Examen partiel

Département de génie électrique et de génie informatique

GEL-3000 – Électronique des composants intégrés

Le 19 mars 2013

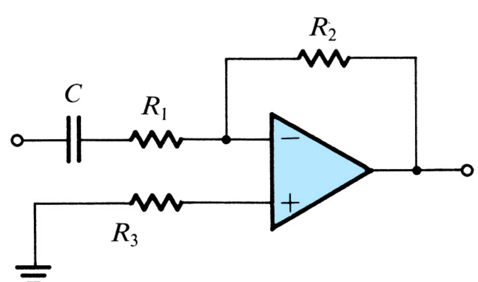
Documentation permise : 1 feuille de notes recto verso et 1 calculatrice.

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

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

   Répondez aux questions suivantes :

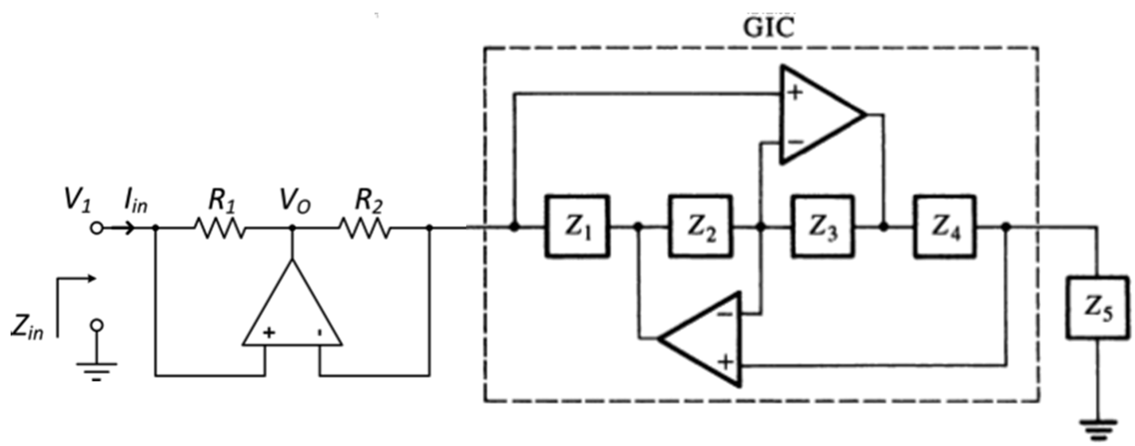
   (a) Soit le circuit montré à la Figure 1. Proposez deux ajouts afin de réduire la tension de décalage à la sortie de ce circuit. Redessinez le circuit modifié. **Réponse : l'effet de V_{OS} est limité à $V_{out} = V_{OS}$ grâce à C et l'effet de I_B est annulé si $R_3 = R_2$.**



   (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. **Réponse : $Z_{in} = \infty$, $Z_{out} = R_2$.**

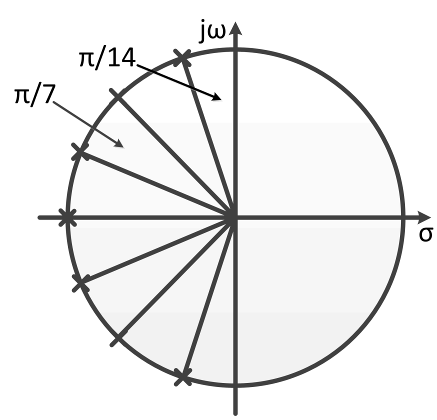
   (c) Toujours pour le circuit de la Figure 2, développez une expression pour le gain en boucle fermée (A_{BF}) en supposant que A_1 possède un gain en boucle ouverte fini noté A_{BO}. Ensuite, calculez l'erreur ε sur A_{BF} basse fréquence si A_{BO}=100 dB, R_1=10 kΩ et R_2=50 kΩ. Utilisez $\varepsilon = (A_{BF\_réel} - A_{BF\_idéal}) \div A_{BF\_idéal} \times 100$. **Réponse : $A_{BF} \equiv V_o/V_{in} = A_{BO}/(1+ A_{BO})$ ou $1/(1+1/_{ABO})$ et ε = 0.001%.**

(d) Dessinez le schéma d'un circuit dont l'impédance d'entrée est Z_{in} = -K / s^3, où K > 0. **Réponse : avec $Z_1=Z_3=Z_5=1/sC$, $Z_2=Z_4=R$, $Z_{in} = -R_1/R_2\times 1/(s^3C^3R^2)$ qui est bien de la forme recherchée avec $K= R_1/R_2\times 1/(C^3R^2)$.**



(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 ω_s = 30 kHz. **Réponse : $A(j\omega_s)$ = 66.8 dB.**

(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. **Réponse : il y 7 zéro à s = ∞. Pour les pôle, ω_0 = 2π×10 kHz. On situent les pôles dans le plan complexe comme suit :**



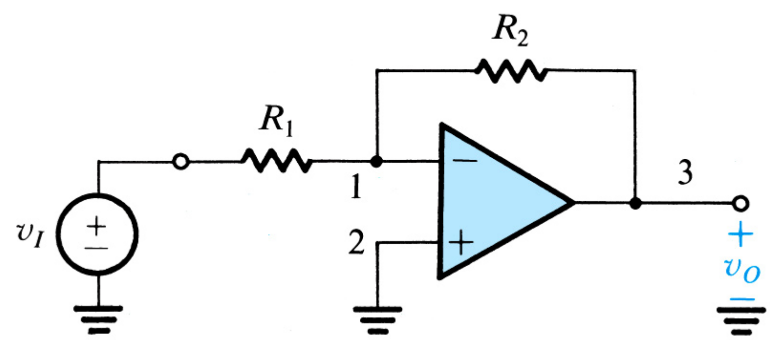


Figure 1.

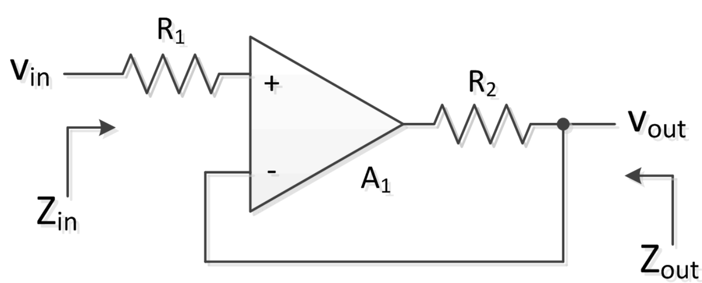


Figure 2.

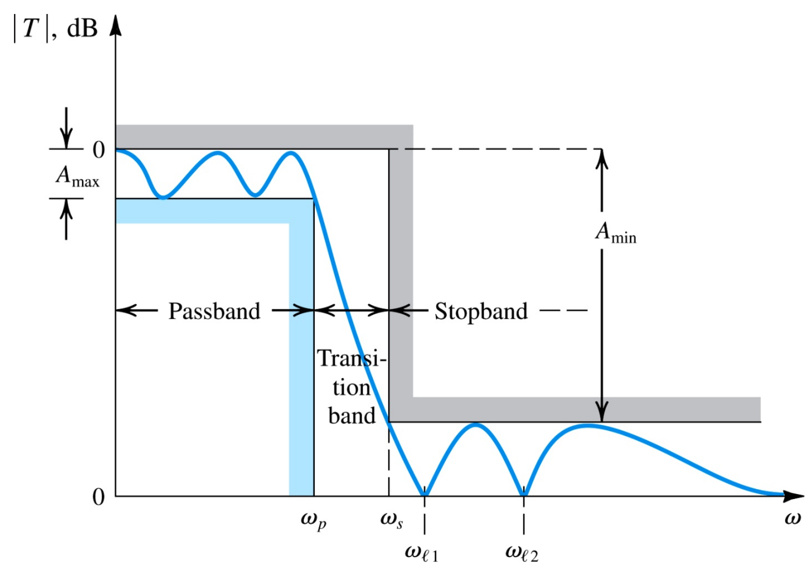


Figure 3.

2. (39 points) *Analyse de circuits*

Soit le circuit suivant :

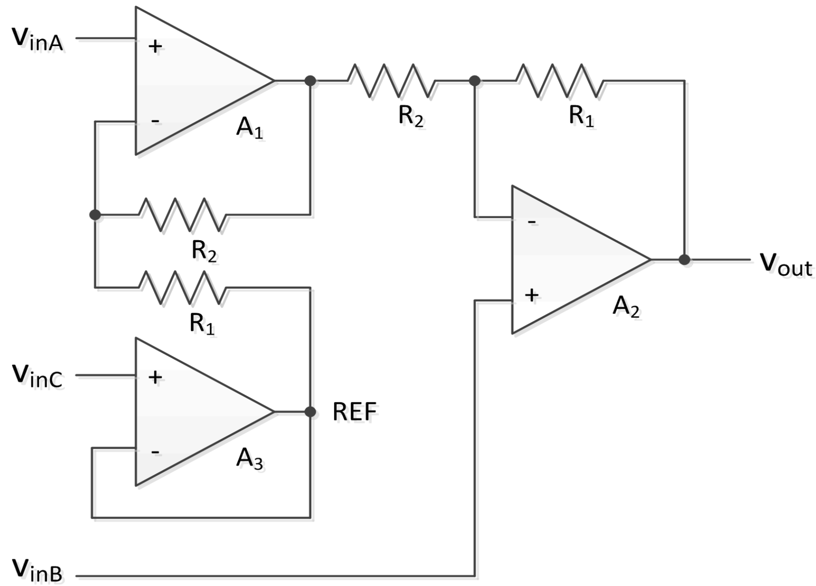


Figure 4.

(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.

Réponse :

$$\boldsymbol{V_{out} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)(V_{inB} - V_{inA}) + V_{inC}}$$

(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 :

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

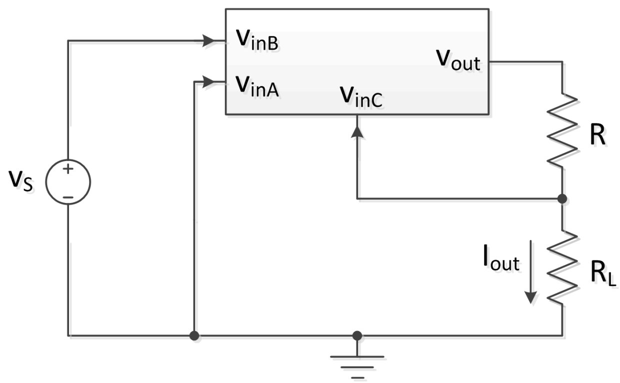


Figure 5.

Réponse : Il suffit de remplacer V_{inB}-V_{inA}=V_S, I_{out}×R_L=V_{inC} et $I_{out}(R+R_L)=V_{out}$ dans l'expression de V_{out} trouvée en (a) pour retrouver $I_{out}=A_dV_S/R$.

(c) Le circuit se 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.

Réponse : $R_{out} = \infty$.

(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?

Réponse : $R_{out} = R_1$.

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

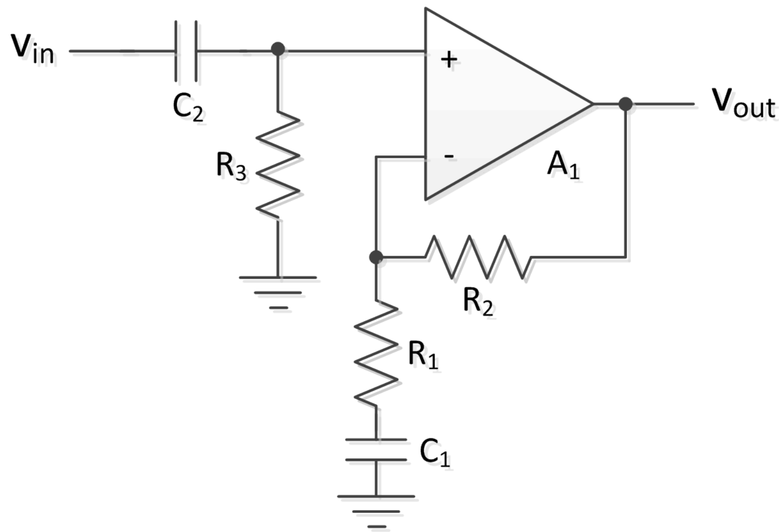


Figure 6.

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 $\omega_3 = 1/C_1(R_1+R_2)$.

Réponse : Il faut trouver $V_{out}/V_{in} = (V_+/V_{in})(V_{out}/V_+)$ où (V_+/V_{in}) est une fonction passe haut de type passive et (V_{out}/V_+) est une fonction passe haut de type amplificateur non-inverseur $(1+Z_2/Z_1)$.

b) En supposant que les composants du circuit sont choisis de façon à ce que $\omega_2 << \omega_3 << \omega_1$, déterminez les valeurs de $H(j\omega)$ aux fréquences suivantes :
   i) $\omega = 0$
   ii) $\omega >> \omega_1$

Réponse : i) $H(j\omega)=0$, ii) $H(j\omega)=\omega_1/\omega_3$, soit $(R_1+R_2)/R_1$.

c) On choisi $C_1 = C_2 = 0.1$ µF. 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 $|Z_{in}(j\omega)| = 1$ MΩ aux fréquences $\omega >> \omega_1$.
- Un gain de tension dont le module $|H(j\omega)| = 100$ V/V aux fréquences $\omega >> \omega_1$.

Réponse : R_1=159.2 Ω, R_2=15.9 kΩ et R_3=1 MΩ.

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 : $f_T = 20$ MHz
- Slew rate : SR = 10 V/µs
- Tension de décalage : $V_{OS} = 2$ mV (typique), 5 mV (maximum)
- Courant de polarisation : $I_B = 100$ nA (typique), 500 nA (maximum)
- Courant de décalage : $I_{OS} = 20$ 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. **Réponse : $V_O = V_{OS} + I_B(R_2-R_3)+I_{OS}R_2$. Si on considère que R2 et R3 sont identiques, $V_{O\_pire\_cas}$ = 13 mV.**

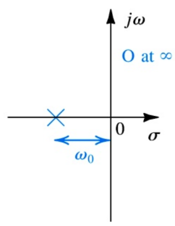
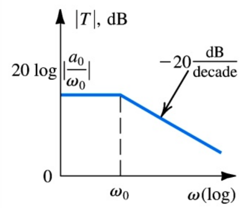
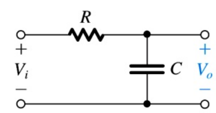
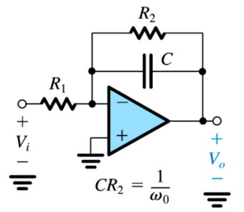
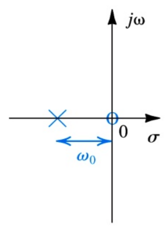
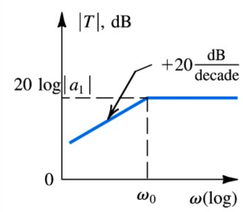
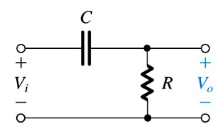
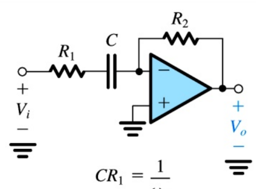
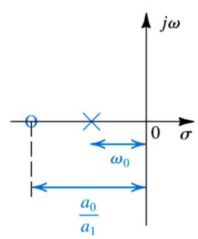
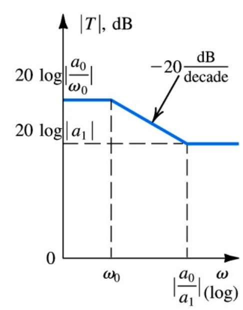
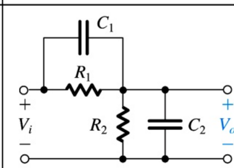
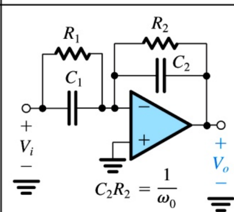
Bonne chance!

Benoit Gosselin

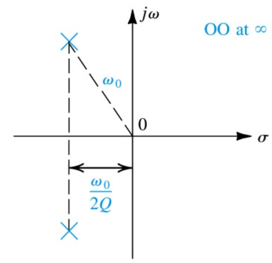
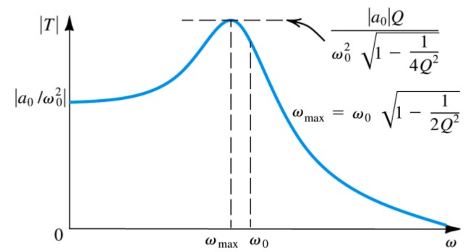
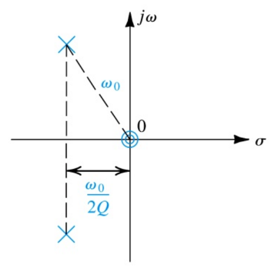
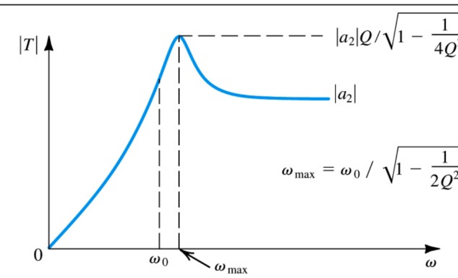
Aide mémoire

Résumé pour la conception de filtres :

Fonctions d'ordre 1

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

Fonctions d’ordre 2

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