
6GEI300 – Électronique

Examen Final

Automne 2008

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 40% de la note finale.
-

Question 1. Questions théoriques (20 points)

- a) Qu'est-ce que le niveau de Fermi et pourquoi est-ce que ça nous intéresse? (2 points)

Le niveau de fermi c'est le niveau d'énergie a laquelle on a 50% de trouver des elecctrons. Dans le siliciu intrinseque, ce niveau se trouve exactement dans le milieu du diagramme d'énergie. Pour le silicium extrinseque, le niveau de fermi peut augmenter ou baisser selon qu'il est dope avec des electrons ou des trous. Ca va changer la distribution des electrons.

L'énergie de fermi sert dans le calcul de trouver des electrons en conduction ou des trous en valence. Ces deux situations donnent une indication de la quantite de charges qui peut circuler.

- b) Pourquoi est-ce que le β est à son maximum en région active ? (2 points).

Le β d'un transistor donne le « gain » en courant. C'est le ratio de I_C/I_B . En active, les charges vont de l'émetteur au collecteur tandis que, pour l'autre jonction, les charges vont de la base a l'émetteur. Il n'y a aucune interaction entre la base et le collecteur. Quand on tombe en saturation, il commence a y avoir des charges de la base vers le collecteur. Ces charges sont les charges complementaires des charges de l'émetteur vers le collecteur. C'est-a-dire que, sdans le cas d'un NPN, l'émetteur envoie des electrons vers le collecteur et en saturation, la base envoie des trous vers le collecteur. Ces charges « s'annulent » et on se retrouve avec un plus petit courant au collecteur qu'en region de saturation.

Considérez le transistor en vue de coupe de la Figure 1.



Figure 1.

c) Identifiez la grille, la source et le drain. Justifiez (2 points)

La source se trouve à gauche tandis que le drain se trouve à droite. La partie la plus épaisse du canal se trouve toujours du côté de la source.

d) Dans quelle région d'opération est-ce que ce transistor se trouve? (1 point)

Je me trouve en région linéaire/triode parce que le canal n'est pas coupé.

Considérez maintenant le transistor en vue de coupe (simplifiée) de la Figure 2.

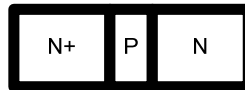


Figure 2.

e) Identifiez le collecteur, la base et l'émetteur. (1 point)

À gauche, on trouve l'émetteur
À droite on trouve le collecteur
Au milieu, il y a la base.

f) Expliquez pourquoi l'émetteur est beaucoup dopé et pourquoi la base est mince. (2 points)

On veut que l'émetteur soit plus dopé pour qu'un petit courant de trous dans la base donne un gros courant d'électrons provenant de l'émetteur (preuve dans les notes de cours). Le but c'est qu'on veut qu'un petit courant de la base contrôle un gros courant émetteur-collecteur.

Quand les charges de l'émetteur arrivent dans la base, ils diffusent. Si la base est trop épaisse, il y aurait recombinaison et/ou, les charges iraient dans la base. En ayant une base qui est mince, les électrons de l'émetteur se retrouveraient dans la région charge-espace base-collecteur et seraient poussés vers le collecteur. Idéalement, on aimerait que toutes les charges de l'émetteur se retrouvent au collecteur.

g) Énumérez les 2 modes de conduction inverse des diodes et expliquez brièvement la différence. (2 points)

Il y a la conduction due a l'effet Zener : un champ électrique fort pourrait donner assez de force pour arracher les électrons de leur orbites.

Il y a aussi l'effet avalanche ou les électrons se déplacent a une telle vitesse que la collision avec la structure atomique deloge d'autres électrons. Les autres électrons auront éventuellement, eux aussi, assez de vitesse pour deloger encore d'autres électrons (après collision).

- h) Décrivez en termes simples la signification des nombres quantiques primaires, secondaires et magnétiques. (2 points)

Le nombre quantique primaire correspond a la « distance » par rapport au noyau.

Le nombre quantique secondaire correspond a la forme de l'orbite.

Le nombre quantique magnétique correspond a l'orientation de l'orbite.

- i) Quel est l'avantage d'utiliser un modèle segmenté-linéaire par rapport à l'usage d'un modèle ON-OFF avec chute de 0.7v (ne dites pas juste « plus de précision ») (2 points)

Avec le modèle ON-OFF avec chute de tension, on fait semblant que, la diode est capable de fournir n'importe quel courant tout en ayant une tension de 0.7v a ses bornes. Ce n'est cependant pas la réalité. Si une diode fournit plus de courant, la chute a ses bornes sera plus grande que s'il ne fournissait qu'un petit courant.

Le modèle segmenté linéaire tient compte de ce phénomène. On approxime le comportement de la diode avec une pente constante qui donne une dépendance entre la tension aux bornes de la diode et le courant fourni.

- j) Si on prenait $|V_{TH}|=0.7v$, trouvez la tension V_{OUT} du circuit de la Figure 3 quand $t \rightarrow \infty$. (2 points)

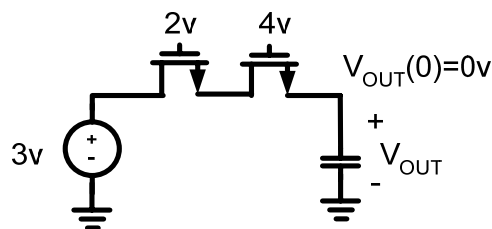


Figure 3.

Le noeud entre la source du transistor de gauche et le drain du transistor de droite aura une tension qui augmente jusqu'à ce qu'elle arrive a 1.3v. A 1.3v, le transistor va vouloir se mettre en cut-off si ça augmentait... donc il ne peut pas.

Le transistor de droite fera a peu pres la meme chose. La tension V_{OUT} augmentera jusqu'à ce qu'il arrive a 3.3v avant que le transistor tombe en cutoff. Cependant, la tension au draon est limite a 1.3v. Rendu a 1.3v, il n'y aura pas de difference de potential

entre le drain et la source et donc, il n’y aura aucun courant. La tension de sortie sera donc 1.3v.

- k) Imaginez le circuit de la Figure 4 qu’on utilise comme inverseur logique. Avec quelle valeur d’entrée V_{IN} est-ce que j’aurais une dissipation de puissance statique en plus d’une consommation de puissance dynamique? Pourquoi? (2 points)

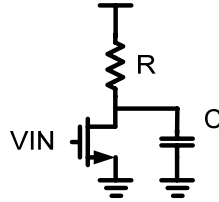


Figure 4.

On identifie 2 genres de dissipation de puissance... statique et dynamique. La puissance dynamique c’est la puissance requise pour charger et decharger les condensateurs (les noeuds). La puissance statique c’est, “une fois qu’on a chargé le noeud, combien de puissance est-ce qu’on dissipe?”

Si l’entrée était 0, la puissance dynamique serait consommée à mettre le noeud de sortie à 5v (ou une autre valeur). Une fois qu’il est à 5v, il n’y a plus aucun courant qui circule. Donc, il n’y aurait pas de puissance statique.

Si l’entrée était à 5v, le noeud de sortie passerait de 5v à 0v. Une fois qu’il est à 0v, quelle puissance est dissipée? Quand l’entrée est à 5v, le transistor fait la connexion entre source et drain. Il y a donc un court-circuit (ou presque) et donc, il y a un courant qui peut circuler. Il y a donc un chemin pour que le courant passe de l’alimentation au ground en passant par la résistance R et par le transistor. C’est seulement quand le transistor conduit qu’on aura une dissipation de puissance statique (en plus de dynamique)..

Question 2. Considérez le circuit de la Figure 5. (14 points)

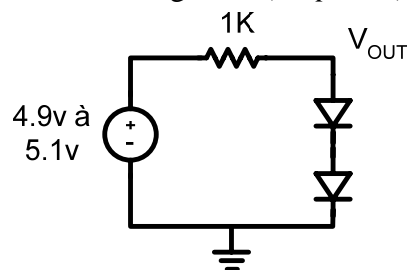


Figure 5. Circuit de les questions 2a jusqu’à 2d.

- a) Quel sera le signal de sortie si on utilisait le modèle ON-OFF sans chute de tension? (1 points)

La sortie sera 0v.

- b) Quel sera le signal de sortie si on utilisait le modèle ON-OFF avec chute de tension de 0.7v? (1 points)

La sortie sera 1.4v.

- c) Quel sera le signal de sortie si on utilisait le modèle segmenté-linéaire avec une résistance R_D de 5 Ω ? (2 points)

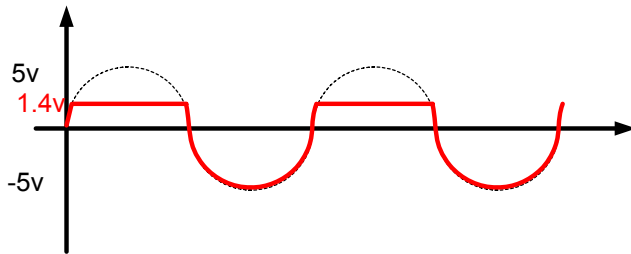
Le courant : $(5.1-1.4)/1K=3.7mA$

La tension de sortie sera de
 $1.4+2*5*3.7mA=1.437$

Le courant : $(4.9-1.4)/1K=3.5mA$

La tension de sortie sera de
 $1.4+2*5*3.5mA=1.435$

- d) On décide maintenant de changer la source par une source sinusoïdale dont la valeur change de -5v à +5v. Dessinez le signal de sortie V_{OUT} si on modélisait les diodes avec le modèle ON-OFF avec chute de 0.7v. (2 points)



- e) Considérez le circuit de la Figure 6. Utilisez le modèle ON-OFF avec chute de 0.7v pour déterminer le courant qui sort de la source. (4 points)

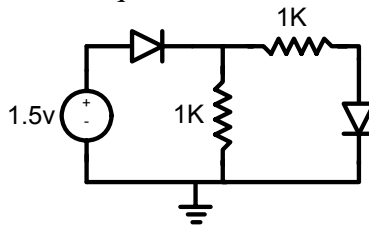
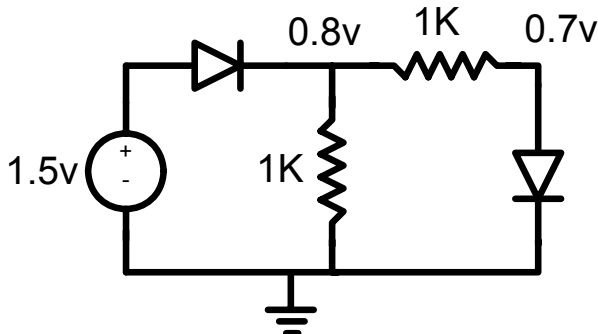


Figure 6. Circuit pour la question 2e.



La branche a droite aura un courant de 0.1mA tandis que la branche du milieu aura 0.8mA. On aura donc un total de 0.9mA qui sort de la source.

- f) Votre réveille-matin (Figure 7) consomme 10mA au repos et consomme 100mA quand il sonne. Pour que ma diode Zener fonctionne, il faut au moins avoir un courant de 30mA qui passe au travers en tout temps. De plus, pour limiter la chaleur dissipée, on ne veut pas avoir une puissance de plus que 0.5W dans la diode. Trouvez une plage de valeur de tension d'alimentation qui remplirait ces 2 conditions. (4 points)

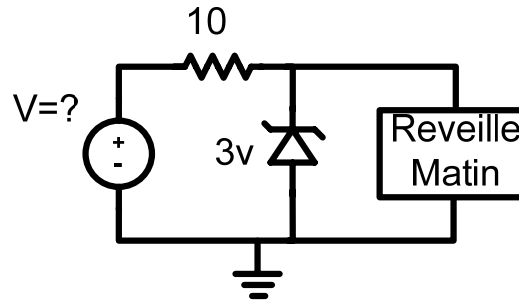


Figure 7. Circuit pour la question 2f.

$$I_{SOURCE} = \frac{VDD - 3}{10} = I_{DIODE} + I_{RM}$$

Quand le reveille matin sonne, il va prendre 100mA. A ce moment, seulement un petit courant peut passer dans la diode. Il faut s'assurer qu'on respecte cette valeur (de 30mA).

$$\frac{VDD - 3}{10} = 100mA + 30mA$$

$$\frac{VDD - 3}{10} = 130mA$$

$$VDD - 3 = 1.3$$

$$VDD = 4.3$$

Quand le reveille matin ne sonne pas, il va prendre 10mA. Dans ce cas, un gros courant va passer dans la diode et on doit faire attention de ne pas dépasser les limites.

Le courant maximal sera de $0.5W/3v=167mA$.

$$\frac{VDD - 3}{10} = 167mA + 10mA$$

$$\frac{VDD - 3}{10} = 177mA$$

$$VDD - 3 = 1.77$$

$$VDD = 4.77$$

Question 3. Considérez le circuit de la Figure 8a où le transistor a $\mu C_{OX}(W/L)$ de 0.002. (10 points)

- a) Trouvez le courant I_D qui circule dans le NMOS. (2 points)

Hypothese saturation :

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

$$I_D = \frac{1}{1000} (1.5 - 0.7)^2$$

$$I_D = 640 \mu A$$

On verifie le circuit avec la tension V_D .

Avec une resistance de 1K, on se retrouve avec une chute de tension de 0.64v.

On aura donc V_D de 4.36v. En verifiant que V_{GD} est negatif, on se rend bien compte que notre transistor est en saturation.

- b) Proposez des valeurs de R_1 et de R_2 qui vont mettre le transistor en **saturation** et qui vont donner le même courant I_C dans le circuit de la Figure 6b. (4 points)

Il faut s'assurer que $V_{CE}=0.2$

$$I_C = \frac{5 - 0.2}{R_2}$$

$$640 \mu A = \frac{4.8}{R_2}$$

$$R_2 = \frac{4.8}{640 \mu A} = 7500 \Omega$$

Pour se trouver en saturation, il faut s'assurer que le courant I_B soit assez gros pour pouvoir donner un courant I_C de $640 \mu A$. Le courant minimal devrait etre de $6.4 \mu A$. Pour avoir ce courant, il faudrait avoir une resistance de :

$$I_B = \frac{1.5 - 0.7}{R_B}$$

$$6.4 \mu A = \frac{0.8}{R_B}$$

$$R_B = \frac{0.8}{6.4 \mu A} = 125 K$$

N'importe quelle resistance de MOINS que 125K pourrait faire l'affaire.

- c) Proposez des valeurs de R_1 et de R_2 qui vont mettre le transistor en région **active** et qui vont donner le même courant I_C dans le circuit de la Figure 6b. (4 points)

En region active, on n'a qu'a mettre notre R_B egal a 125K. Avec $R_B=125K$, on a un courant I_B de $6.4 \mu A$. Dans ce cas, en etant en region active, on se retrouve automatiquement avec un courant de $640 \mu A$. Il faut s'assurer que la resistance R_2 ne cause pas une trop grosse chute pour le faire sortie de la region active. La resistance maximale qu'on peut avoir c'est celle qu'on avait trouve en saturation tantot... de 7.5K. N'importe quelle resistance de moins que cette valeur pourrait faire l'affaire.

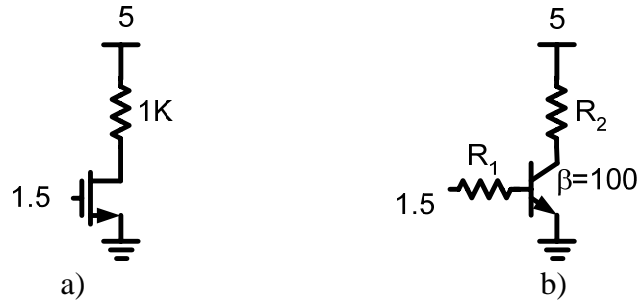


Figure 8. Circuit pour la question 3.

Question 4 Considérez le circuit de la Figure 9. Trouvez V_D , V_G , V_S , I_D , I_S et I_G si $V_{TH}=0.7v$ et $\mu C_{OX}(W/L)=0.005A/V^2$. (10 points)

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

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

$$I_D = \frac{0.09}{400} = 225 \mu A$$

Quelle est la valeur de V_D ? Il faut écrire l'équation des noeuds :

$$\frac{5 - V_D}{1K} = 225 \mu A + \frac{V_D}{1K}$$

$$\frac{5 - 2V_D}{1K} = 225 \mu A$$

$$5 - 2V_D = 225mA$$

$$V_D = \frac{5 - 225mA}{2} = 2.3875V$$

$$V_G = 1$$

$$V_S = 0$$

$$I_G = 0$$

$$I_S = I_D = 225 \mu A.$$

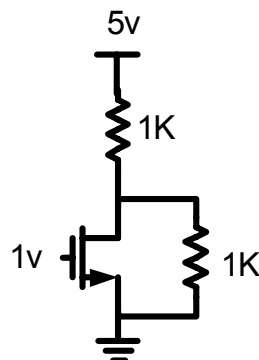


Figure 9. Circuit pour la question 4.

Question 5. Considérez l'inverseur logique de la Figure 10. On aimerait calculer son temps de montée et de descente. Pour faciliter les calculs, quand le transistor conduit, on approxime son comportement avec une résistance $R_{ON}=100\Omega$. (10 points)

a) Quel est son temps de montée? (0v à 4v) (3 points)

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

$$4 = 7(1 - e^{-t/RC})$$

$$\frac{4}{7} = (1 - e^{-t/RC})$$

$$e^{-t/RC} = 1 - \frac{4}{7}$$

$$-t/RC = \ln \frac{3}{7}$$

$$t = -RC \ln \frac{3}{7}$$

$$t = -10^4 10^{-9} \ln \frac{3}{7} = 8.47 \mu s$$

b) Quel est son temps de descente? (7v à 3v) (3 points)

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

$$3 = 7e^{-t/RC}$$

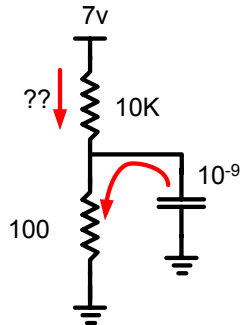
$$-t/RC = \ln \frac{3}{7}$$

$$t = -RC \ln \frac{3}{7}$$

$$t = -10^2 10^{-9} \ln \frac{3}{7} = 84.7 ns$$

d) On remarque que, durant la décharge (sortie va de 7v à 0v), le circuit devrait être modélisé avec 2 résistances R_{ON} et R_C . Pourquoi ne tient-on pas compte de la résistance R_C ? Quand est-ce que c'est justifié d'ignorer R_C ? (2 points)

On aime ignorer RC parce que ça facilite les calculs. On peut l'ignorer si la résistance R_{ON} du transistor est beaucoup plus faible que cette résistance. En considérant RC, il ne devrait pas y avoir beaucoup de différence dans notre cas, mais si RC était de taille comparable à R_{ON} , ça ferait une grosse différence.



- e) À la place de mettre 0v ou 5v à la grille, on aimerait changer ça à 0v ou 7v. Comment changerait la vitesse de montée? Comment changerait la vitesse de descente? Pourquoi? (2 points)

En mettant 0v ou 7v a la grille, on augmenterait la vitesse de descente (decharge) et la vitesse de montée (charge) resterait la meme. La vitesse de descente change parce qu'on a un V_{GS} plus eleve et donc un courant plus eleve. Si on voulait modeliser notre transistor avec une resistance R_{ON} , la valeur de ce R_{ON} devrait etre plus faible pour refleter l'augmentation du courant.

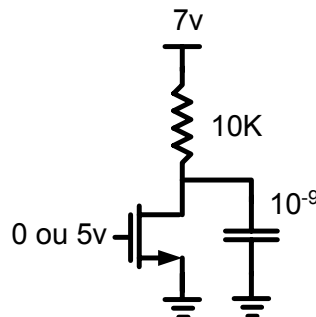


Figure 10. Circuit pour la question 5

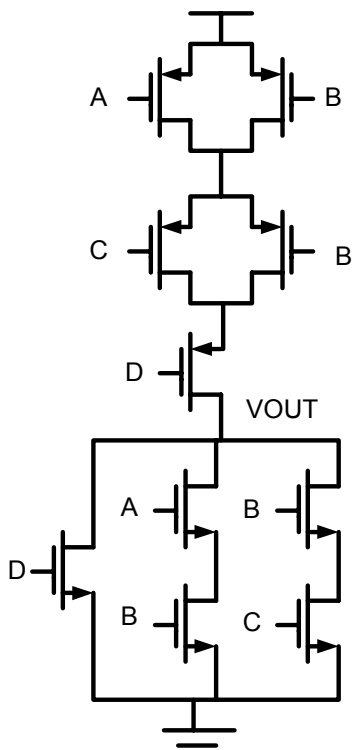
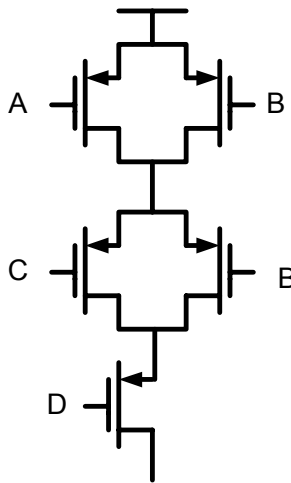
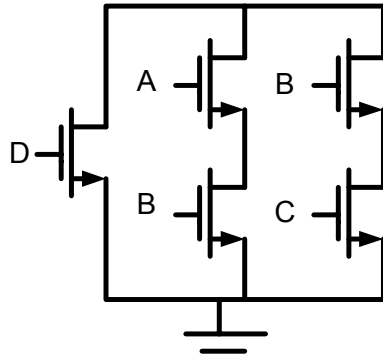
Question 6. Considérez la fonction logique suivante : (11 points)

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

- a) Implémentez la fonction suivante (portes statiques) avec des transistors CMOS en indiquant clairement où se trouve la sortie. (7 points)

Si l'entree etait $A='1'$, $B='0'$, $C='1'$ et $D='0'$,

- b) Quelle serait la valeur de la sortie? (1 point)
 c) Montrez, à l'aide d'un schéma, quels transistors conduisent et quels ne conduisent pas. (2 points)
 d) Montrez le chemin par lequel le '0' ou le '1' passe pour se rendre à la sortie. (1 points)



Équations

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

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

$$I_E = I_C + I_B$$

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

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

$$I_C = \beta I_B$$