

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

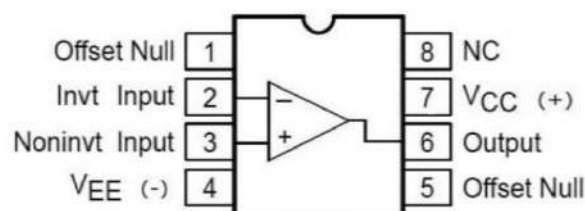
二、理論介紹

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、通常為單端输出的高增益（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。

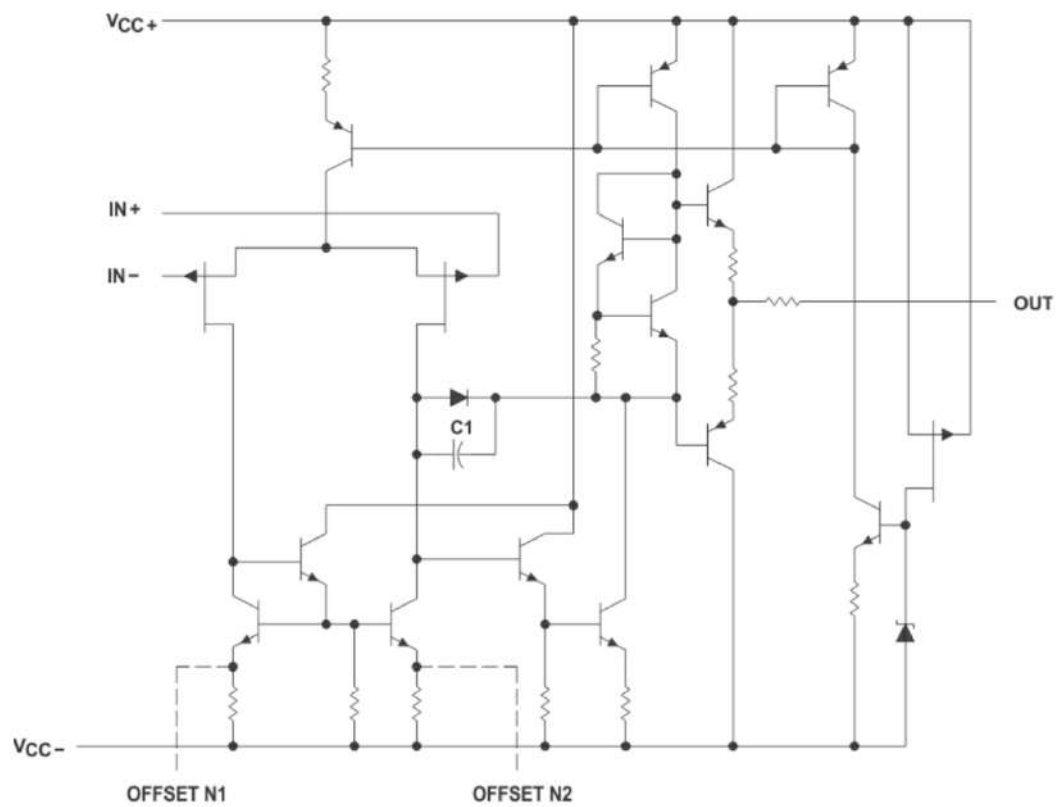
運算放大器中含有七個對外的接點，分別為 V^+ 與 V^- (正負直流電源供應)、正向與反向信號輸入端(non-inverting and inverting inputs)、二個輸入偏移電壓補償端(Offset Null)、與一個輸出信號端(Output)，如圖一所示。



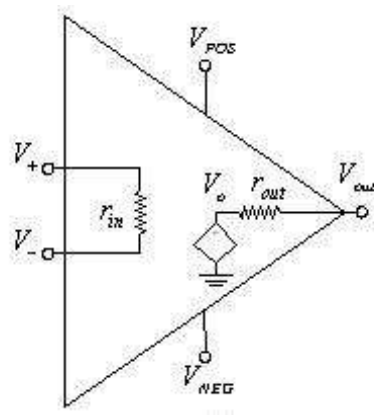
圖一、TL081 七個對外的接點

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。

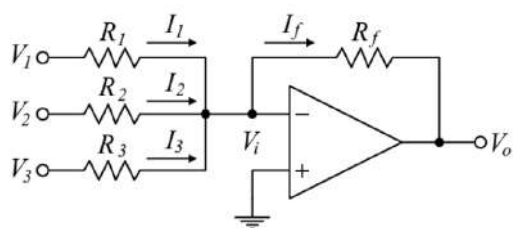


圖二、TL081 等效電路



圖二-2、運算放大器內部

2. 加法器



圖三、加法器

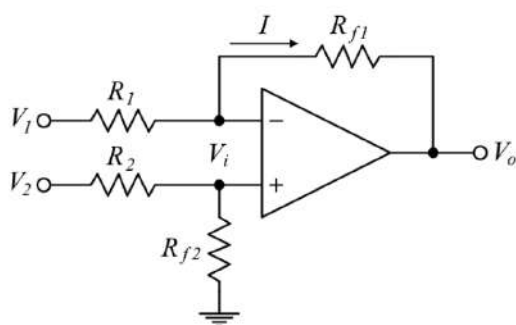
輸入電流 $I = I_1 + I_2 + I_3$

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

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

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

3. 減法器



圖四、減法器

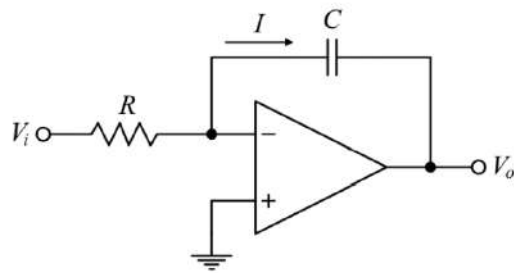
$$I = \frac{V_1 - V_i}{R_1} = \frac{V_i - V_o}{R_{f1}}$$

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

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

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

4. 積分器



圖五、積分器

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

$$\text{電容器電壓 } V_c = V_- - V_o$$

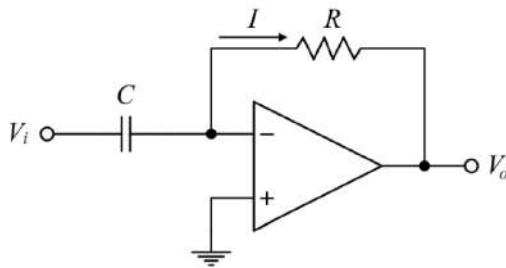
$$\text{由於 } V_- \text{ 虛接地} \Rightarrow V_c = -V_o$$

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

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

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

5. 微分器



圖六、微分器

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

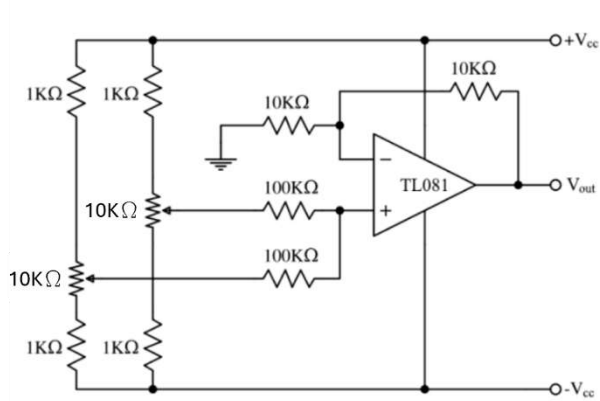
$$\Rightarrow V_o(t) = -RC \frac{dV_i(t)}{dt}$$

三、實驗步驟

※ 注意圖中交點處若無 • 即為不相交

※ TL081 接法請參考圖一

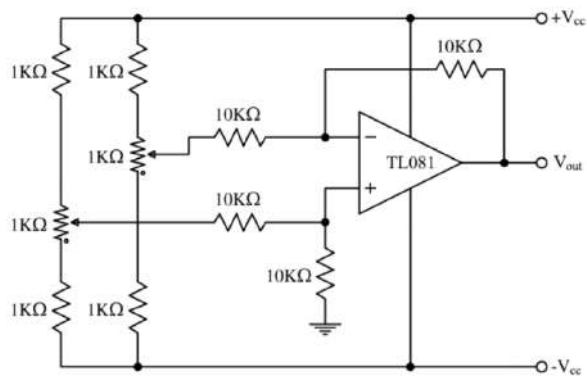
1. 加法器



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。

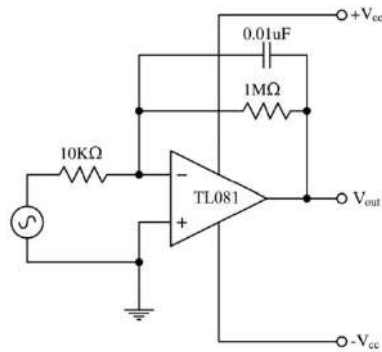
2. 減法器



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。

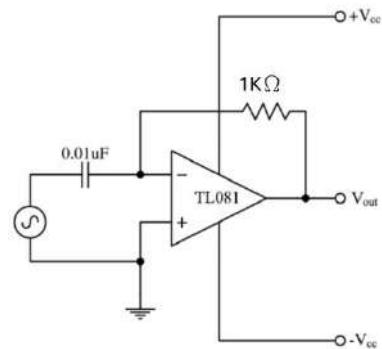
3. 積分器



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 3V 和 -2V ，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 3V 和 -2V ，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