

## Examen final

Département de génie électrique et de génie informatique  
GEL-3000 – Électronique des composants intégrés

Le 27 avril 2016

Documentation permise : 2 feuilles de notes recto verso et 1 calculatrice.

Durée de l'examen : 1 heure 50 (9h30 – 11h20).

---

### 1. (30 points) *Questions à courts développements*

- a) Soit le circuit de la Figure 1. Calculez les courants  $I_2$  et  $I_5$  sachant que  $R = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $|V_{tp}| = V_{th} = 0.5\text{V}$ ,  $V_{OV} = 0.2\text{V}$  et  $L = 1 \text{ }\mu\text{m}$  pour tout les transistors. **De plus,  $W_2 = 2W_1$ ,  $W_3 = 3W_1$ ,  $W_4 = W_1$ ,  $W_5 = 4W_1$ .**
- b) Pour le même circuit, donnez l'impédance d'entrée vue dans le drain de  $Q_1$ .
- c) On utilise le circuit de la Figure 1 pour polariser un amplificateur drain commun réalisé à l'aide d'un MOSFET de type n. Dessinez le schéma de cet amplificateur avec son circuit de polarisation.
- d) Expliquez brièvement le fonctionnement du convertisseur A/N illustré à la Figure 2 et dites dans quelles circonstances il est approprié de l'utiliser.
- e) Soit le schéma de circuit montré à la Figure 3. Donnez le nom et la fonction de ce circuit et expliquez brièvement son fonctionnement. **Enfin, tracez  $v_i$  et  $v_o$  en fonction du temps.**
- f) Soit le circuit de la Figure 5. Que manque-t-il à cet amplificateur pour qu'on puisse l'utiliser en configuration inverseuse avec un réseau de rétroaction négative constitué de deux résistances?

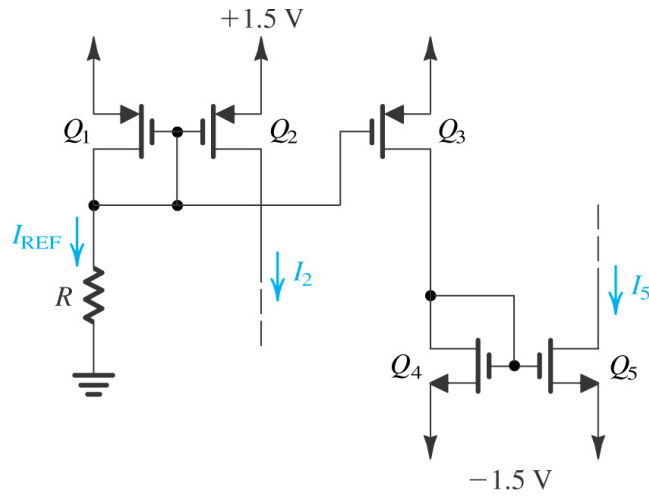


Figure 1.

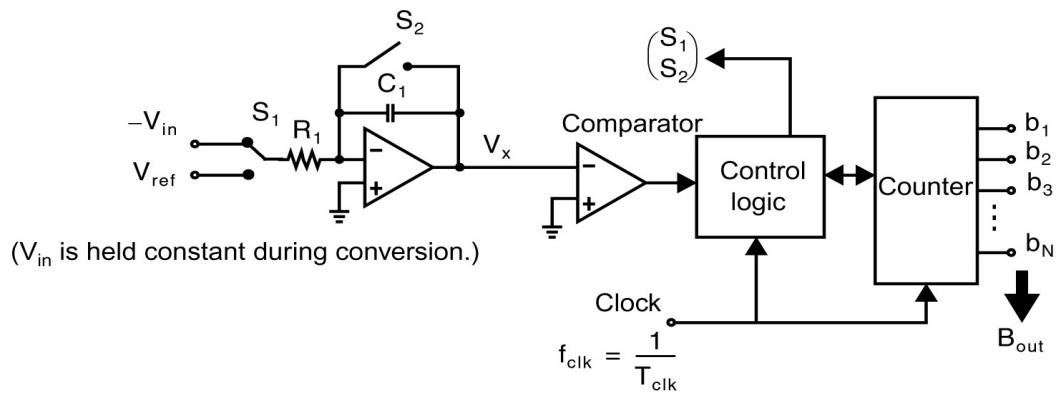


Figure 2.

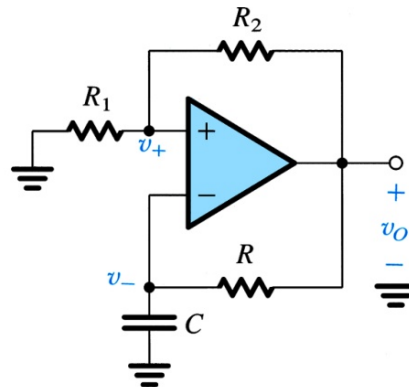


Figure 3.

2. (30 points) *Analyse de circuits*

Soit le circuit suivant :

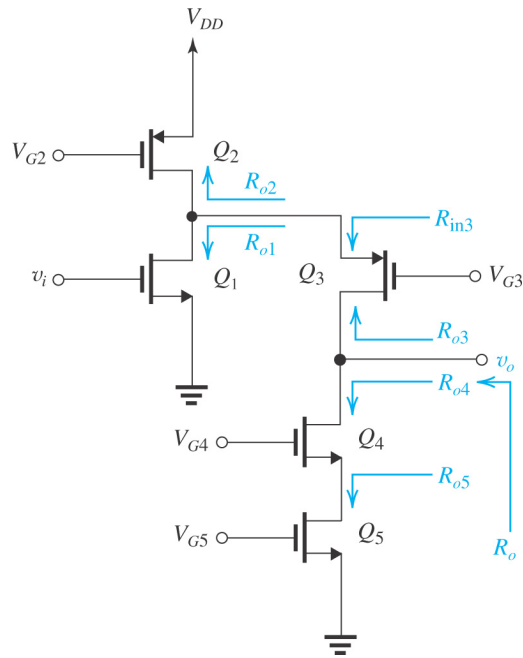


Figure 4.

Répondez aux questions suivantes en expliquant bien votre raisonnement.

- Expliquez le rôle de chaque transistors.
- Dessinez le modèle petit signal de ce circuit.
- Donnez les impédances  $R_{o1}$ ,  $R_{o2}$ ,  $R_{o3}$ ,  $R_{o4}$  et  $R_{o5}$ .
- Donnez l'impédance d'entrée et l'impédance de sortie  $R_o$  du circuit.
- Donnez l'expression du gain  $v_o/v_i$  en fonction des paramètres petit signal du circuit.
- Déterminez la plage de tensions d'entrée  $v_{i\_min} < v_i < v_{i\_max}$ .
- Déterminez la plage de tensions de sortie  $v_{o\_min} < v_o < v_{o\_max}$ .
- Que ce passerait-il si on connectait une charge résistive  $R_L$  à  $v_o$ ? Que faudrait-il ajouter à ce circuit pour conduire cette charge adéquatement?

3. (40 points) *Conception d'un amplificateur opérationnel CMOS*  
Soit le circuit suivant :

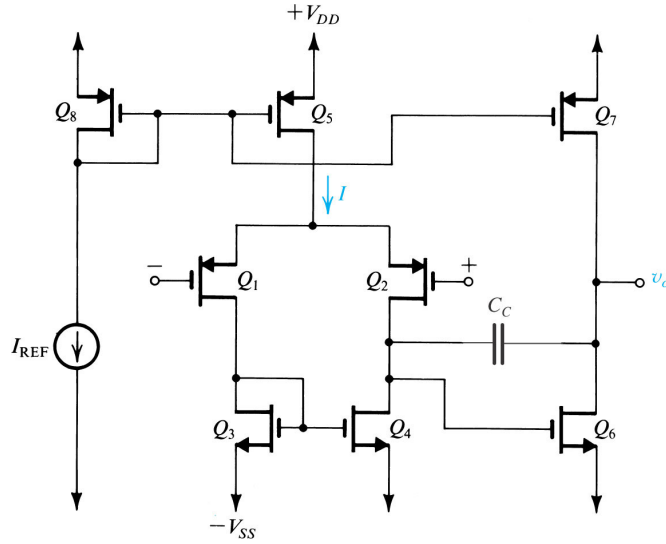


Figure 5.

L'ampli-op montré ci-dessus possède les caractéristiques suivantes :  $V_{DD} = V_{SS} = 1.8 \text{ V}$ ,  $V_{tn} = |V_{tp}| = 0.5 \text{ V}$ ,  $\mu_n C_{ox} = 400 \text{ } \mu\text{A/V}^2$  et  $\mu_p C_{ox} = 100 \text{ } \mu\text{A/V}^2$  et  $V_A' = 20 \text{ V}/\mu\text{m}$ . Utilisez  $L = 2 \text{ } \mu\text{m}$  et  $V_{OV} = 0.2 \text{ V}$  pour tous les MOSFET. **Notez que  $W_5 = 200 \text{ } \mu\text{m}$ ,  $W_7 = 100 \text{ } \mu\text{m}$  et que  $I_{REF} = 50 \text{ } \mu\text{A}$ .**

- Calculez les courants  $I_D$  et les  $W/L$  de tous les transistors.
- Calculez les  $g_m$  et les  $r_o$  de tous les transistors?
- Calculez le gain en boucle ouverte total ( $A_v$ ) et la résistance de sortie  $R_o$  de cet ampli-op.
- Déterminez sa plage de tension d'entrée en mode commun  $v_{icm\_min} < v_{icm} < v_{icm\_max}$ .
- Déterminez sa plage de tension de sortie  $v_{o\_min} < v_o < v_{o\_max}$ .
- Calculez le taux de rejet du mode commun du premier étage.
- Proposez une façon d'augmenter significativement le gain du deuxième étage sans changer le point de polarisation, ni rajouter de 3<sup>ème</sup> étage.
- Expliquez le rôle de  $C_C$  en quelques mots.

*Bonne chance!*

Benoit Gosselin

## Aide mémoire

### Courant de drain et paramètres petit signal du MOSFET

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

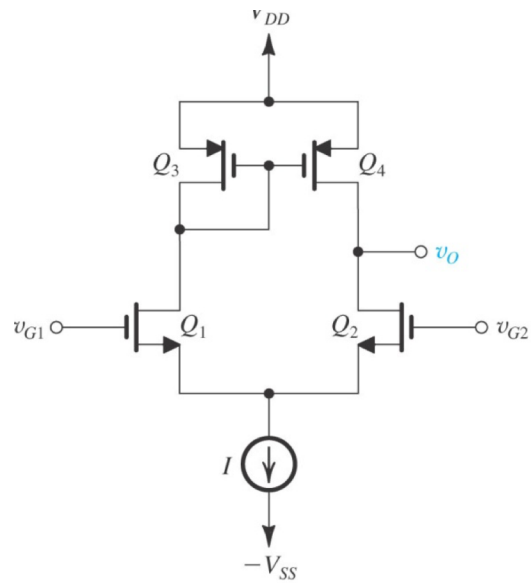
$$r_o = \frac{1}{\lambda I_D} = \frac{V_A}{I_D}$$

$$g_m = \frac{2I_D}{V_{OV}}, \quad g_m = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t), \quad g_m = \sqrt{2\mu_n C_{ox} (W/L) I_D}$$

$$V_{GS} = V_m + \sqrt{\frac{2I_D}{\mu_n C_{ox} (W/L)}}$$

### Paire différentielle

$$A_{cm} = \frac{v_o}{v_{icm}} = \frac{r_{o4}}{2R_{ss}} \frac{1}{1 + g_{m3} r_{o3}}$$



### Modèle petit signal de l'ampli-op à 2 étages

