
6GEI620 – Electronique II

Examen Final

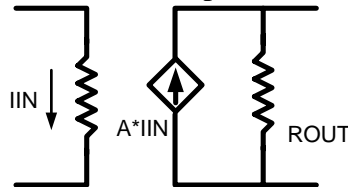
Hiver 2007

Modalité:

- Aucune documentation n'est permise.
 - Vous avez droit à une calculatrice non programmable.
 - La durée de l'examen est de 3h
 - Cet examen compte pour 40% de la note finale.
-

Question 1. Questions Rapides (9 points)

- a) Considérez l'amplificateur courant-courant illustre ci-dessous. Dites si R_{OUT} et R_{IN} doivent être grand, petit ou moyen pour maximiser le gain de courant d'une source à une charge résistive. Expliquez brièvement pourquoi (« parce que le gain sera plus faible » n'est pas une bonne réponse)



La résistance R_{IN} doit être faible puisque c'est ce courant qui sera amplifié. Il faut donc qu'il y ait le PLUS de courant possible dans cette résistance. Idéalement, on voudrait une résistance nulle (court-circuit)... dans ce cas, TOUT le courant passera dedans et se fera amplifier.

À la sortie, c'est le même raisonnement, mais de façon "contraire". On aimerait qu'il n'y ait AUCUN courant qui passe par R_{OUT} . On a besoin de livrer le courant de sortie à la charge R_L . Il faut donc que R_{OUT} soit très grand pour qu'une grosse partie passe par R_L .

- b) En boucle ouverte, un amplificateur à 2-étages a un gain de 6 quand son déphasage est de -180 degrés. Est-il instable en boucle ouverte ? Pourquoi ?

Non, un amplificateur ne peut pas être instable en boucle ouverte.

- c) Si j'identifiais les constantes de temps $\omega_1=10^5$ $\omega_2=10^6$ et $\omega_3=5 \times 10^5$ en utilisant la technique par constante de temps court-circuit, quelle sera la fréquence de coupure basse du système ?

$$\omega = \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 1.6 \times 10^6 \text{ Mrad / s}$$

- d) Si j'identifiais les constantes de temps $\omega_1=10^5$ $\omega_2=10^6$ et $\omega_3=5 \times 10^5$ en utilisant la technique par constante de temps circuit ouvert, quelle sera la fréquence de coupure haute du système ?

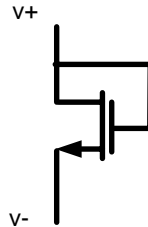
$$\omega = \frac{1}{\frac{1}{\omega_1} + \frac{1}{\omega_2} + \frac{1}{\omega_3}} = 76923 \text{ rad / s}$$

- e) Pourquoi est-ce que j'utilise des signaux de faibles amplitudes en analyse AC ?

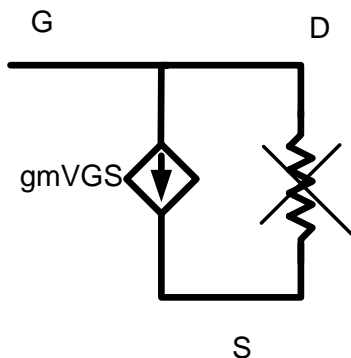
Pour ne pas déranger la polarisation DC du transistor. Si le signal est faible, on garde la linéarité de l'amplificateur.

- f) Calculez la tension nécessaire entre v_+ et v_- pour mettre le transistor dans la région linéaire/triode dans la figure suivante :

C'est impossible de mettre ce transistor dans la région linéaire. Si ça conduit, $V_D=V_G$, donc on sera en saturation... sinon, on ne conduit pas.



- g) Montrez que cette topologie peut être utilisée comme une résistance de valeur $1/g_m$. Donnez les conditions nécessaires.



Le courant dépend de V_{GS} . Puisque V_G et V_D sont connectés, ça dépend aussi de V_{DS} .

Si la tension aux bornes est V_{DS} et le courant est $g_m V_{DS}$, on observe que:

$$\frac{V}{I} = R = \frac{V_{DS}}{g_m V_{DS}} = \frac{1}{g_m}$$

Les conditions sont donc que r_{out} soit négligeable et qu'on se retrouve en petit signal.

- h) Quel est le bénéfice d'avoir une connexion cascode de miroir de courant versus un miroir de courant simple ? Quel problème anticipons-nous quand on met beaucoup d'étages de cascode ?

En augmentant le nombre d'étages de cascode, on augmente la résistance de sortie par un facteur d'à peu près $g_m r_o$. Donc, ça augmente de beaucoup. Le problème, c'est qu'on doit pouvoir alimenter ces étages. Chaque miroir a besoin de 0.7V. Quand on met 3 étages de cascode, par exemple, on aurait besoin de 2.1V de tension. Donc, le plus qu'on met, la plus grande tension on aura besoin.

Il est possible d'utiliser les amplificateurs source-commune, grille commune et drain commun (ou leurs équivalents BJT) comme amplificateur de puissance.

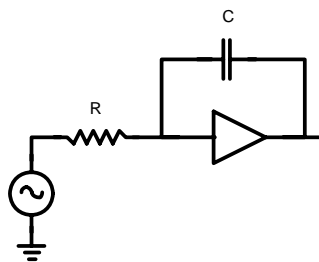
- i) Dans quelle classe d'amplificateurs de puissance peut-on les regrouper ?

Classe A. Ils devraient toujours rester en saturation (toujours conduire)

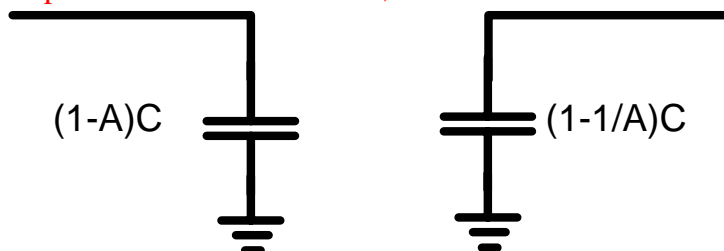
- j) Quelle est leur lacune principale en termes d'amplificateurs de puissance ?

Mauvaise efficacité... maximum de 25%.

- k) Avec $R=1000$, $C=1\mu F$ et le gain $A=-100$, estimez la fréquence de coupure basse de ce circuit :



D'après le théorème de Miller, on a ceci:

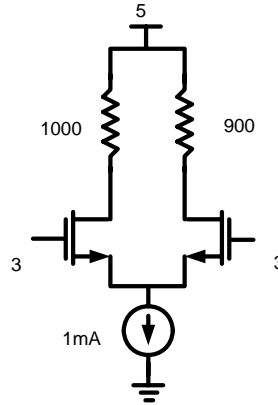


Le condensateur à droite n'affecte pas la bande passante.

Le condensateur à gauche a une valeur effective de $101C$, ce qui veut dire 101×10^{-6}

La frequence de coupure d'un RC est donne par $1/RC$:
9rad/s

l) Quelles sont les tensions aux bornes de sortie de cet amplificateur differentiel ?



Les tensions sont les memes des deux bords, donc le courant est divise parfaitement en 2.
On aura donc 0.5mA d'un bord et 0.5mA de l'autre.

Ca donne une chute de tension de 500mV a gauche et de 450mV a droite.

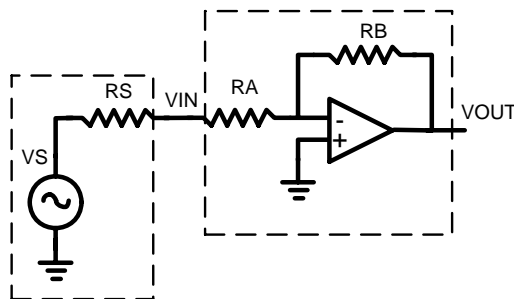
La tension a la sortie a gauche sera 4.5V et sera 4.55V a droite

m) Remplissez le tableau suivant qui porte sur les caracteristiques des amplificateurs de puissance. Pour la linearite et l'efficacite, repondez de facon qualitative.

Classe	Periode de conduction	Linearite	Efficacite
A	100	++	--
B	50	-	+
AB	50-100	+	-
C	<50	--	++

Question 2.

Considerez le circuit de la figure suivante avec un amplificateur ideal avec $R_{IN} \rightarrow \infty$,
 $R_{OUT} = 0$ et $A \rightarrow \infty$:



a) Trouvez le gain V_{OUT}/V_S du circuit

$$\frac{V_S - 0}{R_S + R_A} = \frac{0 - V_{OUT}}{R_B}$$

$$\frac{V_S}{R_S + R_A} = -\frac{V_{OUT}}{R_B}$$

$$-\left(\frac{R_B}{R_S + R_A}\right) = \frac{V_{OUT}}{V_S}$$

b) Trouvez le gain V_{OUT}/V_{IN} du circuit

$$\frac{V_{IN} - 0}{R_A} = \frac{0 - V_{OUT}}{R_B}$$

$$\frac{V_S}{R_A} = -\frac{V_{OUT}}{R_B}$$

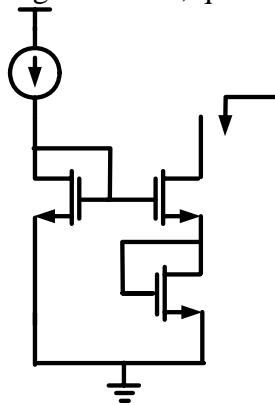
$$-\left(\frac{R_B}{R_A}\right) = \frac{V_{OUT}}{V_S}$$

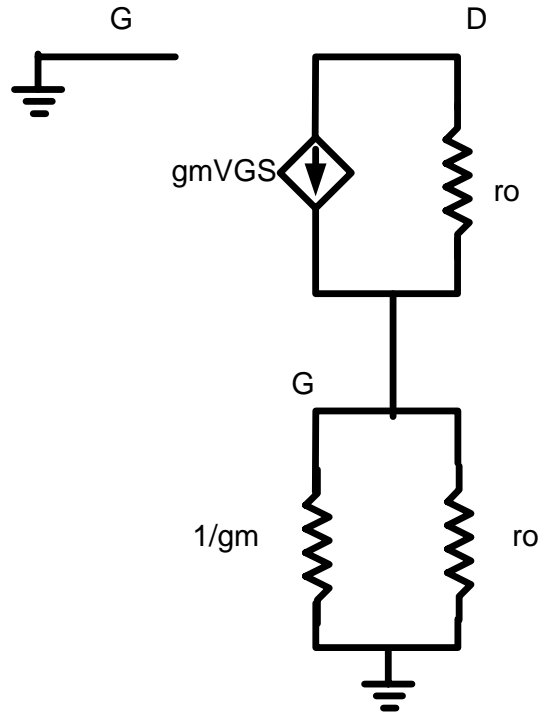
c) Proposez un ajout au circuit pour que V_{OUT}/V_S soit est egal a la valeur trouvee en b).

On peut ajouter un buffer. Ca isole la resistance R_S de la resistance R_A .

Question 3. Considerez le circuit de la figure suivante ou les 3 transistors sont identiques et on un g_m de 0.01 et $r_o=50K$. (12 points)

- Trouvez la resistance de sortie
- Si la tension a la sortie changeait de 2V, quel sera le changement en courant ?





$$i_{out} = \frac{v_{out} - v_a}{r_o} - gm v_a$$

$$i_{out} = \frac{v_a}{\left(r_o \parallel \frac{1}{g_m} \right)}$$

$$\left(r_o \parallel \frac{1}{g_m} \right) i_{out} = v_a$$

$$i_{out} = \frac{v_{out}}{r_o} - \frac{v_a}{r_o} - gm v_a$$

$$i_{out} = \frac{v_{out}}{r_o} - \frac{\left(r_o \parallel \frac{1}{g_m} \right) i_{out}}{r_o} - gm \left(r_o \parallel \frac{1}{g_m} \right) i_{out}$$

$$i_{out} + \frac{\left(r_o \parallel \frac{1}{g_m} \right) i_{out}}{r_o} + gm \left(r_o \parallel \frac{1}{g_m} \right) i_{out} = \frac{v_{out}}{r_o}$$

$$i_{out} \left[1 + \frac{\left(r_o \parallel \frac{1}{g_m} \right)}{r_o} + gm \left(r_o \parallel \frac{1}{g_m} \right) \right] = \frac{v_{out}}{r_o}$$

$$\left[1 + \frac{\left(ro \parallel \frac{1}{g_m} \right)}{ro} + gm \left(ro \parallel \frac{1}{g_m} \right) \right] ro = \frac{vout}{iout} = rout$$

$$ro \parallel \frac{1}{g_m} = \frac{1}{\frac{1}{ro} + g_m} = \frac{r_o}{g_m r_o + 1}$$

$$\left[1 + \frac{r_o}{g_m r_o + 1} + gm \frac{r_o}{g_m r_o + 1} \right] ro = \frac{vout}{iout} = rout$$

$$\left[1 + \frac{1}{g_m r_o + 1} + \frac{g_m r_o}{g_m r_o + 1} \right] ro = \frac{vout}{iout} = rout$$

$$\left[50K + \frac{50K}{(0.01)(50K) + 1} + \frac{(0.01)(50K)(50K)}{(0.01)(50K) + 1} \right] = \frac{vout}{iout} = rout$$

$$[50K + 99.8 + 49.9K] = \frac{vout}{iout} = rout$$

$$100K \cong rout$$

Si on voulait simplifier, on aurait pu voir que $1/g_m$ en parallele avec ro allait tendre vers $1/g_m$.

$$\left[1 + \frac{\left(\frac{1}{g_m} \right)}{ro} + gm \left(\frac{1}{g_m} \right) \right] ro = \frac{vout}{iout} = rout$$

$$\left[1 + \frac{1}{g_m} \frac{1}{ro} + 1 \right] ro = \frac{vout}{iout} = rout$$

$$\left[2ro + \frac{1}{g_m} \right] = \frac{vout}{iout} = rout$$

$1/g_m$ est tres petit compare a $2ro$, donc la conclusion serait sortie beaucoup plus rapidement.

$$\frac{\Delta V}{rout} = \Delta I$$

$$\frac{2}{100K} = 20\mu A$$

Question 4 (12 points)

Considérez les 2 circuits de la Figure X où $\beta=100$ et où $\mu C_{OX}(W/L)=0.01$.

a) Trouvez le courant au collecteur du transistor bipolaire ?

Sachant que $V_{BE}=0.7$, on sait que $V_B=0.7$.

On écrit l'équation du courant à la base :

$$\frac{5-0.7}{20K} = \frac{0.7}{4K} + I_B$$

$$\frac{5-0.7}{20K} - \frac{0.7}{4K} = I_B$$

$$I_B = 40\mu A$$

$$I_C = \beta I_B = 4mA$$

b) Dans quelle région opère ce transistor bipolaire ?

$$I_C = \beta I_B = 4mA$$

$$V_C = V_{DD} - R_C I_C = 1$$

La jonction BC est encore polarisée en inverse. On est donc dans la région linéaire.

c) Trouvez le courant au drain du transistor CMOS ?

$$V_G = \frac{4K}{4K + 20K} (5) = \frac{5}{6}$$

$$V_{GS} = \frac{5}{6}$$

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

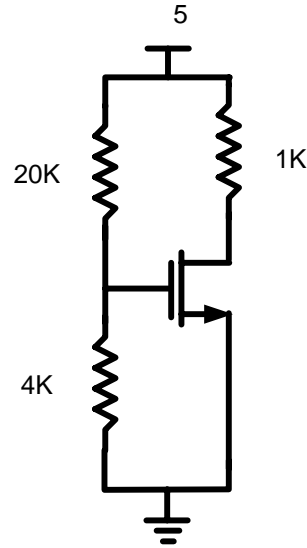
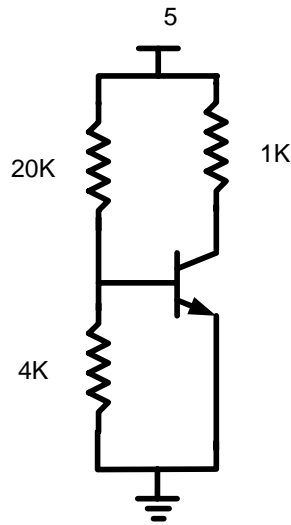
$$I_D = \frac{1}{200} (V_{GS} - V_{TH})^2$$

$$I_D = 89\mu A$$

d) Dans quelle région opère ce transistor CMOS ?

$$V_D = V_{DS} = 5 - 89mV = 4.911$$

Saturation



Question 5 (12 points)

Considérez le circuit de la figure ci-dessous.

a) Trouvez sa fonction de transfert (en s)

$$\frac{v_{out}}{R_L \parallel R_D} - g_m v_{in} + sC_{GD} v_{out} = 0$$

$$\frac{v_{out}}{R_L \parallel R_D} + sC_{GD} v_{out} = g_m v_{in}$$

$$v_{out} \left(\frac{1}{R_L \parallel R_D} + sC_{GD} \right) = g_m v_{in}$$

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{g_m}{\left(\frac{1}{R_L \parallel R_D} + sC_{GD} \right)}$$

b) Trouvez sa résistance à l'entrée (basse fréquence)

$$i_{in} + (0 - v_{in})g_m = 0$$

$$i_{in} = v_{in}g_m$$

$$\frac{1}{g_m} = \frac{v_{in}}{i_{in}}$$

c) Trouvez sa résistance à la sortie (DC)

$$i_{out} = gm(0 - 0) + \frac{v_{out}}{R_D}$$

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

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

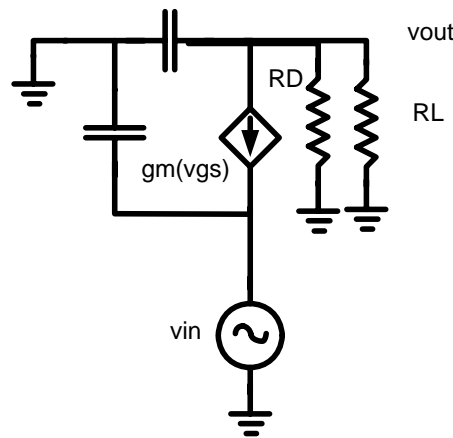
d) Approximez, a l'aide des constantes de temps, sa frequence de coupure.

Il y a 2 condensateurs. CGS est entre 2 ground.

On considere donc CGD. La seule resistance vue par CGD est $R_D || R_L$.

Sa constante de temps est donc $C_{GD}(R_L || R_D)$.

Sa frequence de coupure, en rad/s, est $\omega = \frac{1}{C_{GD}(R_L || R_D)}$



Question 6 (12 points)

Vous analysez un circuit d'amplificateur a 2 etages et vous trouvez que sa fonction de transfert a boucle ouverte est donnee par:

$$\frac{1 \times 10^9}{(1 + s)(1000 + s)}$$

a) Quel est son gain DC ?

Pour son gain DC, on met $s=0j$, et le resultat devient un gain de 10^6 .

b) Est-ce que l'amplificateur est stable en boucle ouverte ? Justifiez.

L'amplificateur sera toujours stable en boucle ouverte. (aucun calcul a faire)

c) Est-ce que l'amplificateur est stable en boucle fermee ? Justifiez.

Une façon de faire serait de tracer les courbes et voir le gain a -180 degrés.
En regardant assez proche, on voit que le gain est de 20dB quand le dephasage est -180.

Sinon, on peut raisonner :

Il y a 2 poles, donc le dephasage « a la fin » sera de -180.

Que veut dire « a la fin » ? Ca veut dire $10 \times$ fréquence du 2e pole.

Le 2e pole se trouve a 1000, le dephasage sera 180 degrés a 10000.

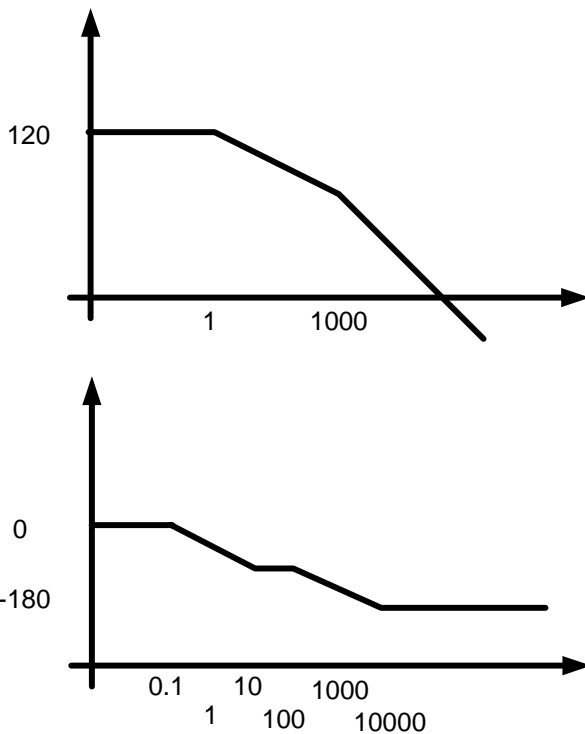
Analysons maintenant le gain.

Le gain baisse de 20dB/decade pendant 3 decades (1 a 1000), donc il a baisse de 60dB.

Par la suite, entre 1000 et 10000, il y a 1 decade ou ca baisse de 40dB/decade. Donc, la

chute de gain total est de $40+60=100$. Puisque le gain a commence a 120dB, il reste 20.

Le gain est plus que 0dB et donc, le systeme est instable.



Avec matlab, on voit quelque chose de semblable :

