TD 99

Train d'aterrissage d'hélicoptère ★★

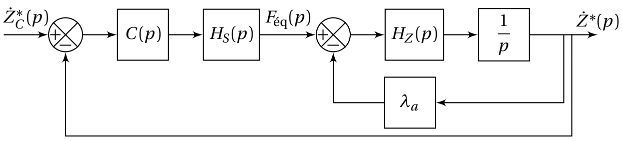
Banque PT – SIA 2014

Savoirs et compétences :

Mise en situation

Objectif Cette partie a pour objectif de proposer un réglage pour le correcteur de la commande asservie définie dans la partie précédente. Il s'agira également de valider les performances globales obtenues grâce à cette commande semi-active.

On se propose d'étudier la stabilité vis-à-vis de la seule consigne $\dot{Z}_c^*(p)$. On adopter pour le réglage de la correction le schéma suivant.



On note dans ce schéma :

- $\dot{Z}^*(p)$ la transformée de $\dot{z}^*(t)=\dot{z}(t)+V_0$ avec V_0 la vitesse d'impact et $\dot{z}(t)$ la vitesse absolue de la cabine par rapport au sol ;
- $F_{\text{éq}}(p)$ l'effort équivalent ramené au déplacement de la cabine et fourni par la partie active de l'amortisseur ;
- λ_a le coefficient d'amortissement passif équivalent ramené au déplacement de la cabine ;
- $H_S(p)=\dfrac{K_S}{1+T_S p}$ la fonction de transfert de la partie active de l'amortisseur. On prendra : $K_S=12\times10^4\,\text{N}\,\text{A}^{-1}$ et $T_S=5\times10^{-3}\,\text{s}$;
- $H_Z(p)=\dfrac{K_Z p^2}{1+\dfrac{2\xi_Z}{\omega_Z}p+\dfrac{p^2}{\omega_Z^2}}$ la fonction de transfert traduisant le comportement dynamique du train.
- $C(p)$ la fonction de transfert du correcteur dont le réglage fait l'objet de cette partie.

Fonction de transfert en boucle ouverte non corrigée

Objectif Il s'agit dans un premier temps d'analyser la forme de la fonction de transfert en boucle ouverte non corrigée de la chaîne de commande semi-active.

Question 1 *Déterminer littéralement et sous forme canonique la fonction de transfert* $H_F(p)=\dfrac{\dot{Z}^*(p)}{F_{\acute{e}q}(p)}$.

Correction

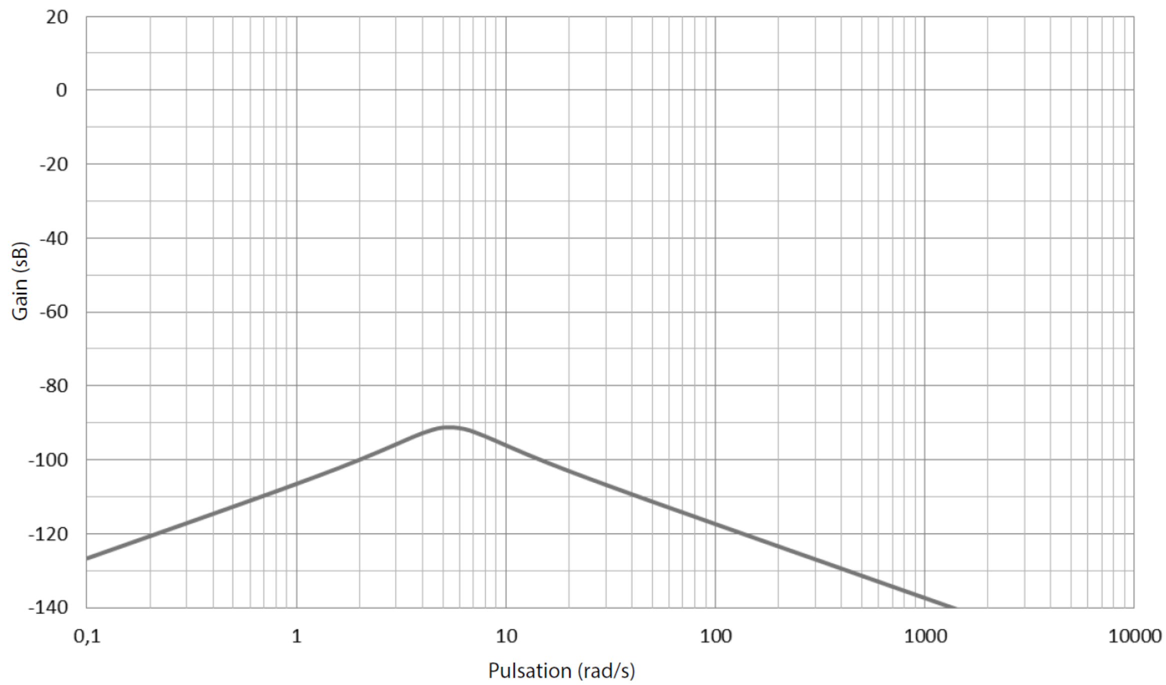
$$H_F(p)=\frac{H_Z(p)\dfrac{1}{p}}{1+\lambda_a H_Z(p)\dfrac{1}{p}}=\frac{\dfrac{K_Z p^2}{1+\dfrac{2\xi_Z}{\omega_Z}p+\dfrac{p^2}{\omega_Z^2}}\dfrac{1}{p}}{1+\lambda_a\dfrac{K_Z p^2}{1+\dfrac{2\xi_Z}{\omega_Z}p+\dfrac{p^2}{\omega_Z^2}}\dfrac{1}{p}}=\frac{K_Z p^2}{p\left(1+\dfrac{2\xi_Z}{\omega_Z}p+\dfrac{p^2}{\omega_Z^2}\right)+\lambda_a K_Z p^2}$$

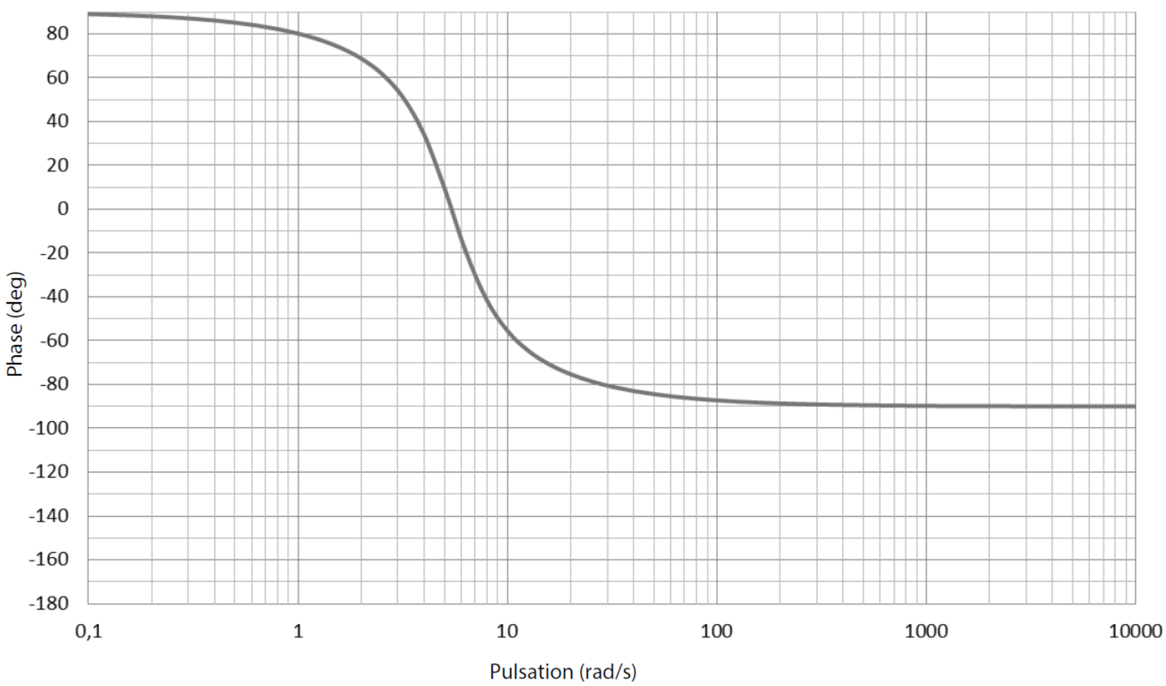
$$= \frac{K_Z p}{1+\left(\frac{2\xi_Z}{\omega_Z}+\lambda_a K_Z\right)p+\frac{p^2}{\omega_Z^2}}.$$

Question 2 *Déterminer littéralement et sous forme canonique la fonction de transfert en boucle ouverte non corrigée $H_{BONC}(p)$.*

Correction $$H_{\text{BONC}}(p)=\frac{K_Z p}{1+\left(\frac{2\xi_Z}{\omega_Z}+\lambda_a K_Z\right)p+\frac{p^2}{\omega_Z^2}}\cdot\frac{K_S}{1+T_S p}.$$

On donne le diagramme de Bode de $H_F(p)$.

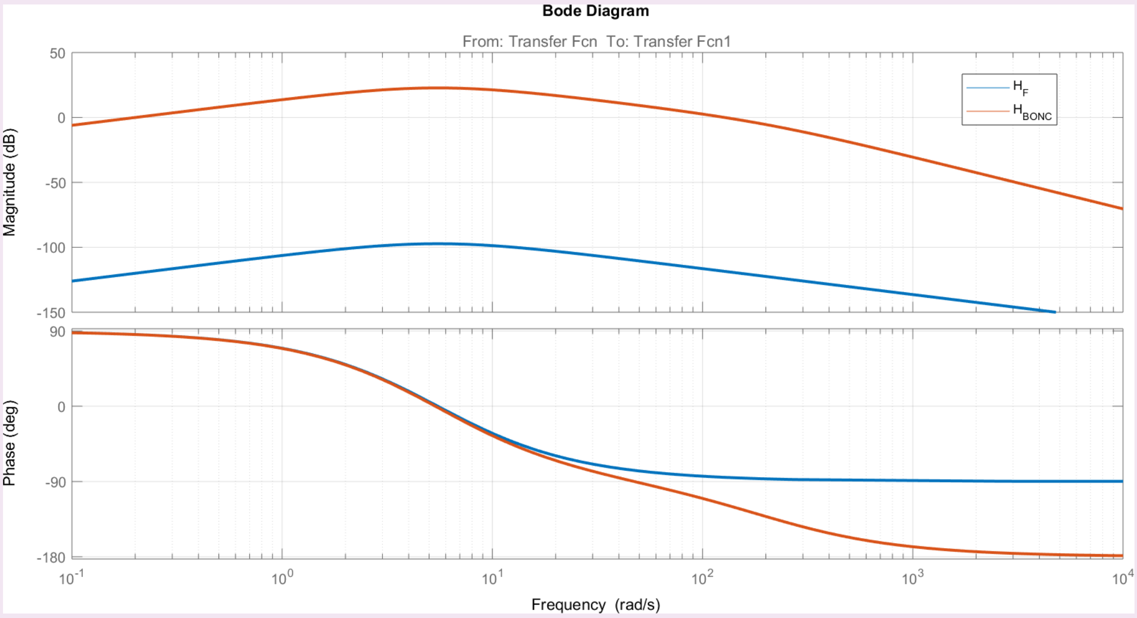




Question 3 *Justifier la forme de ce diagramme en traçant les asymptotes et en indiquant comment retrouver sur le tracé les valeurs de K_z et ω_z. Tracer en rouge les diagrammes de la fonction $H_{BONC}(p)$. On prendra pour cela* $20\log K_S \simeq 100\,\text{dB}$.

Correction H_F est un second ordre dérivé de coefficient d'amortissement ξ_F et de pulsation propore ω_Z. Ne pouvant pas calculer ξ_F, l'allure du diagrame de Bode suggère que $\xi_F < 1$ car il y a une seule rupture de pente à $\omega_Z = 5.5\,\text{rad}\,\text{s}^{-1}$.

Pour $\omega < \omega_Z <$ l'asymptote du second ordre à un gain de 0 dB. Seul le dérivateur est influent. En conséquence, pour $\omega = 1\,\text{rad}\,\text{s}^{-1}$, on a donc $\left|K_Z p\right|_{\text{dB}} = 20\log K_Z = -106$. On a donc $K_Z = 5\times 10^{-6}$.



Choix et réglage de la correction

Objectif Il s'agit à présent de définir la structure du correcteur et de proposer un réglage permettant de satisfaire les critères du cahier des charges.

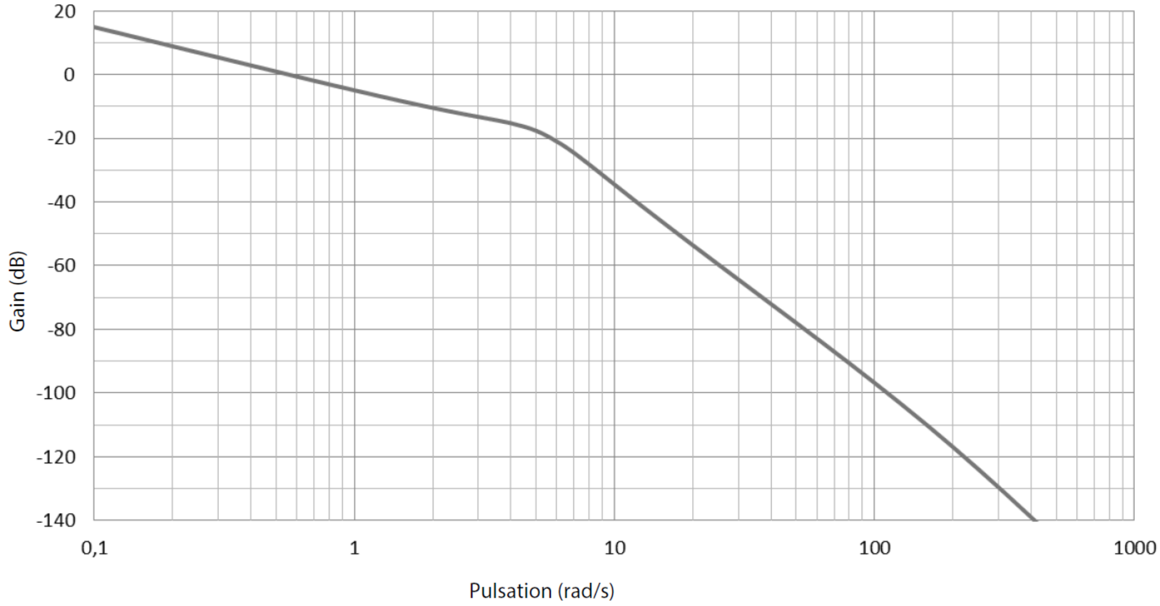
Afin de satisfaire les exigences, une étude complémentaire non abordée dans ce sujet montre que la boucle d'asservissement doit posséder les performances suivantes :

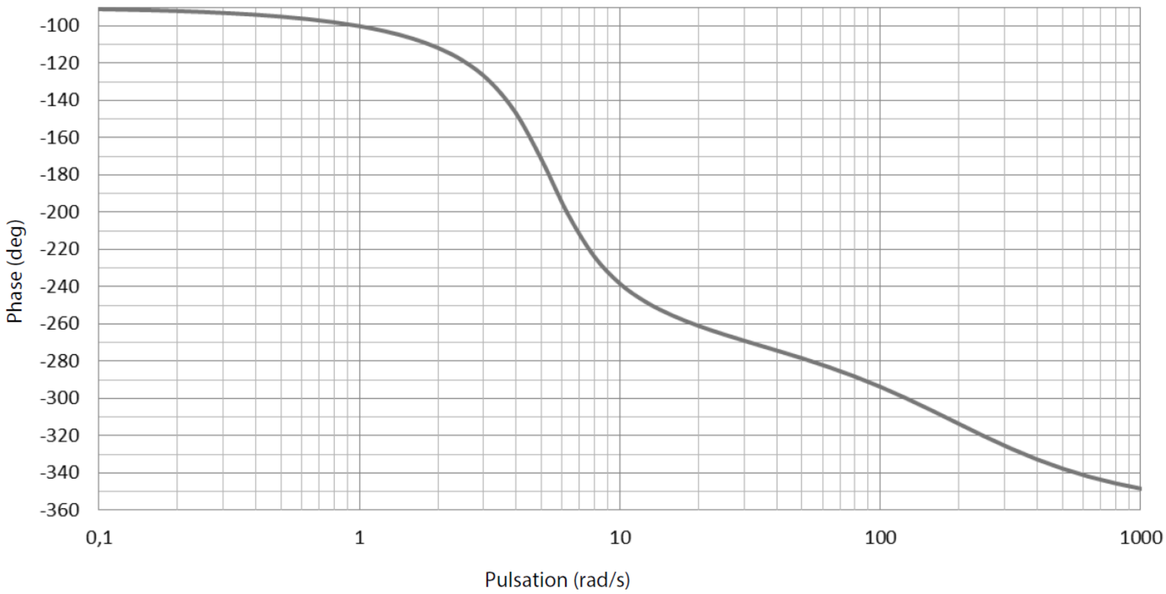
- erreur statique nulle;
- pulsation de coupure à 0 dB et $\omega_{0\,\text{dB}} = 6\,\text{rad}\,\text{s}^{-1}$;
- marge de phase $M\varphi = 45°$;
- marge de gain $MG > 6\,\text{dB}$.

Question 4 *Quelle doit être la classe minimale du correcteur afin de garantir le critère de précision ?*

Correction Pour que l'erreur statique soit nulle, il faut que la classe de la FTBO soit de 1. La classe de la FTBO non corrigée étant de «-1», il faut donc que le correcteur soit de classe 2 pour que le critère de précision soit garanti.

On choisit dans un premier temps un correcteur de la forme $C(p) = \dfrac{K_p}{p^2}$. On donne les diagrammes de Bode de la fonction de transfert en boucle ouverte du système ainsi corrigé pour $K_p = 1$.





Question 5 *Évaluer les marges de stabilité pour ce réglage. Déterminer la valeur de K_p garantissant le critère de pulsation de coupure à* 0 dB. *Ce correcteur peut-il permettre de répondre aux critères de performances énoncés en début de partie ? Justifier la réponse*

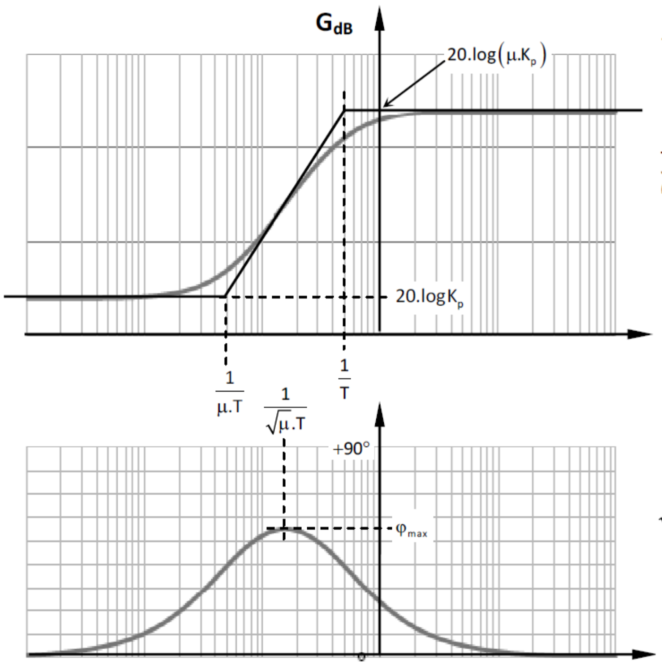
Correction La marge de gain est de 18 dB et la marge de phase est de 95°.

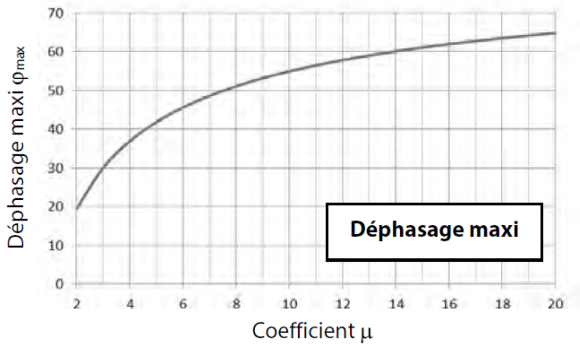
Pour avoir une pulsation de coupure à 0 dB de 6 rad s^{-1}, il faut relever le gain de 20 dB soit $K_P = 10$. Dans ces conditions, la marge de phase est de $-15°$ et la marge de gain est -2 dB.

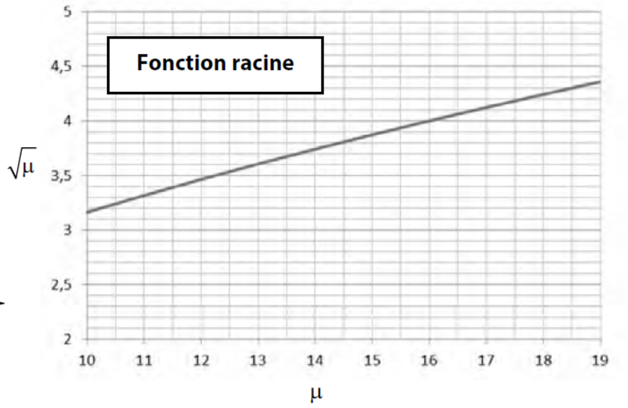
En conséquences, le système est précis (écart nul) et la pulsation de coupure du cahier des charges est respectée. Les marges ne sont plus satisfaites.

On choisit finalement un correcteur de la forme $C(p) = \dfrac{K_p}{p^2}\dfrac{1+\mu T p}{1+T p}$ avec $\mu > 1$. Les caractéristiques du terme en $K_p \dfrac{1+\mu T p}{1+T p}$ ainsi que des abaques de calcul sont donnés ci -dessous. On reprend dans un premier temps $K_p = 1$.

Caractéristiques du terme $K_p \cdot \left(\dfrac{1+\mu.T.p}{1+T.p} \right)$







Question 6 *Comment se nomme l'action de correction obtenue avec ce terme ?*

Correction L'action de correction obtenue est de l'avance de phase.

Question 7 *Quelle valeur doit-on donner à μ pour garantir le critère de marge de phase ?*

Correction **Cas 1 : on conserve $K_P = 10$.** Le correcteur doit ajouter 60°de phase pour $\omega = 6\,\mathrm{rad\,s^{-1}}$. Il faut donc $\mu = 14$.

Le critère de précision reste validé car il y a toujours les deux intégrateurs dans le correcteur.

Question 8 *En déduire les valeurs de T et de K_P permettant d'assurer les critères de stabilité et de bande passante énoncés au début de partie. Le critère de précision est-il validé ?*

Correction **Dans le cas 1 :** $\omega = \dfrac{1}{T\sqrt{\mu}} \Leftrightarrow T = \dfrac{1}{\omega\sqrt{\mu}} = \dfrac{1}{6\sqrt{14}} = 0,045$. Le gain K_P déjà déterminé permet de satisfaire le cahier des charges. Il faut donc que le gain du correcteur à avance de phase soit nul à la pulsation de coupure à $\omega_{0\,\mathrm{dB}}$.

Il faut donc que $\dfrac{1}{2}\left(20\log\left(\mu K'_P\right) + 20\log K'_P\right) = 0 \Rightarrow \log\left(\mu K'^2_P\right) = 0 \Rightarrow \mu K'^2_P = 1 \Rightarrow K'_P = \sqrt{1/\mu} = 0,267$.

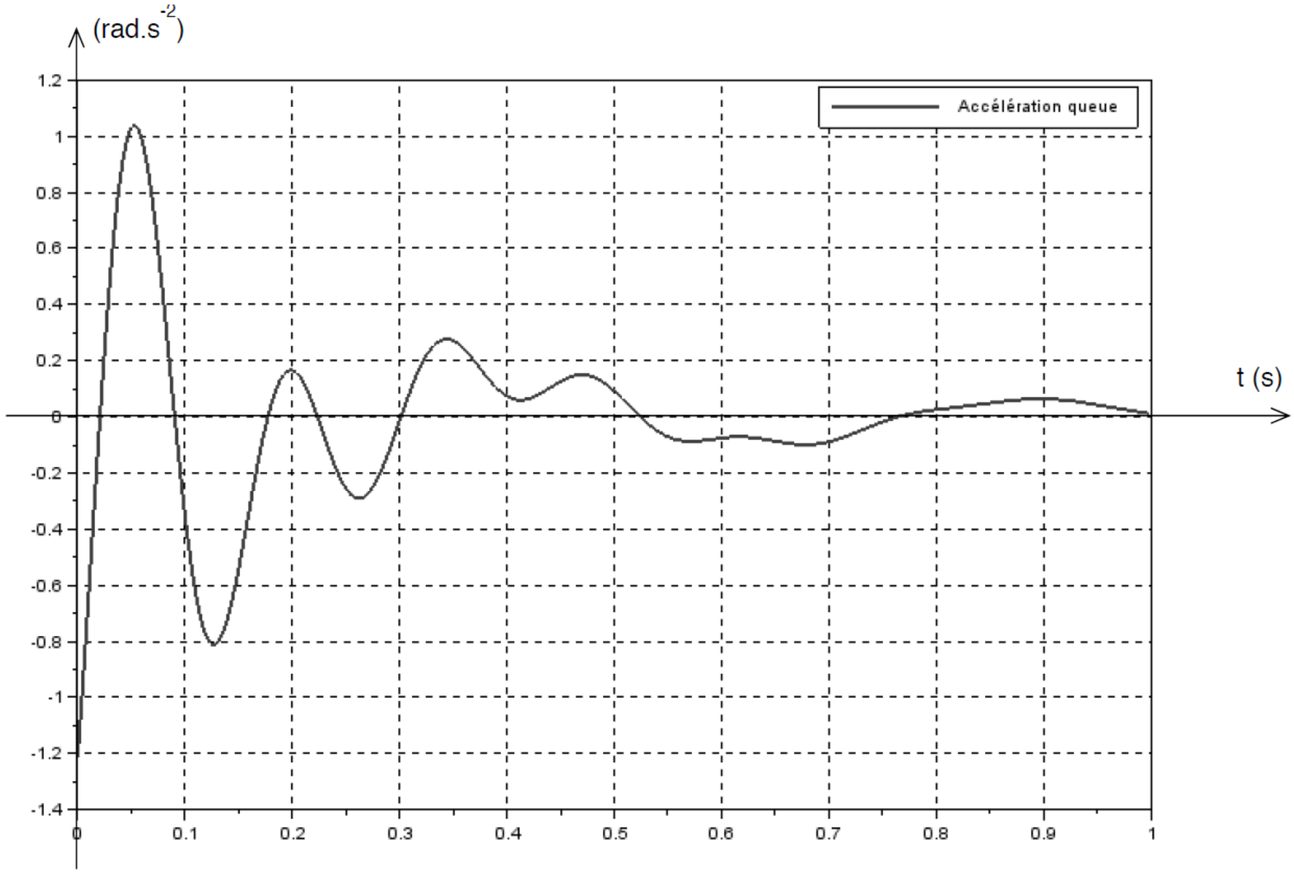
Validation des performances

Objectif Il s'agit dans cette dernière partie de vérifier les performances globales de la boucle d'asservissement.

On donne le résultat d'une simulation du système complet piloté à l'aide du correcteur précédemment dimensionné pour une vitesse d'impact de $4\,\mathrm{m\,s^{-1}}$.

Question 9 *En analysant cette courbe, conclure quant à la validité du cahier des charges.*

Correction


(rad.s-2)
Accélération queue
t (s)
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1
-1.2
-1.4
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1