

Examen partiel

Département de génie électrique et de génie informatique

GEL-3000 – Électronique des composants intégrés

Le 28 février 2012

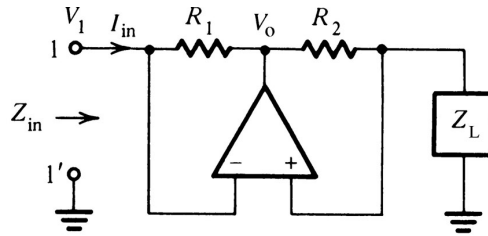
Documentation permise : 1 feuille de notes recto verso et 1 calculatrice.

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

1. (40 points) *Questions à courts développements*

Répondez aux questions suivantes :

- (a) Donnez l'impédance d'entrée $Z_{II'}$ du circuit montré à la Figure 1 pour $Z_1=Z_4=1/(sC)$ et $Z_2=Z_3=Z_5=R$. **Réponse : $Z_{II'} = R$.**
- (b) Nommer 2 avantages et 1 inconvénient des filtres actifs. **Réponse : *Avantages : 1) possèdent un gain ajustable, 2) possèdent une impédance de sortie faible et une impédance d'entrée infinie; Inconvénient : Opération limitée au basses et moyennes fréquences.***
- (c) Donnez le produit gain-bande passante de l'ampli-op correspondant à la courbe montrée à la Figure 2. **Réponse : $\omega_t \approx 3.6 \text{ MHz}$**
- (d) La Figure 3 présente la réponse temporelle grand signal d'un ampli-op à un échelon de tension de 5V. Quel est le slew rate de cet ampli-op? **Réponse : environ $5.8 \text{ V}/\mu\text{s}$ pour pente montante et environ $10 \text{ V}/\mu\text{s}$ pour pente descendante.**
- (e) Dessinez le schéma d'un circuit dont l'impédance d'entrée est $Z_{in} = -4 / (sC)$. **Réponse : Voir schéma ci dessus avec $Z_L = 1/sC$ (c'est un condensateur de valeur C) et $R_1 = 4 \text{ k}\Omega$ et $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$.**



(f) Donnez l'ordre et la valeur des zéros de la fonction de transfert suivante :

$$T(s) = \frac{Ks(s^2 + \omega_n^2)}{s^5 + b_4s^4 + b_3s^3 + b_2s^2 + b_1s + b_0}$$

Réponse : ordre 5, donc 5 zéros. Les zéros sont à $s=0$, $s=\pm j\omega_n$ et 2 zéros à $s=\infty$.

(g) La Figure 4 présente le schéma d'un amplificateur différentiel pour lequel $R_1=R_3=10 \text{ k}\Omega$, et $R_2=R_4=100 \text{ k}\Omega$. Calculez le taux de rejet du mode commun de cet amplificateur, sachant que le mode commun est atténué de 26 dB à la sortie.

Réponse : $A_d = 20 \text{ dB}$, $A_{cm} = 26 \text{ dB}$. $\text{TRMC} = 46 \text{ dB}$.

(h) Calculer l'ordre minimum de la réponse Butterworth rencontrant les spécifications suivantes : $\omega_p = 2\pi \times 2 \text{ kHz}$, $\omega_s = 2\pi \times 20 \text{ kHz}$, $A_{max} = 0.1 \text{ dB}$, $A_{min} = 80 \text{ dB}$.

Réponse : A_{min} est rencontré pour $N = 5$.

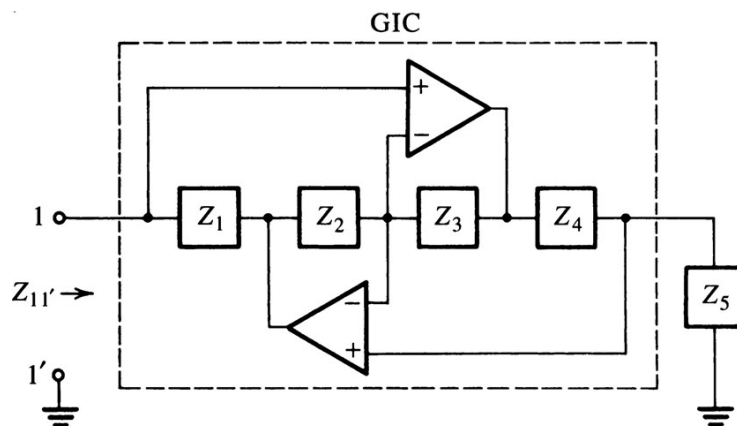


Figure 1.

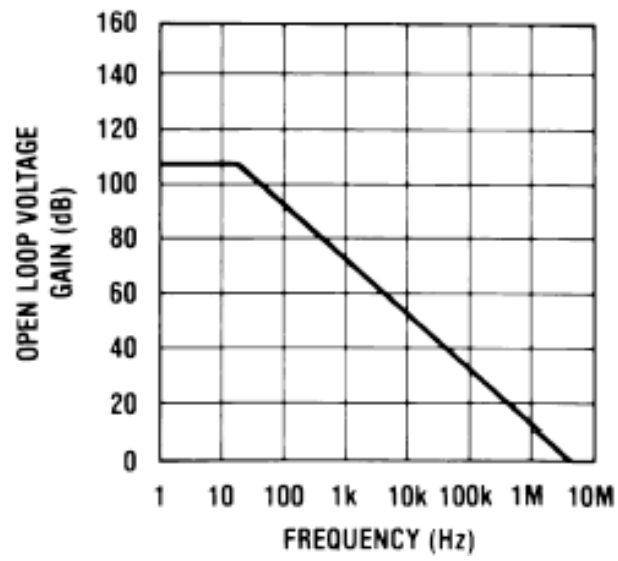


Figure 2.

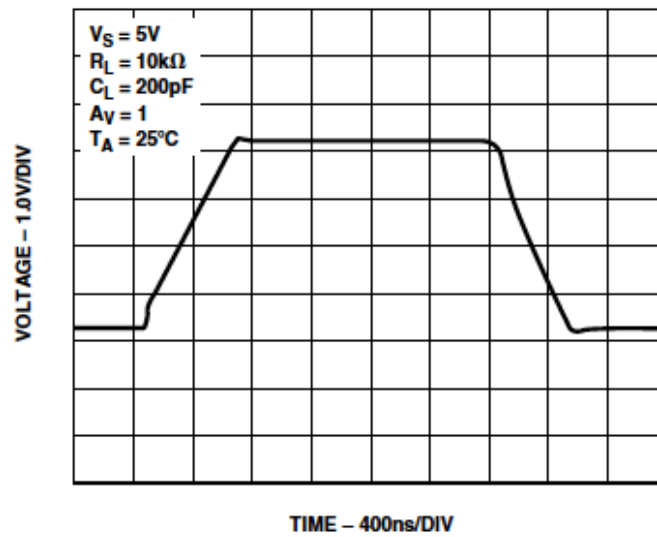


Figure 3.

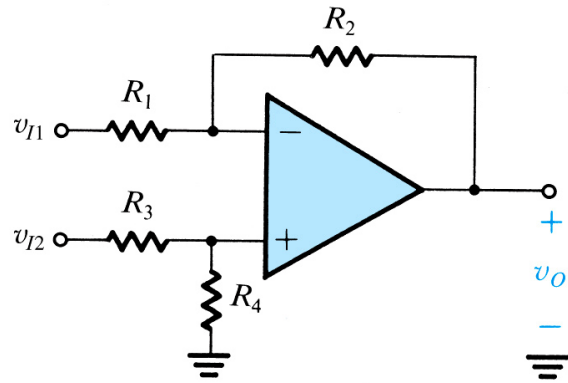


Figure 4.

2. (30 points) *Analyse de circuits*

Soit les circuits suivants :

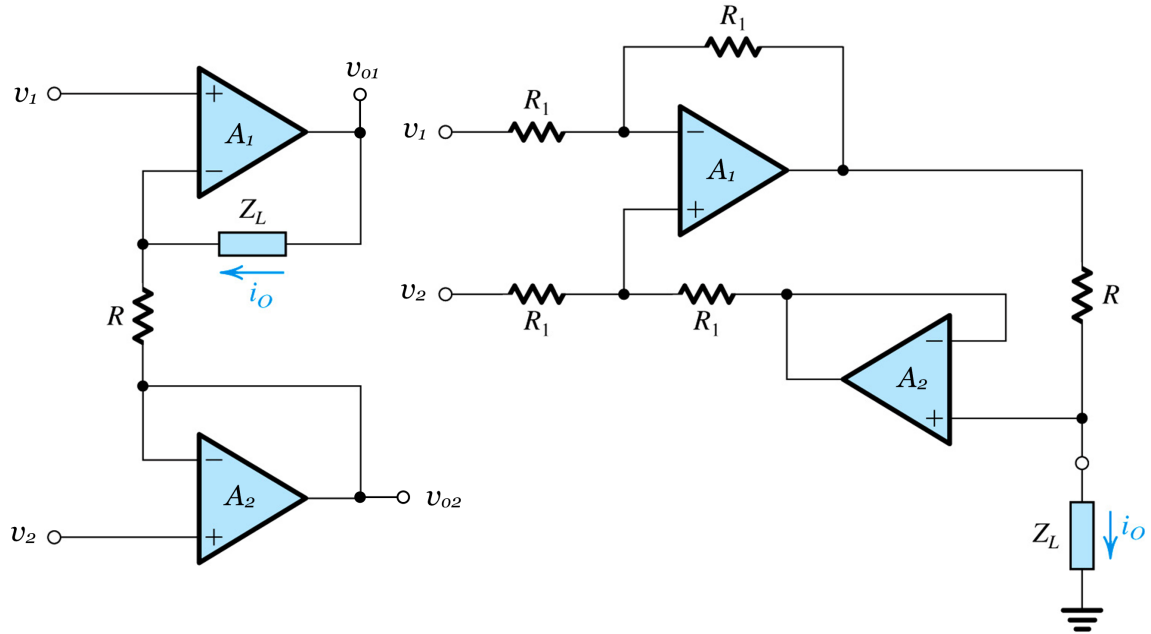


Figure 5.

Répondez aux questions suivantes en prenant soin d'expliquer toutes les étapes de vos démarches.

(a) Pour ces deux circuits, montrez que le courant i_O est indépendant de la valeur de Z_L . Pour ce faire, exprimez i_O en fonction de $v_1 - v_2$. **Réponse : circuit1 : $i_O = (V_1 - V_2)/R$; circuit 2 : $i_O = (V_1 - V_2)/R$.**

(b) Donnez l'expression de $v_{O1} - v_{O2}$ en fonction de $v_1 - v_2$, R et de Z_L pour le circuit de la Figure 5a. **Réponse : $V_{O1} - V_{O2} = (V_1 - V_2) * (1 + Z_L/R)$.**

Note : considérez les amplis-op idéaux ($A_{01} = A_{02} = \infty$ et $Z_{in} = \infty$).

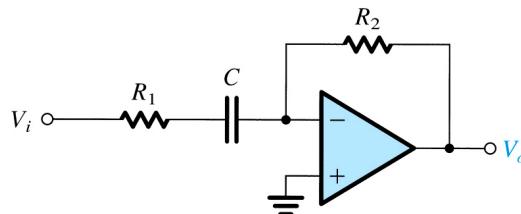
3. (30 points) Conception d'un filtre passe-bande cascadi

Concevez un filtre passe-bande constitué de deux filtres actifs cascadi ayant les spécifications suivantes :

- Filtre passe-haut : Une section passe-haut d'ordre 3 constituée d'une section d'ordre 1 cascadiée avec une section d'ordre 2 de type Sallen-Key. Le filtre passe-haut complet possède une fréquence de coupure ω_{0hp} de $2\pi \times 1$ kHz. La section d'ordre 1 possède un gain haute fréquence de 1 V/V (de signe arbitraire), alors que la section d'ordre 2 possède un gain haute fréquence de 2 V/V.
- Filtre passe-bas : Une section passe-bas d'ordre 2 réalisée à l'aide d'un filtre RLC actif à inductance simulée. Ce filtre possède une fréquence de coupure ω_{0lp} de $2\pi \times 50$ kHz, un gain total en bande unitaire et une réponse sans dépassement (utilisez $Q = 0.707$).
- a) Donnez la fonction de transfert totale du filtre, calculez les valeurs de tous ses éléments passifs et dessinez son schéma complet.
- b) Quel doit être le produit gain-bande passante (ω_t) minimum de l'ampli-op utilisé pour réaliser la section passe-haut d'ordre 1? Indice : considérez que $\omega_{0hp} \ll \omega_{0lp}$. Laissez-toutes les traces de votre démarche.

Réponse 3a:

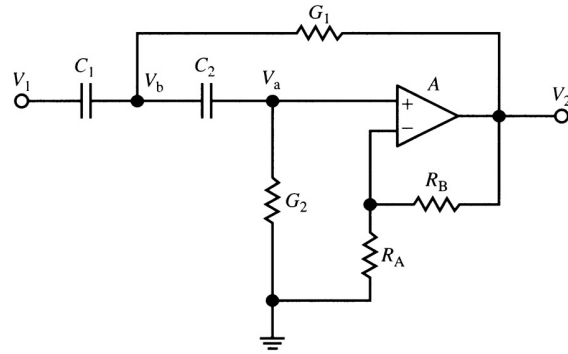
Section passe-haut d'ordre 1 :



$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = -\frac{Z_2(s)}{Z_1(s)} = -\frac{sCR_2}{sCR_1 + 1}$$

$$C=10 \text{ nF}, R_1=R_2=15.9 \text{ k}\Omega.$$

Section passe-haut d'ordre 2 :



$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{a_2 s^2}{s^2 + s(\omega_0 / Q) + \omega_0^2}$$

Or,

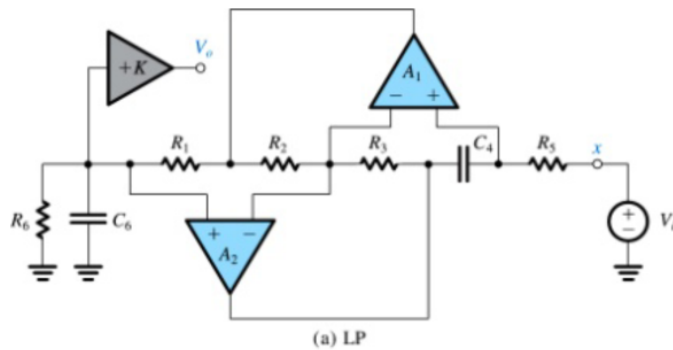
$$T_{hp}(s) = \frac{K s^2 C_1 C_2}{G_1 G_2 + s[G_2(C_1 + C_2) + G_1 C_2(1 - K)] + s^2 C_1 C_2}$$

On voit que

$$\omega_0^2 = G_1 G_2 / (C_1 C_2), \quad Q = 1 / (3 - K), \quad R_{j, hp} = \frac{1}{\omega_0 C_{j, lp}}, \quad C_{k, hp} = \frac{1}{\omega_0 R_{k, lp}}$$

$$C = 10 \text{ nF}, \quad R_1 = R_2 = R_B = R_A = 15.9 \text{ k}\Omega$$

Section passe-bas d'ordre 2 :



$$T(s) = \frac{1 / LC}{s^2 + s(1 / RC) + (1 / LC)} = \frac{a_0}{s^2 + s(\omega_0 / Q) + \omega_0^2}$$

Or,

$$T(s) = \frac{1/LC}{s^2 + s(1/RC) + (1/LC)}$$

$$= \frac{KR_2 / C_4 C_6 R_1 R_3 R_5}{s^2 + s(1/R_6 C_6) + (R_2 / C_4 C_6 R_1 R_3 R_5)}$$

R1=R2=R3=R5=318 Ω , R6=225 Ω , C4=C6=10 nF.

Réponse 3b: il faut s'assurer que la fréquence ω_{-3dB} passe bas en boucle fermée du circuit formant le filtre passe haut d'ordre 1 soit $\omega_t \geq 2\pi \cdot 100$ kHz.

Bonne chance et bonne semaine de lecture!

Benoit Gosselin

Aide mémoire

Équations 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) $T(s) = \frac{a_0}{s + \omega_0}$			$CR = \frac{1}{\omega_0}$ DC gain = 1	$CR_1 = \frac{1}{\omega_0}$ DC gain = $-\frac{R_2}{R_1}$
(b) High pass (HP) $T(s) = \frac{a_1 s}{s + \omega_0}$			$CR = \frac{1}{\omega_0}$ High-frequency gain = 1	$CR_1 = \frac{1}{\omega_0}$ High-frequency gain = $-\frac{R_2}{R_1}$
(c) General $T(s) = \frac{a_1 s + a_0}{s + \omega_0}$			$(C_1 + C_2)(R_1 \parallel R_2) = \frac{1}{\omega_0}$ $C_1 R_1 = \frac{a_1}{a_0}$ 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 = $\frac{a_0}{\omega_0^2}$</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 = a_2</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 = $\frac{a_1 Q}{\omega_0}$</p>		