
Calculatrice autorisée. Fiche recto-verso autorisée. Tout autre document interdit.

Les exercices sont indépendants. Le barème est fourni à titre indicatif.

AMPLI LINEAIRE INTEGRE (ou AOP) : on pourra considérer que les courants d'entrée sont négligeables.

1. Exercice 1 - Pré-amplifier un signal (4 points)

On souhaite réaliser un pré-amplificateur, basé sur des amplificateurs opérationnels (AOP) de type **OP191** (dont une partie de la documentation technique est donnée en annexe) permettant d'amplifier un signal de 27 dB en garantissant une bande-passante de 400 kHz.

1. Rappeler les paramètres importants à prendre en compte pour mettre en oeuvre un amplificateur opérationnel. Rappeler aussi leur signification. Donner les valeurs de ces paramètres pour l'AOP OP191.

REPONSE

Les paramètres importants d'un AOP sont :

Produit gain bande passante valeur constante liant la bande-passante du système et l'amplification du système - $GBP = 3 \text{ MHz}$

Slew Rate rapidité de mise en place du signal en sortie de l'AOP - $SR = 0.4 \text{ ou } 0.5 \text{ V}/\mu\text{s}$

VCC tension d'alimentation - Simple ou double - $V_{CCmax} = 16 \text{ V}$

2. Proposer un montage permettant de remplir le cahier des charges précédent.

REPONSE

Ce qui est important ici, c'est le produit amplification bande-passante qui est constant et qui vaut 3 MHz. Comme on veut une bande-passante de 400 kHz, cela impose une amplification maximale par amplificateur de $A_{max} = \frac{3 \text{ MHz}}{400 \text{ kHz}} = 7.5$.

Or un gain de 27 dB équivaut à une amplification de $A = 10^{27/20} = 22.4$.

On cherche p et A tels que : $A^p = 22.4$ et $A \leq 7.5$.

On pourra alors prendre $p = 2$ et $A = \sqrt{22.4} = 4.73$.

On pourra alors prendre un montage amplificateur non inverseur ayant une amplification $A = 1 + R_2/R_1$ avec $R_2 = 3.73 \cdot R_1$.

3. Quelle sera l'amplitude maximale que pourra alors avoir le signal d'entrée sans déformation du signal de sortie ?

REPONSE

La tension d'amplification maximale est de 16 V. L'amplification est de 22.4 au total. Le signal d'entrée maximal devra avoir une amplitude inférieure à $A_e = \frac{16V}{22.4} = 0.71 V$

2. Exercice 2 - Mesurer une pression (5 points)

Un industriel a besoin de mesurer la pression d'un fluide à l'intérieur de son système. Pour cela, il souhaite utiliser le capteur analogique de pression de **REV Robotics** dont la documentation technique est passée en annexe.

On rappelle que le **psi** est une unité de mesure de contrainte et de pression anglo-saxonne (en anglais pound-force per square inch) et que 1 bar correspond à 14.5 psi.

Il veut pouvoir mesurer des pressions allant de **5 à 10 bars** avec une plage de tensions de sortie qui va de **0 V pour 5 bars à 10 V pour 10 bars**.

1. Quelle est la sensibilité du système que doit développer cet industriel ?

REPONSE

$s = \Delta V / \Delta \text{Grandeur}$, on a ici $s = 10 V / 5 \text{ bars} = 2 V/\text{bars}$

2. Quelle est la loi affine qui lie alors la tension de sortie (en V) à la pression d'entrée (en bar) ?

REPONSE

$V_S = s * P + k$. P la pression en barre, s est la sensibilité calculée précédemment et k l'abscisse à l'origine. On connaît également au moins un point sur la courbe. Pour $P = 5 \text{ bars}$, on a $V_S = 0$. Ainsi $k = -10 V$

3. Quelle est la sensibilité du capteur qu'il souhaite utiliser ? (on la ramènera en V/bar) On prendra $V_{CC} = 5 V$.

REPONSE

Le constructeur donne la relation suivante : $V_{OUT} = V_{CC} \cdot (0.004 \cdot p + 0.1)$ avec p pression en psi.

Ainsi la sensibilité du capteur est $s_{cap} = 0.004 * V_{CC} V/\text{psi}$ soit $s_{cap} = 0.02 * 14.5 V/\text{bar} = 0.29 V/\text{bar}$

4. Quelle est la loi affine qui lie la tension de sortie du capteur (en V) à la pression d'entrée (en psi, puis en bar) ? (toujours pour $V_{CC} = 5 V$).

REPONSE

Le constructeur donne la relation suivante : $V_{OUT} = V_{CC} \cdot (0.004 \cdot p + 0.1)$ avec p pression en psi. Cette loi devient : $V_{OUT} = (0.02 \cdot p + 0.5)$ (pour $V_{CC} = 5 V$) avec p la pression en psi.

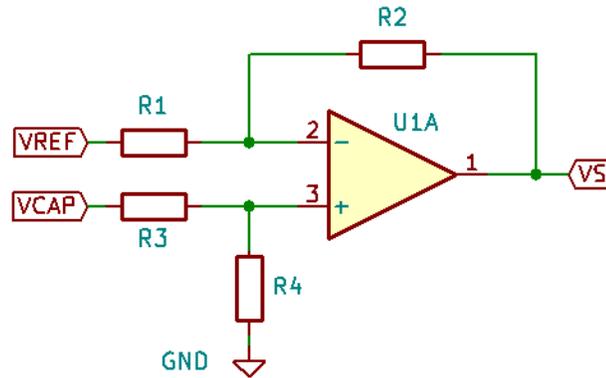
On obtient alors : $V_{OUT} = (0.29 \cdot P + 0.5)$ avec P la pression en bar.

5. On souhaite utiliser un système amplificateur pour permettre de répondre au cahier des charges à partir de ce capteur. Quelle amplification doit avoir ce système pour obtenir la bonne sensibilité du système final ?

REPONSE

Il faut passer de 0.29 V/bar à 2 V/bar, soit une amplification de 6.9

On propose la structure suivante pour remplir cette tâche.



6. Quelle est le lien entre V_S , V_{cap} et V_{ref} ?

REPONSE

$$V_S = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot V_{CAP} - \frac{R_2}{R_1} \cdot V_{REF}$$

7. En prenant $R_1 = R_4$, $R_2 = k \cdot R_1$ et $R_3 = m \cdot R_1$, que devient l'expression précédente ?

REPONSE

$$V_S = \frac{R_1(1+k)}{R_1(1+m)} \cdot V_{CAP} - k \cdot V_{REF}$$

8. On prend $V_{REF} = 5\text{ V}$. Que doivent valoir les coefficients k et m pour répondre au cahier des charges ?

REPONSE

On a l'expression suivante :

$$V_S = \frac{(1+k)}{(1+m)} \cdot (0.29 \cdot P + 0.5) - k \cdot V_{REF}$$

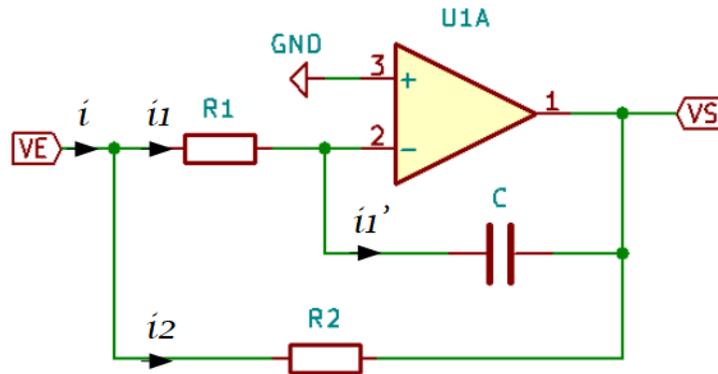
On souhaite avoir au final : $V_S = 2 * P - 10$ avec P la pression en bars.

On doit alors prendre $\frac{1+k}{1+m} = 6.9$ et $6.9 \cdot 0.5 - k \cdot V_{REF} = -10$. Ce qui donne : $k = 2.69$ et $m = -0.47$. Cette valeur n'est pas possible ! Résistance négative !!

3. Exercice 3 - Réaliser une inductance sans inductance (4 points)

1. Donner l'impédance complexe équivalente d'une inductance de valeur L en parallèle avec une résistance R .

On s'intéresse à présent au montage suivant :



2. Donner le lien entre les courants i , i_1 et i_2 .

3. Donner le lien entre les courants i_1 et i_1' .

4. Calculer i_2 en fonction des diverses tensions et composants du système.

5. Calculer i_1 en fonction des diverses tensions et composants du système. Calculer ensuite i_1' . Donner alors la relation entre V_S et V_E .

6. Calculer la relation entre i et V_E . Donner alors l'impédance de ce circuit $Z = V_E/i$.

REPONSE

Ex 3

$$\textcircled{1} \quad Z_L = Lj\omega + R$$

$$\textcircled{2} \quad i = i_1 + i_2$$

$$\textcircled{3} \quad i^+ = i^- \approx 0 \quad \rightarrow \quad i_1 = i_1'$$

$$\textcircled{4} \quad \text{ALI en linéaire} \rightarrow v^+ = v^-$$

on a alors $i_1' = -V_s j\omega C$

$$\textcircled{5} \quad i_1 = \frac{V_e}{R_1}$$

$$\textcircled{4} \quad i_2 = \frac{V_e - V_s}{R_2}$$

$$\left. \begin{array}{l} \textcircled{5} \\ \textcircled{4} \end{array} \right\} \frac{V_e}{R_1} = -V_s j\omega C$$

$$\textcircled{6} \quad i = \frac{V_e}{R_1} + \frac{V_e - V_s}{R_2} = \frac{V_e}{R_1} + \frac{V_e}{R_2} + \frac{V_e}{j R_1 R_2 \omega C}$$

$$i = V_e \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{j R_1 R_2 \omega C} \right)$$

$$\boxed{\frac{V_e}{i} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{j R_1 R_2 \omega C}}}$$

7. Identifier alors les paramètres R et L de la première question en fonction des composants R_1 , R_2 et C .

REPONSE

$$L = R_1 R_2 C \quad \text{et} \quad R = R_1 R_2 / (R_1 + R_2) = R_1 // R_2$$

4. Exercice 4 - Filtrer des composantes fréquentielles (3 points)

Soit 2 filtres actifs alimentés de manière symétrique entre +15 V et -15 V :

- un passe-bas du 5e ordre, de fréquence de coupure de 5 kHz et de gain dans la bande passante de 14 dB ;
- un passe-haut du 3e ordre, de fréquence de coupure de 500 Hz et de gain dans la bande passante de 7 dB.

1. Tracer sur un même graphique la réponse asymptotique en fréquence de ces deux filtres (uniquement en gain).
2. Dans quel ordre est-il préférable de les mettre en cascade pour obtenir un signal en sortie autour de 1kHz ? Tracer alors la réponse asymptotique en fréquence de ce système (sur le même graphique que précédemment - uniquement en gain).

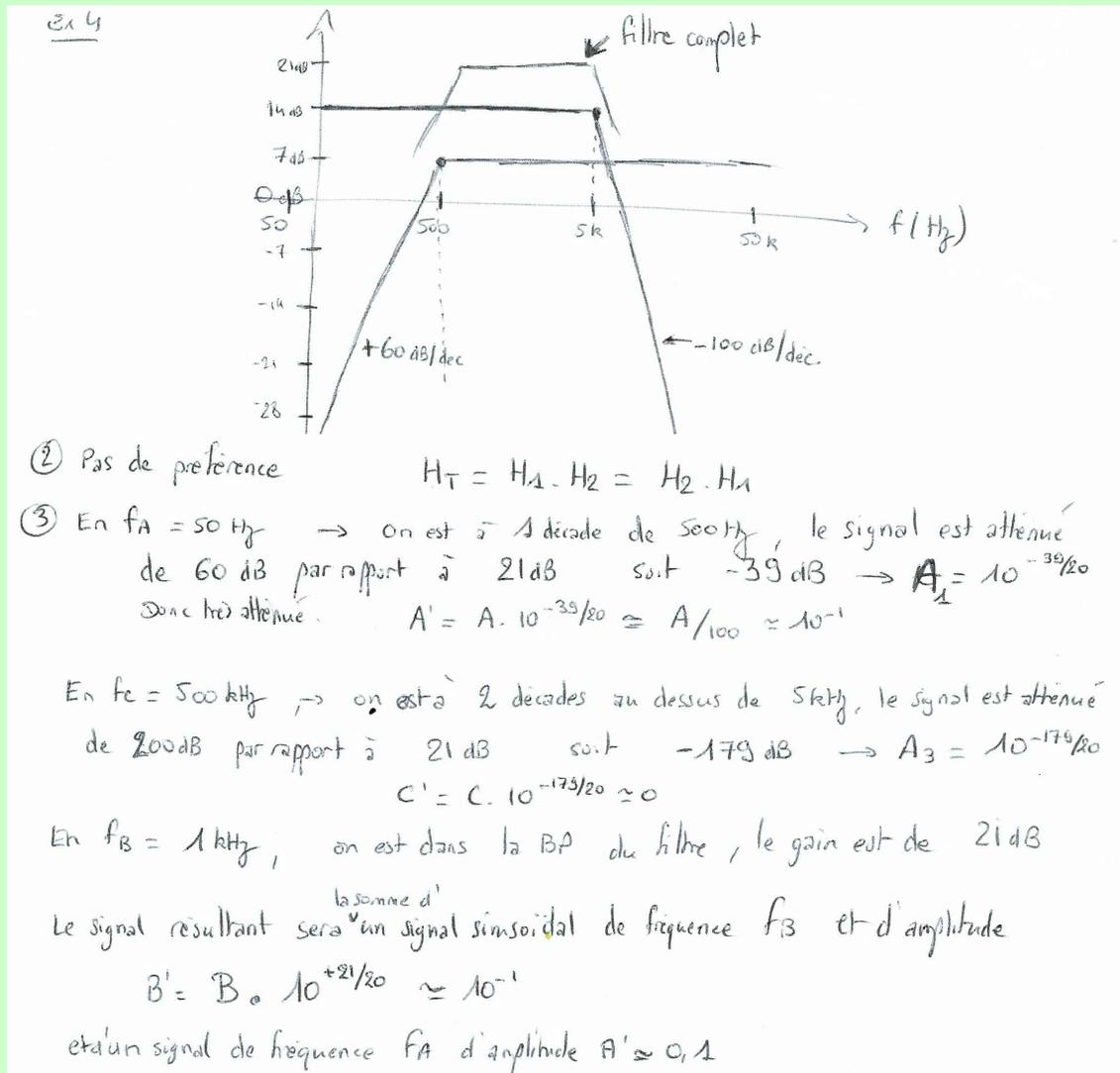
On applique à présent en entrée de cette cascade de filtres le signal suivant :

$$V_e(t) = A * \sin(2 * \pi * f_A t) + B * \sin(\omega_B t) + C * \cos(2 * \pi * f_C t)$$

avec $A = 10$, $B = 10^{-2}$, $C = 2$ et $f_A = 50$ Hz, $\omega_B = 6300$ rd/s, $f_C = 500$ kHz

3. Que vaut alors le signal de sortie ? (calcul des amplitudes des signaux)

REPONSE



5. Exercice 5 - Détecter des photons (4 points)

1. Tracer la caractéristique statique d'une photodiode et préciser ce qu'il se passe lorsqu'on approche un signal lumineux de la photodiode.
2. Proposer un montage permettant de garantir une grande bande-passante électrique.
3. A l'aide d'une MindMap succincte, rappeler les étapes de conception d'une structure transimpédance, en insistant sur les avantages et les inconvénients de cette structure finale.

REPONSE

EX5

①

② Montage transimpédance

③ Il faut un ALI, une photodiode, une résistance et une alimentation symétrique pour l'ALI et la polarisation de la photodiode.
On choisit R_{ph2} en fonction de la sensibilité souhaitée.
On calcule la BP avec la valeur de R_{ph2} , de C_{ph2} et du produit Gain-bande passante de l'ALI

$$f_T = \sqrt{f_c \cdot GBP}$$

avec $f_c = \frac{1}{2\pi \cdot R_{ph2} \cdot C_{ph2}}$

⚠ C_{ph2} dépend de la tension de polarisation.

6. Exercice 6 - Réaliser un système complexe (2 points)

Pour les étudiants des filières classiques, CFA et IFSBM :

1. Rappeler en quelques lignes l'objectif de votre projet d'ingénierie en électronique (prévu pour le Semestre 6).
2. Donner le schéma fonctionnel de votre projet. Vous préciserez la nature des différents signaux qui transitent entre chaque bloc fonctionnel.

Pour les étudiants FIE :

1. Rappeler en quelques lignes l'objectif de votre projet FIE.
2. Donner le schéma fonctionnel de votre projet. Vous préciserez la nature des différents signaux qui transitent entre chaque bloc fonctionnel.