

Jyzdeck CCS PSI 2022

(1)

Q₁: $u_d \in [-2,5; 3,5] \text{ mm}$ ColCF: $\pm 2 \text{ mm}$ → Pas vérifié
 $w_f \in [-0,25; 0,25] \text{ mm}$ ↳ Stabiliser nécessaire.

Q₂: $\overline{P_0P} = \overline{P_0O_0} + \overline{O_0P}$ $\vec{z}_1 = \cos \theta_{1,y} \vec{z}_1' + \sin \theta_{1,y} \vec{x}_1'$
 $= L \vec{z}_1 - L \vec{z}_0$ $\vec{x}_1' = \vec{x}_0$
 $= L [\cos \theta_{1,y} \cos \theta_{1,z} \vec{z}_0 - \cos \theta_{1,y} \sin \theta_{1,z} \vec{y}_0 + \sin \theta_{1,y} \vec{x}_0] - L \vec{z}_0$

Ainsi: $\begin{cases} u_d = \overline{P_0P} \cdot \vec{y}_0 = -L \cos \theta_{1,y} \sin \theta_{1,z} \\ w_f = \|\overline{P_0P} - u_d \cdot \vec{y}_0\| = L \sqrt{\sin^2 \theta_{1,y} + (\cos \theta_{1,y} \cos \theta_{1,z} - 1)^2} \end{cases}$

Q₃: Après linéarisation autour de $\theta_i \ll 1$.

$$\begin{aligned} \overline{P_0P} &\approx [\theta_{1,y} \vec{x}_0 - \theta_{1,z} \vec{y}_0] \cdot L \\ \Rightarrow \begin{cases} u_d \approx -L \theta_{1,z} \\ w_f \approx L |\theta_{1,y}| \end{cases} & \begin{cases} \Delta \theta_{1,z} = \frac{\Delta u_d}{L} = \frac{u_d^{\min} - u_d^{\max}}{L} = \frac{-1,9 \cdot 10^{-2}}{L} \\ \Delta \theta_{1,y} = \frac{\Delta w_f}{L} = \frac{w_f^{\max} - w_f^{\min}}{L} \approx \frac{1,7 \cdot 10^{-3}}{L} \end{cases} \end{aligned}$$

- On note que $\Delta \theta_{1,y}$ est toujours inférieure à $\Delta \theta_{1,z}$.
- On a une sphérique dont la rotation selon \vec{y} est bien moindre que celle selon \vec{x} . On peut à minima supposer une rotation à droite (voir pivot selon \vec{x} en supposant le PB plan i.e. négliger la rotation selon \vec{z})

On veut compenser $\Delta O_1 x$ il faut un moment de compensation autour du même axe (O_0, \vec{x}_0) .

Q10 . On veut $t_{r5\%}$ validant $t_{r5\%} \ll \frac{1}{2 \cdot f_c} \sim \frac{1}{3} s$.

On identifie $[t_{r5\%} = \underline{0,02s}]$

Qui est donc bien au moins 1 ordre inférieur à $\frac{1}{2f_c}$.
↳ [La condition de réactivité est respectée]

Le système est précis d'après les relevés, et très réactif devant le reste du système.

On associe alors à $H_2(p) = \frac{O_2(p)}{u(p)}$ à son gain

$[K_2 = 1]$

Q11 $H_{O_2}(p) = \frac{O_2(p)}{u(p)}$

$C_2(p) = 0$

$O_2^*(t) = 0$ ← Consigne nulle.

$O_2(p) = \frac{1}{p} \cdot K_2 [u(p) + C(p)O_2(p)]$

$\Rightarrow \left[\frac{O_2(p)}{u(p)} = \frac{K_2/p}{1 + \frac{K_2}{p} C(p)} = \frac{K_2}{p + K_2 C(p)} \right]$

On suppose le syst stable, on lui applique le TVF

$C(p) = K_{10}$: $\lim_{t \rightarrow \infty} O_2 = \lim_{p \rightarrow 0} p O_2 = \lim_{p \rightarrow 0} \frac{K_2}{p + K_2 \cdot K_{10}} = p \cdot \frac{1}{p} = \frac{1}{K_{10}}$

$C(p) = K_{10} + \frac{K_{11}}{p}$: $\lim_{t \rightarrow \infty} O_2 = \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot \frac{1}{p} \cdot \frac{K_2}{p + K_2(K_{10} + \frac{K_{11}}{p})} = 0$

appliquant une correction prop. intégrale
la dérive de l'étrier est évitée.

(3)

Lo An va choisir cette correction.

Q12 $H_m(p) = \frac{\Omega_2(p)}{u(p)}$

$$\Omega_2(p) = H_2(p) \left[u(p) + C(p) \cdot -\frac{1}{p} \cdot \Omega_2(p) \right]$$

$$\Rightarrow \frac{\Omega_2(p)}{u(p)} = \frac{H_2(p)}{1 + H_2(p) \cdot \frac{C(p)}{p}} \quad \text{avec } H_2(p) = k_2.$$

$$H_m(p) = \frac{k_2 \cdot p}{p + k_2 (k_{10} p + k_{11})} = \frac{k_2 \cdot p^2}{p^2 + k_2 \cdot k_{10} \cdot p + k_{11}}$$

$$= \frac{\frac{k_2}{k_{11}} \cdot p^2}{1 + \frac{k_2 \cdot k_{10}}{k_{11}} \cdot p + \frac{1}{k_{11}} \cdot p^2}$$
$$= \frac{\frac{1}{k_{11}} \cdot p^2}{1 + \frac{k_{10}}{k_{11}} p + \frac{1}{k_{11}} \cdot p^2}$$

Je rappelle $[k_2 = 1]$
(cf Q10)

Q13 Par identification: $\begin{cases} \omega_m = \sqrt{k_{11}} \\ \xi = \frac{1}{2} k_{10} \frac{1}{\sqrt{k_{11}}} \end{cases}$

$$\omega_m = 2,45 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\xi = 0,37$$

$$\Rightarrow \begin{cases} k_{10} = 1,81 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \\ k_{11} = 6 \text{ rad}^2 \cdot \text{s}^{-2} \end{cases}$$

(4)

On a: $J_x \ddot{Q}_1(t) + f \dot{Q}_1(t) + k Q_1(t) = G_x - L f_c(t)$

En supposant les conditions initiales nulles.

$$\begin{cases} [J_x p^2 + f p + k] Q_1(p) = G_x(p) - L F_c(p) \\ Q_1(p) = \frac{1}{L} Y(p) \end{cases}$$

$$Y(p) = L [G_x(p) - L F_c(p)] \cdot \frac{1}{J_x p^2 + f p + k}$$

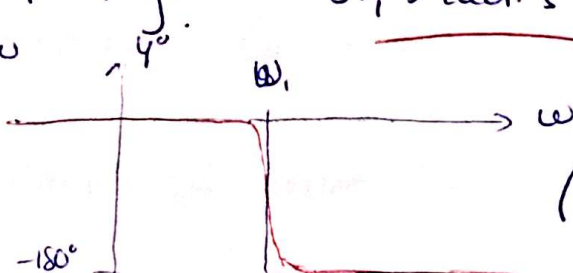
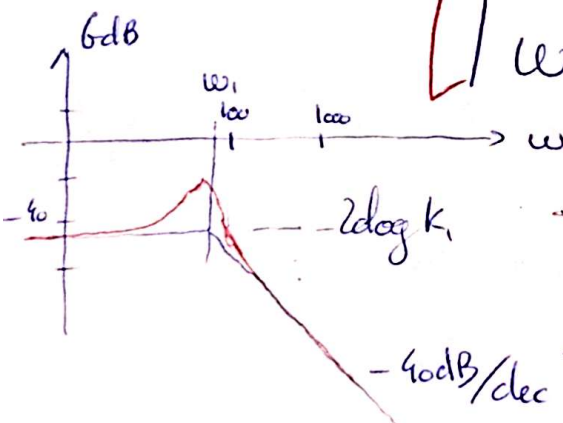
Le SB nous donne: $Y(p) = H_1(p) [G_x(p) - H_{pert}(p) \cdot F_c(p)]$

Par identification:

$$\left[H_1(p) = \frac{L}{J_x p^2 + f p + k} \right] \left[H_{pert}(p) = L \right]$$

Q10 $H_1(p) = \frac{L/k}{1 + \frac{f}{k} p + \frac{J_x}{k} p^2} = \frac{K_1}{1 + \frac{2\xi_1}{\omega_1} p + \frac{p^2}{\omega_1^2}}$

avec $\left\{ \begin{aligned} K_1 &= L/k \sim 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ rad} \cdot \text{N}^{-1} \\ \xi_1 &= \frac{1}{2} f \cdot \sqrt{\frac{k}{J_x}} \sim 0,03 \\ \omega_1 &= \sqrt{\frac{k}{J_x}} \sim 91,3 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \end{aligned} \right.$



Système très amorti et résonant ($\Delta \xi \ll 1$) (très résonant)
cf partie d'après

$Y^*(p) = 0.$ Hyp $F_c(p) = 0.$

Black

$$\left[H_{Bo}(p) = \frac{Y(p)}{E(p)} = \frac{1}{p} \cdot \frac{H_m \cdot K_3 \cdot p H_1}{1 + H_m \cdot K_3 \cdot p H_1 \cdot K_v} \right] K_p$$
 Lecture directe

Q22 On s'intéresse à la valeur du gain en ω_{180} telle que $\varphi(H_{Bo}(\omega_{180})) = -180^\circ$

$\omega_{180} \approx 150 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$. $G_{dB}(\omega_{180}) \approx -75 \text{ dB}$.

On peut remonter la courbe de -75 dB

Soit $20 \log K_p = 75 \text{ dB} \Rightarrow \left[K_{p_{max}} \approx 10^{\frac{75}{20}} \approx 1800 \right]$
Rque $[K_p] = \text{rad}/(\text{m}\cdot\text{s})$

Q23: Les exigences 1.1.1 et 1.1 : $|Y| \leq 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$.

$|F_c(j\omega)| = F |\sin \omega t|$. $Y(j\omega) = \underbrace{F \cdot \left| \frac{Y(j\omega)}{F_c(j\omega)} \right|}_{\leq 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}}$ $\sin \omega t + \varphi$
et on veut

avec $F = 5$ ça donne $\left[G_{max} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{5} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ m/N} \right]$

Q24: D'après la figure 13: ça nous impose $\left[K_p \geq 2800 \right]$ $\frac{\text{rad}}{\text{m}\cdot\text{s}}$

Ce qui est incompatible avec l'exigence de stabilité
travé Q22

$$H_{F_c}^{ext}(p) = \frac{Y(p)}{F_c(p)}$$

(6)

$$Y(p) = H_1(p) \left[-H_{pert}(p) \cdot F_c(p) + k_3 H_m(p) \left[C_a(p) \cdot \frac{1}{1+\varepsilon_p} F_c(p) - (k_p + p k_v) \frac{Y(p)}{p} \right] \right]$$

$$\Rightarrow Y(p) \left[1 + H_1(p) k_3 \cdot H_m(p) (k_p + p k_v) \right] = H_1(p) \left(k_3 \cdot H_m(p) \frac{C_a(p)}{1+\varepsilon_p} - H_{pert}(p) F_c(p) \right)$$

$$\Rightarrow \left[H_{F_c}^{ext} \cdot \frac{Y(p)}{F_c(p)} = \frac{H_1 \cdot k_3 H_m \frac{C_a}{1+\varepsilon_p} - H_1 H_{pert}}{1 + H_1 k_3 H_m (k_p + p k_v)} \right]$$

Q26 Pour rejeter la perturbation on veut numérateur = 0.

$$\Rightarrow \left[C_a(p) = H_{pert} \cdot \frac{(1+\varepsilon_p)}{k_3 \cdot H_m} \right] \quad H_{pert} = L$$

$$\Rightarrow C_a(p) = L \frac{(1+\varepsilon_p) (p^2/\omega_m^2 + \frac{2\zeta_m}{\omega_m} p + 1)}{k_3/k_{11} p^2}$$

avec $\omega_m = \sqrt{k_{11}}$

$$\left[C_a(p) = \frac{L (1+\varepsilon_p) (p^2 + 2\zeta_m \cdot \omega_m \cdot p + \omega_m^2)}{k_3 \cdot p^2} \right]$$

it . Degré du numérateur $>$ Degré dénominateur ⁽⁷⁾
ce qui augmente fortement la sensibilité
au bruit (Hautes fréquences).

• Erreurs d'approximations (différence numérique).
↳ au sens
Soustraction

Q28 Exigence 1.1.1 : Pulsation

$$\omega \in [6,3; 23 \text{ rad.s}^{-1}]$$

Sur cette plage de pulsation, le correcteur
 $G_a(p)$ se comporte comme un gain dont
la valeur $20 \log k_a \sim 5 \text{ dB} \sim [k_a \approx 1,8]$

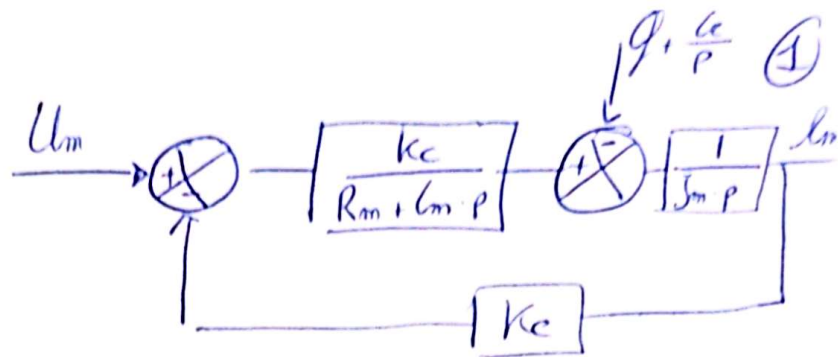
⚠ La phase n'est pas constante sur cette
plage (variation $\sim 20^\circ$) ce qui peut être
dommageable.

Q29 : Courbe temporelle: $|y| \leq 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ on vérifie
l'exigence de déplacement max (à peine).
↳ avec anticipation
donc $|y|$ a de meilleures chances que sans on
n'y arrive pas!

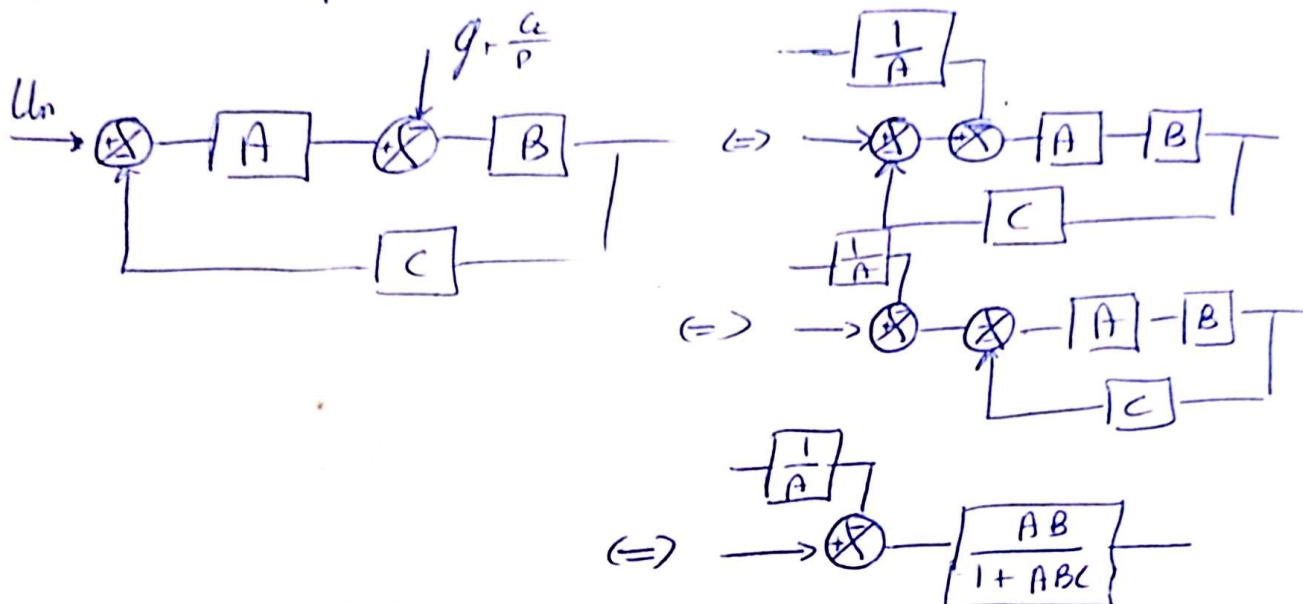
Reque : On suppose Ω_2 petit dans l'étude. on voit
ici que ce n'est pas trop ~~simple~~ le cas à
voir l'impact sur le modèle.

CCP Ajardi (corrigé le Gyrolock semble vérifier le CdcF !)

Q17 SB du Moteur



Q20 ① Par Manip de SB



Ainsi
$$H_p(p) = \frac{R_m + L_m \cdot p}{K_c}$$

② Par Calcul.

$$I_m(p) = \frac{1}{J_m \cdot p} \left[-G_c(p) + \frac{K_c}{R_m + L_m \cdot p} [U_m - K_c I] \right]$$

$$\begin{aligned} \Leftrightarrow I_m(p) \left[J_m \cdot p + \frac{K_c K_c}{R_m + L_m \cdot p} \right] &= \frac{K_c}{R_m + L_m \cdot p} \cdot U_m - G_c(p) \\ &= \frac{K_c}{R_m + L_m \cdot p} \left[U_m - \frac{R_m + L_m \cdot p}{K_c} G_c(p) \right] \end{aligned}$$

$$\Leftrightarrow I_m(p) = \frac{K_c}{J_m \cdot p + \frac{K_c K_c}{R_m + L_m \cdot p}} \left[U_m - \frac{R_m + L_m \cdot p}{K_c} G_c(p) \right]$$

Par identification $H_m(p)$

$H_p(p)$



On veut maintenir $\alpha = 0$. (2)

$$\sin \alpha = \frac{hd - hg}{L} \quad \text{Si } \alpha \ll 1$$

$$\left[\alpha \approx \frac{hd - hg}{L} \right] \quad \text{Ce qui est le comparateur.}$$

$$\underline{\underline{Q_{22}}} \quad \left[\begin{array}{l} hd(p) = -\frac{R_p}{p} \cdot H_m(p) \left[-Pd(p) - U_v - k_{adap} \varepsilon_c \right] \\ hg(p) = \frac{R_p}{p} \cdot H_m(p) \left[-Pg(p) + U_v - k_{adap} \varepsilon_c \right] \end{array} \right]$$

$$\underline{\underline{Q_{23}}} \quad Pd(p) = -Pg(p)$$

$$\alpha(p) = \frac{1}{L} (hd - hg)$$

$$= \frac{1}{L} \cdot \frac{R_p}{p} H_m(p) \cdot 2k_{adap} \varepsilon_c(p)$$

$H_{eq}(p)$

$$\left[H_{eq}(p) = \frac{1}{p} \frac{R_p \cdot H_m(p) \cdot 2k_{adap}}{L} \right]$$

$$\underline{\underline{Q_{24}}} \quad \left[H_{BO}(p) = \frac{\alpha}{\varepsilon} = C_{ozz}(p) \cdot H_{eq}(p) \quad \parallel C_{ozz} = 1 \right]$$

$$= \frac{1}{p} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_{Jeq}}{k_e k_c} p + \frac{L J_{eq}}{k_e k_c} p^2} \cdot \frac{R_p \cdot 2k_{adap}}{L \cdot k_e}$$

Ordre 3 Classe 1

q Bode: An mesure, en $\omega = \omega_{180^\circ}$ (3)
 $GdB \approx -50dB$

• en $\omega = \omega_{0dB} \approx 7 \text{ rad.s}^{-1}$
 $\varphi \approx -135^\circ$

Stabilité Soch: $M_G = 50dB > 10dB$
 $M_\varphi = 65^\circ < 75^\circ$ [1.3.1.1 non vérifiée]

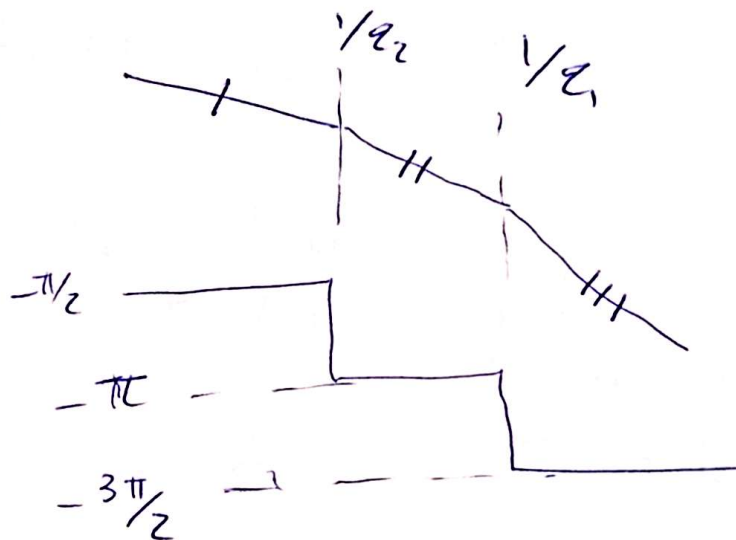
Rapidité: $\omega_{0dB} = 7 \text{ rad.s}^{-1} < 20 \text{ rad.s}^{-1}$ [1.3.1.3 non vérifiée]

Précision: Classe I: $E_S = 0$ [vérifiée 1.3.1.5.]

• $D_{1\%} \approx \frac{0,5}{5} \approx 10\%$ [1.3.1.4 vérifiée] (à peine).

• $t_{25\%} \sim 0,5s$ (Dau retard!!) $> 0,1s$ [1.3.1.2 non vérifiée]

Q26 q Bode



Q27: An mesure rapidement ($\varphi_a = -135^\circ$).

$\omega_{c2} = 10 \text{ rad.s}^{-1} \Rightarrow [\tau_2 \sim 0,1s]$

($\varphi_a = -225^\circ$)

$\omega_{c1} \sim 3000 \text{ rad.s}^{-1}$ [$\tau_1 \sim 0,00033s = 3,3 \cdot 10^{-4}s$]

(Rque Question un peu bizarre). (4)

- Seul avantage: rajouter une intégration avant la perturbation pour augmenter la Robustesse du système et valider le CdCF (On n'a pas pris en compte les Perturbat° pour le moment)
- Le correcteur usque d'amortir la $M\varphi$ (qui n'est déjà pas bonne)
On sait déjà qu'il va falloir un autre ...

Q29 Pôle dominant: ζ_2 .

On choisit $\zeta_1 = \zeta_2 = 0,15$.

$$\left[H_{B0} = \frac{K_p \cdot K_{eq}}{p^2 \zeta_2 (1 + \zeta_1 p)} \right]$$

avec Prop intégral

Q30 Sur le diag de Bode On note $M\varphi \approx 5^\circ$.

Il faut alors remonter la phase d'environ 70° autour de ω_{180° d'où le correcteur à avance de phase. ajouté au Prop intégral. assurant ainsi l'exigence de Robustesse et de $M\varphi$.

On veut $\varphi_{\max} = 70^\circ$.

$$\text{Soit } \sin \varphi_{\max} = \frac{a-1}{a+1} \Rightarrow [a \approx 40]$$

Q32 On veut placer en ω_{dB} le correcteur

$$\text{soit } \frac{1}{\sqrt{a} \cdot T_{av}} = \omega_{dB} \Rightarrow [T_{av} = \underline{8 \cdot 10^{-3} \text{ s}}]$$

Q33 $K_p = 3,5$ • Car il permet le plus haut D_{1y} en vérifiant l'exigence associée (le plus rapide donc).