



UNIVERSITÉ DE
SHERBROOKE

Session S6e
Génie électrique

APP1
Examen formatif

GEL655 Physique des composants semiconducteurs
GEL651 Électronique II

Département de génie électrique et de génie informatique
Faculté de génie Université de Sherbrooke
Été 2023

Copyright © 2023 Département de génie électrique et de génie informatique, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec.

Préparé par Serge Charlebois à partir de versions antérieures.

On ne peut reproduire ni diffuser aucune partie du présent ouvrage, sous quelque forme ou par quelque procédé que ce soit, sans avoir au préalable obtenu l'autorisation écrite du détenteur de copyright.

Question A

1. Quelle doit être l'efficacité quantique d'une photodiode de 0.01 cm^2 de surface pour quelle génère un courant de $3.4 \text{ }\mu\text{A}$ avec un flux de $4.5 \times 10^{15} \text{ photons/s.cm}^2$.
2. Si la longueur d'onde des photons est de 650 nm , calculez la responsivité de cette diode ?

Question B

1. Une DEL dont l'efficacité de puissance est de 43% émet à une longueur d'onde de 550 nm . Sachant qu'elle est polarisée à 50 mA et 2.1 V , quelle est la puissance lumineuse émise?
2. Calculez l'efficacité quantique de cette diode ?

Question C

On vous demande de revoir le dopage du silicium dans les zones de contact de drain et de source d'un transistor nMOS afin que leur résistivité soit de $6.6 \times 10^{-4} \text{ }\Omega\cdot\text{cm}$.

1. Quel dopage permet d'atteindre cette spécification? Dans du silicium fortement dopé (comme c'est le cas ici), on estime la mobilité des trous à $370 \text{ cm}^2/\text{V}$ et celle des électrons à $950 \text{ cm}^2/\text{V}$.
2. Peut-on négliger la contribution des porteurs minoritaires?
3. Sachant qu'avant cette augmentation du dopage, la résistivité des zones de contact était de $0.66 \text{ }\Omega\cdot\text{cm}$, de combien aurez-vous réduire la résistance série (parasite) du drain et de la source ?

Question D

Réviser les problèmes E.6 et E.7 (proc. 1) qui traite des propriétés petit signal de la diode, et donc par extension de la photodiode, de la DEL et des diodes présentes dans le BJT notamment.

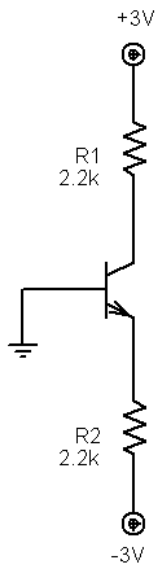
1. Soit une diode dont les dopages sont $N_a = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ et $N_d = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$. Sa capacité statique d'une diode (« depletion capacitance ») est de 52.6 pF à polarisation nulle. Calculez sa capacité statique lorsqu'elle est polarisée en inverse à 9 V . Considérez le paramètre $m=1/2$.

Question 1

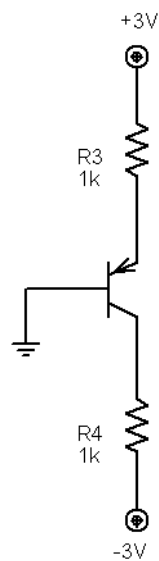
1 a) Pour les circuits suivants, calculer les tensions et courants de collecteur, de base et d'émetteur.

Calculez aussi la puissance dissipée par le circuit (tous les composants) et par le transistor.

Prendre $\beta = 30$ et $V_T = 26\text{mV}$. Considérer également que $|V_{BE\text{sat}}| = 0.7\text{ V}$ indépendamment du courant qui circule dans le transistor.

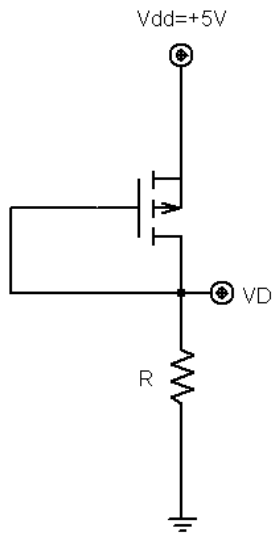


1 b)



1 c) Pour le transistor PMOS du circuit suivant, calculer les valeurs requises pour W et R afin d'obtenir un courant de drain de 1.15mA et une tension V_D de 3.5V .

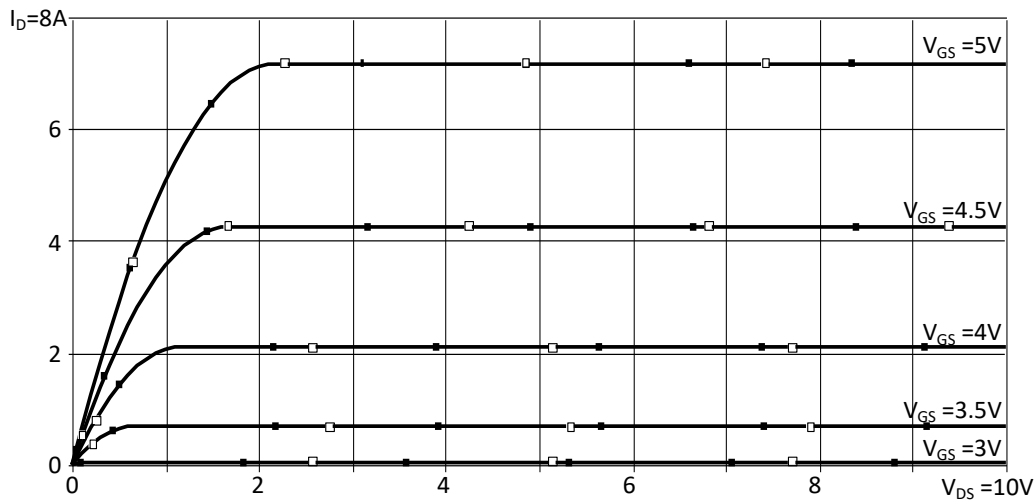
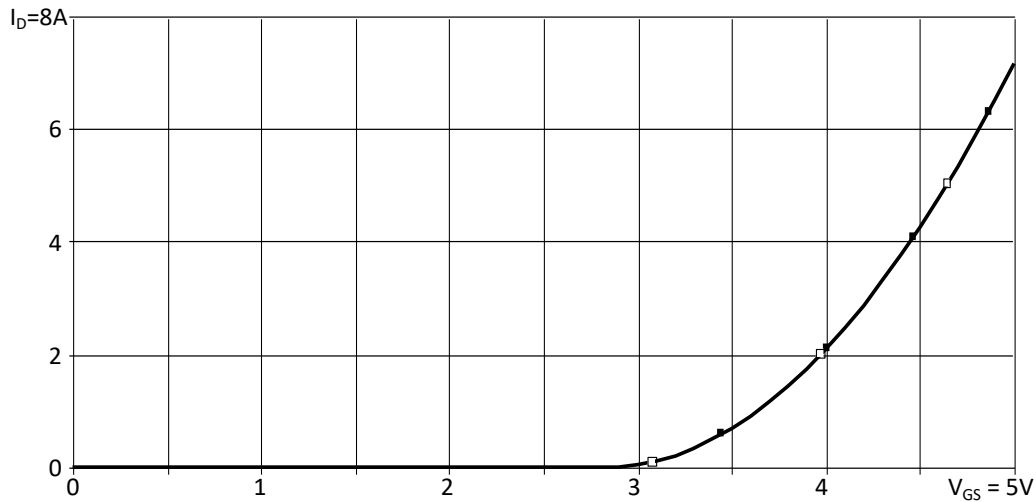
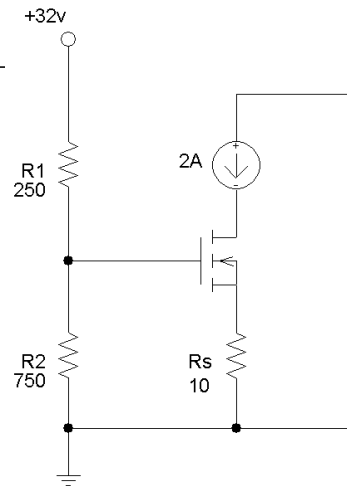
Considérer $V_t = -0.7\text{V}$, $\mu_p C_{ox} = 60\mu\text{A/V}^2$, $L = 0.8\mu\text{m}$ et $\lambda = 0$.



Question 2

Un MOSFET est polarisé par le circuit suivant.

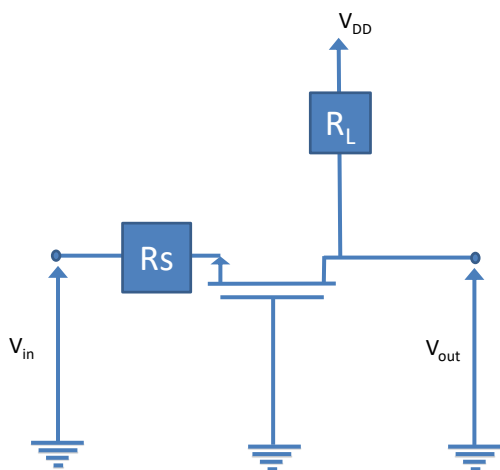
Déterminer graphiquement son point d'opération (V_{GS} , V_{DS} , I_D) à l'aide des figures suivantes qui représentent ses caractéristiques $I(V)$.



Question 3

Pour le circuit suivant,

- a) dessiner le schéma équivalent petit signal,
- b) démontrez l'expression du gain en tension,
- c) obtenez les impédances d'entrée et de sortie.



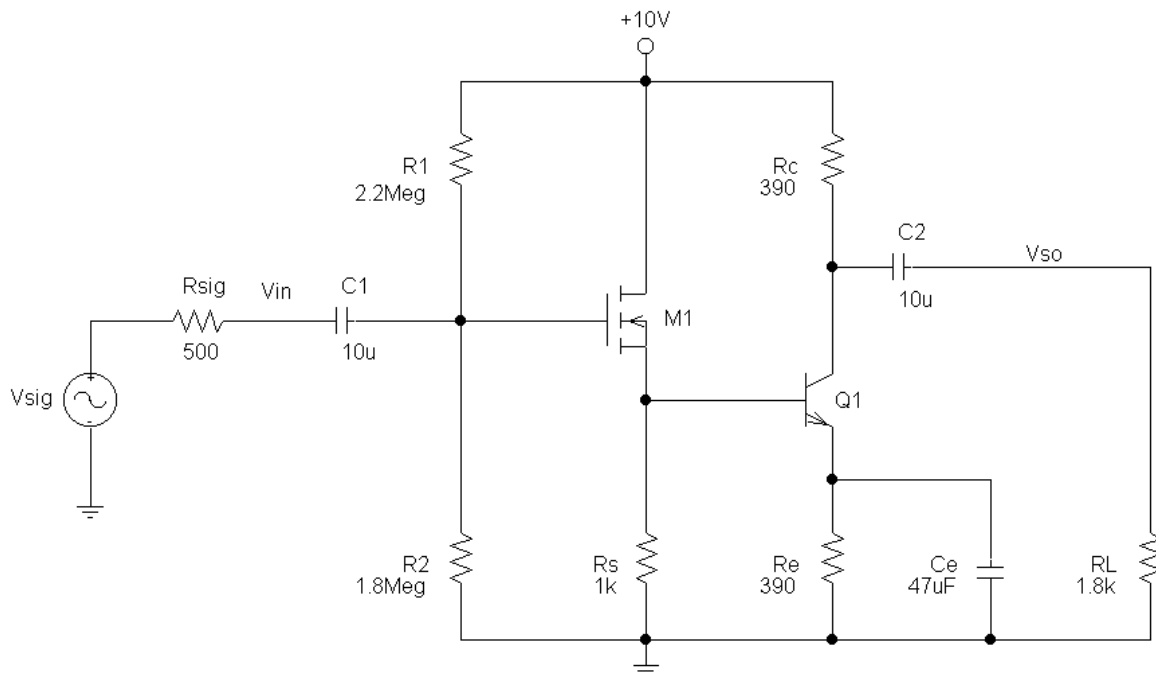
$$A_v = \frac{g_m R_L}{1 + g_m R_s}$$

Question 4

Soit le circuit suivant pour lequel les transistors ont les caractéristiques suivantes :

MOSFET : $K_n' = 100 \mu\text{A/V}^2$, $W = 32\mu\text{m}$, $L = 1 \mu\text{m}$, $V_t = 1 \text{ V}$, $\lambda = 0$, $g_m = 3.83 \text{ mA/V}$

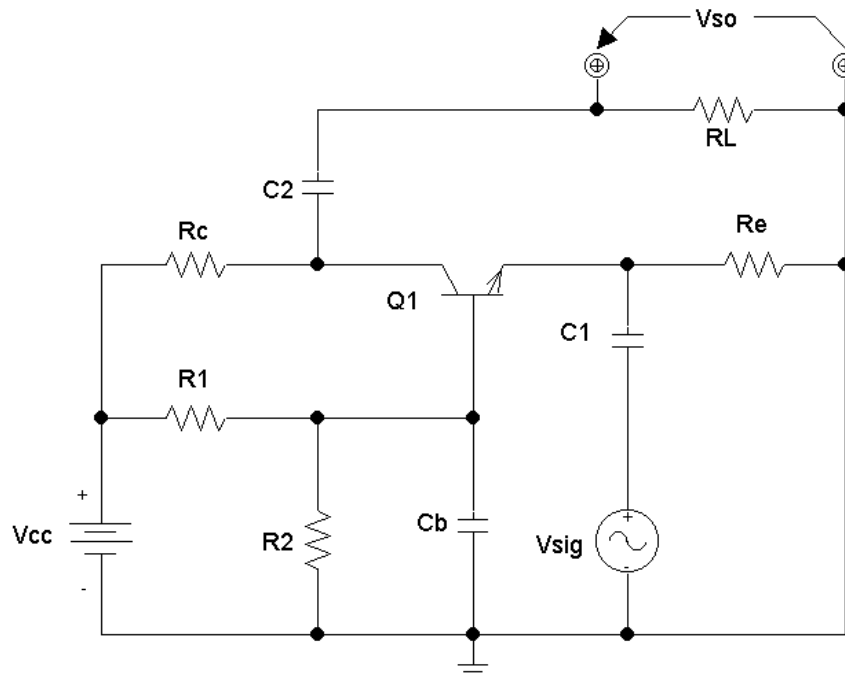
BJT : $\beta = 100$, $g_m = 162.4 \text{ mA/V}$, $r_\pi = 616 \Omega$, $r_e = 6.1 \Omega$, $r_o = 18.47 \text{ k}\Omega$,
 $V_T = 26 \text{ mV}$, $V_A = 75 \text{ V}$



- 1 a) Déterminez le point d'opération des transistors M1 et Q1.
 Prouvez toute hypothèse posée pour simplifier l'analyse DC du circuit.
- 1b) À partir des caractéristiques petit signal données dans l'énoncé, déterminez quel condensateur impose la fréquence de coupure basse du circuit, donnez l'expression de cette fréquence de coupure ainsi que sa valeur numérique.
- 1 c) Déterminez le gain v_{so}/v_{sig} du circuit total, son impédance d'entrée et son impédance de sortie. Prouvez toute hypothèse posée.
- 1 d) Déterminez la plage dynamique de tension disponible à la sortie.

Question 5

Soit le circuit suivant pour lequel on suppose le transistor correctement polarisé et les condensateurs C1 et C2 court-circuit aux fréquences d'intérêt.

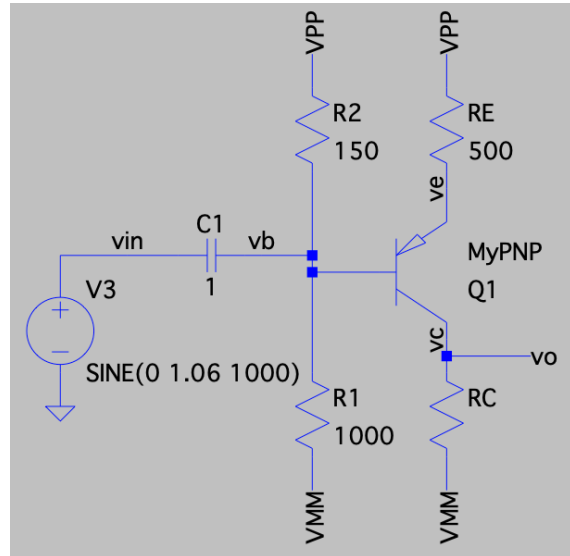


- 2 a) Tracez le circuit équivalent nécessaire pour une analyse AC dans la bande passante.
- 2 b) En résolvant le modèle petit signal, déterminez le gain de tension v_{so}/v_{sig} et l'impédance d'entrée du circuit. Négligez pour ce faire la résistance r_o du modèle du transistor bipolaire.
- 2 c) Quels sont les changements subits par le gain de tension et l'impédance d'entrée si on double le courant de collecteur I_C ?

Question 6

Soit le circuit suivant pour lequel $V_{PP} = -V_{MM} = 8V$, $I_{CQ} = 2.5\text{ mA}$, $g_m = 0.1\text{ S}$, $V_{BEsat} = 0.8\text{ V}$, $r_e = 10\ \Omega$ et $\beta = 75$.

Vous devrez déterminer entre autres l'amplitude de la source V_{sig} (dont la fréquence n'est pas pertinente à l'exercice).



Partie A : $R_C = 3162\ \Omega$

- Déterminez les tensions V_{BQ} , V_{EQ} et V_{CQ} au point d'opération.
- Quel est le gain à la sortie v_o (i.e. au collecteur) ?
- Quel est le gain à l'émetteur ?
- Quelle est la plage dynamique de sortie ?
Tracez les signaux v_E et v_C ainsi que les alimentations.
Est-elle limitée dans l'alternance positive ou négative (à la sortie) ?

Partie B : $R_C = 5000\ \Omega$

- Quelle partie du point d'opération a changé ?
- Quel est le gain à la sortie v_o (i.e. au collecteur) ?
- Quel est le gain à l'émetteur ?
- Quelle est la plage dynamique de sortie ?
Tracez les signaux v_E et v_C ainsi que les alimentations.
Est-elle limitée dans l'alternance positive ou négative (à la sortie) ?

Partie C : $R_C = 2000\ \Omega$

- Quelle partie du point d'opération a changé ?
- Quel est le gain à la sortie v_o (i.e. au collecteur) ?
- Quel est le gain à l'émetteur ?
- Quelle est la plage dynamique de sortie ?
Tracez les signaux v_E et v_C ainsi que les alimentations.
Est-elle limitée dans l'alternance positive ou négative (à la sortie) ?

Partie D : Pour les 3 situations précédentes (parties A, B et C), quelle est la plage dynamique de tension à l'entrée ?

Partie E : Quelle conclusion pratique de la relation entre gain et plage dynamique peut-on tirer de cet exercice ?