

## 運算放大器(一)

### 一、實驗目的

1. 瞭解運算放大器的特性
2. 瞭解運算放大器的基本電路

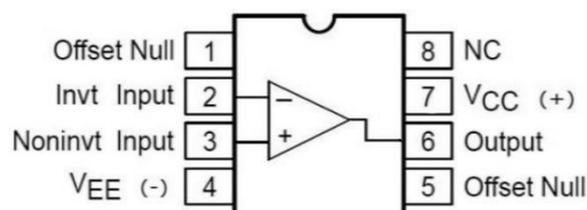
### 二、理論介紹

#### 1. 運算放大器基本介紹

運算放大器 (Operational Amplifier, 簡稱 OP、OPA、op-amp) 是一種直流耦合, 差動模式輸入、通常為單端輸出的高增益 (gain) 電壓放大器。因為剛開始主要用於加法, 減法等類比運算電路中, 因而得名。

TL081 運算放大器的積體電路中含有 BJT 電晶體、電阻、電容, 與元件間的連接導線, 全部製作在一塊半導體基板上, 如圖二。

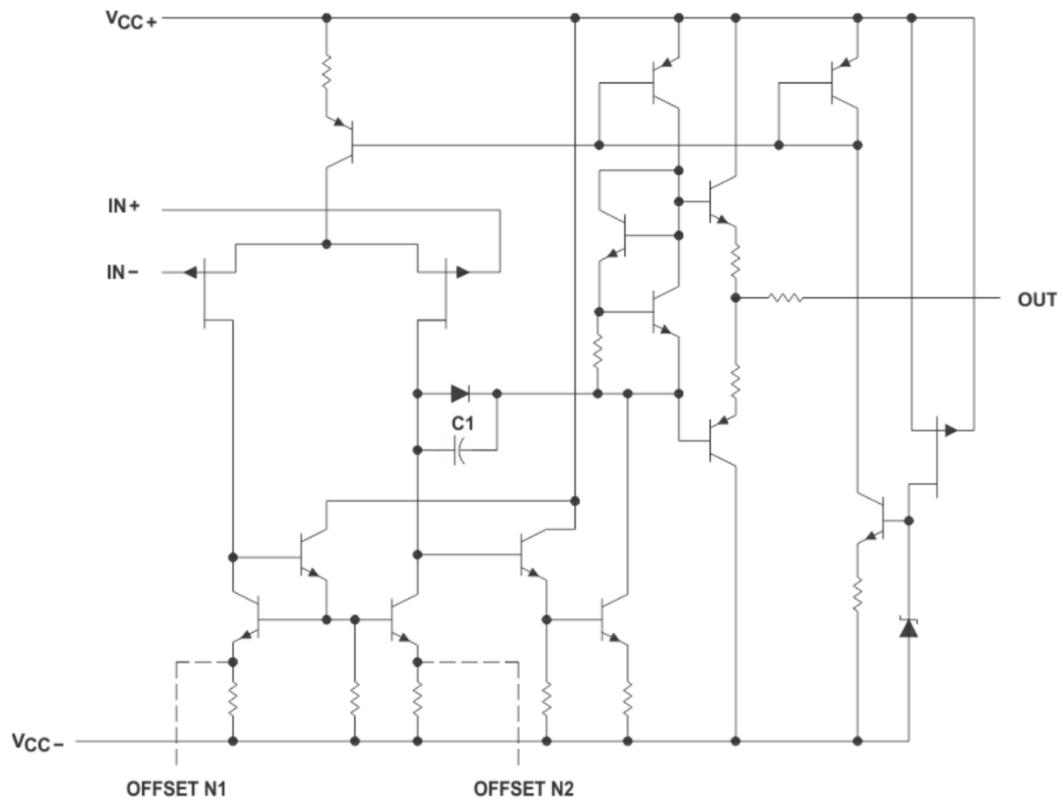
運算放大器中含有七個對外的接點, 分別為  $V+$  與  $V-$  (正負直流電源供應)、正向與反向信號輸入端 (non-inverting and inverting inputs)、二個輸入偏移電壓補償端 (Offset Null)、與一個輸出信號端 (Output), 如圖一所示。



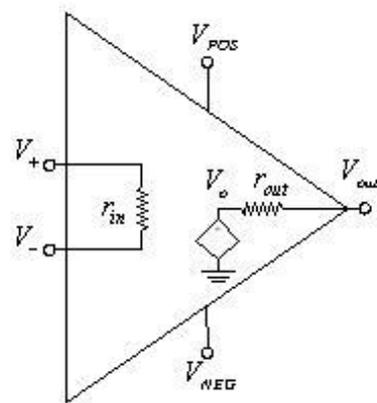
圖一、TL081 七個對外的接點

一個理想的 OPA, 其開回路增益極大 ( $A_v \rightarrow \infty$ ), 太大的增益容易使放大器的輸出飽和。因此 OPA 當放大器用時必須加入負回授, 使輸出成為可控制型態。

由於 OPA 的輸入電阻  $R_i \rightarrow \infty$ , 所以幾乎沒有電流流入, 將其假設為 0,  $V(-)$  與  $V(+)$  也就相等, 但是兩端點之間卻沒有電流流過, 因此稱之為虛短路, 又因反相放大時“+”端常接地, 故也稱為虛接地。因  $A_v \rightarrow \infty$ , 所以  $V_i$  只要很小的電壓, 即可獲大很大的輸出。

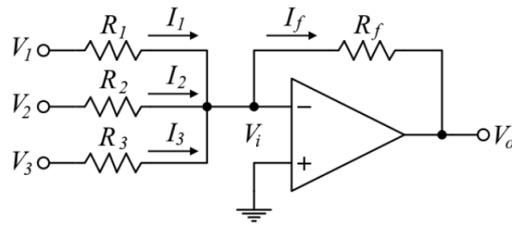


圖二、TL081 等效電路



圖二-2、運算放大器內部

## 2. 加法器



圖三、加法器

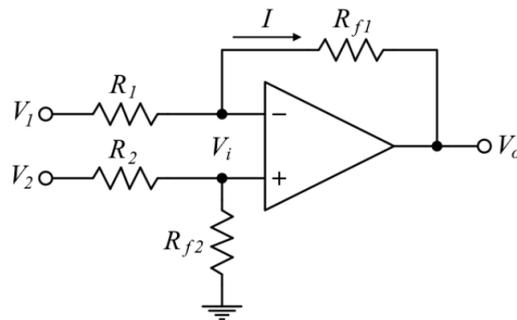
輸入電流  $I = I_1 + I_2 + I_3$

$$\text{回授電流 } I_f = I = I_1 + I_2 + I_3 \Rightarrow \frac{V_i - V_o}{R_f} = \frac{V_1 - V_i}{R_1} + \frac{V_2 - V_i}{R_2} + \frac{V_3 - V_i}{R_3}$$

$$\text{因虛接地 } V_i = 0 \Rightarrow \frac{-V_o}{R_f} = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}$$

$$\therefore V_o = -R_f \left[ \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} \right]$$

## 3. 減法器



圖四、減法器

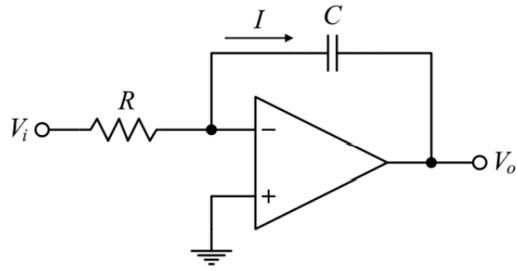
$$I = \frac{V_1 - V_i}{R_1} = \frac{V_i - V_o}{R_{f1}}$$

$$V_o = V_i \left( 1 + \frac{R_{f1}}{R_1} \right) - V_1 \left( \frac{R_{f1}}{R_1} \right)$$

$$\therefore V_i = V_2 \left( \frac{R_{f2}}{R_2 + R_{f2}} \right)$$

$$\therefore V_o = V_2 \left( \frac{R_{f2}}{R_2 + R_{f2}} \right) \left( 1 + \frac{R_{f1}}{R_1} \right) - V_1 \left( \frac{R_{f1}}{R_1} \right)$$

#### 4. 積分器



圖五、積分器

$$\text{電流 } I = \frac{V_i - V_-}{R} = C \frac{dV_c}{dt}$$

$$\text{電容器電壓 } V_c = V_- - V_o$$

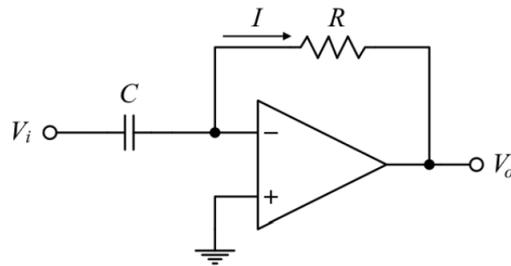
$$\text{由於 } V_- \text{ 虛接地 } \Rightarrow V_c = -V_o$$

$$\Rightarrow I = \frac{V_i}{R} = -C \frac{dV_o}{dt}$$

$$\Rightarrow \frac{dV_o}{dt} = -\frac{1}{RC} V_i$$

$$\Rightarrow V_o(t) = -\frac{1}{RC} \int V_i(t) \cdot dt$$

#### 5. 微分器



圖六、微分器

$$V_- \text{ 虛接地 } \Rightarrow I = C \frac{dV_i}{dt} = \frac{-V_o}{R}$$

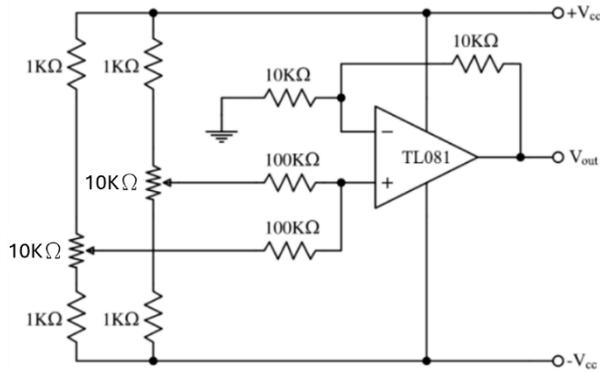
$$\Rightarrow V_o(t) = -RC \frac{dV_i(t)}{dt}$$

### 三、實驗步驟

※ 注意圖中交點處若無  $\cdot$  即為不相交

※ TL081 接法請參考圖一

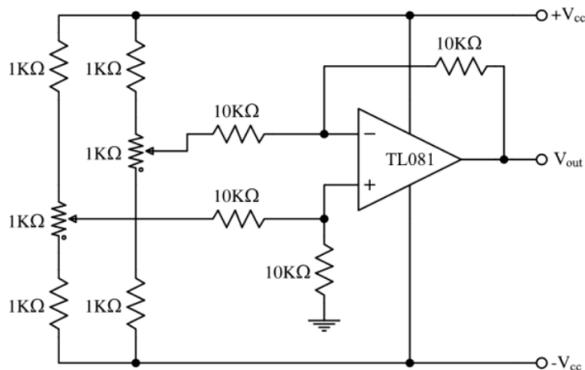
#### 1. 加法器



圖七、加法器實驗

- 如圖所示連接電路。
- 輸入電源  $+V_{cc} = 15V$ ， $-V_{cc} = -15V$
- 依照表一所示，分別調整可變電阻，使電路產出不同的輸入電壓(使用數位電錶)，並量出輸出電壓。
- 驗證實驗結果與理論值。

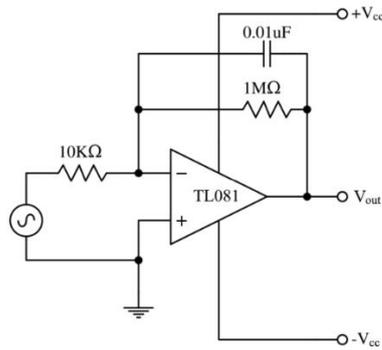
#### 2. 減法器



圖八、減法器實驗

- 如圖所示連接電路。
- 輸入電源  $+V_{cc} = 15V$ ， $-V_{cc} = -15V$
- 依照表二所示，分別調整可變電阻，使電路產出不同的輸入電壓(使用數位電錶)，並量出輸出電壓。
- 驗證實驗結果與理論值。

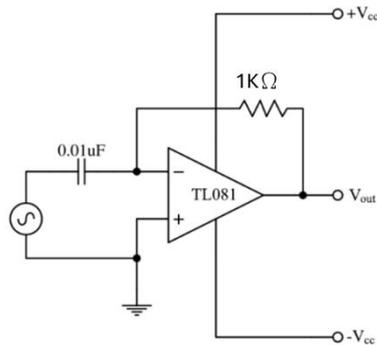
### 3. 積分器



圖九、積分器實驗

- 如圖所示連接電路。
- 輸入電源 $+V_{cc} = 15V$ ， $-V_{cc} = -15V$
- 將運算放大器的輸入電壓端  $V_{in}$  接到 Function generator 上，輸入振幅：100mV，DC Offset：0.0V；輸出電壓  $V_{out}$  則接到示波器的 [CH1]
- 依照表三所示，分別調整輸入波型與頻率。
- 驗證實驗結果與理論值。

### 4. 微分器



圖一〇、微分器實驗

- 如圖所示連接電路。
- 輸入電源 $+V_{cc} = 15V$ ， $-V_{cc} = -15V$
- 將運算放大器的輸入電壓端  $V_{in}$  接到 Function generator 上，輸入振幅：100mV，DC Offset：0.0V；輸出電壓  $V_{out}$  則接到示波器的 [CH1]
- 依照表四所示，分別調整輸入波型與頻率。
- 驗證實驗結果與理論值。

## 四、實驗結果

### 1. 加法器

表一、加法器實驗結果，輸出電壓(V)

$V_1$ (Volt)	-2.0	-2.0	+1.0	+2.0	+2.0
$V_2$ (Volt)	+2.0	+1.0	+1.0	-1.0	-2.0
$V_o$ (Volt)					

### 2. 減法器

表二、減法器實驗結果，輸出電壓(V)

$V_1$ (Volt)	+2.0	+2.0	+2.0	-1.0	-2.0
$V_2$ (Volt)	+2.0	+1.0	-2.0	+2.0	+2.0
$V_o$ (Volt)					

### 3. 積分器

表三、積分器實驗結果，輸出最大振幅(mV)

頻率 波形	10 Hz	100 Hz	1K Hz	10K Hz
方波				
三角波				
正弦波				

### 4. 微分器

表四、微分器實驗結果，輸出最大振幅(mV)

頻率 波形	10 Hz	100 Hz	1K Hz	10K Hz
方波				
三角波				
正弦波				

## 五、問題與討論

除了本實驗所使用的運算放大器外，請介紹其他兩種電路中會用到的放大器元件，並列舉例說明其應用。

## 六、預習作業

1. 若圖七所示之加法器回授電阻改為  $30\text{k}\Omega$ ，兩輸入電壓  $V_{cc}$  及  $-V_{cc}$  分別為  $3\text{V}$  和  $-2\text{V}$ ，則輸出電壓  $V_o$  為若干伏特？
2. 若圖八所示之減法器回授電阻改為  $20\text{k}\Omega$ ，兩輸入電壓  $V_{cc}$  及  $-V_{cc}$  分別為  $3\text{V}$  和  $-2\text{V}$ ，則輸出電壓  $V_o$  為若干伏特？
3. 哪一種波形通過微分器或積分器波形不會改變？其他會改變的波形關係為何？

## 附錄、材料表

加法器

元件	數量
電阻 $1\text{K}\Omega$	4
電阻 $10\text{K}\Omega$	2
電阻 $100\text{K}\Omega$	2
可變電阻 $10\text{K}\Omega$	2
TL081	1

減法器

元件	數量
電阻 $1\text{K}\Omega$	4
電阻 $10\text{K}\Omega$	3
可變電阻 $1\text{K}\Omega$	2
TL081	1

積分器

元件	數量
電阻 $1\text{K}\Omega$	1
電阻 $1\text{M}\Omega$	1
電容 $0.01\mu\text{F}$	1
TL081	1

微分器

元件	數量
電阻 $1\text{K}\Omega$	1
電感 $0.01\mu\text{F}$	1
TL081	1