
6GEI300 - Électronique I

Examen Partiel #1

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 20% de la note finale.
-

Question 1. Questions théoriques. (15 points)

a) Nommez trois façons différentes d'amener un électron de la bande de valence à la bande de conduction (de lui fournir de l'énergie). (3 points)

*En augmentant la température (regardez la distribution fermi-dirac)
Avec la lumière (photodiode)
Avec un gros champ (pensez aux diodes zener)*

b) Comment change E_i quand on dope du silicium pur avec 1.5×10^{12} atomes de phosphore? (1 point)

Ne change pas. E_i reste toujours au milieu (i est pour intrinsèque)

c) En équilibre les courants de diffusion et de drift sont tous deux présents. En appliquant une tension EXTERNE (V^+ au côté P et V^- du côté N), lequel de ces courants est-ce que je favorise? (1 point)

En appliquant une tension, on atténue l'effet de V_B pour favoriser la diffusion.

d) Qu'est-ce qu'une diode photo-luminescente (LED) et comment fonctionne-t-elle? (assurez-vous d'inclure les mots suivants dans votre réponse : électron, trou et énergie) (2 points)

Quand un électron se recombine avec un trou, il laisse sortir de l'énergie. Cette énergie peut être sous forme de lumière ou de chaleur selon le type de semiconducteur.

Pour les questions e) à h), considérez un semiconducteur intrinsèque dont la bande de valence est à 10eV et la bande de conduction est à 12eV.

e) Quel est son bandgap? (1 point)

2eV

f) Quel est son E_F ? (1 point)

11eV

g) Qu'arrive-t-il a un électron de valence si il se faisait frapper par un photon ayant une énergie de 3eV? (1 point)

C'est plus gros que son bandgap... Il passe a la bande de conduction.

h) A une température de 400K, quelles sont mes chances de trouver un électron ayant une énergie de 11eV? (1 point)

0 (zero).. on sera dans la bande interdite.

i) Pourquoi est-ce que n_i sera toujours égal a p_i ? (1 point)

Pour du silicium intrinseque, UN electron qui « part en conduction » va laisser UN trou. Donc, n_i electrons en conduction vont laisser n_i trous. Sachant que p_i est le nombre de trous, $p_i=n_i$.

j) Quel est l'avantage d'avoir un redresseur a cycle complet versus le redresseur a demi-cycle? (1 point)

On utilise les 2 « phases » du sinus. Ca va faire en sorte que le condensateur va etre recharge 2 fois plus rapidement. Donc, si on utilisait les memes valeurs de R et de C, ca va me donner une chute de tension 2 fois plus petite. Autre facon de dire la meme chose : pour avoir la meme chute de tension, j'aurais besoin d'un C qui est 2 fois plus petit.

k) Donnez une application possible pour le circuit suivant et expliquez brièvement comment ca fonctionnerait : (2 points)

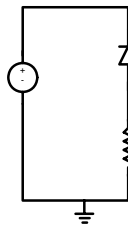


Figure 1. Circuit pour la question 1 k)

Ce circuit peut être utilisé pour recevoir des signaux optiques. La diode est polarisée « en inverse » ce qui fait grossir la zone charge espace et fait aussi augmenter son champ (V_B , si vous préférez). Quand des photons frappent, ils vont donner de l'énergie aux électrons qui peuvent commencer à conduire. Le champ va pousser ces charges vers la résistance pour donner une tension (rappel : déplacement de charges = courant)

Question 2. . Considérez les 3 circuits suivants (10 points)

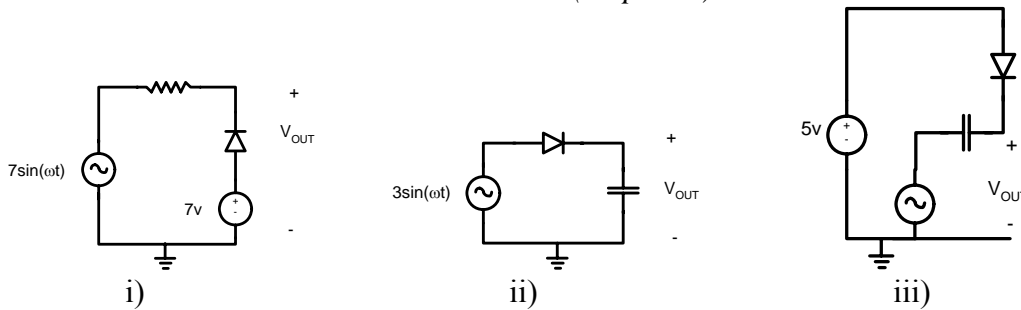
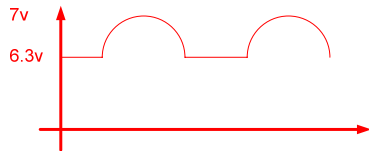


Figure 1. Circuits pour la question 2

a) Tracez V_{OUT} pour le circuit à gauche. (2 points)

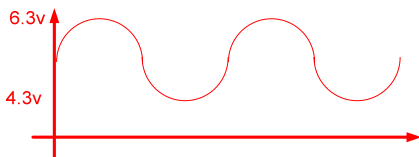


b) Tracez V_{OUT} pour le circuit du centre. (2 points)

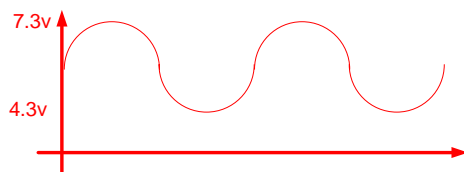


Tracez V_{OUT} pour le circuit à droite si

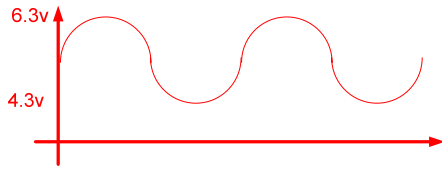
c) La source sinusoïdale allait de 0v à 2v. (2 points)



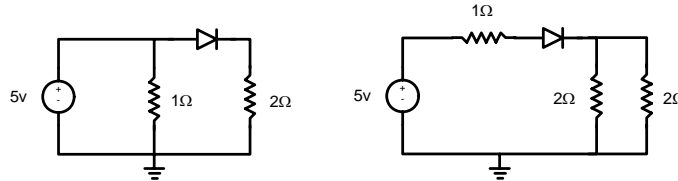
d) La source sinusoïdale allait de -1v à 2v. (2 points)



e) La source sinusoïdale allait de -1v à 1v. (2 points)



Question 3. Pour les circuits suivants : (6 points)

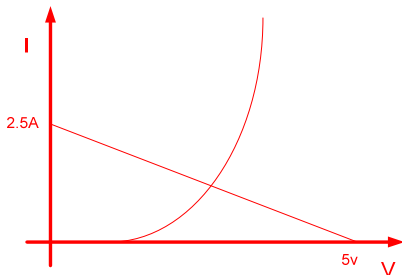


Tracez leurs courbes de charge.

Les 2 courbes devraient être pareilles.

Dans le premier cas, la résistance de 1Ω ne fait absolument rien. La tension sera quand même de 5v à l'anode de la diode. Alors, c'est comme si la résistance n'existait pas.

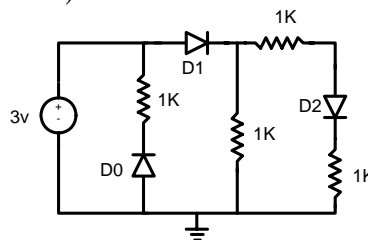
Donc, quand V_D est 0, le courant est de 2.5A. Quand V_D est maximum (5v), le courant est 0 : on trace la courbe.



Dans l'autre cas, il faut simplement faire la combinaison en parallèle des 2Ω . Une fois que c'est fait, c'est la même chose que ce qu'on a fait dans le cours de révision.

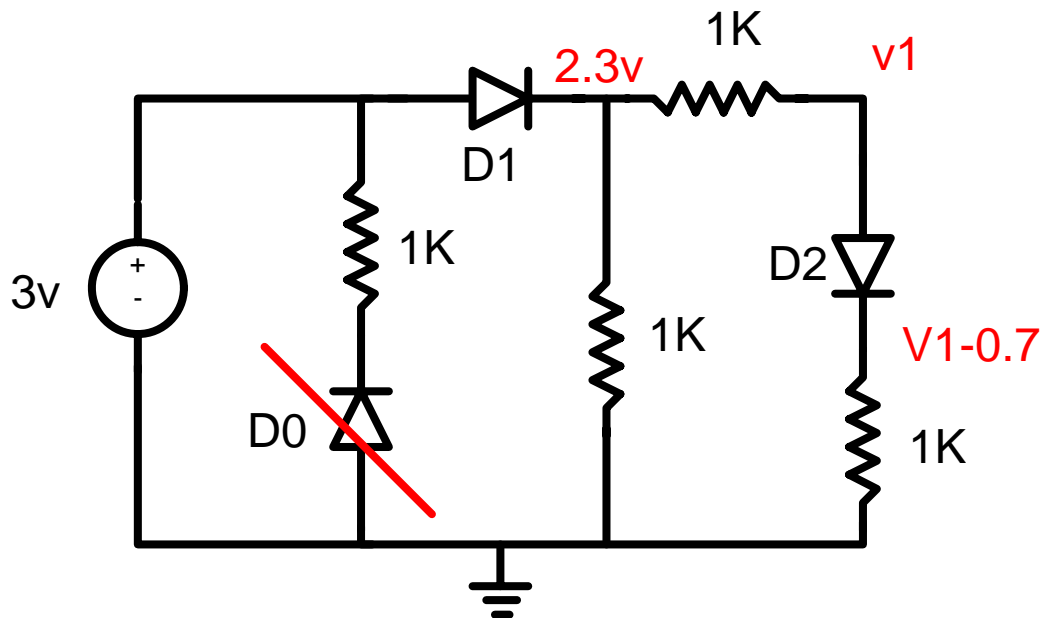
Quand V_D est 0, le courant est 2.5A. Quand V_D est max (5v), le courant est 0 : on trace la ligne et ça donne la même chose que l'autre situation.

Question 4 Pour le circuit suivant, répondez aux questions suivantes avec le modèle ON-OFF avec chute de 0.7v. (10 points)



Par inspection, on peut déjà deviner que D0 ne va pas conduire. On devrait aussi avoir l'idée générale que les 2 autres diodes vont conduire. Alors, on fait cette hypothèse et on procède.

On remplit les données tranquillement sur la figure...



On écrit l'équation au noeud v_1 :

$$\frac{2.3 - v_1}{1K} = \frac{v_1 - 0.7}{1K}$$

$$\frac{2.3}{1K} - \frac{v_1}{1K} = \frac{v_1}{1K} - \frac{0.7}{1K}$$

$$2.3 - v_1 = v_1 - 0.7$$

$$3 = 2v_1$$

$$v_1 = 1.5$$

Courant dans D2 :

$$(1.5 - 0.7)/1K = 0.8\text{mA}$$

Courant dans branche parallèle :

$$2.3\text{mA}$$

Courant dans D1 :

$$2.3 + 0.8 = 3.1\text{mA}$$

La situation est plausible. Donc, l'hypothèse est bonne...

Les tensions font en sorte que les

a) Quelles diodes conduisent?

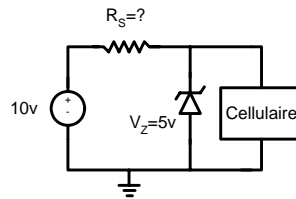
D1 et D2

b) Trouvez le courant qui circule dans chaque diode qui conduit (4 points)

3.1mA dans D1

0.8mA dans D2

Question 5. Vous avez un téléphone cellulaire qui a besoin d'une source d'alimentation de 5v. Au repos, il tire 50mA. Quand il sonne, il tire 75mA et quand vous parlez au téléphone, il tire 105mA. Vous êtes allé sur l'internet et avez trouvé le circuit suivant. (7 points)



Trouvez la valeur de R si votre diode devait:

- Au minimum avoir un courant de 10mA
- Au maximum avoir un courant de 100mA

$$\frac{10 - 5}{R} = \frac{5}{R} = \text{Courant}$$

Quand cellulaire est au repos, il consomme le MIN de courant. Dans ce cas, la diode prend le MAX de courant. Si le courant max de la diode est 100mA et au repos, le cellulaire prend 50mA, il faudrait que la source fournisse 150mA. Dans ce cas, il faudrait que la résistance R_S soit au minimum:

$$\frac{5}{R} = 150\text{mA} \Rightarrow 33.3\Omega$$

La résistance était plus grande, le courant dans la diode sera MOINS que 100mA et donc, c'est acceptable. Si la résistance était plus petite, il y aurait plus de courant dans la diode ce qui dépasserait le maximum permis.

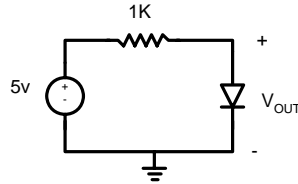
Quand on parle au téléphone, le courant est à son max (105mA) et donc, la consommation par la diode est à son min. Il faut au moins qu'il y ait 10mA dans la diode en tout temps et donc, il faudrait que la source fournisse 115mA. Pour ça, la résistance maximale doit être de :

$$\frac{5}{R} = 115\text{mA} \Rightarrow 43.5\Omega$$

Si la résistance était plus grande, la diode aurait moins de courant que la limite minimale et donc, ce n'est pas bon. Si la résistance était plus petite, il y aurait AU MOINS le 10mA demandé (tout serait correct).

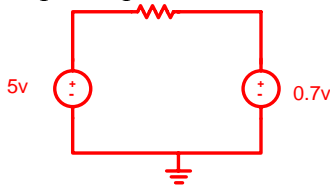
Alors, vous pouvez me donner une réponse n'importe où entre 33.3Ω et 43.5Ω .

Question 6. Considérez le circuit suivant qui sert à alimenter un circuit avec 0.7v. La source de 5v a été créée par un étudiant qui ne sait pas trop ce qu'il fait et donc, la source fluctue périodiquement entre 4v et 5v. Analysez l'effet de cette fluctuation sur le signal V_{OUT} avec 3 modèles différents: (12 points)

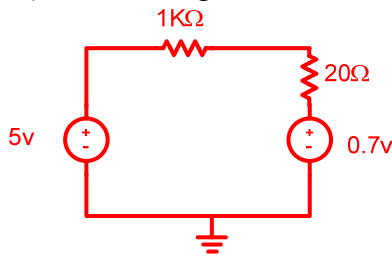


a) ON-OFF avec chute de 0.7v (2 points)

Avec un modèle ON-OFF, on remplacerait la diode par une source de tension de 0.7v. N'importe quelle fluctuation qu'il peut y avoir n'affecterait jamais V_{OUT} .



b) Modèle segmenté linéaire avec $R=20\Omega$. (4 points)



$$I = \frac{5 - 0.7}{1K + 20} = \frac{4.3}{1020} = 4.2mA$$

$$\Delta V = 4.2mA \cdot 20\Omega = 0.0843$$

$$V_{OUT} = 0.7 + \Delta V = 0.7843v$$

Quand la tension est à 5v, la tension fournie est de 0.7843v

$$I = \frac{4 - 0.7}{1K + 20} = \frac{3.3}{1020} = 3.2mA$$

$$\Delta V = 3.2mA \cdot 20\Omega = 0.0647$$

$$V_{OUT} = 0.7 + \Delta V = 0.7647v$$

Quand la tension est à 4v, la tension fournie est de 0.7647v

Variation de 0.0196v

c) Modèle petit signal ($T=300K$) (6 points)

On commence par trouver le courant I avec le modèle avec chute de tension de 0.7.

$$I = \frac{4.3}{1000} = 4.3mA$$

Or, on connaît la formule pour trouver r_d :

$$r_d = \frac{kT}{I_D} = \frac{0.025}{4.3mA} = 5.814\Omega$$

On voit que l'approximation qu'on avait fait avec le 20Ω (en b)) n'était pas si bonne que ca...

Question 7. Questions sur les semiconducteurs. (10 points)

a) Dans le silicium, combien d'électrons trouve-t-on sur la dernière orbite (nombre quantique principal le plus élevé)? (2 points)

$$n = 1 \quad l=0 \quad ml=0 \quad UP \quad DOWN$$

$$n = 2 \quad l=0 \quad ml=0 \quad UP \quad DOWN$$

$$n = 2 \quad l=1 \quad ml=-1 \quad UP \quad DOWN$$

$$n = 2 \quad l=1 \quad ml=0 \quad UP \quad DOWN$$

$$n = 2 \quad l=1 \quad ml=1 \quad UP \quad DOWN$$

$$n = 3 \quad l=0 \quad ml=0 \quad UP \quad DOWN$$

$$n = 3 \quad l=1 \quad ml=-1 \quad UP$$

$$n = 3 \quad l=1 \quad ml=0 \quad UP$$

Dernier niveau c'est le niveau 3, et sur ce niveau, il y a 4 électrons.

b) Avec $E_F=1.3\text{eV}$ et $T=300\text{K}$, trouvez la probabilité d'avoir un électron au bas de la bande de conduction à 1.4eV . (2 points)

$$f(E) = \frac{1}{1 + e^{(E-E_F)/kT}}$$

$$f(E) = \frac{1}{1 + e^{(1.4-1.3)/0.025}} = 0.018$$

c) Dopons ce silicium avec 5×10^{16} atomes de type N (qui participent tous à la conduction). Combien de trous trouve-t-on dans la bande de valence? (2 points)

$$n_i^2 = n_0 p_0$$

$$p_0 = \frac{(1.5 \times 10^{10})^2}{5 \times 10^{16}} = 4500$$

d) De combien change le niveau de fermi? (2 points)

$$n_0 = n_i e^{(E_F - E_i)/kT}$$

$$kT \ln \frac{n_0}{n_i} = (E_F - E_i)$$

Le niveau a change de 0.3755eV

e) On décide maintenant de connecter (théoriquement) ce bloc à un bloc de type P ayant été dope avec 1×10^{18} atomes. Calculez le voltage du champ qui se forme entre ces 2 régions. (2 points)

*Il y a 2 façons de le faire puisqu'on a 2 équations qui font la même chose.
L'équation la plus simple serait celle-ci puisque toutes les données sont là :*

$$V_B = kT \ln\left(\frac{1 \times 10^{18}}{4500}\right) = 0.8259 \text{ V}$$

Sinon, on pourrait calculer les électrons du côté P et ensuite utiliser l'autre équation pour V_B :

$$n_0 = \frac{(1.5 \times 10^{10})^2}{1 \times 10^{18}} = 225$$

$$V_B = kT \ln\left(\frac{5 \times 10^{16}}{225}\right) = 0.8259 \text{ V}$$

Équations

Constantes

k : $8.62 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$
 $1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$

q : $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$

n_i à 300K : 1.5×10^{10}

$$f(E) = \frac{1}{1 + e^{(E-E_F)/kT}}$$

$$n_0 = N_c e^{-(E_c - E_F)/kT}$$

$$p_0 = n_i e^{(E_i - E_F)/kT}$$

$$n_i^2 = n_0 p_0 = n_i p_i$$

$$n_0 = n_i e^{(E_F - E_i)/kT}$$

$$p_0 = N_v e^{(E_v - E_F)/kT}$$

$$V_B = kT \ln\left(\frac{p_p}{p_n}\right)$$

$$V_B = kT \ln\left(\frac{n_n}{n_p}\right)$$

$$I = I_S \left(e^{\frac{V}{kT}} - 1 \right)$$

$$r_d = \frac{kT}{I_D}$$

$$V_R = \frac{V_P}{fRC}$$

$$\Delta t = \frac{1}{\omega} \sqrt{2 \frac{V_R}{V_P}}$$

$$I_{DMOY} = I_L \left(1 + \pi \sqrt{\frac{2V_P}{V_R}} \right)$$

$$I_{DMAX} = I_L \left(1 + 2\pi \sqrt{2 \frac{V_P}{V_R}} \right)$$