
6GEI620 - Électronique II

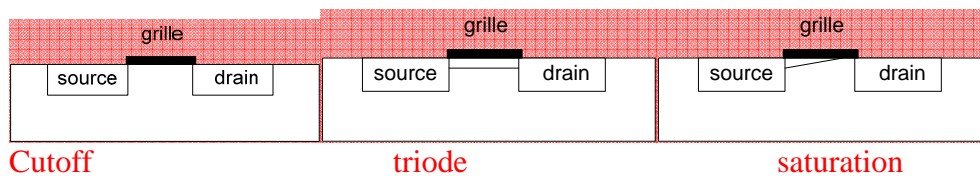
Examen Partiel #2 Solutionnaire Preliminaire Hiver 2006

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. (8 points)

- a) Dessinez la vue de coupe d'un transistor NMOS (incluant le canal) quand le transistor opère en saturation, en triode (linéaire) et en « cutoff ».



- b) Quelle topologie d'amplificateur est sujette à l'effet Miller ? Expliquez.

Source commune. Gain élevé au travers d'une capacité C_{GD} .

- c) Quelle topologie d'amplificateur est utilisée pour commander des faibles charges résistives.

Drain commun (faible résistance de sortie)

- d) On utilise la configuration en cascade pour augmenter la résistance de sortie des miroirs de courant. Quel facteur nous empêcherait de mettre un grand nombre de transistors en cascade ? (en supposant que le prix et la surface ne soient pas des facteurs importants)

Chaque transistor en cascade nous fait perdre une portion de la tension ($V_{GS} + \Delta V$)

- e) On utilise le circuit de la figure 1 en espérant qu'on puisse donner un courant constant à la résistance. On décide de garder le courant de référence constant tout en faisant diminuer la résistance à la charge. Si on suppose que les transistors restent en saturation, comment pourrait-on expliquer que le courant à la sortie change avec la valeur de la résistance.

La résistance de sortie n'est pas infinie. C'est-à-dire que la valeur de la tension au drain du transistor affecte le courant.

- f) En relation avec la question e), comment pourrait-on diminuer la dépendance du courant sur la valeur de la résistance ?

Configuration cascode.

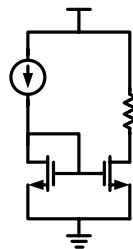


Figure 1

- g) À quoi sert le condensateur placé entre le premier et le deuxième étage d'un amplificateur opérationnel?

Capacité de Miller pour faire chuter le gain pour prévenir l'instabilité de l'amplificateur quand il est connecté en rétroaction.

- h) Quelle topologie d'amplificateur a un gain qui diminue quand son entrée est connectée à une source de tension qui a une grande résistance de sortie? Pourquoi ?

Grille commune. Son entrée a une faible résistance et il y aura une grosse chute de tension à la résistance de sortie de la source.

Question 2. Considérez le circuit de la figure 2. Le transistor a un $\mu_n C_{OX} = 1 \text{ mA/V}^2$, $V_{TH} = 0.7$, $W = 10 \mu\text{m}$ et $L = 2 \mu\text{m}$. (8 points)

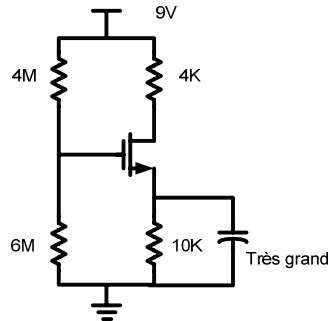


Figure 2.

On peut écrire 3 équations assez rapidement :

$$v_g = \frac{v_{dd} r_2}{r_1 + r_2} \quad (\text{Diviseur de tension})$$

$$v_s = i_d r_s \quad (\text{loi d'Ohm})$$

$$i_d = \frac{1}{2} \frac{\mu_n C_{ox} W (v_{gs} - v_{th})^2}{l} \quad (\text{courant en saturation})$$

En remplaçant V_{GS} par $V_G - V_S$ et en substituant, on se retrouve avec :

$$i_d = \frac{1}{2} \frac{\mu_n C_{ox} W \left(\frac{v_{dd} r_2}{r_1 + r_2} - i_d r_s - v_{th} \right)^2}{l}$$

On remplace par des chiffres:

$$i_d = .002500000000 (4.700000000 - 10000 i_d)^2$$

$$0 = .05522500000 - 236.0000000 i_d + 250000.0000 i_d^2$$

Deux réponses possibles

$$.0004285949312, .0005154050688$$

$$V_G = 5.4$$

En utilisant la deuxième réponse, on aurait un V_{GS} plus bas que 0.7.

Dans l'autre cas, c'est plus que 0.7. On prend donc 0.0004285A

$$V_S = 4.285V$$

$$V_D = V_{DD} - I_D(4K)$$

$$V_D = V_{DD} - 1.714 = 7.286V$$

$$V_{DS} = 3$$

$$V_{GS} - V_{TH} = 0.415$$

Puisque $V_{DS} > V_{GS} - V_{TH}$, on est en saturation

Avec la source connectée à la masse en petit signal, c'est la source commune

- Quel est le courant qui passe par le drain ?
- Quelles sont les tensions au drain, à la source et à la grille du transistor ?
- Dans quelle région opère ce transistor ?
- Comment s'appelle cette topologie d'amplificateur ?

Question 3. Décrivez de façon qualitative, la résistance à l'entrée, la résistance à la sortie et le gain des trois amplificateurs CMOS de base. Utilisez des termes comme faible, élevé, unitaire, etc. (4 points)

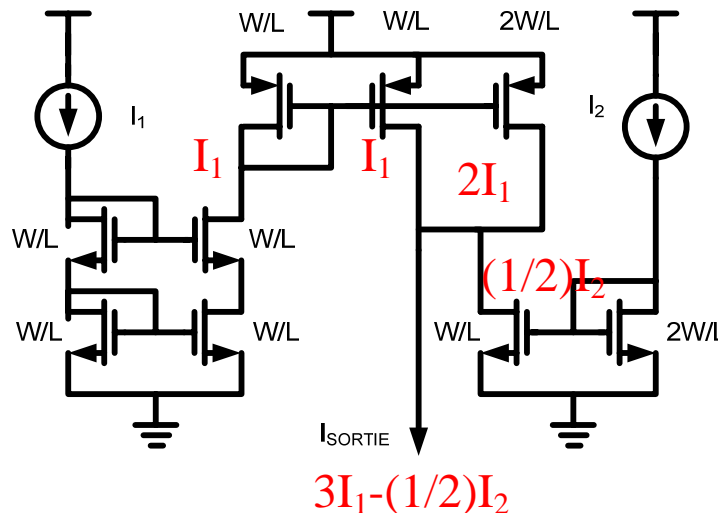
Amplificateur	Résistance en entrée	Résistance à la sortie	Gain
Source commune	infini	Élevé	Élevé
Drain commun	Infini	Faible	Unitaire
Grille commune	faible	Élevé	élevé

Question 4. Considérez les circuits de la figure 3 et portez bien attention aux tailles W/L des transistors. (8 points)

- Dans la figure 3 a), quelle est la valeur du courant I_{SORTIE} ?
- On sait qu'une onde carrée peut être obtenue en additionnant des ondes sinusoïdales comme dans l'équation suivante.

$$f_{carré}(t) = \sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \dots$$

A l'aide des 3 sources montrées à la figure 3 b), concevez, avec des miroirs de courant simples, un circuit qui peut envoyer une onde carrée à une résistance reliée directement à la masse.



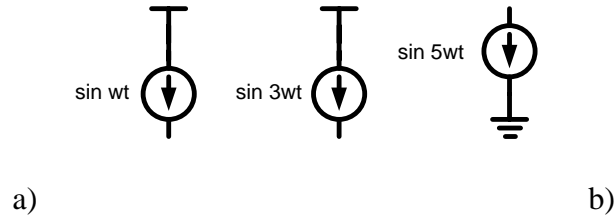
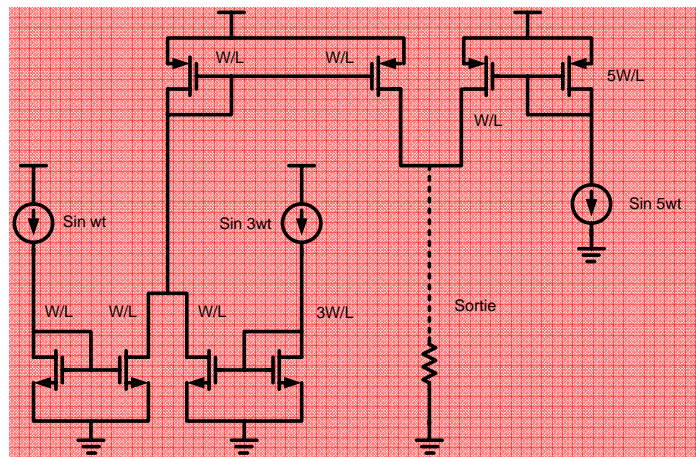


Figure 3



Question 5. Considérez le circuit de la figure 4. Les paramètres du circuit sont : $g_{mQ1}=5g_{mQ2}$, $C_{GSQ1}=5C_{GSQ2}$ et $C_{GDQ1}=5C_{GDQ2}$. (10 points)

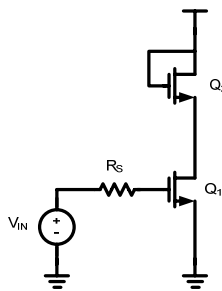
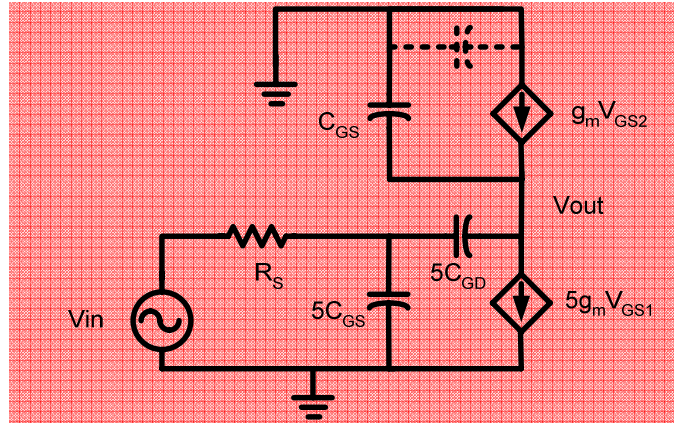


Figure 4



a) Trouvez le gain de cette structure à basse fréquence.

A basse fréquence, $v_{gs1} = v_{in}$.

On peut écrire l'équation de courant au nœud de sortie :

$$5g_m v_{in} = -g_m v_{out}$$

Les g_m s'annulent

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = -5$$

b) Approximez, avec la méthode des constantes de temps à circuit ouvert, la fréquence de coupure (en rad/s) du circuit.

Il y a 3 condensateurs, alors on va s'attendre à ce qu'il y ait 3 constantes de temps. L'INVERSE de la somme nous donnera la fréquence de coupure.

Pour le condensateur $5C_{GS}$:

On met les autres condensateurs en circuit ouvert, et on met les sources indépendantes à 0 (source de voltage court-circuitée). Le condensateur voit seulement R_S .

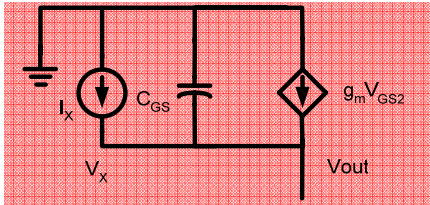
$$\tau_1 = 5C_{GS} R_S$$

Pour le condensateur C_{GS} :

En mettant les autres condensateurs en circuit ouvert, on observe tout d'abord que v_{gs1} est égal à 0. La source dépendante $g_m v_{gs1}$ donne un courant de 0, et peut donc être considérée comme étant un circuit ouvert.

On pourrait voir la source v_{gs2} simplement comme étant une résistance de $1/g_m$. Mais, si vous n'êtes pas convaincus, on peut le faire au long :

On ajoute une source de courant test I_x qui INJECTE un courant dans le nœud de sortie VOUT.



On ajoute les courants a la sortie

$$I_x + g_m v_{gs2} = 0$$

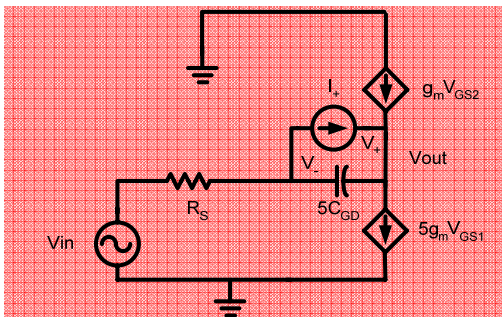
Vgs2 est egal a -vx

$$I_x - g_m v_x = 0$$

On isole vx/ix :

$$\frac{v_x}{I_x} = \frac{1}{g_m}$$

$$\tau_2 = \frac{C_{GS}}{g_m}$$



On trouve la tension v- en multipliant a resistance par le courant

$$V_- = -I_x R_S$$

Ensuite, pour trouver le v+, il faut ecrire l'equation des courants a nœud de sortie :

$$I_x + g_m v_{gs2} = 5g_m v_{gs1}$$

On remplace vgs1, par que c'est egal a v- et on a déjà trouve v- :

$$I_x - g_m v_+ = 5g_m (-I_x R_S)$$

On isole v+ :

$$v_+ = 5(I_x R_S) + \frac{I_x}{g_m}$$

On prend cette equation et on soustrait l'equation de v- :

$$v_+ - v_- = 5(I_x R_S) + \frac{I_x}{g_m} + I_x R_S$$

Ix est un facteur commun a droite, alors on factorise et on divise des deux bord :

$$\frac{v_+ - v_-}{I_X} = 5R_S + \frac{1}{g_m} + R_S$$

On regroupe RS :

$$\frac{v_+ - v_-}{I_X} = 6R_S + \frac{1}{g_m}$$

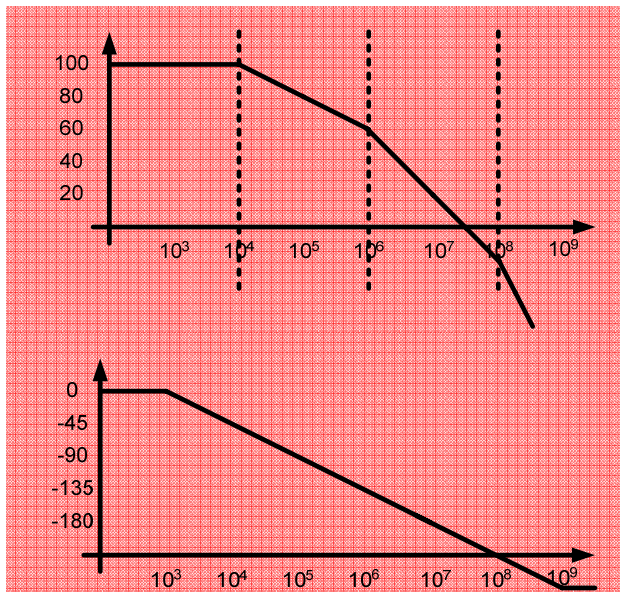
$$\tau_3 = \left(6R_S + \frac{1}{g_m}\right)5C_{GD}$$

$$\omega_{-3db} = \frac{1}{\tau_1 + \tau_2 + \tau_3} = \frac{1}{5C_{GS}R_S + \frac{C_{GS}}{g_m} + \left(6R_S + \frac{1}{g_m}\right)5C_{GD}}$$

Question 6. Un ingénieur junior a conçu un amplificateur opérationnel à deux étages. En analysant le circuit, vous voyez que la fonction de transfert en boucle ouverte est donnée par l'équation suivante : (6 points)

$$F(s) = \frac{100000}{\left(\frac{s}{10^4} + 1\right)\left(\frac{s}{10^6} + 1\right)\left(\frac{s}{10^8} + 1\right)}$$

- Tracez les diagrammes de Bode pour le gain et pour la phase.
- Est-ce que cet amplificateur est stable ? Expliquez.



Si on examinait bien la figure, on verrait que l'amplificateur n'est pas stable. Quand le déphasage est de 180, le gain est encore de 20dB.

Question 7. Considérez les circuits à la figure 5 pour répondre aux questions. (6 points)

- a) On dit qu'un transistor connecté en diode peut être considéré comme étant une résistance. Quelle serait la valeur de cette résistance ?

$1/g_m$

- b) En analyse petit signal, quelles seraient les tensions à V1 et à V2 ?

Les deux seraient à la masse.

- c) Trouvez la résistance en r_{out} en supposant que tous les transistors sont de mêmes tailles.

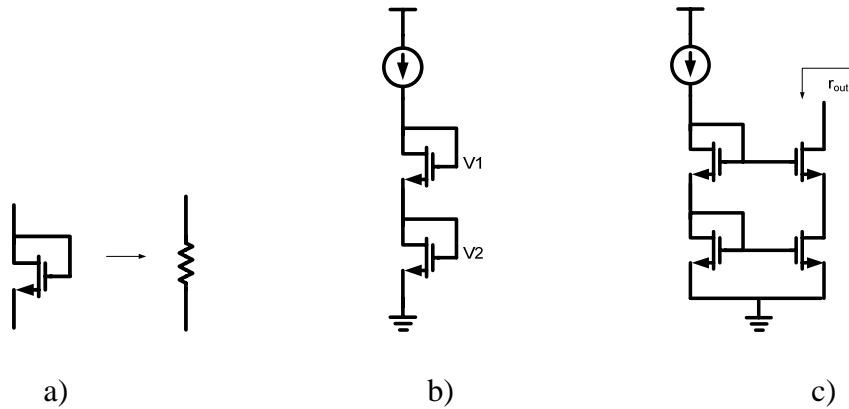
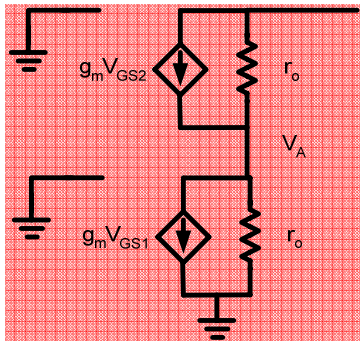


Figure 5



Equation 1

$$ix = \frac{V_X - V_A}{r_o} + gm(-V_A)$$

Si on mettait tous les éléments au même dénominateur, on pourrait simplement l'enlever par la suite :

$$ixr_o = VX - V_A + gm r_o (-V_A)$$

On regroupe les V_A :

$$ixr_o = VX - V_A(1 + gm r_o)$$

Equation2

$$i_x = \frac{V_A}{r_o}$$

$$i_{xro} = V_A$$

On substitue la premiere equation dans celle-ci (la valeur de V_A)

$$i_{xro} = V_X - i_{xro}(1 + g_m r_o)$$

On isole V_X :

$$i_{xro} + i_{xro}(1 + g_m r_o) = V_X$$

On factorise i_{xro} :

$$i_{xro}(2 + g_m r_o) = V_X$$

$$r_{out} = \frac{V_X}{i_x} = r_o(2 + g_m r_o) =$$

Approximation (2 negligible)

$$(g_m r_o^2)$$
