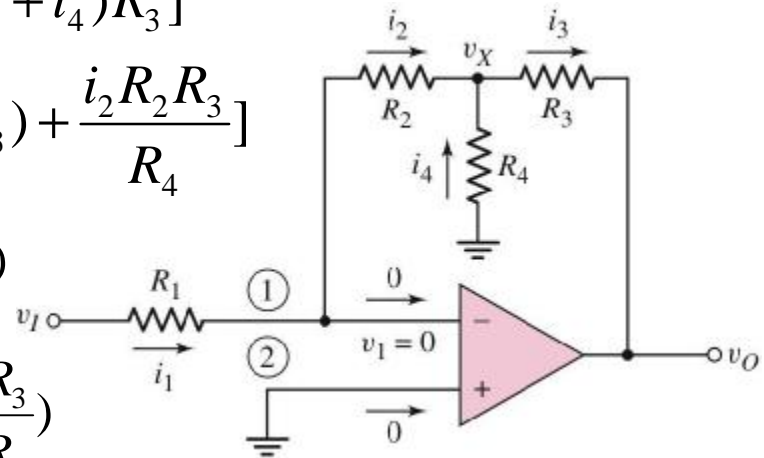
∅ 對於大多數真實電路，電阻 R_2 大才可得較大增益

∅ 如果 $A_v = -100$, $R_i = R_1 = 50 \text{ k}\Omega \rightarrow R_2 = 5 \text{ M}\Omega$

∅ 在回授迴路中使用 T-網路

I 在得到電壓增益之閉迴路中使用 T-網路

$$\begin{aligned}v_O &= v_X - i_3 R_3 = -i_2 R_2 - i_3 R_3 = -[i_2 R_2 + (i_2 + i_4) R_3] \\&= -[i_2 (R_2 + R_3) + \left(\frac{-v_X}{R_4}\right) R_3] = -[i_2 (R_2 + R_3) + \frac{i_2 R_2 R_3}{R_4}] \\&= -i_1 \left(R_2 + R_3 + \frac{R_2 R_3}{R_4}\right) = -\frac{v_I}{R_1} \left(R_2 + R_3 + \frac{R_2 R_3}{R_4}\right) \\ \Rightarrow A_v &= -\left(\frac{R_2}{R_1} + \frac{R_3}{R_1} + \frac{R_2 R_3}{R_1 R_4}\right) = -\frac{R_2}{R_1} \left(1 + \frac{R_3}{R_2} + \frac{R_3}{R_4}\right)\end{aligned}$$



反向放大器 (10/15)

例題 9.2: 設計一個具有T-網路並可應用於麥克風前級放大的運算放大器。此電路架構圖於圖 9.12中，麥克風最大輸出電壓為 12mV(rms)且有輸出電阻1kΩ。運算放大器將被設計成具有最大輸出電壓1.2V(rms)；放大器輸入電阻值應該相當大，但所有電阻值要小於 500 kΩ。

解答: 需要電壓增益

方程式 (9.18) → 在此形式

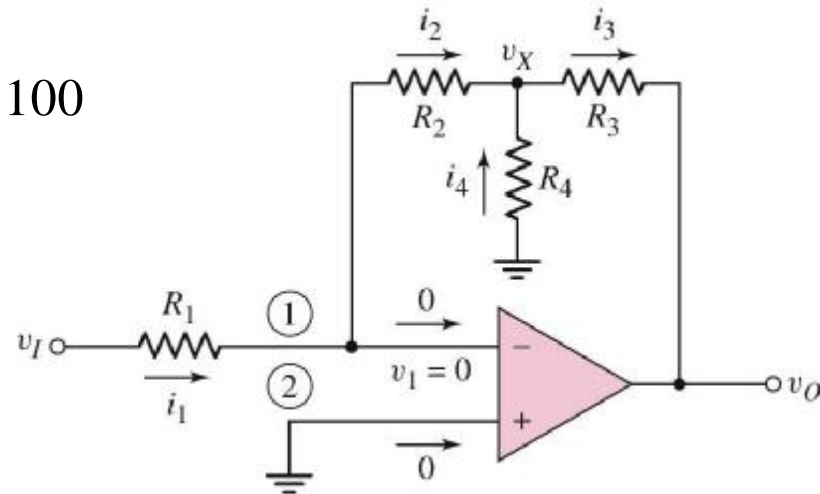
$$|A_v| = \frac{1.2}{0.012} = 100$$

選擇

$$A_v = -\frac{R_2}{R_1} \left(1 + \frac{R_3}{R_4} \right) - \frac{R_3}{R_1}$$

而且 $\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_3}{R_1} = 8$

$$-100 = -8 \left(1 + \frac{R_3}{R_4} \right) - 8 \quad \frac{R_3}{R_4} = 10.5$$



反向放大器(11/15)

有效 $R_1 \rightarrow$ 包含麥克風電阻 R_S

如果設定 $R_1 = 49 \text{ k}\Omega \quad \therefore R_{1,\text{eff}} = 50 \text{ k}\Omega \quad R_2 = R_3 = 400 \text{ k}\Omega \quad R_4 = 38.1 \text{ k}\Omega$

設計觀點:

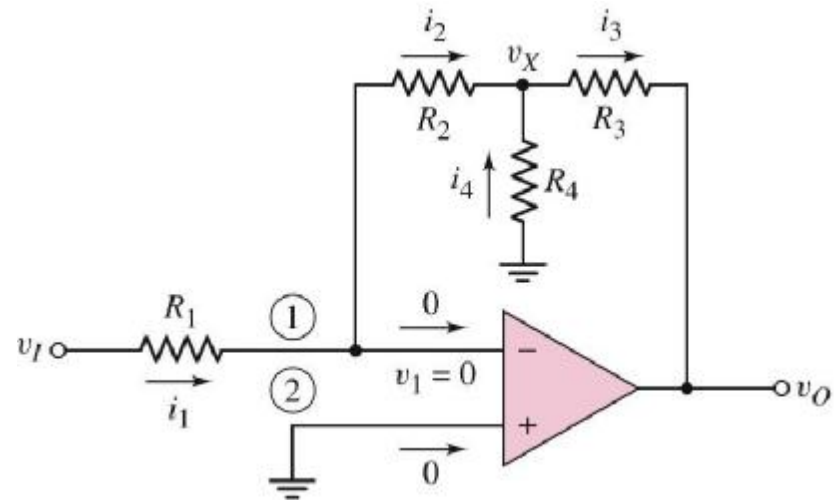
使用附錄D中標準電阻值

選擇 $R_1 = 51 \text{ k}\Omega$

$\therefore R_{1,\text{eff}} = 52 \text{ k}\Omega$

選擇 $R_2 = R_3 = 390 \text{ k}\Omega$

\rightarrow 使用方程式 (9.18)



$$A_v = -100 = \frac{-R_2}{R_{1,\text{eff}}} \left(1 + \frac{R_3}{R_4} \right) - \frac{R_3}{R_{1,\text{eff}}} = \frac{-390}{52} \left(1 + \frac{390}{R_4} \right) - \frac{390}{52}$$

$R_4 = 34.4 \text{ k}\Omega \rightarrow$ 標準的電阻值 $R_4 = 33 \text{ k}\Omega$

此電阻值可產生電壓增益 $\rightarrow A_v = -103.6$

反向放大器 (12/15)

取捨

Ø 在標準電阻值中有 $\pm 2\%$ 的誤差調整，電壓增益

$$\gg A_v = \frac{-R_2(1 \pm 0.02)}{1k\Omega + R_1(1 \pm 0.02)} \left[1 + \frac{R_3(1 \pm 0.02)}{R_4(1 \pm 0.02)} \right] - \frac{R_3(1 \pm 0.02)}{1k\Omega + R_1(1 \pm 0.02)}$$

$$\gg A_v = \frac{-390(1 \pm 0.02)}{1 + 51(1 \pm 0.02)} \left[1 + \frac{390(1 \pm 0.02)}{33(1 \pm 0.02)} \right] - \frac{390(1 \pm 0.02)}{1 + 51(1 \pm 0.02)}$$

» 最大「大小」值 $\rightarrow |A_v|_{\max} = 111.6$ or $+7.72\%$

» 最小「大小」值 $\rightarrow |A_v|_{\max} = 96.3$ or -7.05%

建議

從 v_O 和 v_I $\rightarrow A_v$ \rightarrow 選擇 R_2/R_1 和 R_3/R_1 其中一個 $\rightarrow R_3/R_4$ \rightarrow 選擇 R_1 的
其中一個 $\rightarrow R_2$ 和 $R_3 \rightarrow R_4$

使用 T-網路，從採用標準電阻值能得附加一個大增益

非反向放大器(4/6)

r 電壓隨耦器

T 閉迴路增益=1，輸出電壓跟隨著輸入

I 非反向運算放大器的有趣特性

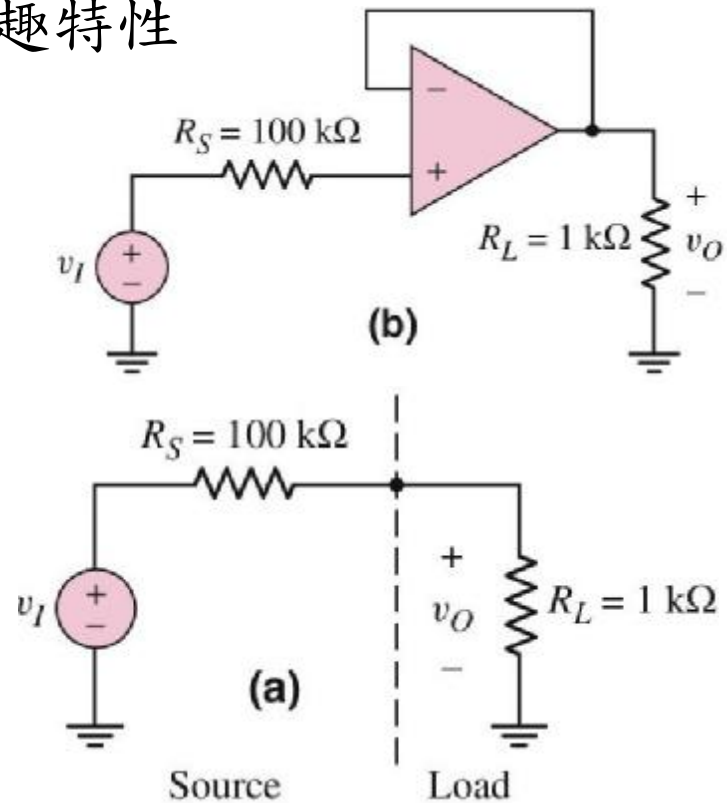
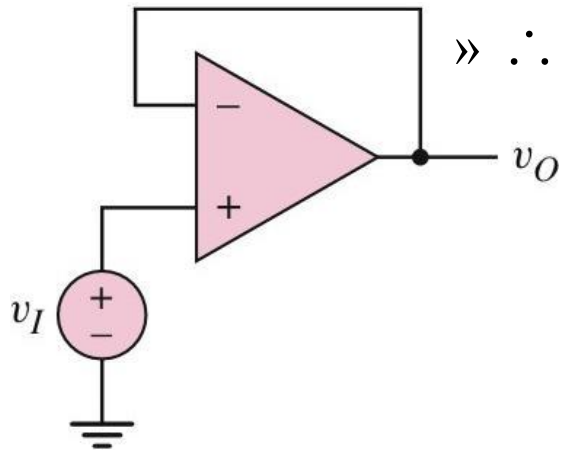
Ø $R_1 = \infty$ 開路

I 閉迴路增益

Ø 與 R_2 無關係

(除非當 $R_2 = \infty$)

» \therefore 可設定 $R_2 = 0$



非反向放大器(5/6)

I 第一眼

Ø 具單位電壓增益

Ø 當成一個阻抗電晶體

» 輸入電阻 $\rightarrow \infty$ ，輸出電阻 = 0

Ø 當成一個緩衝器

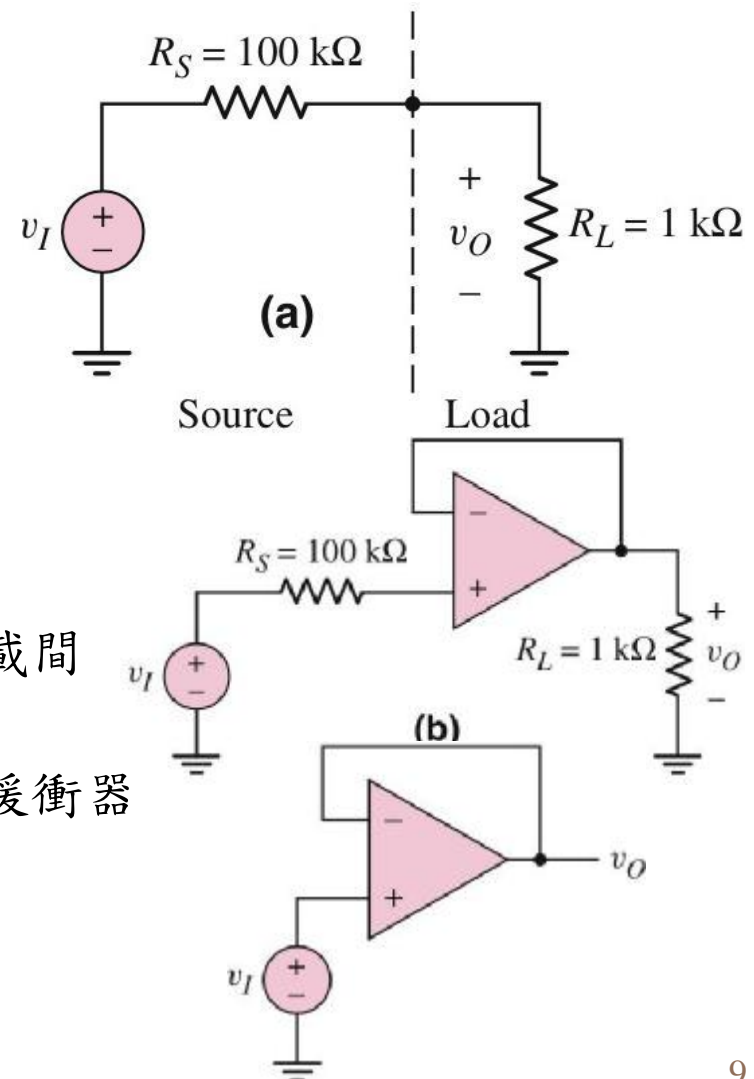
» 介於電源與負載之間

Ø 例如：訊號源的輸出阻抗 \rightarrow 大

è 一個電壓隨耦器被置於電源與負載間

\rightarrow 防止負載效應

è 可動作像是介於電源與負載間的緩衝器



非反向放大器(6/6)

T轉換器

1 一個具有輸出阻抗 $100\text{ k}\Omega$ 且推動負載阻抗 $1\text{ k}\Omega$ 的電壓源

Ø 一個溫度感測電阻或熱阻器

Ø 劇烈的負載效應或輸出電壓與輸入電壓的微小比率 ≈ 0.01

Ø 如果加入電壓隨耦器

» \because 正的輸入電阻 $> 100\text{ k}\Omega$

» $\therefore V_O \approx V_I$

→ 忽略負載效應

