
6GEI620 - Électronique II

Examen Partiel #1

Solutionnaire

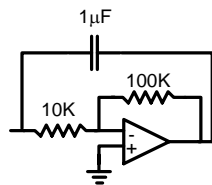
Hiver 2009

Modalité:

- Aucune documentation n'est permise.
 - Vous avez droit à une calculatrice non programmable.
 - La durée de l'examen est de 2h45.
 - Cet examen compte pour 25% de la note finale.
-

Question 1. Questions théoriques. (14 points)

- a) En utilisant le théorème de Miller, déterminez la valeur du condensateur que verrait une source connectée à l'entrée ? Considérez que le gain est infini. (2 point)



Le theoreme de Miller dit que l'entree va voir une capacite de $C(1-A)$. Ici, le gain de notre configuration est de -10. Donc, la capacite que va voir l'entree est une capacite de $11\mu\text{F}$.

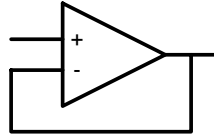
- b) Donnez UNE situation ou l'on préférerait utiliser la base commune à la place de l'émetteur commun. Expliquez pourquoi. (1 point)

J'imagine que je peux accepter le cas ou on veut un gain positif a la place d'un gain negatif. Une autre option serait de parler des applications ou on veut une resistance faible a l'entree comme pour le « matching » d'impedances. Derniere option serait dans les cas ou l'on veut la haute vitesse. On sait que l'effet de Miller n'est pas present et donc, on peut normalement operer a des vitesses plus elevees.

- c) Nommez 2 bénéfiques significatives d'utiliser les techniques par constantes de temps compare a la méthode « traditionnelle »? (1 point)

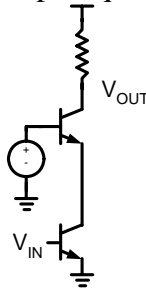
C'est plus rapide et ça donne la contribution de chaque « element ». Connaissant la contribution de chaque element, on est capable de savoir d'ou viennent les problemes et on pourra les regler.

- d) Le circuit suivant montre un amplificateur avec un gain égal a 1. Dans quel cas c'est utile (1 exemple) ? (1 point)



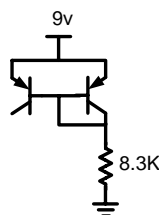
Les suiveurs sont bons pour isoler les resistances des differents etages. On pense par exemple a une source de tension avec une resistance interne qui est connectee a une configuration d'amplificateur. La valeur de la resistance interne peut affecter le gain de l'amplificateur. Pour empecher ce comportement, on peut mettre un suiveur.

- e) Le circuit ci-dessous est un amplificateur en connexion cascode. On dit que ça réduit l'effet de Miller. Expliquez pourquoi. (2 point)



Une configuration cascode, c'est comme un emetteur commun connecte a une base commune. Le gain de l'emetteur commun est determine par $-g_m R_C$. Dans ce cas-ci, a la place d'avoir un R_C , on a « l'entree de la base commune ». La resistance R_{IN} de la base commune devient le R_C de l'emetteur commun. Le gain sera donc $-g_m r_e = -g_m r_e / (\beta + 1) = -\beta / (\beta + 1)$. Cette valeur est moins que -1. Ayant un gain de -1, l'effet de Miller n'a pas beaucoup d'effet. Par la suite, ce signal passe par la base commune qui donne un gain de $g_m R_C$. En multipliant les gains ensembles, on se retrouve avec un circuit qui a un gain de $-g_m R_C$. La seule difference c'est que le gain est fait par la base commune et donc, l'effet de Miller n'est pas present.

- f) Dessinez un miroir de courant de 1mA avec deux transistors PNP, une alimentation de 9v et une résistance. (2 points)



- g) Quels 3 éléments du modèle petit signal modélisent le comportement à hautes fréquences? Expliquez brièvement d'où ils proviennent. (1 point)

r_x , c_{π} , c_{μ} , C_{μ} et C_{π} sont des capacités parasites qui proviennent des 2 diodes PN dans les transistors. La résistance r_x provient de la résistance dans la base qui est seulement significative à hautes fréquences.

- h) En feedback négatif, on sait que les tensions V_+ et V_- tendent à être égales. Que peut-on dire que V_+ et V_- quand on est en feedback positif? (2 point)

On ne peut rien dire...

- i) A quoi sert le condensateur à l'émetteur en configuration émetteur commun? Que se passerait-il si le condensateur n'y était pas? (1 point)

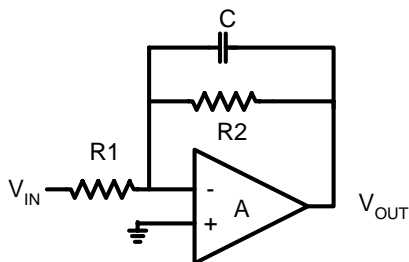
Ca sert à contourner la résistance de l'émetteur qui est là pour s'assurer qu'on est en région active.

- j) Proposez UNE modification de circuit que vous pouvez faire pour augmenter la fréquence d'opération maximale d'un émetteur commun? Expliquez. (1 point)

On sait qu'en temps normal, la fréquence maximale de l'émetteur commun est limitée par la capacité de Miller. On pourrait donc 1. réduire la résistance de source 2. réduire le gain (R_C) 3. connexion cascode 4. mettre un suiveur à l'entrée...

Question 2. Pour la question 2, tous les amplificateurs sont alimentés avec +5v et -5v. (8 points)

- a) Quelle est la fonction de transfert de ce circuit si A n'est pas infini? (3 points)
b) Quelle est la fonction de transfert de ce circuit si A est infini? (1 point)



$$\frac{v_{in} - v_-}{r1} = \frac{v_- - v_{out}}{r2} + sC(v_- - v_{out})$$

$$\frac{v_{in}}{r1} - \frac{v_-}{r1} = \frac{v_-}{r2} - \frac{v_{out}}{r2} + sCv_- - sCv_{out}$$

$$\frac{v_{in}}{r1} = \frac{v_-}{r1} + \frac{v_-}{r2} + sCv_- - \frac{v_{out}}{r2} - sCv_{out}$$

$$v_{out} = A(v_+ - v_-)$$

$$\frac{v_{out}}{A} = v_+ - v_-$$

$$v_- = v_+ - \frac{v_{out}}{A}$$

$$v_- = -\frac{v_{out}}{A}$$

$$\frac{v_{in}}{r1} = v_- \left(\frac{1}{r1} + \frac{1}{r2} + sC \right) - \frac{v_{out}}{r2} - sCv_{out}$$

$$\frac{v_{in}}{r1} = -\frac{v_{out}}{A} \left(\frac{1}{r1} + \frac{1}{r2} + sC \right) - \frac{v_{out}}{r2} - sCv_{out}$$

$$\frac{v_{in}}{r1} = -v_{out} \left[\frac{1}{A} \left(\frac{1}{r1} + \frac{1}{r2} + sC \right) + \frac{1}{r2} + sC \right]$$

$$-\frac{1}{r1 \left[\frac{1}{A} \left(\frac{1}{r1} + \frac{1}{r2} + sC \right) + \frac{1}{r2} + sC \right]} = \frac{v_{out}}{v_{in}}$$

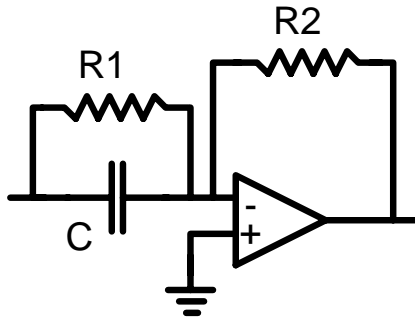
Quand A tend vers l'infini, on obtient

$$-\frac{1}{\left[\frac{r1}{r2} + sCr1 \right]} = \frac{v_{out}}{v_{in}}$$

- c) Le concepteur d'un bras robotique vient vous voir parce qu'il a besoin d'aide. Le bras qu'il a construit est un système en boucle fermée qui est instable. En faisant un calcul mathématique rapide il trouve qu'il aurait besoin d'avoir un bloc qui a la fonction de transfert suivante : $T(s) = -(10 + 0.1s)$. Concevez un circuit avec un amplificateur opérationnel idéal et des composantes passives pour réaliser cette fonction. Dessinez le circuit et choisissez les valeurs des composantes. (4 points)

On sait qu'on a besoin d'un gain et d'une dérivée NEGATIFS. On sait donc que l'entrée doit se faire par l'entrée négative.

On sait qu'en gain négatif, on a une résistance en feedback et une resistance en entree. On sait qu'on peut faire une derivee en mettant une capacite en entree et une resistance en feedback. On pourrait donc penser a une structure comme celle ci :



$$\frac{v_{in}}{R1} + sCv_{in} = \frac{-v_{out}}{R2}$$

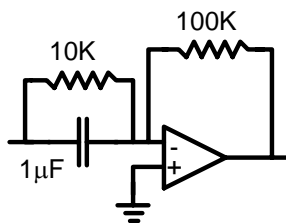
$$v_{in} \left(\frac{1}{R1} + sC \right) = \frac{-v_{out}}{R2}$$

$$-R2 \left(\frac{1}{R1} + sC \right) = \frac{v_{out}}{v_{in}}$$

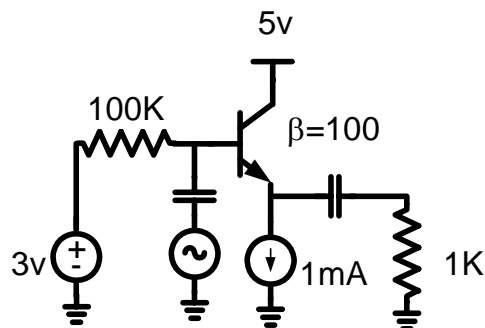
$$-\left(\frac{R2}{R1} + sCR2 \right) = \frac{v_{out}}{v_{in}}$$

On a besoin que $R2/R1$ soit égal a 10 et que $R2C$ soit égal a 0.1.
Il faut donc juste que $R2$ soit 10 fois plus grand que $R1$ et qu'on choisisse C pour que ca arrive a 0.1. $R1=10K$, $R2=100K$ et $C=1\mu F$ pourrait faire ce travail.

$$-(10 + 0.1s) = \frac{v_{out}}{v_{in}}$$



Question 3. Considérez le circuit suivant. (9 points)



- a) Trouvez V_B , V_C et V_E . (2 points)
b) Trouvez I_B , I_C et I_E (2 points)

$$I_E = 1mA = (\beta + 1)I_B$$

$$I_B = \frac{1mA}{101} = 9.9\mu A$$

$$\frac{3 - V_B}{100K} = 9.9\mu A$$

$$3 - V_B = 0.99$$

$$V_B = 2.01$$

$$V_E = 1.31$$

$$I_C = 100(9.9\mu A) = 990\mu A$$

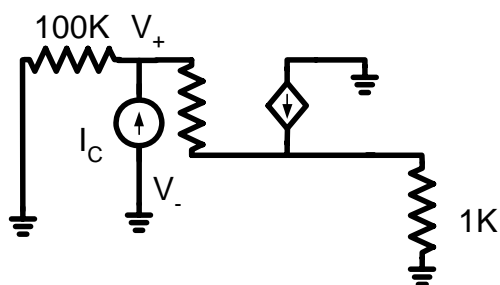
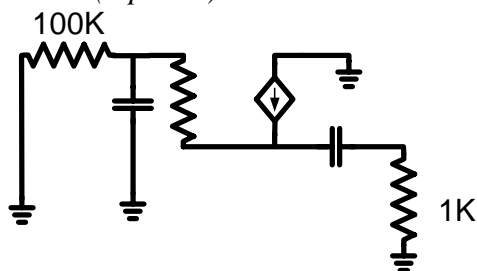
- c) Avec les réponses trouvées en a) et b) et en sachant que $V_A=100$, calculez les paramètres petit-signal pour le modèle en π . (2 points)

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{990\mu A}{25mV} = 0.0396$$

$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m} = \frac{100}{0.0396} = 2525$$

$$r_o = \frac{V_A}{I_C} = \frac{100}{990\mu A} = 101010$$

- d) Utilisez la méthode par constante de temps court-circuit pour trouver la fréquence de coupure si les 2 condensateurs étaient de $1\mu F$. Pour la question d), ignorez r_o . (3 points)



$$IC = \frac{v+}{100K} + \frac{v+ - va}{r\pi}$$

$$gm(v+ - va) + \frac{v+ - va}{r\pi} = \frac{va}{1K}$$

$$gm(v+) - gm(va) + \frac{v+}{r\pi} - \frac{va}{r\pi} = \frac{va}{1K}$$

$$gm(v+) + \frac{v+}{r\pi} = \frac{va}{1K} + \frac{va}{r\pi} + gm(va)$$

$$gm(v+) + \frac{v+}{r\pi} = va \left(\frac{1}{1K} + \frac{1}{r\pi} + gm \right)$$

$$gm(v+) + \frac{v+}{r\pi} = va \left(\frac{1}{1K} + \frac{1}{r\pi} + \frac{r\pi}{r\pi} gm \right)$$

$$gm(v+) + \frac{v+}{r\pi} = va \left(\frac{1}{1K} + \frac{1+\beta}{r\pi} \right)$$

$$v+ \left(gm + \frac{1}{r\pi} \right) = va \left(\frac{1}{1K} + \frac{1}{re} \right)$$

$$v+ \left(\frac{g_m r\pi}{r\pi} + \frac{1}{r\pi} \right) = va \left(\frac{1}{1K} + \frac{1}{re} \right)$$

$$v+ \left(\frac{1}{re} \right) = va \left(\frac{1}{1K} + \frac{1}{re} \right)$$

$$v+ \frac{\left(\frac{1}{re} \right)}{\left(\frac{1}{1K} + \frac{1}{re} \right)} = va$$

$$v+ \frac{1}{\left(\frac{r_e}{1K} + 1 \right)} = va$$

$$v+ \frac{1}{\left(\frac{r_e}{1K} + 1 \right)} = va$$

$$IC = \frac{v+}{100K} + \frac{v+}{r\pi} - \frac{va}{r\pi}$$

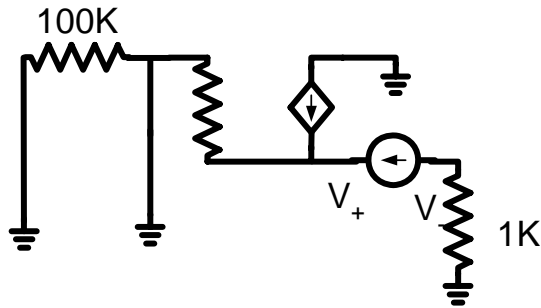
$$\begin{aligned}
 IC &= \frac{v+}{100K} + \frac{v+}{r\pi} - \frac{v+ \frac{1}{\left(\frac{r_e}{1K} + 1\right)}}{r\pi} \\
 IC &= v+ \left(\frac{1}{100K} + \frac{1}{r\pi} - \frac{1}{r\pi \left(\frac{r_e}{1K} + 1\right)} \right) \\
 \frac{1}{\left(\frac{1}{100K} + \frac{1}{r\pi} - \frac{1}{r\pi \left(\frac{r_e}{1K} + 1\right)} \right)} &= \frac{v+}{IC} \\
 \frac{1}{\left(\frac{1}{100K} + \frac{\left(\frac{r_e}{1K} + 1\right)}{r\pi \left(\frac{r_e}{1K} + 1\right)} - \frac{1}{r\pi \left(\frac{r_e}{1K} + 1\right)} \right)} &= \frac{v+}{IC} \\
 \frac{1}{\left(\frac{1}{100K} + \frac{\frac{r_e}{1K}}{r\pi \left(\frac{r_e}{1K} + 1\right)} \right)} &= \frac{v+}{IC} \\
 \frac{1}{\left(\frac{1}{100K} + \frac{r_e}{r\pi \left(\frac{1Kr_e}{1K} + 1K\right)} \right)} &= \frac{v+}{IC} \\
 \frac{1}{\left(\frac{1}{100K} + \frac{r_e}{r\pi(r_e + 1K)} \right)} &= \frac{v+}{IC}
 \end{aligned}$$

Autres formes possibles:

$$1. R_{EQ} = \frac{V_+}{I_C} = \frac{1}{\left(\frac{1}{r_\pi} + g_m\right) \left(\frac{1}{100K} + \frac{1}{r_\pi} - \frac{1}{r_\pi}\right)}$$

$$2. R_{EQ} = \frac{V_+}{I_C} = \frac{100Kr_\pi}{r_\pi + 100K - 100K \left(\frac{1K(\beta+1)}{r_\pi + 1K(\beta+1)}\right)}$$

$$3. R_{EQ} = \frac{100K}{1 + \frac{100K}{r_\pi + 1K(\beta+1)}}$$



$$IC + gm(0 - v_+) = \frac{V_+}{r_\pi}$$

$$IC + = \frac{V_+}{r_\pi} + v_+ + gm$$

$$IC = v_+ + \left(\frac{1}{r_\pi} + gm\right)$$

$$IC = v_+ + \left(\frac{1}{r_e}\right)$$

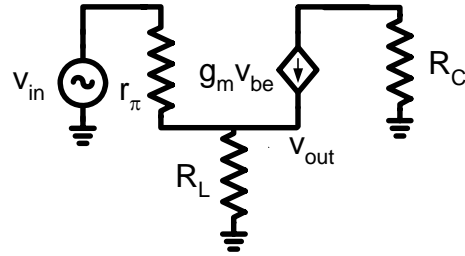
$$reIC = v_+$$

$$v_- = -IC1K$$

$$v_+ - v_- = reIC + IC1K$$

$$REQ = re + 1K$$

Question 4. Considérez le modèle petit-signal suivant où la source v_{in} n'a pas de résistance interne et où la charge est la résistance R_L . (9 points)



- Calculez le gain v_{out}/v_{in} de ce circuit. (3 points)
- Trouvez le R_{IN} (2 points)
- Trouvez le R_{OUT} (2 points)
- La figure précédente nous montre le modèle petit-signal. De quoi a l'air l'amplificateur en modèle gros signal ? Dessinez-le (ou une des possibilités si vous croyez qu'il peut y en avoir plusieurs) (2 points)

$$\frac{v_{in} - v_{out}}{r_{\pi}} + g_m(v_{in} - v_{out}) = \frac{v_{out}}{r_l}$$

$$\frac{v_{in}}{r_{\pi}} - \frac{v_{out}}{r_{\pi}} + g_m v_{in} - g_m v_{out} = \frac{v_{out}}{r_l}$$

$$\frac{v_{in}}{r_{\pi}} + g_m v_{in} = \frac{v_{out}}{r_l} + g_m v_{out} + \frac{v_{out}}{r_{\pi}}$$

$$v_{in} \left(\frac{1}{r_{\pi}} + g_m \right) = v_{out} \left(\frac{1}{r_l} + g_m + \frac{1}{r_{\pi}} \right)$$

$$\frac{\left(\frac{1}{r_{\pi}} + g_m \right)}{\left(\frac{1}{r_l} + g_m + \frac{1}{r_{\pi}} \right)} = \frac{v_{out}}{v_{in}}$$

$$\frac{\left(\frac{1}{r_e} \right)}{\left(\frac{1}{r_l} + \frac{1}{r_e} \right)} = \frac{v_{out}}{v_{in}}$$

$$i_{in} = \frac{v_{in} - v_{out}}{r_{\pi}}$$

$$v_{in} \frac{\left(\frac{1}{r_e} \right)}{\left(\frac{1}{r_l} + \frac{1}{r_e} \right)} = v_{out}$$

$$i_{in} = \frac{v_{in} - v_{in} \frac{\left(\frac{1}{re}\right)}{\left(\frac{1}{rl} + \frac{1}{re}\right)}}{r\pi}$$

$$i_{in} = v_{in} \frac{1 - \frac{\left(\frac{1}{re}\right)}{\left(\frac{1}{rl} + \frac{1}{re}\right)}}{r\pi}$$

$$i_{in} = v_{in} \frac{\left(\frac{1}{rl} + \frac{1}{re}\right) - \frac{\left(\frac{1}{re}\right)}{\left(\frac{1}{rl} + \frac{1}{re}\right)}}{r\pi}$$

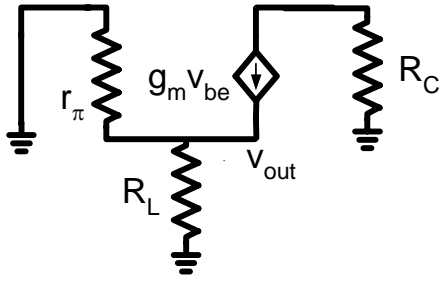
$$i_{in} = v_{in} \frac{\frac{\left(\frac{1}{rl}\right)}{\left(\frac{1}{rl} + \frac{1}{re}\right)}}{r\pi}$$

$$i_{in} = v_{in} \frac{\frac{\left(\frac{1}{rl}\right)}{\left(\frac{re+rl}{rre}\right)}}{r\pi} = v_{in} \frac{re}{r\pi(re+rl)}$$

$$i_{in} = v_{in} \frac{re}{(re+rl)r\pi}$$

$$\frac{(re+rl)r\pi}{re} = \frac{v_{in}}{i_{in}}$$

$$(re+rl)(\beta+1) = \frac{v_{in}}{i_{in}}$$



$$i_{out} + g_m v_{be} = \frac{v_{out}}{r_{\pi}}$$

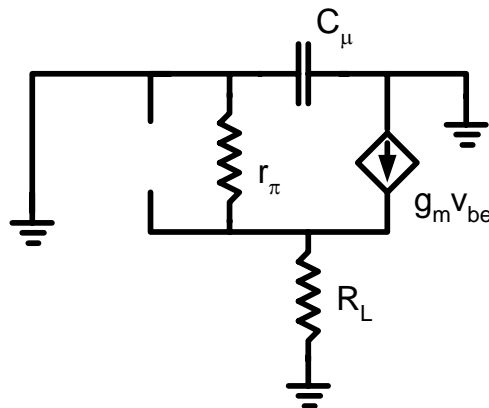
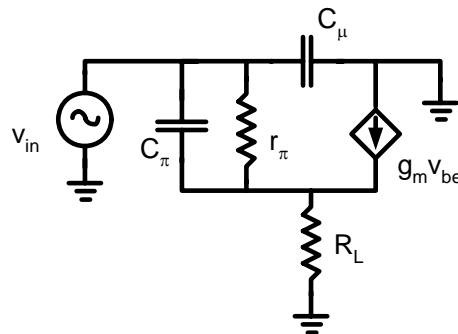
$$i_{out} - g_m v_{out} = \frac{v_{out}}{r_{\pi}}$$

$$i_{out} = \frac{v_{out}}{r_{\pi}} + g_m v_{out}$$

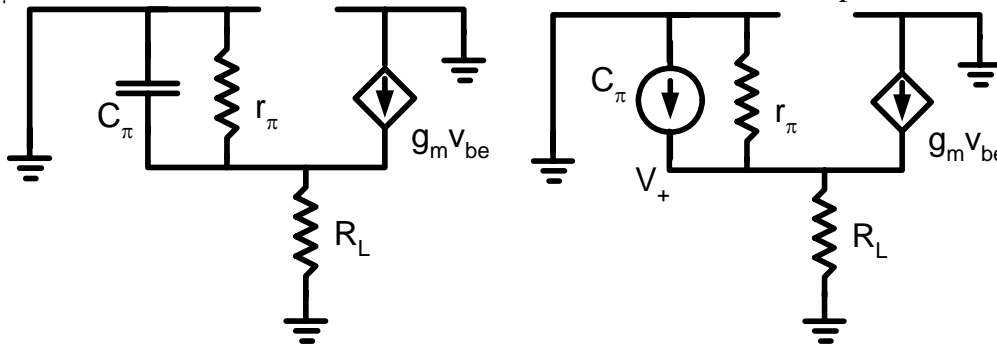
$$i_{out} = \frac{v_{out}}{r_e}$$

$$r_e = \frac{v_{out}}{i_{out}}$$

Question 5. Approximez la fréquence de coupure avec la méthode par constante de temps circuit-ouvert. (5 points)



Le c_μ est connecte entre 2 masses: son v_+ et v_- sont 0. Il ne contribue pas du tout.



$$IC + gm v_{be} = \frac{v_+}{r_\pi \parallel RL}$$

$$IC + gm(0 - v_+) = \frac{v_+}{r_\pi \parallel RL}$$

$$IC - gm v_+ = \frac{v_+}{r_\pi \parallel RL}$$

$$IC = \frac{v_+}{r_\pi \parallel RL} + gm v_+$$

$$IC = v_+ \left(\frac{1}{r_\pi \parallel RL} + gm \right)$$

$$\frac{1}{\left(\frac{1}{r_\pi \parallel RL} + gm \right)} = \frac{v_+}{IC}$$

$$R_{EQ} = \frac{1}{\left(\frac{1}{r_\pi \parallel RL} + gm \right)}$$

$$\omega_{-3dB} = \frac{1}{R_{EQ} C} = \frac{\left(\frac{1}{r_\pi \parallel RL} + gm \right)}{C}$$

D'autres facons d'ecrire REQ:

$$1. REQ = \frac{V_+}{I_C} = \frac{1}{\left(\frac{1}{r_\pi} + \frac{1}{RL} + gm \right)}$$

$$2. REQ = \frac{V_+}{I_C} = \left(r_\pi \parallel RL \parallel \frac{1}{g_m} \right)$$

Équations

$$I_E = (\beta + 1)I_B \quad I_E = I_B + I_C \quad \alpha = \frac{I_C}{I_E} \quad \alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}$$

Parametres petit-signal

$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m} \quad r_e = \frac{r_\pi}{(\beta + 1)} \quad g_m = \frac{I_C}{V_T} \quad r_o = \frac{V_A}{I_C}$$

Constantes

$$V_{BE} = 0.7 \quad V_{CE_SATURATION} = 0.2 \quad V_T = 25mV$$