

---

## 6GEI620 - Électronique II

### Examen Final Solutions Préliminaires Hiver 2006

---

#### 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 théoriques. (8 points)

- a) Au début du cours, on a parlé d'amplificateurs idéaux et le genre de circuits qu'on pouvait faire avec. De quel genre d'amplificateur s'agissait-il ? (Tension-Tension, Tension-Courant, Courant-Tension ou Courant-Courant ?)

Tension-Tension (Resistance infinie a l'entree, resistance 0 a la sortie)

- b) Quelle est la région d'opération pour qu'un transistor bipolaire fonctionne comme un amplificateur ? Et pour un transistor CMOS ?

Bipolaire : Region active

CMOS : Region de saturation

- c) En termes de résistance de sortie, de résistance à l'entrée et de gain, quelle est la topologie de transistor bipolaire qui ressemble le plus à la topologie source-commune ? Drain-commun ? Grille-commune ?

Source-commune ⇔ Emetteur commun

grille-commune ⇔ base commune

drain-commun ⇔ collecteur commun

- d) Quelle est la différence entre le courant qui entre dans la base d'un transistor bipolaire et le courant qui entre dans la grille d'un transistor CMOS ?

CMOS : Aucun courant n'entre dans la grille (on a un isolant a la grille)

Bipolaire : Il y a un courant qui entre dans la base

- e) Quel est le gros défaut dans le signal de sortie d'un amplificateur de puissance de classe B ?

Distorsion a la sortie causee par une plage de tension dans laquelle aucun des transistors ne conduit.

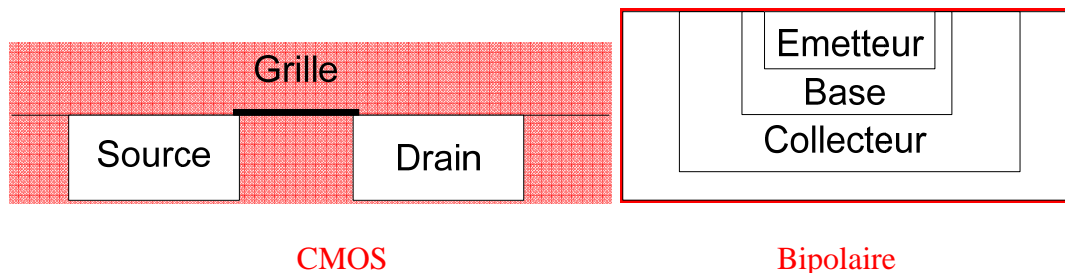
- f) Quelle est la particularité de la bande passante de l'amplificateur de classe C qui n'est pas retrouvée dans les amplificateurs de classe A, B et AB ? Qu'est-ce qui détermine la valeur de cette bande passante ?

Bande passante tres petite. La valeur est determinee par les composantes C et L.

- g) Limitons-nous à 3 types de connexions possibles pour les amplificateurs idéaux : rétroaction positive, rétroaction négative et aucune rétroaction. Pour quel(s) cas peut-on dire que les deux entrées vont tendre à s'égaliser ? Pourquoi ?

Retroaction negative seulement.

- h) Dessinez la vue de coupe d'un transistor bipolaire et d'un transistor CMOS en les identifiant clairement.



- i) À quoi servent les condensateurs (en série) qui se trouvent parfois à l'entrée et à la sortie des amplificateurs?

Couplage capacitif. On isole les tensions DC entre les etages pour ne pas affecter la polarisation. (Oui j'accepte la reponse « pour filtrer »).

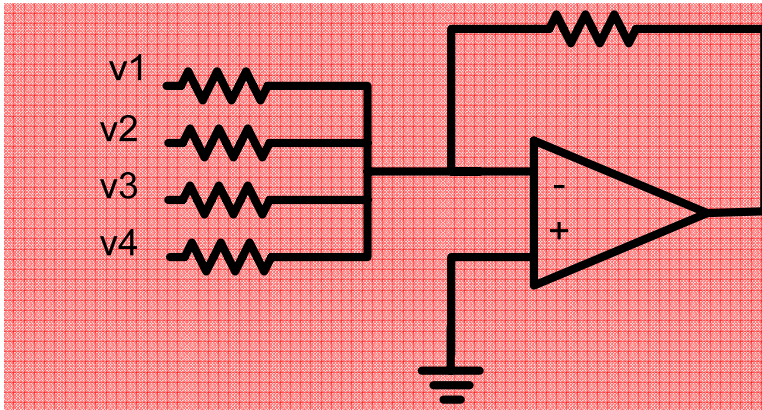
- j) Pourquoi voudrait-on remplacer la résistance au collecteur d'un amplificateur de type émetteur-commun par un miroir de courant?

La resistance de sortie du miroir de courant est habituellement beaucoup plus eleve que la resistance  $R_C$ . Puisque le gain depend de la valeur de cette resistance, le gain sera augmente.

- k) Imaginez un diagramme de Bode d'un amplificateur qui a un gain de 0.5 lorsque le déphasage est de 180 degrés. Qu'est ce que ça dit sur la stabilité de l'amplificateur en boucle fermée ?

Le gain est de moins que 1 a 180 degres. L'amplificateur est stable.

- 1) Proposez un circuit (avec amplificateur opérationnel) qui peut additionner 4 voltages ensemble.



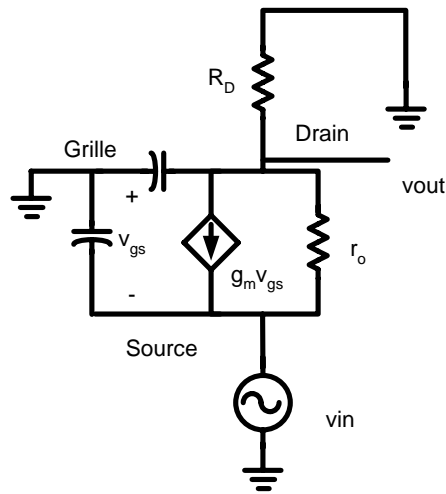
**Question 2.** Donnez les caractéristiques des configurations de rétroaction en remplissant le tableau ci-dessous (8 points)

	Type d'addition (shunt ou série)	Type de lecture (shunt ou série)	$R_{IN}$	$R_{OUT}$
Tension- Tension	serie	shunt	eleve	faible
Tension- Courant	Serie	Serie	Eleve	Eleve
Courant- Tension	shunt	shunt	Faible	faible
Courant- Courant	shunt	Serie	faible	Eleve

**Question 3.** Indiquez la fraction de la période durant laquelle les amplificateurs de puissance opèrent (en degrés, ou 360 degrés est le maximum) (8 points)

Amplificateur	Période de conduction
Classe A	360
Classe B	180
Classe AB	$180 < \text{periode} < 360$
Classe C	$\text{Periode} < 180$

**Question 4.** Considérez le circuit petit-signal de la figure. (8 points)



a) Trouvez le gain  $v_{out}/v_{in}$  du circuit à basse fréquence?

$$g_m v_{gs} + \frac{v_{out}}{R_D} = \frac{v_{in} - v_{out}}{r_o}$$

$$R_D r_o g_m v_{gs} + r_o v_{out} = R_D v_{in} - R_D v_{out}$$

$$-R_D r_o g_m v_{in} + r_o v_{out} = R_D v_{in} - R_D v_{out}$$

$$-R_D r_o g_m v_{in} - R_D v_{in} = -R_D v_{out} - r_o v_{out}$$

$$v_{in}(R_D r_o g_m + R_D) = v_{out}(R_D + r_o)$$

$$\frac{(R_D r_o g_m + R_D)}{(R_D + r_o)} = \frac{v_{out}}{v_{in}}$$

b) Estimez la fréquence de coupure en rad/s avec la méthode par constantes de temps avec circuit-ouvert.

CGS n'a aucune contribution (connecte directement a une source de tension ideale)  
CGD : puisque l'entree est mise a 0,  $v_{gs}$  devient 0. La source dependante devient nulle (circuit ouvert). La resistance que voit le condensateur c'est  $r_o || R_D$ .  
Frequence de coupure est estimee a

$$\omega_{-3db} = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{C_{GD}(r_o || R_D)}$$

c) Comment se nomme cette topologie d'amplificateur ? Justifiez.

C'est la grille commune. Par son nom, on sait que la grille devrait etre connectee a la masse en modele petit signal. L'autre indice c'est que l'entree soit connectee a la source.

d) Quel devrait être le gain quand la fréquence de coupure est atteinte?

Ca c'est une question qui n'est pas spécifique a cette topologie. Le gain devrait toujours

être -3db du gain « bande passante »  $\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right) Gain = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right) \frac{(R_D r_o g_m + R_D)}{(R_D + r_o)}$

**Question 5.** Considérez le circuit de la figure X. Les paramètres du circuit sont :  $\mu_N C_{OX} = 0.002 A/V^2$ ,  $V_{TH} = 0.7$ ,  $W = 20 \mu m$  et  $L = 0.25 \mu m$ . Répondez aux questions suivantes (10 points)

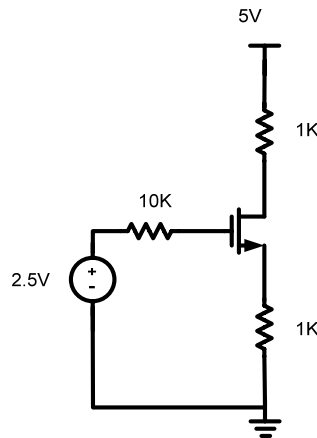


Figure 4

a) Quel est le courant de drain du transistor ?

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

$$I_D = \frac{1}{2} \mu_N C_{OX} \frac{W}{L} (V_G - V_S - V_{TH})^2$$

$$V_S = I_D R_S$$

$$I_D = \frac{1}{2} \mu_N C_{OX} \frac{W}{L} (V_G - I_D R_S - V_{TH})^2$$

$$I_D = \frac{1}{2} \mu_N C_{OX} \frac{W}{L} \left( (V_G - V_{TH})^2 + (I_D R_S)^2 - 2(V_G - V_{TH})(I_D R_S) \right)$$

$$I_D = \frac{1}{2} \mu_N C_{OX} \frac{W}{L} (V_G - V_{TH})^2 + \frac{1}{2} \mu_N C_{OX} \frac{W}{L} (I_D R_S)^2 - 2 \frac{1}{2} \mu_N C_{OX} \frac{W}{L} (V_G - V_{TH})(I_D R_S)$$

$$I_D + 2 \frac{1}{2} \mu_N C_{OX} \frac{W}{L} (V_G - V_{TH})(I_D R_S) - \frac{1}{2} \mu_N C_{OX} \frac{W}{L} (I_D R_S)^2 = \frac{1}{2} \mu_N C_{OX} \frac{W}{L} (V_G - V_{TH})^2$$

$$I_D = 0.08(1.8 - 1000 I_D)^2$$

$$I_D = 0.00195 V_S = 1.95 V_{GS} = 0.55 \text{ PAS BON PUISQUE le transistor ne conduit pas}$$

$$I_D = 0.00165 V_S = 1.65 V_{GS} = 0.85 \text{ Correct}$$

b) Dans quelle région fonctionne le transistor ?

$$V_D = 5 - 1.65 = 3.35 \quad V_{DS} > V_{GS} - V_{TH} \quad \text{Region de saturation}$$

- c) Quelle est la valeur maximale de la résistance au drain pour que le transistor fonctionne en saturation?

Limite de la saturation :

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

On enleve les VS de chaque bord

$$V_D = V_G - V_{TH}$$

En substitue par les chiffres pour connaitre la valeur de VD requise

$$V_D = 1.8$$

On utilise cette valeur pour determiner la resistance max. On sait que :

$$V_D = 5 - I_D R_D$$

On substitue

$$1.8 = 5 - I_D R_D$$

On ramene 5 vers la gauche et on multiplie par -1 des deux bords :

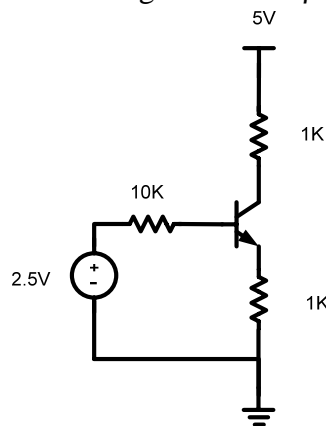
$$3.2 = I_D R_D$$

On isole  $R_D$  :

$$R_D = 3.2 / I_D$$

$$R_D = 1939$$

**Question 6.** : Considérez le circuit de la figure X avec  $\beta=100$ . (6 points)



- a) Quel est le courant au collecteur du transistor ?

$$-V_{BB} + I_B R_B + V_{BE} + I_E R_E = 0$$

$$-V_{BB} + I_B R_B + V_{BE} + (1 + \beta) I_B R_E = 0$$

$$I_B (R_B + (1 + \beta) R_E) = V_{BB} - V_{BE}$$

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{(R_B + (1 + \beta) R_E)}$$

$$I_B = 16.21 \mu A$$

$$I_C = I_B \beta = 1.62 mA$$

- b) Dans quelle région fonctionne le transistor ?

$$V_B = V_{BB} - I_B R_B$$

$$V_B = 2.5 - I_B (10000)$$

$$V_B = 2.34$$

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C$$

$$V_C = 5 - I_C (1000)$$

$$V_C = 3.38$$

Jonction B-C polarise en inverse. Notre transistor fonctionne dans la region active.

- c) Quelle est la valeur maximale de la résistance au collecteur pour que le transistor n'entre pas en saturation?

$V_{CE}=0.2$  a la limite de la saturation.

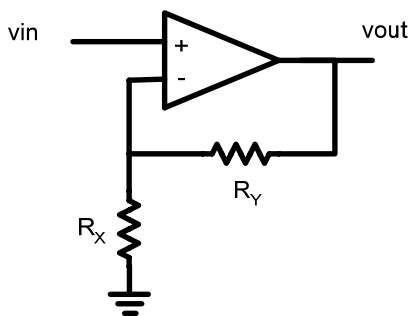
$$I_E = 1.62mA \left( \frac{\beta + 1}{\beta} \right) = 1.63mA$$

$$V_E = 1.63$$

$$V_C = 1.83$$

$$R_{\max} = \frac{5 - 1.83}{1.63m} = 1945$$

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



- a) Si l'amplificateur opérationnel était un amplificateur idéal, quel serait le gain de cette topologie?

$$V_- = V_+ = V_{IN}$$

$$\frac{V_{OUT} - V_{IN}}{R_Y} = \frac{V_{IN}}{R_X}$$

$$R_X V_{OUT} - R_X V_{IN} = R_Y V_{IN}$$

$$R_X V_{OUT} = V_{IN} (R_Y + R_X)$$

$$\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \left( \frac{R_Y}{R_X} + \frac{R_X}{R_X} \right) = \left( \frac{R_Y}{R_X} + 1 \right)$$

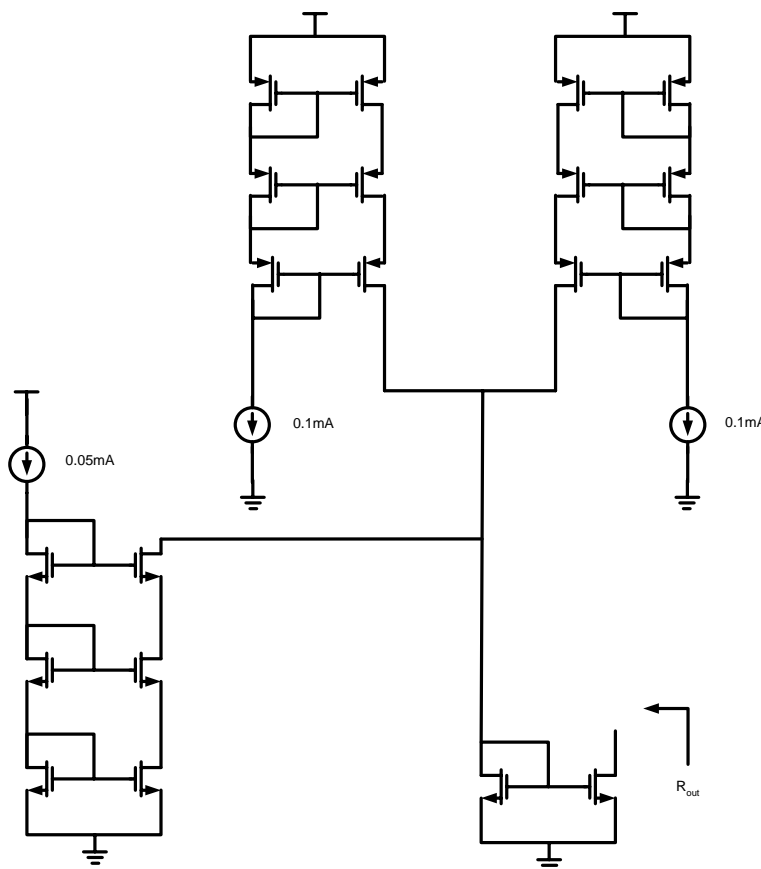
- b) Quel genre de rétroaction (addition et lecture) retrouve-t-on dans cette topologie?

Addition en serie et lecture en parallele (shunt). C'est un amplificateur tension-tension.

- c) Si on modélisait ce circuit comme étant un système asservi, quel serait le gain B de la rétroaction?

$$B = \left( \frac{R_x}{R_x + R_y} \right)$$

**Question 8.** Si le  $V_A$  est de  $20V/\mu m$  de longueur et qu'on dise que la résistance de sortie d'une configuration triple-cascode est infinie, répondez aux questions suivantes : (6 points)



- a) Quel est le courant qui entre par le transistor connecte en diode du miroir de courant simple?
- 

0.15mA

---

- b) Quelle est la résistance de sortie  $R_{OUT}$  du miroir de courant simple?
- 

$V_A = 20V/\mu m$ . Pour une longueur de  $0.25\mu m$ , on a  $V_A = 5$ .

---



Le courant qui passe est de  
0.15mA

La résistance de sortie est donc de

$$r_o = \frac{V_A}{I_D} = \frac{5}{0.15m} = 33333\Omega$$

- 
- c) Si la tension de sortie augmentait de 2V, quel serait le courant a la sortie du miroir de courant simple?

---

On sait que la résistance de sortie est egale au changement de voltage par rapport au changement de courant qui en resulte.

Donc,

$$R_{OUT} = r_o = \frac{\Delta V}{\Delta I} = 33333\Omega$$

$$\frac{2}{\Delta I} = 33333\Omega$$

$$\Delta I = 60\mu A$$

---

### 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 :

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

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

$$I_C = \beta I_B$$