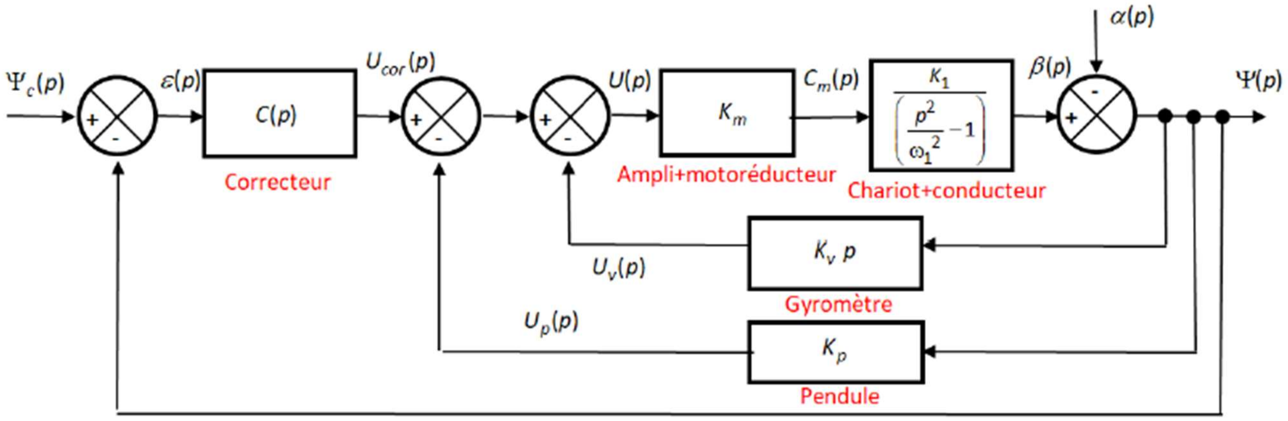
1. Compléter le schéma-bloc de l'asservissement d'inclinaison. Pour cela, indiquer le nom des constituants **sous** les blocs, les fonctions de transfert à l'intérieur des blocs, ainsi que les grandeurs manquantes en entrée et en sortie des blocs et leur unité.



2. Justifier que l'ensemble chariot + conducteur est instable.

$H(p)=\dfrac{K_1}{\left(\dfrac{p^2}{\omega_1^2}-1\right)}$ possède deux pôles réels dont un positif. Le chariot est donc instable (ce qui est logique physiquement).

3. Déterminer en fonction des paramètres K_m, K_1, ω_1, K_v et K_p, la fonction de transfert $F(p)$ telle que $F(p)=\dfrac{\Psi(p)|_{\alpha(p)=0}}{U_{cor}(p)}$.

$$F(p)=\frac{\Psi(p)|_{\alpha(p)=0}}{U_{cor}(p)}=\frac{K_m\dfrac{K_1}{\left(\dfrac{p^2}{\omega_1^2}-1\right)}}{1+\underbrace{(K_v p+K_p)}_{\text{blocs en parallèle}}\times K_m\dfrac{K_1}{\left(\dfrac{p^2}{\omega_1^2}-1\right)}}=\frac{K_mK_1}{\left(\dfrac{p^2}{\omega_1^2}-1\right)+(K_vp+K_p)\times K_mK_1}=\frac{K_mK_1}{(-1+K_pK_mK_1)+K_vK_mK_1\,p+\left(\dfrac{p^2}{\omega_1^2}\right)}$$

$$\boxed{F(p)=\frac{\Psi(p)|_{\alpha(p)=0}}{U_{cor}(p)}=\frac{K_mK_1}{(K_pK_mK_1-1)}\frac{1}{1+\dfrac{K_vK_mK_1}{(K_pK_mK_1-1)}p+\dfrac{1}{(K_pK_mK_1-1)\omega_1^2}p^2}}$$

4. Déterminer la valeur à prendre pour K_c afin de respecter le cahier des charges vis-à-vis de la marge de phase.

La FTBO est régulière car les pôles de $F(p)$ sont : $-4,45\pm 4,35j$ (déterminés à la calculatrice)

1ère étape : on cherche ω_{0dB} tel que : $M_\varphi=45°=180°+\arg(H_{BO}(j\omega_{0dB}))$ $\Leftrightarrow$ $\boxed{\omega_{0dB}=12\ \text{rad}\cdot\text{s}^{-1}}$

2ème étape : on cherche K tel que : $G_{dB}(\omega_{0dB})=20\log|H_{BO}(j\omega_{0dB})|=0\text{dB}$ $\Leftrightarrow$ $|H_{BO}(j\omega_{0dB})|=1$ $\Leftrightarrow$ $\boxed{K_c=33\ \text{V/rad}}$

5. Déterminer la marge de gain en fonction de K_c.

Quel que soit K_c, la FTBO sera toujours un deuxième ordre. Ainsi la marge de gain est non définie.

On préfèrera dire que la marge de gain est infinie (le gain de la FTBO peut augmenter « à l'infini », la BF reste stable… idem en Q10).

6. Déterminer la fonction de transfert $H_{régul}(p)=\dfrac{\psi(p)|_{\psi_c(p)=0}}{\alpha(p)}$.

$$H_{régul}(p)=\frac{\psi(p)|_{\psi_c(p)=0}}{\alpha(p)}=\frac{-1}{1-\underbrace{\left(-K_v p-K_p-K_c\right)}_{\text{blocs en parallèle}}\times K_m\dfrac{K_1}{\left(\dfrac{p^2}{\omega_1^2}-1\right)}}=\frac{-\left(\dfrac{p^2}{\omega_1^2}-1\right)}{\left(\dfrac{p^2}{\omega_1^2}-1\right)+\left(K_v p+K_p+K_c\right)K_m K_1}=\frac{1-\dfrac{p^2}{\omega_1^2}}{\left(K_m K_1(K_p+K_c)-1\right)+K_m K_1 K_v\,p+\dfrac{1}{\omega_1^2}p^2}$$

$$\Rightarrow \boxed{H_{régul}(p)=\frac{\psi(p)|_{\psi_c(p)=0}}{\alpha(p)}=\frac{1}{\left(K_m K_1(K_p+K_c)-1\right)}\frac{1-\dfrac{p^2}{\omega_1^2}}{1+\dfrac{K_m K_1 K_v}{\left(K_m K_1(K_p+K_c)-1\right)}p+\dfrac{1}{\left(K_m K_1(K_p+K_c)-1\right)\omega_1^2}p^2}}$$

7. Déterminer l'expression de l'inclinaison $\psi(+\infty)$ du châssis en régime permanent, lorsque la perturbation $\alpha(t)$ est un échelon d'amplitude $\alpha_0=20°$ pour le correcteur proportionnel K_c défini précédemment. Le cahier des charges est-il satisfait ?

$H_{régul}(p)$ est sans dérivateur, donc le théorème de la valeur finale donne :

$$\psi(+\infty)=K_{régul}\alpha_0 \quad\Rightarrow\quad \boxed{\psi(+\infty)=\frac{1}{\left(K_m K_1(K_p+K_c)-1\right)}\alpha_0}.$$

Quel que soit K_c, $\psi(+\infty)\neq 0$ le cahier des charges n'est pas respecté à l'aide d'un correcteur proportionnel.

8. Justifier que ce correcteur améliore la précision.

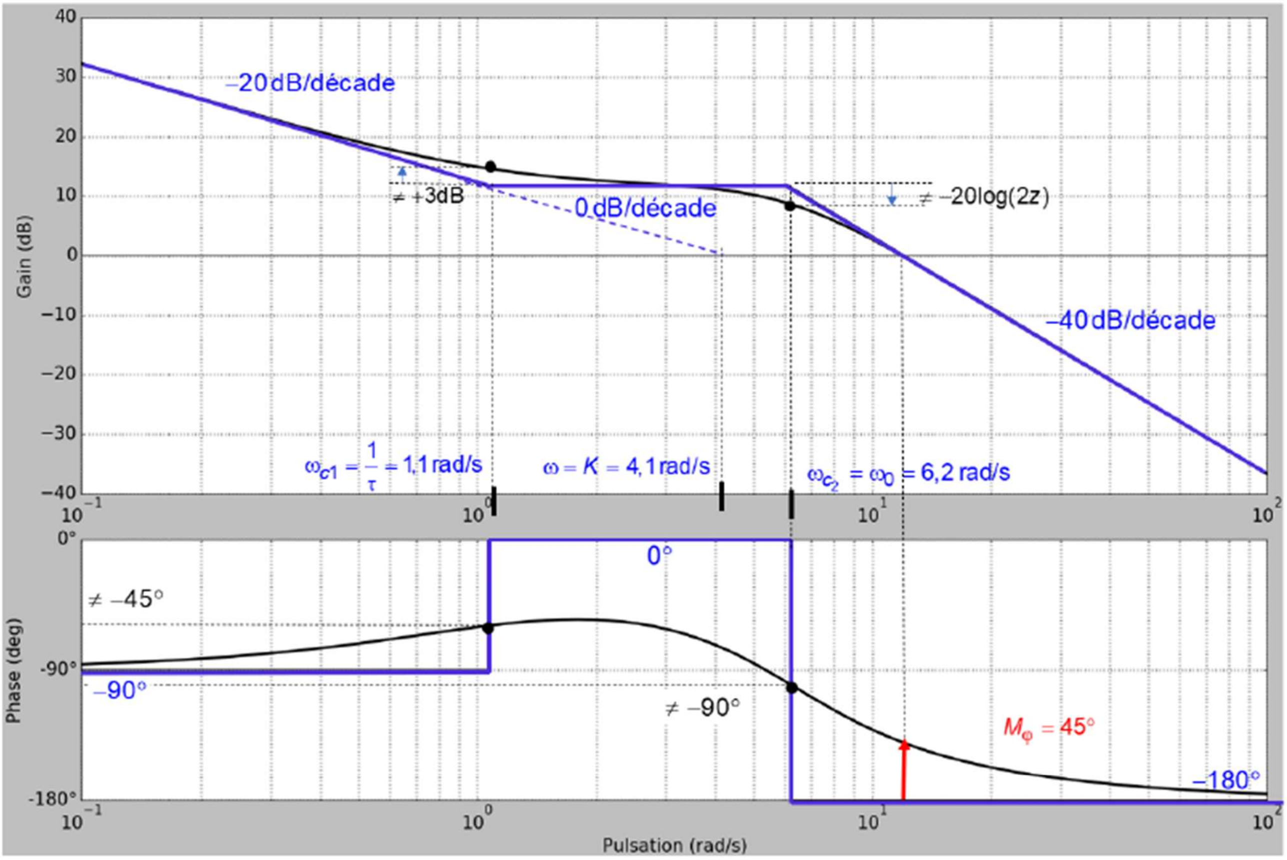
$H_{régul}(p)$ est avec dérivateur, donc le théorème de la valeur finale donne : $\boxed{\psi(+\infty)=0}$ et ce quel que soit K_i et T_i.

Le cahier des charges est donc respecté à l'aide d'un correcteur proportionnel intégral.

9. À l'aide des valeurs numériques précédentes, tracer les diagrammes asymptotiques.

$$H_{BO}(p)=\frac{\psi(p)|_{\alpha(p)=0}}{\varepsilon(p)}=C(p)F(p)=31{,}7\left(\frac{1+0{,}93p}{0{,}93p}\right)\left(\frac{0{,}12}{1+0{,}23p+0{,}026p^2}\right)=\frac{31{,}7\times 0{,}12}{0{,}93\,p}(1+0{,}93p)\left(\frac{1}{1+0{,}23p+0{,}026p^2}\right)$$

$$\boxed{H_{BO}(p)=\frac{4{,}1}{p}\left(1+\frac{1}{1{,}1}p\right)\left(\frac{1}{1+\dfrac{2\times 0{,}7}{6{,}2}p+\dfrac{1}{6{,}2^2}p^2}\right)}$$



10. Vérifier que la stabilité est toujours respectée avec ce réglage de correcteur.

On lit sur le diagramme de Bode $M_\varphi = 45°$ et M_G non définie, le système est donc stable et précis avec ce correcteur proportionnel intégral réglé avec $K_i = 31{,}7$ V/rad et $T_i = 0{,}93$ s .