



Chương 5: Đáp ứng tần số



NỘI DUNG

- Đáp ứng tần số tổng quát
- Đáp ứng tần số thấp
- Đáp ứng tần số cao



5.1 Đáp ứng tần số tổng quát

- Đáp ứng biên độ và pha
- Đáp ứng tần số tổng quát của mạch khuếch đại RC
- Phương pháp vẽ tiệm cận
- Thang logarith
- Trở kháng tương đương RC
 - Song song
 - Nối tiếp



Đáp ứng biên độ và pha

$$|A| = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$\checkmark A = a + bj = |A| \angle A$$

$$\angle A = \arctg\left(\frac{b}{a}\right)$$

✓ $Z_c = 1/j\omega C = 1/2\pi fC$ là một hàm theo f

■ $f = 0$: $Z_c = \infty$: Chế độ DC

■ $f \neq 0$: Chế độ AC

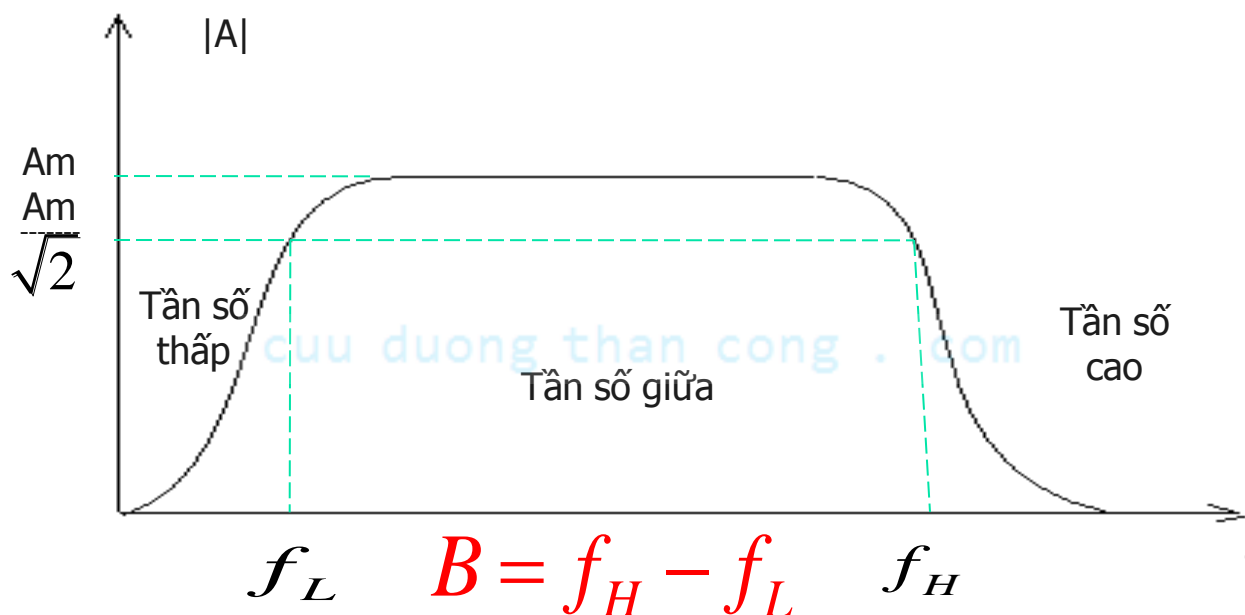
✓ Nguyên nhân của việc đáp ứng tần số là do:

■ Bên ngoài: tụ ghép và tụ bypass (vùng tần số thấp)

■ Bên trong: điện dung ký sinh (vùng tần số cao)



Đáp ứng tần số của mạch khuếch đại RC



- Ở dải tần số thấp: các tụ gắn bên ngoài.
- Ở dải tần số giữa: không xét ảnh hưởng của tụ.
- Ở dải tần số cao: các điện dung ký sinh bên trong của linh kiện.



Phương pháp vẽ tiệm cận

1) Tìm độ lợi $|A_i|$, chuyển sang $|A_i|_{dB}$

2) Vẽ từng thừa số, sau đó cộng các đồ thị riêng lẻ lại với nhau

$$\text{VD: } A(\omega) = A_m \frac{j\omega + \omega_z}{j\omega + \omega_p}$$

Chuyển sang dB:

$$|A(\omega)|_{dB} = 20\lg A_m + 20\lg \sqrt{\omega^2 + \omega_z^2} - 20\lg \sqrt{\omega^2 + \omega_p^2}$$

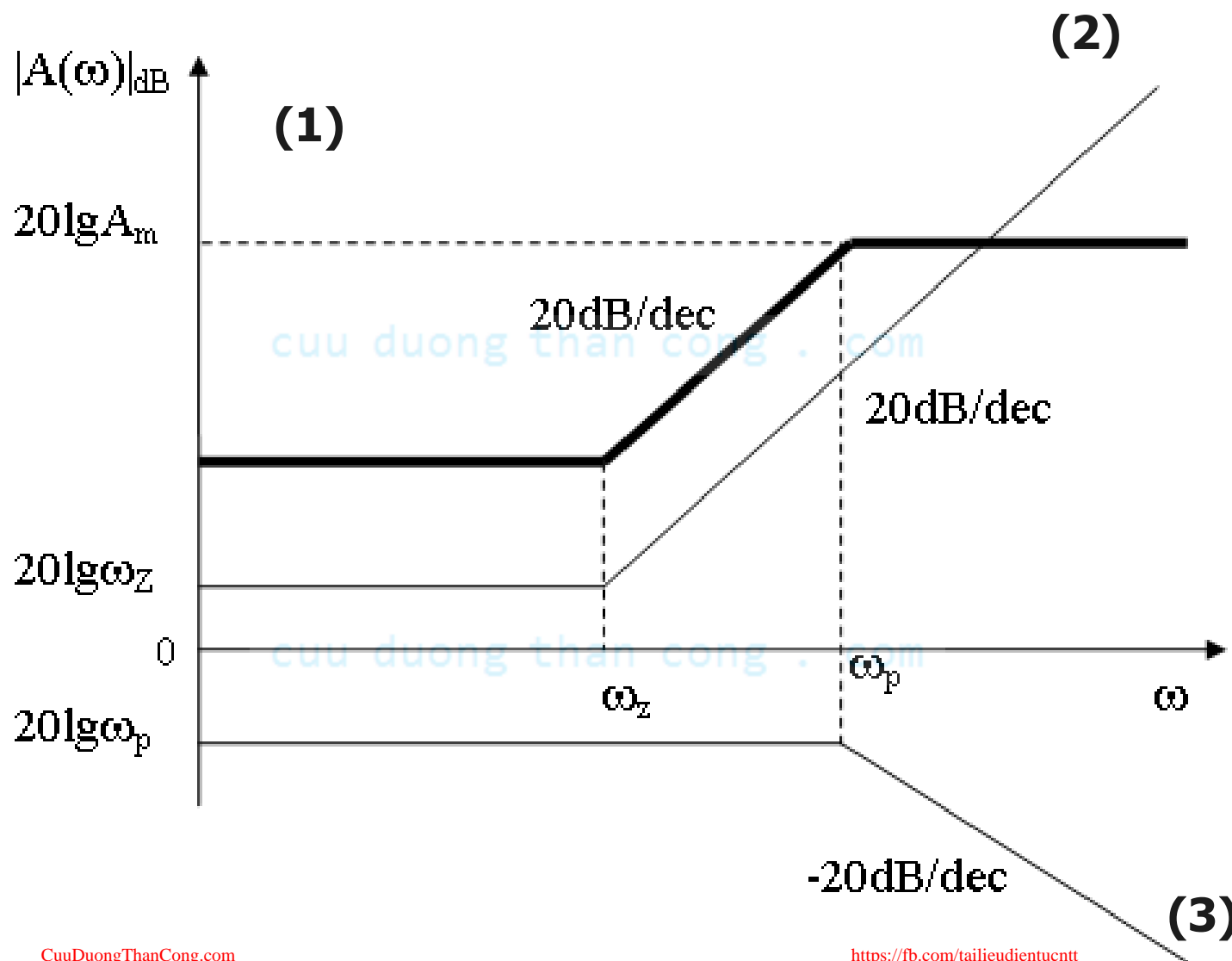
(1)
Hằng số

(2)
 $\omega \gg \omega_z$: 20dB/dec
 $\omega \ll \omega_z$: $20\lg \omega_z$

(3)
 $\omega \gg \omega_p$: 20dB/dec
 $\omega \ll \omega_p$: $20\lg \omega_p$

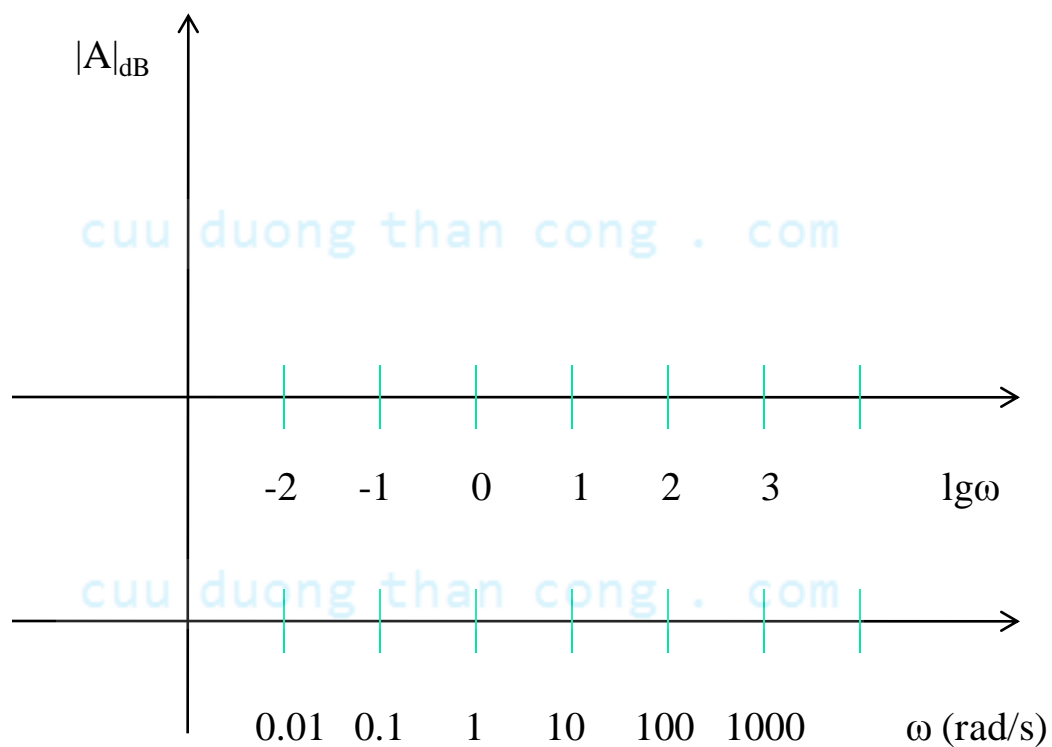


Phương pháp vẽ tiệm cận (tt)



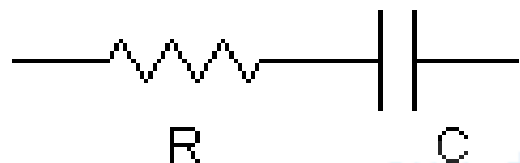


Thang logarith



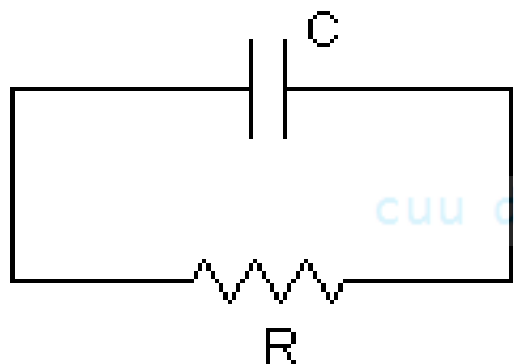


Trở kháng tương đương



$$Z_{td} = R + \frac{1}{j\omega C} = \frac{1 + j\omega RC}{j\omega C}$$

cuu duong than cong . com



$$Z_{td} = \frac{R \cdot \frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{R}{1 + j\omega RC}$$

cuu duong than cong . com

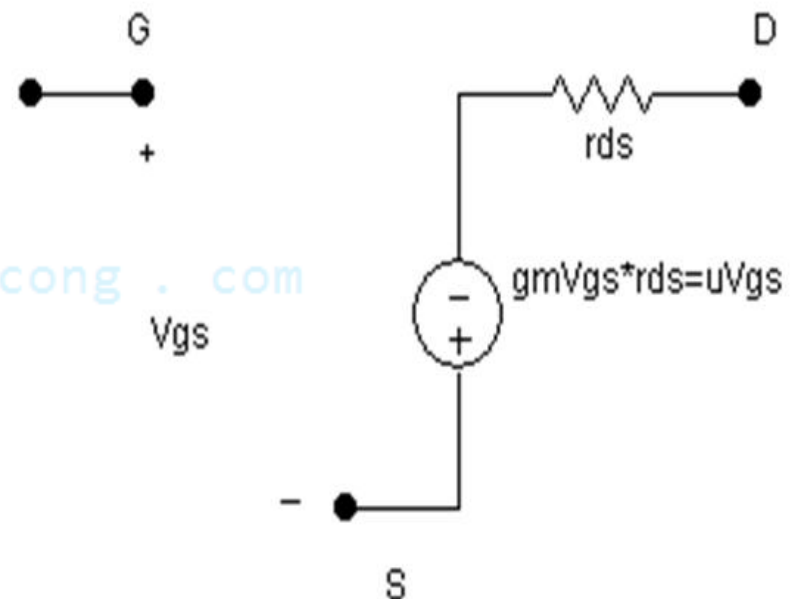
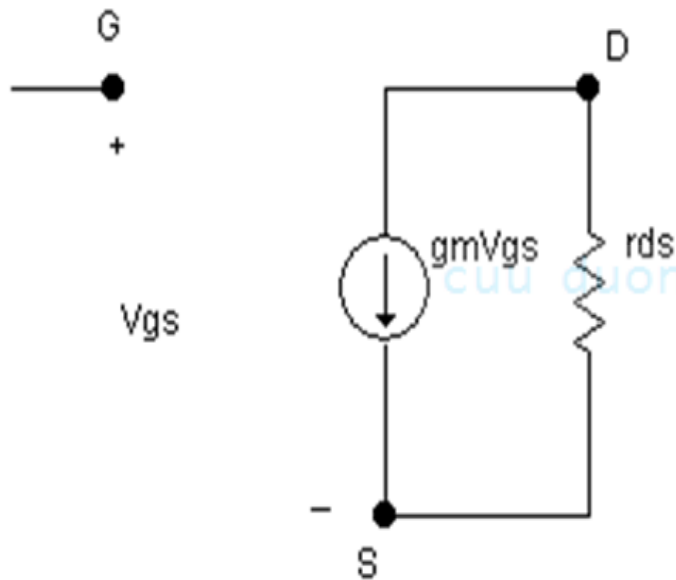
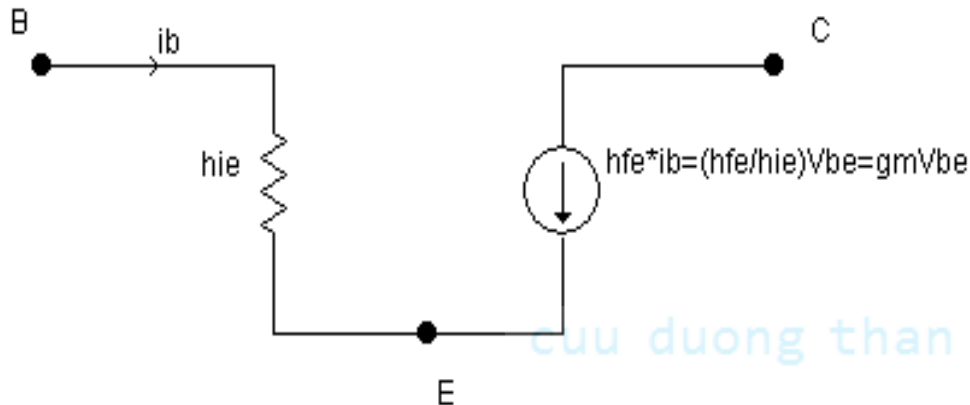


5.2 Đáp ứng tần số thấp

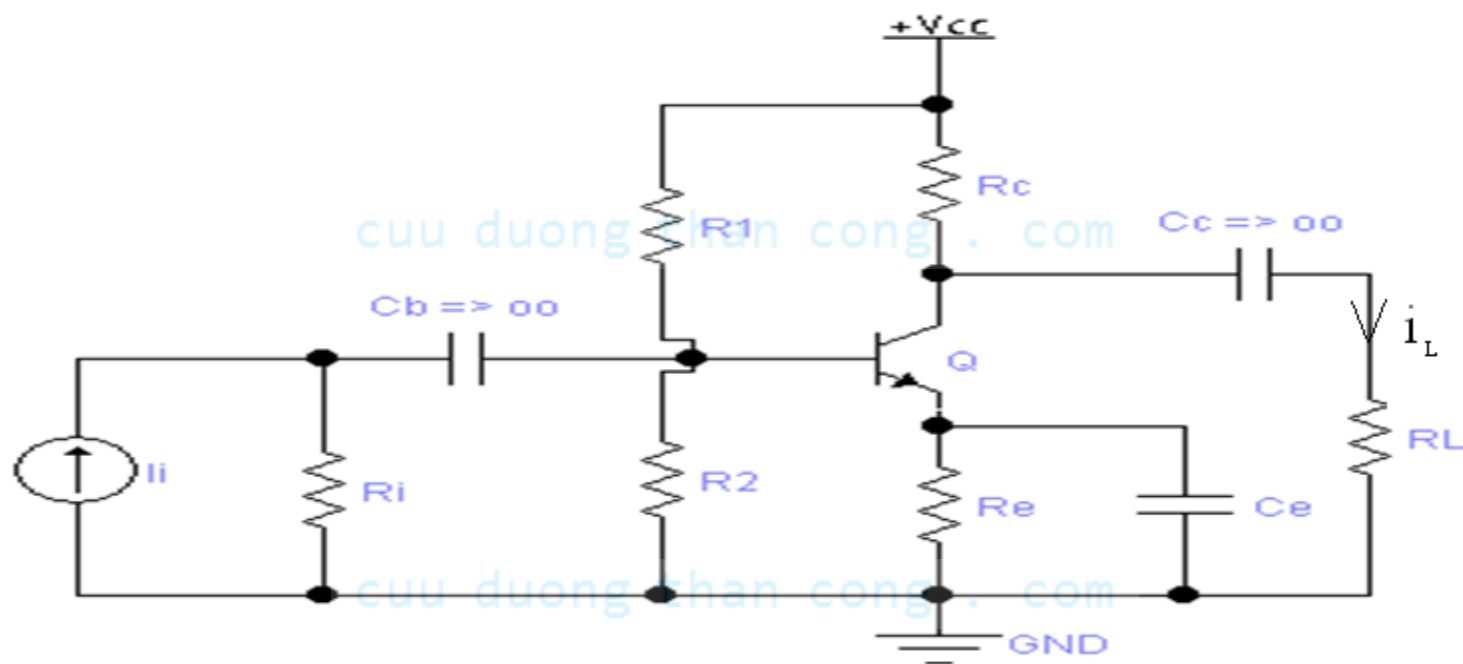
- Mô hình tương đương của BJT và FET
- Ảnh hưởng của tụ thoát
- Ảnh hưởng của tụ ghép
- Ảnh hưởng của tụ thoát và tụ ghép
 - Tụ ghép ngõ vào
 - Tụ ghép ngõ ra
 - Tụ ghép ngõ vào và ngõ ra



Mô hình tương đương của BJT và FET

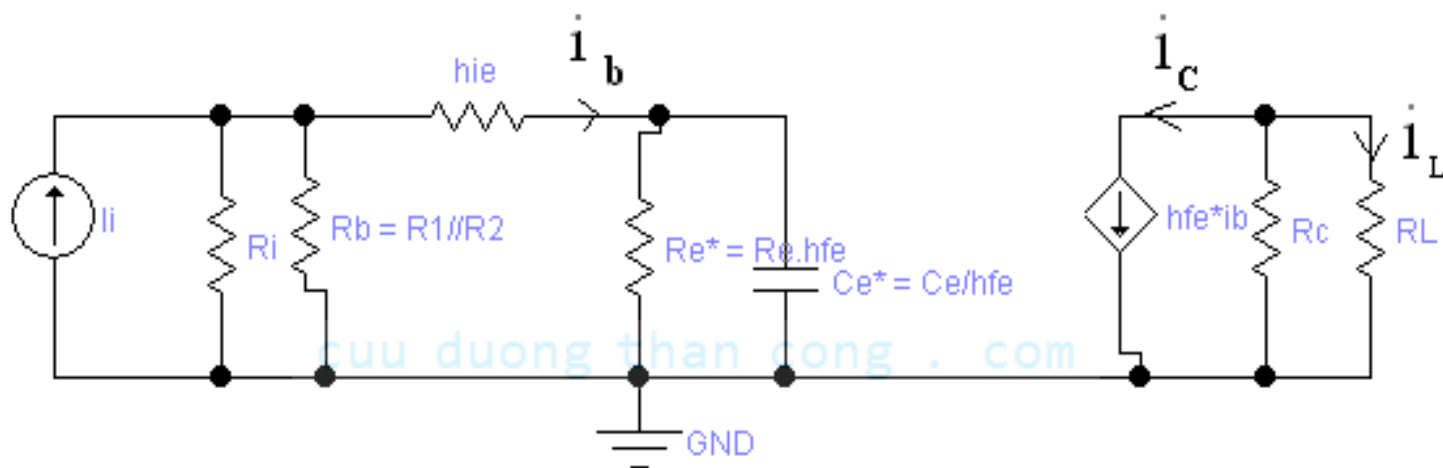


Ảnh hưởng của tụ thoát





Ảnh hưởng của tụ thoát (tt)



$$\bullet A_i(s) = \frac{i_L}{i_i} = \frac{i_L}{i_b} \cdot \frac{i_b}{i_i} = -h_{fe} \frac{R_C}{R_C + R_L} \cdot \frac{R_b // R_i}{R_b // R_i + h_{ie} + R_e^* // C_e^*}$$

$$\Leftrightarrow A_i(s) = -h_{fe} \frac{R_C}{R_C + R_L} \cdot \frac{R_b // R_i}{R_b // R_i + h_{ie}} \cdot \frac{s + \frac{1}{R_e \cdot C_e}}{s + \frac{1}{C_e^* \cdot (R_e^* // (R_b // R_i + h_{ie}))}}$$



Ảnh hưởng của tụ thoát (tt)

$$A_i(s) = A_{im} \cdot \frac{s + \omega_{z1}}{s + \omega_{p1}} \quad (s = j\omega)$$

cuu duong than cong . com

- $A_{im} = A_i(j\omega) / \omega \Rightarrow +\infty = -h_{fe} \frac{R_C}{R_C + R_L} \cdot \frac{R_b // R_i}{R_b // R_i + h_{ie}}$
- $\omega_{z1} = \frac{1}{R_e \cdot C_e}$ zero của hàm truyền đạt
- $\omega_{p1} = \frac{1}{C_e^* \cdot (R_e^* // (R_b // R_i + h_{ie}))}$ cực của hàm truyền đạt



Ảnh hưởng của tụ thoát (tt)

Giản đồ bode của hàm truyền: $\omega_{z1} < \omega_{p1}$

■ Ta có biểu thức:

$$|A_i(\omega)|_{dB} = 20\log(|A_i(j\omega)|) = 20\log(|A_{im}| \cdot \frac{\sqrt{\omega^2 + \omega_{z1}^2}}{\sqrt{\omega^2 + \omega_{p1}^2}})$$

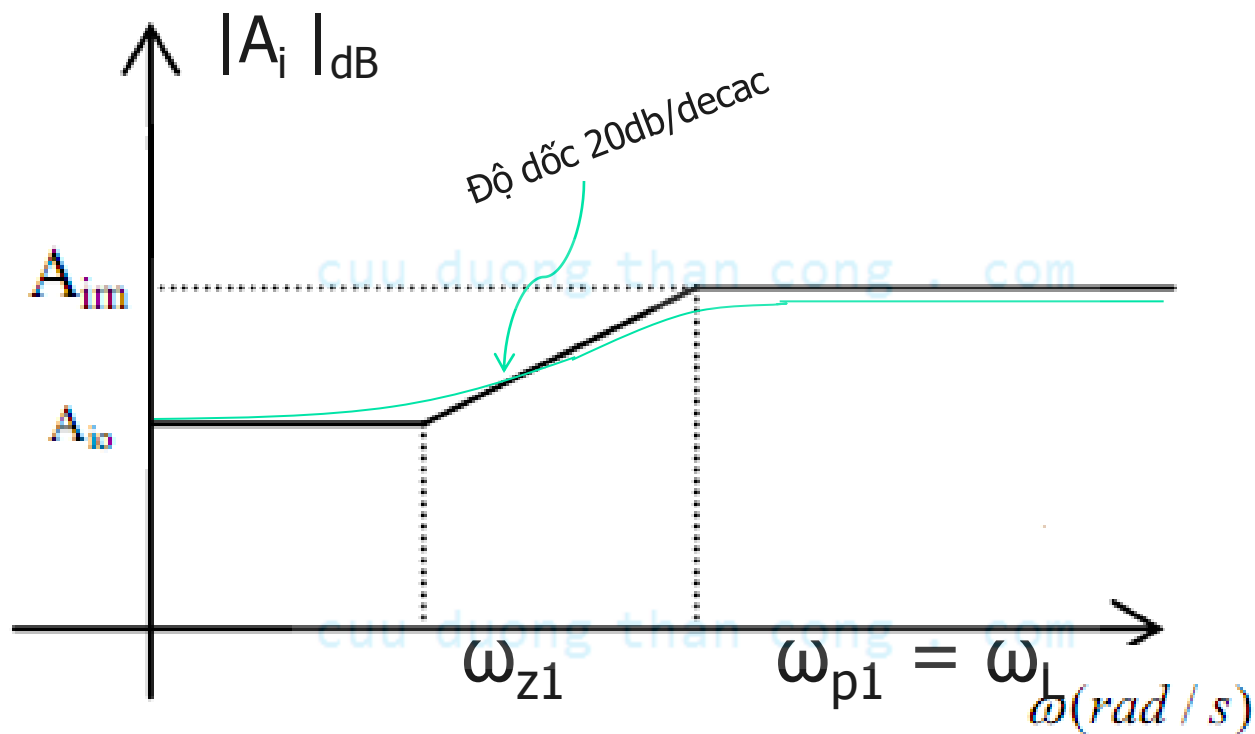
$$\Leftrightarrow |A_i(\omega)|_{dB} = 20\log |A_{im}| + 20\log \sqrt{\omega^2 + \omega_{z1}^2} - 20\log \sqrt{\omega^2 + \omega_{p1}^2}$$

• $\omega \ll \omega_{z1} \Rightarrow |A_i(\omega)|_{dB} = A_{io} = 20\log(|A_{im}| \frac{\omega_{z1}}{\omega_{p1}})$ Độ dốc 0dB/decac

• $\omega_{z1} \ll \omega \ll \omega_{p1} \Rightarrow |A_i(\omega)|_{dB} = 20\log(|A_{im}| \cdot \frac{1}{\omega_{p1}}) + 20\log \omega$
Độ dốc 20dB/decac

• $\omega_{p1} \ll \omega \Rightarrow |A_i(\omega)|_{dB} = 20\log(|A_{im}|)$
Độ dốc 0dB/decac

Ảnh hưởng của tụ thoát (tt)



Trong đó: $A_{io} = A_{im} * \frac{\omega_{z1}}{\omega_{p1}}$



Ảnh hưởng của tụ thoát (tt)

Tìm tần số cắt thấp $\omega_L = 2\pi f_L$:

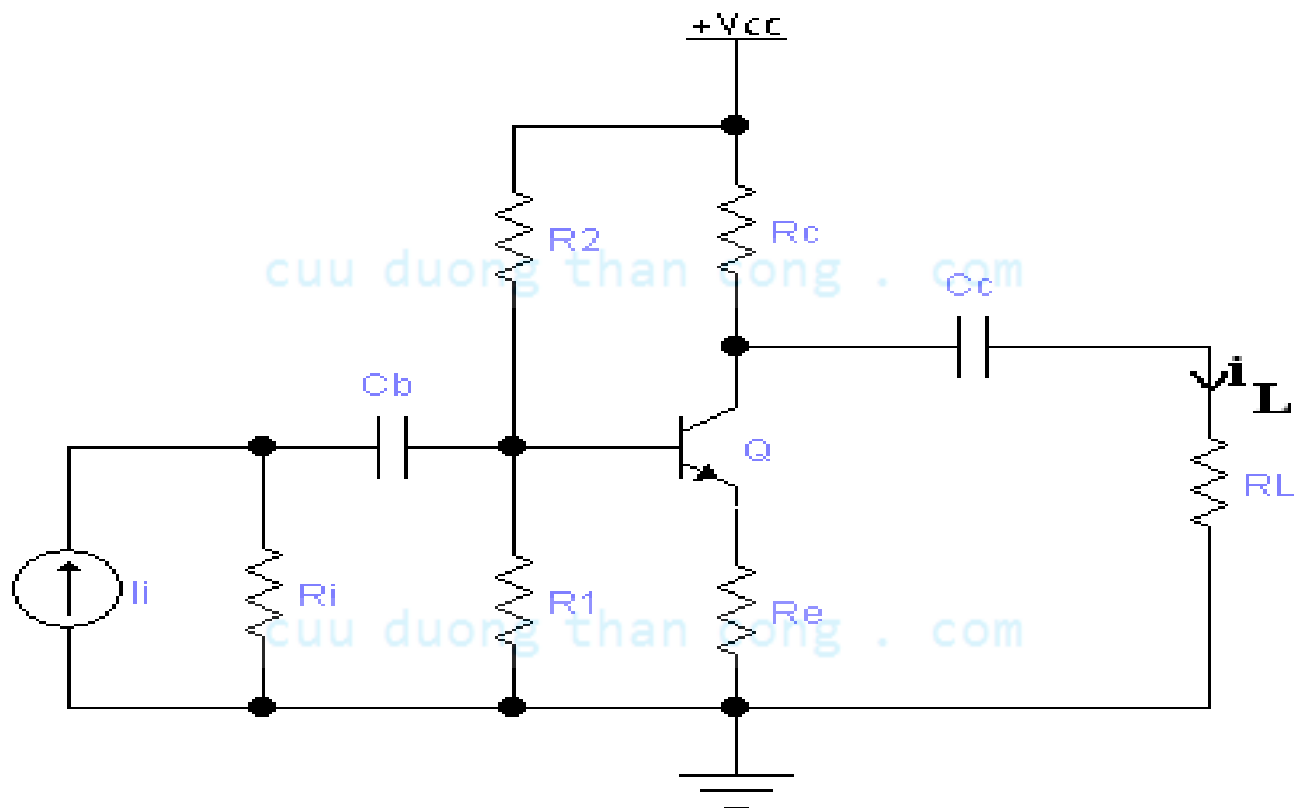
$$|A_i(\omega_L)| = \frac{|A_{im}|}{\sqrt{2}} \Leftrightarrow |A_{im}| \frac{\sqrt{\omega_L^2 + \omega_{z1}^2}}{\sqrt{\omega_L^2 + \omega_{p1}^2}} = \frac{|A_{im}|}{\sqrt{2}}$$

$$\Rightarrow 2(\omega_L^2 + \omega_{z1}^2) = \omega_L^2 + \omega_{p1}^2$$

$$\Leftrightarrow \omega_L^2 = \omega_{p1}^2 - 2\omega_{z1}^2$$

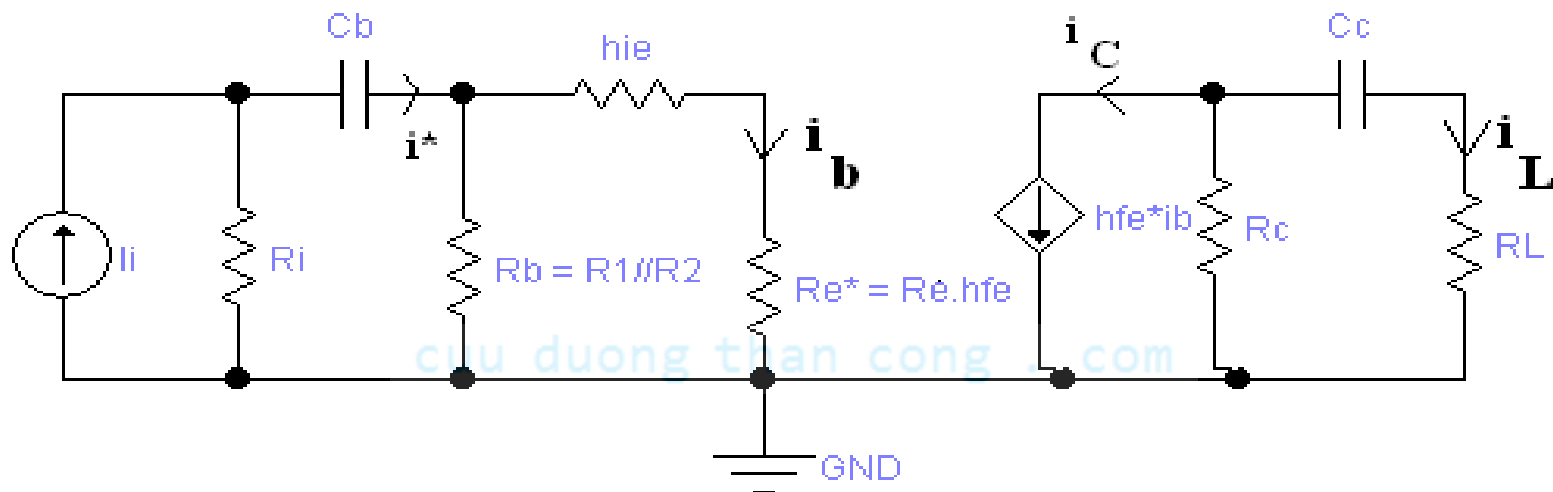
- Nhận xét : điều kiện để có $\omega_L > 0$: $\omega_{p1}^2 \geq 2\omega_{z1}^2$
- Thực tế: $\omega_{p1}^2 \gg 2\omega_{z1}^2$ nên $\Leftrightarrow \boxed{\omega_L \approx \omega_{p1}}$

Ảnh hưởng của tụ ghép





Ảnh hưởng của tụ ghép (tt)



$$\bullet A_i(s) = \frac{i_L}{i_i} = \frac{i_L}{i_b} \cdot \frac{i_b}{i^*} \cdot \frac{i^*}{i_i} = -h_{fe} \frac{R_C}{R_C + R_L + Z_{C_c}} \cdot \frac{R_b}{R_b + h_{ie} + R_e^*} \cdot \frac{R_i}{R_i + Z_{C_b} + R''}$$

$$\Leftrightarrow A_i(s) = -h_{fe} \frac{R_C}{R_C + R_L} \cdot \frac{s}{s + \frac{1}{C_c \cdot (R_C + R_L)}} \cdot \frac{R_b}{R_b + h_{ie} + R_e^*} \cdot \frac{R_i}{R_i + R''} \cdot \frac{s}{s + \frac{1}{C_b \cdot (R_i + R'')}} \cdot \frac{1}{1}$$



Ảnh hưởng của tụ ghép (tt)

$$A_i(s) = A_{im} \cdot \frac{s}{s + \omega_{p1}} \cdot \frac{s}{s + \omega_{p2}} \quad (s = j\omega)$$

cuu duong than cong . com

$$\bullet A_{im} = A_i(j\omega) / \omega \Rightarrow +\infty = -h_{fe} \frac{R_C}{R_C + R_L} \cdot \frac{R_b}{R_b + h_{ie} + R_e^*} \cdot \frac{R_i}{R_i + R''}$$

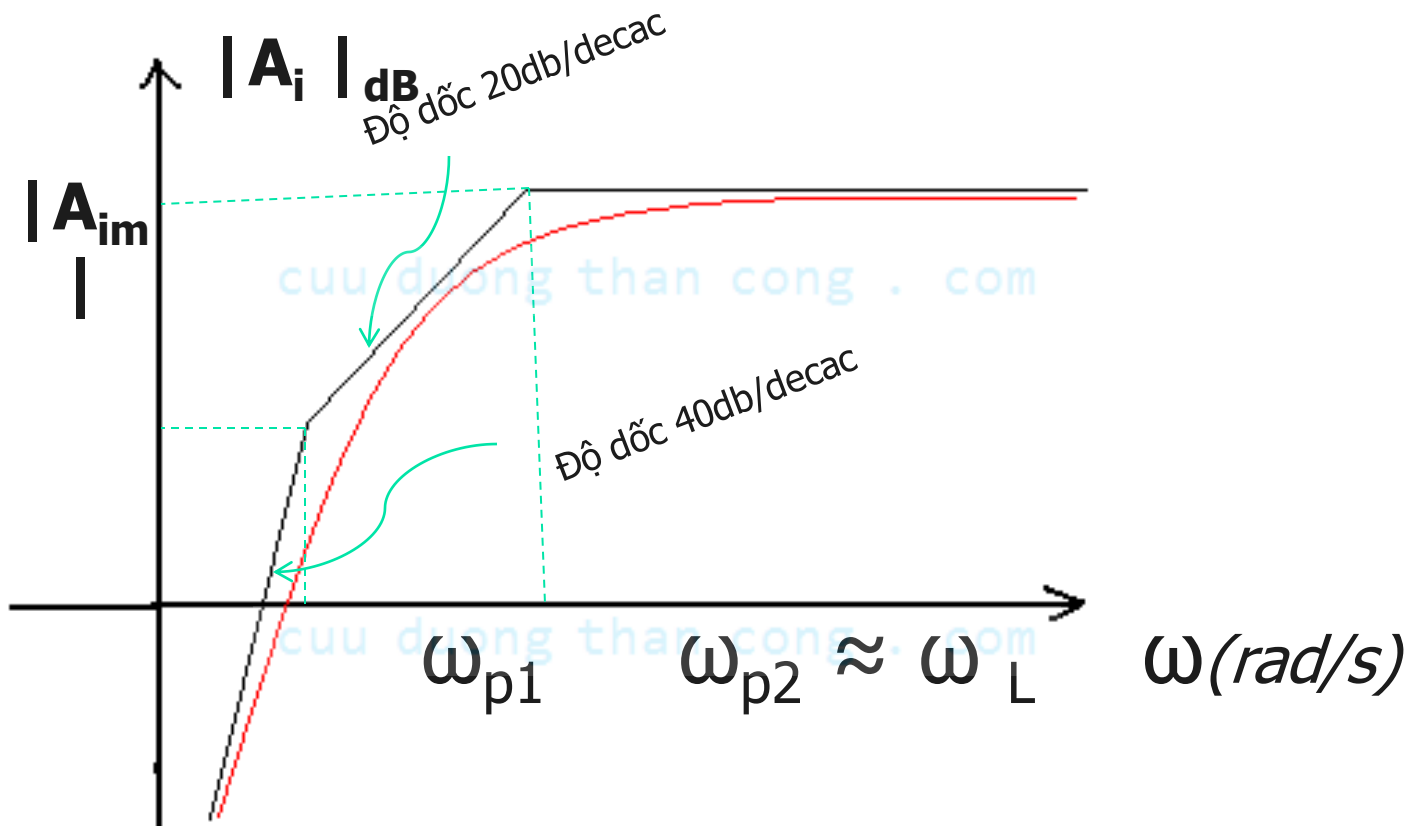
$$\bullet \omega_{p1} = \frac{1}{C_c \cdot (R_C + R_L)}$$

$$\bullet \omega_{p2} = \frac{1}{C_b \cdot (R_i + R'')} \quad \text{là các cực của hàm truyền đạt}$$



Ảnh hưởng của tụ ghép (tt)

Giả sử ta có $\omega_{p1} < \omega_{p2}$





Ảnh hưởng của tụ ghép (tt)

Tìm tần số cắt thấp $\omega_L = 2\pi f_L$:

$$|A_i(\omega_L)| = \frac{|A_{im}|}{\sqrt{2}} \Leftrightarrow |A_{im}| \frac{\omega_L^2}{\sqrt{\omega_L^2 + \omega_{p1}^2} \cdot \sqrt{\omega_L^2 + \omega_{p2}^2}} = \frac{|A_{im}|}{\sqrt{2}}$$

$$\Rightarrow 2\omega_L^4 = (\omega_L^2 + \omega_{p1}^2) \cdot (\omega_L^2 + \omega_{p2}^2)$$

$$\Leftrightarrow \omega_L^4 - (\omega_{p1}^2 + \omega_{p2}^2) \cdot \omega_L^2 - \omega_{p1}^2 \cdot \omega_{p2}^2 = 0$$

Giả sử $\omega_{p1} \ll \omega_{p2} \Rightarrow$ nếu gần đúng: $\omega_{p1}^2 \cdot \omega_{p2}^2 \approx 0$

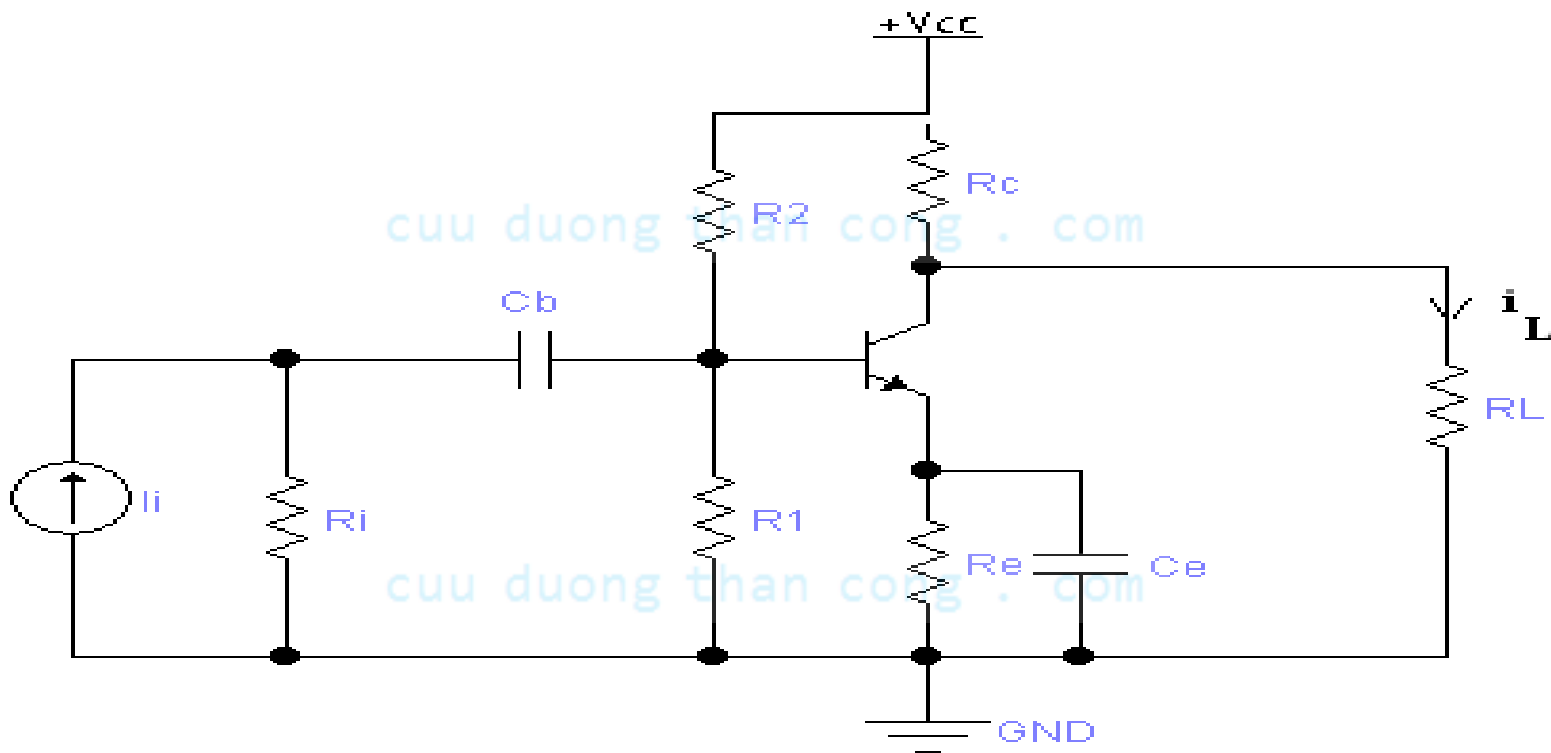
$$\Leftrightarrow \omega_L^4 - \omega_{p2}^2 \cdot \omega_L^2 \approx 0$$

\Leftrightarrow

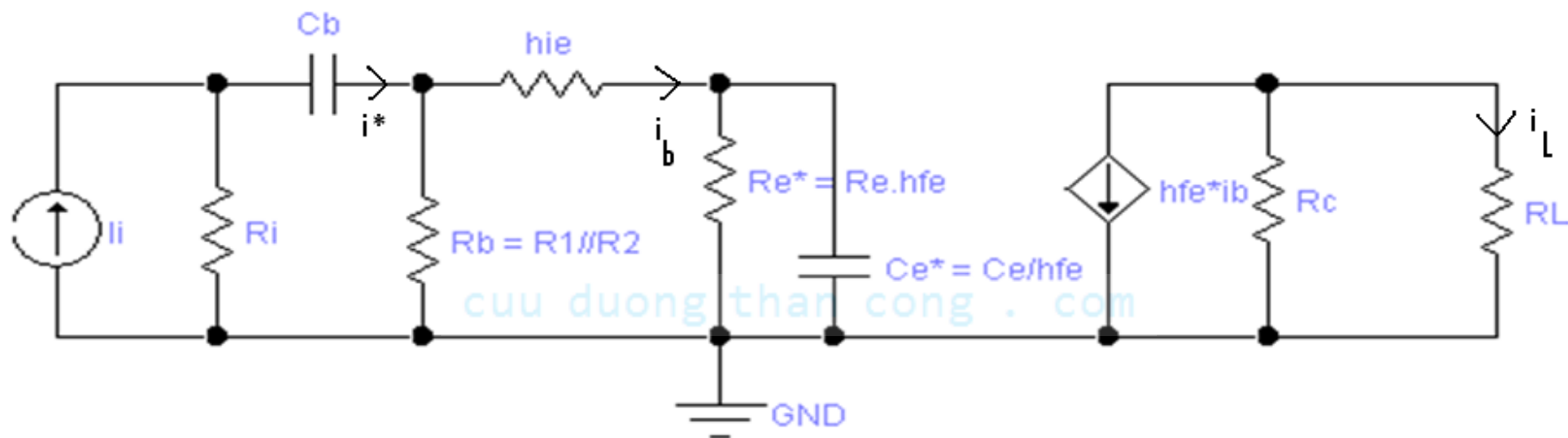
$$\boxed{\omega_L \approx \omega_{p2}}$$



Ảnh hưởng của tụ thoát và tụ ghép ngõ vào



Ảnh hưởng của tụ thoát và tụ ghép ngõ vào (tt)



Đặt : $Z_{td} = R_b // (h_{ie} + R_e^* // C_e^*)$

$$A_i(s) = \frac{i_L}{i_i} = \frac{i_L}{i_b} \cdot \frac{i_b}{i^*} \cdot \frac{i^*}{i_i}$$



Ảnh hưởng của tụ thoát và tụ ghép ngõ vào (tt)

$$\begin{aligned}
 & \bullet \frac{i_L}{i_b} = -hfe \cdot \frac{R_c}{R_c + R_L} \\
 & \bullet \frac{i_b}{i^*} = \frac{R_b}{R_b + hie + \frac{R_e^*}{1 + R_e^* C_e^* s}} = \frac{R_b}{R_b + hie} \cdot \frac{s + \frac{1}{R_e^* C_e^*}}{s + \frac{1}{C_e^* (R_e^* // (hie + R_b))}} = \frac{R_b}{R_b + hie} \cdot \frac{s + \omega_{z1}}{s + \omega_{p1}} \\
 & \bullet \frac{i^*}{i_i} = \frac{R_i}{R_i + \frac{1}{C_b s} + Z_{td}} = \frac{R_i}{R_i + \frac{1}{C_b s} + \frac{R_b (hie + \frac{R_e^*}{1 + R_e^* C_e^* s})}{R_b + hie + \frac{R_e^*}{1 + R_e^* C_e^* s}}} \\
 & = \frac{R_i [s C_b [R_e^* + (R_b + hie)(1 + s C_e^* R_e^*)]]}{R_i [s C_b [R_e^* + (R_b + hie)(1 + s C_e^* R_e^*)]] + R_e^* + (R_b + hie)(1 + s C_e^* R_e^*) + R_b C_b s [R_e^* + hie(1 + s C_e^* R_e^*)]}
 \end{aligned}$$



Ảnh hưởng của tụ thoát và tụ ghép ngõ vào (tt)

$$\bullet \frac{i^*}{i_i} = \frac{R_b C_b (R_b + hie) s (s + \frac{1}{C_e^* (R_e^* // (R_b + hie))})}{as^2 + bs + c}$$

$$\bullet a = C_b C_e^* R_e^* [R_i (R_b + hie) + R_b hie]$$

$$\bullet b = C_b [R_b (R_e^* + hie) + R_i (R_b + hie + R_e^*)] + C_e^* R_e^* (R_b + hie)$$

$$\bullet c = R_b + hie + R_e^*$$

$$\bullet \frac{i^*}{i_i} = \frac{R_b C_b (R_b + hie)}{a} \cdot \frac{s(s + \omega_{z2})}{s^2 + \frac{b}{a}s + \frac{c}{a}}$$

Nhận xét : $\omega_{p1} = \omega_{z2}$

$$\Rightarrow \frac{i^*}{i_i} = \frac{R_i (R_b + hie)}{R_i (R_b + hie) + R_b hie} \cdot \frac{s(s + \omega_{z2})}{s^2 + \frac{b}{a}s + \frac{c}{a}}$$



Ảnh hưởng của tụ thoát và tụ ghép ngõ vào (tt)

$$\begin{aligned} \bullet \frac{b}{a} &= \frac{R_b(R_e^* + hie) + R_i(R_b + hie + R_e^*)}{C_e^* R_e^* [R_i(R_b + hie) + R_b hie]} + \frac{R_b + hie}{C_b [R_i(R_b + hie) + R_b hie]} \\ &= \frac{(R_e^* + hie)(R_i + R_b) + R_i R_b}{C_e^* R_e^* [hie(R_i + R_b) + R_i R_b]} + \frac{R_b + hie}{C_b [R_i(R_b + hie) + R_b hie]} \\ &= \frac{1}{C_e^* [R_e^* // (hie + R_i // R_b)]} + \frac{1}{C_b (R_i + R_b // hie)} \\ \bullet \frac{c}{a} &= \frac{R_b + hie + R_e^*}{C_b C_e^* R_e^* [R_i(R_b + hie) + R_b hie]} \\ &= \frac{1}{C_b C_e^* R_e^* (R_i + R_b // hie) \cdot (R_e^* // (R_b + hie))} \end{aligned}$$



Ảnh hưởng của tụ thoát và tụ ghép ngõ vào (tt)

$$A_i(s) = \frac{i_L}{i_i} = \frac{i_L}{i_b} \cdot \frac{i_b}{i^*} \cdot \frac{i^*}{i_i}$$

$$A_i(s) = -hfe \cdot \frac{Rc}{Rc + R_L} \cdot \frac{R_b}{R_b + hie} \cdot \frac{s + \omega_{z1}}{s + \omega_{p1}} \cdot \frac{R_i(R_b + hie)}{R_i(R_b + hie) + R_b hie} \cdot \frac{s(s + \omega_{z2})}{s^2 + \frac{b}{a}s + \frac{c}{a}}$$

$$\Rightarrow A_i(s) = A_{im} \cdot \frac{s(s + \omega_{z1})}{s^2 + \frac{b}{a}s + \frac{c}{a}}$$

$$\text{Vì: } \omega_{p1} = \omega_{z2}$$

$$A_{im} = -hfe \cdot \frac{Rc}{Rc + R_L} \cdot \frac{R_b}{R_b + hie} \cdot \frac{R_i(R_b + hie)}{R_i(R_b + hie) + R_b hie}$$



Ảnh hưởng của tụ thoát và tụ ghép ngõ vào (tt)

$$A_i(s) = \frac{i_L}{i_i} = \frac{i_L}{i_b} \cdot \frac{i_b}{i^*} \cdot \frac{i^*}{i_i}$$

Để ý ta có thể thấy rằng mỗi tụ sẽ gây ra 1 cực và 1 zêro: (Khi xét ảnh hưởng của tụ này ta sẽ ngắn mạch tụ còn lại và ngược lại)

$$\begin{aligned} \bullet \frac{i_L}{i_b} &= -hfe \cdot \frac{Rc}{Rc + R_L} \\ \bullet \frac{i_b}{i^*} &= \frac{R_b}{R_b + hie} \cdot \frac{s + \omega_{z1}}{s + \omega_{p1}} \\ \bullet \frac{i^*}{i_i} &= \frac{R_i}{R_i + R_b // hie} \cdot \frac{(s + \omega_{z2})(s + \omega_{z3})}{s^2 + s(\omega_{p2} + \omega_{p3}) + \omega_{p2} \cdot \omega_{p3}} \end{aligned} \quad \left\{ \begin{aligned} \omega_{z1} &= \frac{1}{Re Ce} \\ \omega_{p1} &= \frac{1}{C_e^* (R_e^* // (R_b + hie))} \end{aligned} \right.$$



Ảnh hưởng của tụ thoát và tụ ghép ngõ vào (tt)

$$\bullet \frac{i^*}{i_i} = \frac{R_i}{R_i + R_b // hie} \cdot \frac{(s + \omega_{z2})(s + \omega_{z3})}{s^2 + s(\omega_{p2} + \omega_{p3}) + \alpha \cdot \omega_{p2} \cdot \omega_{p3}}$$

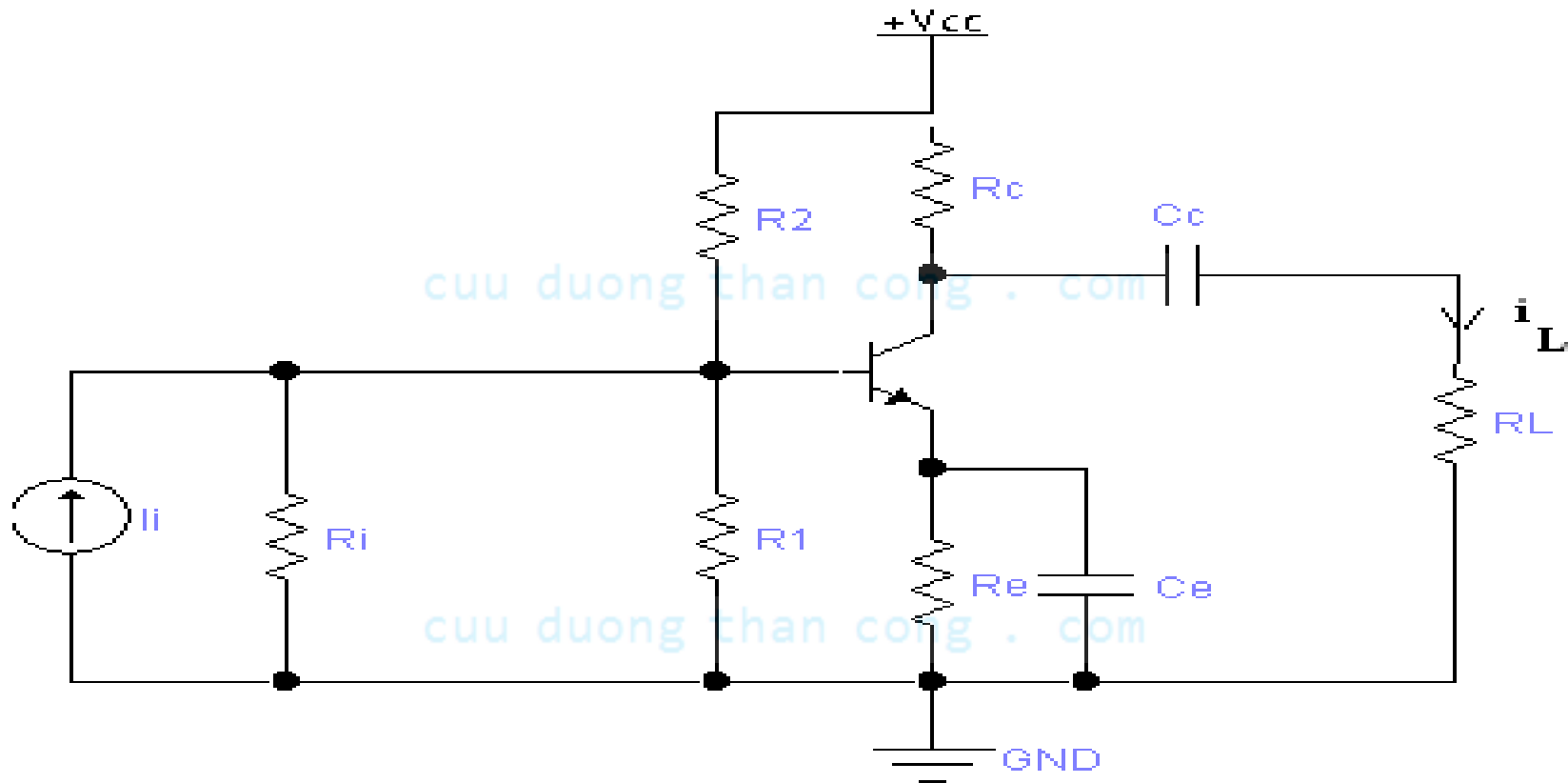
$$\bullet \begin{cases} \omega_{z2} = \frac{1}{C_e^* (R_e^* // (R_b + hie))} \\ \omega_{p2} = \frac{1}{C_e^* [R_e^* // (hie + R_b // R_i)]} \end{cases}$$

$$\bullet \begin{cases} \omega_{z3} = 0 \\ \omega_{p3} = \frac{1}{C_b (R_i + R_b // hie)} \end{cases}$$

$$\boxed{\alpha \cdot \omega_{p2} \cdot \omega_{p3} = \frac{c}{a}} = \frac{1}{C_b C_e^* R_e^* (R_i + R_b // hie) \cdot (R_e^* // (R_b + hie))}$$

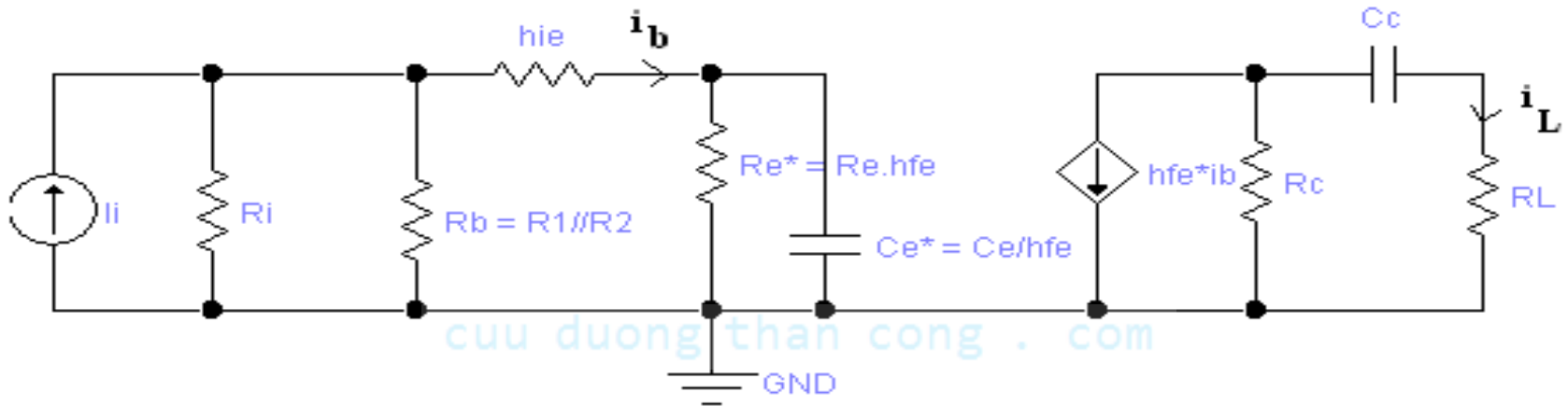


Ảnh hưởng của tụ thoát và tụ ghép ngõ ra





Ảnh hưởng của tụ thoát và tụ ghép ngõ ra (tt)



$$A(s) = \frac{\dot{i}_L}{\dot{i}_i} = \frac{\dot{i}_L}{\dot{i}_b} \cdot \frac{\dot{i}_b}{\dot{i}_i} = -h_{fe} \cdot \frac{R_C}{R_C + R_L + Z_{C_c}} \cdot \frac{R_i // R_b}{R_i // R_b + h_{ie} + R_E^* // C_E^*}$$

$$A(s) = -h_{fe} \cdot \frac{R_C}{R_C + R_L} \cdot \frac{R_i // R_b}{R_i // R_b + h_{ie}} \cdot \frac{s}{s + \frac{1}{C_C(R_C + R_L)}} \cdot \frac{s + \frac{1}{C_e \cdot R_e}}{s + \frac{1}{C_E^* \cdot (R_E^* // (h_{ie} + R_i // R_b))}}$$



Ảnh hưởng của tụ thoát và tụ ghép ngõ ra (tt)

$$\Leftrightarrow A(s) = A_{im} \cdot \frac{s}{s + \omega_{p1}} \cdot \frac{s + \omega_{z2}}{s + \omega_{p2}} \quad (s = j\omega)$$

- $A_{im} = A_i(j\omega) /_{\omega \Rightarrow +\infty} = -hfe \cdot \frac{R_C}{R_C + R_L} \cdot \frac{R_i // R_b}{R_i // R_b + hie}$

- $\omega_{p1} = \frac{1}{C_c \cdot (R_C + R_L)}$

- $\omega_{p2} = \frac{1}{C_E^* \cdot (R_E^* // (hie + Ri // Rb))}$

- $\omega_{z2} = \frac{1}{R_e \cdot C_e}$

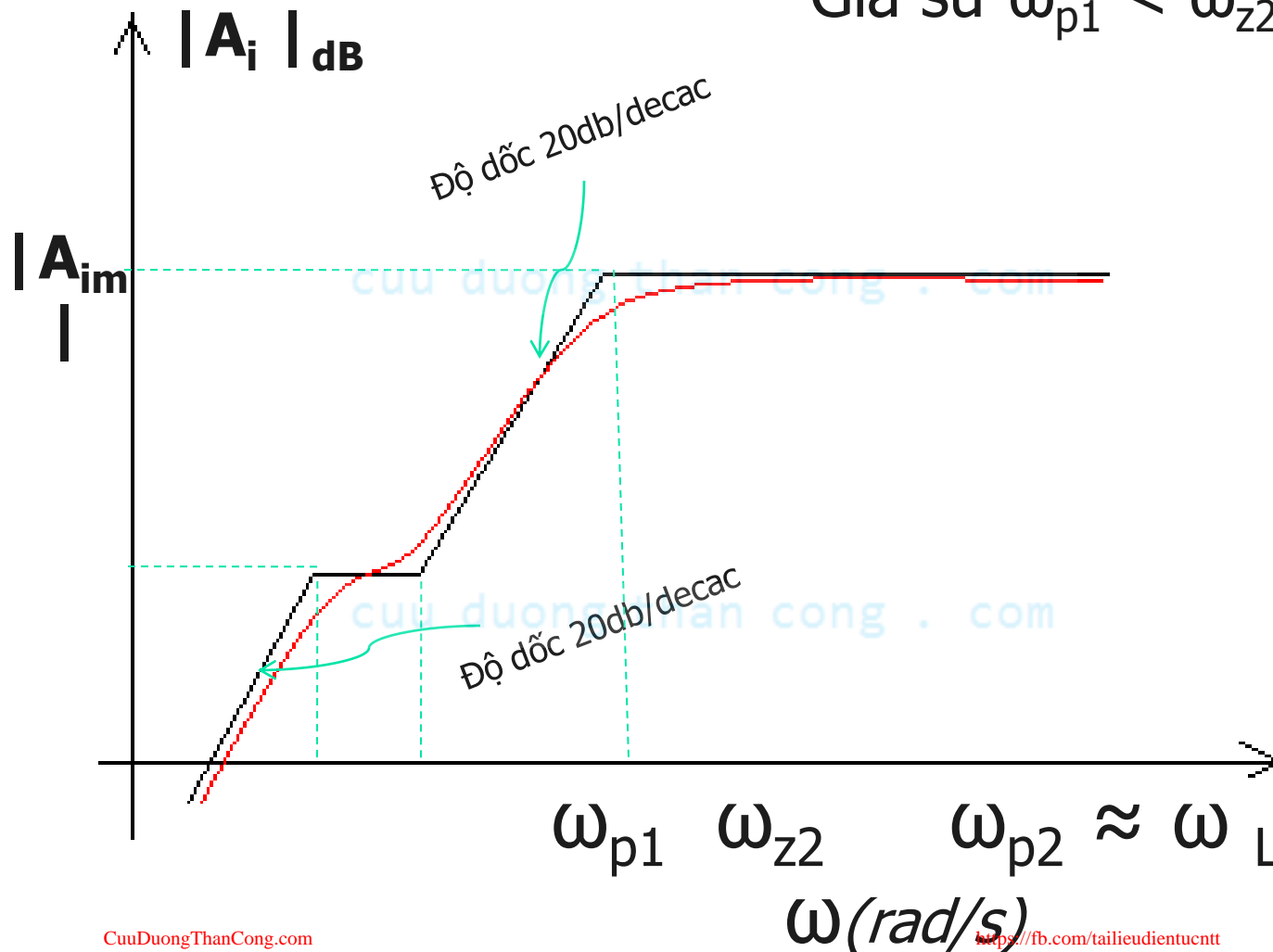
là các cực của hàm truyền đạt

zero của hàm truyền đạt



Ảnh hưởng của tụ thoát và tụ ghép ngõ ra (tt)

Giả sử $\omega_{p1} < \omega_{z2} < \omega_{p2}$





Ảnh hưởng của tụ thoát và tụ ghép ngõ ra (tt)

■ Tìm tần số cắt thấp $\omega_L = 2\pi f_L$

$$|A_i(\omega_L)| = \frac{|A_{im}|}{\sqrt{2}} \Leftrightarrow |A_{im}| \frac{\omega_L \sqrt{\omega_L^2 + \omega_{z2}^2}}{\sqrt{\omega_L^2 + \omega_{p1}^2} \cdot \sqrt{\omega_L^2 + \omega_{p2}^2}} = \frac{|A_{im}|}{\sqrt{2}}$$

$$\Rightarrow 2\omega_L^2(\omega_L^2 + \omega_{z2}^2) = (\omega_L^2 + \omega_{p1}^2)(\omega_L^2 + \omega_{p2}^2)$$

$$\Leftrightarrow \omega_L^4 - ([\omega_{p1}^2 + \omega_{p2}^2] - \omega_{z2}^2) \cdot \omega_L^2 - \omega_{p1}^2 \cdot \omega_{p2}^2 = 0$$

■ Giả sử $\omega_{p1} < \omega_{z2} \ll \omega_{p2} \Rightarrow$ nếu gần đúng:

$$\Leftrightarrow \omega_L^4 - \omega_{p2}^2 \cdot \omega_L^2 \approx 0 \quad \Leftrightarrow \boxed{\omega_L \approx \omega_{p2}} \quad \begin{cases} \omega_{p2}^2 + \omega_{p1}^2 - \omega_{z2}^2 \square \omega_{p2}^2 \\ \omega_{p1}^2 \cdot \omega_{p2}^2 \approx 0 \end{cases}$$



5.3 Đáp ứng tần số cao

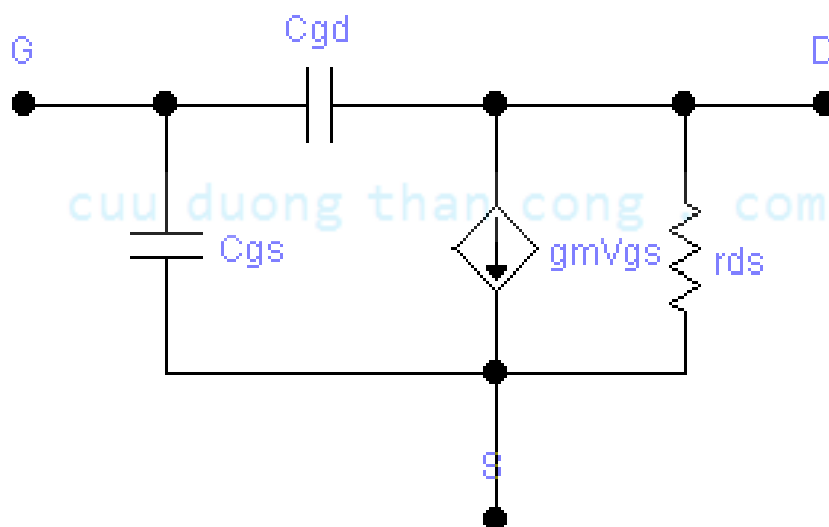
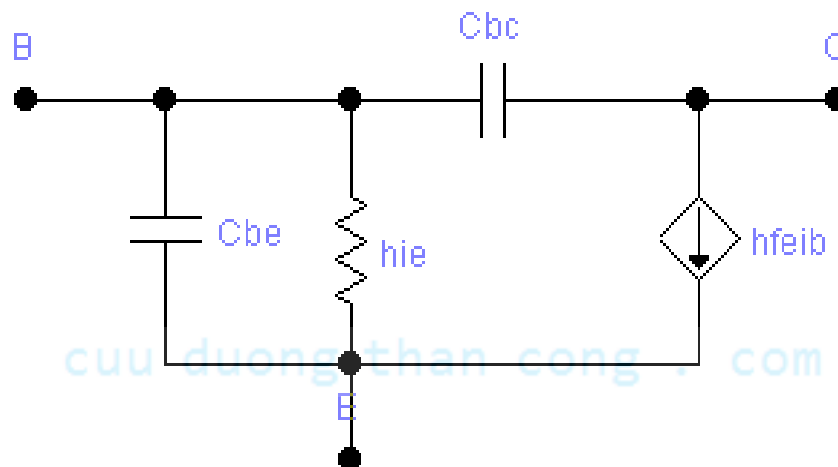
- Mô hình tương đương của BJT và FET
- Định lý Miller
- Mạch CE (CS) – Hiệu ứng Miller

cuu duong than cong . com

cuu duong than cong . com



Mô hình tương đương của BJT và FET





Các thông số tần số cao của BJT

■ $r_{be} = h_{ie}$

- Tần số cắt -3dB

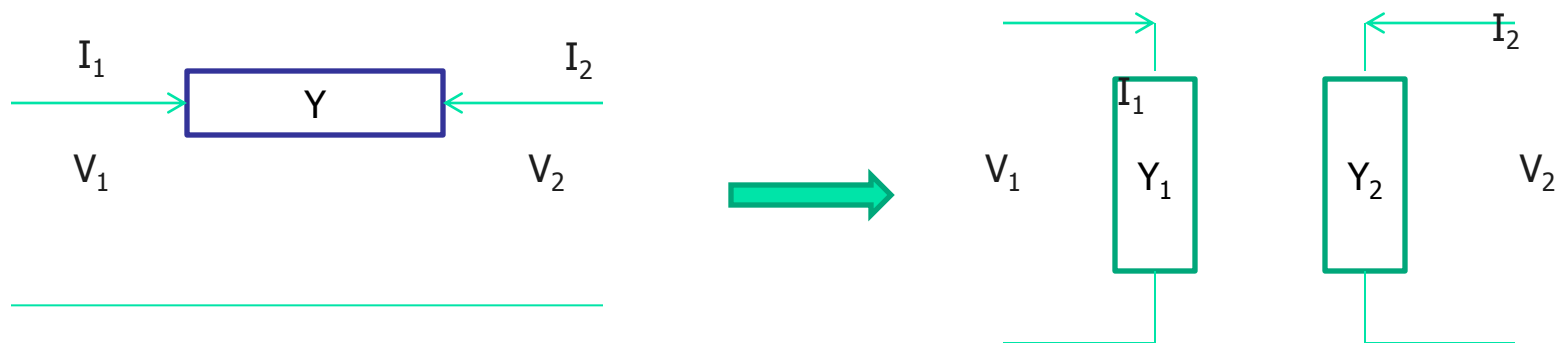
$$\omega_{\beta} = \frac{1}{(C_{be} + C_{bc})r_{be}}$$

- Tích số độ lợi khở tần:

$$\omega_T = h_{fe} \cdot \omega_{\beta}$$



Định lý Miller



$$Y_1 = \frac{I_1}{V_1} = \frac{(V_1 - V_2)Y}{V_1} = \left(1 - \frac{V_2}{V_1}\right) Y$$

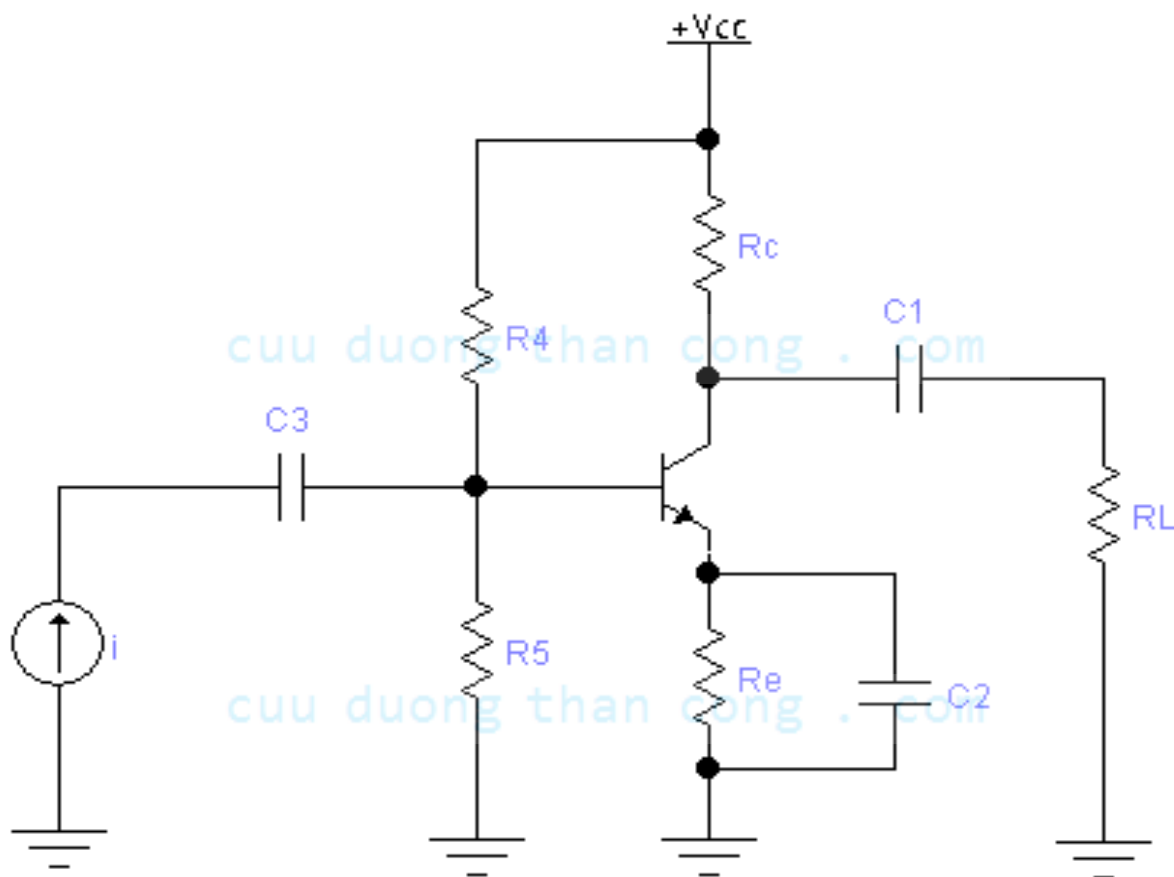
$$Y_2 = \frac{I_2}{V_2} = \frac{(V_2 - V_1)Y}{V_2} = \left(1 - \frac{V_1}{V_2}\right) Y$$

• Đặt $\frac{V_2}{V_1}$ là K

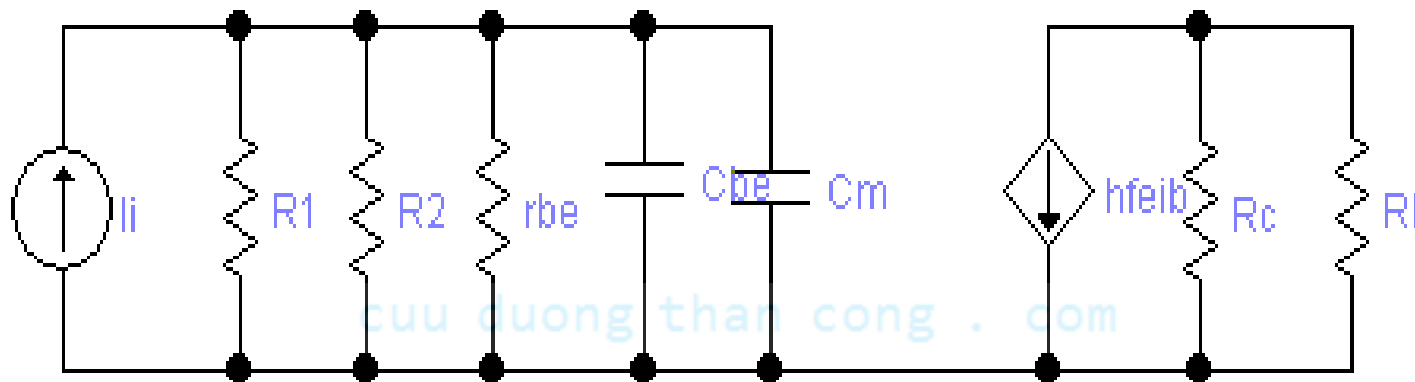
$$\rightarrow \begin{cases} Y_1 = Y(1 - K) \\ Y_2 = Y\left(1 - \frac{1}{K}\right) \end{cases}$$



Mạch CE tần số cao



Mạch CE tần số cao (tt)



$$V_{ce} = -h_{fe}i_b (R_c // R_L) = -g_m V_{be} (R_c // R_L)$$

$$\Rightarrow K = -g_m R'_L$$

Với R'_L là trở kháng ngõ ra

$$Y_1 = Y(1 - K) = sC_{bc} (1 + g_m R'_L) = sC_M$$

$$Y_2 = Y \left(1 - \frac{1}{K} \right) = sC_{bc} \left(1 + \frac{1}{g_m R'_L} \right) \approx sC_{bc}$$

C_{bc} rất nhỏ nên có thể bỏ qua



Mạch CE tần số cao (tt)

- $$A_i = \frac{i_L}{i_i} = \frac{i_L}{i_b} \frac{i_b}{i_i}$$
$$\frac{i_L}{i_b} = - \frac{hfe.R_c}{R_c + R_L}$$
$$\frac{i_b}{i_i} = \frac{R_1 // R_2}{R_1 // R_2 + r_{be} // Z_C}$$

Với $C = C_{be} + C_M$

Gọi $R_b = R_1 // R_2$

- $$A_i = - \frac{hfe.R_c}{R_c + R_L} \frac{R_b}{R_b + r_{be} // Z_C} = - \frac{hfe.R_c}{R_c + R_L} \frac{R_b}{R_b + r_{be}} \frac{s + \frac{1}{r_{be} \cdot C}}{s + \frac{1}{(R_b // r_{be})C}}$$

- $$= A_{im} \frac{s + \frac{1}{r_{be} \cdot C}}{s + \frac{1}{(R_b // r_{be})C}} = A_{im} \frac{s + \frac{\omega_z}{1}}{s + \frac{\omega_p}{1}}$$

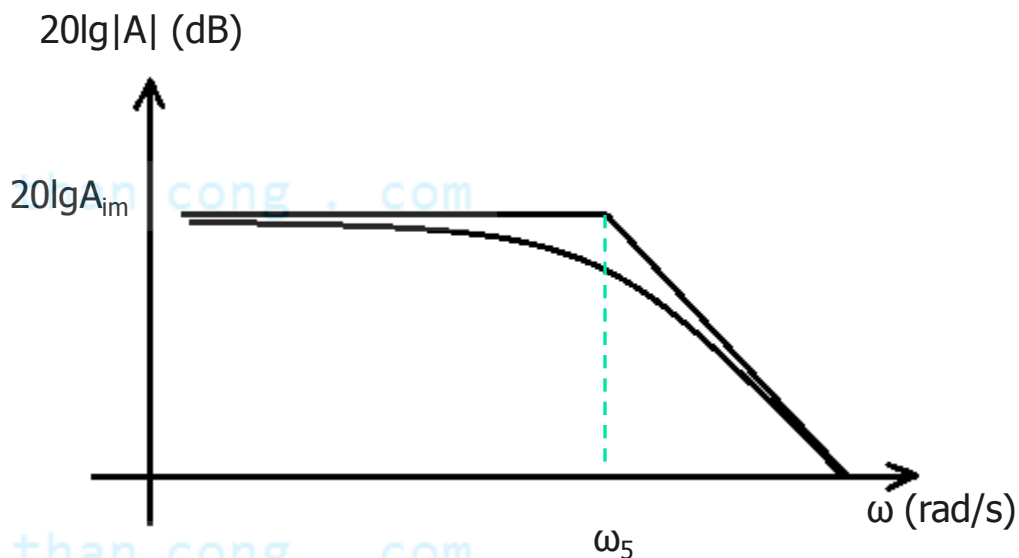


Mạch CE tần số cao (tt)

- $A(\omega) = A_{im} \cdot A_H(\omega)$

- $A_{im} = A(\omega) \big|_{\omega \Rightarrow 0}$

- $A_H(\omega) = \frac{1}{1 + \frac{j\omega}{\omega_5}}$





Mạch CE tần số cao (tt)

- Để tăng tính ổn định, người ta thường gắn thêm 1 tụ C_{BC} từ cực B sang cực C có giá trị tầm vài nF để hồi tiếp âm.

Khi đó tổng điện dung giữa cực B và E là

$$C = C_{be} + C'_M$$

Với C'_M là điện dung Miller có được khi áp dụng định lý Miller với $C_{bc} // C_{BC}$

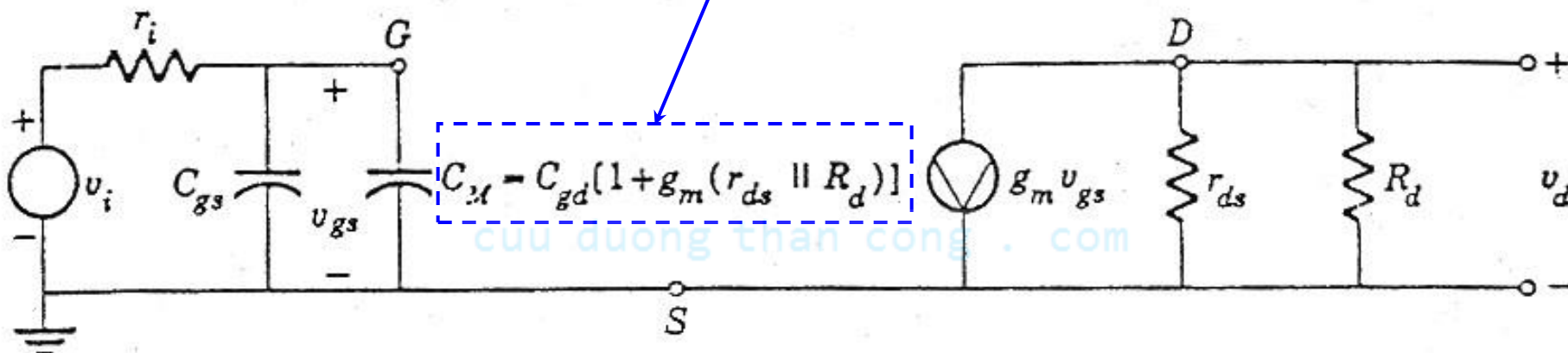
$$C'_M = (C_{BC} + C_{bc})(1 + gmR'_L)$$

sẽ được ảnh hưởng nhiều nhất bởi tụ C_{BC} , do đó ta chủ động điều chỉnh được đáp ứng của mạch khuếch đại bằng cách điều chỉnh C_{BC}

$$C'_M \approx C_{BC}(1 + gmR'_L)$$

Mạch CS tần số cao

Điện dung Miller (cách phân tích giống như mạch BJT)

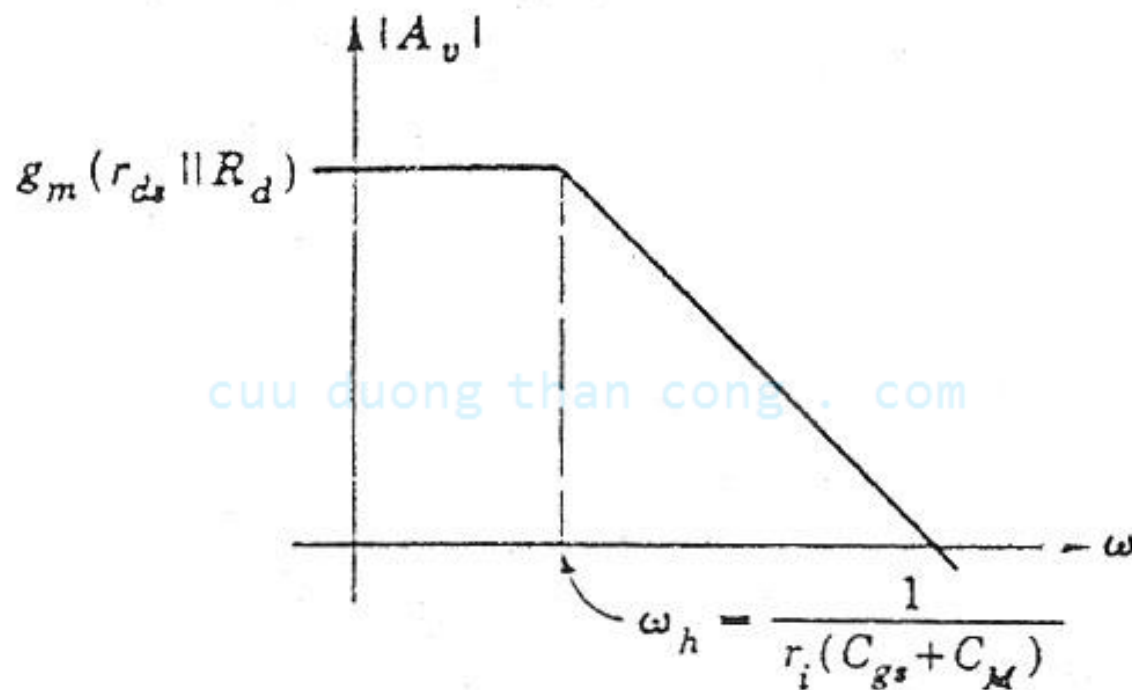


Mạch CS với hồi tiếp được loại bỏ

Mạch tương đương với C_M ở trên chỉ tồn tại khi điều kiện sau thỏa mãn:

$$\omega \ll \frac{1}{C_{gd}(r_{ds} \parallel R_d)} \quad \omega \ll \frac{g_m}{C_{gd}}$$

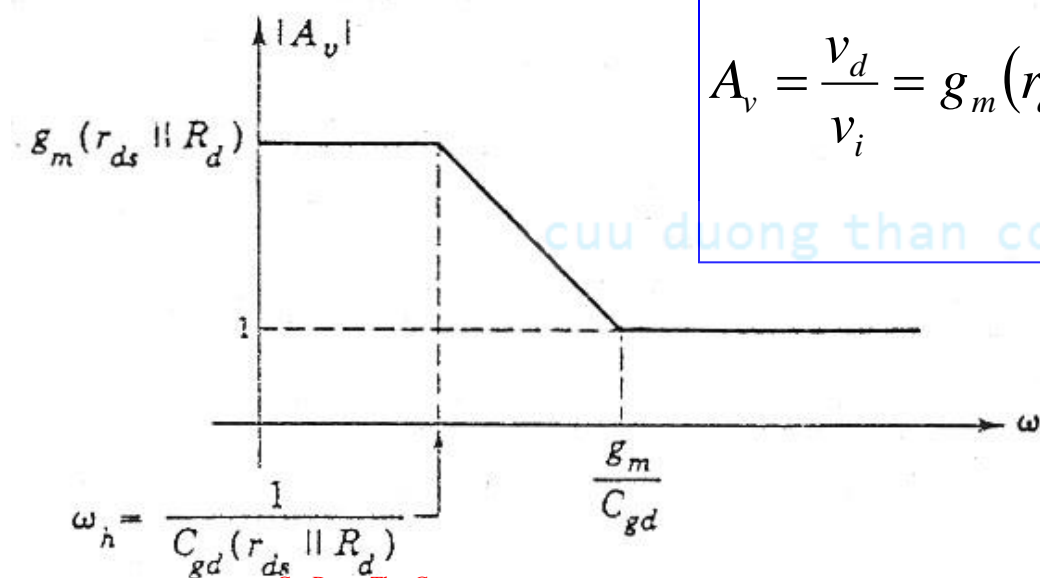
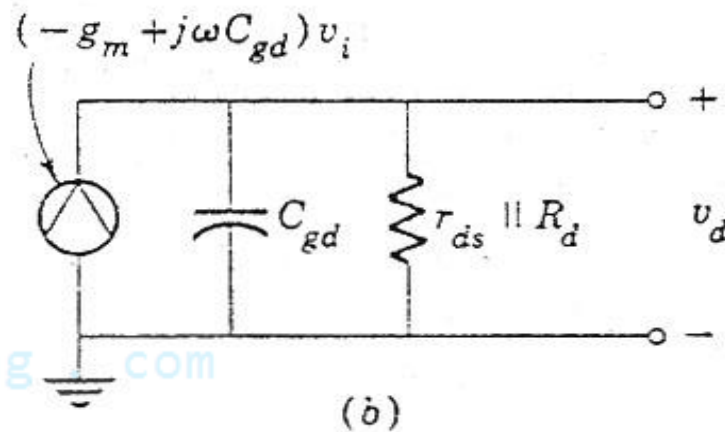
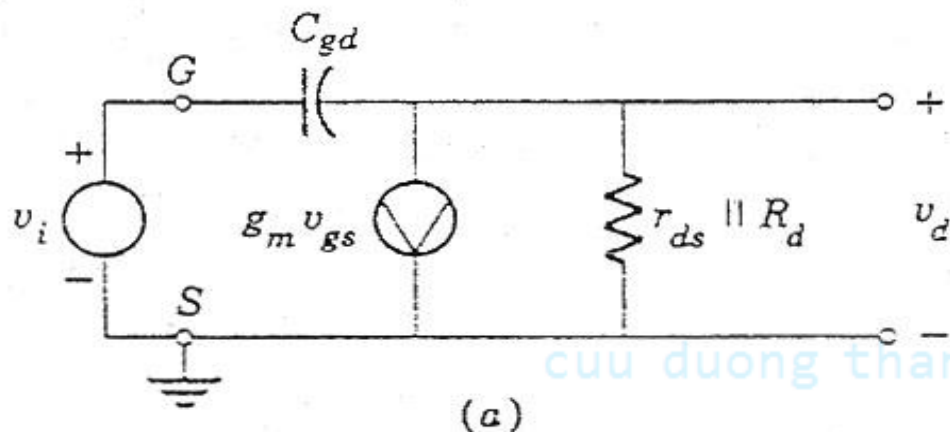
Mạch CS tần số cao (tt)



$$A_v = \frac{v_d}{v_i} = -g_m(r_{ds} \parallel R_d) \left[\frac{1}{1 + j\omega r_i(C_{gs} + C_M)} \right]$$

$$f_h = \frac{1}{2\pi r_i(C_{gs} + C_M)}$$

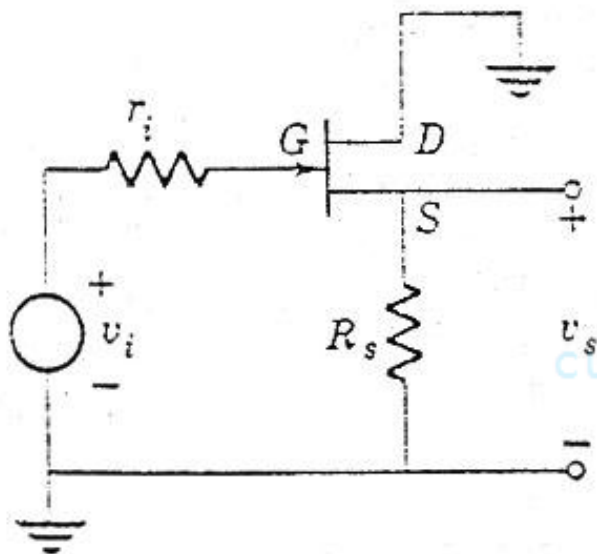
Mạch CS tần số cao (tt)



$$A_v = \frac{v_d}{v_i} = g_m (r_{ds} \parallel R_d) \frac{-1 + j\omega C_{gd} / g_m}{1 + j\omega C_{gd} (r_{ds} \parallel R_d)}$$

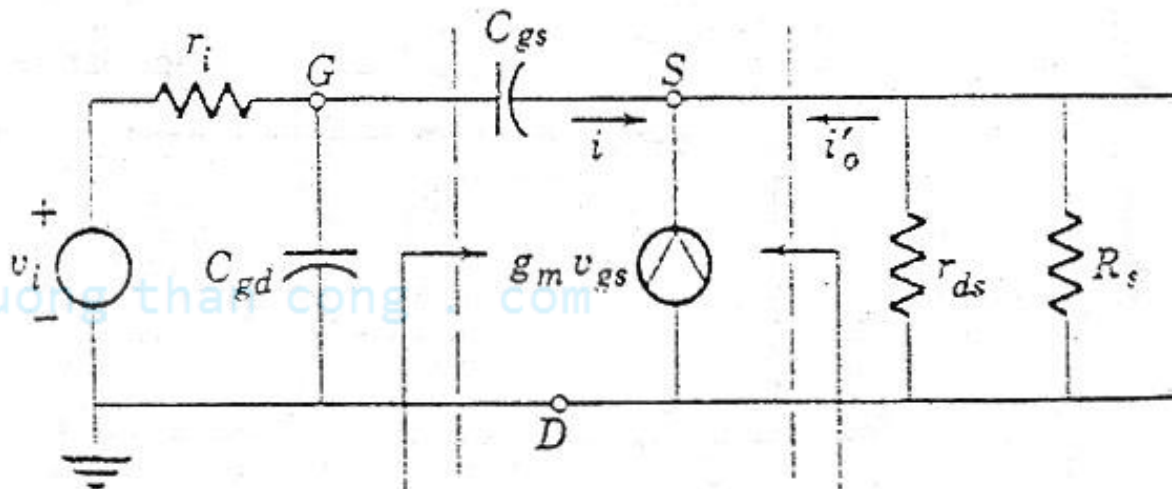
khi $g_m (r_{ds} \parallel R_d) \gg 1$

Mạch CD (SF) tần số cao



(a)

Mạch SF ở tần số cao
(bỏ qua phân cực)

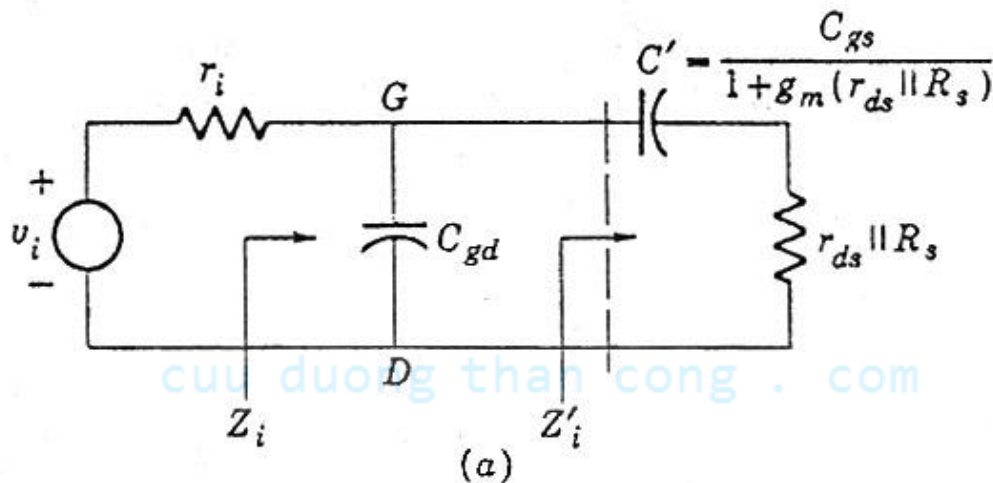


(b)

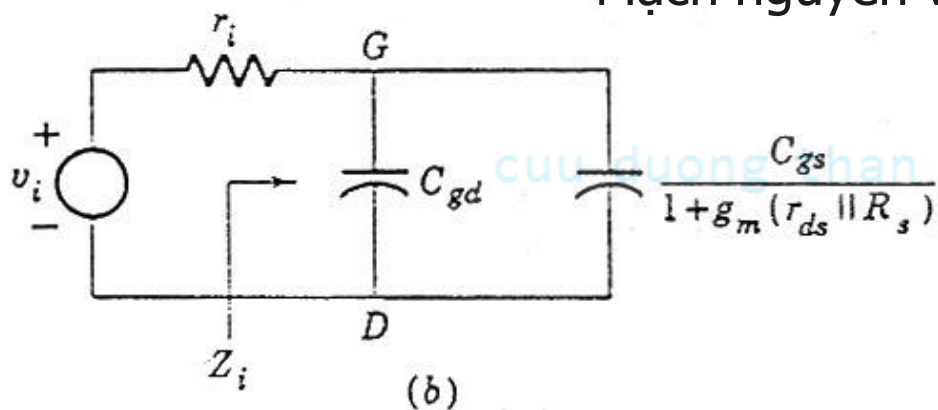
Mạch tương đương SF ở
tần số cao

$$Z'_{i'} = \frac{v_{gd}}{i} = (r_{ds} \parallel R_s) + \left(\frac{1}{j\omega C_{gs}} \right) [1 + g_m (r_{ds} \parallel R_s)]$$

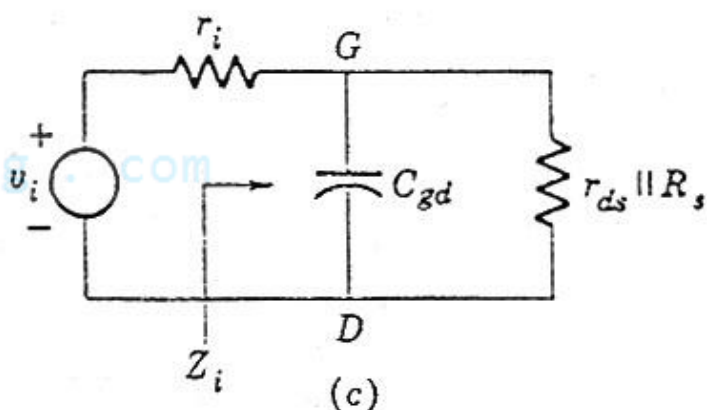
Mạch CD (SF) tần số cao (tt)



Mạch nguyên vẹn



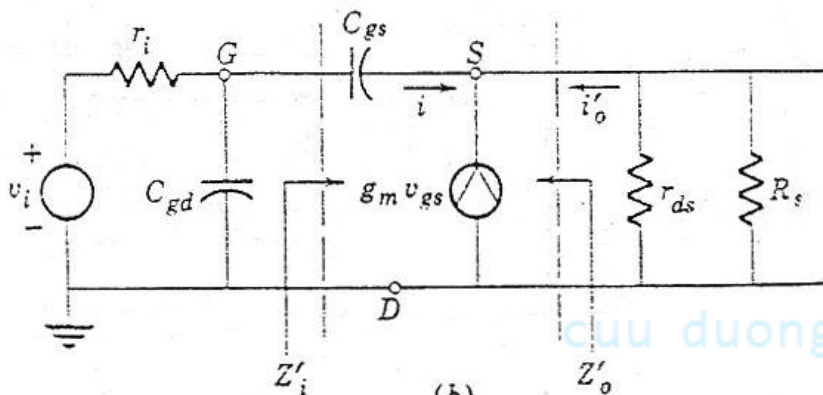
Mạch khi $\omega \ll g_m / C_{gs}$



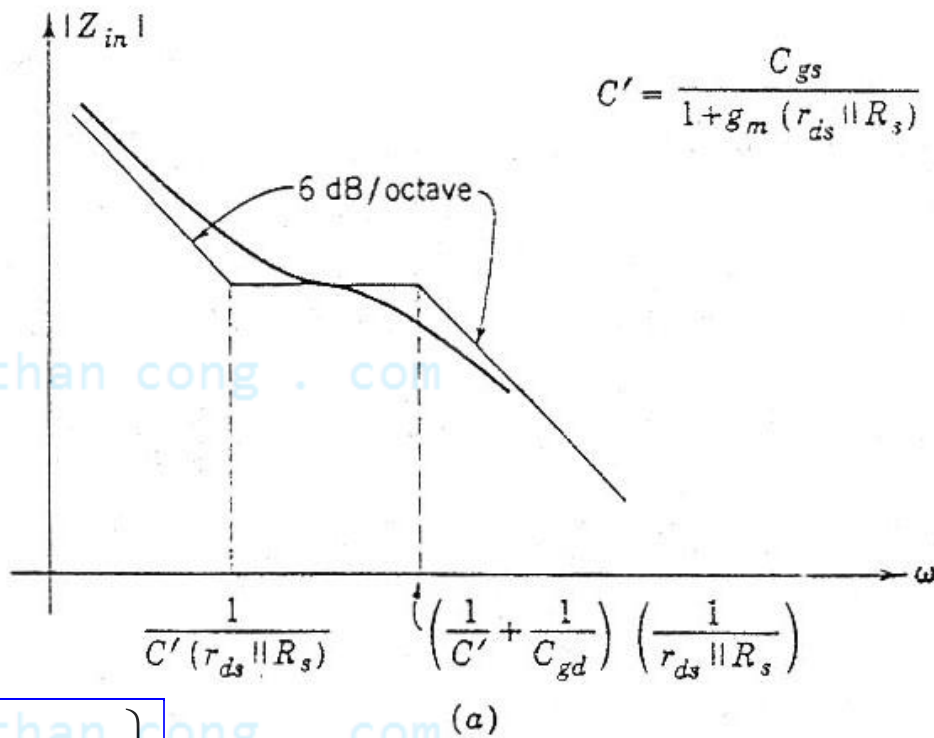
Mạch khi $\omega \gg g_m / C_{gs}$



Mạch CD (SF) tần số cao (tt)

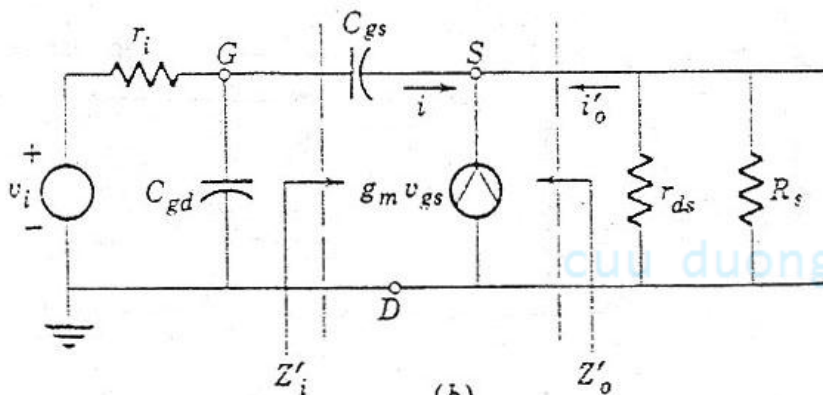


Mạch tương đương
SF ở tần số cao

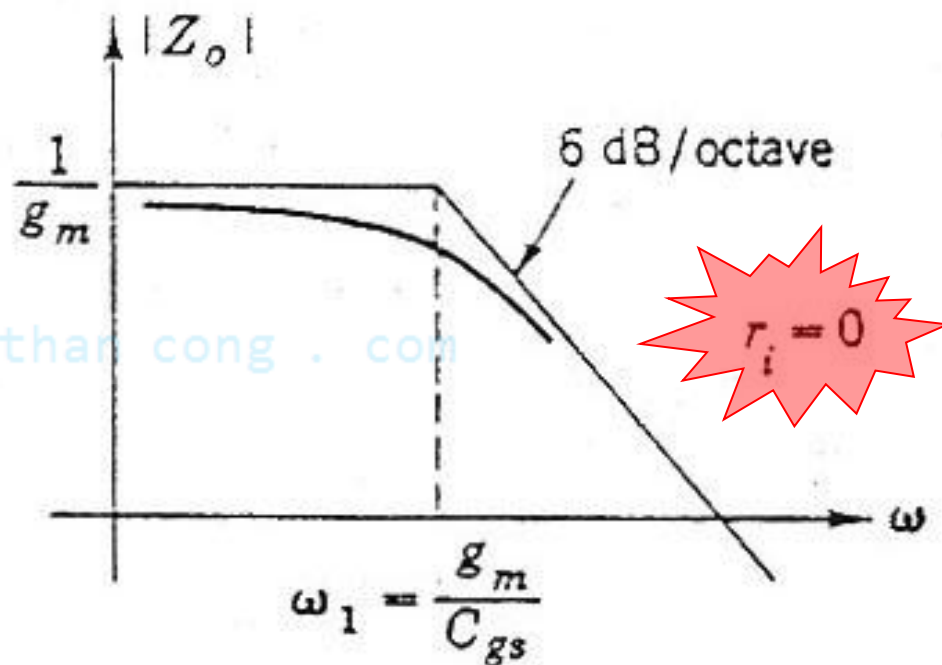


$$Z_i = \frac{1}{j\omega C_{gd}} \left\{ \frac{1 + \frac{1}{j\omega C' (r_{ds} \parallel R_s)}}{1 + \frac{1}{j\omega (r_{ds} \parallel R_s) \left(\frac{1}{C'} + \frac{1}{C_{gd}} \right)}} \right\}$$

Mạch CD (SF) tần số cao (tt)



Mạch tương đương
SF ở tần số cao

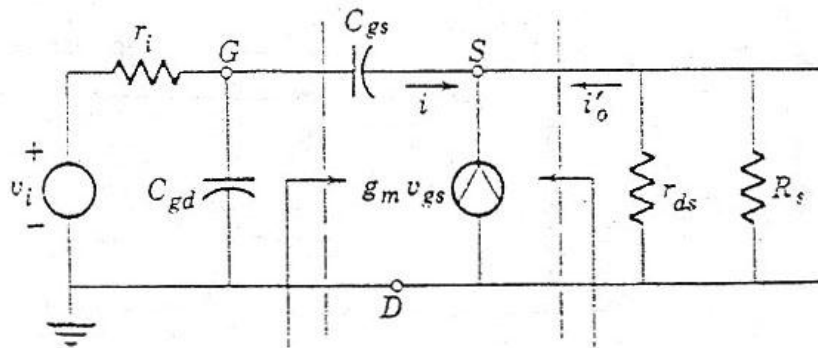


$$Z'_o = \left. \frac{v_i}{i'_o} \right|_{v_i=0} = \left(\frac{1}{g_m} \right) \left[\frac{1 + j\omega(C_{gd} + C_{gs})r_i}{(1 + j\omega C_{gs} / g_m)(1 + j\omega r_i C_{gd})} \right]$$



Mạch CD (SF) tần số cao (tt)

$$A_v = \frac{v_s}{v_i} = \begin{pmatrix} v_s \\ v_g \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_g \\ v_i \end{pmatrix}$$



Mạch tương đương SF ở tần số cao

$$\frac{v_s}{v_g} = \left[\frac{g_m (r_{ds} \parallel R_s)}{1 + g_m (r_{ds} \parallel R_s)} \right] \left\{ \frac{1 + \frac{j\omega C_{gs}}{g_m}}{1 + j\omega C_{gs} \left[\frac{r_{ds} \parallel R_s}{1 + g_m (r_{ds} \parallel R_s)} \right]} \right\} \approx 1 \quad \text{vì} \quad g_m (r_{ds} \parallel R_s) \gg 1$$

$$\frac{v_g}{v_i} \approx \frac{1}{1 + j\omega r_i \{C_{gd} + C_{gs} / [1 + g_m (r_{ds} \parallel R_s)]\}} \quad \text{khi} \quad \omega \ll g_m / C_{gs}$$

$$\text{hoac} \quad \frac{v_g}{v_i} \approx \left(\frac{1}{r_i} \right) \left[\frac{r_i \parallel r_{ds} \parallel R_s}{1 + j\omega C_{gd} (r_i \parallel r_{ds} \parallel R_s)} \right] \quad \text{khi} \quad \omega \gg g_m / C_{gs}$$



Mạch CD (SF) tần số cao (tt)

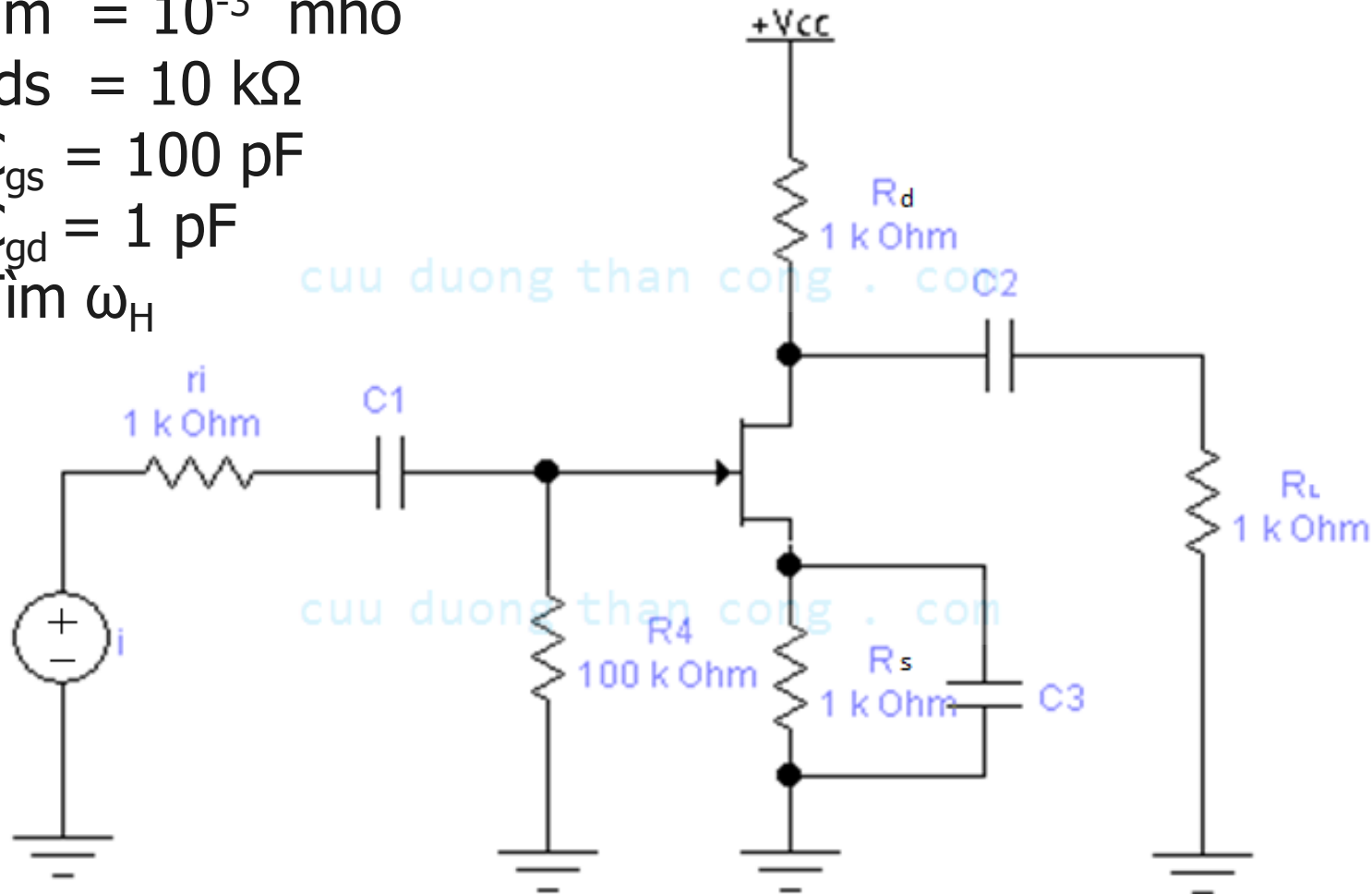
$$g_m = 10^{-3} \text{ mho}$$

$$r_{ds} = 10 \text{ k}\Omega$$

$$C_{gs} = 100 \text{ pF}$$

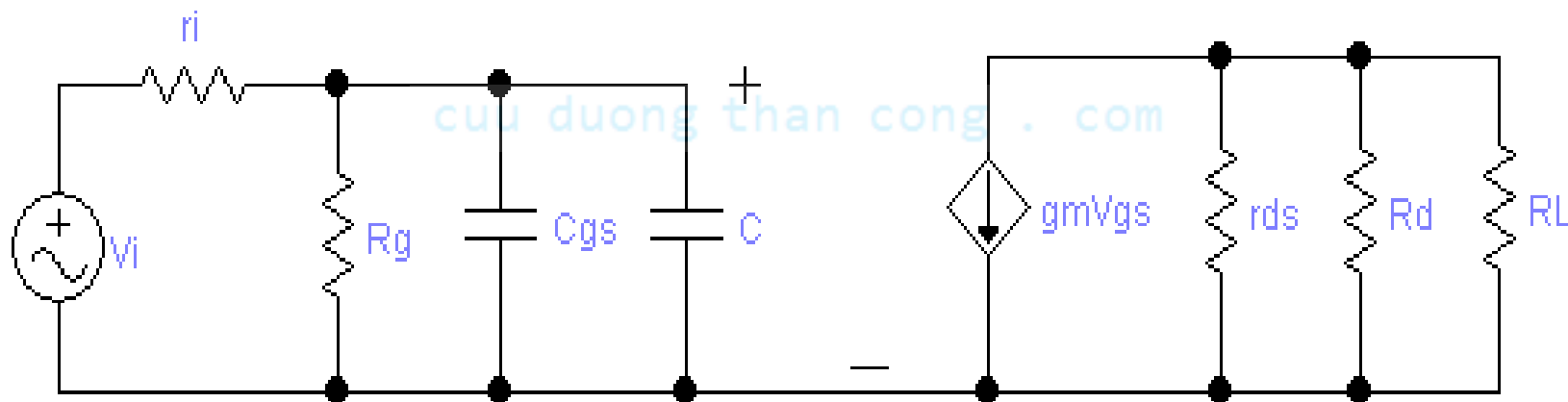
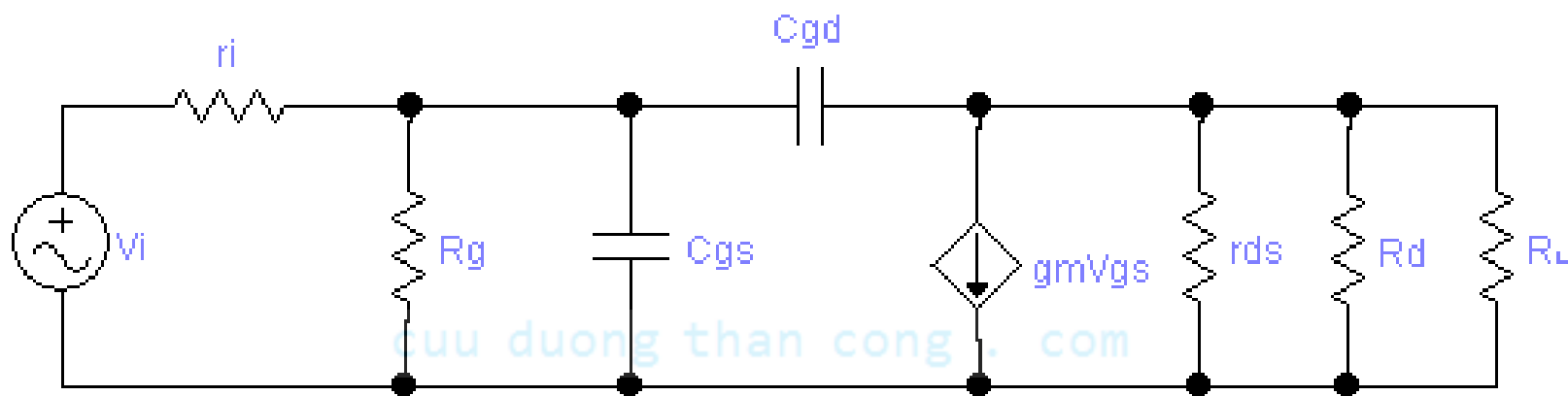
$$C_{gd} = 1 \text{ pF}$$

Tìm ω_H





Mạch CD (SF) tần số cao (tt)





Mạch CD (SF) tần số cao (tt)

$$\begin{aligned} C_M &= C_{gd} (1 + g_m.R_{ds}) = C_{gd}(1 + g_m.r_{ds} // R_d // R_L) \\ &= 1.10^{-12} (1 + 10^{-3}.(10k // 1k // 1k)) \approx 1,5 \text{ pF} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \omega_H = \omega_{g\tilde{a}y} &= \frac{1}{(C_{gs} + C_M).R_{gs}} = \frac{1}{(C_{gs} + C_M).R_{gs} // r_i} \\ &= \frac{1}{(100 + 1,5).10^{-12}.100k // 1k} = 10 \text{ Mrad/s} \end{aligned}$$



TÓM TẮT

- Đáp ứng tần số tổng quát
- Đáp ứng tần số thấp
- Đáp ứng tần số cao



BÀI TẬP 1

Cho các thông số:

$V_{CC}=20V$, $R_1=10k$,

$R_2=100k$, $r_i=10k$,

$R_e=0.1k$, $R_C=1k$,

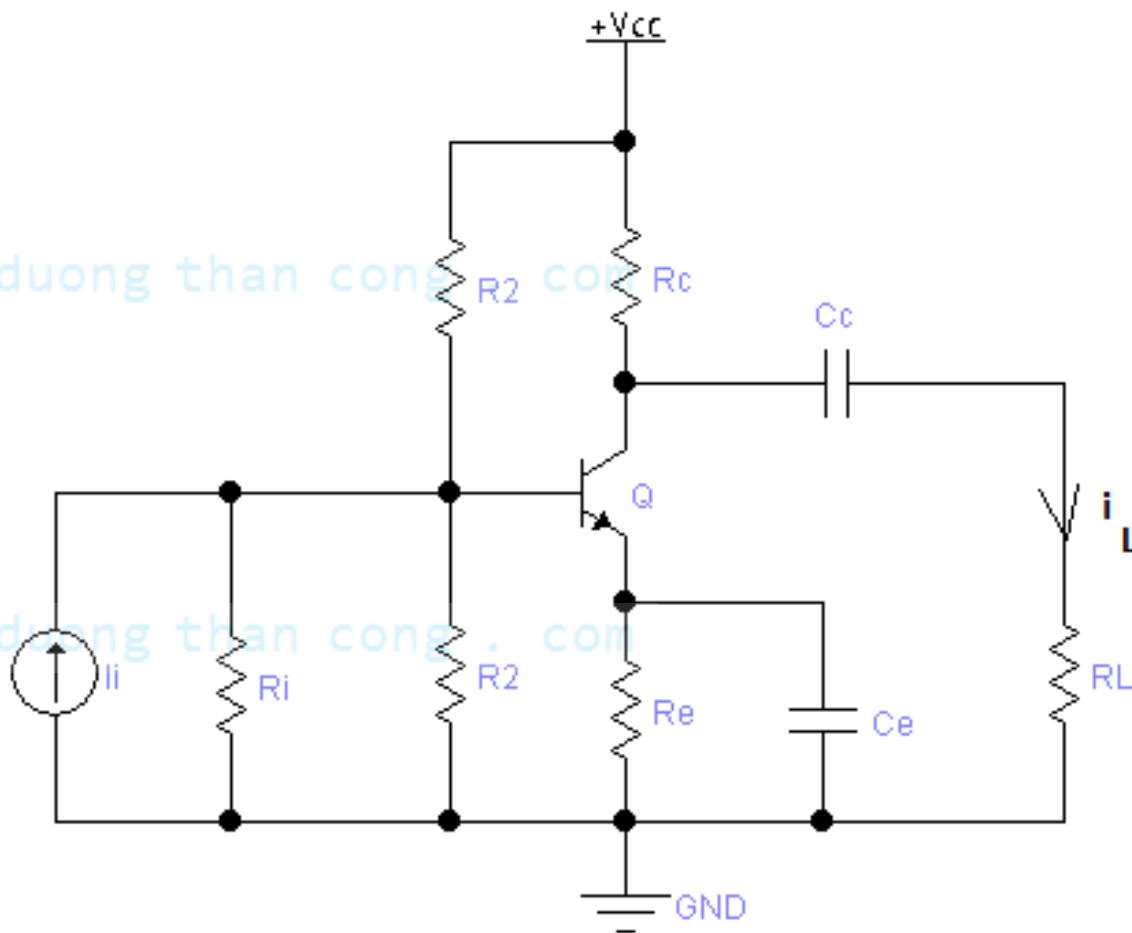
$R_L=1k$, $C_e=10\mu F$,

$C_c=20\mu F$, $h_{fe}=50$.

a) Vẽ sơ đồ bé tín hiệu tương đương ở tần số thấp.

b) Xác định độ lợi A_i ,

c) Vẽ biểu đồ Bode .





BÀI TẬP 2

a) Tính độ lợi dây giữa A_{im}

b) Tìm tần số 3 dB f_h

■ Các thông số của mạch:

$V_{CC} = 20V$

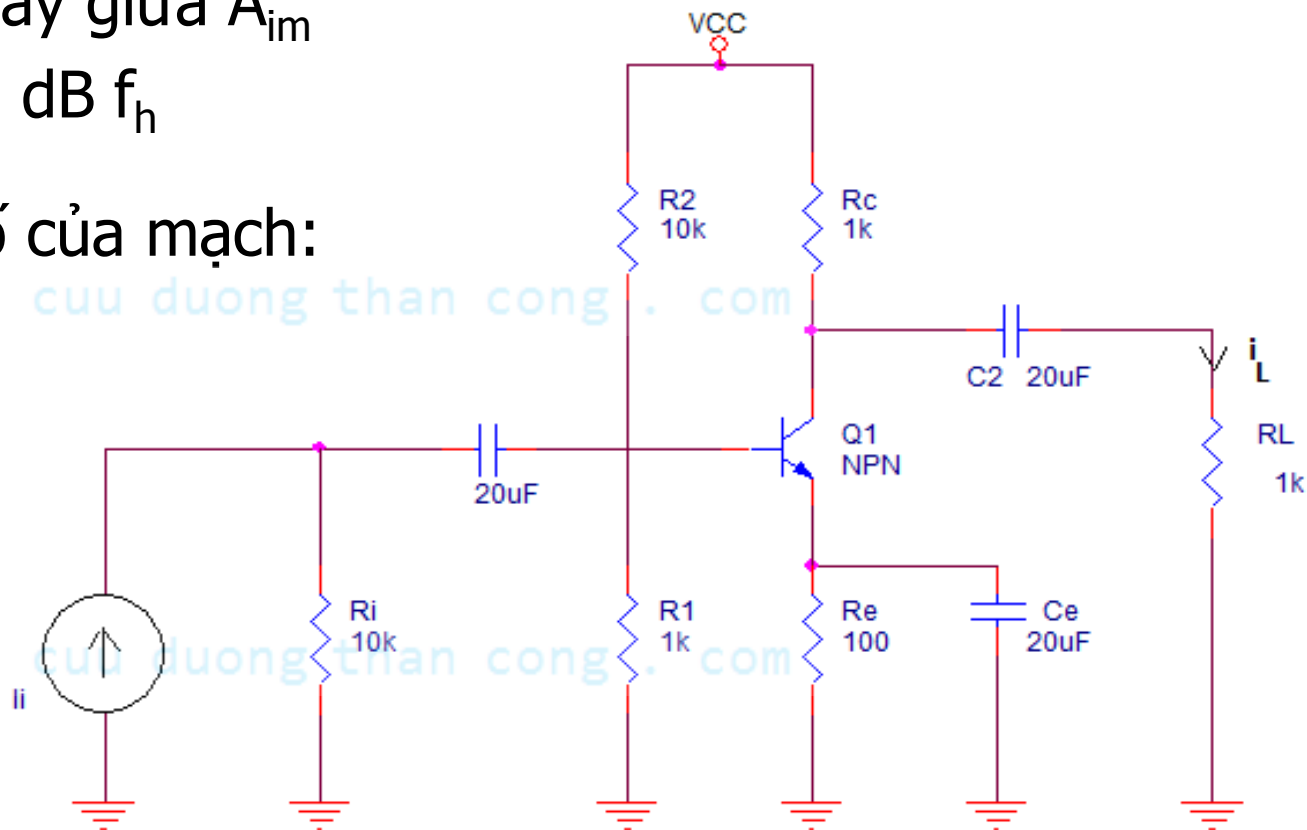
$\omega_r = 10^9 \text{ rad/s}$

$h_{fe} = 100$

$C_{b'c} = 5 \text{ pF}$

$r_{bb'} = 0$

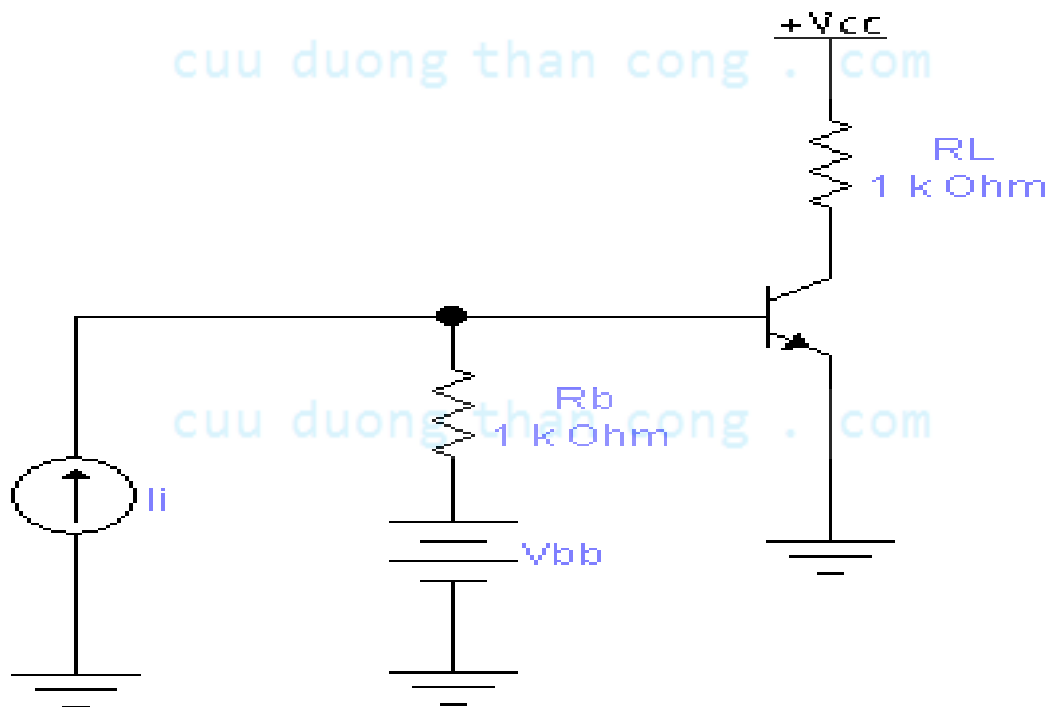
$I_{CQ} = 10 \text{ mA}$





BÀI TẬP 3

Các phép đo đặc chỉ ra rằng mạch khuếch đại chỉ ra hình B.11.1 có độ lợi dây giữa là 32dB, tần số cắt trên 3dB là 800Hz và dòng tĩnh emitter là 2mA. Giả sử rằng $r_{bb} = C_{b'c} = 0$, tìm h_{fe} , $r_{b'e}$ và $C_{b'e}$.

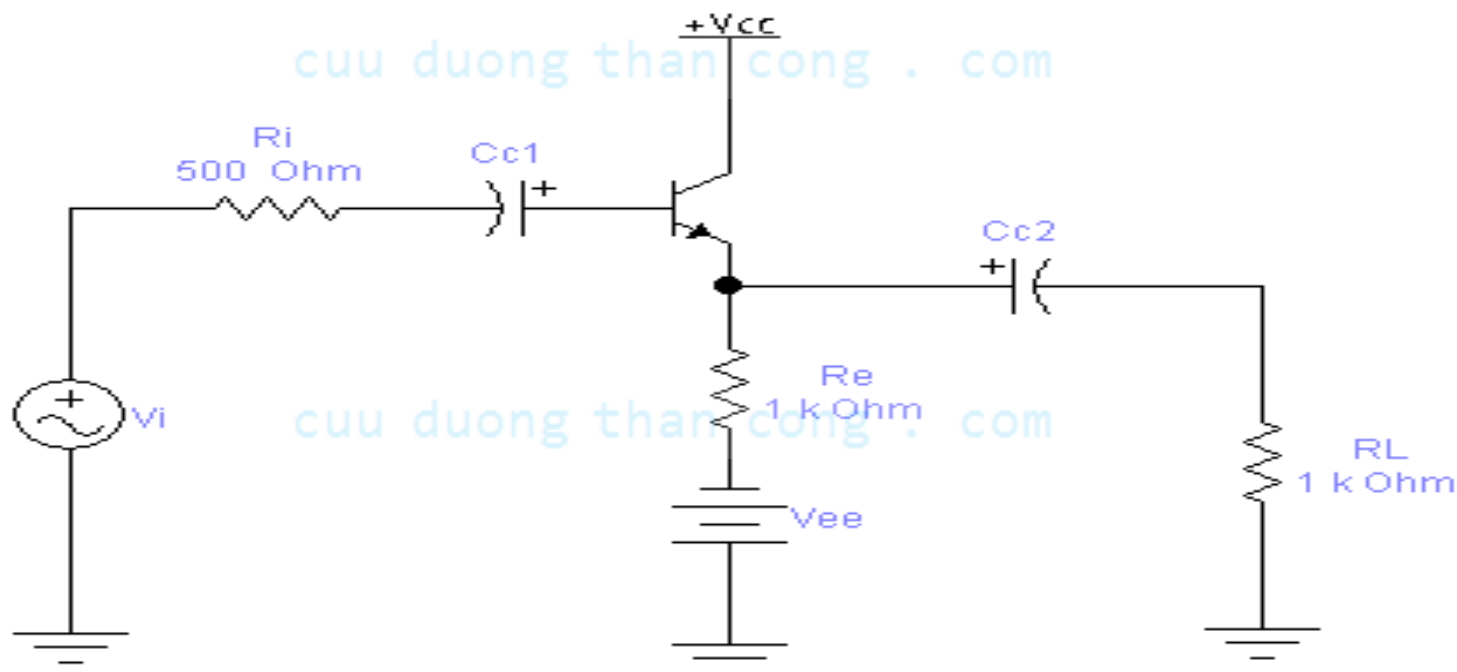




BÀI TẬP 4

Cho transistor như trong hình, $\omega_T = 10^9 \text{ rad/s}$, $h_{fe} = 20$, $C_{be} = 6 \text{ pF}$, $r_{bb'} = 0$ và $I_{EQ} = 1 \text{ mA}$.

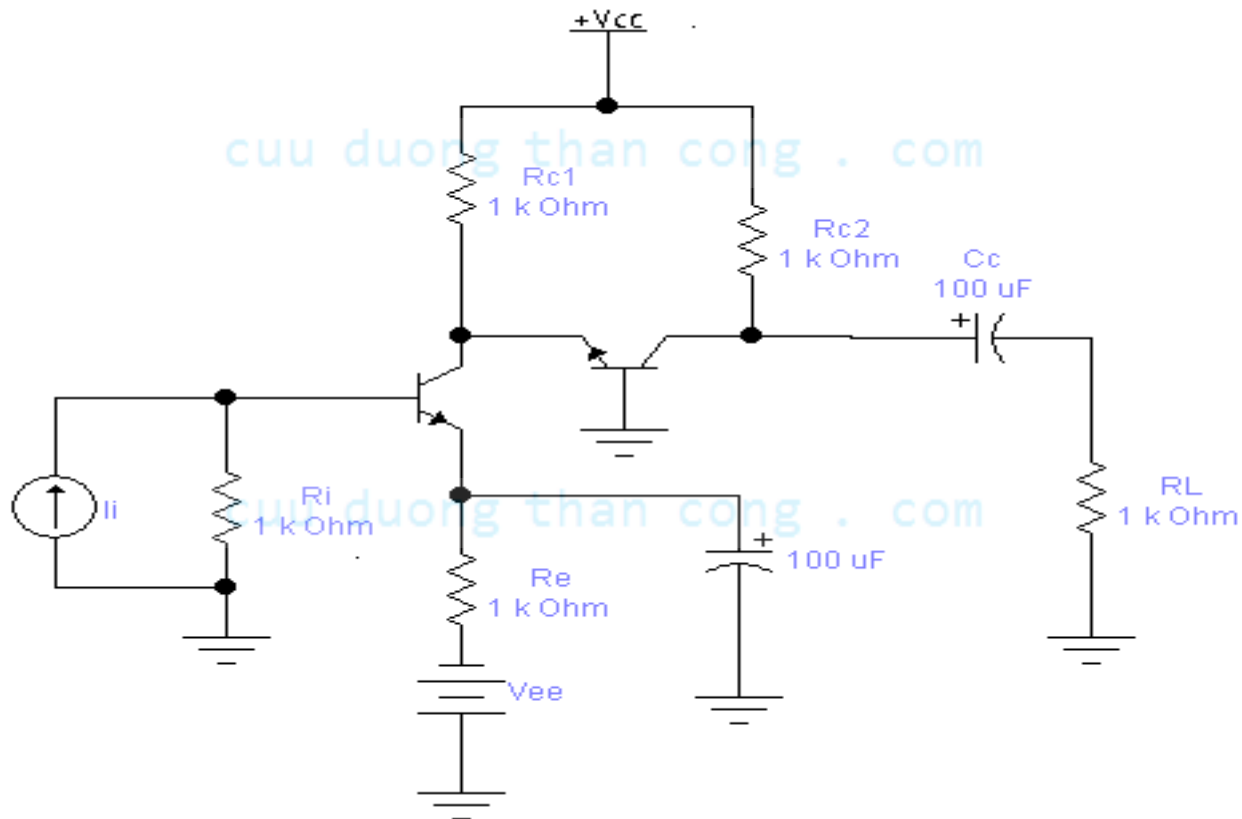
Hãy tìm độ lợi áp dây giữa và tần số cắt trên 3dB.





BÀI TẬP 5

Tìm độ lợi dòng dây giữa và tần số cắt trên 3dB cho mạch khuếch đại hình dưới. Giả sử các transistor có các đặc tuyến cho trong bài 11.



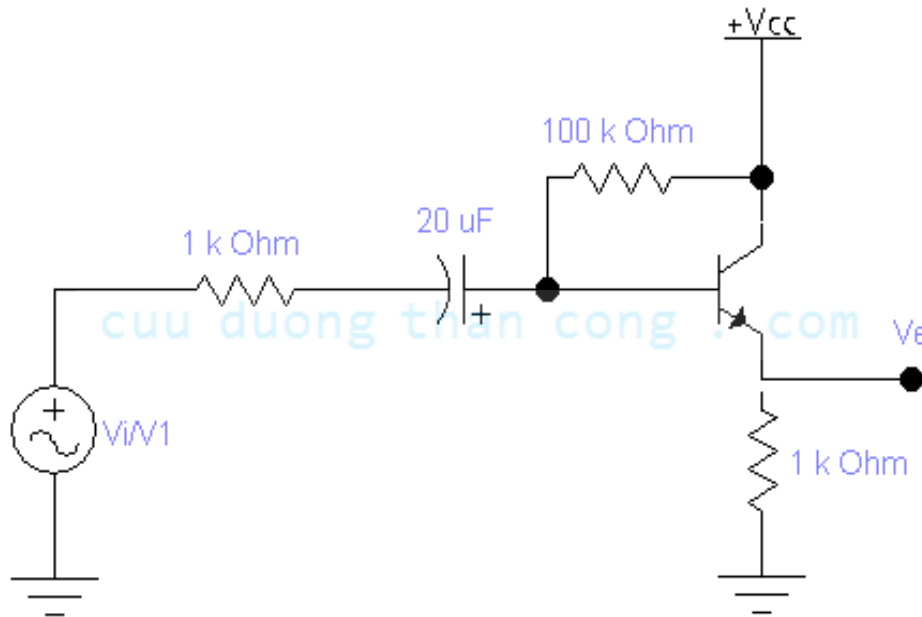


BÀI TẬP 6

Cho transistor trong hình b11.6

$r_{bb'} = 20\Omega$, $r_{b'e} = 1K\Omega$, $C_{b'e} = 1000pF$, $C_{b'e} = 10pF$ và $g_m = 0,05mho$

Hãy tìm và vẽ trên đó biểu đồ tiệm cận cho độ lợi điện áp.





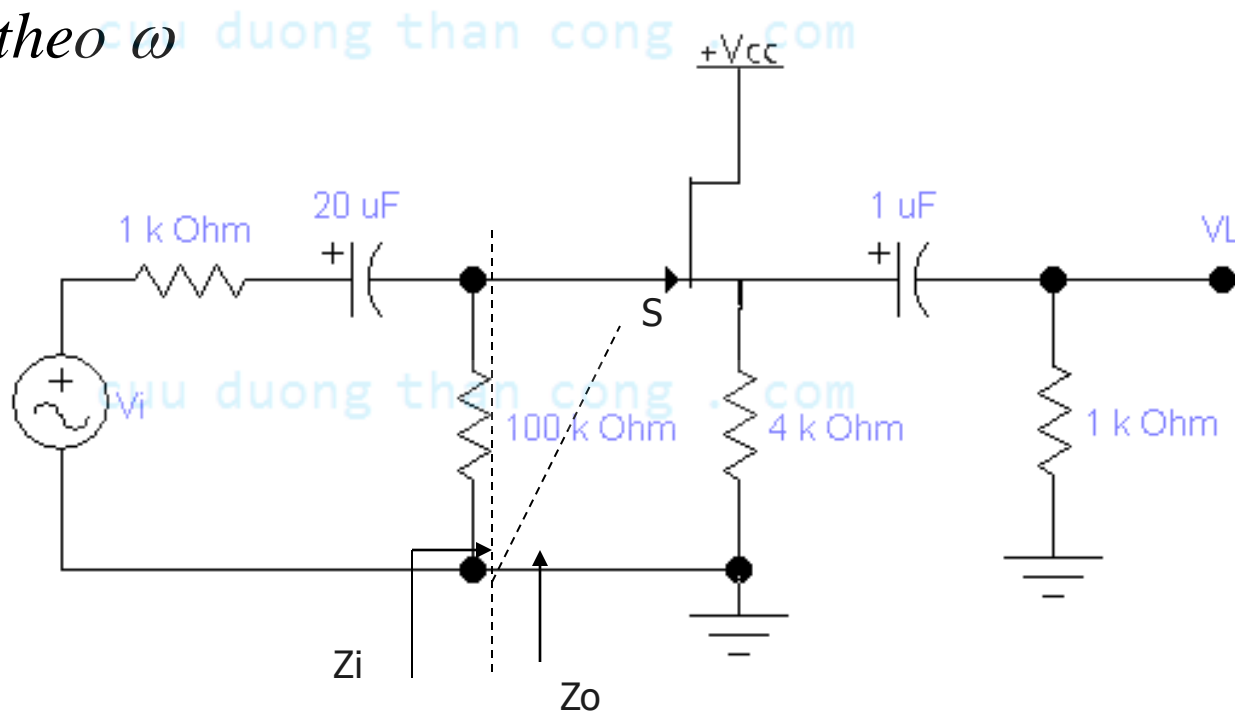
BÀI TẬP 7

Cho bộ kéo theo nguồn cho trong hình B11.10, hãy vẽ:

a) $|Z_i|$ theo ω

b) $|Z_o|$ theo ω

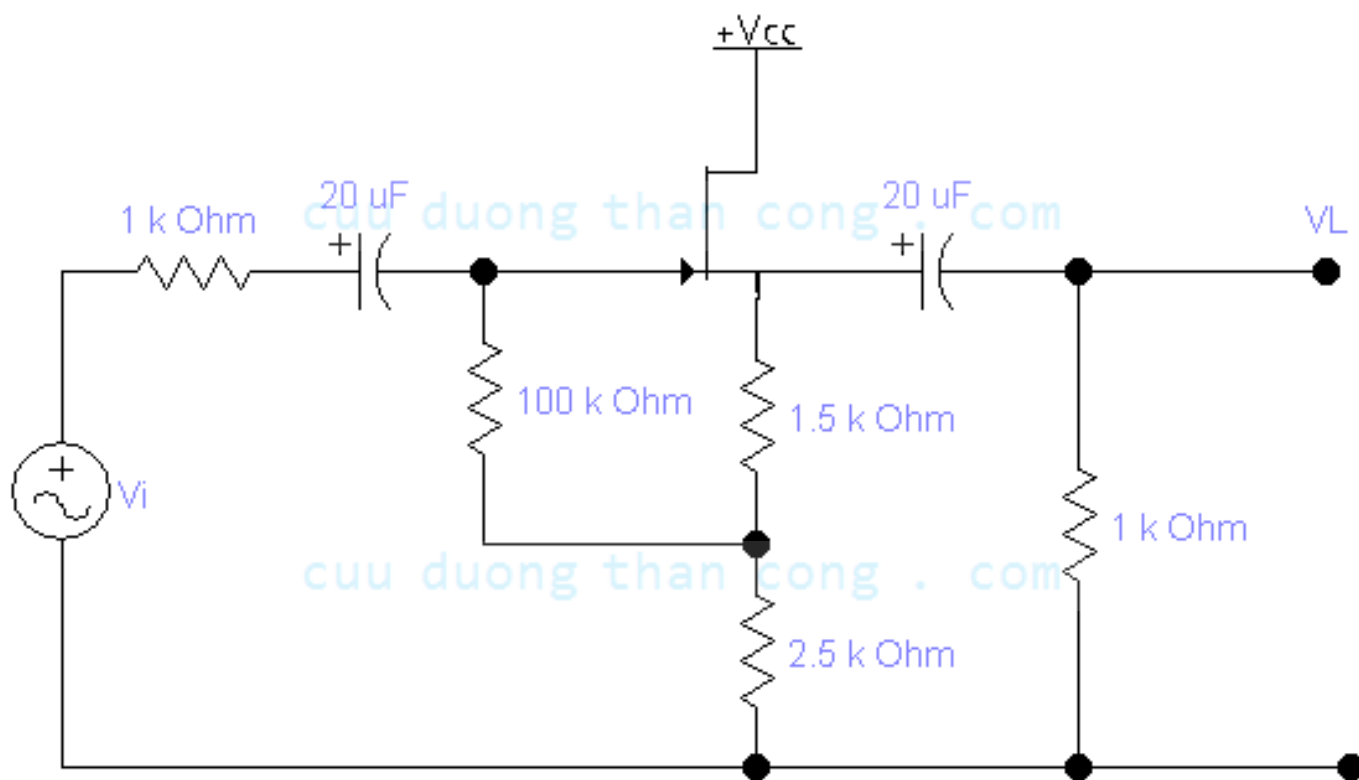
c) $|A_v| = \left| \frac{v_i}{v_o} \right|$ theo ω





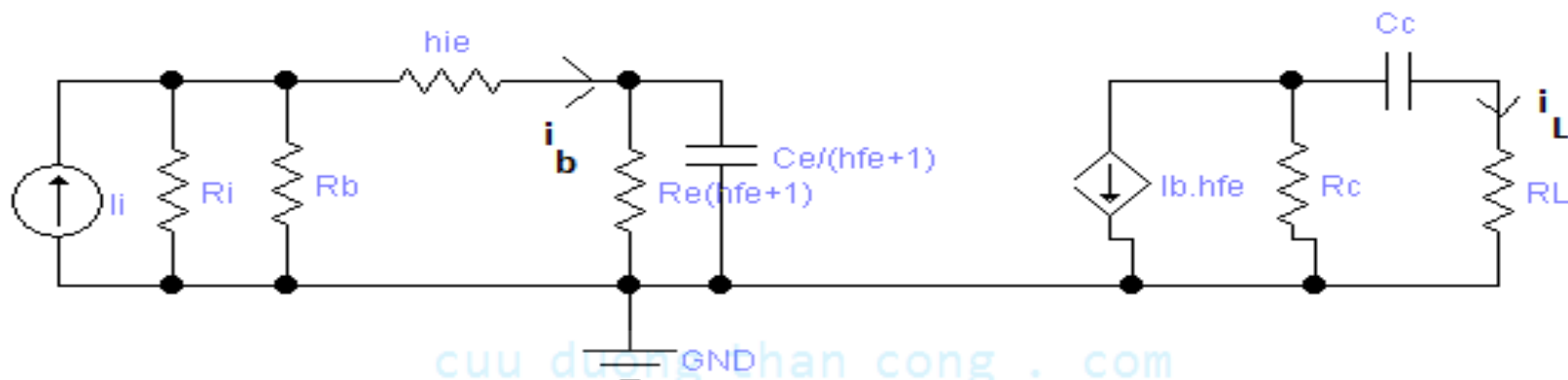
BÀI TẬP 8

Tính và vẽ $|Y_o|$ cho bộ kéo theo nguồn cho trong hình B11.11

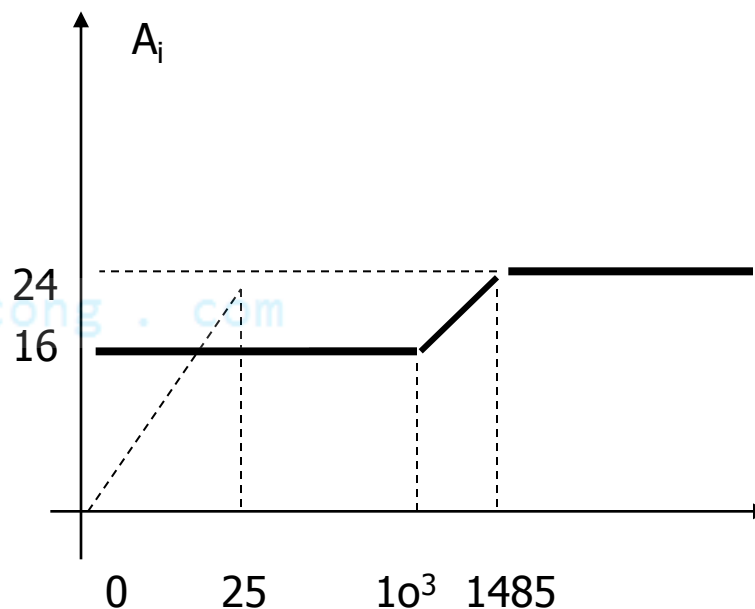




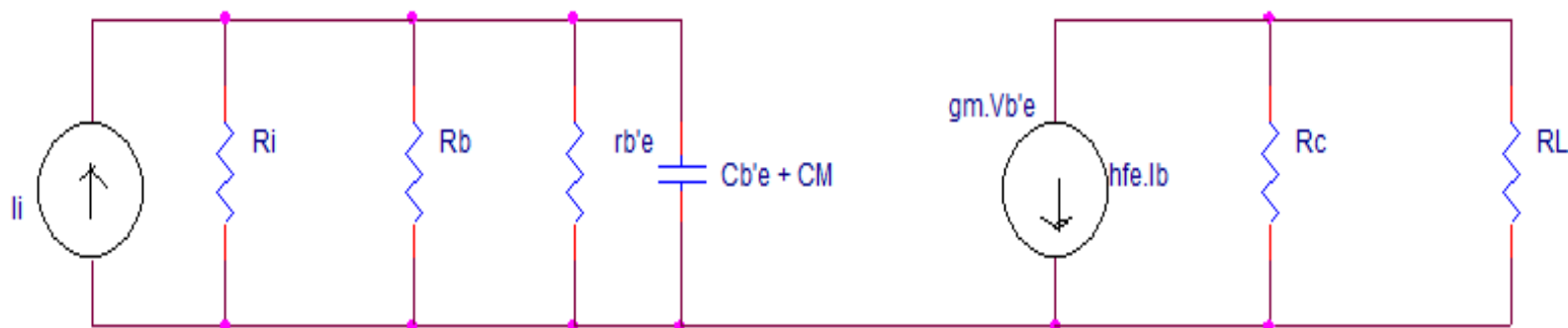
ĐÁP ÁN 1



- $R_b = R1 // R2 = 10k // 100k = 10k$
- $V_{BB} = V_{CC} \cdot R1 / (R1 + R2) = 20 \cdot 10 / 110 = 1.81V$
- $I_{CQ} = (V_{BB} - 0.7) / (R_b / h_{fe} + R_e) = 3.7 \text{ mA}$
- Suy ra $h_{ie} = 0.34k$
- $Z1 = (h_{fe} + 1) \cdot [R_e // 1/sC_e]$
- $= 51 \cdot (0.1 // 10^5/s) = 51 \cdot 10^5 / (s + 10^5)$
- $Z2 = R_L + 1/sC_c = 10^3 + 5 \cdot 10^4 / s$



ĐÁP ÁN 2



cuu duong than cong . com

- $R_b = R_1 // R_2 = 10k // 1k = 0.9k$
- $g_m = 40I_{CQ} = 0.4 \text{ mho}$
- $C_{b'e} = g_m / \omega_T = 400 \text{ pF}$
- $CM = [1 + g_m.(R_c // R_L)]C_{b'e} = 1000 \text{ (pF)}$
- $A_{im} = -g_m.[R_c / (R_c + R_L)].[r_{b'e}.(r_i // R_b) / (r_i // R_b + r_{b'e})] = -38$
- $\omega_h = 3.64 \text{ (Mrad/s)}$



ĐÁP ÁN 3

Ta có : $r_{b'e} = \frac{25}{2} h_{fe} = 12,5h_{fe}$

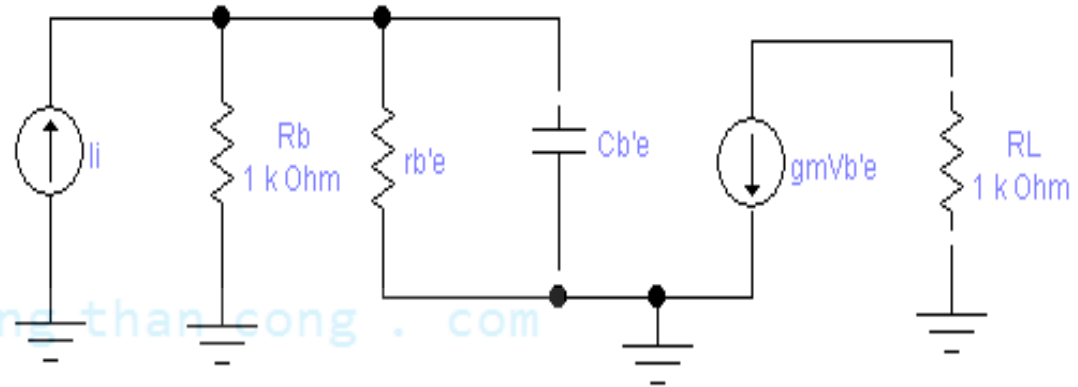
Từ (1) và (2) suy ra :

$$1000h_{fe} - 500h_{fe} = 32 \times 103$$

$$\Rightarrow h_{fe} = 64 \Rightarrow r_{b'e} = 800\Omega$$

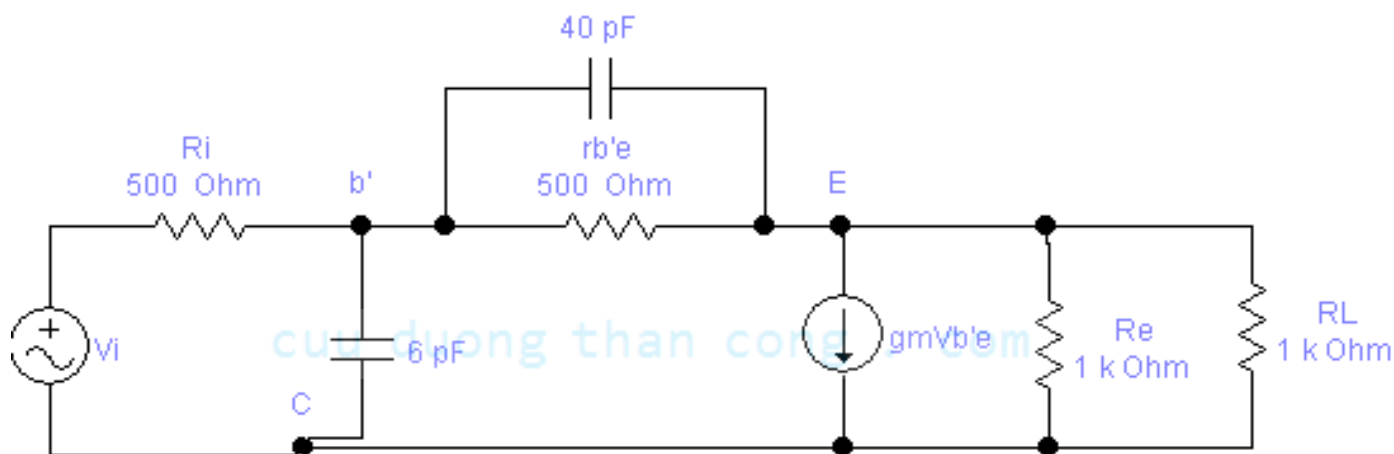
Mặc khác : Tần số cắt $w_{\beta} = \frac{1}{(R_b // r_{b'e}) C_{b'e}}$

$$\Rightarrow C_{b'e} = \frac{1}{(R_b // r_{b'e}) w_{\beta}} = 44,76\mu F \quad A_{im} = \frac{i_L}{i_i} = -g_m r_{b'e} \frac{R_b}{R_b + r_{b'e}} = -32$$





ĐÁP ÁN 4



a) Dễ thấy : $A_{vm} = \frac{V_L}{V_i} \approx 1$

b) $A_v = \frac{V_L}{V_i} = \frac{V_L}{V_{b'}} \frac{V_{b'}}{V_i}$



ĐÁP ÁN 4 (tt)

$$\text{Ta có } \frac{V_e}{V_{b'}} = \frac{0.04 + 0.002 + j\omega 40 \times 10^{-12}}{0.04 + 0.004 + j\omega 40 \times 10^{-12}} \approx 1$$

Với $\omega < \omega_\beta$

$$\frac{V_e}{V_{b'}} = \frac{1}{1 + j\omega 3 \times 10^{-9}}$$

$$\text{Lấy } \omega = \omega_\beta = 50 \times 10^6 \Rightarrow \frac{V_{b'}}{V_i} = \frac{1}{1 + j\omega 0.15} \approx 1$$

Từ 13.1 -26c (SGK)

$$\omega > \omega_\beta$$



ĐÁP ÁN 4 (tt)

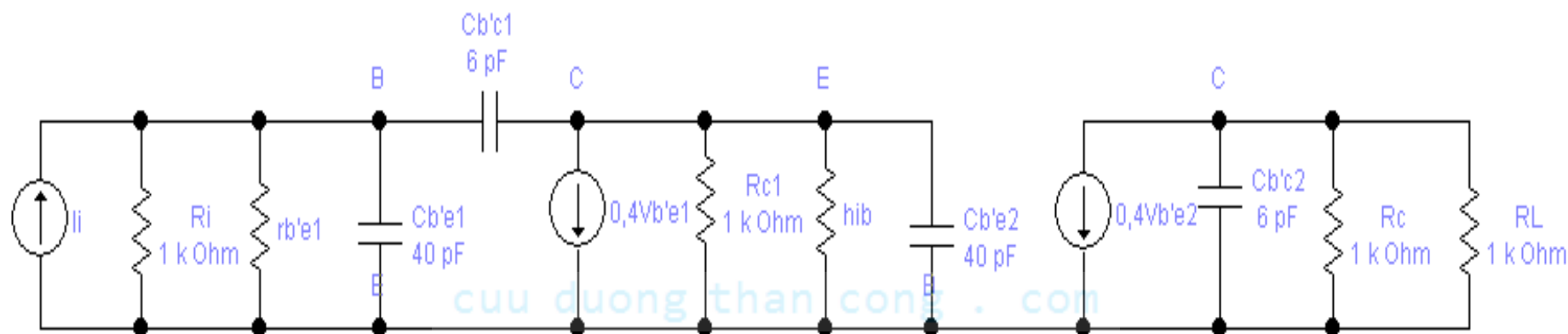
$$\frac{V_{b'}}{V_i} = \frac{1+5500(2 \times 10^{-2})}{1+s[(500+500)2 \times 10^{-2}+500(6\text{pF})]+s^2(500 \times 2 \times 10^{-12})3 \times 10^{-9}}$$

$$\approx \frac{1+s10^{-9}}{1+50 \times 10^{-10}s+s^2 3 \times 10^{-18}}$$

$$\Leftrightarrow 2(1+10^{-18}w_h^2) = (1-3 \times 10^{-18}w_h^2)^2 + 25 \times 10^{-18}w_h^2$$
$$= 1+9 \times 10^{-36}w_h^4+19 \times 10^{-18}w_h^2$$

$$\Rightarrow w_h = 2.45 \times 10^8 \text{ rad/s}$$

ĐÁP ÁN 5



Độ lợi dòng dây giữa :

$$\begin{aligned}
 A_{im} &= \frac{I_L}{i_i} = \frac{I_L}{0.4V_{b'e2}} \frac{0.4V_{b'e2}}{0.4V_{b'e1}} \frac{0.4V_{b'e1}}{i_i} \\
 &= - \frac{R_{c2}}{R_{c2} + R_L} 0.4 \frac{R_{c1}}{R_{c1} + h_{ib}} 0.4 \frac{R_i}{R_i + r_{b'e1}} \approx -6.6
 \end{aligned}$$



ĐÁP ÁN 5 (tt)

Áp dụng Miller :

$$\begin{aligned}\text{Đối với transistor 1: } C_M &= C_{b'e1}(1+0.4h_{ib}) \\ &= 6(1+0.4 \times 5) \approx 12\text{pF}\end{aligned}$$

$$\Rightarrow C_T = C_M + C_{b'e1} = 52\text{pF}$$

Tần số cắt :

$$\begin{aligned}W_{h1} &= \frac{1}{(R_i // r_{b'e1})C_T} = \frac{1}{333(52 \times 10^{-12})} \\ &= 57.7\text{Mrad/s}\end{aligned}$$

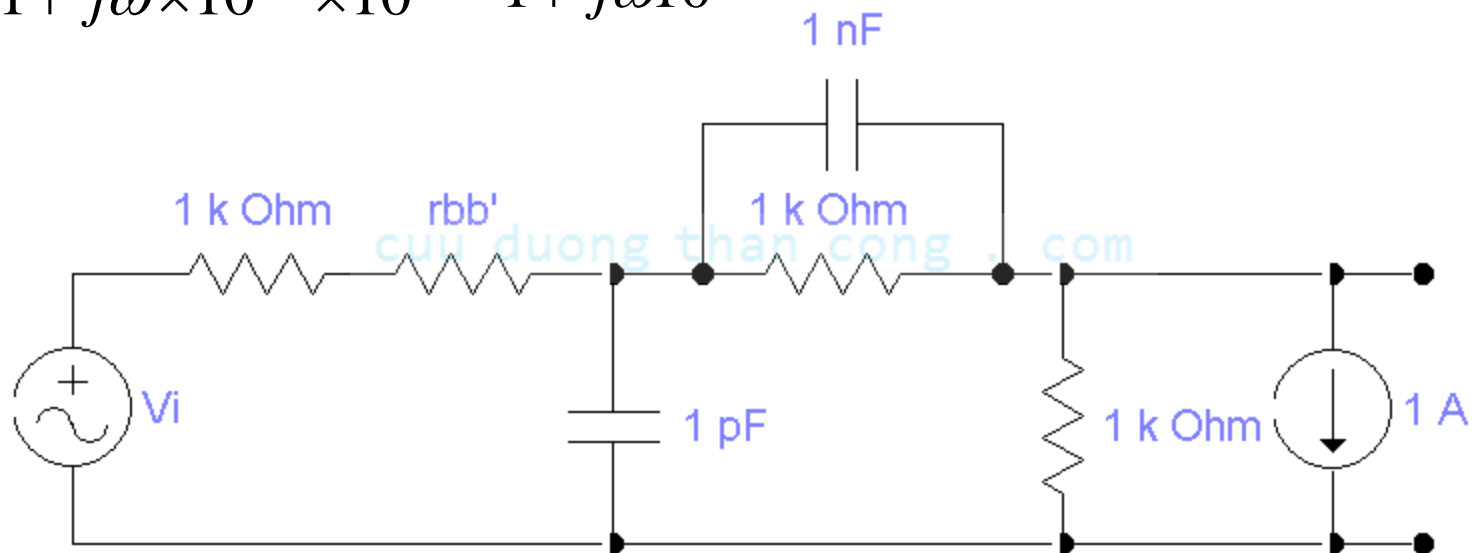
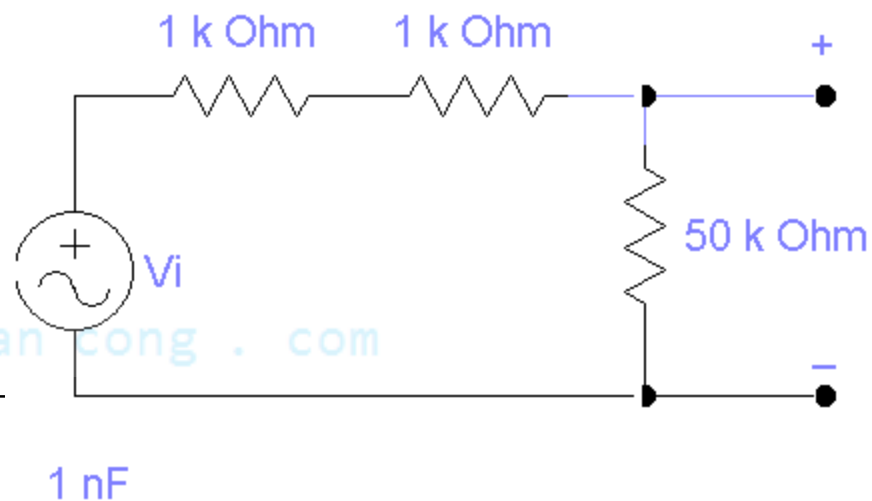
$$\begin{aligned}W_{h2} &= \frac{1}{(R_{c2} // R_L)C_{b'e2}} = \frac{1}{500(6 \times 10^{-12})} \\ &= 333\text{Mrad/s}\end{aligned}$$



ĐÁP ÁN 6

$$\omega_h < \omega_\beta \quad \frac{v_{b'}}{v_i} = \frac{50}{51} \approx 1$$

$$\frac{v_{b'}}{v_i} = \frac{1}{1 + j\omega \times 10^{-11} \times 10^3} = \frac{1}{1 + j\omega 10^{-8}}$$





ĐÁP ÁN 6 (tt)

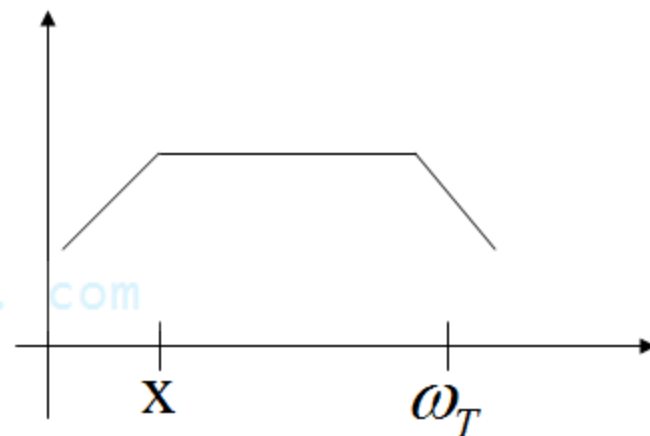
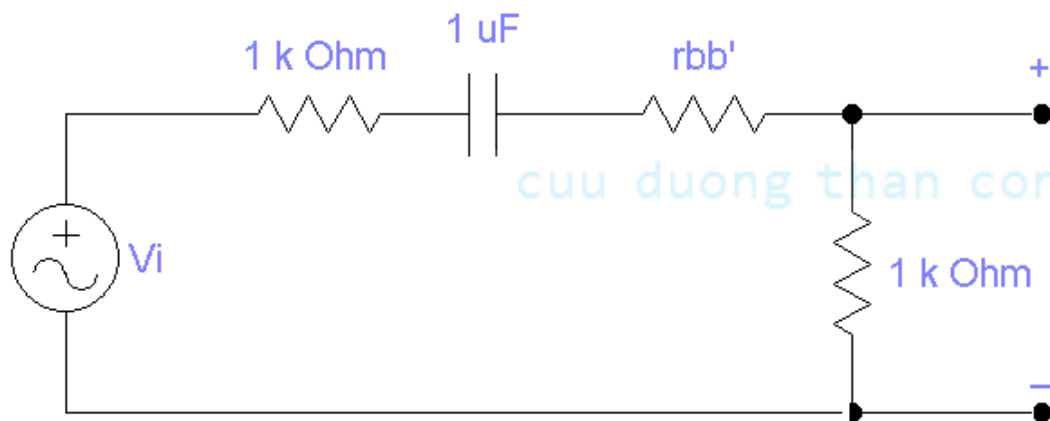
$$\omega_h < \omega_\beta$$

$$C' = \frac{10^{-9}}{1 + 0,05(1000)} \approx 20 \text{ pF}$$

$$\frac{v_e}{v_i} = \frac{50k}{52k + 1 / (j\omega 20 \times 10^{-6})} = \frac{j\omega}{1 + j\omega}$$

$$A_T = \frac{v_{b'}}{v_i} = \frac{1 + j\omega 10^3 \times 2 \times 10^{-11}}{1 + j\omega [2 \times 10^3 \times 2 \times 10^{-11} + 10^3 \times 10^{-11}] - \omega^2 10^3 (2 \times 10^{-11}) 10^{-8}}$$

$$= \frac{1 + j\omega 2 \times 10^{-8}}{1 + j\omega \times 10^{-8} - \omega^2 2 \times 10^{-16}}$$



$$\omega = \omega_h; 2(1 + 4\omega_h^2) = (1 - 2\omega_h^2) + 25\omega_h^2 \rightarrow \omega_h = 27 \text{ Mrad / s}$$



ĐÁP ÁN 7

$$C_{gs}=6\text{pF}; C_{gd}=2\text{pF}; g_m=3 \times 10^{-3}; r_{ds}=83\text{k}$$

$$Z'_i = 800 + \frac{[1 + 3 \times 10^{-3} (800)]}{j\omega 6 \times 10^{-12}}$$

$$Z'_0 = 330 \frac{1 + j\omega 8 \times 10^{-9}}{(1 + j\omega 2 \times 10^{-9})(1 + j\omega 2 \times 10^{-9})}; A_v = \frac{V_g}{V_i} \frac{V_g}{V_g}$$

$$\frac{V_g}{V_i} = \frac{800 // 1000}{1000} \frac{1}{1 + (1 + j\omega 2 \times 10^{-12} (800 // 1000))} = 0,445 \frac{1}{1 + j\omega 890 \times 10^{-12}}$$

$$g_m (r_{ds} // R_s) = 2,4$$

$$\frac{V_s}{V_g} = \frac{2,4}{3,4} \frac{1 + j\omega \times 10^{-9}}{1 + j\omega \times 10 (1 + j\omega 0,89 \times 10^{-9})}$$



ĐÁP ÁN 8

$$v_{gs} = v_g - v_1$$

$$v_g = v_1 \frac{\frac{1000}{1 + j\omega 2 \times 10^{-9}}}{\frac{1000}{1 + j\omega 2 \times 10^{-9}} + \frac{1}{j\omega 6 \times 10^{-12}}} + \frac{0,625 v_1}{10^5} \times \frac{10^3}{1 + j\omega 8 \times 10^{-9}} v_1$$

$$v_g = v_1 \frac{5}{800} \frac{1 + j\omega \times 10^{-6}}{1 + j\omega 8 \times 10^{-9}}$$

$$v_{gs} = \left(\frac{v_g}{v_i} - 1 \right) = v_1 \frac{\frac{5}{800} - 1 - j\omega 2 \times 10^{-9}}{1 + j\omega 8 \times 10^{-9}} = -v_1 \frac{1 + j\omega 2 \times 10^{-9}}{1 + j\omega 8 \times 10^{-9}}$$

$$i_3 = -j\omega 6 \times 10^{-12} v_{gs} = v_i (j\omega 6 \times 10^{-12}) \frac{1 + j\omega 2 \times 10^{-9}}{1 + j\omega 8 \times 10^{-9}}$$



ĐÁP ÁN 8 (tt)

$$i_4 = \frac{v_1}{4000}$$

$$y_0 = \frac{i_1}{v_1} = \frac{1}{r_{ds}} + g_m \frac{1 + j\omega 2 \times 10^{-9}}{1 + j\omega 8 \times 10^{-9}} + j\omega 6 \times 10^{-12} \frac{1 + j\omega 2 \times 10^{-9}}{1 + j\omega 8 \times 10^{-9}}$$

$$y_0 = \frac{1}{4000} + 3 \times 10^{-3} \frac{(1 + j\omega 2 \times 10^{-9})^2}{1 + j\omega 8 \times 10^{-9}}$$

$$r_{ds} = 83k; g_m = 3 \times 10^{-3} \Omega; z_0 = \frac{v_1}{i_i}$$

$$i_1 = \frac{v_1}{r_{ds}} + i_2 - g_m v_{gs}$$

$$i_2 = i_3 + i_4$$