

---

6GEI300 – Electronique

Examen Final

Automne 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 théoriques (21 points)

- a) énumérez les régions d'opération des transistors BJT et donnez les conditions (tensions) pour polariser les transistors dans ces régions. (2 points)

Region	Jonction BE	Jonction BC
Cutoff	Inverse	Inverse
Inverse Active	Inverse	Conduit
Active	Conduit	Inverse
Saturation	Conduit	Conduit

- b) énumérez les régions d'opération des transistors CMOS et donnez les conditions (tensions) pour polariser les transistors dans ces régions (2 points).

Region	Grille	Drain
Cutoff	$V_{GS} < V_{TH}$	Rien
Lineaire	$V_{GS} > V_{TH}$	$V_{DS} < V_{GS} - V_{TH}$
Saturation	$V_{GS} > V_{TH}$	$V_{DS} > V_{GS} - V_{TH}$

- c) Que doit-on faire pour limiter le courant qui entre dans la base d'un transistor BJT? (1 point)

Mettre une resistance soit a la base ou soit a l'emetteur.

- d) Que doit-on faire pour limiter le courant qui entre dans la grille d'un transistor CMOS? (1 point)

Rien : c'est un isolant.

- e) En augmentant la tension à  $V_D$  dans un NMOS, on arrive à un point où le canal est coupé. Dans quelle région d'opération se trouve ce transistor? Est-ce que le courant est à son maximum ou à son minimum? (1 point)

On se retrouverait en saturation. Le courant est à son maximum.

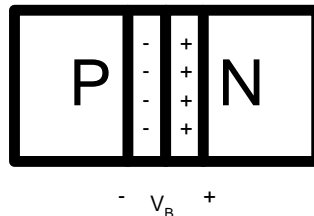
- f) Pourquoi veut-on connecter le substrat d'un transistor CMOS? Que pourrait-il se passer si on ne le connectait pas? (1 point)

Pour bloquer les diodes parasites. Si on ne le faisait pas, il pourrait y avoir du bruit.

- g) Dans quelle région veut-on opérer un transistor CMOS pour l'amplification? (1 point)

On veut opérer en saturation.

- h) Dessinez une jonction PN et montrez clairement où la tension  $V_B$  « built-in voltage » se trouve. (1 point)



- i) Quelle est la différence entre  $E_F$  et  $E_I$ ? Est-ce que ces deux valeurs peuvent être égales? Si oui, quand? (1 point)

Les deux représentent les niveaux de Fermi. L'un est intrinsèque et l'autre est plus général. Les deux valeurs sont égales quand le matériau est intrinsèque.

- j) Comment fait-on pour utiliser une jonction PN comme varacteur (condensateur variable)? Autre façon de poser la question : comment change-t-on la valeur de la capacité d'une diode PN? (2 points)

En mettant la diode en inverse, on s'assure que le courant qui circule est presque négligeable. Tout en gardant la diode en inverse, on peut ajuster la tension pour changer la taille de la region charge espace. Ce changement sert a changer la capacite.

- k) La bande de conduction d'un bloc de silicium intrinsèque est a 15eV et la bandgap est de 2eV. Quelle est l'énergie de la bande de conduction. Quel est le niveau de Fermi? (1 point)

Conduction=15eV  
Niveau de Fermi= 14eV

- l) énumérez les électrons dans le silicium (14). (2 points)

Pour N=1

L=0

M=0

Spin : up, down (total 2)

Pour N=2

L=0

M=0

Spin : up, down (total 4)

L=1

M=-1

Spin : up, down

M=0

Spin : up, down

M=1

Spin : up, down (total 10)

Pour N=3

L=0

M=0

Spin : up, down (total 12)

L=1

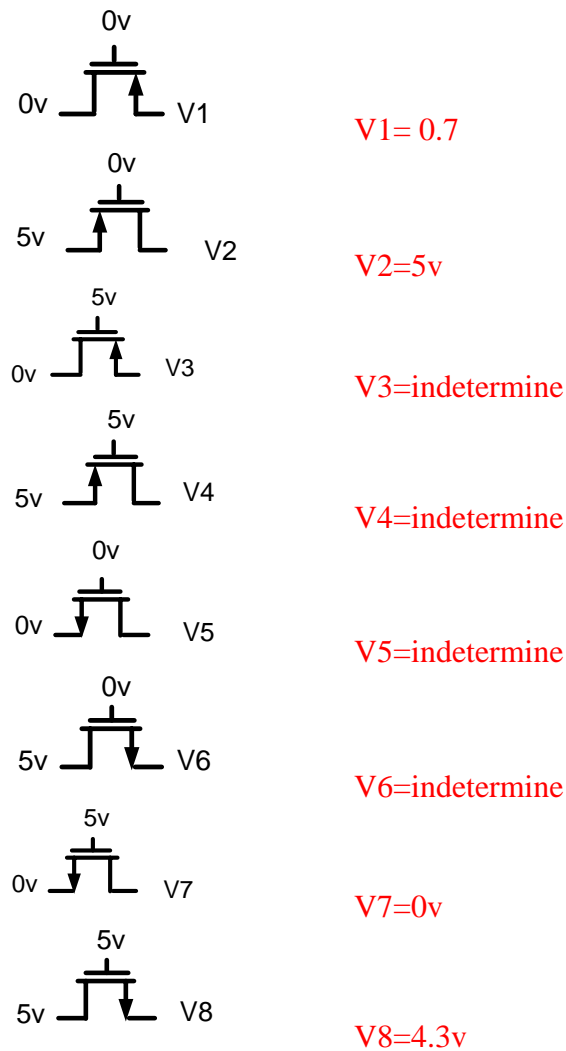
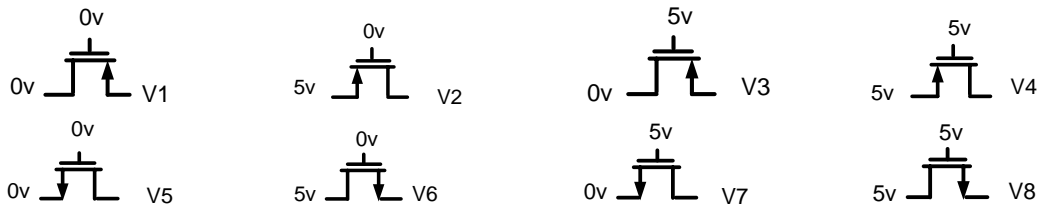
M=-1

Spin : up (total 13)

M=0

Spin : up (total 14)

m) Si on prenait  $|V_{TH}|=0.7v$ , trouvez les tensions de V1 a V8. Si la tension est indéterminée, indiquez-le. (5 points)



**Question 2.** Considérez le circuit de la Figure 2.1. Avec le modèle ON-OFF avec chute de 0.7v, montrez comment la tension  $V_{OUT}$  change avec le temps (5 points)

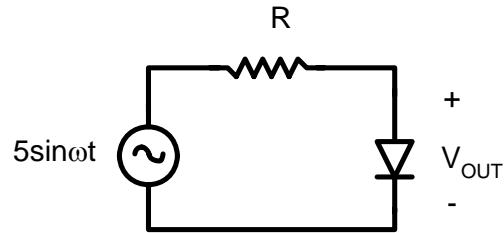
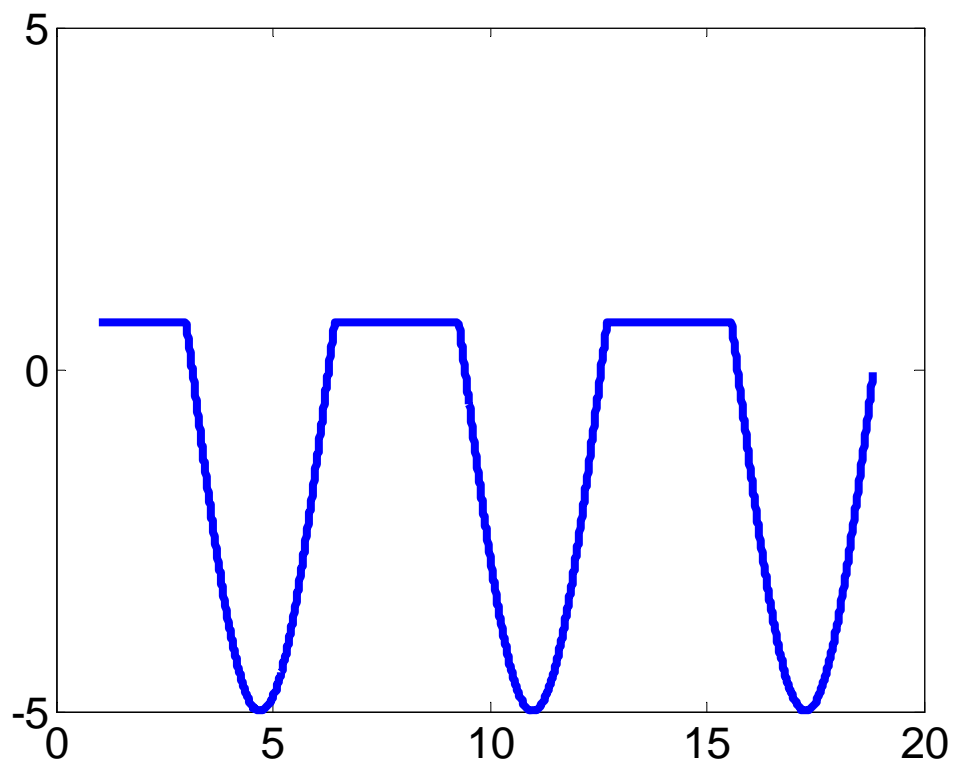


Figure 2.1. Circuit de la question 2

Quand la diode conduit, elle impose une chute de 0.7v entre ses bornes. Quand est-ce qu'elle conduit? Quand la tension est 0.7v ou plus.  
DONC! Quand la source veut imposer une tension de plus que 0.7v, la diode RAMENE la sortie a 0.7v. Sinon, elle ne fait rien (circuit ouvert).



**Question 3.** Considérez le circuit de la Figure 3.1. Calculez le courant qui circule dans le circuit en utilisant 2 approches différentes: (8 points)

1. Modèle ON-OFF avec chute de tension de 0.7v (3 points)
2. Méthode graphique. (5 points)

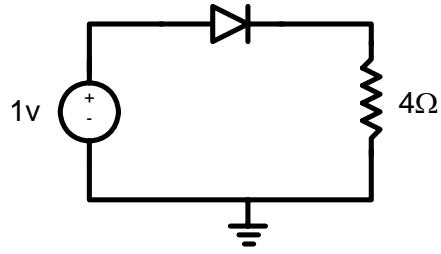
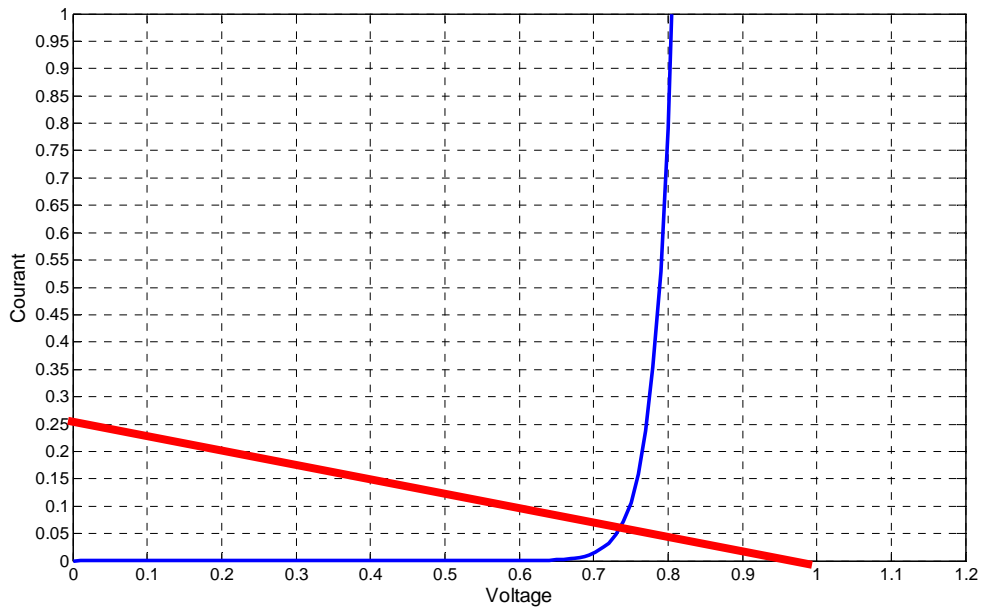
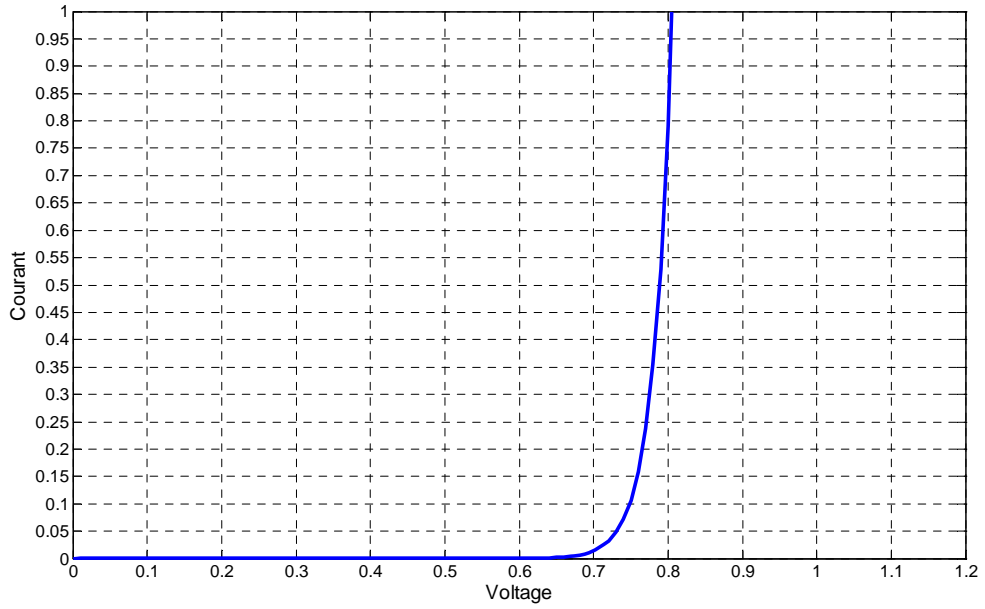


Figure 3.1 Circuit pour la question 3.



**Question 4.** Considérez le circuit de la Figure 4.1. Trouvez  $V_B$ ,  $V_C$ ,  $V_E$ ,  $I_B$ ,  $I_C$  et  $I_E$  si  $\beta=100$  et  $V_{CESAT}=0.2v$ . (10 points)

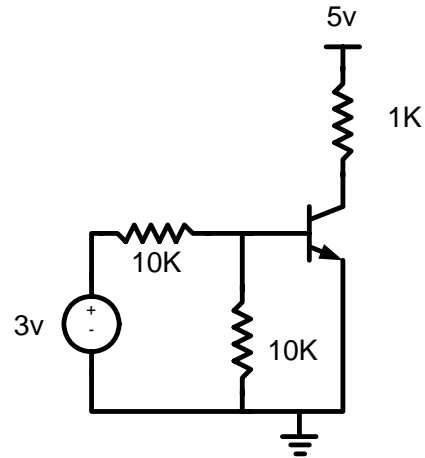
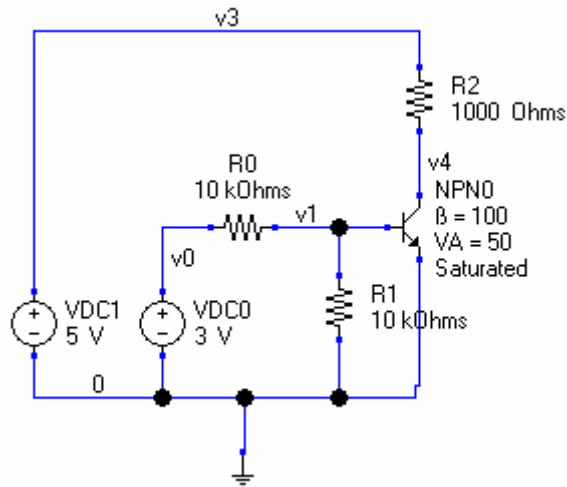


Figure 4.1. Circuit pour la question 4.



$I_{B\_NPN0} =$

.1600e-3

v0 =

3.

v1 =

.7000

v3 =

5.

v4 =

-11.

**Saturation**

v0 =

3.

v1 =  
.7000  
v3 =  
5.  
v4 =  
.2000

**Question 5** Considérez le circuit de la Figure 5.1. Trouvez  $V_D$ ,  $V_G$ ,  $V_S$ ,  $I_D$ ,  $I_S$  et  $I_G$  si  $V_{TH}=0.7v$ . (15 points)

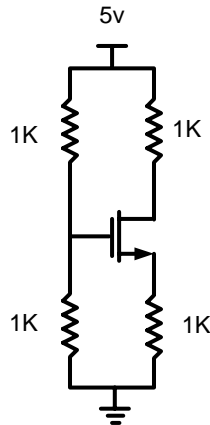


Figure 5.1. Circuit pour la question 5.

$$\mu C_{ox} \frac{W}{L} = 0.005$$

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

$$I_D = \frac{1}{2} (0.005) (2.5 - I_D 1K - 0.7)^2$$

$$400 I_D = (1.8 - I_D 1K)^2$$

$$400 I_D = I_D^2 1M - 3600 I_D + 3.24$$

$$0 = I_D^2 1M - 4000 I_D + 3.24$$

$$I_D = \frac{4000 \pm \sqrt{4000^2 - 4M \cdot 3.24}}{2M} = \frac{4000 \pm \sqrt{16M - 12.96M}}{2M}$$

$$I_D = \frac{4000 \pm \sqrt{3.04M}}{2M} = \begin{matrix} 1.13mA \\ 2.87mA \end{matrix}$$

Avec  $I_D=2.87mA$ ,  $V_S$  serait 2.87v et  $V_{GS} < V_{TH}$ : le transistor serait en cutoff (et me donnerait 2.87mA de courant: pas coherent)

Avec  $I_D=1.13mA$ ,  $V_S$  serait 1.13v et  $V_{GS} > V_{TH}$ : le transistor conduit.  
Allons voir  $V_{GD}$  :



$$V_D = 5 - 1.13 = 3.87$$

$$V_{GD} = -1.37$$

On n'a pas de canal au drain : on est en saturation.

$$\text{Donc } I_D = 1.13 \text{ mA}$$

**Question 6.** Considérez l'inverseur logique de la Figure 6.1. On aimerait calculer son temps de montée et de descente. Pour ce faire, on utilise une approximation RC : quand le transistor conduit, on approxime son comportement avec une résistance  $R_{ON} = 100 \Omega$ .  
(6 points)

- a) Quel est son temps de montée? (0v a 3v) (3 points)  
b) Quel est son temps de descente? (5v a 2v) (3 points)

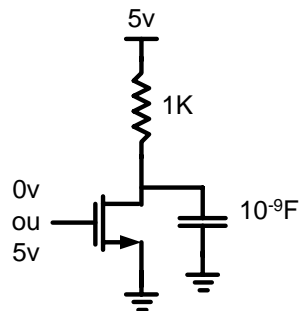


Figure 6.1. Circuit pour la question 6

$$V(t) = V_{DD} e^{-t/RC}$$

$$2 = 5 e^{-t/10^{-7}}$$

$$\ln \frac{2}{5} = -t/10^{-7}$$

$$-10^{-7} \ln \frac{2}{5} = t$$

$$V(t) = V_{DD} (1 - e^{-t/RC})$$

$$3 = 5 (1 - e^{-t/RC})$$

$$\frac{3}{5} = 1 - e^{-t/RC}$$

$$\frac{2}{5} = e^{-t/RC}$$

$$\frac{2}{5} = e^{-t/10^{-6}}$$

$$\ln \frac{2}{5} = -t/10^{-6}$$

$$-10^{-6} \ln \frac{2}{5} = t$$

**Question 7** . La Figure 7.1 montre un régulateur de tension conçu avec une diode Zener qui a une tension de conduction inverse de 7v. Ce régulateur est connecte a un enregistreur de la voix qui tire 60mA quand on enregistre et qui tire 100mA quand on écoute un enregistrement.

Pour que la diode fonctionne bien, il faut qu'un courant minimal de 20mA circule dedans. Quelle est la valeur maximale de la résistance R? Justifiez a l'aide de calculs. Que se passerait-il si on choisissait une valeur plus grande que R? (10 points)

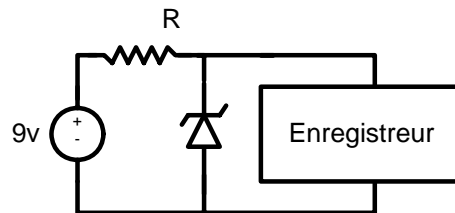


Figure 7.1. Circuit pour la question 7.

Quand on enregistre, la charge tire 100mA (courant maximal) et donc, le courant qui passe par la diode sera MINIMALE.

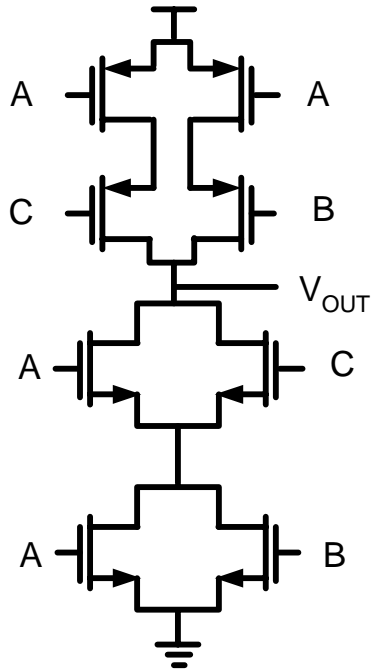
Dans ce cas, on aurait besoin que la source nous fournisse un courant total de 120mA. Sachant que la tension zener de la diode est de 7v, on peut écrire l'équation suivante :

$$I = \frac{9-7}{R} = 120mA$$
$$\frac{9-7}{120mA} = R = 16.6\Omega$$

**Question 8** Implémentez la fonction suivante avec des transistors CMOS. (10 points)

$$F = \overline{(A+B)}\overline{(A+C)}$$

1. On s'assure que la fonction a une « inversion ».
2. On ignore cette inversion et on implemente la section en NMOS.  
On forme la premiere partie (A+B) : A et B sont en parallele  
On forme la deuxieme partie (A+C) : A et C sont en parallele  
Ces 2 blocs en en serie.
3. Pour implementer la section PMOS, on fait le complement de la section NMOS.
4. La sortie c'est l'intersection des deux sections.



**Equations**

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

$$V(t) = VDD e^{-t/RC}$$

$$I_E = I_C + I_B$$

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

$$V(t) = VDD (1 - e^{-t/RC})$$

$$I_C = \beta I_B$$