Examen partiel

Département de génie électrique et de génie informatique

GEL-3000 – Électronique des composants intégrés

Le 8 mars 2016

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

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

---

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

Répondez aux questions suivantes :

a) Un amplificateur opérationnel possède les caractéristiques présentées à la Figure 1. Proposez un montage d'amplification non-inverseur, utilisant cet amplificateur et présentant un gain de 50, à l'aide de résistances dont vous indiquerez les valeurs. Quelle sera alors sa bande passante? **Note : T=27 degrés Celsius, $V_S = \pm 15V$, $R_L = 2k\Omega$ et $C_L = 100pF$.**

b) Un suiveur de tension utilise un ampli-op rail-to-rail alimenté en ±10V. Il permet une fréquence maximum de signal de 320 kHz avant d'entrer en slew rate. Évaluez le slew rate correspondant.

c) Sous forme d'un schéma électrique, indiquez comment réaliser un multiplieur possédant 2 entrées V_A et V_B et 1 sortie V_{OUT} à l'aide des blocs de fonctions logarithme, exponentiel et additionneur.

d) Soit le circuit montré à la Figure 2, avec $R_2 = 2R_1$ et $v_I = \cos(\omega t)$. Tracez v_I et v_o en fonction du temps sur le même graphique.

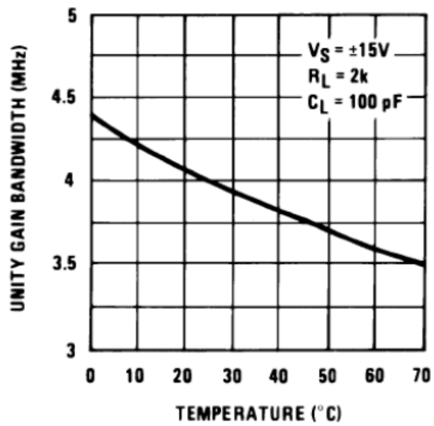


Figure 1. Extrait des caractéristiques d'un amplificateur opérationnel

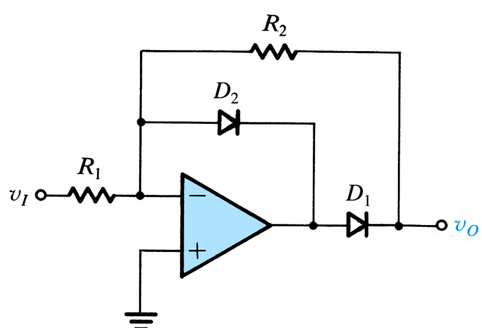


Figure 2.

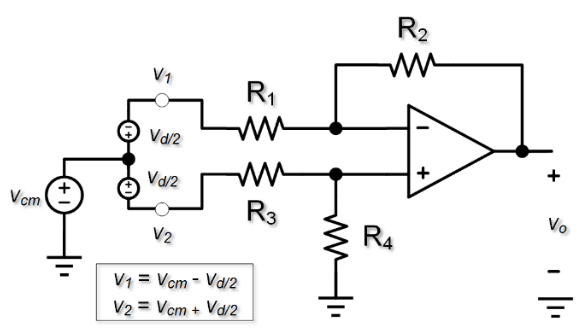


Figure 3.

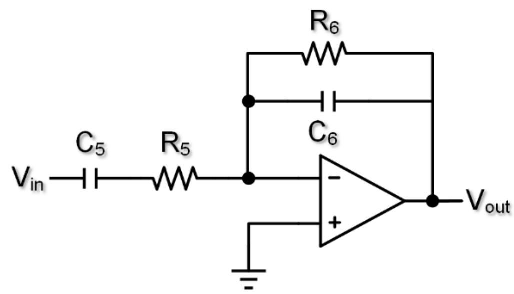


Figure 4.

2. (30 points) *Analyse de circuits*

Un étudiant de génie électrique désire mesurer un signal différentiel d'amplitude 1 mVpp en présence d'un bruit de mode commun de 20 mV_{pp}. Il souhaite obtenir un rapport signal à bruit de sortie (SNR_o) de 60 dB. Pour ce faire, il réalise le montage montré à la Figure 3.

a) Calculez le taux de rejet du mode commun qu'il lui faudra atteindre.

b) À la Figure 2, utilisez R_2 = 1 kΩ. Déterminer les valeurs de R_1, R_3 et R_4 pour obtenir un gain différentiel de 40 dB et calculez le gain en mode commun.

c) L'étudiant utilise son circuit pour mesurer une source <u>différentielle</u> (voir la Figure 3) de signal possédant des résistances de source R_s = 100 Ω. Donnez la valeur de V_o si V_d = 20 mV_{pp}. Comment faire pour augmenter la valeur de V_o sans ajouter de gain et sans changer les valeurs de R_1, R_2, R_3 et R_4?

d) Pour limiter la bande de fréquence de son signal entre 500 Hz et 10 kHz, il réalise le montage de la Figure 4. Donnez la fonction de transfert de ce circuit ainsi que les expressions des fréquences de coupure et du gain. Enfin, donnez les valeurs de tous les composant passifs utilisés. **Note : utilisez C_5=10 µF et C_6=10 nF.**

e) Modélisez les imperfections DC du circuit de la Figure 3 (tension de décalage V_{OS} et courants de polarisation I_{B1} et I_{B2}) et calculez leur effet sur la tension de sortie V_{out}.

3. (40 points) *Conception d'un filtre passe-bas d'ordre supérieur*

Concevez un filtre passe-bas constitué de plusieurs sections cascadées respectant les spécifications suivantes :

- Une section Sallen-Key passe-bas d'ordre 2 possédant une fréquence de coupure f_1 de 5 kHz, un facteur de qualité Q=0.707 et un gain unitaire.
- Une section passe-bas d'ordre 2 réalisée à l'aide d'un circuit résonant avec inductance simulée possédant une fréquence de coupure f_2 de 50 kHz, un facteur de qualité Q=0.707 et un gain unitaire.
- **Note : utilisez uniquement des condos de 10 nF.**

a) Dessinez le schéma complet du filtre passe-bas Sallen-Key, calculez les valeurs de tous ses éléments passifs et donnez sa fonction de transfert.

b) Dessinez le schéma complet du filtre passe-bas par inductance simulée, calculez les valeurs de tous ses éléments passifs et donnez sa fonction de transfert.

c) On décide de remplacer le filtre précédent par une réponse Butterworth possédant les caractéristiques suivantes : A_{max} = 5 dB, $\omega_p = 2\pi\cdot5$ kHz et $\omega_s = 2\pi\cdot500$ kHz.

   i. Déterminez l'ordre minimum du filtre à concevoir pour obtenir un A_{min} (Figure A1) supérieur ou égal à celui obtenu avec le filtre précédent. **Indice : commencez par estimer A_{min} du filtre précédent.**

   ii. Donnez le polynôme à réaliser. **Note : utilisez la Table A1.**

   iii. Suggérez une réalisation en cascade de ce filtre actif : dessinez le schéma complet du circuit sans assigner les valeurs des composants passifs.

Bonne chance!

Benoit Gosselin

Aide mémoire

Full power bandwidth :

$$f_M \leq \frac{SR}{2\pi V_{o\max}}$$

Réponse en fréquence de l'ampli inverseur/non-inverseur:

$$\frac{V_O(s)}{V_I(s)} \cong \frac{1 + R_2 / R_1}{1 + (s / \omega_t)\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)}$$

On note que $\omega_t = A_o\omega_b$ où ω_b est la fréquence de coupure de l'ampli-op en boucle ouverte.

Approximations de filtres

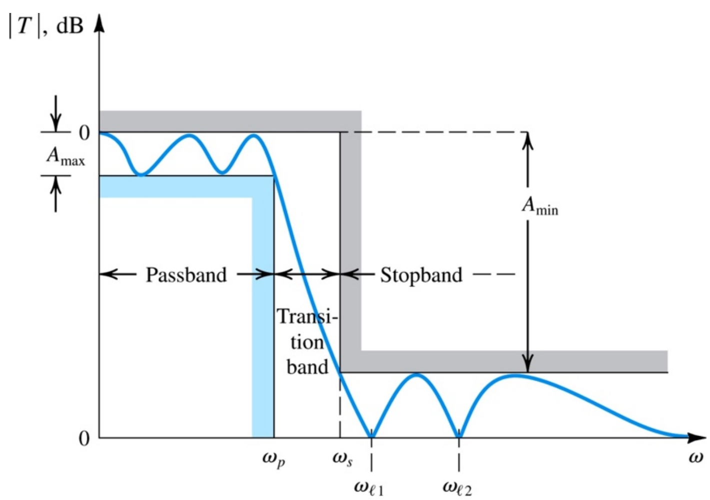


Figure A1.

Réponse Butterworth :

$$|T(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \varepsilon^2 \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{2N}}}$$

Réponse Chebyshev :

$$\left|T(j\omega)\right| = \frac{1}{\sqrt{1+\varepsilon^2\cos^2\left[N\cos^{-1}(\omega/\omega_p)\right]}},\ \omega \le \omega_p$$

$$\left|T(j\omega)\right| = \frac{1}{\sqrt{1+\varepsilon^2\cosh^2\left[N\cosh^{-1}(\omega/\omega_p)\right]}},\ \omega \ge \omega_p$$

Atténuation maximum d'un filtre dans la bande passante :

$$A_{\max} = 20\log\sqrt{1+\varepsilon^2}$$

Dénormalisation:

$$\omega_0 = \omega_p(1/\varepsilon)^{1/N}$$

L'atténuation ($|T(j\omega)|^{-1}$) d'un filtre à $\omega = \omega_s$:

$$\begin{aligned} A(j\omega_s) &= -20\log\left[1/\sqrt{1+\varepsilon^2(\omega_s/\omega_p)^{2N}}\right] \\ &= 10\log\left[1+\varepsilon^2(\omega_s/\omega_p)^{2N}\right] \end{aligned}$$

Table A1. Réponse Butterworth: polynôme du dénominateur dénormalisé

n	Polynôme du dénominateur dénormalisé
1	$(1+s)$
2	$(1+1.414s+s^2)$
3	$(1+s)(1+s+s^2)$
4	$(1+0.765s+s^2)(1+1.848s+s^2)$
5	$(1+s)(1+0.618s+s^2)(1+1.618s+s^2)$
6	$(1+0.518s+s^2)(1+1.414s+s^2)(1+1.932s+s^2)$
7	$(1+s)(1+0.445s+s^2)(1+1.247s+s^2)(1+1.802s+s^2)$
8	$(1+0.390s+s^2)(1+1.111s+s^2)(1+1.663s+s^2)(1+1.962s+s^2)$
9	$(1+s)(1+0.347s+s^2)(1+s+s^2)(1+1.532s+s^2)(1+1.879s+s^2)$
10	$(1+0.313s+s^2)(1+0.908s+s^2)(1+1.414s+s^2)(1+1.782s+s^2)(1+1.975s+s^2)$

Conception de filtres

Filtre passe-bas à base d'inductance simulée:

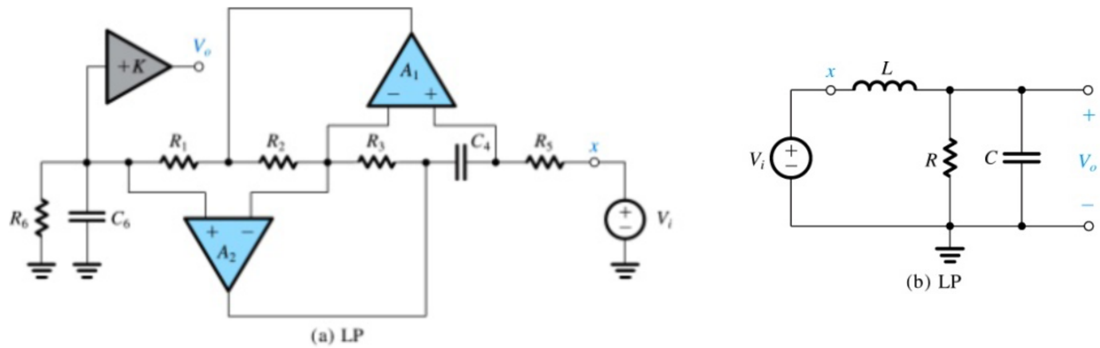


Figure A2.

$$T(s) = \frac{1/LC}{s^2 + s(1/RC) + (1/LC)} = \frac{KR_2 / C_4C_6R_1R_3R_5}{s^2 + s(1/R_6C_6) + (R_2 / C_4C_6R_1R_3R_5)}$$

où $R = R_6$, $C = C_6$ et $L = C_4R_5R_3R_1/R_2$.

Filtre passe-bande à base d'inductance simulée:

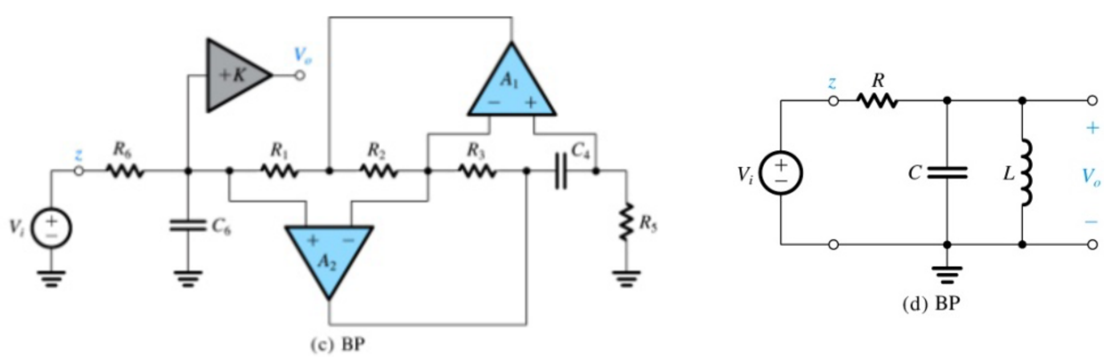


Figure A3.

$$T(s)=\frac{s/CR}{s^2+s(1/RC)+(1/LC)}=\frac{Ks/C_6R_6}{s^2+s(1/R_6C_6)+(R_2/C_4C_6R_1R_3R_5)}$$

où $R= R_6$, $C=C_6$ et $L=C_4R_5R_3R_1/R_2$.

Filtre Sallen-Key passe-bas :

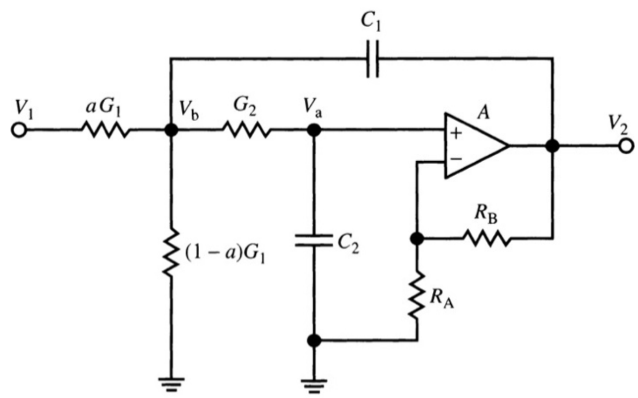


Figure A4.

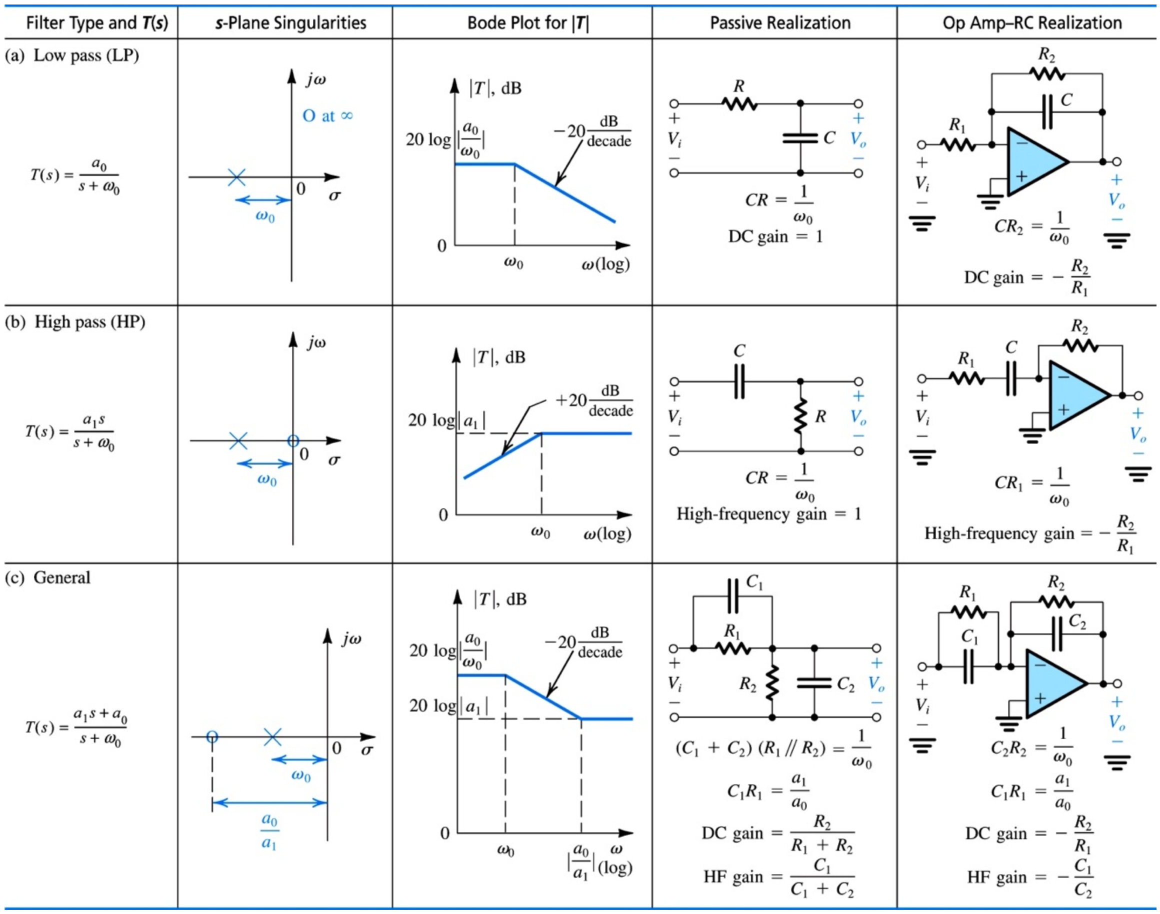
$$T(s)=\frac{aKG_1G_2/C^2}{s^2+s\left[G_1+G_2(2-K)\right]/C+G_1G_2/C^2}\equiv\frac{a_0}{s^2+s(\omega_0/Q)+\omega_0^2}$$

$$\text{où}\qquad Q=\sqrt{G_1G_2}\,/\left[G_1+G_2(2-K)\right]$$

Par ailleurs, si $R_1 = R_2 = R$, on obtient $K = 3\text{-}1/Q$.

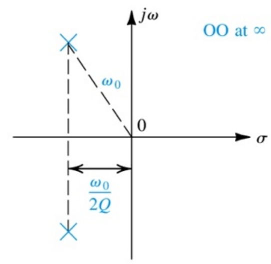
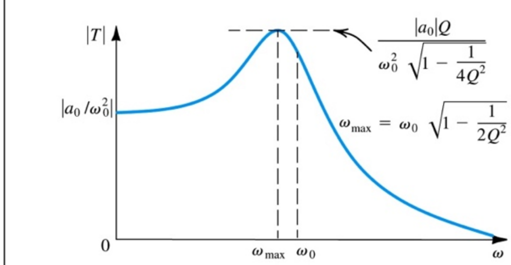
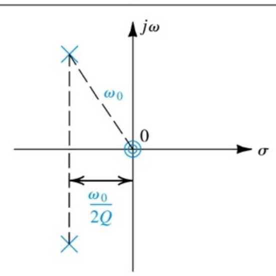
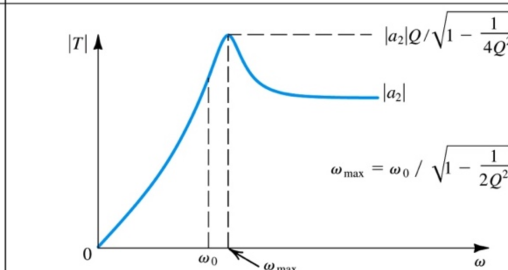
Or, $K = 1+R_B/R_A$, soit $R_B = (2\text{-}1/Q)R_A$.

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) $T(s) = \frac{a_0}{s+\omega_0}$	O at ∞	$20\log\left\lvert\frac{a_0}{\omega_0}\right\rvert$, $-20\frac{\text{dB}}{\text{decade}}$	$CR = \frac{1}{\omega_0}$ DC gain $= 1$	$CR_2 = \frac{1}{\omega_0}$ DC gain $= -\frac{R_2}{R_1}$
(b) High pass (HP) $T(s) = \frac{a_1 s}{s+\omega_0}$		$20\log\lvert a_1\rvert$, $+20\frac{\text{dB}}{\text{decade}}$	$CR = \frac{1}{\omega_0}$ High-frequency gain $= 1$	$CR_1 = \frac{1}{\omega_0}$ High-frequency gain $= -\frac{R_2}{R_1}$
(c) General $T(s) = \frac{a_1 s + a_0}{s+\omega_0}$	ω_0, $\frac{a_0}{a_1}$	$20\log\left\lvert\frac{a_0}{\omega_0}\right\rvert$, $20\log\lvert a_1\rvert$, $-20\frac{\text{dB}}{\text{decade}}$	$(C_1+C_2)(R_1 /\!/ R_2) = \frac{1}{\omega_0}$ $C_1R_1 = \frac{a_1}{a_0}$ DC gain $= \frac{R_2}{R_1+R_2}$ HF gain $= \frac{C_1}{C_1+C_2}$	$C_2R_2 = \frac{1}{\omega_0}$ $C_1R_1 = \frac{a_1}{a_0}$ 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	$\lvert T \rvert$
(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 $= \dfrac{a_1 Q}{\omega_0}$