

Etude du sisomètre SEIS – Stabilisateur d'appareil photo

ÉTUDE DU SISMOMÈTRE SEIS

1 Présentation

2 Caractérisation dynamique de l'ensemble mobile

2	Être mécaniquement sensible aux séismes attendus sur Mars		
2.1	Être suffisamment sensible	Amplification mécanique	$> 2\text{rad} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^2$
2.2	Être sensible aux fréquences des séismes attendus sur Mars	Amplification en fonction de la fréquence des mouvements du sol	$\geq 10\text{dB}$ dans la bande $[0,01;0,5]\text{Hz}$ soit $[0,06;3]\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$

TABLE 1 – Liste (non exhaustive) des exigences de sensibilité mécanique d'un système

Objectif Etablir le lien entre la raideur du ressort et la pulsation propre de l'ensemble mobile ; choisir un ressort et une articulation à lamelles de façon à respecter les exigences 2.1 et 2.2.

2.1 Modélisation dynamique de l'ensemble mobile en réponse à un séisme

Question 1 Montrer que l'équation du mouvement linéarisée s'écrit :

$$I_{zz}\ddot{\Delta\alpha}(t) + \mu\dot{\Delta\alpha}(t) + k\Delta\alpha(t) = aM_2g_M \cos\alpha_0\Delta\alpha(t) + dM\gamma_{x2}(t) \quad (\text{eq. 3})$$

Correction En utilisant l'équation et le changement de variable donnés, on a :

$$I_{zz}\ddot{\Delta\alpha}(t) + \mu\dot{\Delta\alpha}(t) + k(\alpha_0 + \Delta\alpha(t) - \alpha_0) = aM_2g_M \sin(\alpha_0 + \Delta\alpha(t)) + dM\gamma_{x2}(t) + C_0$$

$$\Rightarrow I_{zz}\ddot{\Delta\alpha}(t) + \mu\dot{\Delta\alpha}(t) + k\Delta\alpha(t) = aM_2g_M (\sin\alpha_0 \cos\Delta\alpha(t) + \cos\alpha_0 \sin\Delta\alpha(t)) + dM\gamma_{x2}(t) + C_0$$

$$\Rightarrow I_{zz}\ddot{\Delta\alpha}(t) + \mu\dot{\Delta\alpha}(t) + k\Delta\alpha(t) = aM_2g_M (\sin\alpha_0 + \Delta\alpha(t) \cos\alpha_0) + dM\gamma_{x2}(t) + C_0$$

En utilisant l'équation sans séisme, on a alors :

$$\Rightarrow I_{zz}\ddot{\Delta\alpha}(t) + \mu\dot{\Delta\alpha}(t) + k\Delta\alpha(t) = aM_2g_M \Delta\alpha(t) \cos\alpha_0 + dM\gamma_{x2}(t)$$

(CQFD)

On note $\alpha(p)$ et $\gamma_{x2}(p)$ respectivement les transformées de Laplace des variations angulaires $\Delta\alpha(t)$ et de l'accélération du sol $\gamma_{x2}(t)$. Les conditions initiales sont supposées nulles.

Question 2 Exprimer, sous forme canonique, la fonction de transfert de l'ensemble mobile $\frac{\alpha(p)}{\gamma_{x2}(p)}$ et donner la condition de stabilité de l'ensemble mobile sous la forme d'une inéquation. Conclure sur le rôle stabilisateur du ressort.

Correction En utilisant la transformée de Laplace : $I_{zz}p^2\alpha(p) + \mu p\alpha(p) + k\alpha(p) = aM_2g_M\alpha(p)\cos\alpha_0 + dM\gamma_{x2}(p)$ et $\frac{\alpha(p)}{\gamma_{x2}(p)} = \frac{dM}{I_{zz}p^2 + \mu p + k - aM_2g_M\cos\alpha_0}$.
Pour un système d'ordre 2, tous les coefficients doivent être de même signe et donc, nécessairement $k - aM_2g_M\cos\alpha_0 > 0$. En l'absence de ressort, $k = 0$ est le système serait donc instable. Le ressort est donc indispensable à la stabilité.

Question 3 Donner, en fonction des constantes du problème, les expressions des constantes caractéristiques de cette fonction de transfert : gain d'amplification mécanique noté A , pulsation propre ω_0 et coefficient d'amortissement ξ .

Correction Si on met le système sous forme canonique, on a :
$$\frac{\alpha(p)}{\gamma_{x2}(p)} = \frac{\frac{dM}{k - aM_2g_M\cos\alpha_0}}{\frac{I_{zz}}{k - aM_2g_M\cos\alpha_0}p^2 + \frac{\mu}{k - aM_2g_M\cos\alpha_0}p + 1}$$
. Dans ces conditions, $A = \frac{dM}{k - aM_2g_M\cos\alpha_0}$, $\omega_0 = \sqrt{\frac{k - aM_2g_M\cos\alpha_0}{I_{zz}}}$ et $\frac{2\xi}{\omega_0} = \frac{\mu}{k - aM_2g_M\cos\alpha_0}$; donc $\xi = \frac{1}{2} \frac{\mu}{\sqrt{I_{zz}}\sqrt{k - aM_2g_M\cos\alpha_0}}$

2.2 Choix du couple ressort/articulation pour le système

Question 4 Déterminer la valeur numérique de C_0 pour assurer l'équilibre du pendule.

Correction [UPSTI] – On a : $dMg_M\sin\alpha_0 + C_0 = 0 \Rightarrow C_0 = -dMg_M\sin\alpha_0$.
Or $\alpha_0 = 30^\circ$. On a donc : $C_0 = -\frac{dMg_M}{2} = -8,8 \times 10^{-3} \text{ Nm}$.

Question 5 Donner les 2 inéquations qui régissent le choix de la raideur k du couple ressort/articulation, afin de satisfaire l'exigence 2.1 et d'avoir un système stable. À l'aide d'applications numériques, en déduire la plage de valeurs acceptables pour k afin de satisfaire ces 2 conditions.

Correction [UPSTI] – On veut : $k - dMg_M\cos\alpha_0 > 0 \Rightarrow A > A_{\min} = 2 \text{ rad m}^{-1} \text{ s}^2$ On a donc : $k > dMg_M\cos\alpha_0$
 $\Rightarrow \frac{dM}{k - dMg_M\cos\alpha_0} > A_{\min} \Rightarrow dM > A_{\min}(k - dMg_M\cos\alpha_0)$
 $\Rightarrow dM + A_{\min}dMg_M\cos\alpha_0 > A_{\min}k \Rightarrow \frac{dM(1 + A_{\min}g_M\cos\alpha_0)}{A_{\min}} > k$.
On a donc : $\frac{dM(1 + A_{\min}g_M\cos\alpha_0)}{A_{\min}} > k > dMg_M\cos\alpha_0$ Soit : $17,2 \cdot 10^{-3} > k > 15 \cdot 10^{-3} \text{ N m/rad}$.

Question 6 Sur la Figure A du Cahier Réponses, tracer les droites encadrant les valeurs acceptables pour k et la droite correspondant à la valeur idéale de $-C_0$. En déduire le meilleur couple ressort/articulation pour le pendule étudié en entourant le point correspondant sur le diagramme.

Correction [UPSTI] –

Le diagramme de Bode en gain de la fonction de transfert $\frac{\alpha(p)}{\gamma_{x2}(p)}$ du système pour ce choix du couple ressort/articulation est fourni sur la Figure B du Cahier Réponses (Question 7)

Question 7 Conclure vis-à-vis de l'exigence 2.2. Les tracés nécessaires devront figurer sur la FIGURE B du Cahier Réponses. Le système en l'état est-il satisfaisant pour la mesure des mouvements du sol martien dans la plage de fréquence des séismes attendus sur Mars ?

Correction [UPSTI] – Les gains pour des pulsations entre 0,06 et 3 rad/s sont supérieurs à 10 dB. L'exigence 2.2 est donc vérifiée. On observe toutefois de la résonance pour une fréquence de 3 rad/s. En l'état, le système n'est pas satisfaisant pour la mesure des mouvements du sol martien.

3 Performances de l'asservissement

Question 8 . Déterminer la fonction de transfert $H_Y(p) = \frac{U(p)}{U_C(p)}$, avec $U_C(p) = 0$, en l'exprimant sous la forme : $H_Y(p) = K_{HF} \cdot \frac{1+a_1p}{1+b_1p+b_2p^2+b_3p^3}$ où l'on précisera les expressions de K_{HF} , a_1 , b_1 , b_2 et b_3 .

Correction [UPSTI] – D'après la formule de Black, on a : $H_Y(p) = dM \frac{\frac{K_D}{K + Jp^2}}{1 + \frac{K_D K_H K_1 p}{(K + Jp^2)(1 + \tau_H p)}}$

$$H_Y(p) = dM \frac{\frac{K_D}{K + Jp^2}}{\frac{(K + Jp^2)(1 + \tau_H p) + K_D K_H K_1 p}{(K + Jp^2)(1 + \tau_H p)}}$$

$$H_Y(p) = dM \frac{K_D}{K + Jp^2} \frac{(K + Jp^2)(1 + \tau_H p)}{(K + Jp^2)(1 + \tau_H p) + K_D K_H K_1 p}$$

$$H_Y(p) = dM K_D \frac{1 + \tau_H p}{(K + Jp^2)(1 + \tau_H p) + K_D K_H K_1 p}$$

$$H_Y(p) = dM K_D \frac{1 + \tau_H p}{J\tau_H p^3 + Jp^2 + (K\tau_H + K_D K_H K_1)p + K}$$

$$H_Y(p) = \frac{dM K_D}{K} \frac{1 + \tau_H p}{1 + (K\tau_H + K_D K_H K_1)/K p + J/K p^2 + (J\tau_H)/K p^3}$$

Par identification, on a : $K_{HF} = \frac{dM K_D}{K}$, $a_1 = \tau_H$, $b_1 = \frac{K\tau_H + K_D K_H K_1}{K}$, $b_2 = \frac{J}{K}$, $b_3 = \frac{J\tau_H}{K}$.

DS 1

Question 9 Justifier que $H_Y(p)$ correspond à un système stable quelle que soit la valeur retenue pour K_1 dans la gamme [0,05;5] s. Choisir, en justifiant, la valeur de K_1 parmi les valeurs proposées, la plus adaptée au réglage de l'asservissement avec l'action de la bobine HF seule.

Correction [UPSTI] – Tous les pôles ont des parties réelles strictement négatives. On en déduit que le système est stable au sens entrée bornée-sortie bornée.

L'exigence 3.4 n'est pas respectée pour une valeur de K_1 de 0,05 (gain supérieur à 120 dB). On cherche une bande passante la plus grande possible pour respecter l'exigence 3.1. On choisit donc une valeur de K_1 de 0,5.

Question 10 En s'appuyant sur les données numériques de la table ?? et de l'Annexe 5, justifier que, pour la valeur retenue de K_1 , la fonction de transfert peut s'écrire sous la forme :

$$H_Y(p) = \frac{dM K_D}{K} \cdot \frac{1}{(1 + \tau_2 p)(1 + \tau_3 p)}, \text{ avec } \tau_2 \gg \tau_3$$

Préciser les valeurs des constantes de temps τ_2 et τ_3 .

Correction [UPSTI] – $\tau_1 = -\frac{1}{p_1} = \frac{1}{1000} \text{ s}^{-1}$, $\tau_2 = -1/p_2 = 1/0,64 \text{ s}^{-1}$, $\tau_3 = -1/p_3 = 1/9,32 \text{ s}^{-1}$.

On constate que $\tau_2 \gg \tau_1$ et $\tau_3 \gg \tau_1$. Le pôle p_1 pourrait être négligé (constante de temps très faible par rapport aux autres. Mais ici il se simplifie avec le zéro de la fonction de transfert ($\tau_1 = \tau_H$) et $H_Y(p) = \frac{dM K_D}{K} \frac{1}{(1 + \tau_2 p)(1 + \tau_3 p)}$

Pour la suite des questions, on conservera cette forme simplifiée de $H_Y(p)$.

Question 11 Justifier que l'asservissement avec l'action de la bobine HF seule ne permet pas de satisfaire les exigences 3.2 et 3.3.

Correction [UPSTI] – L'exigence 3.2 impose un écart statique nul en réponse à un échelon d'accélération du sol. Cette exigence n'est pas satisfaite. Pour le justifier : Soit remarquer qu'il n'y a pas d'intégration en amont de la perturbation, l'écart statique vis-à-vis de cette perturbation est donc non nul. Soit calculer la limite de l'écart lorsque t tend vers l'infini avec $u_c(t) = 0$ et $\gamma_{x2}(t) = \gamma_0 u(t)$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon(t) = \lim_{p \rightarrow 0} p U(p) = \lim_{p \rightarrow 0} -H_r(p) \gamma_0 = -\frac{dM K_D}{K} \gamma_0 \neq 0.$$

Le gain n'est pas supérieur à 110 dB sur toute la gamme de fréquence. On en déduit que l'exigence 3.3 n'est pas respectée non plus.

Question 12 Préciser l'intérêt de la chaîne d'action BF vis-à-vis de l'exigence 3.2.

Correction [UPSTI] – L'action BF permet d'augmenter la classe de la FTBO. Il y a une intégration en amont de la perturbation, l'écart statique vis-à-vis de cette perturbation est donc nul. L'exigence 3.2. est satisfaite.

Question 13 Donner l'expression de la fonction de transfert en boucle ouverte de l'asservissement, $H_{BO}(p) = \frac{U(p)}{\varepsilon(p)}$. Donner, en justifiant, la valeur retenue pour τ_4 .

Correction [UPSTI] – $H_{BO}(p) = \frac{K_D K_4 K_B (1 + \tau_4 p)}{K p (1 + \tau_B p) (1 + \tau_2 p) (1 + \tau_3 p)}$ On cherche à éliminer le pôle dominant. On a donc : $\tau_4 = \tau_2$ et $H_{BO}(p) = \frac{K_D K_4 K_B}{K p (1 + \tau_B p) (1 + \tau_3 p)}$

Question 14 Choisir, en justifiant, la valeur de K_4 qui permet de vérifier au mieux les exigences 3.3 et 3.4. Les tracés nécessaires apparaîtront sur la document réponses.

Correction [UPSTI] – Pour $K = 0,0001 \text{ s}^{-1}$, on amplifie (Gain $\geq 110 \text{ dB}$) sur une bande $[0, 01; 3] \text{ rad/s}$. Pour $K = 0,01 \text{ s}^{-1}$, on amplifie sur une bande $[0, 2; 3] \text{ rad/s}$. On choisit donc une valeur de K de $0,001 \text{ s}^{-1}$ (on amplifie sur une bande $[0, 06; 3] \text{ rad/s}$).

Question 15 Donner le nom du type de filtre réalisé par le pendule asservi et préciser l'intérêt de cette solution pour la mesure des séismes par le sismomètre VBB.

Correction [UPSTI] – Il s'agit d'un filtre passe bande. Il permet de sélectionner les fréquences souhaitées en amplifiant uniquement ces dernières.

Stabilisateur d'appareil photo

4 Présentation

5 Analyse du mouvement de l'utilisateur et justification du cahier des charges

Question 16 Associer chacune des courbes (a) ou (b) à l'enregistrement du mouvement pendant la marche ou la course de l'utilisateur. Il est conseillé d'analyser les caractéristiques de l'harmonique de plus grande amplitude.

Correction Sur la courbe de fréquence (a), l'harmonique la plus grande se trouve à une fréquence de 1,66 Hz. Sur la courbe de fréquence (b), l'harmonique la plus grande se trouve à une fréquence de 2,66 Hz. La fréquence la plus basse (a) correspond à la marche. La fréquence la plus haute (b) correspond à la course.

Question 17 Proposer une méthode de filtrage pour atténuer les perturbations dues à la marche ou à la course de l'utilisateur tout en conservant les mouvements de translation verticale souhaités.

Correction Pour filtrer les perturbations, il serait possible d'utiliser un filtre coupe-bande, atténuant les fréquences au voisinage de la fréquence de déplacement.

6 Étude d'avant-projet d'une solution technique avec une commande active

Objectif Modéliser la commande et déterminer le réglage du correcteur. Spécifier la motorisation.

Question 18 En retenant le schéma simplifié (figure ??) et en modélisant par un glisseur dont la résultante est notée $\vec{F}_{2 \rightarrow 3} = F_y \vec{y}_0 + F_z \vec{z}_0$ l'action mécanique exercée au point B par le bras (2) sur la nacelle gyrostabilisée (3), exprimer C_s en fonction de $F_z, F_y, \alpha(t)$ et L . En négligeant F_y devant F_z ($F_y \approx 0$) donner alors la relation entre $C_m, F_z, \alpha(t), L$ et N .

Correction On isole le bras (2), il est soumis à :

- l'action de (3) sur (2) au point B : $\{\mathcal{T}_{3 \rightarrow 2}\} = \left\{ \begin{matrix} \vec{F}_{3 \rightarrow 2} = -\vec{F}_{2 \rightarrow 3} = -F_y \vec{y}_0 - F_z \vec{z}_0 \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}_B$;
- l'action du couple en sortie de réducteur au point A : $\{\mathcal{T}_{1 \rightarrow 2}\} = \left\{ \begin{matrix} \vec{0} \\ C_s \vec{x}_0 \end{matrix} \right\}_A$;
- l'ensemble des actions mécaniques transmissibles par la liaison pivot en A.

Pour éviter les inconnues de liaison en A, on applique le théorème du moment statique en A projeté selon \vec{x}_0 :

$$C_s + (\vec{AB} \wedge \vec{F}_{3 \rightarrow 2}) \cdot \vec{x}_0 = 0 \Rightarrow C_s + L \cdot F_y \sin(\alpha) - L \cdot F_z \cos \alpha = 0$$

Le rendement de la chaîne de motorisation étant parfait on a $C_m = \frac{1}{N} C_s$ donc en supposant $F_y \approx 0$ on obtient finalement :

$$C_m = \frac{L}{N} F_z \cos(\alpha(t))$$

6.1 Choix et réglage du correcteur

Question 19 Montrer qu'un correcteur proportionnel $C(p) = K$ ne permet pas d'assurer la stabilité du système en boucle fermée. On pourra raisonner sur les critères de stabilité sur la fonction de transfert en boucle ouverte ou en boucle fermée.

Correction La fonction de transfert en poursuite s'écrit $\frac{\Delta Z(p)}{\Delta Z^*(p)} = \frac{\frac{KN}{Lm_{34}p^2}}{1 + \frac{KN}{Lm_{34}p^2}} = \frac{KN}{Lm_{34}p^2 + KN} = \frac{1}{\frac{Lm_{34}}{KN}p^2 + 1}$.

Plusieurs arguments permettent de répondre à la question :

- il s'agit d'un système d'ordre 2 avec un coefficient d'amortissement nul ; donc il s'agit d'un oscillateur harmonique non amorti. La réponse du système à un échelon est donc un sinus, ce qui n'est pas stable ;
- ce système à un pôle double à partie réelle nulle. Il est instable.

Remarque : les fonctions de transfert en régulation ont le même dénominateur que la fonction de transfert en poursuite, l'étude de la stabilité est donc la même.

Question 20 En déduire les expressions respectives de l'argument et du module de la fonction de transfert du correcteur pour $\omega = \omega_{c,0 \text{ dB}}$ notées respectivement $\arg(C(j\omega_{c,0 \text{ dB}}))$ et $|C(j\omega_{c,0 \text{ dB}})|$ afin de vérifier l'exigence 2.3.1 relative à la stabilité de la commande active en fonction de $\omega_{c,0 \text{ dB}}, m_{34}, L, N$ et $\Delta\varphi$. On pourra raisonner sur les marges de stabilité du système.

Correction On note F_{nc} la fonction de transfert en boucle ouverte non corrigée. On a $F_{nc}(p) = \frac{N}{Lm_{34}p^2}$.

Comme on veut que le gain en boucle ouverte soit nul, on doit avoir $\left| C(j\omega) \times \frac{N}{L \cdot m_{34}(j\omega)^2} \right| = 1$ donc

$$|C(j\omega_{c,0dB})| = \frac{L \cdot m_{34} \omega_{c,0dB}^2}{N}$$

La phase de la boucle ouverte non corrigée F_{nc} est de -180° pour tout ω .

Le cahier des charges demande une marge de phase de 45° . Il faut donc que $\arg(C(j\omega_{c,0dB})) + \arg(F_{nc}) = -180^\circ + \Delta\varphi$, soit $\arg(C(j\omega_{c,0dB})) = \Delta\varphi$.

Question 21 Déterminer l'expression littérale du paramètre T du correcteur. Effectuer l'application numérique. (On pourra raisonner sur la marge de phase et sur le calcul de l'argument de la fonction de transfert adéquate.)

Correction $\arg(C(j\omega)) = \arg\left(\frac{K}{2T}\right) + 2\arg(1 + Tj\omega) - \arg(j\omega) = 0 + 2\arctan(T\omega) - \frac{\pi}{2}$. En conséquence :
 $\arg(C(j\omega_{c,0dB})) = 2\arctan(T\omega_{c,0dB}) - \frac{\pi}{2}$.

Grâce à la question précédente on en déduit la relation suivante :

$$T = \tan\left(\frac{\Delta\varphi + \frac{\pi}{2}}{2}\right) \frac{1}{\omega_{c,0dB}}$$

D'après le cahier des charges, on souhaite que $T_{m,BF} \leq 0,1s$. De plus, $T_{m,BF} \cdot \omega_{c,0dB} \approx 3$; on veut donc nécessairement que $\omega_{c,0dB} \approx 30\text{rad.s}^{-1}$.

Application numérique : $T \approx 0,08s$.

Question 22 Déterminer l'expression littérale du paramètre K du correcteur. Effectuer l'application numérique avec $m_{34} = 2,8 \text{ kg}$, $L = 52 \text{ mm}$ et $N = 100$. (Il s'agira d'ajuster K pour assurer que le gain soit nul à la pulsation calculé précédemment.)

Correction $|C(j\omega)| = \frac{K}{2T} \cdot \frac{1 + T^2\omega^2}{\omega}$. En conséquence : $|C(j\omega_{c,0dB})| = \frac{K}{2T} \cdot \frac{1 + T^2\omega_{c,0dB}^2}{\omega_{c,0dB}}$

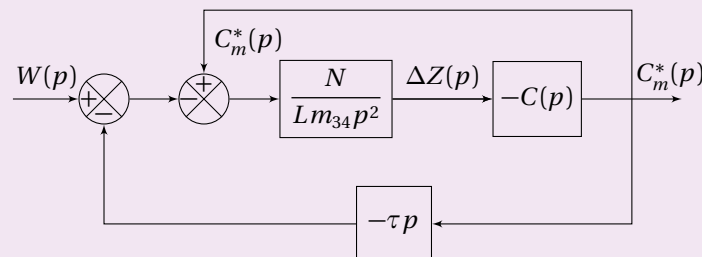
On souhaite d'après la question 21 que $|C(j\omega_{c,0dB})| = \frac{L \cdot m_{34} \omega_{c,0dB}^2}{N}$ donc $K = \frac{2TLm_{34}\omega_{c,0dB}^3}{N(1 + T^2\omega_{c,0dB}^2)}$.

Application numérique : $K \approx 0,93$.

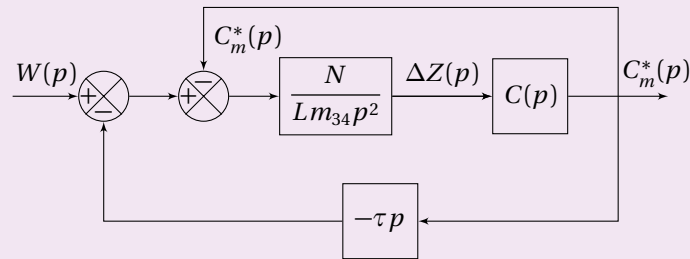
6.2 Spécification de l'actionneur

Question 23 Donner l'expression de la fonction de transfert $H(p)$ présente dans la forme simplifiée du schéma-bloc (figure ??) en fonction de N , L , m_{34} et $C(p)$.

Correction Avec l'entrée $\Delta Z^*(p) = 0$ on peut réorganiser le schéma-bloc de la figure 12 du sujet pour le mettre sous la forme :



On exploite le signe "-" devant $C(p)$ pour modifier les signes dans le comparateur de droite :



Par formule de Black on déduit
$$H(p) = \frac{N \cdot C(p)}{L \cdot m_{34} p^2 + N \cdot C(p)}$$

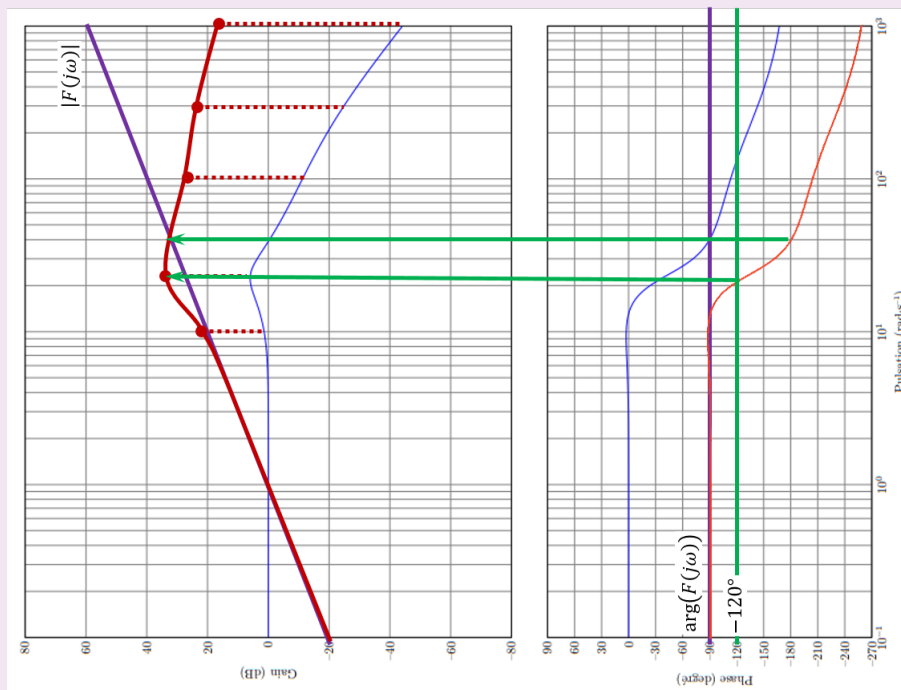
Question 24 Compléter ces diagrammes sur le document réponse en représentant les diagrammes de Bode de la fonction $-\tau p$ puis tracer la fonction de transfert en boucle ouverte du système représenté en figure ?? . Pour les tracés, prendre $\tau = 1$ s et faire apparaître clairement les points de construction pour les pulsations $\omega = 1 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$, $\omega = 10 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ et $\omega = 100 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$.

Correction On pose $F(p) = -\tau p$.

D'une part, $\arg(F(j\omega)) = \arg(-\tau j\omega) = -\frac{\pi}{2}$.

D'autre part, $|F(j\omega)| = 20 \log(\tau\omega)$.

Pour les pulsations $\omega = 1 \text{ rad s}^{-1}$, $\omega = 10 \text{ rad s}^{-1}$ et $\omega = 100 \text{ rad s}^{-1}$, le gain vaut donc 0 dB, 20 dB et 40 dB (voir image ci-dessous).



Question 25 En exploitant le document réponse :

- déterminer la valeur de τ qui assure la stabilité;
- déterminer la valeur de τ qui assure un amortissement correct en considérant qu'il est obtenu lorsque la marge de phase est d'au moins 60° ;
- conclure sur une valeur de τ maximale admissible à spécifier pour le choix du motoréducteur.

Correction On répond aux différents points dans l'ordre :

- Par critère du revers, le système est stable si :
 - le gain en dB est négatif pour une phase de -180° , il faut d'après le diagramme de Bode baisser le gain de 32 dB au minimum, soit $\tau \leq 10^{-\frac{32}{20}} = 25 \text{ ms}$;
 - la phase est supérieure à -180° lorsque le gain est nul, c'est le cas quel que soit τ ;

- pour avoir une marge de phase de 60° , soit obtenir une phase de -120° , il faut baisser le gain d'au moins 35 dB. On veut donc $\tau \leq 10^{-\frac{35}{20}} = 18 \text{ ms}$;
- Par conséquent la valeur maximale de τ admissible est 18 ms pour répondre au cahier des charges.

6.3 Conclusion

Question 26 Conclure sur la capacité du système à satisfaire les exigences du cahier des charges (figure ??).

Correction

- Quelle que soit la masse de l'appareil, le premier maximum est atteint pour un temps compris entre 0,05 s et 1 s. L'exigence 2.1 est donc satisfaite.
- Quelle que soit la masse de l'appareil, l'erreur de position de l'appareil photo est nulle en régime permanent. L'exigence 2.2 est donc satisfaite.

Le système satisfait donc les exigences du cahier des charges.

7 Synthèse

Objectif Analyser et comparer les deux solutions technologiques étudiées précédemment pour concevoir le stabilisateur

Question 27 En étudiant les réponses harmoniques (figure ??), analyser la pertinence de chacune des deux solutions technologiques étudiées à satisfaire l'exigence 1.2.1.

Correction Entre 1,5 Hz et 2,8 Hz, c'est à dire entre 10 rad s^{-1} et 20 rad s^{-1} l'atténuation doit être supérieure à 16 dB. Seul le dispositif actif permet de respecter cette exigence.

Le dispositif passif atténue la perturbation à partir de 40 rad s^{-1} soient 6 pas par seconde, ce qui constitue un rythme de marche élevée.

En conclusion, il semble que le dispositif passif aura des difficultés à stabiliser l'appareil si le preneur de vue marche. En revanche, si les perturbations ont une fréquence plus haute (par exemple si le preneur de vue est sur ou dans un véhicule) le dispositif passif permettra de rejeter les perturbations.

Question 28 En considérant des critères de respect des performances attendues, d'encombrement, de masse, de coût et de consommation d'énergie, établir un tableau comparatif et argumenter un choix entre les deux solutions.

	Correction		
	Filtrage actif	Filtrage passif	Remarques
Performances CDC	☹	☺	
Encombrement	☹	☹	La motorisation ajoute des composants qui peuvent nuire à l'encombrement.
Masse	☹	☹	La motorisation ajoute des composants qui vont augmenter la masse.
Coût	☹	☹	La motorisation ajoute des composants qui vont augmenter le coût.
Consommation d'énergie	☹	☹	La motorisation consommera davantage d'énergie qu'un système entièrement passif sans actionneur supplémentaire.
Si l'utilisateur est très exigeant sur les performances attendues du produit, il devra opter pour un filtrage actif.			