

放大器的頻率響應及串接放大器

一、實驗目的

- (1)、瞭解放大器頻率響應的意義
- (2)、瞭解 CE 放大器射極旁路電容對低頻頻率響應的影響
- (3)、瞭解多級串接放大器的類型
- (4)、瞭解多級串接放大電路的增益
- (5)、瞭解電阻電容交連放大器的特性
- (6)、瞭解直接交連放大電路的特性

二、使用材料

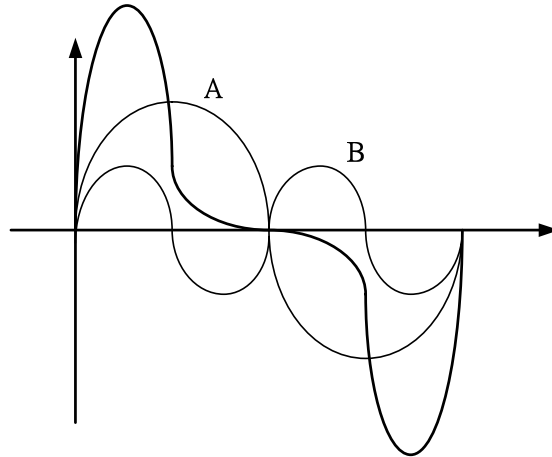
項目	名稱	數量
材料	電晶體 9014	2
	電阻器 1K Ω	1
	電阻器 1.8K Ω	1
	電阻器 2K Ω	2
	電阻器 3.3K Ω	1
	電阻器 3.9K Ω	2
	電阻器 4.7K Ω	1
	電阻器 8.2K Ω	1
	電阻器 10K Ω	1
	電阻器 20K Ω	2
	可變電阻器 1K Ω	1
	可變電阻器 10K Ω	2
	電容器 4.7 uF 16V	2
	電容器 10 uF 16V	1
	電容器 47 uF 16V	1
	電容器 100 uF 16V	2

三、相關知識

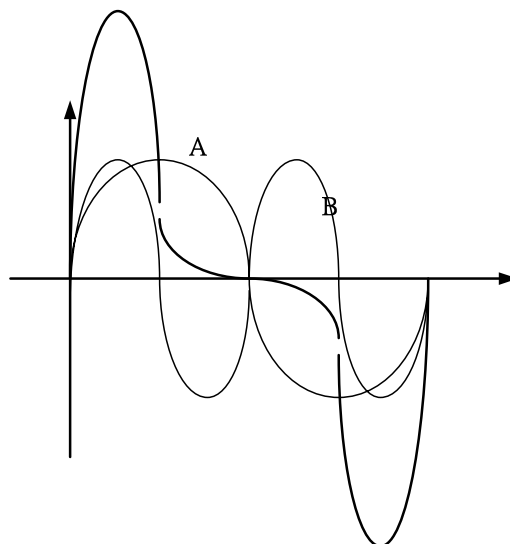
(一)、放大器頻率響應的意義

在之前電晶體電路交流分析中，爲了簡化起見，我們用只有含相依電源和電阻兩種元件的等效電路來將電晶體理想化，並將輸入輸出端的耦合電容都視爲短路，使得整個電晶體放大器的交流等效電路成爲一個簡單的電阻性網路。因此，所得到的分析結果也相當簡單。這種電阻性網路的特點爲輸出不會受到輸入信號頻率改變的影響。但是，因爲實際的放大器中仍然有電抗元件存在，當輸入信號頻率改變時，放大器的增益必然也會隨之改變。因此，我們必須進一步瞭解放大器的適用頻率範圍，這樣分析的結果才有意義。

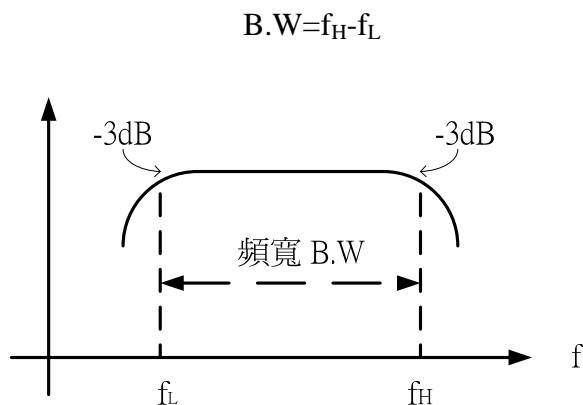
其實我們在做交流分析所使用的弦波信號，只是實際上複雜波形中的一個基本頻率成份，在大多數的情形下，輸入放大器的信號都是由許多不同振幅，頻率弦波組成的複雜波形。假設輸入信號是由 A、B 兩個不同頻率，不同振幅的弦波所組合而成，如下圖所示。



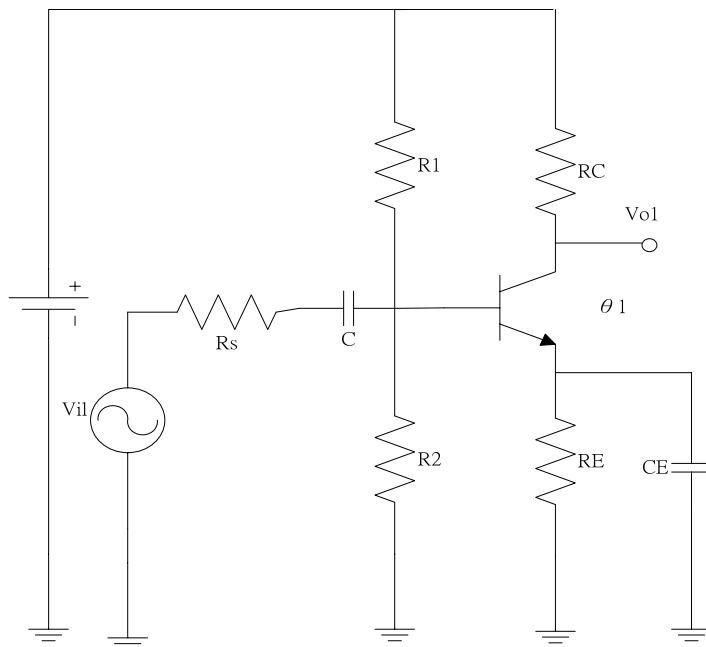
若放大器對 A、B 弦波的振幅做不同程度的放大時，如下圖所示，波形 A 位放大，波形 B 放大 2 倍，輸出波形和上圖比較，則已明顯失真，這種放大器對不同頻率輸入信號以不同倍數放大產生的失真，稱爲”頻率失真”一個理想的放大器在工作頻率範圍內，應該對不同頻率的信號，有相同的放大倍數，否則就會產生頻率失真。



如下圖所示，將放大器在不同頻率時的電壓放大倍數畫在一個橫軸為頻率，縱軸為電壓放大倍數的平面上，這種曲線我們稱為放大器的頻率響應曲線。一般放大器的頻率響應皆如圖所示，中間一段電壓放大倍數接近常數的平坦範圍，為放大器的正常工作範圍。若輸入信號含有超出此範圍的頻率成分，就會因為電壓放大倍數被嚴重地衰減而產生頻率失真。為了更明確界定放大器的工作範圍，一般皆以高、低頻處小於平坦曲線 3dB 的頻率 f_H 、 f_L 定義放大器的頻寬。



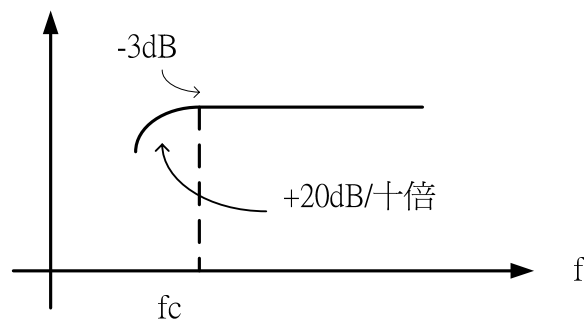
下圖為一個在射極電阻旁邊並連一個旁路電容 C_E 的 CE 放大器。以往的分析我們通常假設這個電容對直流為開路，對交流信號為短路，故電路具有穩定工作點、提高電壓增益的優點。但是我們現在要談談加上 C_E 後放大器要付出的代價。



由於 C_E 的阻抗為 $X_C = 1/2\pi fC_E$ ，對高頻信號而言， $X_C \cong 0$ ，此放大器的電壓增益為 R_C/r_e 。但是，對低頻信號而言， X_C 會呈現一個阻值，使得電壓增益下降為 $R_C/(r_e + Z_e)$ ，其中 Z_e 為 R_E 、 C_E 並聯的阻抗。

下圖為僅考慮射極旁路電容的低頻近似頻率響應圖，其-3dB 頻率為

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_e C_E}$$

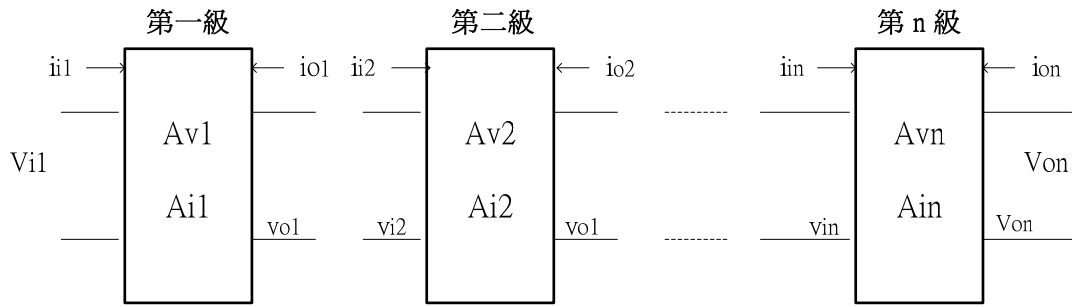


(二)、多級放大電路的類型

在之前的實習單元之中，介紹過了基本的電晶體放大電路，由於僅使用了單一電晶體做放大電路，所以又稱為單級放大電路。但有時我們需要將極微小的信號放大數百倍甚至數千倍時，僅靠單一電晶體放大電路是不夠的，所以這時就必須將數個單級電路串接起來，已獲得我們所需要的放大倍數，這就形成了多級串接放大電路。通常各串級放大器形式是不相同的，甚至每一級的設計是為特定目的，舉例而言，通常串級放大器第一級需要高輸入電阻，而最後一級需要設計為低輸出電阻。

一般而言，將前一級的輸出信號傳送至下一級的輸入信號端稱之為交連或耦合，聯結其中的電路，我們就稱為交連電路或耦合電路。根據交連電路形式的不同，多級放大電路可以分為電阻電容交連放大電路，電容交連放大電路與變壓器直接交連放大電路。

(二)、多級放大電路的增益



整個放大電路的總增益 A_{VT} 為

$$A_{VT} = \frac{V_{on}}{V_{i1}}$$

因為整個放大電路的總電壓增益為各級電壓增益的成績，所以總電壓增益 A_{VT} 又可以寫成

$$A_{VT} = \frac{V_{o1}}{V_{i1}} \times \frac{V_{o2}}{V_{i2}} \times \frac{V_{o3}}{V_{i3}} \dots \times \frac{V_{on}}{V_{in}} = \pm A_{V1} \times A_{V2} \times A_{V3} \dots \times A_{VN}$$

同理，電流增益 A_{IT} 可寫成

$$A_{IT} = \frac{I_{o1}}{I_{i1}} \times \frac{I_{o2}}{I_{i2}} \times \frac{I_{o3}}{I_{i3}} \dots \times \frac{I_{on}}{I_{in}} = \pm A_{I1} \times A_{I2} \times A_{I3} \dots \times A_{IN}$$

而功率增益為總電壓增益與總電流增益的乘積，所以總功率增益為

$$A_{PT} = |A_{VT}| \times |A_{IT}|$$

(三)、電阻電容交連放大電路

如下圖所示為一個交連放大電路。為什麼稱為 RC 交連放大電路呢？是因為第一級放大電路之負載電阻 RC1 上的輸出信號，經由電容 C2 交連至第二級放大電路的輸入端，所以稱為 RC 交連放大電路。

首先考慮直流情況，由於電容 C2 在直流時，其阻抗十分大，使得第一級與第二級放大電路之間幾乎是開路的，所以彼此之間的直流偏壓是各自獨立的，不會相互影響。再來考慮交流情況，由於電容 C2 在交流時，由於其阻抗十分小，所以第一級放大電路的輸出信號能經由電容器 C2 交連至第二級放大電路的輸入端。

假設第一級放大電路的輸入電壓為 V_{i1} ，輸出電壓為 V_{o1} ，其電壓增益為 A_{v1} ，則

$$A_{v1} = \frac{V_{o1}}{V_{i1}}$$

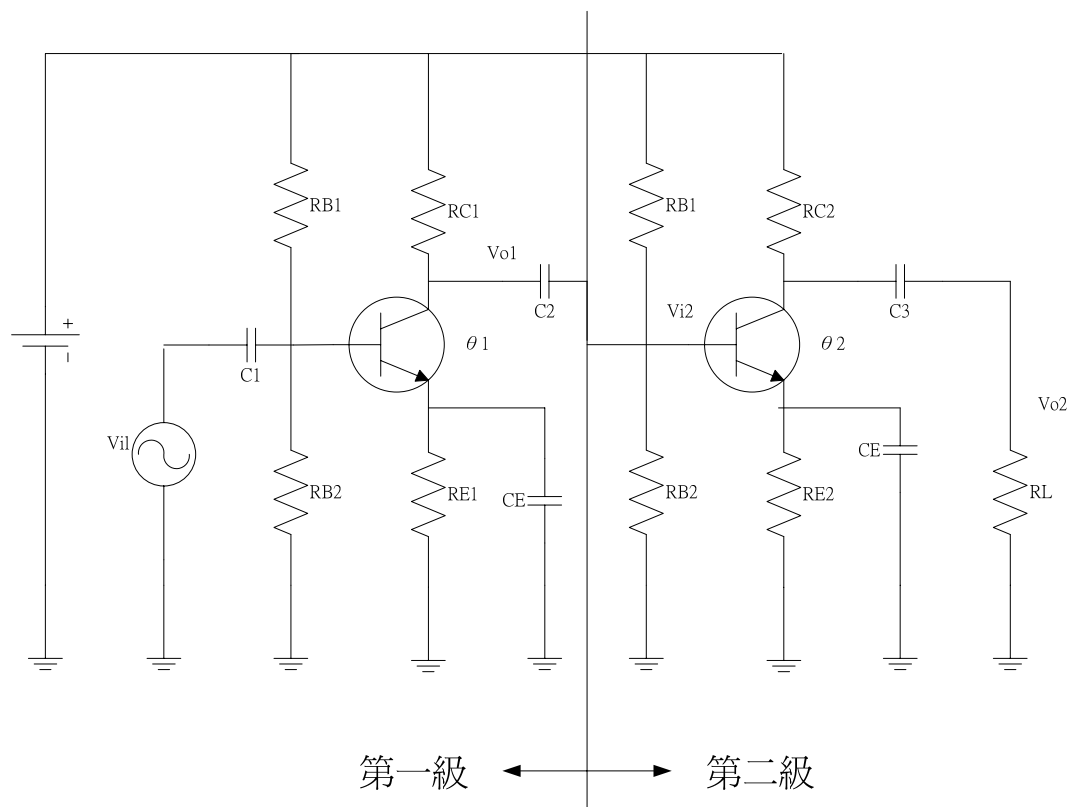
又假設第二級放大電路的輸入電壓為 V_{i2} ，輸出電壓為 V_{o2} ，其電壓增益為

A_{v2} ，則

$$A_{v2} = \frac{V_{o2}}{V_{i2}}$$

所以總電壓增益 A_{VT} 為

$$A_{VT} = A_{v1} \times A_{v2}$$



RC 交連放大電路的優缺點如下：

一、優點

1. 設計電路時的直流偏壓較簡單，且成本低，是目前應用最廣泛的方式。
2. 高頻響應良好。

二、缺點

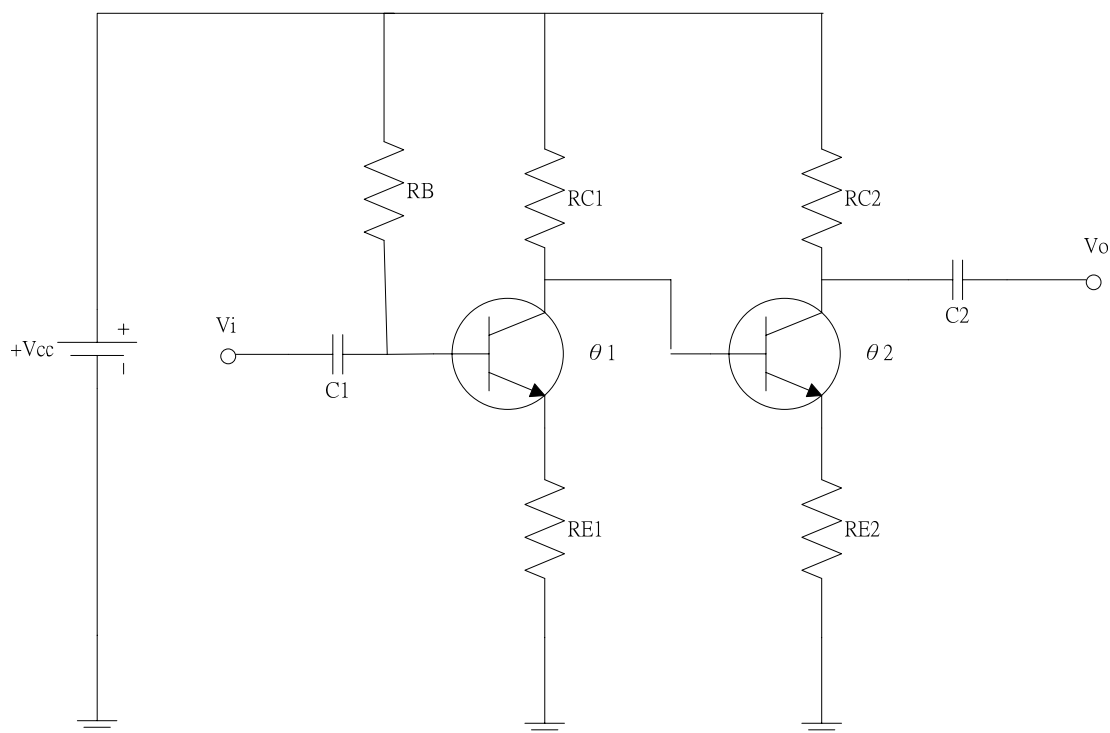
1. 因為以電阻器 RC 為負載，所以直流消耗功率較大，因此一般均使用在低功率放大或電壓放大器中。
2. 由於交連電容 C2 在低頻時阻抗變的很大，所以低頻信號將受到衰減，所以低頻響應不佳。
3. 因為前後級之間不易獲得阻抗匹配，所以效率十分低。

(四)、直接交連放大電路

如下圖所示為一個直接交連放大電路，為何稱為直接交連放大電路呢？因為

第一級放大電路之負載電阻 $RC1$ 上的輸出訊號，直接交連至第二級放大電路的輸入端，所以稱為直接交連放大電路。

首先考慮直流情況，由於沒有 RC 交連電路中電容器的存在，所以第一級與第二級的放大電路之間的直流偏壓是會相互影響的，這將會使得直接交連放大電路的直流工作點的穩定性降低。而再交流時，由於沒有電容器的存在，因此對於低頻信號並不會發生衰減現象，所以直接交連放大器的低頻響應極佳。



一般直接交連放大電路具有以下的優缺點

一、優點

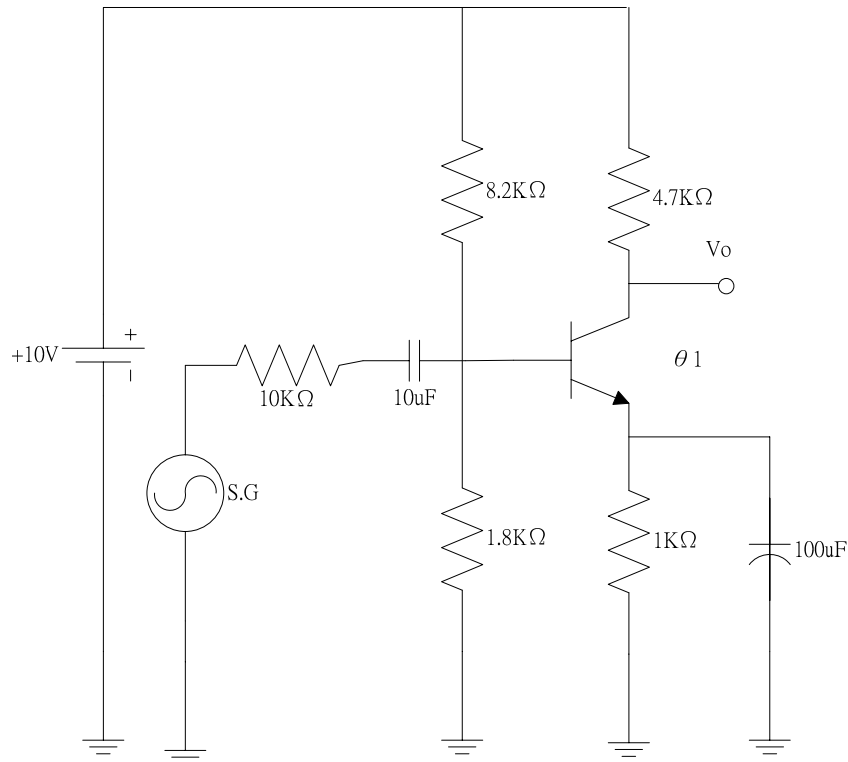
1. 因為低頻響應極佳，所以能夠放大直流信號與級低頻信號。
2. 因為無任何交連元件，例如電阻器，所以不會產生信號的衰減與位移。

二、缺點

1. 因為前後級之間的直流偏壓直接連接，彼此影響，所以電路的直流工作點穩定性差。
2. 因為直流工作點穩定性差，所以電路中的偏壓元件數值必須經準。
3. 因為前後級之間不易獲得阻抗匹配，所以無法獲得最大功率轉移。

四、實習項目

工作一 射極旁路電容



1. 依照上圖所示，將電路接妥。將信號產生器頻率設定為 10kHz，調整振幅使放大器輸出波形不失真，此時的 $V_i = \underline{\hspace{2cm}}$ V, $V_o = \underline{\hspace{2cm}}$ V(峰值), $A_v = \underline{\hspace{2cm}}$ 。
2. 調整信號產生器的頻率，由 10Hz 到 100kHz，將測量得之電壓增益紀錄於下表之中。另找出電壓增益為高頻時 0.707 倍的頻率 $\underline{\hspace{2cm}}$ Hz，此即電路之 -3dB 點。

頻率	10Hz	100 Hz	1 KHz	10KHz	100K Hz
電壓增益					

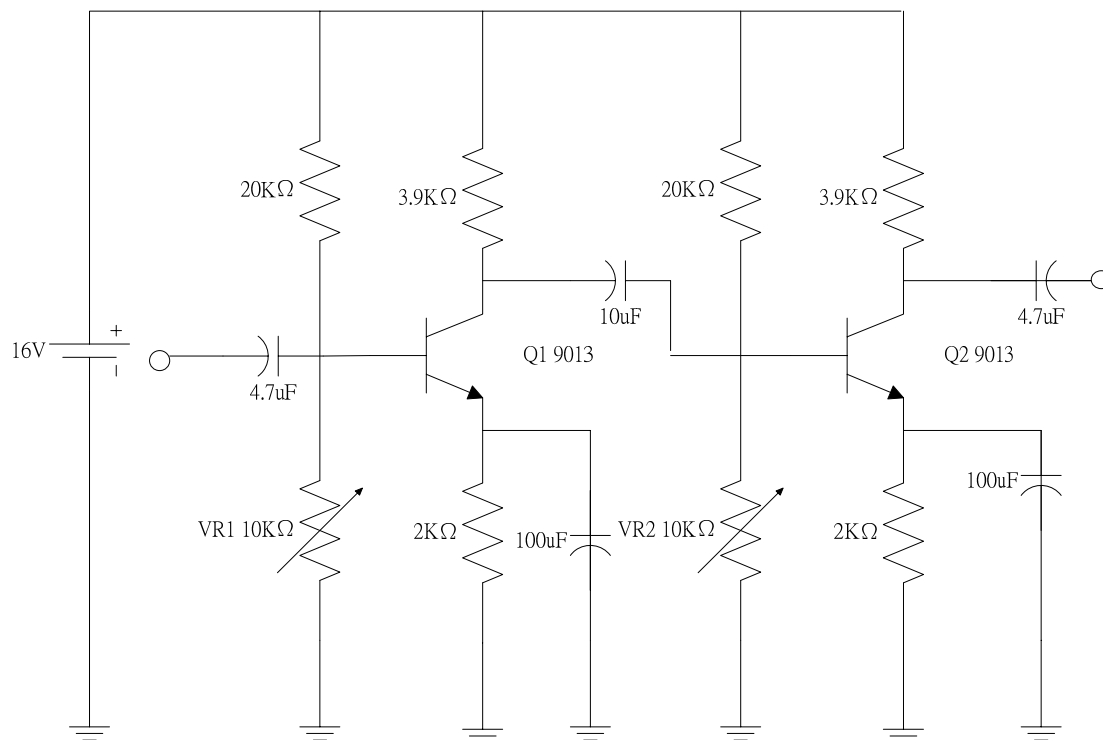
3. 將射極旁路電容改成 10μF，重複上述實驗，將結果紀錄於下表中，並找出 -3dB 頻率為 $\underline{\hspace{2cm}}$ Hz。

頻率	10Hz	100 Hz	1 KHz	10KHz	100K Hz
電壓增益					

4. 由上述兩表可得知，射極旁路電容會使 CE 放大器的 $\underline{\hspace{2cm}}$ (高/低) 頻率響應

變的比較不好。當電容越大，-3dB 越_____ (高/低)。

工作二 RC 交連放大電路



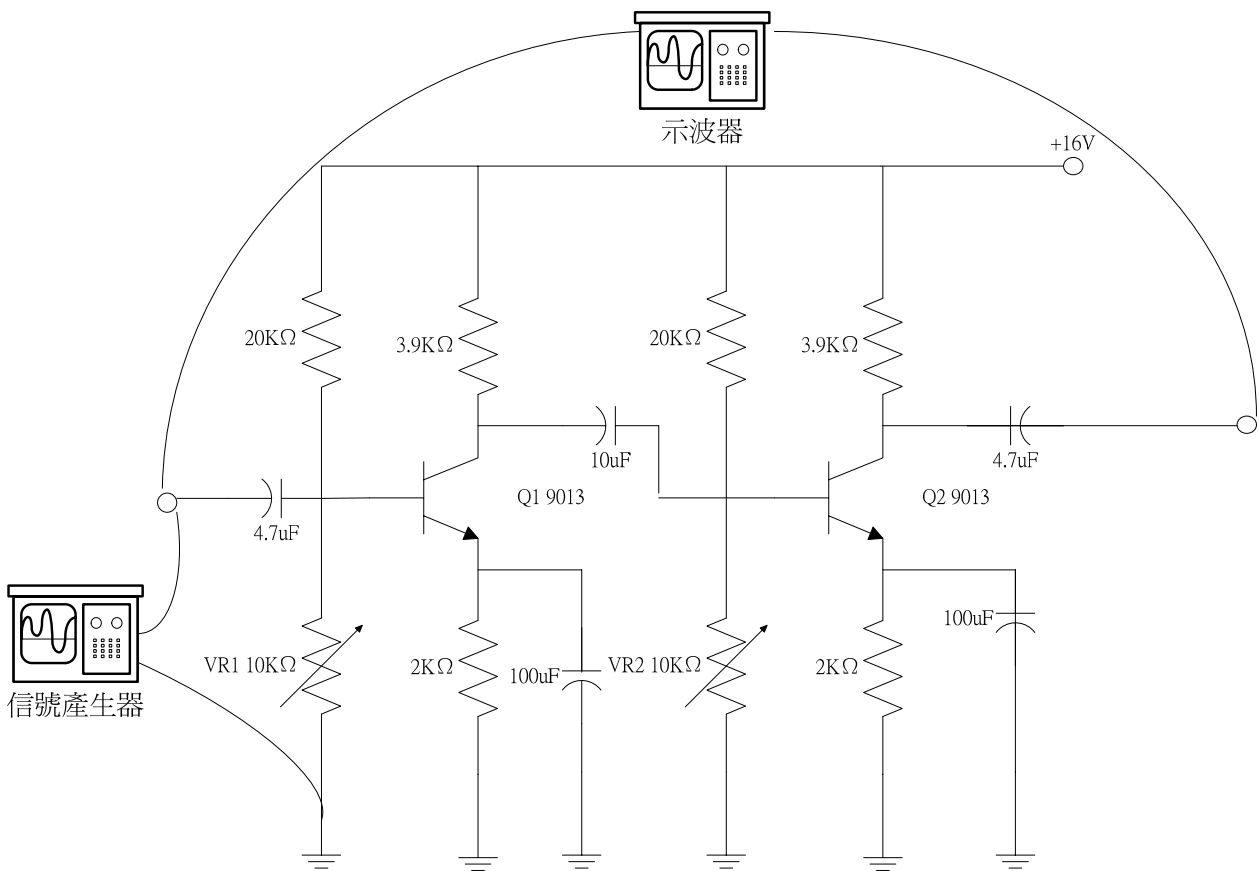
一、設置電晶體適當工作點

1. 依照上圖所示，將電路接妥。
2. 調整可變電阻 V_{R1} ，使電晶體 Q1 的 $V_{CE1}=1/2 V_{CC}$ 。
3. 調整可變電阻 V_{R2} ，使電晶體 Q2 的 $V_{CE2}=1/2 V_{CC}$ 。
4. 將三用電表撥至 DCV，測量電晶體 Q1 與 Q2 的 E、B、C 直流電壓，並將量測的數值紀錄於下表。

	V_B	V_E	V_C
Q1			
Q2			

二、交流特性量測

- 調整信號產生器，使其輸出頻率為 1kHz 的正弦波，並接至電路的輸入端，並使用示波器雙軌跡功能同時觀測電路輸出端及輸入端。
- 然後調整信號產生器輸出振幅旋鈕，使電路輸出波形振幅最大且不失真。
- 此時將輸入信號保持固定，以示波器量測電晶體 Q2 的輸出電壓、電晶體 Q2 的輸入電壓、電晶體 Q1 的輸出電壓與電晶體 Q1 的輸入電壓的電壓峰對峰值，並將數值紀錄於表中。



		電壓峰對峰值
電晶體 Q1	輸入電壓 Vi1	
	輸出電壓 Vo1	
電晶體 Q2	輸入電壓 Vi2	
	輸出電壓 Vo2	

8. 根據上表所獲得數值，請計算出電晶體 Q1 的電壓增益 A_{v1} 、電晶體 Q2 的電壓增益 A_{v2} 與電路的總電壓增益， A_{vT} ，並紀錄於下表。

Q1 的電壓增益	$A_{v1} = \frac{V_{o1}}{V_{i1}} =$
Q2 的電壓增益	$A_{v2} = \frac{V_{o2}}{V_{i2}} =$
總電壓增益	$A_{vT} = A_{v1} \times A_{v2} =$

五、心得