

---

## 6GEI300 - Électronique I

### Examen Final

Automne 2015

---

#### 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. (10 points)

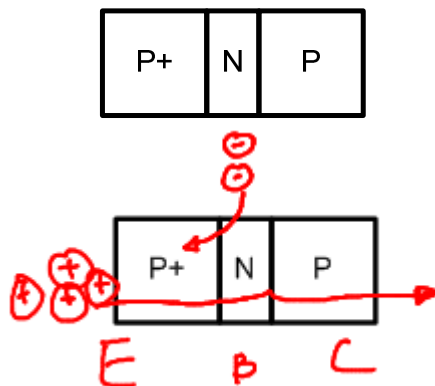
- a) Quel est l'intérêt de doper le silicium ? (1 point)

*Pour améliorer sa conductivité.*

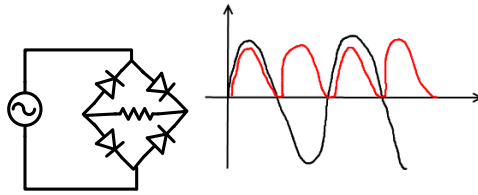
- b) De façon concrète, que représente de nombre quantique secondaire (l) ?

*Forme d'orbite.*

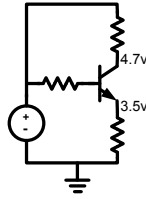
- c) Expliquez le déplacement des charges dans un transistor PNP en région active. Recopiez ce diagramme dans votre cahier et montrez les courants à l'aide de flèches. (1 point)



- d) Dessinez le circuit pour un redresseur à cycle complet (sans condensateur). Dans un autre dessin, illustrez un signal sinusoïdal en entrée ainsi que le signal à la sortie. (1 point)



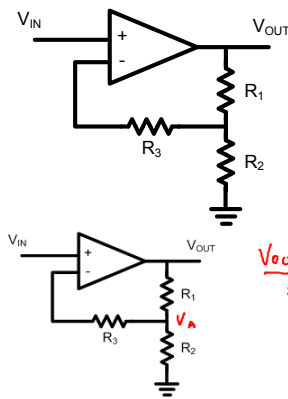
e) Dans quelle région d'opération se trouve ce circuit ? Expliquez. (1 point)



Région active

Pour les questions 1f, 1g et 1h, considérez le circuit suivant:

a) Analysez le circuit suivant contenant un amplificateur opérationnel IDÉAL et trouvez  $V_{OUT}$  en termes de  $V_{IN}$ . (4 points)



$$\frac{V_{out} - V_A}{R_1} = \frac{V_A - V_{in}}{R_3} = \frac{V_A - 0}{R_2}$$

Mais  $V_A = V_{in}$  (aucun courant dans  $V_-$ )

$$\frac{V_{out} - V_{in}}{R_1} = \frac{V_{in}}{R_2}$$

$$\frac{V_{out}}{R_1} = V_{in} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

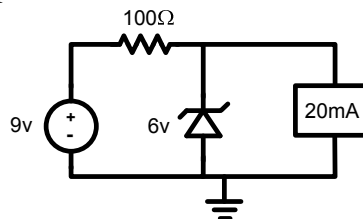
f) En quelle région d'opération doit être un transistor CMOS pour être un bon amplificateur ? (1 point)

Saturation.

- g) En quelle région d'opération doit être un transistor bipolaire pour être un bon amplificateur ? (1 point)

*Active*

- h) Quel est le courant qui passera dans la diode Zener ? (1 point)



- i) Décrivez les 3 modèles mathématiques utilisés pour approximer le comportement des diodes. (1 point)

*Modèle on-off sans chute de tension*

*Modèle on-off avec chute de 0.7v*

*Modèle segmenté linéaire.*

- j) Décrivez la valeur relative (nul, faible et élevé) et, si pertinent, la direction (entre ou sort) des 4 courants suivants :  $I_B$  d'un NPN,  $I_B$  d'un PNP,  $I_G$  d'un NMOS et  $I_G$  d'un PMOS. (1 point)

*NPN : entre dans la base, intensité faible*

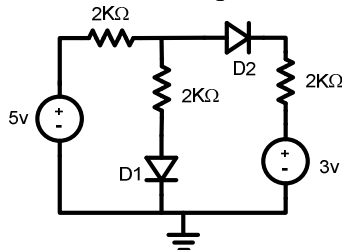
*PNP : sort de la base, intensité faible*

*NMOS : aucun courant*

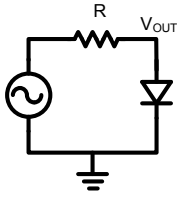
*PMOS : aucun courant*

### Question 2. Diodes (8 points)

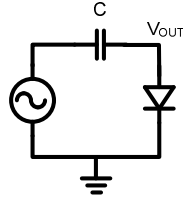
- a) Pour le circuit suivant, trouvez les tensions et les courants différents pour ensuite déterminer quelles diodes conduisent et quelles ne conduisent pas. (4 points):



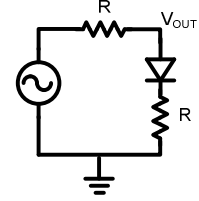
- b) En utilisant le modèle ON-OFF avec chute de 0.7v, dessinez le signal  $V_{OUT}$  pour chacun des circuits. Dessinez aussi le signal en entrée de  $5\sin(\omega t)$  et identifiez les valeurs importantes dans le graphique. (4 points)



i)



ii)



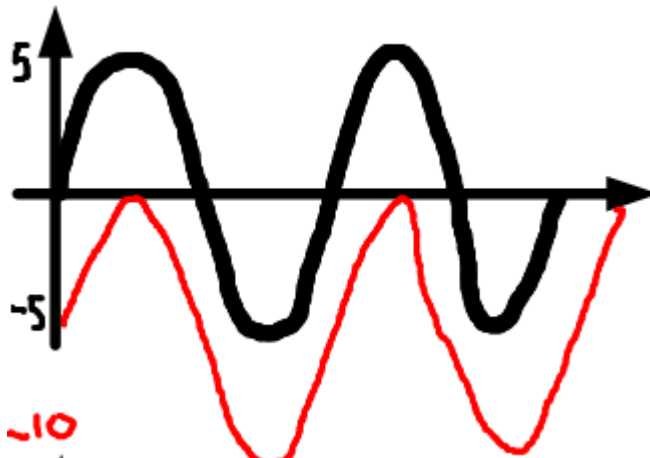
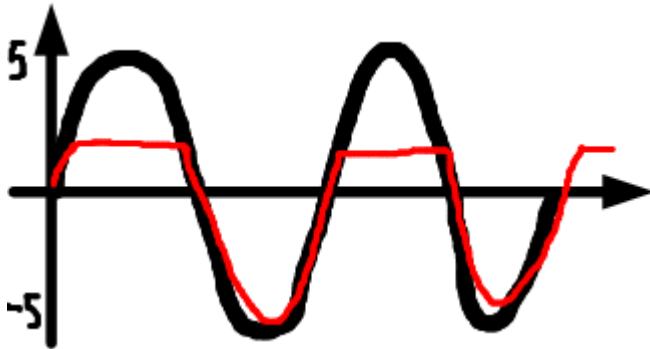
iii)

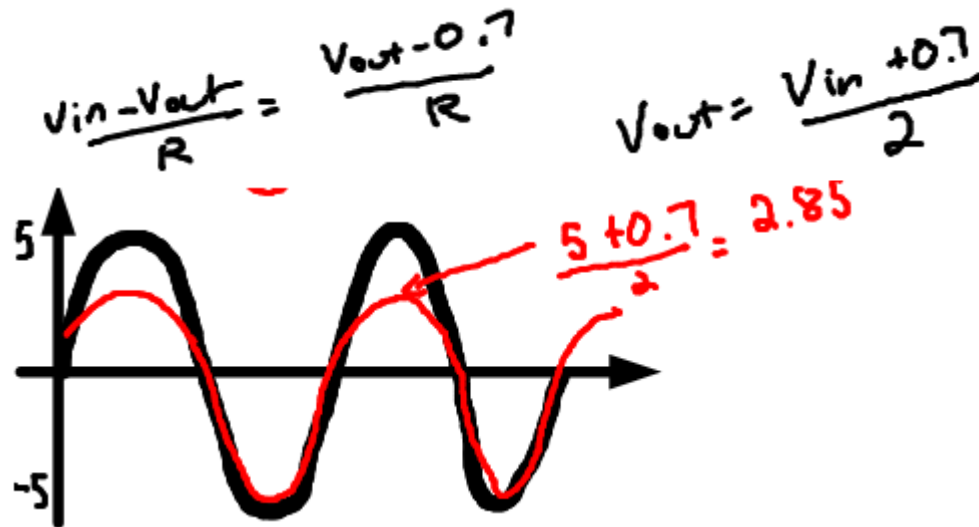
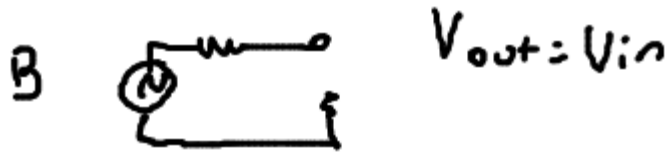
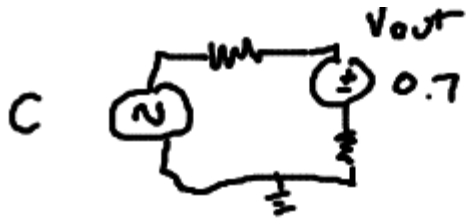


$V_{out} = 0.7$



$V_{out} = V_{in}$

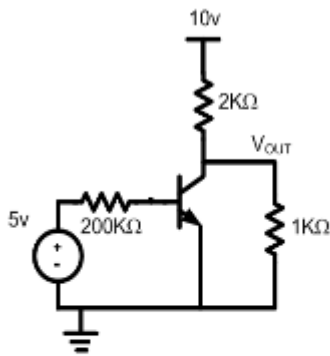
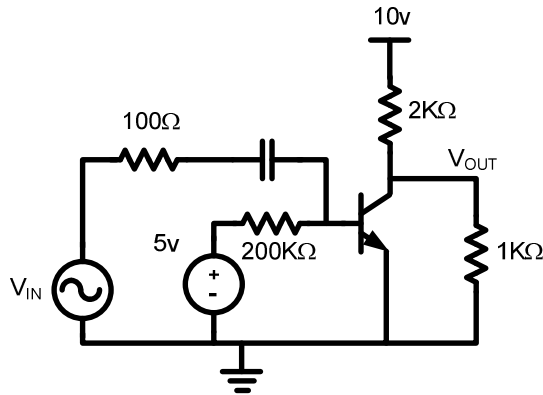




**Question 3.** Analyse petit signal (6 points)

- Déterminez la tension  $V_C$  et le courant  $I_C$ . (1 point)
- Déterminez  $g_m$  et  $r_{\pi}$ . (1 point)
- Redessinez le circuit pour effectuer l'analyse petit-signal. (2 points)
- Trouvez le gain  $V_{OUT}/V_{IN}$ . (2 points)

**NOTE:** En vous trompant en cours de route, vous perdrez **AUTOMATIQUEMENT** les points des sous-questions subséquentes.



$$I_B = \frac{5 - 0.7}{200k} = 21.5 \mu A$$

$$I_C = 2.15 \text{ mA}$$

$$\frac{10 - V_C}{2k} = 2.15 \text{ mA} + \frac{V_C}{1k}$$

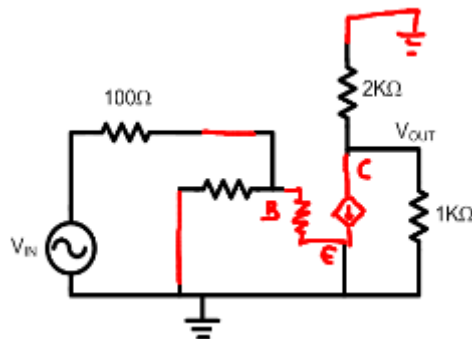
$$10 - V_C = 4.3 + 2V_C$$

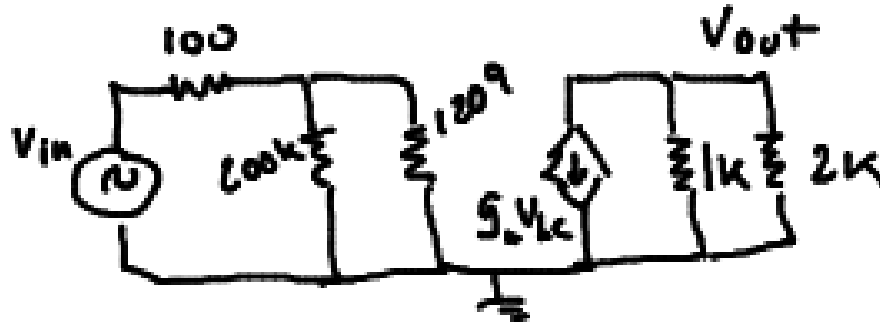
$$5.7 = 3V_C$$

$$\Rightarrow V_C = \frac{5.7}{3} = 1.9 \text{ V}$$

$$g_m = \frac{2.15 \text{ mA}}{26 \text{ mV}} = 0.083$$

$$r_{\pi} = \frac{100}{0.083} = 1209$$





$$V_{be} = V_{in} \cdot \frac{120}{120 + 100}$$

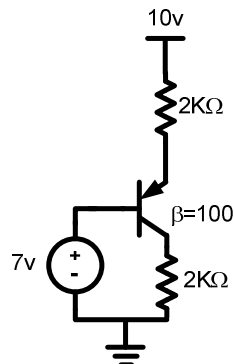
$$V_{out} = -0.083 V_{be} \cdot 667$$

$$= -V_{in} \frac{120}{130} \cdot 0.083 \cdot 667$$

$$\Rightarrow \frac{V_{out}}{V_{in}} = 51.1$$

**Question 4. Transistors bipolaires (8 points)**

- a) Trouvez les tensions et les courants du transistor dans le circuit suivant. Lorsque pertinent, trouvez aussi le  $\beta_{forcé}$ . (4 points)



$$\frac{10 - 7.7}{2k} = \frac{2.3}{2k}$$

$$I_E = 1.15mA$$

$$I_B + I_C = I_E$$

$$I_B + \beta I_B = I_E$$

$$I_B = \frac{I_E}{\beta + 1}$$

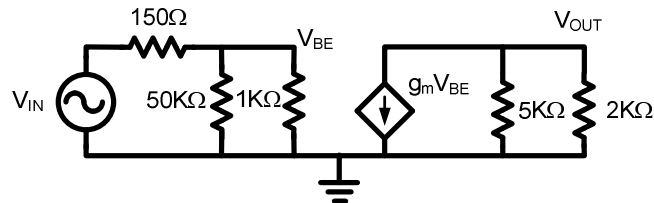
$$= 11.4 \mu A$$

$$I_C = 1.14mA$$

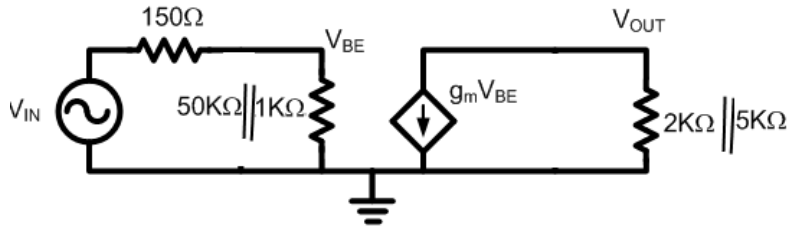
$$V_C = 2.28V$$

BC bloqué  
⇒ région active

- b) Le modèle petit-signal d'un amplificateur donné est présenté à la figure suivante.  
Trouvez le gain  $V_{OUT}/V_{IN}$  si  $g_m=0.5$ . (4 points)







$$V_{be} = \frac{V_{in} \cdot (50k \parallel 1k)}{(50k \parallel 1k) + 150\Omega}$$

$$V_{out} = -g_m V_{be} \cdot (2k \parallel 5k)$$

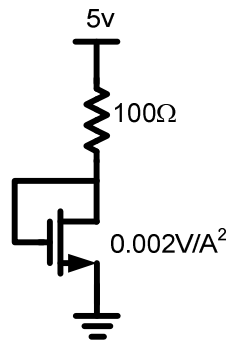
$$V_{out} = -g_m \frac{V_{in} \cdot (50k \parallel 1k)}{(50k \parallel 1k) + 150\Omega} (2k \parallel 5k)$$

$$= -0.5 \cdot V_{in} \cdot \frac{980}{980 + 150} \cdot 1429$$

$$\Rightarrow \frac{V_{out}}{V_{in}} = -0.5 \cdot 0.87 \cdot 1429 = -622$$

**Question 5. Transistors CMOS (8 points)**

- a) Trouvez les tensions et les courants du transistor qui a une caractéristique  $\mu C_{OX}(W/L)=0.002$ . (4 points)



Hypothèse: saturation

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

$$I_D = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{500} (V_{GS} - 0.7)^2$$

$$V_{GS} = 5 - I_D \cdot 100$$

$$I_D = \frac{1}{1000} (5 - 100 I_D - 0.7)^2$$

$$1000 I_D = (4.3 - 100 I_D)^2$$

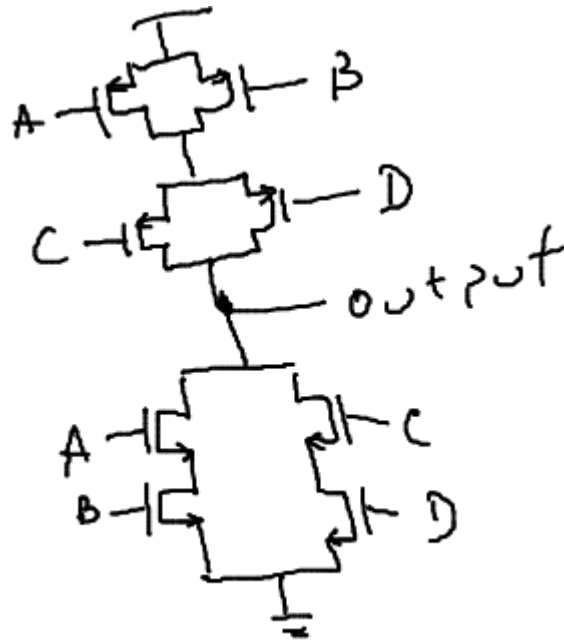
$$1000 I_D = 18.49 - 208.6 I_D + 10000 I_D^2$$

$$0 = 18.49 - 1208.6 I_D + 10000 I_D^2$$

$$\frac{1208.6 \pm \sqrt{1208.6^2 - 4 \cdot 10000 \cdot 18.49}}{20000}$$

$$\frac{1208.6 \pm 849}{20000} \begin{cases} 102.9 \text{ mA} \Rightarrow V_D = V_G = -0.29 \\ 17.9 \text{ mA} \Rightarrow V_D = V_G = 8.21 \end{cases}$$

- b) En utilisant des transistors CMOS, implémentez la fonction suivante en utilisant à la fois des NMOS et des PMOS :  $F = (A \bullet B) + (C \bullet D)$  (4 points)



---

## Équations

$$|V_{BE}| = 0.7v$$

$$|V_{CESAT}| = 0.2v$$

$$I_E = I_C + I_B$$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

$$V_{TH} = 0.7v$$

$$g_m = \frac{I_C}{26mV}$$

$$r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m}$$

Linéaire

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

Saturation

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

