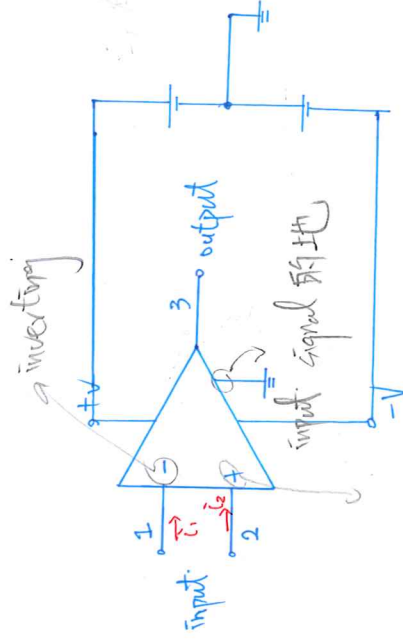


Operational Amplifiers (OPA)

~ 1960 就很流行的 IC 積體電路

先不提內部電路，先講特性



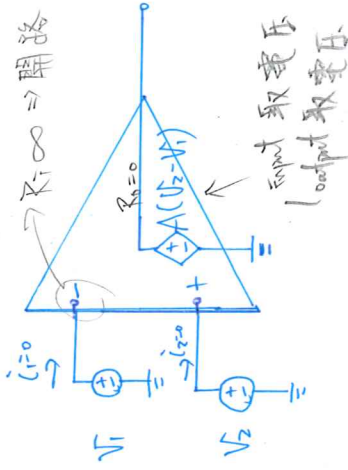
要有 DC power supply 才能放大

假設 OPA ideal

放大倍數

"1" $V_o = A(V_2 - V_1) \Rightarrow$ 把差值信號放大

"2" $i_1 = i_2 = 0$ ($R_i \rightarrow \infty$) 從 input 端看入的等效阻抗 $\rightarrow \infty$
 ↓ 把特性畫成電路

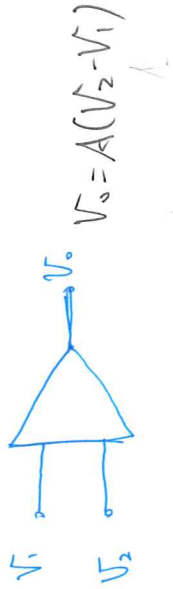


"3" $R_o = 0$

"4" $A \rightarrow \infty$ (後面實際算, A 大概是 10^5 (+/-)), Bandwidth $\rightarrow \infty$

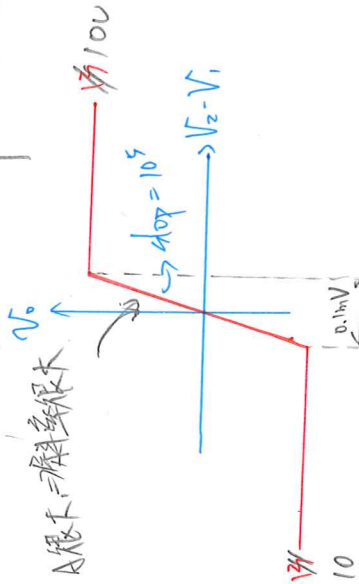
↳ 事實上 BW 很小

但實際上，OP不會這樣直接（先以 $A \rightarrow \infty$ 的現象切入）



$A = 10^5$

任何一個OPA都會有飽和電壓， $V_{\pm} = 13V$



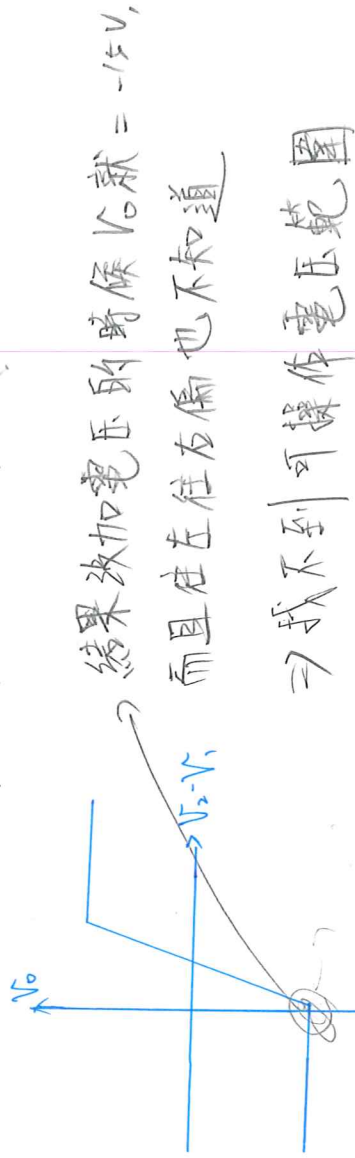
輸入信號超過此範圍

就飽和了！ \Rightarrow 可用範圍很小（ $A = 10^5$ ）

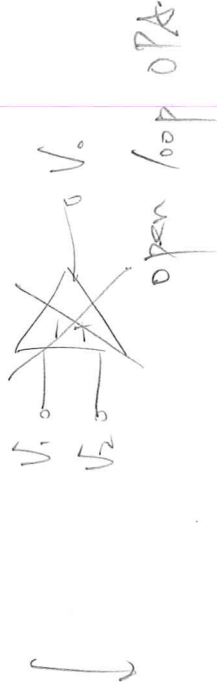
$\frac{10}{10^5} \approx 0.1mV \rightarrow$ 範圍 $V_2 - V_1 < 0.1mV$

而且!!!

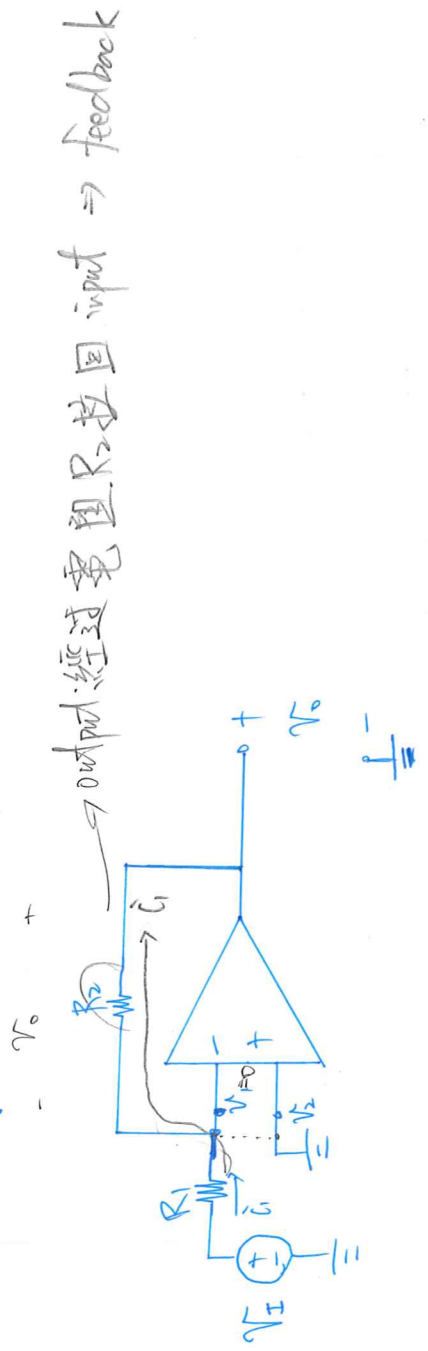
實際的OPA特性曲線也不會這麼美。



\Rightarrow 找不到可操作電壓範圍
 \Rightarrow 不會這樣接。



inverting (反向)



根據 ideal 特性 $V_o = A(V_2 - V_1)$

$$\frac{V_o}{A} = V_2 - V_1 \quad \text{若 } A \rightarrow \infty \Rightarrow V_2 - V_1 = 0$$

$$V_1 = V_2 = 0$$

虛接地 virtual ground

$$\therefore V_1 = 0$$

$$\therefore i_i = \frac{V_I}{R_1}$$

i_i 往右走，但 $R_2 \rightarrow \infty$ ， $\therefore i_i$ 往上 (流過 R_2)

$$\therefore V_o = -i_i R_2 = -\frac{R_2}{R_1} V_I$$

$\frac{V_o}{V_I} = -\frac{R_2}{R_1} \rightarrow$ 放大倍數，相位：反相

\Rightarrow 若 V_o 超過 10 會飽和， $R_1 = 1k$ ， $R_2 = 100k$ ， $\Rightarrow A = -100$

$$\frac{10}{100} = 0.1 \Rightarrow V_I \text{ 可操作範圍在 } 0.1 \text{ simurt}$$

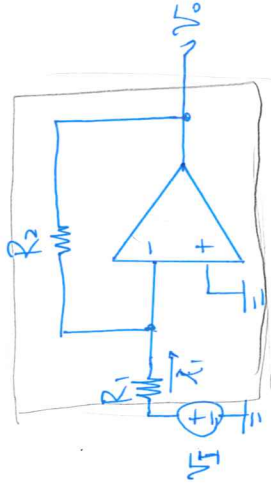
(操作範圍變小了!!，剛剛 \triangle 只有 0.1mV)

\Rightarrow 此種電路為 closed-loop

(整個電路，虛接地， i_i 方向，A 再靜納一次)

(前面有補完)

for a finite A



!! 整個 OP circuit

$$V_o = A(v_i - v_f) \Rightarrow v_f = \frac{-V_o}{A}$$

$$i_i = \frac{V_i + \frac{V_o}{A}}{R_1}$$

$$V_o = v_f - i_i R_2 = -\frac{V_o}{A} - \left(\frac{V_i + \frac{V_o}{A}}{R_1} \right) R_2$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{-\frac{R_2}{R_1}}{1 + (1 + \frac{R_2}{R_1}) \frac{1}{A}}$$

(若 A 很大 $\Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1}$)

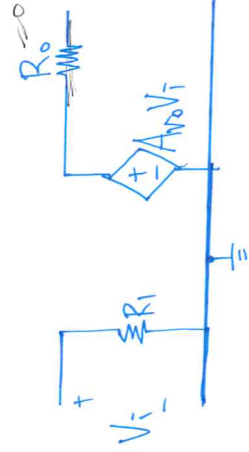
* 但 A 乘不到無限大, A 只要 $A \gg 1 + \frac{R_2}{R_1} \Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1}$

A 大約 $= 10^5 \Rightarrow (1 + \frac{R_2}{R_1})$ 還看了 $\frac{R_2}{R_1}$ 小於 10^4 就好

* 若 $\frac{R_2}{R_1}$ 太大 \Rightarrow 電路又等同 open loop 了。

!! 現在把整個 OP 電路用 "voltage amplifier model" 表示

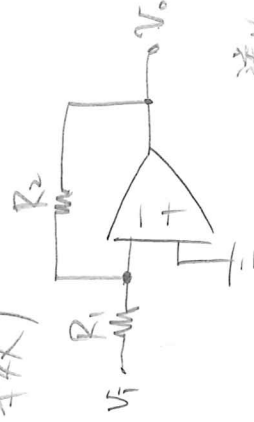
* Voltage Amplifier Model (以 ideal OPA 等效)



closed loop

$$A_{V0} = -\frac{R_2}{R_1}$$

$$R_o = 0$$



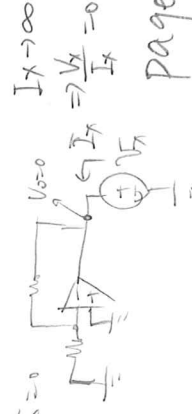
* 求輸入阻抗 R_{in} $\rightarrow \frac{V}{I} = \frac{IR_1}{I} = R_1$

* 求 $A_{V0} \Rightarrow$ 輸出開路, v_i, v_o 關係 $\Rightarrow V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_i \Rightarrow A_{V0} = -\frac{R_2}{R_1}$

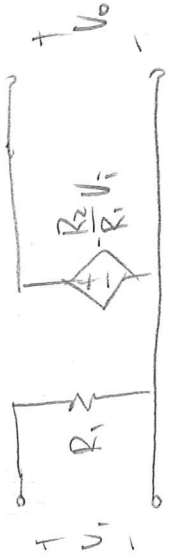
OPA1 = 1:14:30 go on

* 求輸出阻抗 $R_{out} \Rightarrow$ 輸入短路, 輸出端送 V 送 I

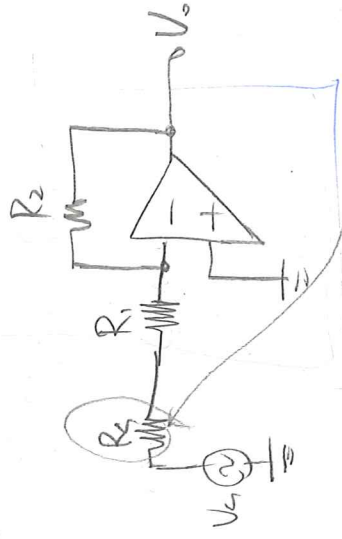
for R_{out} 電路 $V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_i$, 但求 R_{out} 時 v_i 被短路了, $\therefore V_o = -\frac{R_2}{R_1} \times 0 = 0 \Rightarrow V_o = 0$



若 voltage amp. model. 要是 ideal (perfect)

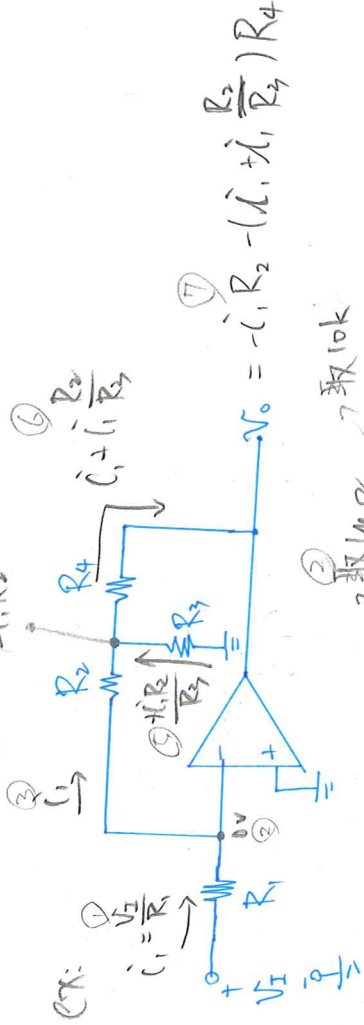


$R_i \rightarrow \infty$
 $R_o \rightarrow 0$



$R_i \rightarrow \infty$, 代表 R_i 要很大, 若 V_o 有內阻 (R_o), 就会有分压效應, $\Rightarrow R_i$ 挑個 $1M\Omega$, 但若又要 A_{vo} 夠大, R_2 要大到 $100M\Omega \rightarrow$ 太大了! 不合成本!

\rightarrow 做個改良電路



$$V_o = -i_1 R_2 - (i_1 + i_2) \left(\frac{R_2}{R_3} \right) R_4$$

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

取 $1M\Omega$ 取 $10k$
 取 $1M\Omega$ 取 $10k$
 ≈ -100
 靠 $\frac{R_4}{R_3} !!$

DPA-1 結束

NEXT:

Lec 07 電子學 (一) 第二章 Operational Amplifiers