
6GEI620 - Électronique II

Examen Partiel #2

Hiver 2007

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 15% de la note finale.
-

Question 1. Questions théoriques. (13 points)

- a) Nous savons que les courants I_C , I_E et I_B d'un transistor bipolaire en DC sont liés par la relation : $I_E = I_B + I_C$. Quelle est la relation entre les courants I_S , I_D et I_G (DC) d'un transistor CMOS? (1 point)

Avec les transistors CMOS, il n'y a pas de courant qui entre dans la grille en DC, donc $I_G = 0$.

Le courant qui va dans le drain se retrouve à la source (c'est un seul canal).

Donc, $I_D = I_S$

Pensez au circuit de la Figure 1. Quelle est la topologie d'amplificateur requise pour maximiser le gain si :

- b) R_{SIG} est élevé et R_L est élevé ? (expliquez) (1 point)

Les gains sont élevés avec grille commune et source commune. Cependant, avec une résistance R_{SIG} élevée, on perdrait du gain à l'entrée avec grille commune. Il faut donc une source commune.

- c) R_{SIG} est faible et R_L est faible ? (expliquez) (1 point)

Avec R_{SIG} faible, on aurait le choix de grille commune ou de source commune. Ce qui est important, c'est la sortie. On a besoin d'un étage avec faible résistance de sortie. J'imagine que j'accepterais aussi un seul étage de drain commun. Ça montre au moins que vous avez compris.

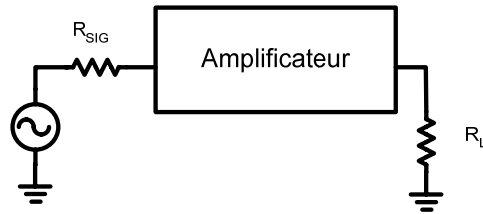


Figure 1. Exemple d'utilisation d'un amplificateur

- d) Pourquoi est-ce que la configuration cascode n'est pas affectée par l'effet de Miller ? (2 points)

On peut voir le cascode comme étant une source commune connectée avec une grille commune. La résistance de charge vue par la source commune est $1/g_m$ et donc, son gain est faible (autour de 1). Puisque l'effet de Miller est causé par un grand gain aux bornes d'un condensateur, on s'en débarrasse en mettant un faible gain. Le gain de notre cascode est obtenu avec l'étage de grille commune.

- e) Autre que la configuration cascode, donnez une autre façon de réduire l'effet de Miller (ou du moins, donnez la théorie qui pourrait nous aider à limiter son effet). (2 points)

Avec cascode, on a réduit le gain pour éliminer l'effet Miller. Le problème avec l'effet de Miller c'est qu'il réduit la bande passante. La fréquence de coupure est déterminée par la constante RC, soit la capacité de Miller ET la résistance de la source (ou celle connectée à la capacité de Miller). On pourrait donc réduire la résistance vue par la capacité de Miller. Une possibilité serait d'ajouter un étage de drain commun. Comme ça, la capacité de Miller ne verrait qu'une résistance de $1/g_m$ (faible).

Considérez le circuit de la Figure 2.

- f) Quel est le nom de cette configuration ? (1 point)

Grille commune... un point gratuit.

Encore avec la Figure 2, en augmentant la résistance à la source de tension, dites comment changent les gains entre les nœuds :

- g) V_a (entrée) et V_c (sortie) (1 point)

C'est le gain entre V_A et V_C qui est affecté par une augmentation de la résistance à la source de tension. C'est parce que la résistance à l'entrée est faible et il y aura une grosse chute de tension à la résistance de la source.

- h) V_b (entrée) et V_c (sortie) (1 point)

Ce gain n'est pas affecté par un changement de la résistance à la source.

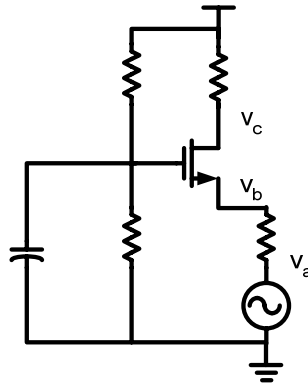


Figure 2. Une topologie d'amplificateur

- i) Un étudiant vient vous voir avec le circuit ci-dessous, où les transistors ont la même taille. Il vous demande de lui décrire le courant I_O (avec une équation ou autrement). (1 points)

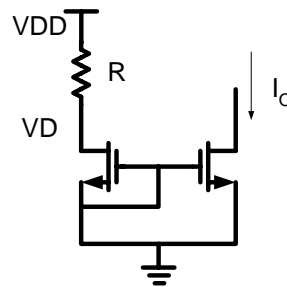


Figure 3. Circuit pour la question 1.

Les deux grilles sont connectées aux sources. $V_{GS}=0$, donc le courant sera aussi 0.

- j) Identifiez les 3 genres de configurations d'amplificateurs de base. Par la suite, décrivez les caractéristiques de ces amplificateurs en remplissant le tableau suivant avec des termes tels que "élevé", "faible", "unitaire", etc. (3 points)

Amplificateur	Résistance en entrée	Résistance à la sortie	Gain
SC	Élevé	Élevé	Élevé
GC	Faible	Élevé	Élevé
DC	Élevé	Faible	Unitaire

Question 2. Considérez le circuit suivant. Sachant que le transistor a la propriété suivante $\mu COX \left(\frac{W}{L} \right) = 0.01$, déterminez : (8 points)

- a) La région d'opération du transistor (avec justifications). (4 points)

$$V_G = 2.5$$

$$V_{GS} = 2.5$$

SI on etait en saturation, on aurait un courant de :

$$I_D = \frac{1}{2} \mu C O X \left(\frac{W}{L} \right) (V_{GS} - V_{TH})^2$$

$$I_D = \frac{1}{2} (0.01) (2.5 - 0.7)^2 = 16.2 \text{ mA}$$

Avec ce courant, on peut calculer le VD :

$$5 - 16.2 \text{ mA} \cdot 3 \text{ K} = -43.5 \text{ V}$$

On n'est certainement pas en saturation avec ce genre de VD.

Avec $V_{GS} > 0.7$, on conduit... on est donc dans la region triode/lineaire.

- b) On veut maintenant remplacer la résistance au drain avec la résistance maximale pour garder/mettre le transistor dans la région de saturation. Quelle est cette valeur de résistance? (Justifiez) (4 points)

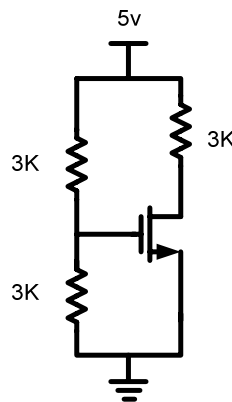


Figure 4. Circuit pour la question 2.

Pour être à la limite de la saturation, il faudrait que $V_{DS} = V_{GS} - V_{TH}$.

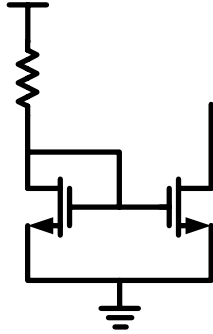
$$V_{DS} = V_{GS} - V_{TH} = 2.5 - 0.7 = 1.8$$

$$R_D = \frac{5 - 1.8}{16.2 \text{ mA}} = 197.5 \Omega$$

Question 3. Concevez un miroir de courant qui tire un courant de 1mA avec 2 transistors de même taille ayant $\mu C O X \left(\frac{W}{L} \right) = 0.01$, un $V_{TH} = 0.7$, $V_{DD} = 5 \text{ V}$ et une résistance dont la valeur est à déterminer. (6 points)

- a) Dessinez le miroir de courant. (1 point)
b) Déterminez la valeur de la résistance R choisie. (5 points)

On TIRE du courant, donc on veut être du style NMOS :



On a besoin d'être en saturation

Le courant qui passe dans la résistance doit être la même que celle dans le transistor (I_D , puisque $I_G=0$)

$$I_R = \frac{V_{DD} - V_D}{R} = \frac{V_{DD} - V_{GS}}{R}$$

$$I_D = I_R = \frac{V_{DD} - V_{GS}}{R}$$

$$V_{DD} - I_D R = V_{GS}$$

$$I_D = \frac{1}{2} \mu C O X \left(\frac{W}{L} \right) (V_{GS} - V_{TH})^2$$

$$I_D = \frac{1}{2} \mu C O X \left(\frac{W}{L} \right) (V_{DD} - I_D R - V_{TH})^2$$

$$I_D = \frac{1}{200} (4.3 - I_D R)^2$$

$$200 I_D = 18.49 - 8.6 I_D R + I_D^2 R^2$$

$$0.2 = 18.49 - 0.0086 R + 1 \times 10^{-6} R^2$$

$$0 = 18.29 - 0.0086 R + 1 \times 10^{-6} R^2$$

$$\frac{0.0086 \pm \sqrt{0.0086^2 - 4 \cdot 18.29 \cdot 1 \times 10^{-6}}}{2 \times 10^{-6}} = 4747,3853$$

Avec 4747 et un courant de 1mA, on aurait V_D moins que 0.3 (cutoff)

Avec 3853, on aurait V_D plus que 1.1 (on est correct).

On choisira donc la valeur de 3853.

Question 4. Considérez le circuit de la Figure 5. On a commence à l'analyser en écrivant des équations. À la fin, on s'est retrouvé avec une équation quadratique qui nous donne 2 réponses possibles pour le courant I_D : 0.495mA et 0.727mA. (6 points)

a) Quel courant est le bon ? Pourquoi? (4 points)

Sachant que $V_G=2.5$, un courant de 0.727mA donnerait un V_S de 2.181. Donc le V_{GS} serait moins que 0.7.

Un courant de 0.495mA nous donnerait un courant de 1.485, qui donne un V_{GS} de plus que 1v. On est donc en train de conduire.

On aurait aussi un V_D de plus que 3.5v et donc, on serait en saturation.

b) Remplacez le transistor par son modèle petit-signal (sans calcul de parametres) et redessinez le circuit pour l'analyse petit-signal (ne faites pas l'analyse). (2 points)

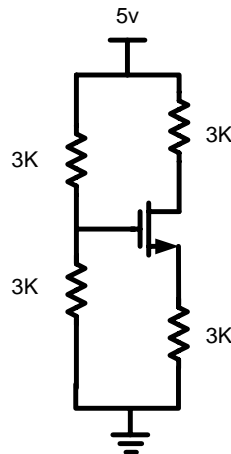
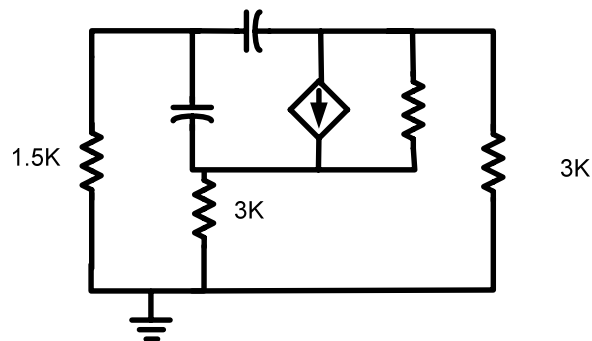


Figure 5. Circuit pour la question 4.

2 choses a noter : Les resistances a la grille sont connectes en parallele et la resistance R_D est maintenant connecte a la masse.



Question 5. À l'aide de la méthode par constantes de temps circuit-ouvert, trouvez la fréquence de coupure du circuit de la Figure 6. (5 points)

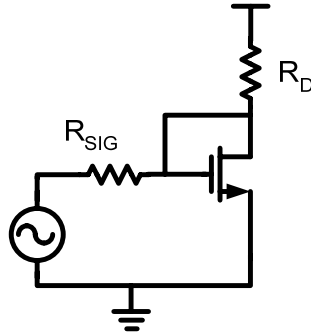
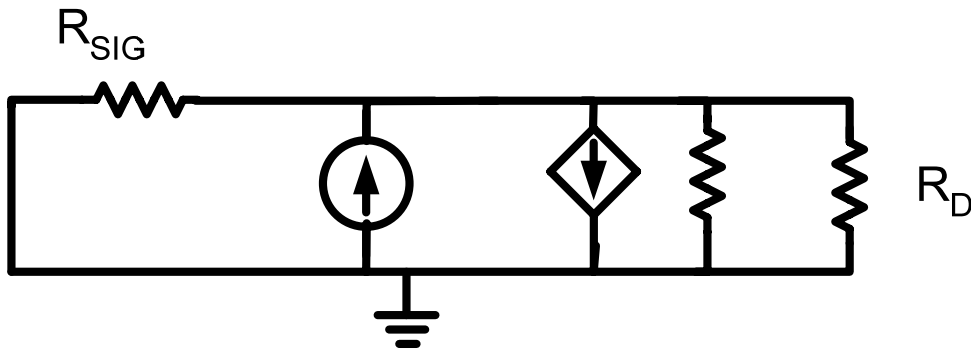
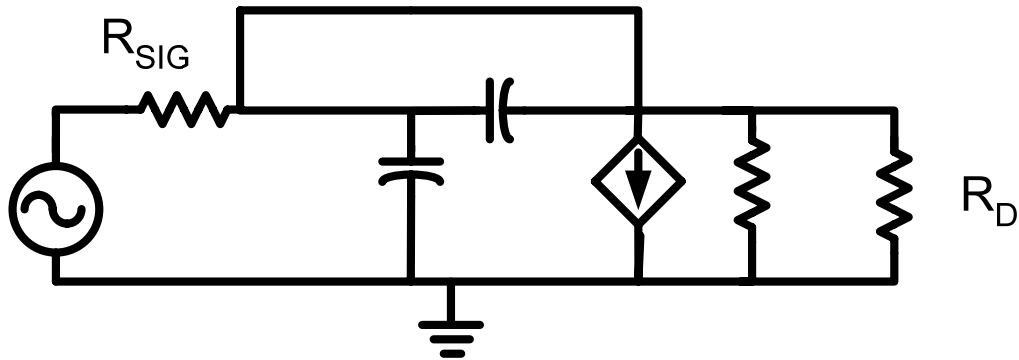


Figure 6. Circuit pour la question 5.



$$I_C = \frac{V_+}{\left(R_{SIG} \parallel r_o \parallel R_D \parallel \frac{1}{g_m} \right)}$$

$$R_{EQ} = \frac{V_+}{I_C} = R_{SIG} \parallel r_o \parallel R_D \parallel \frac{1}{g_m}$$

$$\omega_{-3dB} = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{C_{GS} R_{EQ}} = \frac{1}{\left(R_{SIG} \parallel r_o \parallel R_D \parallel \frac{1}{g_m} \right) C_{GS}}$$

Question 6. À l'aide de la méthode par constantes de temps circuit-ouvert, trouvez la fréquence de coupure du circuit de la Figure 7. (5 points)

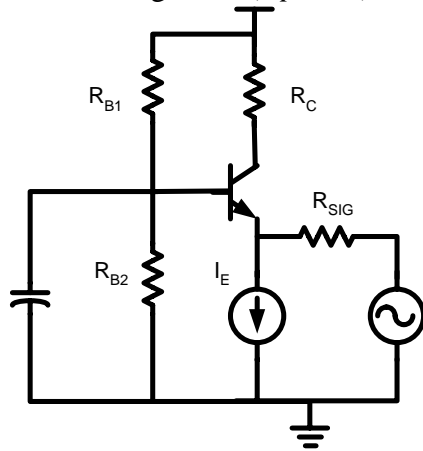
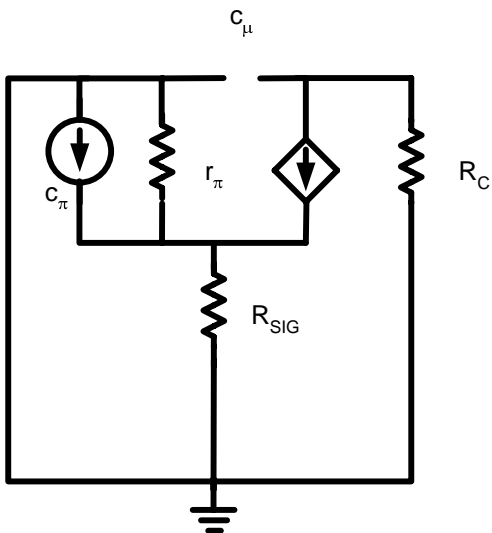
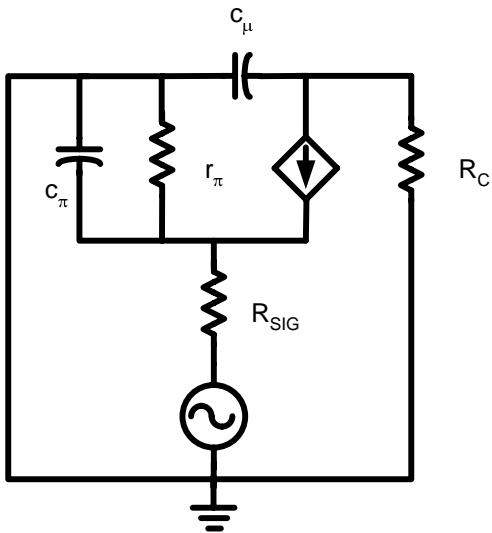


Figure 7. Circuit pour la question 6



$$I_C + g_m(0 - V_+) = \frac{V_+}{r_\pi \parallel R_{SIG}}$$

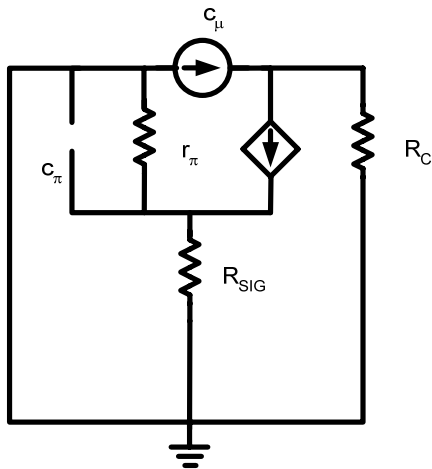
$$I_C = \frac{V_+}{r_\pi \parallel R_{SIG}} + g_m V_+$$

$$I_C = V_+ \frac{1}{r_\pi \parallel R_{SIG}} + g_m$$

$$REQ = \frac{V_+}{I_C} = \frac{1}{\frac{1}{r_\pi \parallel R_{SIG}} + g_m}$$

$$REQ = \frac{V_+}{I_C} = \left(r_\pi \parallel R_{SIG} \parallel \frac{1}{g_m} \right)$$

$$\tau = C_\pi R_{EQ} = C_\pi \left(r_\pi \parallel R_{SIG} \parallel \frac{1}{g_m} \right)$$



$$I_C = \frac{V_+}{R_C} + g_m(0 - V_A)$$

$$g_m(0 - V_A) = \frac{V_A}{(r_\pi \parallel R_{SIG})}$$

$$-g_m V_A = \frac{V_A}{(r_\pi \parallel R_{SIG})}$$

$$I_C = \frac{V_+}{R_C}$$

$$REQ = \frac{V_+}{I_C} = R_C$$

$$\tau = C_\mu R_{EQ} = C_\mu R_C$$

$$\omega_{-3dB} = \frac{1}{\tau_1 + \tau_2} = \frac{1}{C_{\mu}R_C + C_{\pi} \left(r_{\pi} \parallel R_{SIG} \parallel \frac{1}{g_m} \right)}$$

Question 7. Pour le circuit de la Figure 8, (9 points)

- a) Trouvez le gain. (3 points)
- b) Trouvez la résistance en entrée. (3 points)
- c) Trouvez la résistance a la sortie. (3 points)

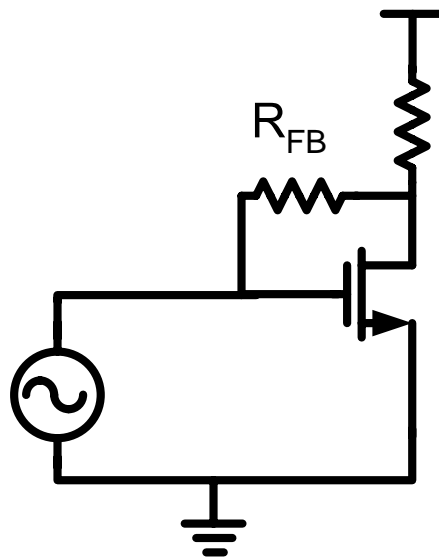
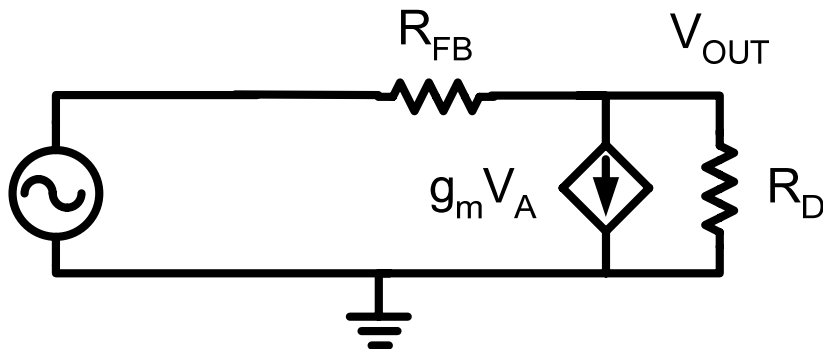


Figure 8. Circuit pour la question 7.



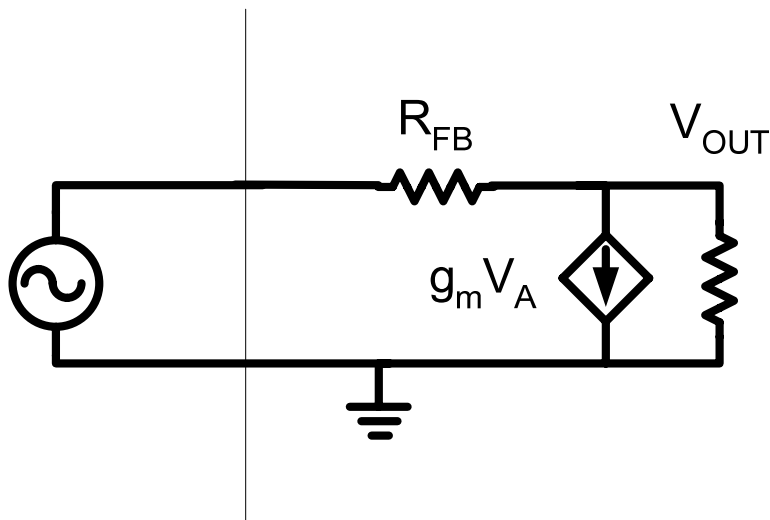
$$\frac{v_{in} - v_{out}}{r_{fb}} = g_m v_{in} + \frac{v_{out}}{r_d}$$

$$\frac{v_{in}}{r_{fb}} - gm v_{in+} = \frac{v_{out}}{rd} + \frac{v_{out}}{r_{fb}}$$

$$v_{in} \left(\frac{1}{r_{fb}} - gm \right) = v_{out} \left(\frac{1}{rd} + \frac{1}{r_{fb}} \right)$$

$$\left(\frac{1}{r_{fb}} - gm \right) = \frac{v_{out}}{v_{in}} \left(\frac{1}{rd} + \frac{1}{r_{fb}} \right)$$

$$\left(\frac{1}{r_{fb}} - gm \right) (rd \parallel r_{fb}) = \frac{v_{out}}{v_{in}}$$



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

$$\frac{v_{in}}{r_{fb}} - \frac{v_{out}}{r_{fb}} = gm v_{in+} + \frac{v_{out}}{rd}$$

$$\frac{v_{in}}{r_{fb}} - gm v_{in+} = \frac{v_{out}}{rd} + \frac{v_{out}}{r_{fb}}$$

$$v_{in} \left(\frac{1}{r_{fb}} - gm \right) = v_{out} \left(\frac{1}{rd} + \frac{1}{r_{fb}} \right)$$

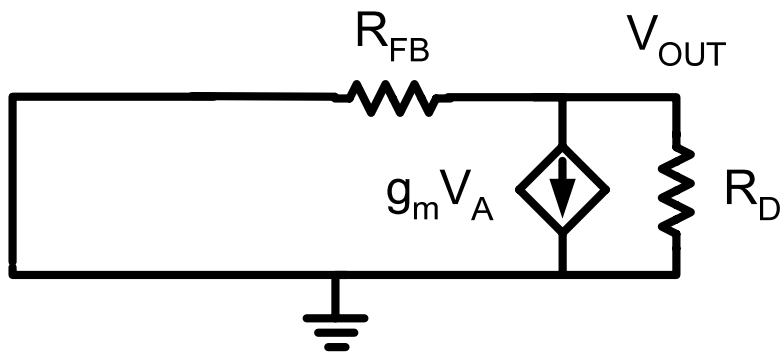
$$v_{in} \frac{\left(\frac{1}{r_{fb}} - gm \right)}{\left(\frac{1}{rd} + \frac{1}{r_{fb}} \right)} = v_{out}$$

$$i_{in} = \frac{v_{in}}{r_{fb}} - \frac{v_{in} \left(\frac{1}{r_{fb}} - gm \right)}{\left(\frac{1}{rd} + \frac{1}{r_{fb}} \right) r_{fb}}$$

$$i_{in} = v_{in} \frac{1}{r_{fb}} - \frac{\left(\frac{1}{r_{fb}} - gm \right)}{\left(\frac{1}{rd} + \frac{1}{r_{fb}} \right) r_{fb}}$$

$$r_{in} = \frac{v_{in}}{i_{in}} = \frac{r_{fb}}{1 - \frac{\left(\frac{1}{r_{fb}} - gm \right)}{\left(\frac{1}{rd} + \frac{1}{r_{fb}} \right)}}$$

$$r_{in} = \frac{v_{in}}{i_{in}} = \frac{r_{fb}}{1 - \left(\frac{1}{r_{fb}} - gm \right) (rd \parallel r_{fb})}$$



$$i_{out} = \frac{v_{out}}{rd \parallel r_{fb}} + gm v_a$$

Avec $v_a = 0$

$$r_{out} = \frac{v_{out}}{i_{out}} = rd \parallel r_{fb}$$

Équations :

Courant de drain en saturation :

$$I_D = \frac{1}{2} \mu C_{ox} \left(\frac{W}{L} \right) (V_{GS} - V_{TH})^2$$

Courant de drain en triode

$$I_D = \mu C_{ox} \left(\frac{W}{L} \right) (V_{GS} - V_{TH}) V_{DS}$$

Saturation pour NMOS :

$$V_{DS} \geq V_{GS} - V_{TH}$$