

實驗單元(一)－放大器低頻響應

一、實驗目的

1. 了解放大器低頻響應特性與原理。
2. 學習如何計算共射極放大器的低頻轉折頻率，並計算出整體的低頻臨界頻率。
3. 學習如何測量共射極放大器的整體低臨界頻率。

二、實驗儀器設備與實驗材料表

表(一)：實驗儀器設備

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

表(二)：實驗材料表

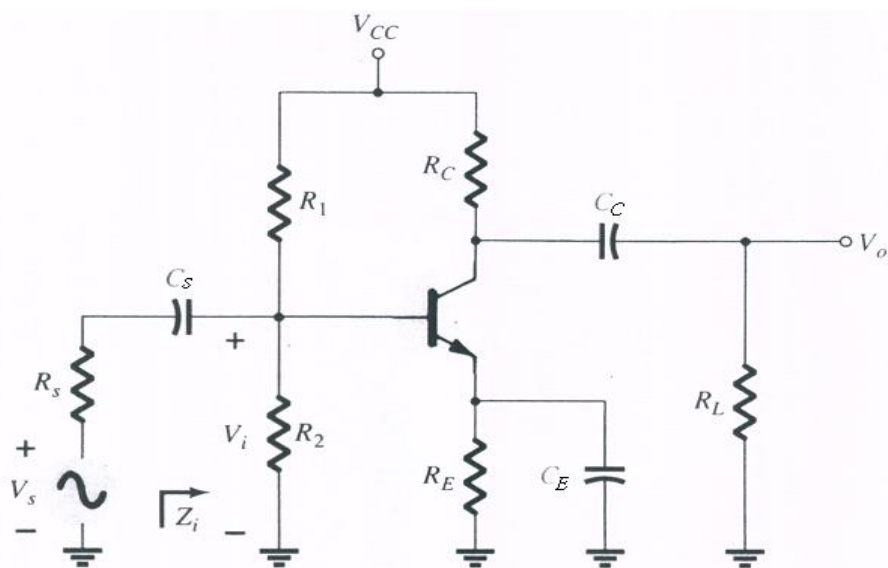
項次	元件編號	元 件 說 明	用量
1	碳膜電阻	依實驗內容，選用適當電阻值	
2	C5	0.1uF PE 電容	1 個
3	C1、C3	10uF/50V 電解質電容	2 個
4	C1、C4	120uF/50V 電解質電容	2 個
5	電容置換值	1000uF/25V 電解質電容	2 個
6	Q1	BJT 2N2222	1 個

三、電路說明

1. BJT 放大器電路低頻響應[1][2]

下列說明內容主要是參考張忠誠,張順雄,李榮乾編譯,電子元件與電路理論(下冊),東華書局出版,第三版,11.6 章節及電子學課本等內容為主。

在圖(1-1)中電容 C_S 、 C_C 和 C_E 會決定網路的低頻響應。以下我們依序來探討每一個電容器個別的效應。

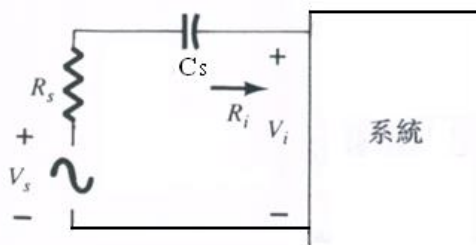


圖(1-1)：在負載下 BJT 放大器的電容器對低頻響應之影響[2]

■ C_S 電容

由於電 C_S 容通常是連接於外加訊號源和主動元件間，R-C 電路一般化之型式可以如圖(1-2)所示。圖中總電阻為 $R_s + R_i$ 其截止頻率為

$$f_{L_s} = \frac{1}{2\pi(R_s + R_i)C_S} \dots\dots\dots(1-1)$$



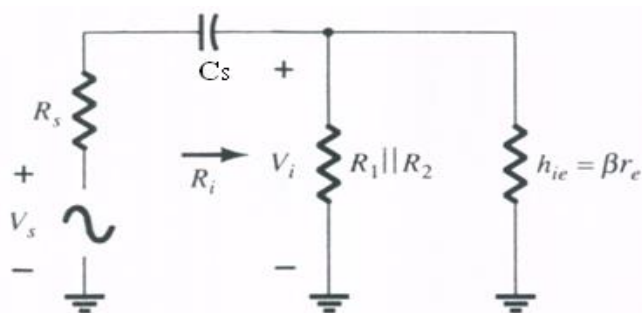
圖(1-2)：在低頻響應下決定 C_S 的效應[2]

在中頻或高頻時，電容器的電抗小可用短路近似來代表。於是電壓 V_i 與 V_s 的關係可由下式表示

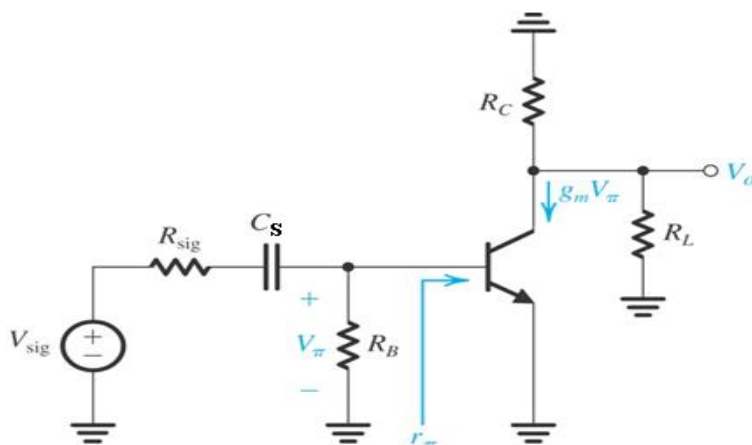
$$V_i \Big|_{mid} = \frac{R_i V_s}{R_i + R_s} \dots\dots\dots(1-2)$$

在低截止頻率 f_{L_s} 時，電壓 V_i 是由上式所得之值的 70.7%，這是假設 C_s 是唯一影響頻率響應的電容。

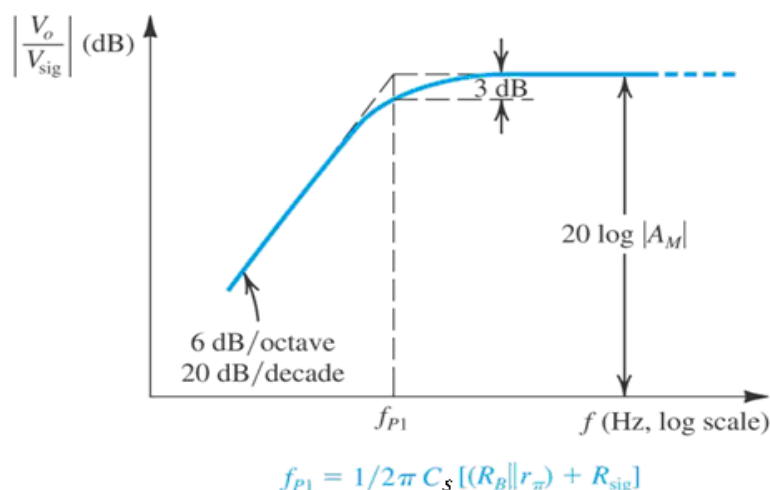
在圖(1-1)的網路中當我們分析 C_s 的效應時，我們必須假設 C_C 和 C_E 均依原設計的要求動作，否則以分析。這說 C_C 和 C_E 的電抗夠大，以致於在和其他串聯阻抗相比較時可視為短路。在此項假設下，圖(1-1)的輸入部分的交流等效網路如圖(1-3)所示。圖(1-4)為 C_s 電容所對應的等效 BJT 放大器電路，圖(1-5)為 C_s 電容所建立的極點與波德圖。



圖(1-3)： C_s 電容的局部交流等效電路[2]



圖(1-4)： C_s 電容所對應的等效 BJT 放大器電路[3]

圖(1-5)： C_s 電容所建立的極點與波德圖[3]

$f_{L_s} = \frac{1}{2\pi(R_s + R_i)C_s}$ 式中的 R_i 電阻值可由下式求出

$$R_i = R_1 \parallel R_2 \parallel \beta r_e \dots\dots\dots(1-3)$$

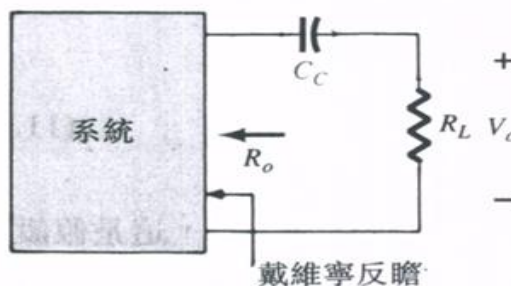
加於主動元件上的輸入電壓 V_i 可用電壓分壓定則求出

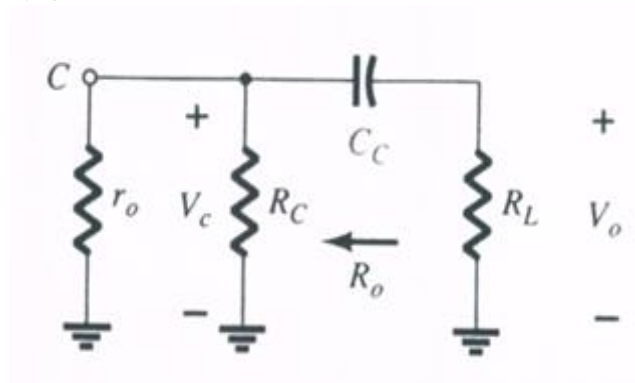
$$V_i = \frac{R_i V_s}{R_s + R_i - jX_{C_s}} \dots\dots\dots(1-4)$$

■ C_c 電容

耦合電容器通常是連接於主動元件之輸出與外接負載之間， C_c 對低頻截止頻率的影響可以用圖(1-6)中的 R-C 電路來求。圖(1-6)中總串聯電阻為 $R_o + R_L$ 且對應於的截止頻率可由下式求出：

$$f_{L_c} = \frac{1}{2\pi(R_o + R_L)C_c} \dots\dots\dots(1-5)$$

圖(1-6)：在低頻響應下決定 C_c 的效應[2]



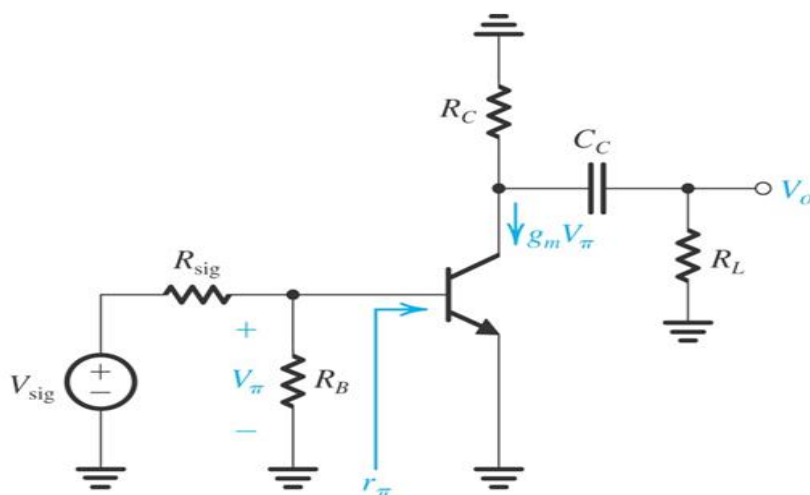
圖(1-7)： C_C 電容的局部交流等效電路(在 $V_i = 0V$ 時) [2]

如果忽略 C_S 和 C_E 的效應，在頻率 f_{Lc} 時，輸出電壓 V_o 將為中頻值的 70.7%。當 $V_i = 0V$ 時，圖(1-1)網路輸出部分的交流等效網路如圖(1-7)所示，

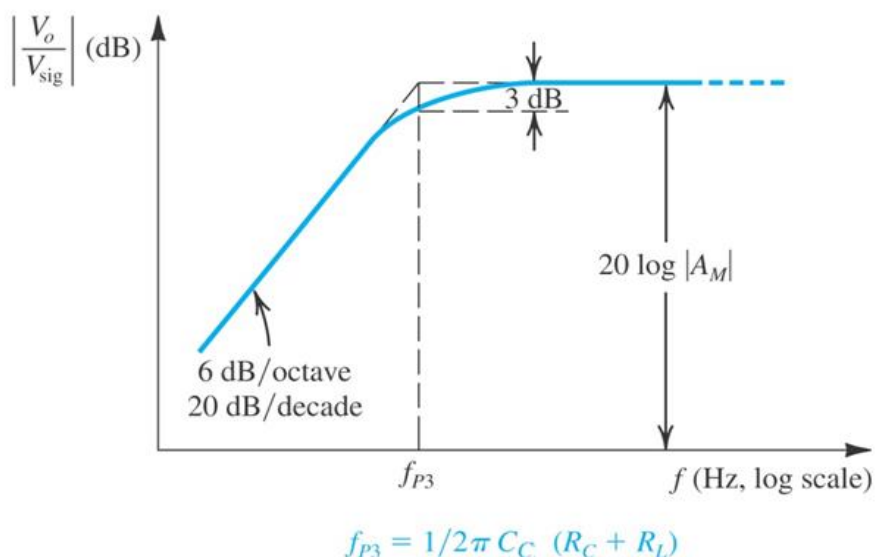
$f_{Lc} = \frac{1}{2\pi(R_o + R_L)C_C}$ 式中的 R_o 值可由下式算出下式：

$$R_o = R_C // r_o \dots\dots\dots(1-6)$$

圖(1-8)為 C_C 電容所對應的等效 BJT 放大器電路，圖(1-9)為 C_C 電容所建立的極點與波德圖。



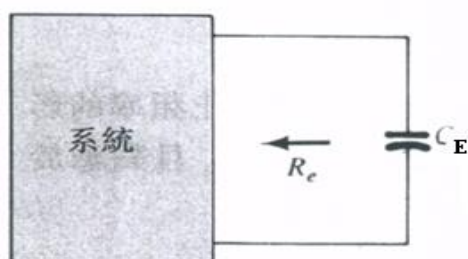
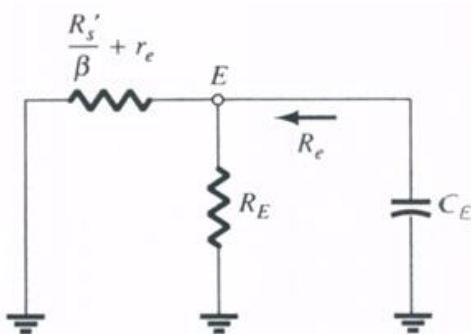
圖(1-8)： C_C 電容所對應的等效 BJT 放大器電路[3]

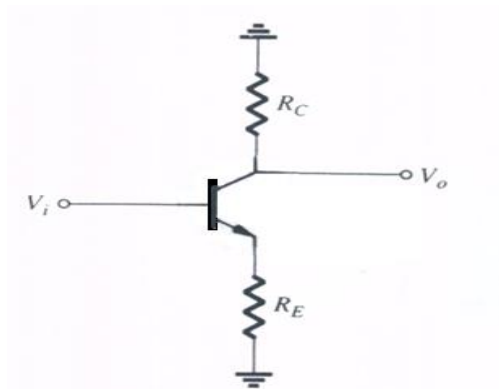
圖(1-9)： C_C 電容所建立的極點與波德圖[3]

■ C_E 電容

為了求出 f_{L_E} ，必須將網路中 C_E 看成如圖(1-10)所示。如此可找出 R_e 的大小，對應於 C_E 的截止頻率可由下面之方程式求出：

$$f_{L_E} = \frac{1}{2\pi R_e C_E} \dots\dots\dots(1-7)$$

圖(1-10)：在低頻響應下決定 C_E 的效應[2]圖(1-11)： C_E 電容的局部交流等效電路[2]



圖(1-12)：為描述 C_E 對放大器增益的影響所使用之電路[2]

對於圖(1-1)網路中從 C_E 反瞻的交流等效電路如圖(1-11)所示。其中 R_e 之值為

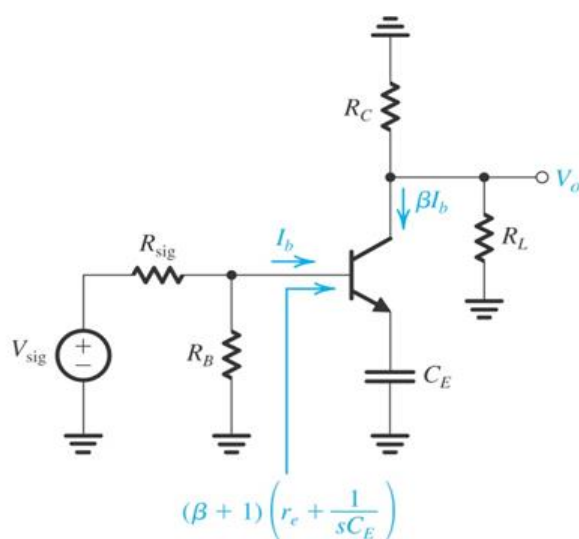
$$R_e = R_E // \left(\frac{R_S'}{\beta} + r_e \right) \dots\dots\dots(1-8)$$

其中 $R_S' = R_S // R_1 // R_2$ 。

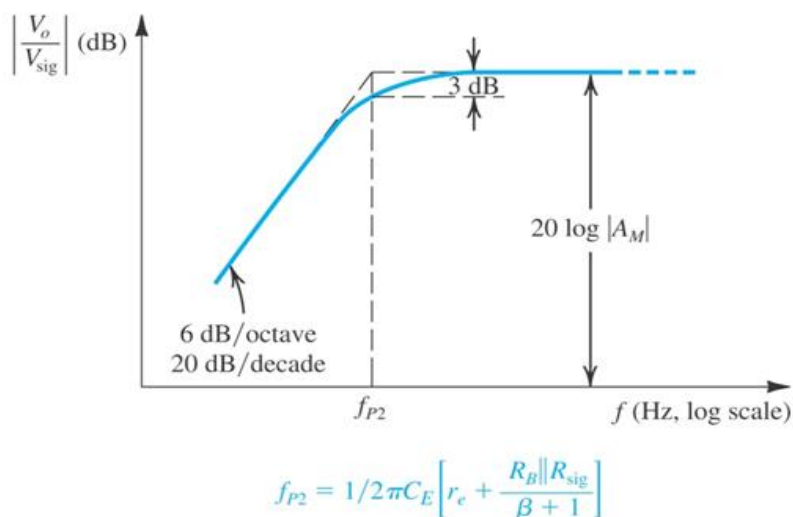
C_E 對增益的效應最好用量化的方式來說明，要記住圖(1-12)的組態其增益是由下式得到的：

$$A_v = \frac{-R_C}{r_e + R_E} \dots\dots\dots(1-9)$$

圖(1-13)為 C_E 電容所對應的等效 BJT 放大器電路，圖(1-14)為 C_E 電容所建立的極點與波德圖。



圖(1-13)： C_E 電容所對應的等效 BJT 放大器電路[3]

圖(1-14)： C_E 所建立的極點與波德圖[3]

當 R_E 為零歐姆時無疑可以得到最大增益。在低頻時，如果旁路電容 C_E 在“開路”等效狀態，則全部 R_E 都會出現在上式求增益的方程式中，而得出最小的增益。當頻率增加時，電容 C_E 的電抗會變小，使 C_E 和 R_E 的並聯阻抗也跟著變小，一直到電阻器 R_E 實質上被短路為止。其結果就是由 $A_v = -R_C / r_e$ 所決定的最大或中頻帶增益。在 f_{L_E} 頻率下，增益就會比中頻帶值低了 3dB，這是 R_E 形同短路的情況所得的結果。

在繼續討論前，請記住 C_C 、 C_S 和 C_E 只會影響低頻響應。在中頻帶範圍這些電容就可以用短路等效來取代。雖然每一個短路等效在同一個頻率範圍內都會影響增益 $A_v = V_o / V_i$ ，但是由 C_C 、 C_S 或 C_E 所定出的最高的低截止頻率對增益的影響最大，因為它最接近中頻帶範圍。如果相對於各個電容所定出的低截止頻率分隔較遠，則其中最高的一個實質上會決定整個系統的低截止頻率。如果出現一個以上靠近中頻帶的低截止頻率，則其效應會使低截止頻率升高，因而縮減該系統的頻帶寬度。換句話說，這是電容元件間彼此的交互作用對低截止頻率所產生的影響。不過，如果各個低截止頻率的間隔夠大，則電容之間相互的影響可以忽略不計。

★例題說明 1-1

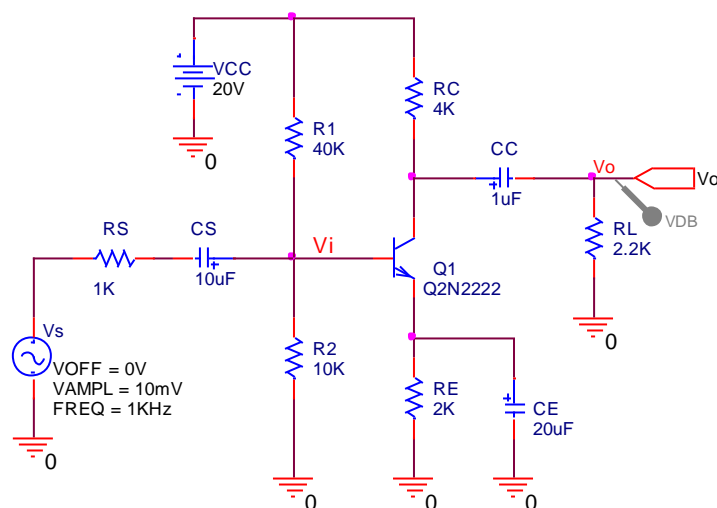
a. 試求圖(1-15)中網路的低頻截止頻率，使用下列參數：

$$C_S = 10\mu F, C_E = 20\mu F, C_C = 1\mu F$$

$$R_S = 1K\Omega, R_1 = 40K\Omega, R_2 = 10K\Omega, R_E = 2K\Omega, R_C = 4K\Omega, R_L = 2.2K\Omega$$

$$\beta = 255.9, r_o = \infty\Omega, V_{CC} = 20V$$

b. 使用波德圖描繪出頻率響應。



圖(1-15)：實驗模擬電路圖

◆解答：

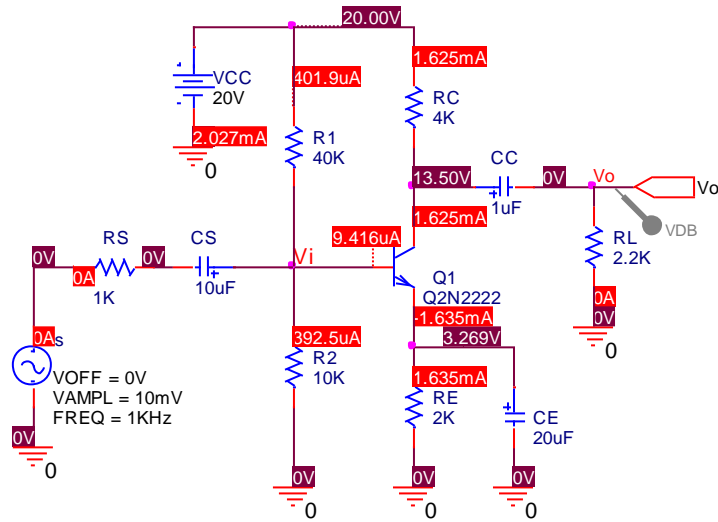
①. 首先計算直流分析：

$$\beta R_E = 255.9 \times 2K\Omega = 511.8K\Omega \gg 10R_2 = 100K\Omega$$

其結果如下所示：

$$V_B \approx \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{CC} = \frac{10K\Omega}{40K\Omega + 10K\Omega} \times 20V = 4V$$

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{4V - 0.7V}{2K\Omega} = 1.65mA$$



圖(1-16)：實驗模擬電路圖(偏壓)

②.交流分析：

$$r_e = \frac{26mV}{1.65mA} = 15.76\Omega, \quad \beta r_e = 255.9 \times 15.76\Omega \approx 4.033K\Omega$$

(1).中頻增益：

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_C // R_L}{r_e} = -\frac{4K\Omega // 2.2K\Omega}{15.76\Omega} \approx -90$$

(2).輸入阻抗：

$$Z_i = R_i = R_1 // R_2 // \beta R_e = 40K\Omega // 10K\Omega // 4.033K\Omega \approx 2.68K\Omega$$

由圖(1-15)得到 V_i

$$V_i = \frac{R_i}{R_s + R_i} \times V_s$$

$$\frac{V_i}{V_s} = \frac{R_i}{R_s + R_i} = \frac{2.68K\Omega}{1K\Omega + 2.68K\Omega} = 0.728$$

(3).電壓增益：

$$A_{v_s} = \frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{V_i} \times \frac{V_i}{V_s} = (-90) \times (0.728) = -65.52$$

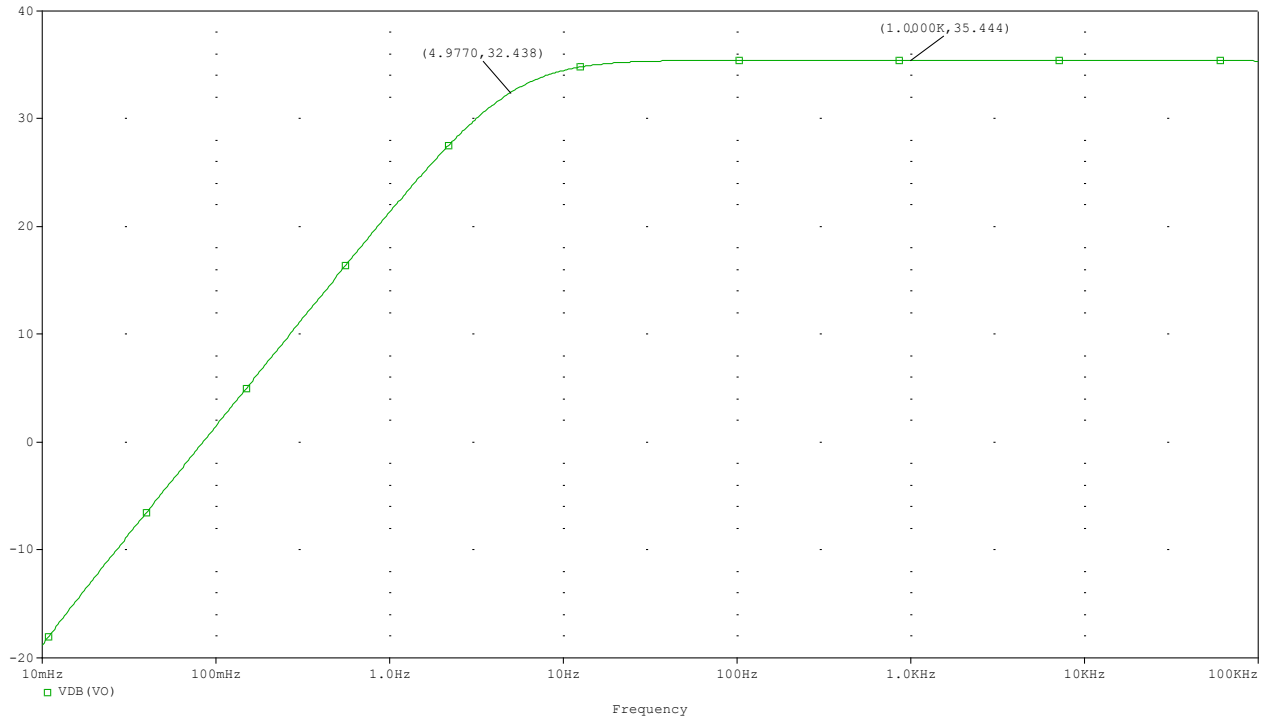
$$20 \log |A_{v_s}| \approx 36.32(dB)$$

③. 電容對低頻響應的影響：

(1). C_S 電容：由(1-1)式知，

$$f_{L_S} = \frac{1}{2\pi(R_s + R_i)C_S} = \frac{1}{2\pi(1K\Omega + 2.68K\Omega) \times (10\mu F)} \approx 4.348Hz$$

若將電容設定為 $C_C = C_E = 1F$ ，則將消除在低頻區域的特性，下圖為其 C_S 電容所造成的低頻響應。模擬結果-3dB 截止頻率為 4.9770Hz 與計算值相近。

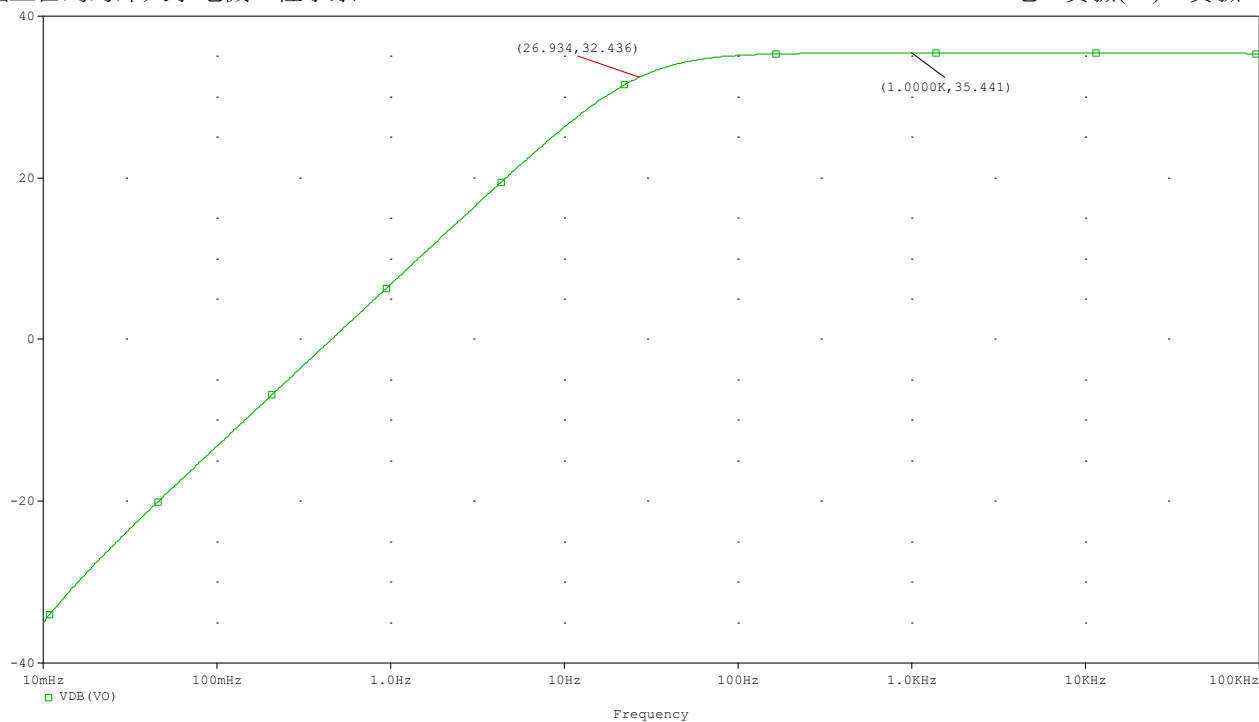


圖(1-17)： C_S 電容所造成的低頻響應

(2). C_C 電容：由(1-5)式知，

$$f_{L_C} = \frac{1}{2\pi(R_o + R_L)C_C} = \frac{1}{6.28 \times (4K\Omega + 2.2K\Omega) \times 1\mu F} \approx 25.68Hz$$

若將電容設定為 $C_S = C_E = 1F$ ，則將消除在低頻區域的特性，下圖為其 C_C 電容所造成的低頻響應。模擬結果-3dB 截止頻率為 26.934Hz 與計算值相近。

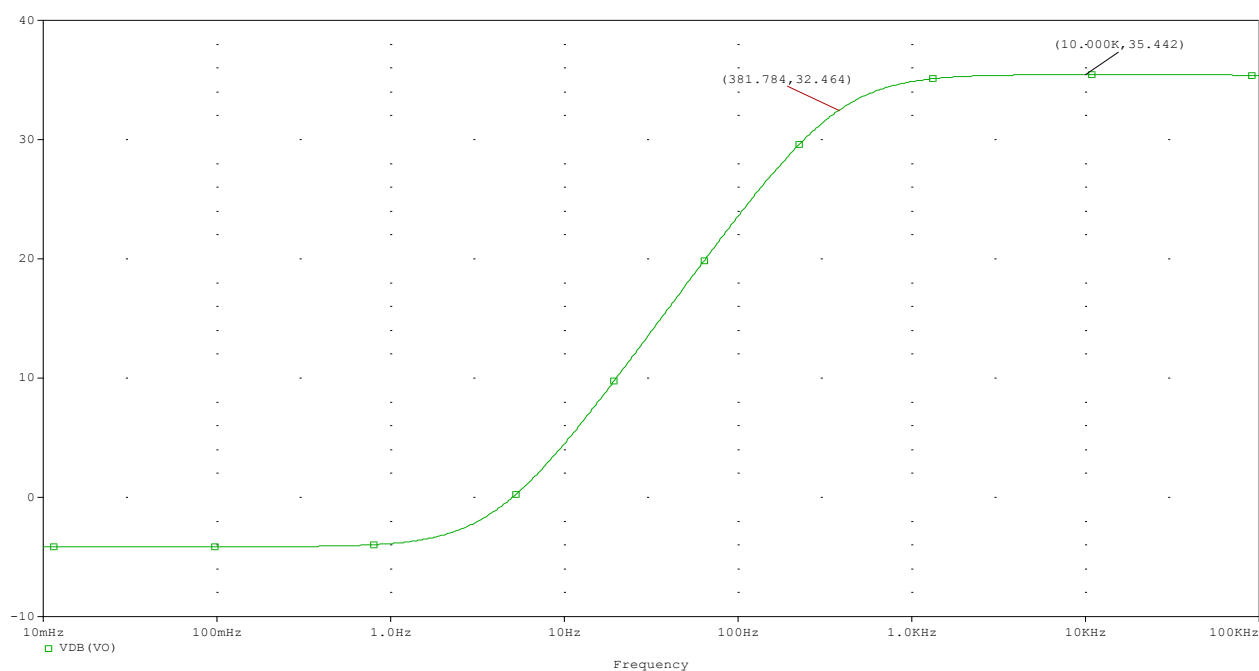
圖(1-18)： C_C 電容所造成的低頻響應

(3). C_E 電容：由(1-7)及(1-8)式知，

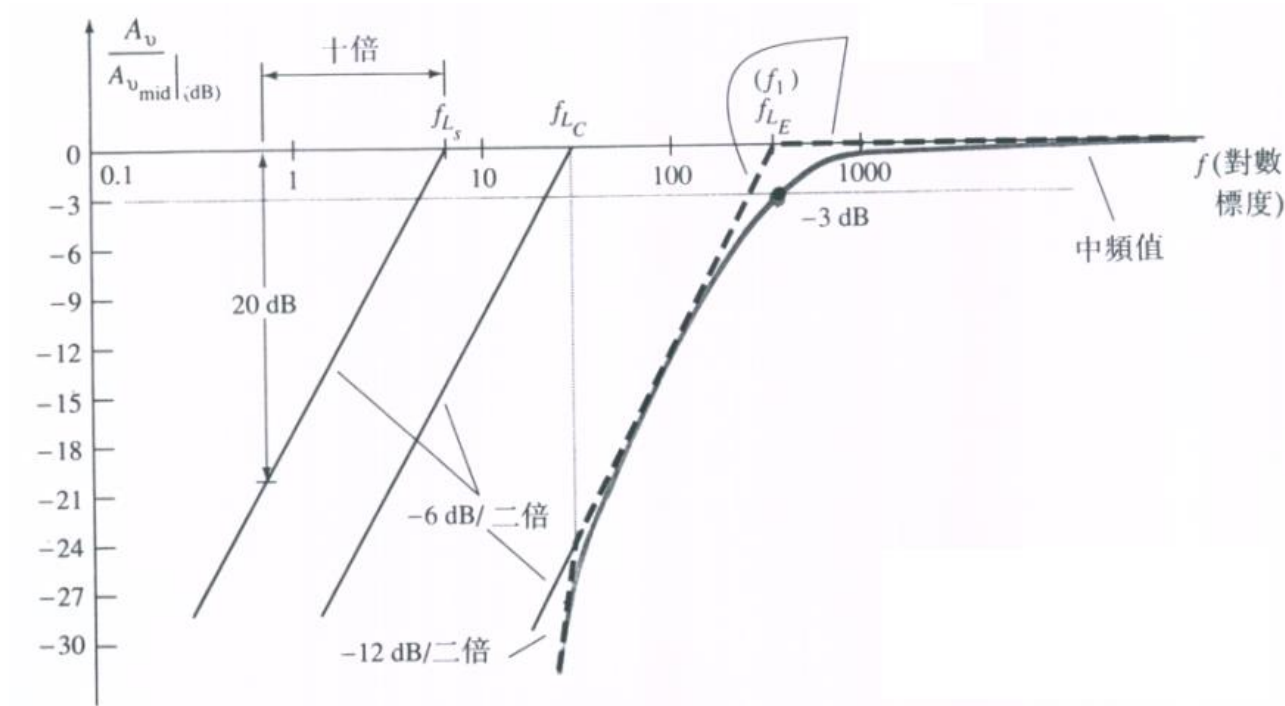
$$R_S' = R_S // R_1 // R_2 = 1K\Omega // 40K\Omega // 10K\Omega \approx 0.889K\Omega$$

$$R_e = R_E // \left(\frac{R_S'}{\beta} + r_e \right) = 2K\Omega // \left(\frac{0.889K\Omega}{255.9} + 15.76\Omega \right) \approx 19.048\Omega$$

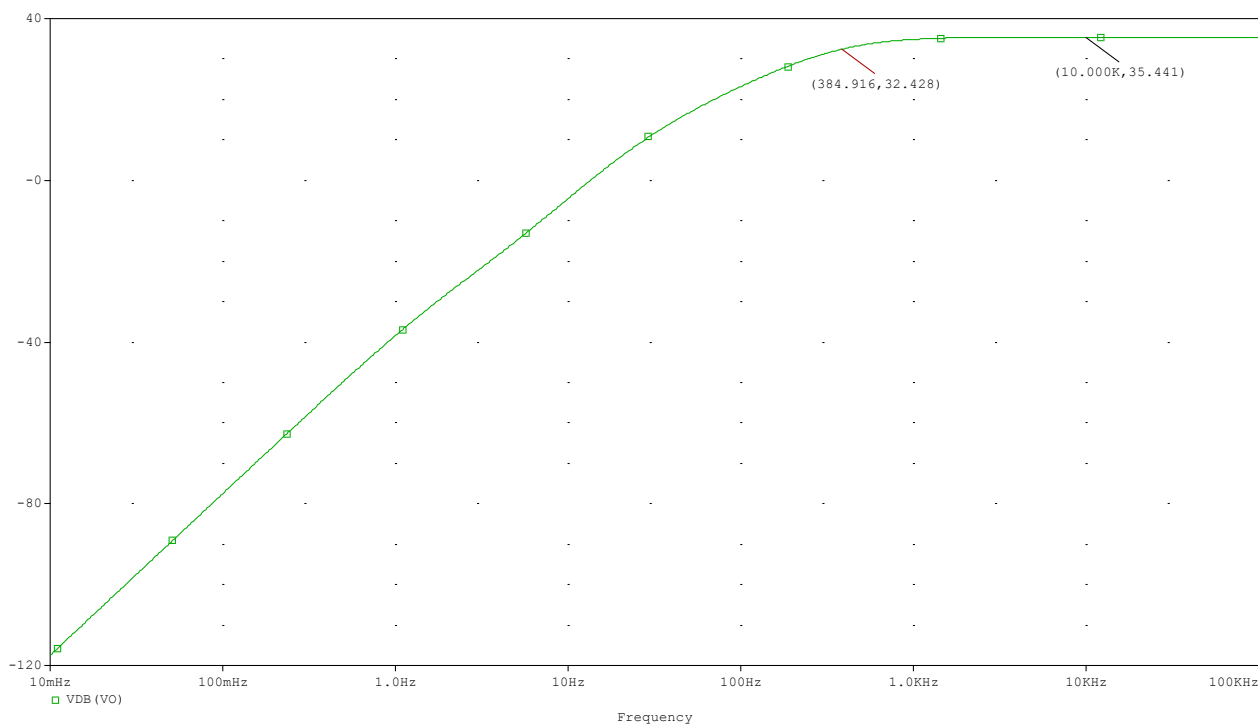
$$f_{L_E} = \frac{1}{2\pi R_e C_E} = \frac{1}{6.28 \times 19.048\Omega \times 20\mu F} \approx 418Hz$$

圖(1-19)： C_E 電容所造成的低頻響應

若將電容設定為 $C_S = C_E = 1F$ ，則將消除在低頻區域的特性，下圖為其 C_C 電容所造成的低頻響應。模擬結果-3dB 截止頻率為 381.784Hz 與計算值略有小差異，差異性原因是受 β 值影響。



圖(1-20)：放大器電路的低頻響應[2]

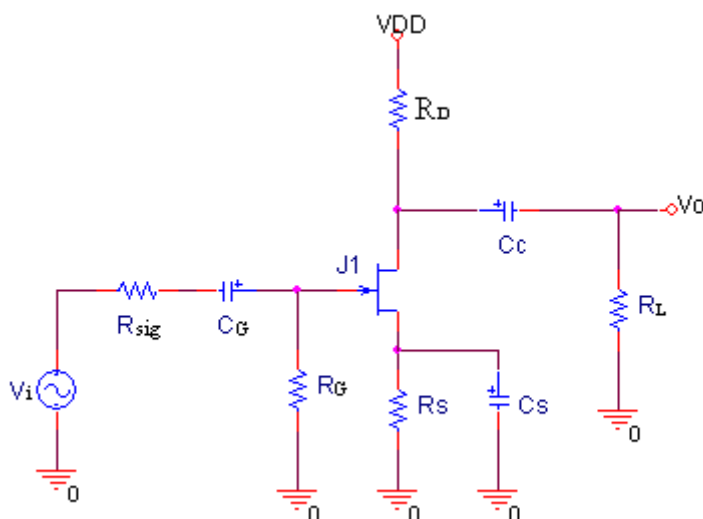


圖(1-21)：BJT 放大器電路的低頻響應

圖(1-20)是在波德圖上作圖的結果，圖(1-21)為實驗模擬結果，由上可以得知，低頻-3dB 截止頻率主要由 C_E 旁路電容來決定。

2. 共源級放大器的低頻響應[2]

因為在小訊號放大器設計中較少使用分離式的 MOSFET 元件，現在使用 JFET 放大器來說明低頻響應，其低頻特性分析與前項 BJT 放大器的說明相當類似，而這些結果也可以直接用到 MOS 放大器。圖(1-22)為 N 通道 JFET 的典型耦合式共源極放大器。

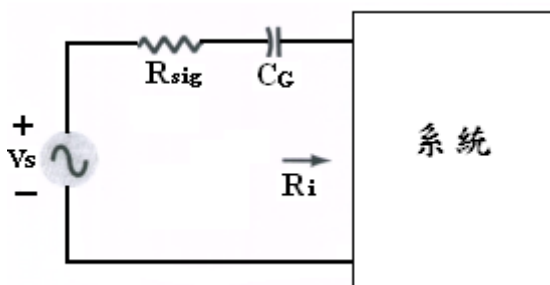


圖(1-22)：電容元件對 JFET 放大器在低頻響應的影響

■ C_G 電容

在信號源以及主動元件之間的耦合電容可以用圖(1-23)的交流網路來替代。由 C_G 所決定的截止頻率可由下式來算出。

$$f_{L_G} = \frac{1}{2\pi(R_{sig} + R_i)C_G} \dots\dots\dots(1-10)$$



圖(1-23)：決定 C_G 在低頻響應下的效應[2]

對於圖(1-22)中的網路，輸入阻抗 R_i

$$R_i = R_G \dots\dots\dots(1-11)$$

通常 $R_G \gg R_{sig}$ ，所以低頻截止頻率主要還是靠 R_G 和 C_G 決定。由於 R_G 的值，非常大使得 C_G 可以使用較低的值，但還是要能維持較低的截止頻率。

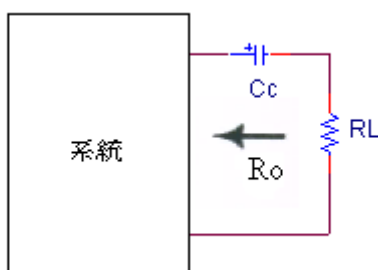
■ C_C 電容

介於主動元件及負載之間的耦合電容，可以用圖(1-24)的等效電路來取代。其截止頻率為下式所示：

$$f_{Lc} = \frac{1}{2\pi(R_O + R_L)C_C} \dots\dots\dots(1-12)$$

對於圖(1-22)的網路

$$R_O = R_D // r_d \dots\dots\dots(1-13)$$



圖(1-24)：決定 C_C 在低頻響應下的效應[2]

■ C_S 電容

從源極電容 C_S 所看到的系統等效電阻可以用圖(1-25)的方式來決定。其截止頻率為下式所示：

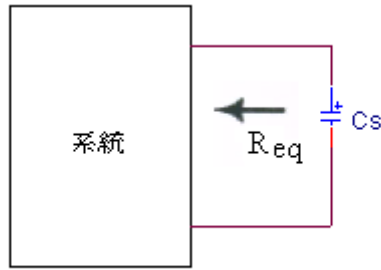
$$f_{Ls} = \frac{1}{2\pi R_{eq} C_S} \dots\dots\dots(1-14)$$

圖(1-15)中 R_{eq} 的值為：

$$R_{eq} = \frac{R_S}{1 + \frac{R_S(1 + g_m r_d)}{(r_d + R_D // R_L)}} \dots\dots\dots(1-15)$$

如果 $r_d \approx \infty$ ，則上式變為

$$R_{eq} = R_S // \frac{1}{g_m} \dots\dots\dots(1-16).$$

圖(1-25)：決定 C_s 在低頻響應下的效應[2]

★例題說明 1-2.

a. 試求圖(1-26)中網路的低頻截止頻率，使用下列參數：

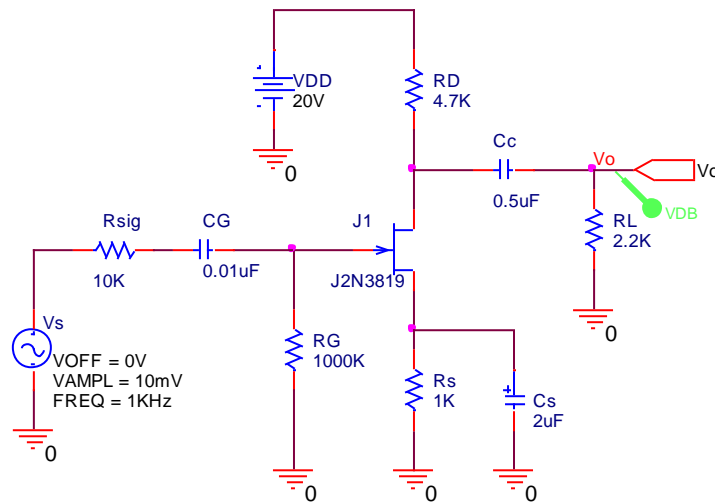
$$C_G = 0.01\mu F, C_C = 0.5\mu F, C_S = 2\mu F$$

$$R_{sig} = 10K\Omega, R_G = 1M\Omega, R_D = 4.7K\Omega, R_S = 1K\Omega, R_L = 2.2K\Omega$$

$$\beta = 1.304 \times 10^{-3}, V_P = -3V, \lambda = 2.25 \times 10^{-3},$$

$$\beta = \frac{I_{DSS}}{V_P^2}, I_{DSS} = \beta \times V_P^2 = 11.736mA$$

b. 使用波德圖描繪出頻率響應。



圖(1-26)：實驗模擬電路圖

◆解答：首先計算直流分析：

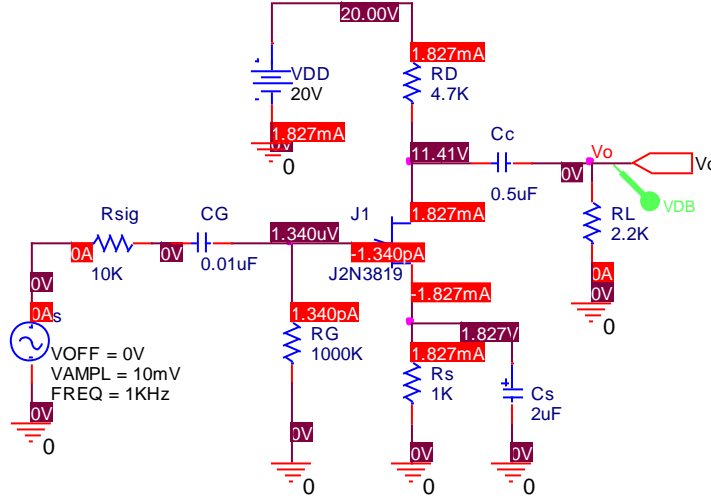
①. 然後取 $V_{GSQ} = -2V$ 和 $V_{DSQ} = 10V$ ，計算 I_{DQ}

$$I_{DQ} = \frac{V_{DD} - V_{DSQ}}{R_D + R_S} = \frac{20V - 10V}{4.7K\Omega + 1K\Omega} = 1.754mA$$

②. 計算 g_{mo}

$$g_{mo} = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|} = \frac{2 \times 11.736mA}{3V} = 7.824mS$$

$$g_m = g_{mo} \left(1 - \frac{V_{GSQ}}{V_P}\right) = 7.824mS \times \left(1 - \frac{-2V}{-3V}\right) = 2.608mS$$



圖(1-27)：實驗模擬電路圖(偏壓)

③. C_G 電容：由(1-10)式知，

$$f_{Lc} = \frac{1}{2\pi(R_o + R_L)C_c} = \frac{1}{2\pi(10K\Omega + 1M\Omega) \times 0.01\mu F} \approx 15.8Hz$$

④. C_c 電容：由(1-12)式知，

$$f_{Lc} = \frac{1}{2\pi(R_o + R_L)C_c} = \frac{1}{2\pi(4.7K\Omega + 2.2K\Omega) \times 0.5\mu F} \approx 46.13Hz$$

⑤. C_s 電容： $R_{eq} = R_s // \frac{1}{g_m} = 1K\Omega // \frac{1}{2.608mS} = 1K\Omega // 383.4\Omega = 277.1\Omega$

由(1-14)式～(1-16)式知，

$$f_{Ls} = \frac{1}{2\pi R_{eq} C_s} = \frac{1}{2\pi \times 277.1\Omega \times 2\mu F} = 287.3Hz$$

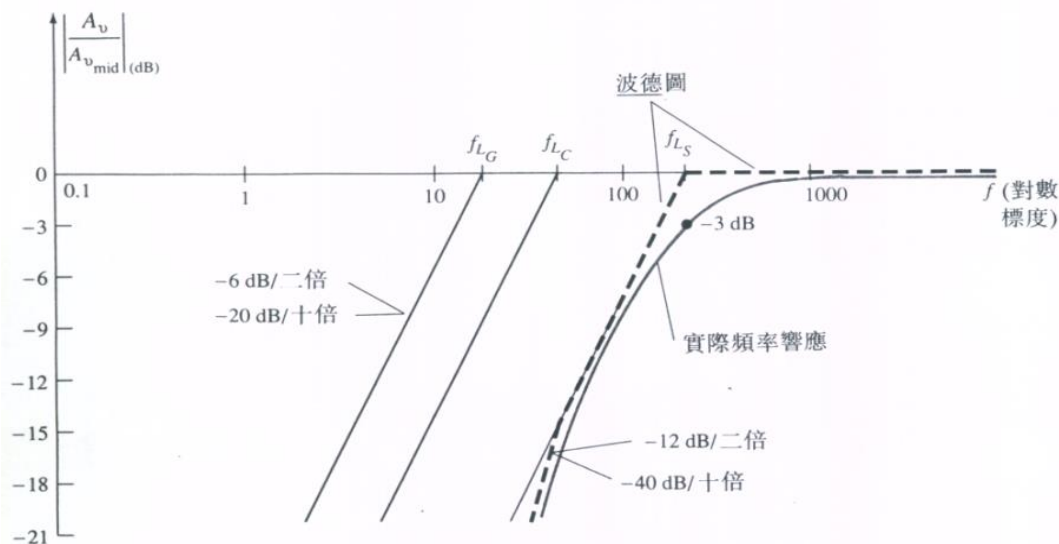
由上知， f_{Ls} 是三個截止頻率中最大的，其即為圖(1-26)中網路的低頻截止頻率。

⑥. 系統中的中頻增益可由下式求出：

$$\begin{aligned} A_{V(mid)} &= \frac{V_o}{V_i} = -g_m (R_D // R_L) = -2.608(mS) \times (4.7K\Omega // 2.2K\Omega) \\ &= -2.608(mS) \times (1.499K\Omega) \approx -3.9 \end{aligned}$$

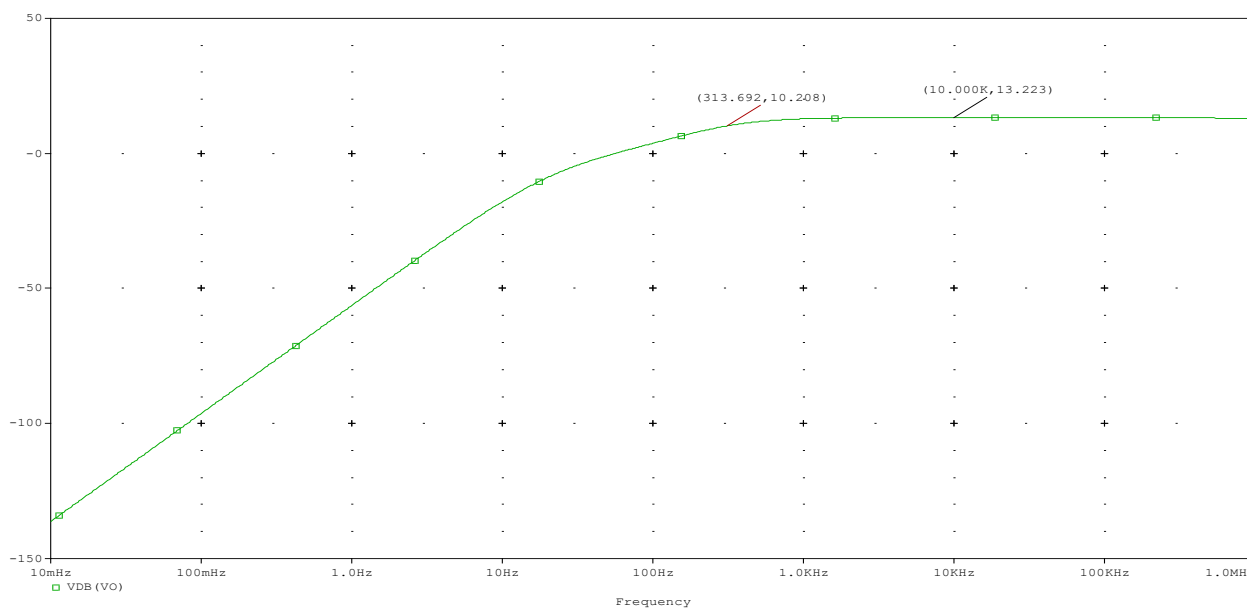
$$A_{V(mid)} = 20\log|A_{V(mid0)}| = 11.8dB$$

使用中頻增益求圖(1-28)中網路的標準化響應曲線，其結果即為圖(1-29)的頻率圖。



圖(1-28)：例題中 JFET 組態的低頻響應[2]

⑦.使用 OrCAD 模擬軟體來得知其電路頻率特性。

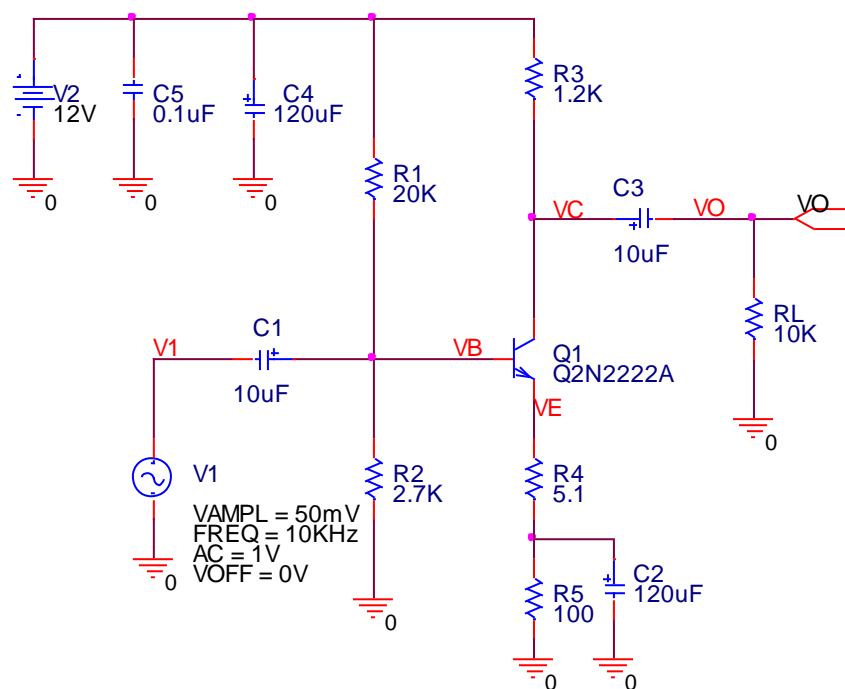


圖(1-29)：JFET 放大器電路的低頻響應

模擬結果： $-3dB$ 截止頻率為 $313.692Hz$ 與計算值有一些差異性存在，此差異性可以歸納是 JFET 參數(I_{DSS} , V_P)影響其結果，因為由元件 JFET 模擬參數所取的值就有差異性存在了。

四、實驗計算 [2]

■實習項目(一)：元件數值之測量與參數計算



圖(1-30)：實驗電路圖

- 參閱圖(1-30)實驗電路圖，先使用掌上型三用電表測量直流 β 值，依據電子學直流分析及交流分析，計算圖(1-30)中所示的共射極放大器的交流和直流參數值，並記錄於表格(1-1-1)及表格(1-1-2)內。

表格(1-1-1)：直流參數值

直流參數	計算值	直流參數	計算值
V_B		V_{CE}	
V_E		I_E	
V_C		I_C	

表格(1-1-2)：交流參數值

交流參數	計算值	交流參數	計算值
V1	20mV(Vp-p)	g_m	
r_e		A_v	略

交流參數	計算值	交流參數	計算值
r_{π}		V_{out}	

2.各偏壓計算公式列表，需將電路元件代入下列計算式，完成電路數值之運算。

BJT β 值=_____。

$$\text{a. } V_B = \frac{R2}{R1 + R2} \times V_{CC} =$$

$$\text{b. } V_E = V_B - V_{BE} = V_B - 0.7V =$$

$$\text{c. } V_E = I_E R_E = I_E \times (R4 + R5), \quad I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{V_E}{R4 + R5} =$$

$$\text{d. } V_C = V_{CC} - I_C R_C = V_{CC} - I_C R3 =$$

$$\text{e. } I_C = \frac{V_{R3}}{R3} =$$

$$\text{f. } V_{CE} = V_C - V_E =$$

$$\text{g. } g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{I_C}{25mV} =$$

$$\text{h. } r_{\pi} = \frac{V_T}{I_B} = (\beta + 1)r_e, \quad r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m} =$$

$$\text{i. } r_e = \frac{V_T}{I_E} = \frac{\alpha}{g_m} \approx \frac{1}{g_m} =$$

$$\text{j. } R_{ib} = (\beta + 1) \times (r_e + R_E) = (\beta + 1) \times (r_e + R4) =$$

$$\text{k. } A_v \approx \frac{R_C // R_L}{r_e + R_e} = \frac{R3 // R_L}{r_e + R4} =$$

$$\text{l. } V_{out} = A_v \times V_{in} =$$

3.為計算電路低頻響應，必須先求其等效電阻，可參閱前實驗電路說明。此乃關係到電路中每個電容器的交流充／放電路徑。在圖(1-30)中，在交流分析時，直流電源端為交流接地。在電容器 C1 右端的偏壓電阻(R2 及 R3)和射極

電阻的交流電阻為 $(r_e + R_4)$ ，這些電阻可簡化為單一電阻 R_{in} ，

$R_{in} = (\beta + 1)(r_e + R_4) // R_1 // R_2$ 。在電容器的左端，則有信號產生器的等效內阻為

R_s ，因此 C1 的總等效電阻 $R_{eq1} = R_{in} + R_s$ 。利用上式計算電容器 C1 的等效電

阻，並記錄於表格(1-2-1)內。

$$R_{eq1} = R_{in} + R_s, \text{ 其中 } R_{in} = (\beta + 1)(r_e + R_4) // R_1 // R_2$$

4.同前步驟 3.，也可計算出電容器 C2 和 C3 的充放電路徑。對電容器 C2 而言，其等效電阻 R_{eq2} 為 R4 和由 r_e 和基極的反射電阻結合並聯。至於電容器 C3 的等效電阻 R_{eq3} ，則是集極電阻和負載電阻的串聯。分別計算由電容器 C2 和 C3 所看到的等效電阻，並記錄於表格(1-2-1)內。

$$R_{eq2} = (R_{in(emitter)} + R_{E1}) // R_{E2} = (R_{in(emitter)} + R_4) // R_5$$

$$\text{其中 } R_{in(emitter)} = \frac{r_e + (R_1 // R_2 // R_s)}{\beta + 1}, R_{eq3} = R_C + R_L = R_3 + R_L$$

5.利用公式 $(f_n = \frac{1}{2\pi R_{eqn} C_n}, n=1,2,3)$ 計算每個電容器的臨界頻率及低頻放大器電

路的整體臨界頻率，並記錄於表格(1-2-2)內。

表(1-2-1)：等效電阻計算值

電容器	等效電阻計算值
C1=10uF	$R_{eq1} =$
C2=120uF	$R_{eq2} =$
C3=10uF	$R_{eq3} =$

表(1-2-2)：臨界頻率計算值

電容器	臨界頻率計算值
C1=10uF	$f_1 =$
C2=120uF	$f_2 =$
C3=10uF	$f_3 =$
整體放大器的臨界頻率	$f_{-3dB} =$

■說明：

a.若存在一個極點頻率比其他極點、零點大 4 倍以上，則該極點稱為主極點，即可近似為低三分貝頻率。

b.若採用短路時間常數法計算 w_L ：

$$w_L \approx w_{C1} + w_{C2} + w_{C3} = \frac{1}{R_{eq1}C1} + \frac{1}{R_{eq2}C2} + \frac{1}{R_{eq3}C3}$$

$$f_{-3dB} = \frac{w_L}{2\pi}$$

6.等效電阻計算值與臨界頻率計算值：

a.電容器 C1：

$$R_{in} = (\beta + 1)(r_e + R_4) // R1 // R2 =$$

$$R_{eq1} = R_{in} + R_s =$$

$$f_1 = \frac{1}{2\pi R_{eq1}C1} =$$

b.電容器 C2：

$$R_{in(emitter)} = \frac{r_\pi + (R1 // R2 // R_s)}{\beta + 1} =$$

$$R_{eq2} = (R_{in(emitter)} + R_{E1}) // R_{E2} = (R_{in(emitter)} + R_4) // R5 =$$

$$f_2 = \frac{1}{2\pi R_{eq2}C2} =$$

c.電容器 C3：

$$R_{eq3} = R_C + R_L = R3 + R_L =$$

$$f_3 = \frac{1}{2\pi R_{eq3}C3} =$$

d.整體放大器的臨界頻率：

$$w_L \approx w_{C1} + w_{C2} + w_{C3} = \frac{1}{R_{eq1}C1} + \frac{1}{R_{eq2}C2} + \frac{1}{R_{eq3}C3} = \quad , \quad f_{-3dB} = \frac{w_L}{2\pi} \text{。}$$

五、實驗電路模擬

■實習項目(二)：實驗電路模擬

參閱前例題說明 1.內容，完成下列模擬項目。

- 1.附上實驗電路圖。
- 2.附上實驗模擬圖—偏壓值，參閱圖(1-16)：實驗模擬電路圖(偏壓)。
- 3.附上實驗模擬結果：
 - ①.C1 電容所造成的低頻響應，設定 $C1=10\mu\text{F}$ 、 $C2=C3=1000\mu\text{F}$ 。
 - ②.C2 電容所造成的低頻響應，設定 $C2=120\mu\text{F}$ 、 $C1=C3=1000\mu\text{F}$ 。
 - ③.C3 電容所造成的低頻響應，設定 $C3=10\mu\text{F}$ 、 $C1=C2=1000\mu\text{F}$ 。
 - ④. BJT 放大器電路整體電容的低頻響應，設定 $C1=C3=10\mu\text{F}$ 、 $C2=120\mu\text{F}$ 。
- 4.將計算值與模擬值填入表格(1-3)內，並說明其相異性。

表(1-3)：臨界頻率計算值與模擬值

電容器	臨界頻率計算值(前)	臨界頻率模擬值
$C1=10\mu\text{F}$	$f_1 =$	$f_1 =$
$C2=120\mu\text{F}$	$f_2 =$	$f_2 =$
$C3=10\mu\text{F}$	$f_3 =$	$f_3 =$
整體放大器的臨界頻率	$f_{-3dB} =$	$f_{-3dB} =$

◎說明其相異性：

六、實驗步驟[2]

■實習項目(三)：實驗電路實作

※實驗注意事項：使用萬用電錶測量電壓及電阻時，請設定為 4 位半顯示測量值。

1. 參閱圖(1-30)實驗電路圖。以萬用電表的 Ω 檔測量電阻值並記錄於表格(1-4)內，這些電阻測量值將使用於後續的計算式。依圖(1-30)所示的共射極放大電路接線，並依表格(1-5)內容測量電路的直流與交流參數，完成表格內容。分別比較實驗預報之計算值與實作測量值，如差距過大，則須檢查計算過程或測量程序是否有誤。使用 RLC Meter 測量、記錄實際電容值，如表格(1-6)所示。

表(1-4)：電阻測量值

電阻	R1	R2	R3	R4	R5	RL
標示值	20K Ω	2.7K Ω	1.2K Ω	5.1 Ω	100 Ω	10K Ω
測量值						

表(1-5)：實驗電路直流偏壓測量

直流參數	測量值	直流參數	測量值	直流參數	測量、計算值
V_B		V_{CE}		I_C	$\frac{V_{R3}}{R3} =$
V_E		V_{R3}		I_E	$\frac{V_{R5}}{R5} =$
V_C		V_{R5}			

2. **中頻增益測量**：訊號產生器設定 10KHz 頻率，振幅為 25mV 的弦波作為電路的輸入信號 V1。使用示波器觀察波形，探棒輸入通道設定為直流耦合方式，[CH1,CH2]=節點[V1,VO]，此時輸出應不會有失真，若有失真應該調小訊號產生器的振幅旋鈕，然後擷取波形，示波器需測量放大器的測試頻率

值、輸入振幅及輸出振幅。

3. **臨界頻率的測量**：測量由電容器 C1 造成的臨界頻率。為減低電容 C2 及 C3 對 C1 的影響，採用 1000uF 大電容分別與 C2 及 C3 並接方式來排除對電路的影響。
4. 調整訊號產生器頻率：微調降低頻率旋鈕(頻率調小於 1KHz)，在微調頻率時示波器測得[CH1]=50mV(峰-峰值)，其振幅如有變動，需微調訊號產生器的振幅旋鈕。當頻率調整到臨界頻率時，節點[VO1]輸出電壓峰-峰值(V_{p-p}) = 原波形振幅的 0.707 倍，示波器需測量出頻率值、電壓峰-峰值(V_{p-p})值及記錄相位差，並擷取此波形，記錄於表格(1-6)內。
5. 測量由電容器 C2 造成的臨界頻率。依上述步驟 3.~步驟 4.實驗內容，此時 C1 及 C3 並接 1000uF 電容，完成臨界頻率的測量，記錄數據及擷取波形，將結果記錄於表格(1-6)內。
6. 測量由電容器 C3 造成的臨界頻率。依上述步驟 3.~步驟 4.實驗內容，此時 C1 及 C2 並接 1000uF 電容，完成臨界頻率的測量，記錄數據及擷取波形，將結果記錄於表格(1-6)內。
7. 測量整體放大器的臨界頻率。移除所有的大電容器 1000uF，裝上原有電容值，並依實驗步驟 4.的方式來測量整體放大器的臨界頻率，並記錄數據及擷取波形，將結果記錄於表格(1-6)內。

表(1-6)：臨界頻率測量值

實測電容器	臨界頻率測量值
C1=	$f_1 =$
C2=	$f_2 =$
C3=	$f_3 =$
整體放大器的臨界頻率	$f_{-3dB} =$

8. 擷取波形

a. 中頻增益：測試 frequency=10KHz。示波器設定：DC coupling。

①. 擷取節點[V1，VO]波形：

②. 記錄：相位差＝_____。

b. C1 電容： $f_{-3dB(C1)}$ 截止點頻率。

①. 擷取節點[V1，VO]波形：

②. 記錄頻率值： $f_{-3dB(C1)} =$ _____。

③. 記錄：相位差＝_____。

c. C2 電容： $f_{-3dB(C2)}$ 截止點頻率。

①. 擷取節點[V1，VO]波形：

②. 記錄頻率值： $f_{-3dB(C2)} =$ _____。

③. 記錄：相位差＝_____。

d. C3 電容： $f_{-3dB(C3)}$ 截止點頻率。

①. 擷取節點[V1，VO]波形：

②. 記錄頻率值： $f_{-3dB(C3)} =$ _____。

③. 記錄：相位差＝_____。

e. f_{-3dB} 截止點頻率(整體放大器的臨界頻率)。

①. 擷取節點[V1，VO]波形

②. 記錄頻率值： $f_{-3dB} =$ _____。

③. 記錄：相位差＝_____。

七、實驗問題與討論

1. 請問 C2 在實驗電路上的用途是什麼?選擇不同的 C2 電容值大小，對電路會造成何種影響?
2. 假若有同學接線沒接好，讓 C2 形成開路狀態，請問在您測試中，經由示波器的使用，您會發現有那些問題存在?請依電子學理論或計算來說明為何 C2 沒接好會有此問題發生?
3. 請問如要將原-3dB 截止頻率降低為原值的四分之一，您該如何修改電路?

八、實驗結論與實驗心得

九、實驗綜合評論

- 1.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。
- 2.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、實驗參考資料

- [1].陳瓊興，電子學實驗(下)修訂版，實驗(一)放大器之低頻響應。
- [2].張忠誠,張順雄,李榮乾編譯,電子元件與電路理論(下冊),東華書局出版,第三版,P.667~P.706,1999.
- [3]. Sedra & Smith, Microelectronic Circuits, Copyright by Oxford University Press, Sixth Edition ,P.265~P.311, P.659~P.670, 2010.