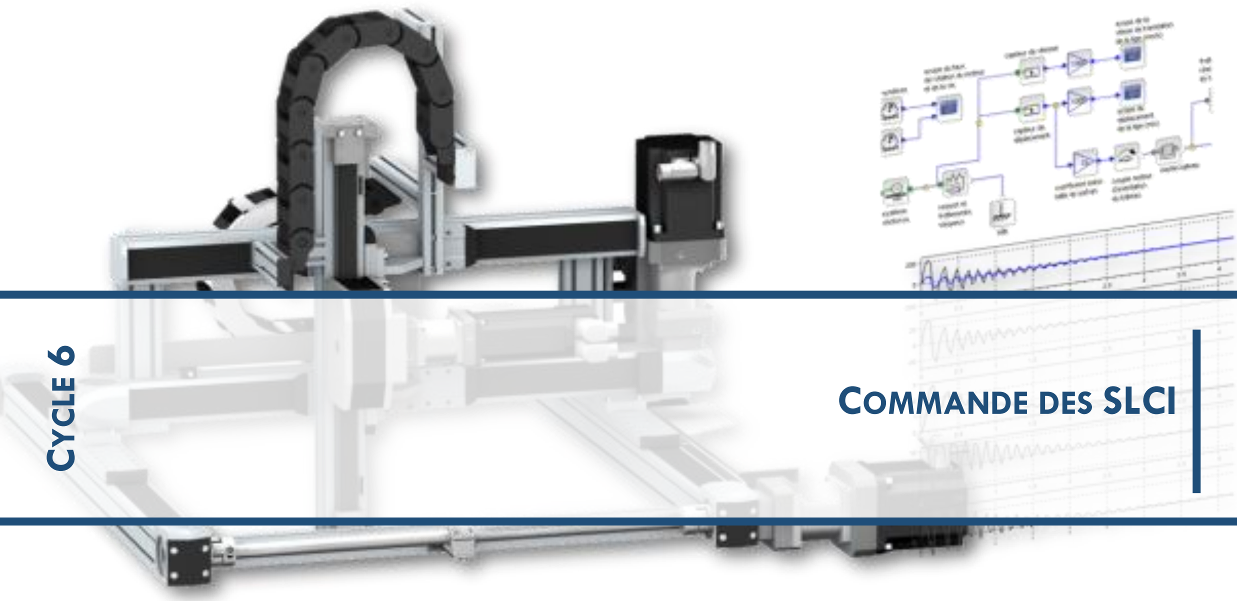


CYCLE 6

COMMANDE DES SLCI

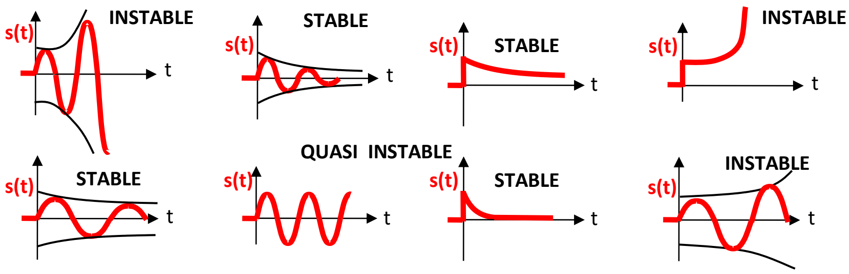
TD 1 - PSI

CHAPITRE 1

PERFORMANCES DES SLCI - STABILITE

CORRECTION

1 EXERCICE 1 : REPONSES DE SYSTEMES A L'IMPULSION DE DIRAC



2 EXERCICE 2 : STABILITE A PARTIR DES POLES DE LA FTBF

Un système asservi est stable si sa FTBF possède :

- des pôles réels tous négatifs,
- des pôles complexes ayant leur partie réelle négative.

Système 1 : -1 ; -2 → STABLE

Système 2 : -3, -2, 0 → MARGINALEMENT STABLE

Système 3 : -2+j, -2-j, 2j,-2j → MARGINALEMENT STABLE

Système 4 : -2+3j, -2-3j,-2 → STABLE

Système 5 : -j, j, -1, 1 → INSTABLE

Système 6 : -1, +1 → INSTABLE

Système 7 : -1+j, -1-j → STABLE

Système 8 : 2, -1, -3 → INSTABLE

Système 9 :-6, -4, 7 → INSTABLE

3 EXERCICE 3 : APPLICATION DU CRITERE DE ROUTH

Q.1. $H_1(p)=\dfrac{2}{p^4+3p^3-3p^2+6p+1}$ → $D_1(p)=p^4+3p^3-3p^2+6p+1$ → Il y a un $a_i<0$ → Système instable.

$H_2(p)=\dfrac{7}{p^4+3p^3+3p^2+6p+1}$ → $D_2(p)=p^4+3p^3+3p^2+6p+1$ → 1er examen ok.

Construction du tableau de Routh :

p^4		1	3	1
p^3		3	6	0
p^2		$\dfrac{3\times3-6\times1}{3}=1$	$\dfrac{1\times3-0\times1}{3}=1$	$\dfrac{0\times3-0\times1}{3}=0$
p^1		$\dfrac{6\times1-3\times1}{1}=3$	$\dfrac{0\times1-3\times0}{1}=0$	
p^0		$\dfrac{3\times1-0\times1}{3}=1$		

→ Tous les termes de la 1ère colonne > 0 → Système stable.

Q.2. Calcul de la FTBF :

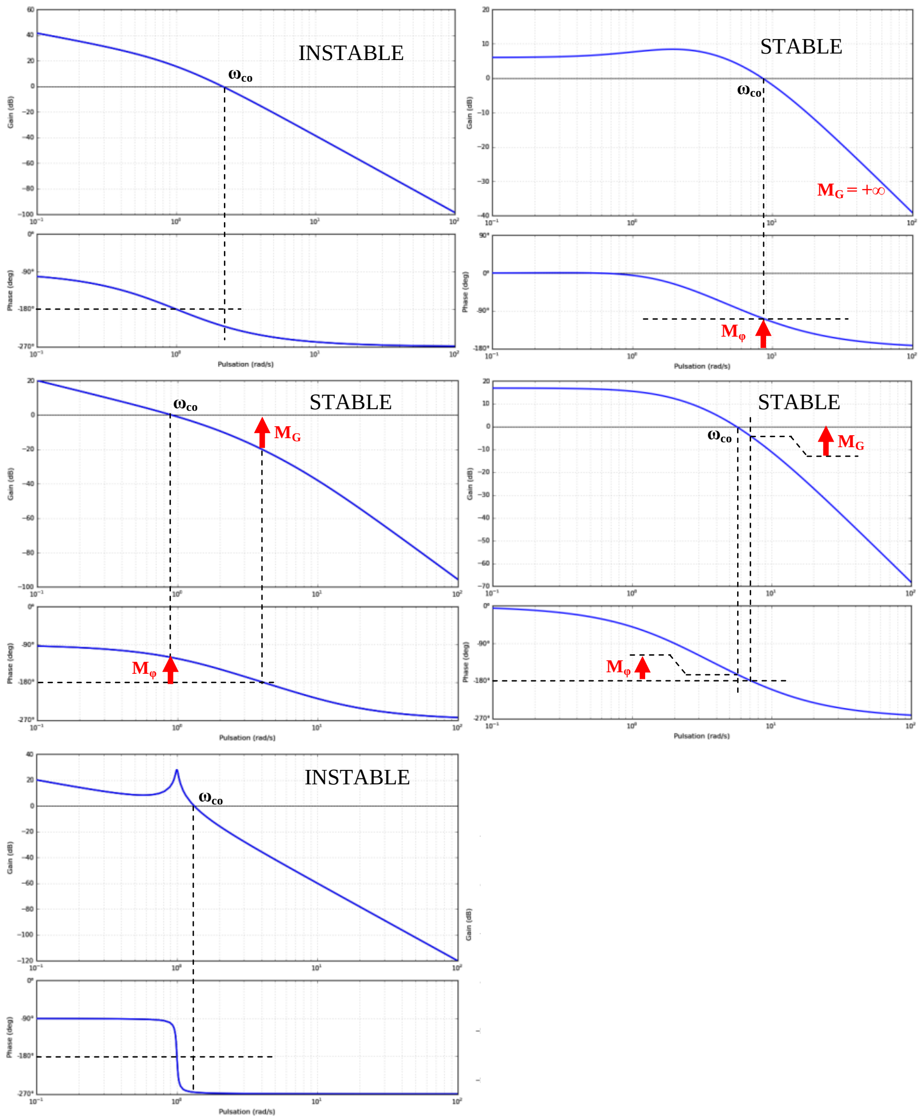
$$F(p)=\frac{\dfrac{K_i}{T_i\cdot p}\cdot\dfrac{2}{1+2p+20p^2}}{1+\dfrac{K_i}{T_i\cdot p}\cdot\dfrac{2}{1+2p+20p^2}}=\frac{2.K_i}{T_i\cdot p.(1+2p+20p^2)+2.K_i}=\frac{2.K_i}{2.K_i+T_i\cdot p+2.T_i\cdot p^2+20.T_i\cdot p^3}$$

$$D(p)=2.K_i+T_i\cdot p+2.T_i\cdot p^2+20.T_i\cdot p^3$$

p^3		$20.T_i$	T_i
p^2		$2.T_i$	$2.K_i$
p^1		$\dfrac{-20.T_i\times2.K_i+2.T_i\times T_i}{2.T_i}=-20.K_i+T_i$	0
p^0		$\dfrac{(-20.K_i+T_i)\times2.K_i-2.T_i\times0}{-20.K_i+T_i}=2.K_i$	...

Stable si $\boxed{T_i>0}$, $\boxed{K_i>0}$ et $20.K_i-T_i>0$ → $\boxed{K_i<\dfrac{T_i}{20}}$

4 EXERCICE 4 : APPLICATION DU CRITERE DU REVERS

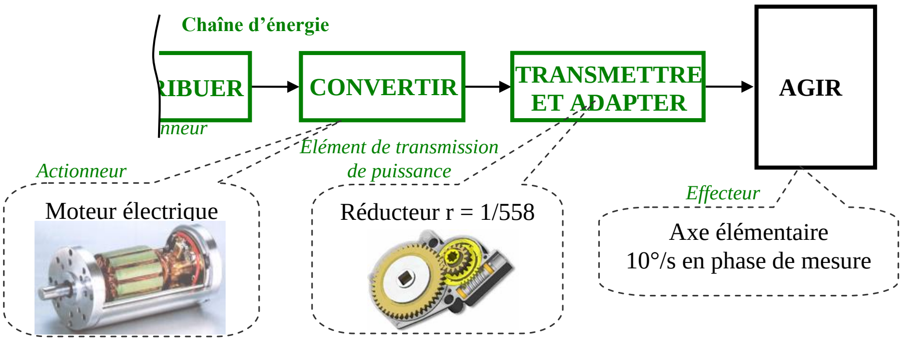


5 EXERCICE 5 : ETUDE DU SYSTEME DE POSITIONNEMENT D'UN APPAREIL D'IMAGERIE MEDICALE

Q.1. 3 mouvements de rotation ayant pour paramètres α, β et γ.

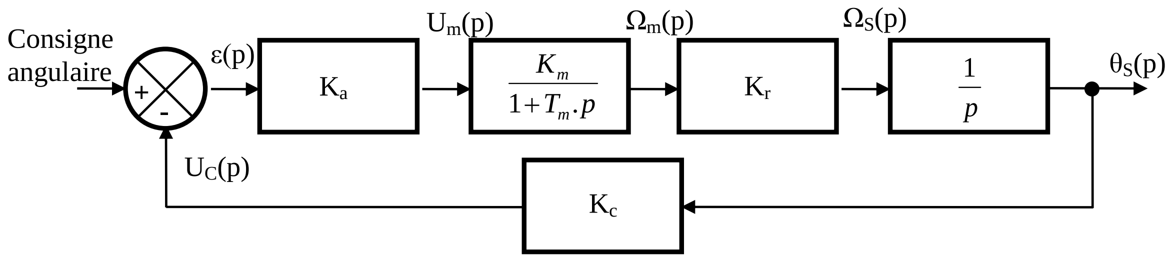
Q.2. Vitesse de rotation de l'effecteur : 10°/s → 600°/min.

Soit une vitesse de rotation en tour/min du moteur de $N = \dfrac{600 \times 558}{360} = 930$ tour/min.



Q.3. $\omega_S(t) = \dfrac{\omega_m(t)}{558}$ → $K_r = \dfrac{\omega_S(t)}{\omega_m(t)} = \dfrac{1}{558}$

Q.4. Schéma bloc du système :



Fonction de transfert en chaîne directe : FTCD(p) = $\dfrac{K_a.K_m.K_r}{p.(1+T_m.p)}$

Fonction de transfert en boucle ouvert : FTBO(p) = $\dfrac{K_a.K_m.K_r.K_c}{p.(1+T_m.p)}$

Fonction de transfert en boucle fermée : FTBF(p) = $\dfrac{1}{K_c}.\dfrac{\dfrac{K_a.K_m.K_r.K_c}{p.(1+T_m.p)}}{1+\dfrac{K_a.K_m.K_r.K_c}{p.(1+T_m.p)}}$

Q.5. FTBF(p) = $\dfrac{1}{K_c}.\dfrac{\dfrac{K_a.K_m.K_r.K_c}{p.(1+T_m.p)}}{1+\dfrac{K_a.K_m.K_r.K_c}{p.(1+T_m.p)}} = \dfrac{1}{K_c}.\dfrac{K_a.K_m.K_r.K_c}{p.(1+T_m.p)+K_a.K_m.K_r.K_c}$

FTBF(p) = $\dfrac{\dfrac{1}{K_c}}{1+\dfrac{1}{K_a.K_m.K_r.K_c}.p+\dfrac{T_m}{K_a.K_m.K_r.K_c}.p^2}$ = $\dfrac{K}{(1+\dfrac{2.z}{\omega_0}p+\dfrac{1}{\omega_0{}^2}p^2)}$

Avec :

$$K=\frac{1}{K_c}$$

$$\frac{1}{\omega_0{}^2}=\frac{T_m}{K_a.K_m.K_r.K_c} \rightarrow \omega_0=\sqrt{\frac{K_a.K_m.K_r.K_c}{T_m}}$$

$$\frac{2.z}{\omega_0}=\frac{1}{K_a.K_m.K_r.K_c} \rightarrow z=\frac{1}{2}.\sqrt{\frac{1}{K_a.K_m.K_r.K_c.T_m}}$$

Q.6. Réponse indicielle d'un système du 1er ordre à une entrée en échelon de tension.

$u_m(t) = U_0.u(t) = 10.u(t)$ → $\omega_m(t)=K_m.U_0.\left(1-e^{-\frac{t}{T_m}}\right).u(t)$ → ***voir cours réponse indicielle 1er ordre***

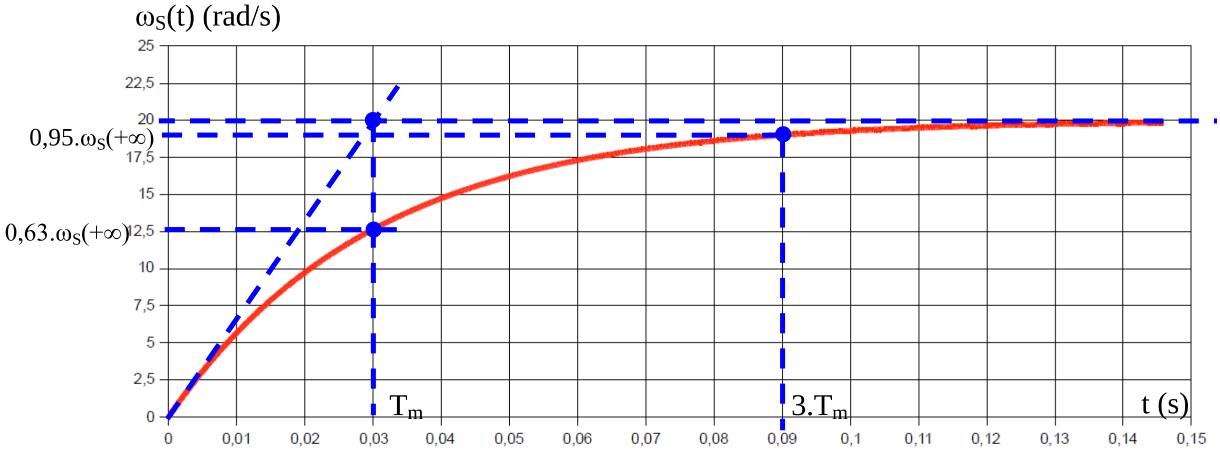
Q.7. Valeur asymptotique : $\omega_S(+\infty)=20$ rad/s → $K_m.K_r = 2$ → $K_m = 2/K_r = 1116$ rad.s^{-1}.V^{-1}

Temps de réponse à 5% : $t_{5\%} = 3.T_m$

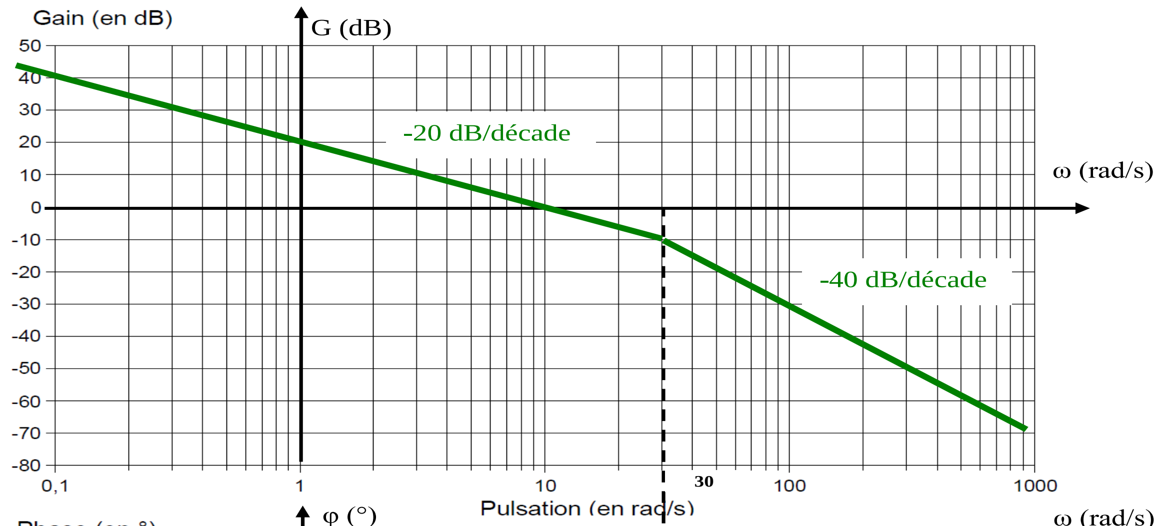
Temps de réponse à 0,63.s(+∞) : $t = T_m$

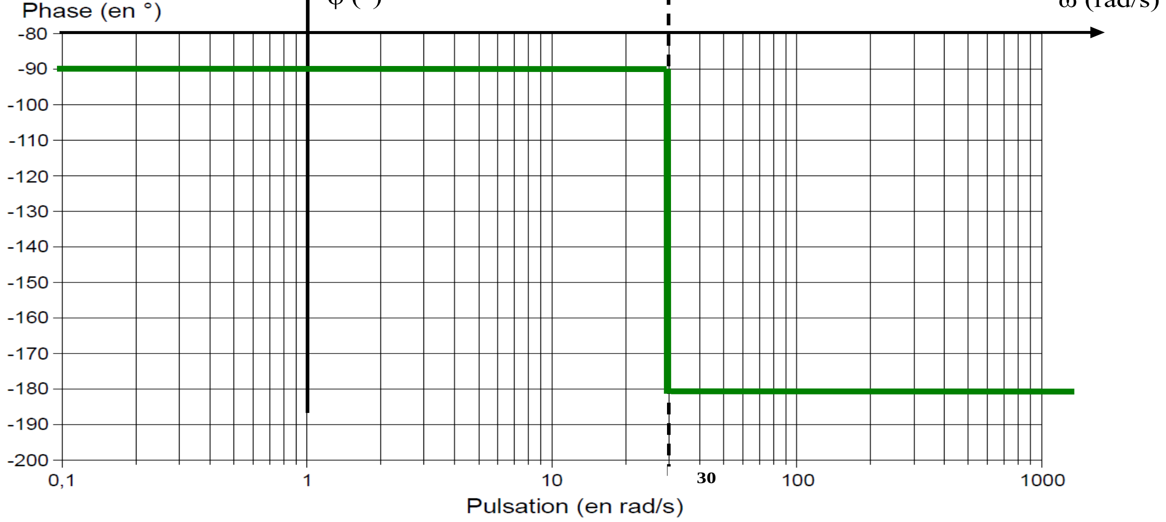
Pente à l'origine = $\dfrac{K}{\tau}$

→ Graphiquement on lit : T_m = 0,03s



Q.8. $FTBO(p)=\dfrac{10}{p.\left(1+\dfrac{1}{30}.p\right)}=\dfrac{10}{p}.\dfrac{1}{1+\dfrac{1}{30}.p}$ → Soit 1 intégrateur de constante K = 10 + un 1er ordre de constante de temps T= $\dfrac{1}{30}$ s (ω = 30 rad/s).





Q.9. Rappels de cours : Le module de FTBO(jω) est le produit des modules de chaque fonction de transfert élémentaire et l'argument, la somme des arguments de chaque fonction de transfert élémentaire :

Intégrateur :

H(p) = $\dfrac{K}{p}$ → soit : H(jω) = $\dfrac{K}{j\omega}$

Gain en dB :

G_{dB}= 20.log $\dfrac{K}{\omega}$ = 20.log (K) – 20.log(ω)

Phase en degrés : $\varphi(\omega) = -90°$

1er ordre :

$H(p) = \dfrac{1}{1+T.p}$ → soit : $H(j\omega) = \dfrac{1}{1+T.j\omega}$

Gain en dB :

$G_{dB} = 20\log|H(j\omega)| = 20\log 1 - 20\log\sqrt{1+T^2.\omega^2}$

Phase :

$\varphi = \arg(H(j\omega)) = -\arg(1+T.j\omega) = -\arctan(T.\omega)$

Soit :

G_{dB} = 20.log |FTBO(jω)| = 20.log | $\dfrac{K}{j\omega}$ | + 20.log |H(jω)|

φ° = $\arg(FTBO(j\omega)) = \arg\left(\dfrac{K}{j\omega}\right) + \arg(\dfrac{1}{1+T.j\omega}) = -90° - \arg(1+T.j\omega)$

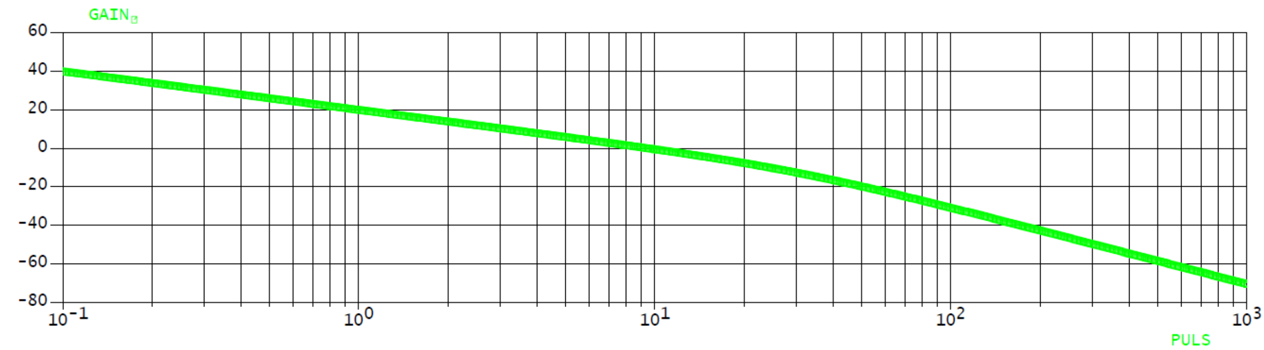
Pour ω = 30 rad/s on a alors :

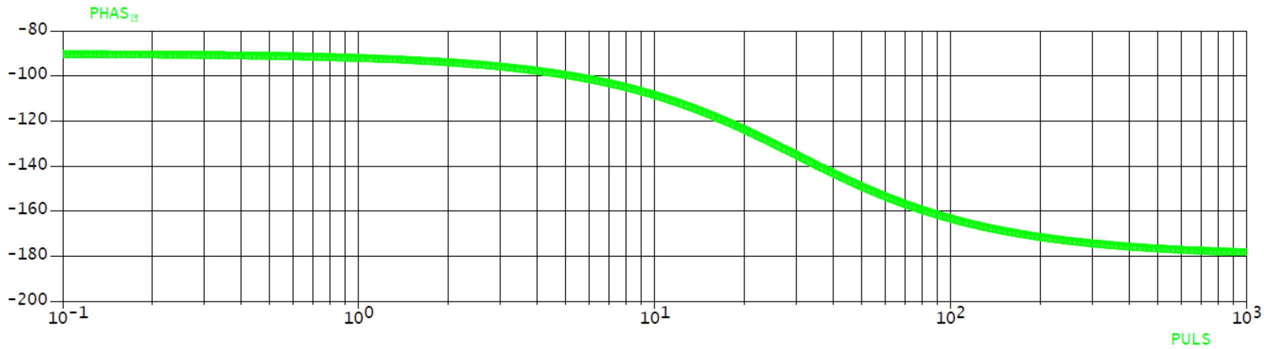
G_{dB} = 20.log FTBO(30.j)= 20.log (10)–20.log(30)+ $20\log 1 - 20\log\sqrt{1+\left(\dfrac{1}{30}\right)^2.30^2}$ = 20 – 29,5 + 0 – 3 $\boxed{G_{dB} = -12{,}5 \text{ dB}}$

φ° = $\arg(FTBO(30.j)) = -90° + \arg(\dfrac{1}{1+\dfrac{1}{30}.30\,j.}) = -90° - \arg(1+j) - 90° - \arctan(1) = -90° - 45°$

$\boxed{\varphi° = -135°}$

Courbes réelles sous Did'Acsyde :





Q.10. $\omega_{coupure}$ = 9,5 rad/s on a alors :

$$\varphi° = \arg(FTBO(9{,}5.j)) = -90° + \arg\left(\frac{1}{1+\frac{1}{30}.9{,}5\,j.}\right) = -90° - \arg(1+0{,}31.j) - 90° - \arctan(0{,}31)$$

$$\varphi° = -90° - 17° = -107°$$

→ $M\phi = 180° - 107° = 73° > 45°$ → C.d.C.F. ok.

6 Exercice 6 : Plate-forme d'exploration tout terrain : RobuROC

Q.1. La condition de RSG permet d'obtenir $V(t) = R.k.\Omega_{Mot}(t)$ → $\boxed{K_R = R.k}$ en m/rad.

A.N : $K_R = 225.10^{-3}/25 = 0{,}009$ → $\boxed{K_R = 0{,}009 \text{ m/rad}}$

K_G → $V_c(t)$ en m/s et $\Omega_{CMot}(t)$ en rad/s → K_G en rad.m^{-1} et $\boxed{K_G = \frac{1}{K_R}}$

A.N : $\boxed{K_G = 111 \text{ rad.m}^{-1}}$

$K_{Capt} = 5.10^{-3}$ V/(rad/s) (connu)

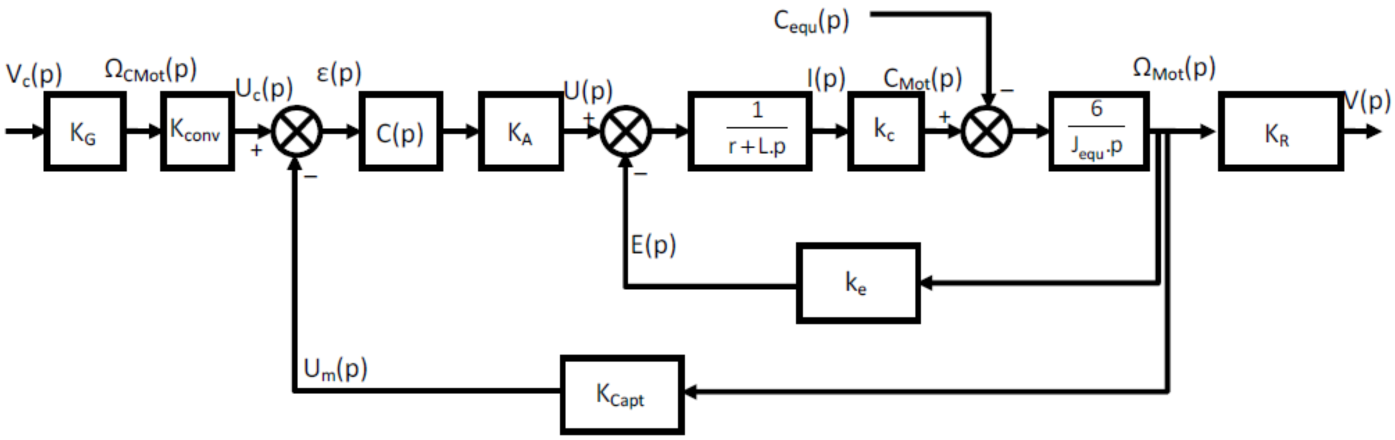
K_{conv} → $\Omega_{CMot}(t)$ en rad/s et $U_c(t)$ en V → K_{conv} en V.s.rad^{-1}

On a $\varepsilon(p) = U_c(p) - U_m(p) = V_c(p).K_G.K_{conv} - \Omega_{Mot}(p).\,K_{Capt} = V_c(p).K_G.K_{conv} - \frac{V(p)}{K_R}.\,K_{Capt}$

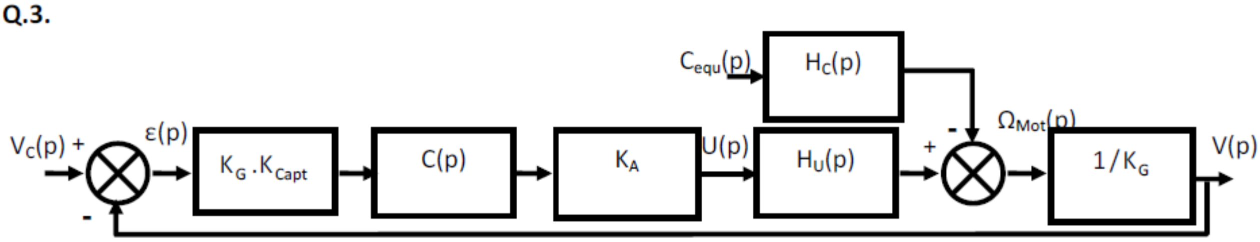
Si $V_c(p) = V_c(p)$ → $\varepsilon(p) = 0$ → $V_c(p).K_G.K_{conv} - \frac{V(p)}{K_R}.\,K_{Capt} = 0$ → $K_{conv} = \frac{1}{K_R.K_G}.\,K_{Capt}$

→ $\boxed{K_{conv} = K_{Capt}}$

Q.2.



Q.3.



Calcul de la FTBF en poursuite ($C_{equ}(p) = 0$) :

$$F(p) = \frac{K_{Capt}.C(p).K_A.H_U(p)}{1+K_{Capt}.C(p).K_A.H_U(p)} \quad \text{avec } C(p) = 1$$

$$F(p)=\frac{K_{Capt}.K_A.\dfrac{K_U}{(T_1p+1)(T_2p+1)}}{1+K_{Capt}.K_A.\dfrac{K_U}{(T_1p+1)(T_2p+1)}}=\frac{K_{Capt}.K_A.K_U}{(T_1p+1)(T_2p+1)+K_{Capt}.K_A.K_U}=\frac{K_{Capt}.K_A.K_U}{(T_1p+1)(T_2p+1)+K_{Capt}.K_A.K_U}$$

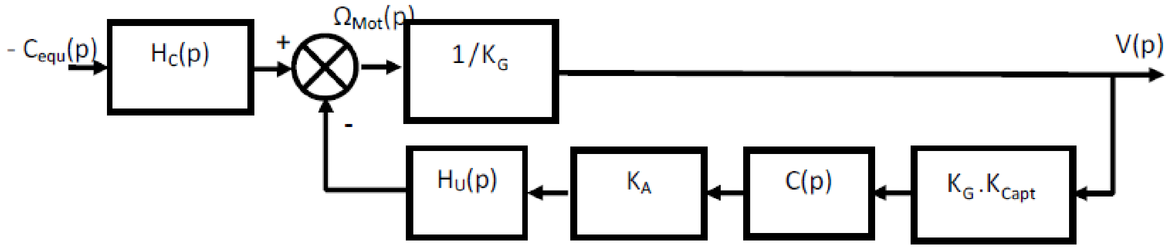
$$F(p)=\frac{K_{Capt}.K_A.K_U}{T_1.T_2p^2+(T_1+T_2).p+1+K_{Capt}.K_A.K_U}=\frac{\dfrac{K_{Capt}.K_A.K_U}{1+K_{Capt}.K_A.K_U}}{\dfrac{T_1.T_2}{1+K_{Capt}.K_A.K_U}p^2+\dfrac{(T_1+T_2)}{1+K_{Capt}.K_A.K_U}.p+1}$$

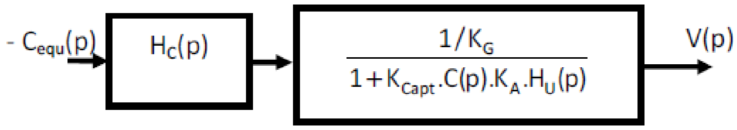
Soit une fonction de transfert d'un système du 2nd ordre → $\boxed{\text{le système est donc stable par définition}}$.

Q.4. Calcul de la FTBF du système multi variables :

La FTBF en poursuite a été calculée question 8 : F (p) = $\dfrac{K_{Capt}.C(p).K_A.H_U(p)}{1+K_{Capt}.C(p).K_A.H_U(p)}$ avec C(p) = 1

Calcul de la FTBF en régulation :





D'où V(p) = $\dfrac{K_{Capt}.C(p).K_A.H_U(p)}{1+K_{Capt}.C(p).K_A.H_U(p)}.V_c(p)-\dfrac{1/K_G.H_c(p)}{1+K_{Capt}.C(p).K_A.H_U(p)}.C_{equ}(p)$

L'écart ε(p) vaut alors : ε(p) = V_c(p) – V(p)

ε(p) = $V_c(p)-\dfrac{K_{Capt}.C(p).K_A.H_U(p)}{1+K_{Capt}.C(p).K_A.H_U(p)}.V_c(p)+\dfrac{1/K_G.H_c(p)}{1+K_{Capt}.C(p).K_A.H_U(p)}.C_{equ}(p)$

ε(p) = $\dfrac{1}{1+K_{Capt}.C(p).K_A.H_U(p)}.V_c(p)+\dfrac{1/K_G.H_c(p)}{1+K_{Capt}.C(p).K_A.H_U(p)}.C_{equ}(p)$

Calcul de l'erreur en poursuite : Vc(t) = V_{CO}.u(t) et C_{equ}(p) = 0

Par définition l'erreur statique est $\varepsilon_s=\lim\limits_{t\to\infty}(\varepsilon(t))=\lim\limits_{p\to 0}(p.\varepsilon(p))$

→ $\varepsilon_s=\lim\limits_{p\to 0}\left(p.\dfrac{1}{1+K_{Capt}.C(p).K_A.H_U(p)}.V_c(p)\right)$ Avec V_c(p) = $\dfrac{V_{CO}}{p}$ et $H_U(p)=\dfrac{K_U}{(T_1p+1)(T_2p+1)}$

$$\varepsilon_s=\lim_{p\to 0}\left(p.\frac{\dfrac{V_{CO}}{p}}{1+\dfrac{K_{Capt}.C(p).K_A.K_U}{(T_1p+1)(T_2p+1)}}\right)=\lim_{p\to 0}\left(\frac{V_{CO}}{1+\dfrac{K_{Capt}.C(p).K_A.K_U}{(T_1p+1)(T_2p+1)}}\right)=\frac{V_{CO}}{1+K_{Capt}.K_A.K_U}\neq 0$$

Calcul de l'erreur en régulation : Vc(t) = 0 et C_{equ}(p) = C_0.u(t)

Par définition l'erreur statique est $\varepsilon_s = \lim_{t\to\infty}(\varepsilon(t)) = \lim_{p\to 0}(p.\varepsilon(p))$

$\rightarrow$ $\varepsilon_s = \lim_{p\to 0}\left(p.\frac{1/K_G.H_c(p)}{1+K_{Capt}.C(p).K_A.H_U(p)}.C_{equ}(p)\right)$ Avec $C_{equ}(p) = \frac{C_0}{p}$; $H_U(p) = \frac{K_U}{(T_1p+1)(T_2p+1)}$ et

$H_c(p) = \frac{K_C(1+\frac{L}{r}p)}{(T_1p+1)(T_2p+1)}$

$$\varepsilon_s = \lim_{p\to 0}\left(p.\frac{C_0}{p}.\frac{1/K_G.H_c(p)}{1+K_{Capt}.C(p).K_A.H_U(p)}\right) = \lim_{p\to 0}\left(\frac{1/K_G.\frac{K_C(1+\frac{L}{r}p)}{(T_1p+1)(T_2p+1)}.C_0}{1+\frac{K_{Capt}.C(p).K_A.K_U}{(T_1p+1)(T_2p+1)}}\right) = \frac{\frac{K_C}{K_G}.C_0}{1+K_{Capt}..K_A.K_U} \neq 0$$

Le cahier des charges n'est pas respecté car les erreurs en poursuite ($\varepsilon_s = \frac{V_{CO}}{1+K_{Capt}.K_A.K_U}$) et en régulation ($\varepsilon_s = \frac{K_C.C_0}{K_G.(1+K_{Capt}..K_A.K_U)}$) ne sont pas nulles.

Etude des performances avec un correcteur de fonction de transfert : $C(p) = K_i/p$

Q.5.

En reprenant les résultats de la question précédente on obtient :

Pour l'erreur en poursuite : $Vc(t) = V_{CO}.u(t)$ et $C_{equ}(p) = 0$

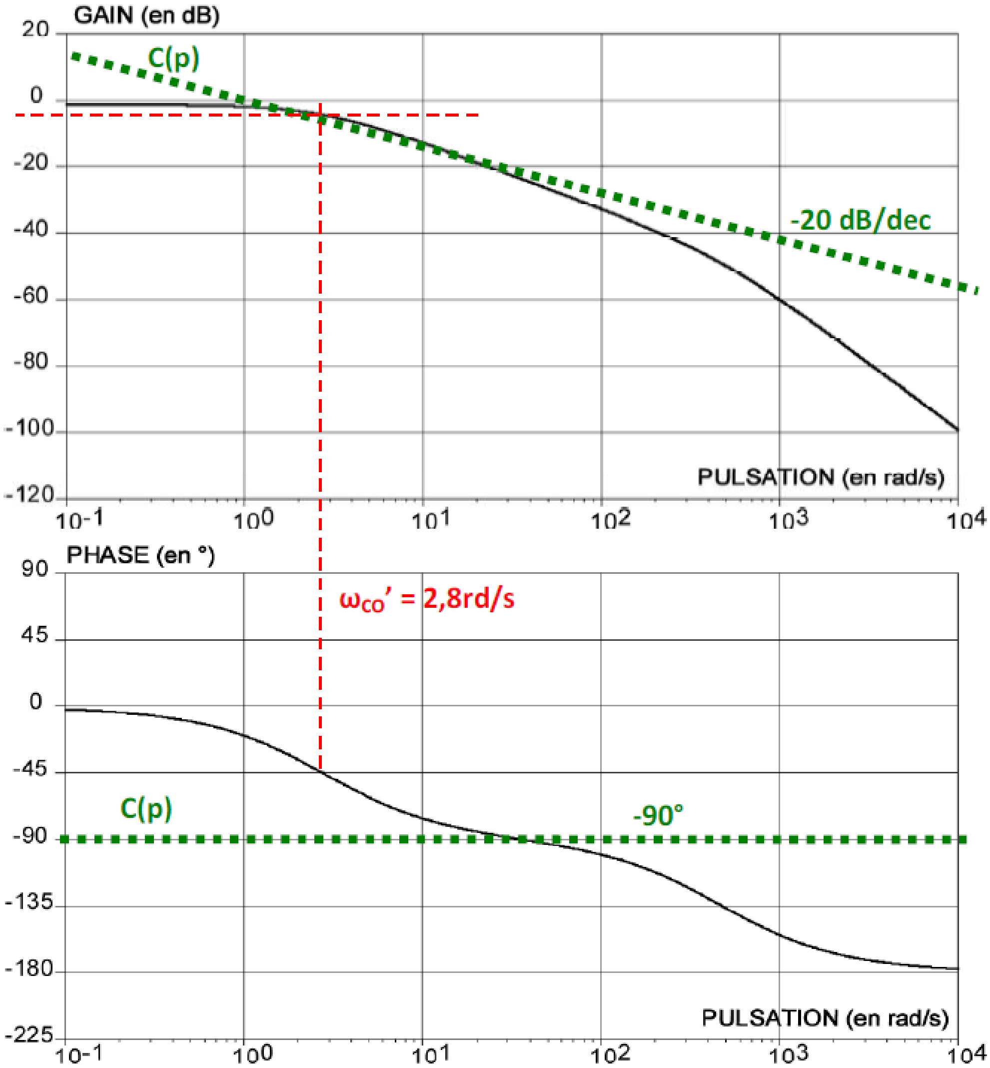
$$\varepsilon_s = \lim_{p\to 0}\left(p.\frac{\frac{V_{CO}}{p}}{1+\frac{K_{Capt}.C(p).K_A.K_U}{(T_1p+1)(T_2p+1)}}\right) = \lim_{p\to 0}\left(\frac{V_{CO}}{1+\frac{1}{p}.\frac{K_{Capt}.K_A.K_U}{(T_1p+1)(T_2p+1)}}\right) = 0$$

Calcul de l'erreur en régulation : $Vc(t) = 0$ et $C_{equ}(p) = C_0.u(t)$

$$\varepsilon_s = \lim_{p\to 0}\left(p.\frac{C_0}{p}.\frac{1/K_G.H_c(p)}{1+K_{Capt}.C(p).K_A.H_U(p)}\right) = \lim_{p\to 0}\left(\frac{1/K_G.\frac{K_C(1+\frac{L}{r}p)}{(T_1p+1)(T_2p+1)}.C_0}{1+\frac{1}{p}.\frac{K_{Capt}.K_A.K_U}{(T_1p+1)(T_2p+1)}}\right) = 0$$

Le cahier des charges est respecté car les erreurs en poursuite et en régulation sont désormais nulles (normal il y a un ajout d'un intégrateur en amont de la perturbation).

Q.6.



Q.7.

Graphiquement on a $\omega_{CO}' \approx 2{,}8$ rad/s

Q.8.

Graphiquement on lit un gain à -5dB pour la FTBO non corrigée.

Pour C(p) avec $K_I = 1$, on a $GdB = 20.\log K_I - 20.\log 2{,}8 \approx -9$ dB

Soit un gain de -14 dB pour la FTBO corrigée avec $K_I = 1\ s^{-1}$.

Q.9.

Il faut un gain K_{Imax} tel que $20.\log K_{Imax} = 14 \rightarrow K_{Imax} = 10^{\frac{14}{20}} \approx 5$

$K_{Imax} = 5$ a été déterminé afin d'obtenir une marge de phase de 45°. Il faut cependant vérifier la marge de gain que l'on obtient avec ce correcteur. On a $FTBO(p) = K_{Capt}.C(p).K_A.H_U(p)$

$$\arg(FTBO(j\omega_{\varphi180})) = \arg\left(\frac{K_{Capt}.K_{Imax}.K_A.K_U}{j\omega_{\varphi180}}\right) + \arg\left(\frac{1}{1+T_1.j\omega_{\varphi180}}\right) + \arg\left(\frac{1}{1+T_2.j\omega_{\varphi180}}\right) = -180^\circ$$

$$\rightarrow \arg(FTBO(j\omega_{\varphi180})) = -90^\circ - \arctan(T_1.\omega_{\varphi180}) - \arctan(T_2.\omega_{\varphi180}) = -180^\circ \rightarrow \omega_{\varphi180} \approx 40 \text{ rad/s}$$

Calcul du gain pour $\omega_{\varphi180}$:

$20.\log|FTBO(j\omega_{\phi180})|$ = gain FTBO non corrigé avec $T_2 >> T_1$ + gain correcteur

$20.\log|FTBO(j\omega_{\phi180})| = 20.\log|0{,}83| - 20.\log\left|\sqrt{1+0{,}36^2.40^2}\right| + 20.\log|5| - 20.\log|40| = -1{,}6 - 23 + 14 - 32 = -42{,}6$ dB

Marge de gain = 42,6 dB >> marge de gain du cahier des charges.

Q.10.

$$H_U(p) = \frac{K_U}{(T_1p+1)(T_2p+1)} \text{ avec } T_1 = 2{,}1 \text{ ms} \ll T_2 = 0{,}36 \text{ s} \rightarrow H_U(p) \approx \frac{K_U}{1+T_2p}$$

Calcul de la FTBF du système :

$$F(p) = \frac{K_{Capt}.C(p).K_A.H_U(p)}{1+K_{Capt}.C(p).K_A.H_U(p)} \text{ avec } C(p) = \frac{K_{I5\%}}{p} \text{ et } H_U(p) \approx \frac{K_U}{1+T_2p}$$

$$F(p) = \frac{K_{Capt}.\frac{K_{I5\%}}{p}.K_A.\frac{K_U}{(T_2p+1)}}{1+K_{Capt}.\frac{K_{I5\%}}{p}.K_A.\frac{K_U}{(T_2p+1)}} = \frac{K_{Capt}.K_{I5\%}.K_A.K_U}{T_2p^2+p+K_{Capt}.K_{I5\%}.K_A.K_U}$$

$$\boxed{F(p) = \frac{1}{\frac{T_2}{K_{Capt}.K_{I5\%}.K_A.K_U}p^2 + \frac{1}{K_{Capt}.K_{I5\%}.K_A.K_U}.p+1}}$$

Système du 2^{nd} ordre avec :

$$\frac{1}{\omega_0^2} = \frac{T_2}{K_{Capt}.K_{I5\%}.K_A.K_U} \rightarrow \boxed{\omega_0 = \sqrt{\frac{K_{Capt}.K_{I5\%}.K_A.K_U}{T_2}}}$$

$$\frac{2.z}{\omega_0} = \frac{1}{K_{Capt}.K_{I5\%}.K_A.K_U} \rightarrow \boxed{z = \frac{1}{2}.\sqrt{\frac{1}{T_2.K_{Capt}.K_{I5\%}.K_A.K_U}}}$$

On cherche à minimiser le temps de réponse à 5% → $\boxed{z = 0{,}7}$

$$4.z^2 = \frac{1}{T_2.K_{Capt}.K_{I5\%}.K_A.K_U} \rightarrow K_{I5\%} = \frac{1}{T_2.K_{Capt}.4.z^2.K_A.K_U}$$

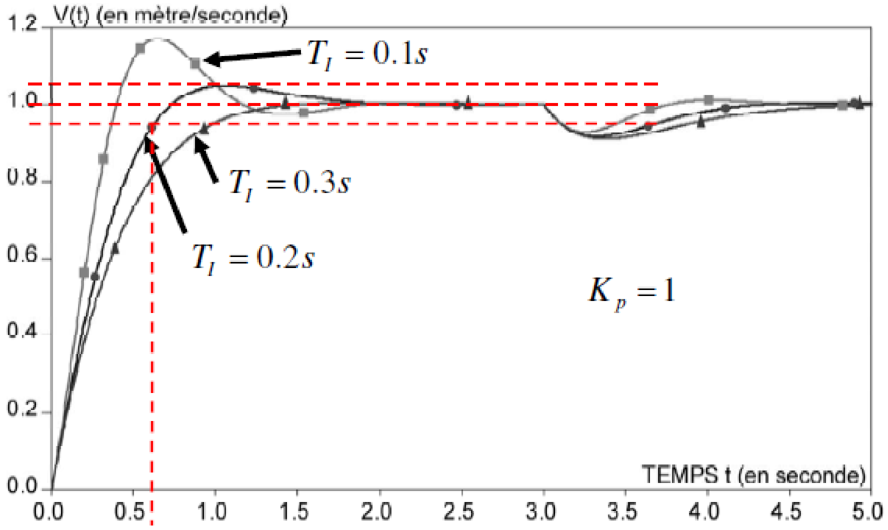
$$\text{A.N. : } K_{I5\%} = \frac{1}{0{,}36\times0{,}005\times4\times0{,}7^2\times20\times8{,}3} = 1{,}7$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{K_{Capt}.K_{I5\%}.K_A.K_U}{T_2}} = \sqrt{\frac{0{,}005\times1{,}7\times20\times8{,}3}{0{,}36}} = 1{,}97 \text{ rad/s}$$

$T_{5\%mini}.\omega_0 = 3 \rightarrow T_{5\%mini} = \dfrac{3}{\omega_0} = \dfrac{3}{1{,}97} = 1{,}52$ s > 0,5 s du cahier des charges.

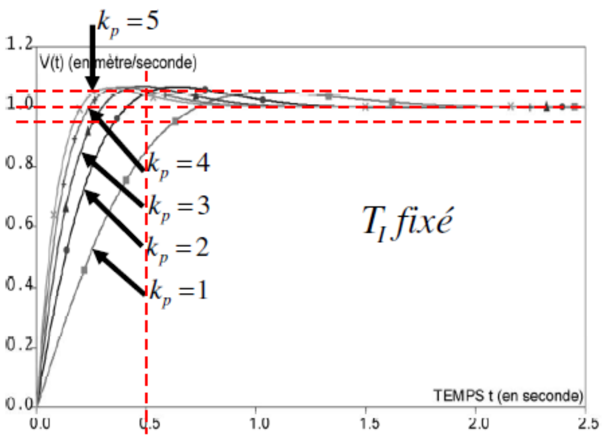
Etude des performances avec un correcteur proportionnel intégral : $C(p) = K_p\left(1+\dfrac{1}{T_I p}\right)$

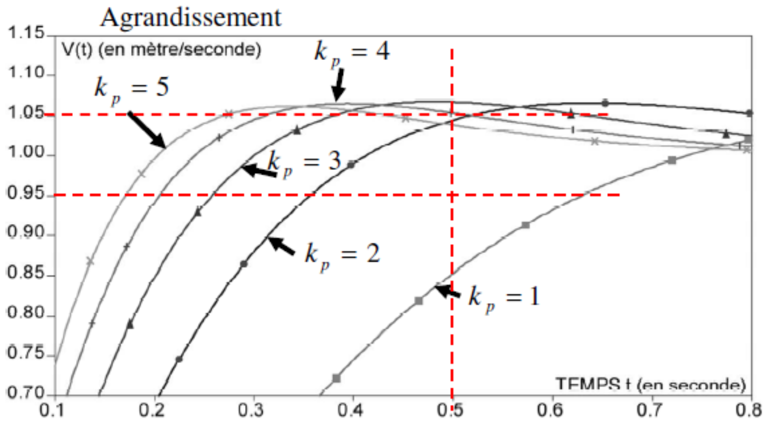
Q.11.



Parmi les différentes valeurs de T_I, T_I = 0,2 s assure le temps de réponse à 5% le plus faible.

Q.12.





k_P = 4 assure un temps de réponse à 5% au plus près de la valeur fournie dans le cahier des charges

Q.13.

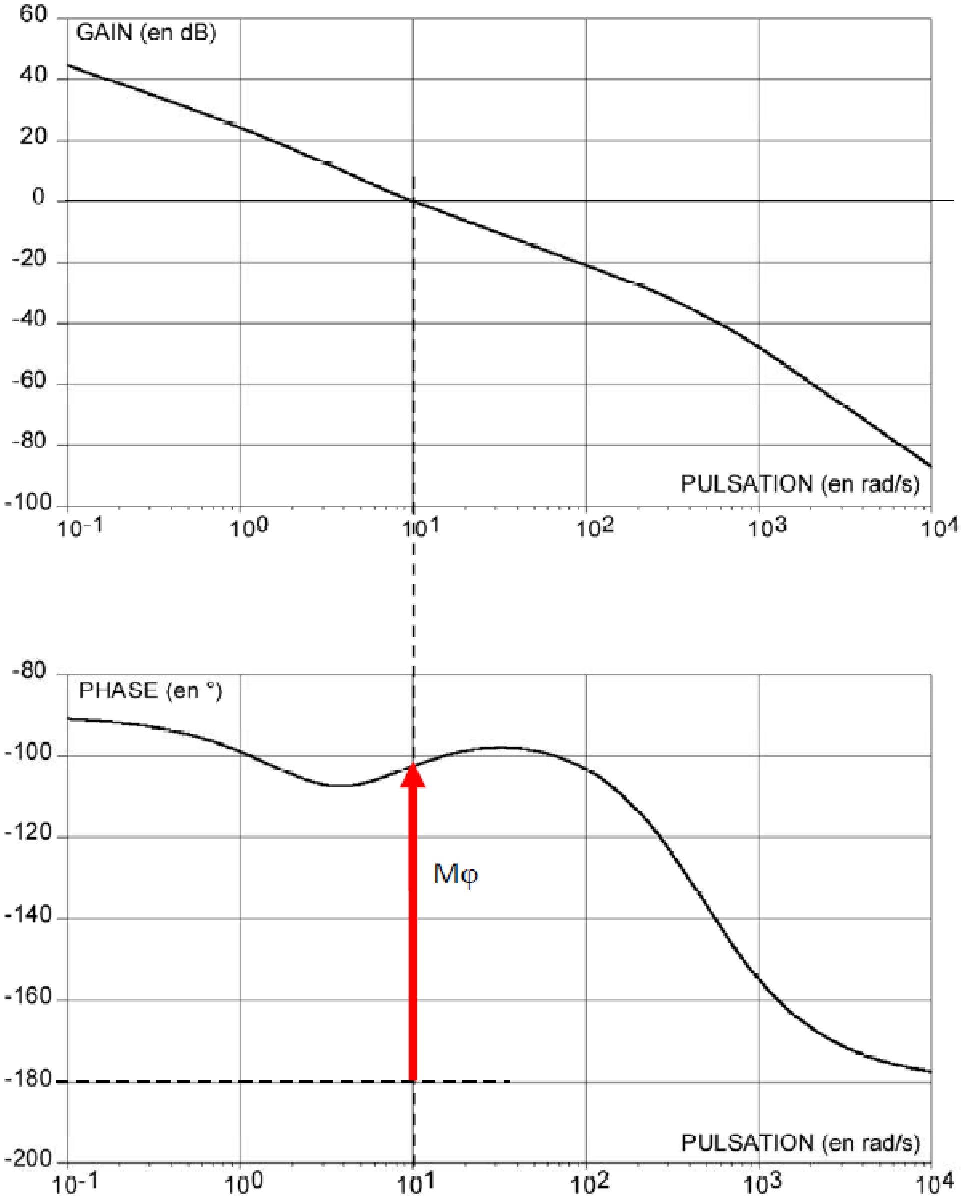
$C(p) = 4.\left(1+\dfrac{1}{0{,}2.p}\right)$ est le correcteur réglé dans les questions précédentes pour, en accord avec le cahier des charges :

- annuler les erreurs statiques en poursuite comme en régulation (effet intégrateur du correcteur)
- ajuster le temps de réponse à 5 pourcents à 0,5 secondes

De plus, on observe sur le diagramme de Bode du système corrigé que :

- le déphasage étant toujours supérieur à -180 degrés, la marge de gain est infinie ; elle est donc supérieure aux 6 dB attendus
- la pulsation de coupure à 0 dB est de 10 rad/s ; à cette valeur, le déphasage est de -105 degrés. La marge de phase est donc de 75 degrés, valeur supérieure aux 45 degrés exigés.

En conséquence, le correcteur $C(p) = 4.\left(1+\dfrac{1}{0{,}2.p}\right)$ permet de concilier le système à toutes les contraintes du cahier des charges.


GAIN (en dB)
60
40
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
PULSATION (en rad/s)
10^{-1}
10^{0}
10^{1}
10^{2}
10^{3}
10^{4}
PHASE (en °)
-80
-100
-120
-140
-160
-180
-200
Mφ
PULSATION (en rad/s)
10^{-1}
10^{0}
10^{1}
10^{2}
10^{3}
10^{4}