

## Examen partiel

Département de génie électrique et de génie informatique

GEL-3000 – Électronique des composants intégrés

Le 19 mars 2013

Documentation permise : 1 feuille de notes recto verso et 1 calculatrice.

Durée de l'examen : 1 heure 50 (10h30 – 12h20).

---

### 1. (21 points) *Questions à courts développements*

Répondez aux questions suivantes :

- (a) Soit le circuit montré à la Figure 1. Proposez deux ajouts afin de réduire la tension de décalage à la sortie de ce circuit. Redessinez le circuit modifié.
- (b) Soit le circuit montré à la Figure 2. En supposant  $A_1$  idéal, donnez les valeurs de l'impédance d'entrée  $Z_{in}$  et de l'impédance de sortie  $Z_{out}$  de ce circuit.
- (c) Toujours pour le circuit de la Figure 2, développez une expression pour le gain en boucle fermée ( $A_{BF}$ ) en supposant que  $A_1$  possède un gain en boucle ouverte fini noté  $A_{BO}$ . Ensuite, calculez l'erreur  $\varepsilon$  sur  $A_{BF}$  basse fréquence si  $A_{BO}=100$  dB,  $R_1=10$  k $\Omega$  et  $R_2=50$  k $\Omega$ . Utilisez  $\varepsilon = (A_{BF\_réel} - A_{BF\_idéal}) \div A_{BF\_idéal} \times 100$ .
- (d) Dessinez le schéma d'un circuit dont l'impédance d'entrée est  $Z_{in} = -K / s^3$ , où  $K > 0$ .
- (e) La Figure 3 montre la réponse générique d'un filtre passe bas. Un filtre actif réalise une fonction Butterworth d'ordre 7 avec une fréquence de coupure de 10 kHz et une atténuation maximum dans la bande passante de 3 dB. Calculez l'atténuation fournie par ce filtre à  $\omega_s = 30$  kHz.
- (f) Pour le même filtre actif qu'en (e), donnez les zéros de la fonction de transfert et situez les pôles dans le plan complexe.

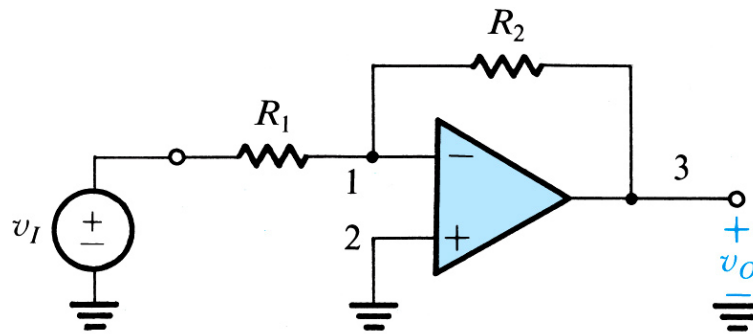


Figure 1.

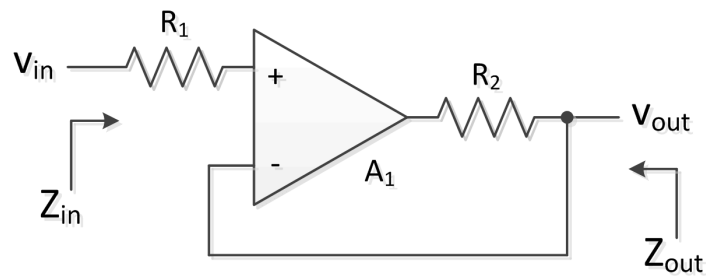


Figure 2.

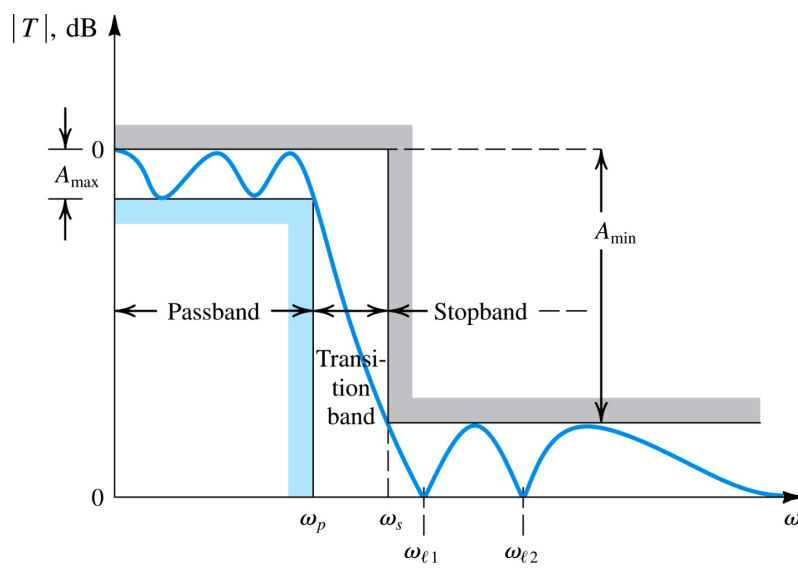


Figure 3.

2. (39 points) *Analyse de circuits*

Soit le circuit suivant :

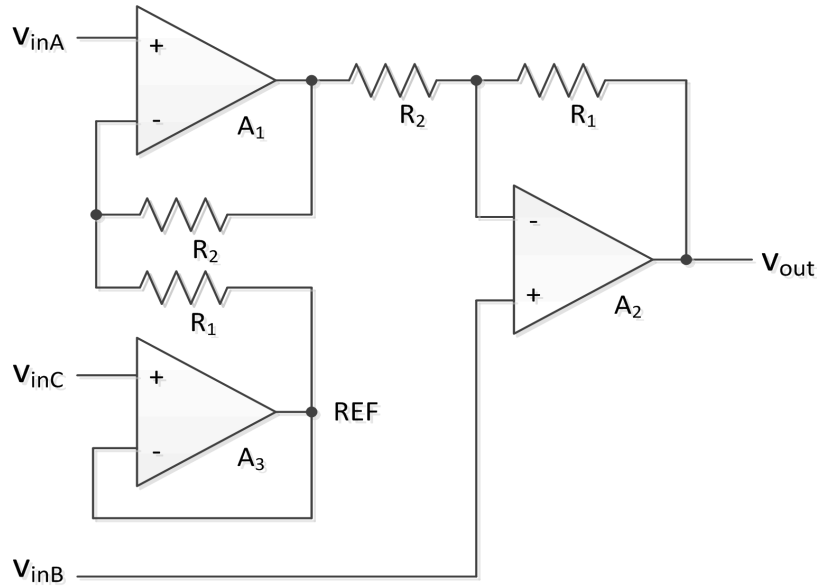


Figure 4.

- (a) En supposant que  $A_1$ ,  $A_2$ , et  $A_3$  sont des amplis-op idéaux, développez une expression pour  $V_{out}$  en fonction de  $V_{inA}$ ,  $V_{inB}$ ,  $V_{inC}$  et les résistances  $R_1$  et  $R_2$ .
- (b) Le circuit de la Figure 4 est représenté dans la Figure 5 par une « boîte noire » comportant trois entrées  $V_{inA}$ ,  $V_{inB}$ ,  $V_{inC}$  et une sortie  $V_{out}$ . Démontrez que le courant  $I_{out}$  dans la résistance de charge  $R_L$  est donné par l'expression :

$$I_{out} = \frac{A_d V_S}{R} \quad \text{où} \quad A_d = 1 + \frac{R_1}{R_2}$$

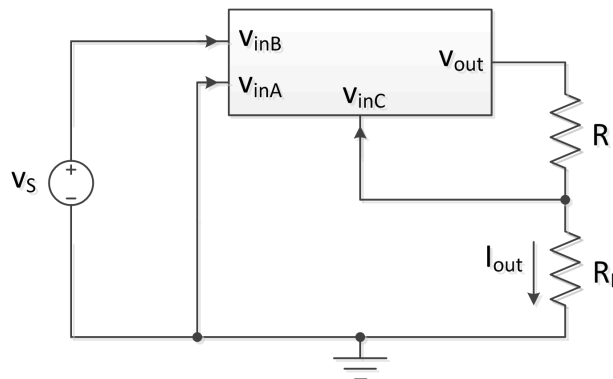


Figure 5.

- (c) Le circuit de la Figure 5 est une source de courant contrôlée par une tension, puisque l'équation en b) nous indique que le courant  $I_{out}$  qui passe dans la charge est indépendant de la résistance de charge  $R_L$ . Calculez la résistance de sortie  $R_{out}$  de cette source de courant en procédant comme suit :
- Éliminer toutes les sources de tension indépendantes (i.e. rendre  $V_S=0$  en reliant  $V_{inB}$  à la masse).
  - Enlever la résistance de charge  $R_L$  et la remplacer par une source de tension  $V_x$ .
  - Déterminer  $R_{out} = V_x / I_x$ , où  $I_x$  est le courant débité par la source  $V_x$ .
- (d) Quelle aurait été la résistance de sortie  $R_{out}$  de cette source de courant si au lieu d'un suiveur formé par  $A_3$  dans le circuit de la Figure 4 on avait connecté directement l'entrée  $V_{inC}$  au nœud REF?

3. (40 points) *Analyse et conception d'un filtre*  
Soit le circuit suivant :

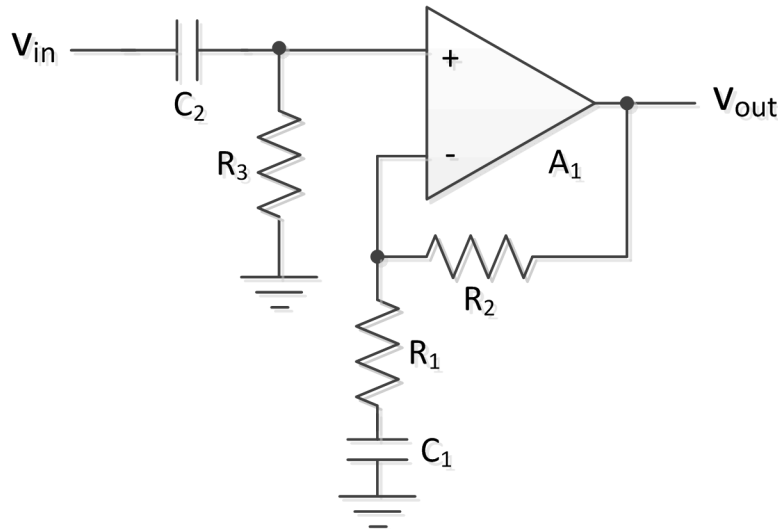


Figure 6.

- a) En supposant que  $A_1$  soit un ampli-op idéal, démontrez que le gain de tension  $H(s)$  de l'amplificateur de la Figure 6 s'écrit sous la forme :

$$H(s) \equiv \frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} = \frac{\left(\frac{s}{\omega_2}\right)}{\left[1 + \left(\frac{s}{\omega_2}\right)\right]} \times \frac{\left[1 + \left(\frac{s}{\omega_3}\right)\right]}{\left[1 + \left(\frac{s}{\omega_1}\right)\right]}$$

où  $\omega_1 = 1/C_1R_1$ ,  $\omega_2 = 1/C_2R_3$  et  $\omega_3 = 1/C_1(R_1+R_2)$ .

- b) En supposant que les composants du circuit sont choisis de façon à ce que  $\omega_2 \ll \omega_3 \ll \omega_1$ , déterminez les valeurs de  $H(j\omega)$  aux fréquences suivantes :
- $\omega = 0$
  - $\omega \gg \omega_1$
- c) On choisi  $C_1 = C_2 = 0.1 \mu\text{F}$ . Calculez  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  pour avoir les caractéristiques suivantes :
- Une fréquence de coupure à -3 dB d'environ 10 kHz.
  - Une impédance d'entrée dont le module  $|Z_{in}(j\omega)| = 1 \text{ M}\Omega$  aux fréquences  $\omega \gg \omega_1$ .
  - Un gain de tension dont le module  $|H(j\omega)| = 100 \text{ V/V}$  aux fréquences  $\omega \gg \omega_1$ .
- d) Le circuit de la Figure 6 doit être réalisé en mille exemplaires avec des amplis-op ayant les caractéristiques suivantes :
- Produit gain bande passante :  $f_T = 20 \text{ MHz}$
  - Slew rate :  $\text{SR} = 10 \text{ V}/\mu\text{s}$
  - Tension de décalage :  $V_{OS} = 2 \text{ mV}$  (typique), 5 mV (maximum)
  - Courant de polarisation :  $I_B = 100 \text{ nA}$  (typique), 500 nA (maximum)
  - Courant de décalage :  $I_{OS} = 20 \text{ nA}$  (typique), 80 nA (maximum)

Effectuez une analyse de pire cas pour déterminer la tension de décalage maximum (en valeur absolue) qu'on pourrait retrouver à la sortie de certains circuits lors des tests. Expliquez votre démarche.

---

*Bonne chance!*

Benoit Gosselin

## Aide mémoire

Résumé pour la conception de filtres :

### Fonctions d'ordre 1

Filter Type and $T(s)$	s-Plane Singularities	Bode Plot for $ T $	Passive Realization	Op Amp-RC Realization
(a) Low pass (LP)  $T(s) = \frac{a_0}{s + a_0}$			$CR = \frac{1}{\omega_0}$ DC gain = 1	$CR_2 = \frac{1}{\omega_0}$ DC gain = $-\frac{R_2}{R_1}$
(b) High pass (HP)  $T(s) = \frac{a_1 s}{s + a_0}$			$CR = \frac{1}{\omega_0}$ High-frequency gain = 1	$CR_1 = \frac{1}{\omega_0}$ High-frequency gain = $-\frac{R_2}{R_1}$
(c) General  $T(s) = \frac{a_1 s + a_0}{s + a_0}$			$(C_1 + C_2)(R_1 \parallel R_2) = \frac{1}{\omega_0}$ $C_1 R_1 = \frac{a_1}{a_0}$ DC gain = $\frac{R_2}{R_1 + R_2}$ HF gain = $\frac{C_1}{C_1 + C_2}$	$C_2 R_2 = \frac{1}{\omega_0}$ $C_1 R_1 = \frac{a_1}{a_0}$ DC gain = $-\frac{R_2}{R_1}$ HF gain = $-\frac{C_1}{C_2}$

## Fonctions d'ordre 2

Filter Type and $T(s)$	s-Plane Singularities	$ T $
<p>(a) Low pass (LP)</p> $T(s) = \frac{a_0}{s^2 + s\frac{\omega_0}{Q} + \omega_0^2}$ <p>DC gain = <math>\frac{a_0}{\omega_0^2}</math></p>		
<p>(b) High pass (HP)</p> $T(s) = \frac{a_2 s^2}{s^2 + s\frac{\omega_0}{Q} + \omega_0^2}$ <p>High-frequency gain = <math>a_2</math></p>		
<p>(c) Bandpass (BP)</p> $T(s) = \frac{a_1 s}{s^2 + s\frac{\omega_0}{Q} + \omega_0^2}$ <p>Center-frequency gain = <math>\frac{a_1 Q}{\omega_0}</math></p>		