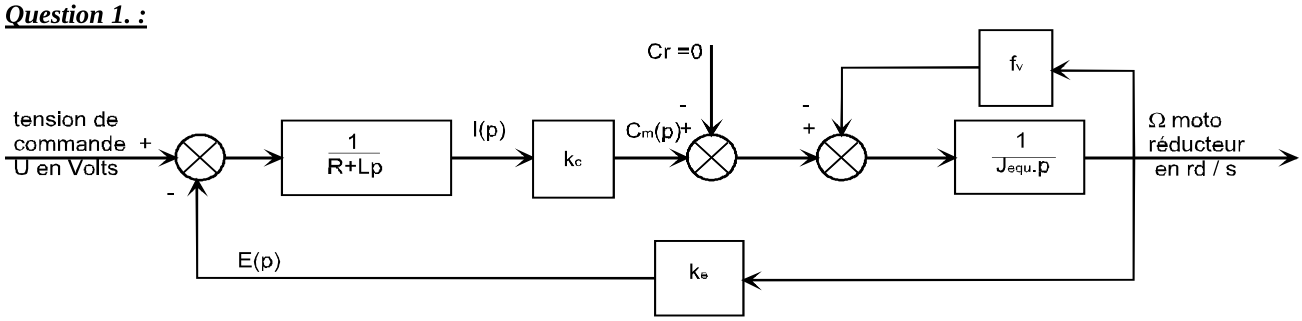
"ROBOT POUR LA CHIRURGIE ENDOSCOPIQUE"

4-2-3 Evaluation de la fonction de transfert du moto-réducteur

Question 1. :



Question 2. :

$$M(p)=\frac{\Omega_{moto-red}(p)}{U(p)}=\frac{\frac{k_c}{(R+Lp)(J_{equ}p+f_v)}}{1+\frac{k_c\cdot k_e}{(R+Lp)(J_{equ}p+f_v)}}=\frac{k_c}{(R+Lp)(J_{equ}p+f_v)+k_c\cdot k_e}=\frac{k_c}{LJ_{equ}p^2+(RJ_{equ}+f_vL)p+Rf_v+k_c\cdot k_e}$$

$$M(p)=\frac{\frac{k_c}{Rf_v+k_c\cdot k_e}}{\frac{LJ_{equ}}{Rf_v+k_c\cdot k_e}p^2+\frac{(RJ_{equ}+f_vL)}{Rf_v+k_c\cdot k_e}p+1}$$

Question 3. : M(p) est du second ordre. Or, la courbe de réponse ne présente pas de tangente horizontale à l'origine (sauf si on fait un zoom), ce qui est caractéristique d'un système du premier ordre.Le temps de réponse à 5% qui vaut 3 fois la constante de temps est une autre justification possible.D'autre part, Lω est très faible devant R, ce qui permet, en négligeant sa valeur, de dire que M(p) est du premier ordre.

Question 4. :Justification analytique de la réponse précédente à partir de l'expression de $M_1(p)$:Le dénominateur de $M_1(p)$ s'écrit : $(1+14{,}28.10^{-3}p).(1+0{,}22.10^{-3}p)$ Le dénominateur de $M_1(p)$ s'écrit : $3{,}14.10^{-6}(p+70)(p+4545)$la valeur du pôle dominant est : -70, l'autre pôle (- 4545) est très loin de l'origine du plan complexe, et n'a aucune influence sur le comportement du système.

Question 5. : Expression littérale de la fonction de transfert du moto-réducteur :

$$M_2(p)=\frac{\frac{k_c}{Rf_v+k_c\cdot k_e}}{1+\frac{RJ_{equ}}{Rf_v+k_c\cdot k_e}p} \qquad Gs=\frac{k_c}{Rf_v+k_c\cdot k_e}=\frac{2{,}1}{10x0{,}04+2{,}1x2{,}1}=0{,}4366\,rd/V$$

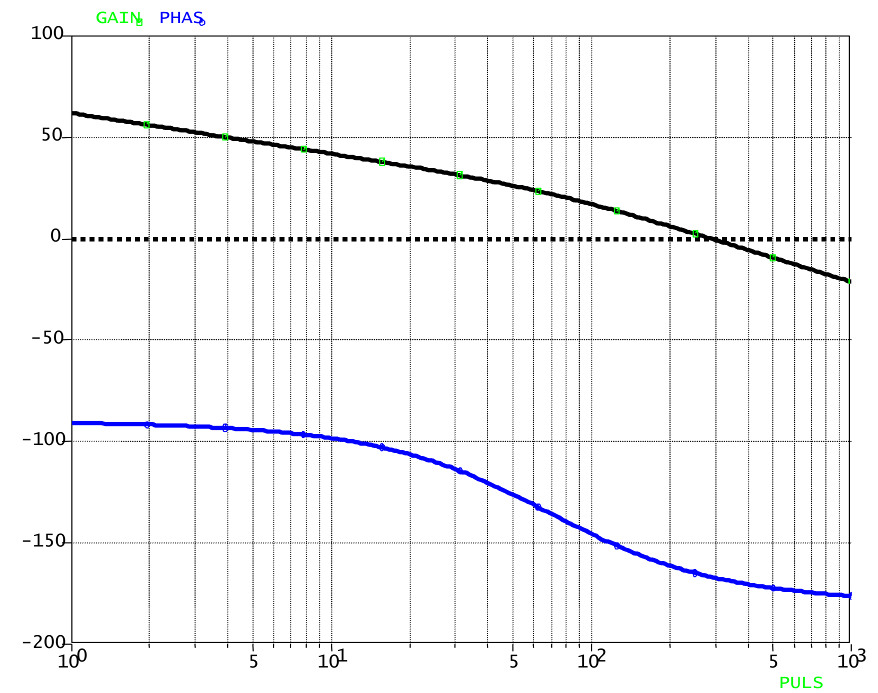
$$T=\frac{RJ_{equ}}{Rf_v+k_c\cdot k_e}=\frac{10.7.10^{-3}}{10.0{,}04+2{,}1.2{,}1}=1{,}455.10^{-2}s$$

Question 6. : Valeurs de Gs et T : à partir de la courbe de tension image de $\omega_{réd}(t)$:
On mesure T = 2.10^{-2} s et Gs = 1,75.6/24 = 0,437 rd/V.

Question 7. : Fonction de transfert du bloc : B(p) = 1 / p ;
Valeur du coefficient du bloc C = 360 . 50 / 2π = 2865 inc. / rd.
Expression numérique de la fonction de transfert en boucle ouverte

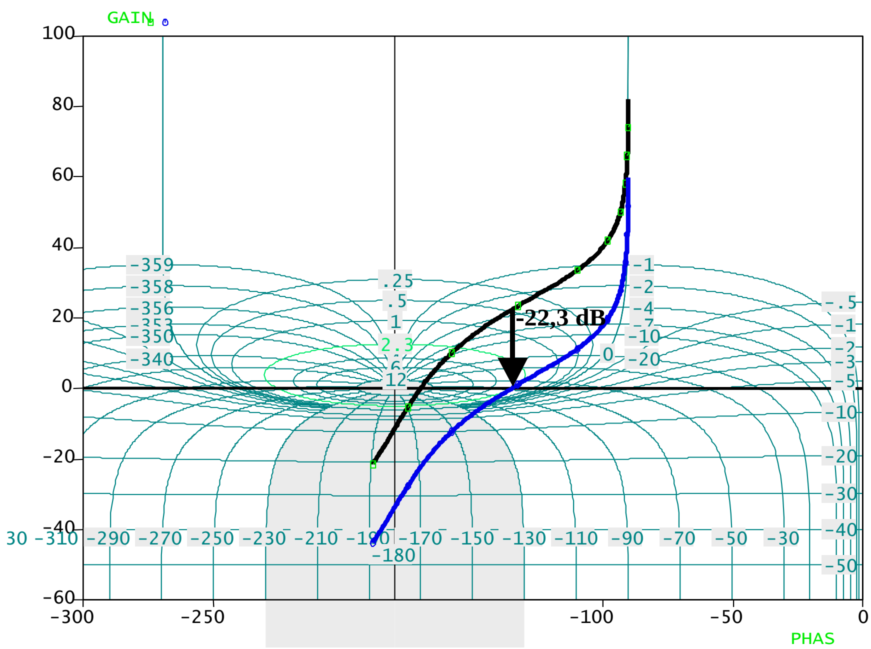
$$H_0(p)=k\cdot\frac{0{,}436}{1+1{,}455.10^{-2}p}\cdot\frac{1}{p}\cdot 2865=k\cdot\frac{1250}{(1+1{,}455.10^{-2}p)\cdot p}\ .$$

Question 8. :
Diagrammes de Bode du système en boucle ouverte pour k = 1.



Stabilité en boucle fermée pour cette valeur de k :
On relève une amplitude de 0 dB pour ω = 300 rd / s.
La phase est de –167° donc la marge de phase est Mφ = 13 °. Le système est stable, mais cette stabilité est insuffisante car cette marge est inférieure à 45°.

Question 9. :
Influence de la prise en compte de L sur la stabilité en boucle fermée :



Lorsque L n'est pas négligée, la marge de phase reste de 13°, la diminution de phase provoquée par la présence de L se manifeste dans les pulsations beaucoup plus hautes que 300 rd/s.
L'hypothèse consistant à négliger L est vérifiée .
Valeur k_{45} de k qui permet d'obtenir la marge de phase de 45 ° :
La marge de phase de 45° est obtenue pour ω = 68,6 rd / s, l'amplitude est alors de 22,3 dB au lieu de 0 db.
La valeur de k_{45} est donc de $10^{-22,3/20} = 0,0767$.

Question 10. : Ecart statique pour une consigne en échelon : cet écart est nul car il y a une intégration dans la boucle d'asservissement.

Question 11. : Ecart statique pour un échelon de perturbation : il n'y a pas d'intégration en amont de la perturbation donc :

$$\varepsilon_{pert} = \frac{0{,}436.R/k_c.Cr}{k_{amont}} = \frac{0{,}436.10/2{,}1.0{,}2}{0{,}436.0{,}077} = 12\ inc.$$

Ecart de position sur l'instrument : ε_{instr} = 12/150=0,08 mm.
Il y a conformité avec le cahier des charges car $\varepsilon_{instr} < 0{,}2$ mm.
Pour annuler cet écart, il faut placer une intégration dans le bloc K mais cela n'est pas nécessaire ici.

Question 12. : Valeur du coefficient du bloc $H_2 = \Phi_1 / 2 = 19{,}2 \,.\, 10^{-3}$ m / rd .
Question 13. : Le produit des gains des blocs C1.H1.H2 doit être égal à 1 pour avoir les mêmes échelles de variation des déplacements de la main et de la crémaillère. P = 149220.
0,00035. 19,2 . 10^{-3}=1. Cette condition est vérifiée ici.Valeur du coefficient $c_1 = 2865 / (19{,}2 \,.\, 10^{-3}) = 149220$ inc. / m.
Question 14. : Valeur du nouveau coefficient $c_2 = c_1 / 10 = 14922$ inc. / m. Le nouveau produit des gains est P1 = 0,1.
Question 15. : Fonction de transfert $H_3(p)$:
Le premier dépassement relatif est D = 11 / 20 = 0,55 donc $\xi = 0{,}2$.
Le temps de réponse à 5 % est de 0,55 s et pour $\xi = 0{,}2$ on lit : $tr_{5\%} \,.\, \omega_0 = 15$ donc $\omega_0 = 27$ rd / s.
Le gain statique est $Gs_1 = 1$.

La fonction de transfert est : $H_3(p)=\dfrac{D_{instrum}(p)}{D_{crém}(p)}=\dfrac{1}{1+\dfrac{2\cdot 0{,}2}{27}p+\dfrac{1}{(27)^2}p^2}=\dfrac{1}{1+0{,}015p+0{,}0014p^2}$

Question 16. : Bande passante à –3 dB : pour un système du second ordre, la pulsation de coupure à –3 dB se situe au voisinage de $\omega = \omega_0 = 27$ rd/s soit f = 27/6,28 = 4,3 Hz.
Le critère de la bande passante de 4 Hz est respecté.

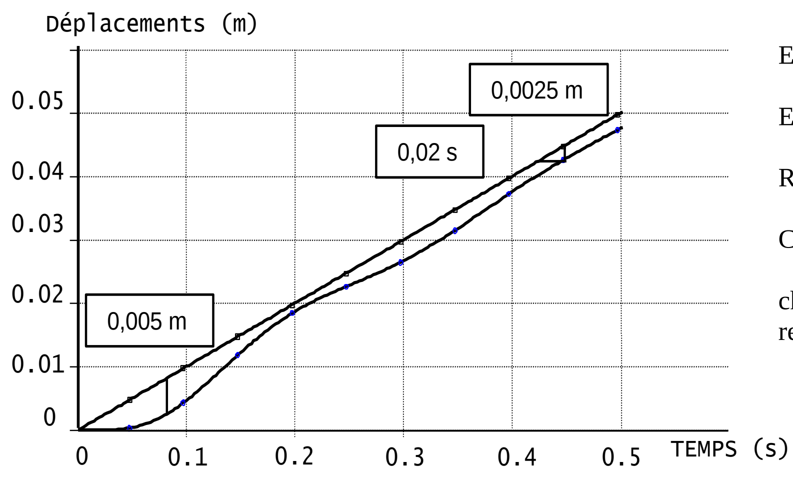
Question 17. : On isole S_1, il est soumis à l'action de la pesanteur et à celle du ressort.
Equation d'équilibre : le PFS en projection sur z donne : $-m_1.g - k_0.a_0 = 0$.

Question 18. : Le PFD en projection sur z donne : $-m_1.g - k_0.(a_0 + z) - f_0.dz/dt = m_1.d^2z/dt^2$
soit, d'après la condition d'équilibre, $m_1.d^2z/dt^2 + f_0.dz/dt + k_0.z = 0$

et sous forme canonique : $\dfrac{m_1}{k_0}.\dfrac{d^2z}{dt^2}+\dfrac{f_0}{k_0}.\dfrac{dz}{dt}+z=0$

Pulsation propre : $\omega_{03}=\sqrt{\dfrac{k_0}{m_1}}$; Coeff d'amortissement : $\zeta_3=\dfrac{1}{2}.\dfrac{f_0}{k_0}.\omega_0=\dfrac{1}{2}.f_0.\sqrt{\dfrac{1}{k_0.m_1}}$

Question 19. : Valeur minimale de la raideur du ressort : $f_3=\dfrac{1}{2.\pi}.\sqrt{\dfrac{k_0}{m_1}}$ donc $k_0=4.\pi^2.m_1.f_3^2=4.9{,}87.1{,}6.16=1010\,N/m$.
Question 20. : Déplacement de l'instrument par rapport à la main.



Ecart dynamique maximal : 0,005 m

Ecart de traînage : 0,0025 m

Retard de traînage : 0,02 s

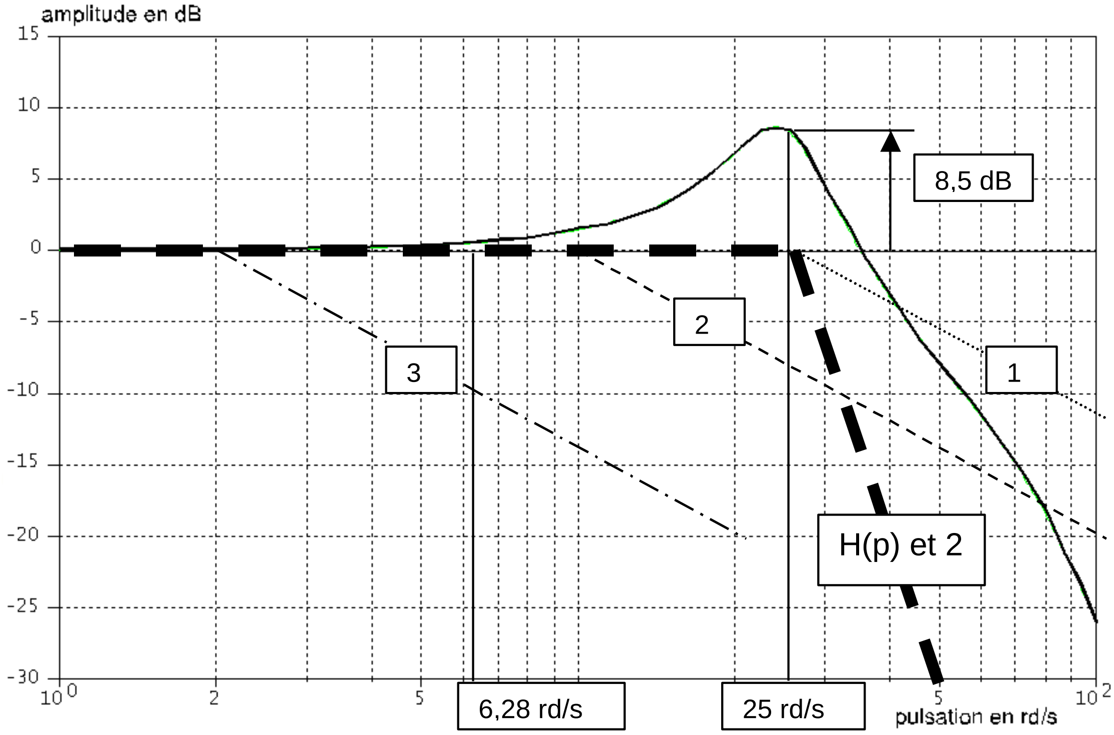
Conformité par rapport au cahier des charges ? Respect du CDCF quant au retard de traînage

Question 21. :
Amplitude du mouvement de l'instrument : Le gain mesuré pour une période de 0,25 s soit une pulsation de 25,12 rd / s est de 8,5 dB soit $10^{8{,}5/20} = 2{,}66$. L'amplitude est plus que doublée, le patient risque de ne pas apprécier mais heureusement, il dort pendant l'opération.

Question 22. :

Tracé des diagrammes asymptotiques d'amplitude des filtres :

N° 1 ⇒ T1 N° 2 ⇒ T2 N° 3 ⇒ T3



Choix du filtre :

Le N° 1 coupe à 1 / 0,04 = 25 rd / s donc ne supprime pas le pic à 8,5 dB : il ne convient pas ;

Le N° 3 coupe à 1 / 0,5 = 2 rd / s donc en dessous de 6,28 rd / s (1 Hz) : il ne convient pas ;

Le N° 2 coupe à 1 / 0,1 = 10 rd / s et élimine à peu près correctement le pic à 8,5 db.

Voici la courbe de gain réelle après filtrage :