

實驗單元(九)：運算放大器電路(二)－頻率響應

一、實驗目的

1. 了解運算放大器的基本特性。
2. 了解運算放大器的頻率響應。

二、實驗儀器設備

表(一)：實驗儀器設備

儀器名稱	數量
萬用電錶或三用電錶	1 部
示波器	1 台
雙電源供應器	1 台
訊號產生器	1 台

表(二)：基本運算放大器電路實驗料表

項次	實驗料號	元 件 說 明	用量
1	GF06P B10K	可變電阻 VR 10K Ω	3 個
2	260-W410	0.1 μ F PE 電容(電源去耦合電容)	6 個
3	uA741CP	OP AMP uA741	3 個
4	碳膜電阻	依設計值，選用適當電阻值	

三、電路說明

■ 運算放大器的非理想的頻率特性

運算放大器一般儘可能設計為一個高增益、寬頻帶的放大器。但若設計成正回授電路，將會導致電路的不穩定，而產生振盪現象。為了確保電路穩定，

運算放大器一般設計有內部補償電路，它能造成相當高的開迴路增益，然後隨著頻率的增加而增益降低，降低的比率為 20(dB/Decade)。

運算放大器的規格表所列出的開迴路增益為 A ，實際電路則以負回授方式來設計電壓增益，此時為閉迴路電壓增益 A_v 。由於增益的降低，電路的操作可以有許多項的改善，包括增加電路增益的穩定性，精確值由外接電阻決定；其次電路的輸入阻抗較原有的運算放大器更高；第三，電路的輸出阻抗變低；最後，電路的頻寬變寬。

一般運算放大器內部有補償電路，且被設計成單一極點的頻率響應。運算放大器的規格包括增益對頻率的關係描述，如圖(一)所示，類似低通 STC 電路。

依據低通 STC 電路特性，含內部補償的運算放大器增益函數 $A(s)$ 如下所示：

$$Gain = A(s) = \frac{A_0}{1 + \frac{s}{w_b}} = \frac{A_0 w_b}{s + w_b} = \frac{w_t}{s + w_b}$$

$A_0 = \text{open-loop gain at DC}$

$$\text{當 } s = jw, A(jw) = \frac{A_0 w_b}{jw + w_b}, |A(jw)| = \frac{A_0 w_b}{\sqrt{w^2 + w_b^2}} = \frac{A_0}{\sqrt{1 + \frac{w^2}{w_b^2}}}$$

$$\text{當 } w \ll w_b \text{ 時, } |A(jw)| = A_0, \text{ 當 } w \gg w_b \text{ 時, } |A(jw)| \approx \frac{A_0 w_b}{w} = \frac{w_t}{w}。$$

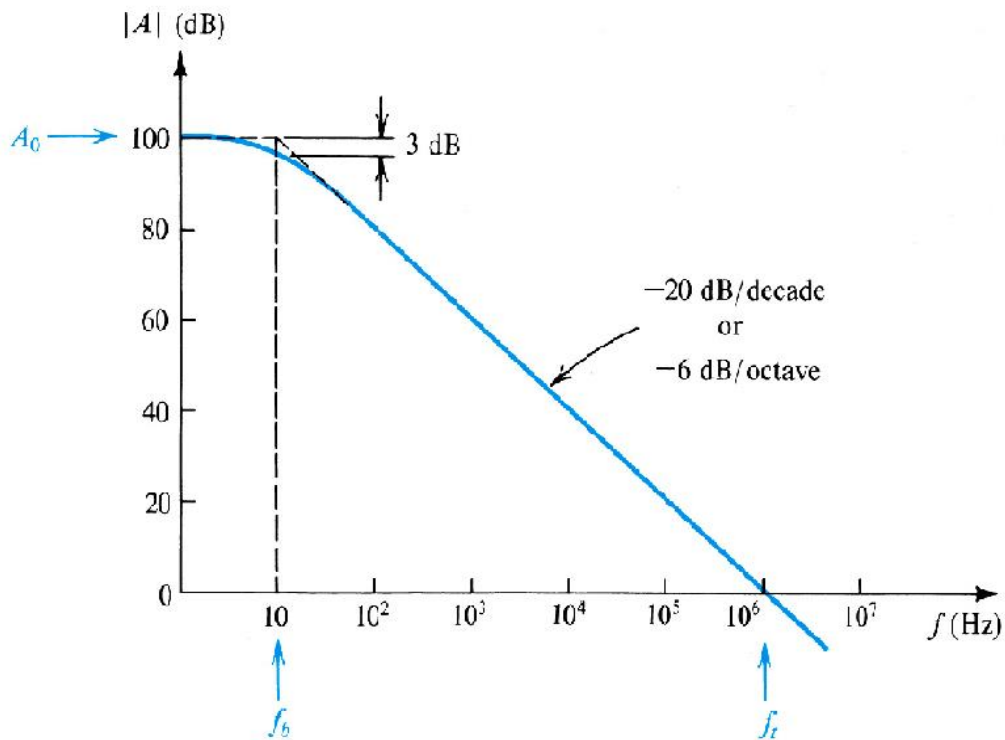
$$\text{在 } w = w_b \text{ 時, } |A(jw_b)| = \frac{A_0}{\sqrt{2}} \approx 0.707 A_0 \rightarrow -3\text{dB frequency or the cut-off}$$

Frequency。

$$\text{在 } w = w_t \text{ 時, } |A(jw_t)| = 1 \rightarrow w_t = \text{unity-gain frequency}。$$

$$\text{當 } w_b \ll w \ll w_t \text{ 時, } |A(jw)| \approx \frac{A_0 w_b}{w} = \frac{w_t}{w} \Rightarrow |A(jw)| \times w = w_t = \text{const}。而頻率 } w_t \text{ 或}$$

f_t 通常被稱為“增益頻寬乘積”(gain bandwidth product)(GBP)。



圖(一)：一般內部補償的運算放大器開迴路增益對頻率的關係[1]

例題 1. 若運算放大器的直流增益為 100dB ，單位增益頻率為 4MHz 。求 f_b 值及運算放大器的轉移函數。

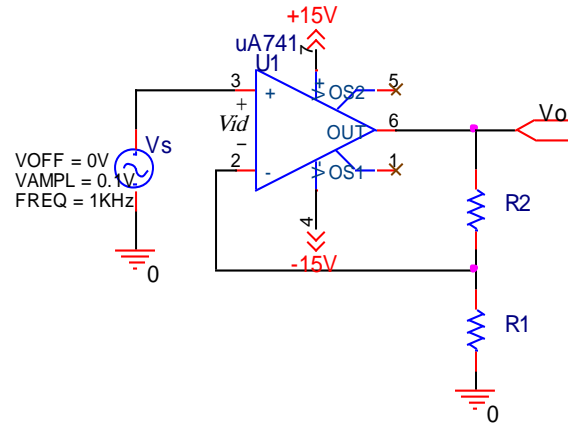
$$A_0(\text{dB}) = 100\text{dB} = 20 \log |A_0| \rightarrow A_0 = 10^5$$

$$A_0 w_b = w_t \text{ 或 } A_0 f_b = f_t \rightarrow 10^5 \times f_b = 4 \times 10^6 \rightarrow f_b = 40\text{Hz}$$

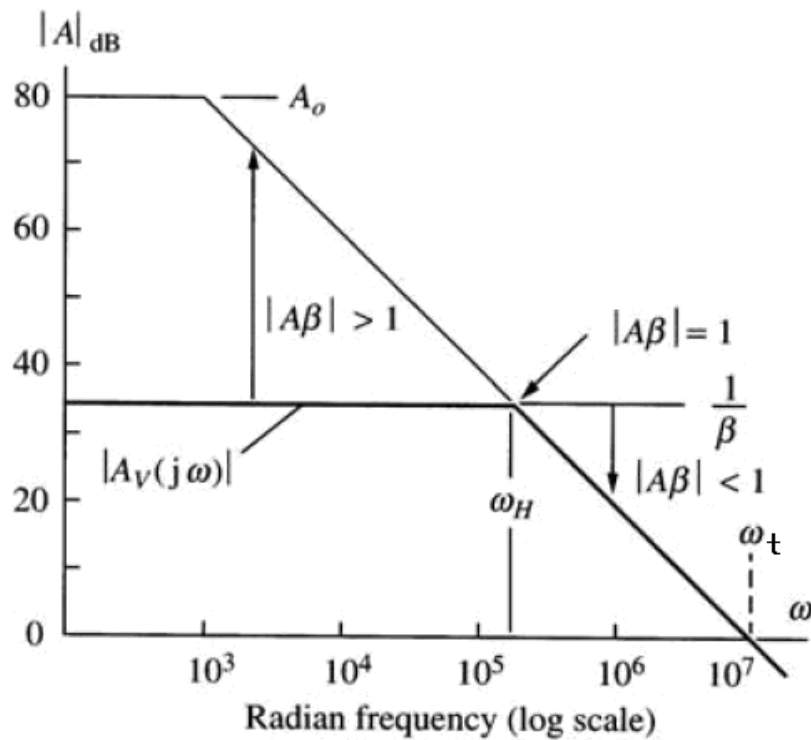
$$A(s) = \frac{w_t}{s + w_b} = \frac{2\pi \times 4 \times 10^6}{s + 2\pi \times 40} = \frac{8\pi \times 10^6}{s + 80\pi}$$

■ 非反相放大器的頻率響應

考慮運算放大器的開迴路增益有限值為 A ，圖(二)為含回授電路的非反相放大器，其頻率響應的相關說明如下所述：



圖(二)：非反相運算放大器電路



圖(三)：非反相運算放大器的頻率響應[2]

$$v_{id} = v^+ - v^- , v_o = A \times v_{id}$$

$$v^+ = v_{in}$$

$$i_1 = i_2 \Rightarrow -\frac{v^-}{R1} = \frac{v^- - v_o}{R2} \Rightarrow v^- \left(\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} \right) = \frac{v_o}{R2} \Rightarrow v^- = \frac{R1}{R1 + R2} \times v_o$$

$$v_o = A \left(v_s - \left(\frac{R1}{R1 + R2} \right) v_o \right) \Rightarrow v_o \left[1 + A \times \left(\frac{R1}{R1 + R2} \right) \right] = A \times v_s$$

$$\Rightarrow \frac{v_o}{v_s} = A_v = \frac{A}{1 + A \times \left(\frac{R1}{R1 + R2} \right)}$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_s} = \frac{A}{1 + A\beta}, \text{ 其中 } \beta = \frac{R1}{R1 + R2} \text{ 或 } \frac{1}{\beta} = 1 + \frac{R2}{R1}。$$

$$\text{以 } A(s) = \frac{A_0 w_b}{s + w_b} \text{ 代入 } A$$

$$\Rightarrow A_v = \frac{\frac{A_0 w_b}{s + w_b}}{1 + \frac{A_0 w_b}{s + w_b} \times \beta} = \frac{A_0}{\frac{s}{w_b} + 1 + A_0 \beta} = \frac{\frac{A_0}{1 + A_0 \beta}}{1 + \frac{s}{w_b(1 + A_0 \beta)}} = \frac{A_v(0)}{1 + \frac{s}{w_H}}$$

$$\begin{cases} w_H = w_b(1 + A_0 \beta) \rightarrow \text{增加頻寬} \\ A_v(0) = \frac{A_0}{1 + A_0 \beta} \approx \frac{1}{\beta} \rightarrow \text{降低增益} \end{cases} \left(\text{如果 } A_0 \beta \gg 1, \text{ 則 } A_v(0) = \frac{1}{\beta} = 1 + \frac{R2}{R1} \right)$$

$$w_H \times A_v(0) = A_0 \times w_b = w_t = \text{const}$$

例題 2.若運算放大器的直流增益為 $100dB$ ，單位增益頻率為 $10MHz$ 。求 f_b 值。若設計非反相運算放大器電路的閉迴路增益為 $60dB$ ，求回授放大器頻寬及列出電壓增益式？

$$|A|(dB) = 100dB = 20 \log |A_0| \rightarrow A_0 = 10^5$$

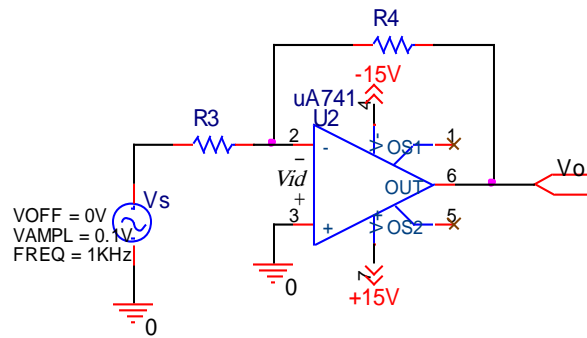
$$A_0 w_b = w_t \text{ 或 } A_0 f_b = f_t \rightarrow f_b = \frac{f_t}{A_0} = \frac{10 \times 10^6}{10^5} = 100Hz$$

$$A_{vc} = \frac{A_0}{1 + A_0 \beta} = 60dB = 10^3 \Rightarrow \beta = 10^{-3} \rightarrow \frac{1}{\beta} = 10^3$$

$$f_H = f_b \times (1 + A_0 \beta) \approx 100Hz \times 10^2 = 10KHz \rightarrow \text{非反相放大器頻寬}$$

$$A_v = \frac{A_{vc}}{\frac{s}{w_H} + 1} = \frac{10^3}{\frac{s}{2\pi \times 10^4} + 1} = \frac{2\pi \times 10^7}{s + 2\pi \times 10^4}$$

■ 反相放大器的頻率響應



圖(四)：反相運算放大器電路

圖(四)為反相運算放大器電路圖，假設 OPA 具有一有限的開迴路電壓增益

A ，則可知 OPA 的兩輸入端電壓

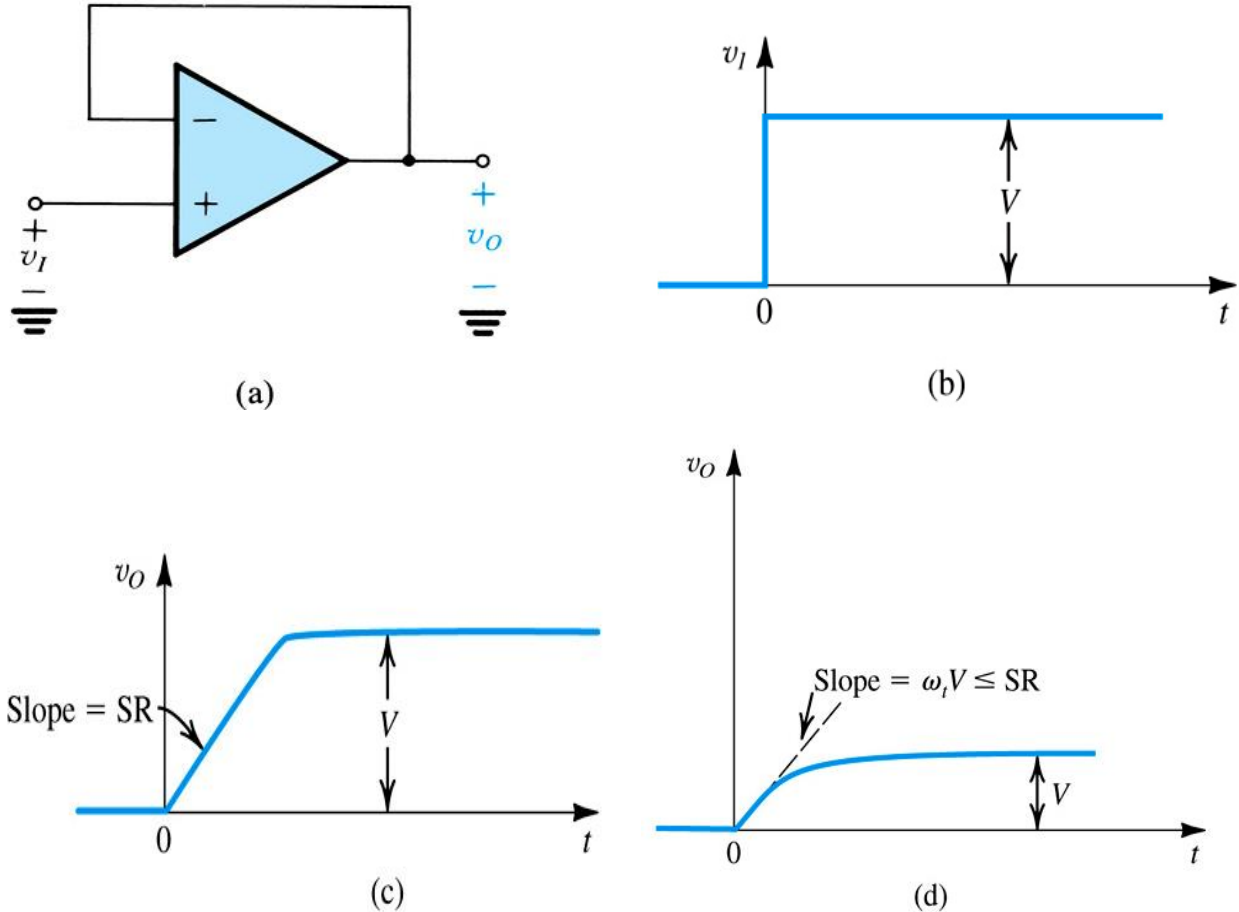
差為
$$v_{id} = \frac{v_o}{A}$$

反相輸入端節點方程式為

$$\begin{aligned} \frac{-v_{id} - v_s}{R3} + \frac{-v_{id} - v_o}{R4} &= 0 \\ \Rightarrow \frac{v_o}{v_s} = A_v &= -\frac{\frac{R4}{R3}}{1 + \frac{R4}{A}} \quad , \text{ 以 } A(s) = \frac{A_0 w_b}{s + w_b} = \frac{A_0}{1 + \frac{s}{w_b}} \text{ 代入 } A \\ A_v &= \frac{-\frac{R4}{R3}}{1 + \frac{1}{A_0} \times \left(1 + \frac{R4}{R3}\right) \times \left(1 + \frac{s}{w_b}\right)} = \frac{-\frac{R4}{R3}}{1 + \frac{1}{A_0} \times \left(1 + \frac{R4}{R3}\right) + \frac{s}{A_0 \times w_b \left(1 + \frac{R4}{R3}\right)}} \\ \Rightarrow A_v &= \frac{-\frac{R4}{R3}}{1 + \frac{1}{A_0} \times \left(1 + \frac{R4}{R3}\right) + \frac{s}{w_H}} \quad , \text{ 當 } A_0 \gg 1 + \frac{R4}{R3} \text{ 時, } A_v \approx \frac{-\frac{R4}{R3}}{1 + \frac{s}{w_t \left(1 + \frac{R4}{R3}\right)}} \end{aligned}$$

-3dB 頻率為 $w_H = \frac{A_0 \times w_b}{1 + \frac{R4}{R3}} = \frac{w_t}{1 + \frac{R4}{R3}}$ ，其中 $w_t = A_0 \times w_b$ 。

■ 變動率(Slew Rate)SR



圖(五)：輸入步級波形 SR 的影響[1]

Slew Rate：OP 在大訊號的狀況下，輸出電壓變動率的最大值稱為變動率(Slew Rate)。Slew Rate 的起因，通常來自 OP 內部做為補償用的電容，這個電容必須依賴第一級差動放大器的輸出電流充放電，才得以使輸出訊號隨輸入訊號迅速提升或拉低電壓。但是在大訊號操作時，由於差動級輸出電流有限，因此可能會出現充放電不及，而有輸出訊號「跟不上」輸入訊號的情況。

$$SR = \frac{\Delta V_O}{\Delta t}, \quad V/\mu S, \quad \text{時間以 } \mu s \text{ 為單位。}$$

SR 測量：輸入一對稱方波，經 **SR** 影響，產生斜波波形，斜波波形 10%~90% 間，所相對應的時間距。

變動率用來表示當輸入一個步級信號，其輸出電壓的最大可變動率。假如使輸出的電壓變動率大於該運算放大器的變動率，則輸出的電壓變動將不夠快，使得輸出無法達到預期的變動範圍，造成信號的失真。總之，若信號變動率超過了運算放大器的變動率，則輸出信號的波形，將不會與輸入信號完全一樣。

■信號的最高頻率

運算放大器最高的工作頻率，主要取決於頻帶寬與變動率兩者。對一個正弦波信號的一般式而言

$$v_o = V_m \sin \omega t = V_m \sin(2\pi f t)$$

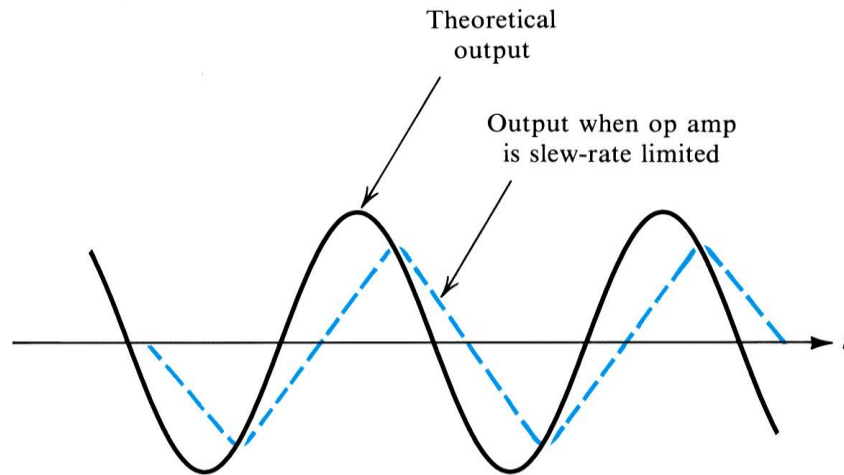
其電壓的最大變化率可表示如下：

$$\frac{dv_o}{dt} = \omega V_m \cos \omega t \rightarrow \text{最大變化率} = \omega V_m$$

為了防止輸出的失真，此項變率必須小於運算放大器的變動率，亦即：

$$\omega V_m \leq SR, \quad \omega \leq \frac{SR}{V_m}, (\text{rad/s}), \quad f_M \leq \frac{SR}{2\pi V_m}, (\text{Hz})$$

上式最大頻率 f_M ，亦受限於運算放大器的單位增益頻帶寬。



圖(六)：輸出弦波受 SR 限制的影響[1]

四、 實驗注意事項

1. 使用萬用電錶之注意事項：測量電壓及電阻時，請設定為 4 位半顯示測量值。
2. 訊號產生器－頻率值設定，依表格(9-1)而定。
3. 依實驗要求，先要設計電阻值，實驗模擬參閱範本，然後接線。
4. 實驗測試項目 1(每位同學)：反相運算放大器及串級放大器電路。
5. 實驗測試項目 2(進階學習)：非反相運算放大器 (加分題，依個人學習情況來完成)。

表(9-1)：各組輸入波形頻率值(f_s)

組別	輸入頻率	組別	輸入頻率	組別	輸入頻率
No.1-1	1.1KHz	No.11-1	3.1KHz	No.21-1	5.1KHz
No.1-2	1.2KHz	No.11-2	3.2KHz	No.21-2	5.2KHz
No.2-1	1.3KHz	No.12-1	3.3KHz	No.22-1	5.3KHz
No.2-2	1.4KHz	No.12-2	3.4KHz	No.22-2	5.4KHz
No.3-1	1.5KHz	No.13-1	3.5KHz	No.23-1	5.5KHz
No.3-2	1.6KHz	No.13-2	3.6KHz	No.23-2	5.6KHz
No.4-1	1.7KHz	No.14-1	3.7KHz	No.24-1	5.7KHz
No.4-2	1.8KHz	No.14-2	3.8KHz	No.24-2	5.8KHz

組別	輸入頻率	組別	輸入頻率	組別	輸入頻率
No.5-1	1.9KHz	No.15-1	3.9KHz	No.25-1	5.9KHz
No.5-2	2.0KHz	No.15-2	4.0KHz	No.25-2	6.0KHz
No.6-1	2.1KHz	No.16-1	4.1KHz	No.26-1	6.1KHz
No.6-2	2.2KHz	No.16-2	4.2KHz	No.26-2	6.2KHz
No.7-1	2.3KHz	No.17-1	4.3KHz	No.27-1	6.3KHz
No.7-2	2.4KHz	No.17-2	4.4KHz	No.27-2	6.4KHz
No.8-1	2.5KHz	No.18-1	4.5KHz	No.28-1	6.5KHz
No.8-2	2.6KHz	No.18-2	4.6KHz	No.28-2	6.6KHz
No.9-1	2.7KHz	No.19-1	4.7KHz	No.29-1	6.7KHz
No.9-2	2.8KHz	No.19-2	4.8KHz	No.29-2	6.8KHz
No.10-1	2.9KHz	No.20-1	4.9KHz	No.30-1	6.9KHz
No.10-2	3.0 KHz	No.20-2	5.0 KHz	No.30-2	7.0KHz

五、實驗設計與實驗模擬[3]

(一).請自行課前預習----uA741 Data Sheet

- 1.單位增益頻率(unity-gain frequency, f_t)=1MHz。
- 2.Slew Rate ($R_L \geq 2K\Omega$)=5(V/us)。
- 3.Rise Time, Transient Response(Unity Gain)=0.3us。
- 4.Output Voltage Swing ($R_L \geq 2K\Omega$)= $\pm 13V$ 。

(二).電路模擬(一)：反相放大器電路。

1. 使用 uA741 設計一個反相放大器，輸入阻抗為 $1K\Omega$ ，並分別設計出-10 倍及-100 倍的反相運算放大器電路。
2. 請分別畫出-10 倍增益及-100 倍增益放大電路，使用 PSPICE—AC sweep 模擬軟體檢驗設計電路，模擬結果標示出-3dB 截止頻率(f_{-3dB})、 f_t (單位增益頻

率) 及頻率值=10Hz 時的電壓增益值，使用 dB 探棒，計算增益頻寬乘積

(GBP)，完成表格(9-2)內容，需附上電路圖及輸出模擬結果。

表(9-2)：反相放大器設計、模擬值記錄

	-3dB 截止 頻率(Hz)	截止頻率相 對應之相位 (Vp)	單位增益 頻率(Hz)	單位增益頻 率相對應之 相位(Vp)	計算放大器 增益頻寬乘 積(Hz)
$A_v = -10$ 之電路					
$A_v = -100$ 之電路					

◎說明；計算增益頻寬乘積(G.B.P.)= $f_{-3dB} * \text{Gain(倍率)}$ ，單位=Hz。

◎計算時需要將電壓單位轉換，探棒是 $dB \rightarrow \text{Gain 倍率關係}$ 。

(三).電路模擬(二)：非反相放大器電路。

1.使用 uA741 設計一個非反相放大器，並分別設計出 10 倍及 100 倍直流增益值的非反相運算放大器電路。

表(9-3)：非反相放大器設計、模擬值記錄

	-3dB 截止 頻率(Hz)	截止頻率相 對應之相位 (Vp)	單位增益 頻率(Hz)	單位增益頻 率相對應之 相位(Vp)	計算放大器 增益頻寬乘 積(Hz)
$A_v = 10$ 之電路					
$A_v = 100$ 之電路					

2.請畫出 10 倍增益及 100 倍非反相放大器增益放大器電路，使用 PSPICE—AC

sweep 模擬軟體檢驗設計電路，模擬結果標示出-3dB 截止頻率(f_{-3dB})、 f_t (單

位增益頻率) 及頻率值=10Hz 時的電壓增益值，使用 dB 探棒，計算增益頻

寬乘積(GBP)，完成表格(9-3)內容，需附上電路圖及輸出模擬結果。

(四).電路模擬(三)：串級運算放大器電路。

- 1.使用 uA741 運算放大器以串級方式來設計音頻放大器電路，頻寬至少有 20KHz，電壓增益 $\text{Gain} \geq 50\text{dB}$ (a).設計、計算高輸入阻抗，放大器頻寬 $\geq 20\text{KHz}$ ，有最大的電壓增益倍率(b).畫出電路輸出的波德圖(c).決定此電路確實的頻寬。
- 2.請畫出電路圖及使用 PSPICE—AC sweep 模擬軟體檢驗設計電路圖，模擬結果標示出 -3dB 截止頻率($f_{-3\text{dB}}$)、 f_t 及頻率值 = 10Hz 時的電壓增益值，需附上輸出模擬結果。記錄上述各頻率值時的各電壓增益值，計算增益頻寬乘積 (GBP)，完成表格(9-4)內容。

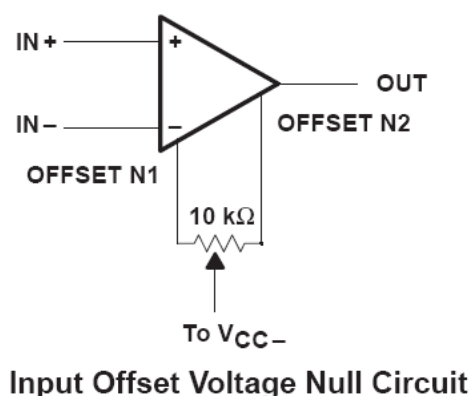
表(9-4)：串級放大器設計、模擬值記錄

	-3dB 截止 頻率(Hz)	截止頻率相 對應之相位 (Vp)	單位增益 頻率(Hz)	單位增益頻 率相對應之 相位(Vp)	計算放大器 增益頻寬乘 積(Hz)
$A_v = 50\text{dB}$ 之電路					

六、實驗項目與實驗步驟**(一).實驗測試電路(一)：反相運算放大器**

1. 依實驗設計電路第一題分別設計電壓增益為 $\text{Gain} = -10$ 倍及 $\text{Gain} = -100$ 倍的反相運算放大器，運算放大器接電源供應器 $\pm 15\text{V}$ ，調整輸出電流旋鈕，依電流指針刻度設定約為 100mA。電源端接電解質電容 120uF(應注意極性)及 PE 電容 0.1uF，負載選用 $R_L = 10\text{K}\Omega$ 。
2. 依各增益級放大器電路，使用運算放大器的直流偏移量歸零調整程序，萬用

電表測量，調整出電壓偏移量 $\approx 0V$ 。



圖(9-1)：直流偏移量歸零調整電路(參閱 Data Sheet)

3. 訊號產生器(S.G.)設定：正弦波訊號，輸入測試頻率依下列表格(9-5)內容，調整波形大小 $=100mV$ ，示波器探棒[CH1]接訊號產生器輸出端，探棒[CH2]接電路輸出端，示波器輸入方式一直流耦合。

◎說明：如何測量 $-3dB$ 截止頻率($f_{-3dB} = f_b$)?當輸入頻率為 $10Hz$ 時，調整出電壓增益值符合實驗要求的倍率，然後不動電路元件下，改變 S.G.測試頻率，使用示波器測量輸入訊號，其波形要持續 $200mV$ (峰-峰值(V_{p-p}))，使得 OP AMP 輸出波形為原來 $10Hz$ 時的 0.707 倍，測量出 $-3dB$ 截止頻率，此時 $f_{-3dB} = f_b$ ，記錄下此頻率值，擷取輸入及輸出波形。

◎說明：如何測量單位增益頻率(f_t)?當輸入頻率為 $10Hz$ 時，調整出電壓增益值符合實驗要求的倍率，然後不動電路元件下，改變 S.G.測試頻率，使用示波器測量輸入訊號，其波形要持續 $200mV$ (峰-峰值(V_{p-p}))，使得 OPAMP 輸出電壓增益為 1 倍，測量出頻率值，此時 $f = f_t$ ，記錄下此頻率值，擷取輸入及輸出波形。

4. 各增益級放大器電路，依據表格(9-5)內容得到輸入各項測試頻率的輸入輸出

波形，擷取輸入及輸出波形，完成表格(9-5)內容，並與實驗設計值比較。

5. 試比較單位增益所測得 f_t 與 GWP ，是否合乎“增益頻寬乘積”。

(9-5)：反相放大器實測值記錄

	10Hz	-3dB 截止頻率 (Hz)	單位增益頻率 (Hz)	計算放大器增 益頻寬乘積 (Hz)
$A_v = -10$ 之電路				
$A_v = -100$ 之電路				

(二).實驗測試電路(二)：非反相運算放大器(略)

- 依實驗設計第二題分別設計電壓增益為 $\text{Gain}=10$ 倍及 $\text{Gain}=100$ 倍的非反相運算放大器，負載選用 $R_L=10\text{K}\Omega$ 。
- 依各增益級放大器電路，使用運算放大器的直流偏移量歸零調整程序，萬用電表測量、調整出電壓偏移量 $\approx 0\text{V}$ 。
- S.G.設定：正弦波訊號，測試頻率值=10Hz，調整波形大小分別為 200mV 及 20mV ，示波器探棒[CH1]接訊號產生器輸出端，探棒[CH2]接電路輸出端，示波器輸入方式一直流耦合。測量輸入波形及輸出波形，測量出電壓增益 10 倍，並與實驗設計值比較，測量數據值，完成表格(9-6)內容。

(9-6)：非反相放大器實測值記錄

	10Hz	-3dB 截止頻率 (Hz)	單位增益頻率 (Hz)	計算放大器增 益頻寬乘積(Hz)
$A_v = 10$ 之電路				
$A_v = 100$ 之電路				

- 4.各增益級放大器電路，依據表格(9-6)內容得到輸入各項測試頻率的輸入輸出波形，擷取輸入及輸出波形，完成表格(9-6)內容，並與實驗設計值比較。
- 5.試比較單位增益所測得 f_t 與 GWP ，是否合乎“增益頻寬乘積”。

(三).實驗測試電路(三)：串級運算放大器電路

1. 依實驗設計第三題設計內容(設計音頻放大器電路)，組裝所設計的電路。
2. 使用運算放大器的直流偏移量歸零調整程序，萬用電表測量，調整出電壓偏移量 $\approx 0V$ 。
3. S.G.設定：正弦波訊號，測試頻率=10Hz，調整 S.G.波形大小，調整波形大小=10mV，示波器探棒[CH1]接訊號產生器輸出端，探棒[CH2]接電路輸出端，示波器輸入方式一直流耦合。
4. 測試要求：若電壓增益=50dB(電壓增益 $\approx 316.23(V/V)$)。調整可變電阻調整電壓輸出大小，以符合實驗設計要求電壓增益 50dB 之規格，擷取輸入及輸出波形，計算電壓增益。
5. 測試要求：-3dB 截止頻率 $\geq 20KHz$ 。調整 S.G.輸出頻率，使用頻率微調旋鈕微調頻率，使得輸出電壓為頻率 10Hz 時的 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 倍，此時記錄頻率值，即為-3dB 截止點頻率，此頻率值須符合設計要求，其測試-3dB 截止頻率值需 $\geq 20KHz$ 。
6. 如果合乎上述電壓增益測試 50dB 及-3dB 截止點頻率測試之規格，記錄-3dB 截止點頻率=_____KHz，測量出相位差=_____度。擷取上述頻率值=10Hz、增益=50dB 及-3dB 截止點頻率的波形。
7. 測試電壓增益輸出波形，完成表格(9-7)內容。完成下列實驗記錄之後(請確實

記錄)，將數據填入 Excell 檔案中(先建立表格)，並分別計算 dB 值及相位差，並使用 Excell 完成下列圖表，附於實驗報告中。

8. 繪製出電壓增益對頻率之響應圖及相位對頻率之響應圖。

表(9-7)：頻率響應數據

頻率 $f(Hz)$	輸入波形 (依規定值)	輸出波形 (V_{P-P})	計算 $20\log$ $\frac{V_{O_{P-P}}}{V_{i_{P-P}}} (dB)$	相位差
2				
10				
100				
1E3				
10E3				
20E3				
f_{-3dB}				
$10 f_{-3dB}$				

七、實驗問題與討論

- 數據分析：試比較說明 OPAMP 串級放大器(音頻放大器)的模擬測試頻率值 20KHz 與實作測試結果中的差異性。

八、實驗結論與實驗心得

九、實驗綜合評論

- 實驗測試說明、實驗補充資料及老師上課原理說明，是否有需要改善之處。
- 實驗模擬項目內容，是否有助於個人對實驗電路測試內容的了解。

- 3.實驗測量結果，是否合乎實驗目標及個人的是否清楚瞭解其電路特性。
- 4.就實驗內容的安排，是否合乎相關課程進度。
- 5.就個人實驗進度安排及最後結果，自己的評等是幾分。
- 6.在實驗項目中，最容易的項目有那些，最艱難的項目包含那些項目，並回憶一下，您在此實驗中學到了那些知識與常識。

十、附上實驗進度紀錄單(照片檔)及麵包板電路組裝圖檔(照片檔)

十一、參考資料來源

- [1].SEDRA & SMITH ，“MICROELECTRONIC CIRCUITS”，Copyright by Oxford University Press,Inc, sixth edition 2010,P.129～P.139.
- [2].“電子元件與電路理論”，張順雄、張忠誠、李榮乾編譯，東華書局出版,第三版,1999 ,P.829～P.846.
- [3].Sergio Franco ，“Design with Operational Amplifiers and Analog Integrated Circuits”，McGraw-Hill International Editions 1988,P.178～P.181,P.217～P.224.