

Proposition de corrigé

Concours : Concours Centrale-Supélec

Année : 2011

Filière : TSI

Épreuve : Sciences Industrielles 2

Ceci est une proposition de corrigé des concours de CPGE, réalisée bénévolement par des enseignants de Sciences Industrielles de l'Ingénieur et d'Informatique, membres de l'[UPSTI](http://www.upsti.fr) (Union des Professeurs de Sciences et Techniques Industrielles), et publiée sur le site de l'association :

<https://www.upsti.fr/espace-etudiants/annales-de-concours>

A l'attention des étudiants

Ce document vous apportera des éléments de corrections pour le sujet traité, mais n'est ni un corrigé officiel du concours, ni un corrigé détaillé ou exhaustif de l'épreuve en question.

L'UPSTI ne répondra pas directement aux questions que peuvent soulever ces corrigés : nous vous invitons à vous rapprocher de vos enseignants si vous souhaitez des compléments d'information, et à vous adresser à eux pour nous faire remonter vos éventuelles remarques.

Licence et Copyright

Toute représentation ou reproduction (même partielle) de ce document faite sans l'accord de l'UPSTI est **interdite**. Seuls le téléchargement et la copie privée à usage personnel sont autorisés (protection au titre des [droits d'auteur](#)).

En cas de doute, n'hésitez pas à nous contacter à : corrigesconcours@upsti.fr.

Informez-vous !

Retrouvez plus d'information sur les [Sciences de l'Ingénieur](#), l'[orientation](#), les [Grandes Ecoles](#) ainsi que sur les [Olympiades de Sciences de l'Ingénieur](#) et sur les [Sciences de l'Ingénieur au Féminin](#) sur notre site : www.upsti.fr

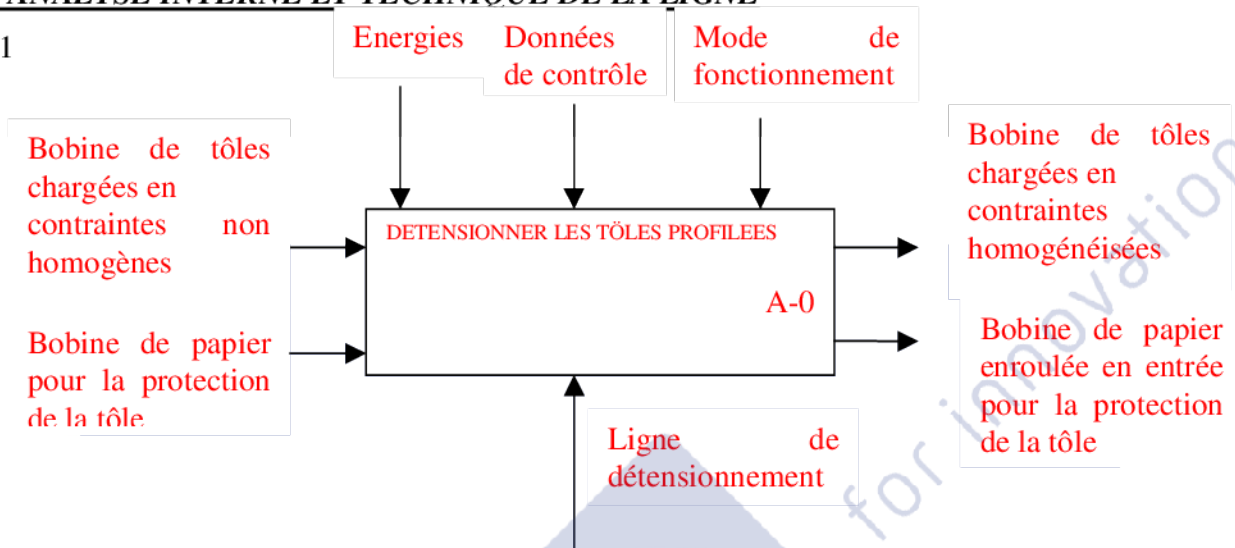
L'équipe UPSTI

POSTE DE DÉTENSIONNEMENT

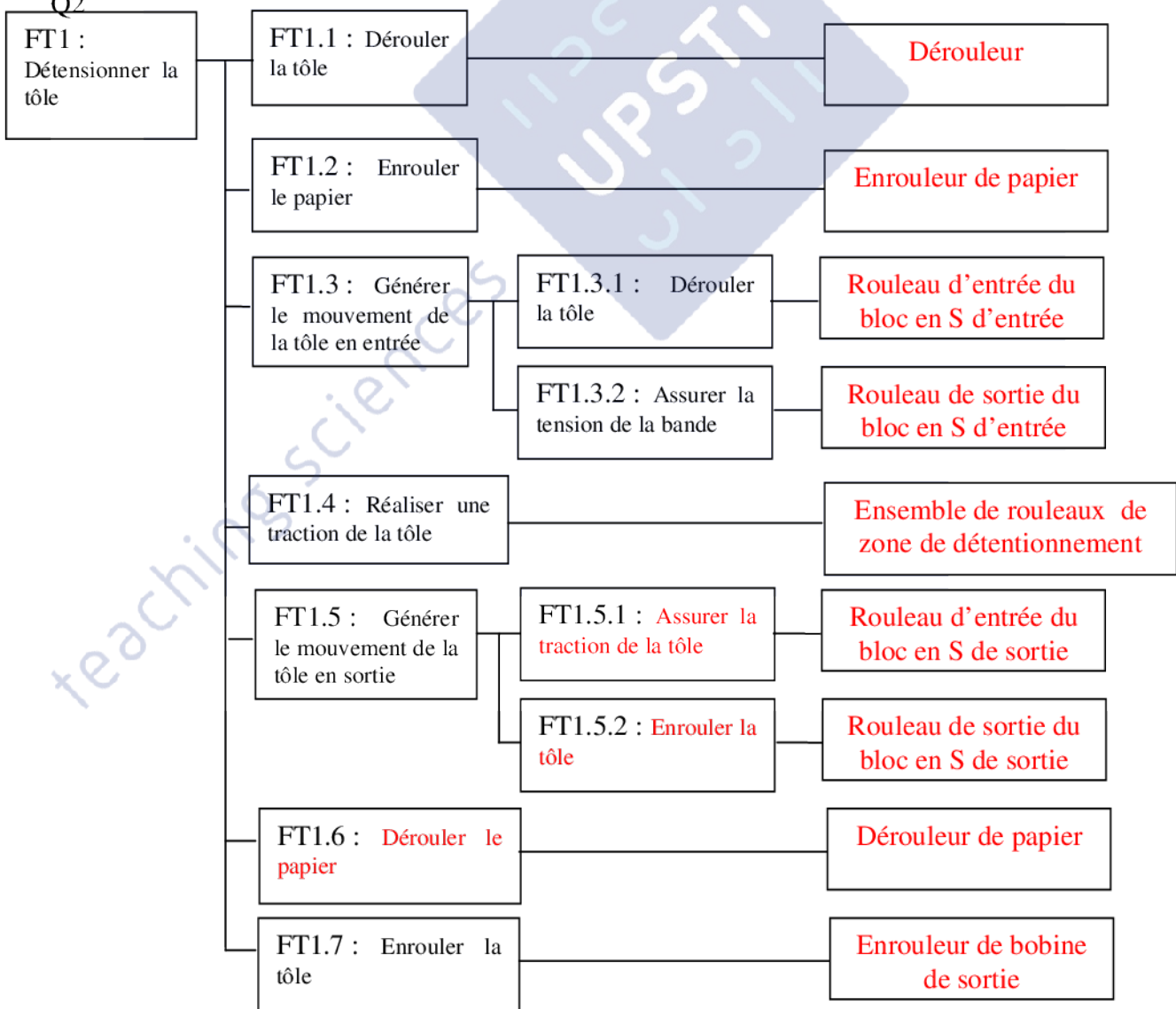
I PRÉSENTATION DU SUJET

II ANALYSE INTERNE ET TECHNIQUE DE LA LIGNE

Q1



Q2



Poste de détensionnement

III ETUDE DE LA FONCTION TECHNIQUE FT 1.1 (DEROULER LA TOLE) ET FT1.3 (GENERER LE MOUVEMENT DE LA TOLE)

III.A – Validation de la présence d'un moteur sur l'axe du dérouleur d'entrée

Q3 Les caractéristiques de la bobine sont :

- Diamètre intérieur : 450 mm
- Diamètre extérieur : 1635 mm
- Masse : 1800 kg

$$J_T = J_B + J_d = J_d + M \cdot \frac{R^2 + r^2}{2} \quad J_T = 30 + 1800 \cdot \frac{\left(\frac{1.635}{2}\right)^2 + \left(\frac{0.45}{2}\right)^2}{2} = 677$$

La valeur du moment d'inertie autour de l'axe de rotation du dérouleur est de 677 kg.m².

Q4 J'isole la bobine et la bande jusqu'à après le rouleau déflecteur.

Elle est soumise à :

Action de traction de la bande en aval du système isolé

Action de la pesanteur

Action de l'axe du dérouleur

Puissances associées à ces efforts :

$$P_{T \rightarrow S/Rg} = F \cdot V$$

$$P_{P \rightarrow S/Rg} = 0$$

$$P_{d \rightarrow S/Rg} = 0$$

$$P_{iSi \leftrightarrow Sj} = 0$$

Energies cinétiques :

$$Ec_{S/Rg} = \frac{1}{2} \cdot J_T \cdot \dot{\theta}^2 \quad \text{en négligeant l'énergie cinétique de la partie du système en}$$

translation (morceau de bande) devant l'énergie cinétique de la bobine.

Le cas le plus défavorable est celui où le diamètre de la bobine est maximal.

Théorème de l'énergie cinétique appliqué au système :

$$\frac{dEc_{S/Rg}}{dt} = P_{T \rightarrow S/Rg} \quad \frac{d\left(\frac{1}{2} \cdot J_T \cdot \dot{\theta}^2\right)}{dt} = F \cdot V \quad J_T \cdot \dot{\theta} \cdot \ddot{\theta} = F \cdot V$$

$$\text{Relation entre } \dot{\theta} \text{ et } V : \quad R_B \cdot \dot{\theta} = V$$

$$\text{Relation entre } \ddot{\theta} \text{ et } \dot{V} : \quad R_B \cdot \ddot{\theta} = \dot{V} \quad \text{or } \dot{V} = \frac{V_{MAX}}{T_A} \quad \dot{V} = \frac{75}{5} = 0.25$$

L'accélération linéaire est de 0.25 m/s²

$$\ddot{\theta} = \frac{\dot{V}}{R_B} \quad \ddot{\theta} = \frac{0.25}{\frac{1.635}{2}} = 0.30$$

L'accélération angulaire est de 0.30 rad/s²

$$J_T \cdot \dot{\theta} \cdot \ddot{\theta} = F \cdot R_B \cdot \dot{\theta} \quad J_T \cdot \ddot{\theta} = F \cdot R_B \quad F = \frac{J_T \cdot \ddot{\theta}}{R_B}$$

$$F = \frac{677}{1.635} \cdot 0.30 = 253$$

La force de traction à exercer sur la tôle est de 253 N.

Q5 Calculons la contrainte correspondant à cette force : $\sigma = \frac{F}{S}$

$$\text{La section de la bande est : } S = L \cdot l - 2 \cdot (L_R \cdot l_R) \quad S = 130 \cdot 2.3 - 2 \cdot (30 \cdot 1) = 239$$

La section de la bande est de 239 mm².

$$\sigma = \frac{253}{239} = 1.06$$

La contrainte résultant de cette force de traction est 1.06 MPa. $\sigma_e > 1.06 \text{ MPa}$

L'effort de traction est compatible avec les caractéristiques d'élasticité du matériau.

Q6 A priori, il n'est pas nécessaire de motoriser le dérouleur de bande du point de vue des efforts. Cependant, on peut considérer qu'il est nécessaire de mettre la bande en traction à des valeurs plus importantes en motorisant le dérouleur et en utilisant le moteur comme frein.

Q7 On veut $\sigma = \frac{F}{S} = 0.9 \cdot \sigma_e$. On en déduit : $F = 0.9 \cdot \sigma_e \cdot S \quad F = 0.9 \cdot 300 \cdot 239 = 64530$

Il faut imposer une force de traction de 64530 N à la bande.

En reprenant l'étude énergétique de Q4, il vient une action supplémentaire issue du moteur du dérouleur, qui développe la puissance : $P_{M \rightarrow S/Rg} = -C_f \cdot \dot{\theta}$

$$\frac{dE_{C_{S/Rg}}}{dt} = P_{T \rightarrow S/Rg} + P_{M \rightarrow S/Rg} \quad J_T \cdot \dot{\theta} \cdot \ddot{\theta} = F \cdot V - C_f \cdot \dot{\theta} \quad C_f \cdot \dot{\theta} = F \cdot \dot{\theta} \cdot R_B - J_T \cdot \dot{\theta} \cdot \ddot{\theta}$$

$$C_f = F \cdot R_B - J_T \cdot \ddot{\theta} \quad C_f = 64530 \cdot \frac{1.635}{2} - 677 \cdot 0.30 = 52546$$

Le couple à appliquer au dérouleur est de 52.5 KN.m.

Le couple moteur à fournir est donné par $C_f = 500 \cdot C_m$, soit : $C_m = \frac{C_f}{500} \quad C_m = \frac{52546}{500} = 105$

Le couple minimal nécessaire que doit fournir ce moteur est de 105 N.m.

III.B – Validation de la commande du moteur de dérouleur d'entrée

III.B.1) Première loi de commande : régulation directe de la vitesse de rotation de RE1.

$$Q8 \quad MCC(p) = \frac{\Omega(p)}{u_m(p)} \quad \text{or } \Omega(p) = \frac{1}{f + J \cdot p} \cdot K \cdot \frac{1}{R + L \cdot p} \cdot (u_m(p) - K \cdot \Omega(p))$$

$$\Omega(p) \cdot \left(1 + \frac{K^2}{(f + J \cdot p) \cdot (R + L \cdot p)} \right) = \frac{K}{(f + J \cdot p) \cdot (R + L \cdot p)} \cdot u_m(p)$$

$$\Omega(p) \cdot ((f + J \cdot p) \cdot (R + L \cdot p) + K^2) = K \cdot u_m(p)$$

$$\frac{\Omega(p)}{u_m(p)} = \frac{K}{(f + J \cdot p) \cdot (R + L \cdot p) + K^2} = \frac{K}{(f \cdot R + K^2) + (J \cdot R + L \cdot f) \cdot p + L \cdot J \cdot p^2}$$

$$MCC(p) = \frac{K}{(f \cdot R + K^2) + (J \cdot R + L \cdot f) \cdot p + L \cdot J \cdot p^2}$$

$$Q9 \text{MCC}(p) = \frac{\frac{K}{f \cdot R + K^2}}{1 + \frac{J \cdot R + L \cdot f}{f \cdot R + K^2} \cdot p + \frac{L \cdot J}{f \cdot R + K^2} \cdot p^2} = \frac{K_{mcc}}{1 + a \cdot p + b \cdot p^2} \quad K_{mcc} = \frac{K}{f \cdot R + K^2}$$

Donc :

Q10 On s'intéresse au dénominateur :

$$1 + \frac{J \cdot R + L \cdot f}{f \cdot R + K^2} \cdot p + \frac{L \cdot J}{f \cdot R + K^2} \cdot p^2 = 1 + \frac{30 \cdot 0.1 + 0.01 \cdot 0.1}{0.1 \cdot 0.1 + 1^2} \cdot p + \frac{0.01 \cdot 30}{0.1 \cdot 0.1 + 1^2} \cdot p^2$$

$$1 + \frac{J \cdot R + L \cdot f}{f \cdot R + K^2} \cdot p + \frac{L \cdot J}{f \cdot R + K^2} \cdot p^2 = 1 + \frac{3.001}{1.01} \cdot p + \frac{0.3}{1.01} \cdot p^2 = 1 + 2.971 \cdot p + 0.297 \cdot p^2$$

De plus :

$$(1 + \tau_e \cdot p) \cdot (1 + \tau_{em} \cdot p) = \left(1 + \frac{L}{R} \cdot p\right) \cdot \left(1 + \frac{R \cdot J}{K^2 + R \cdot f} \cdot p\right) = \left(1 + \frac{0.01}{0.1} \cdot p\right) \cdot \left(1 + \frac{0.1 \cdot 30}{1^2 + 0.1 \cdot 0.1} \cdot p\right)$$

$$(1 + \tau_e \cdot p) \cdot (1 + \tau_{em} \cdot p) = (1 + 0.1 \cdot p) \cdot \left(1 + \frac{3}{1.01} \cdot p\right) = 1 + \left(0.1 + \frac{3}{1.01}\right) \cdot p + \left(0.1 \cdot \frac{3}{1.01}\right) \cdot p^2$$

$$(1 + \tau_e \cdot p) \cdot (1 + \tau_{em} \cdot p) = 1 + 3.070 \cdot p + 0.297 \cdot p^2$$

Il s'agit de comparer : $1 + 3.070 \cdot p + 0.297 \cdot p^2$ et $1 + 2.971 \cdot p + 0.297 \cdot p^2$

On constate moins de 3% d'erreur sur le terme en p, on peut donc considérer qu'on peut mettre MCC(p) sous la forme factorisée proposée.

Q11 $FTBO_1(p) = \frac{v_v(p)}{\varepsilon_v(p)}$ or : $v_v(p) = \frac{g_v}{1 + \tau_v \cdot p} \cdot \frac{K_{mcc}}{(1 + \tau_e \cdot p) \cdot (1 + \tau_{em} \cdot p)} \cdot G \cdot C_1(p) \cdot \varepsilon_v(p)$

$$FTBO_1(p) = \frac{g_v \cdot K_{mcc} \cdot G \cdot C_1(p)}{(1 + \tau_v \cdot p) \cdot (1 + \tau_e \cdot p) \cdot (1 + \tau_{em} \cdot p)}$$

Q12 La régulation en vitesse impose une erreur statique nulle. Il faut donc un intégrateur dans la boucle ouverte. Le correcteur proportionnel intégral répond à cette exigence.

Q13 $FTBO_1(p) = \frac{g_v \cdot K_{mcc} \cdot G \cdot C_1(p)}{(1 + \tau_v \cdot p) \cdot (1 + \tau_e \cdot p) \cdot (1 + \tau_{em} \cdot p)} = \frac{g_v \cdot K_{mcc} \cdot G \cdot K_1 \cdot \frac{1 + T_{i1} \cdot p}{T_{i1} \cdot p}}{(1 + \tau_v \cdot p) \cdot (1 + \tau_e \cdot p) \cdot (1 + \tau_{em} \cdot p)}$

$$FTBO_1(p) = \frac{g_v \cdot K_{mcc} \cdot G \cdot K_1}{(1 + \tau_v \cdot p) \cdot (1 + \tau_e \cdot p) \cdot T_{i1} \cdot p}$$

Q14 On désire une marge de phase de 60° .

D'après le diagramme de Bode, pour $\omega_\varphi = 5.6 \text{ rad/s}$, $\varphi(\omega_\varphi) = 120^\circ$.

Pour avoir la marge de phase désirée, il faut que $G_{dB}(\omega_\varphi) = 0 \text{ dB}$, or sur le diagramme,

$$G_{dB}(\omega_\varphi) = -5.7 \text{ dB}$$

Il faut donc choisir K_1 tel que $20 \cdot \log(K_1) = 5.7 \text{ dB}$ soit $K_1 = 10^{\frac{5.7}{20}}$ soit $K_1 = 1.93$.

Pour avoir une marge de phase de 60° , il faut choisir $K_1 = 1.93$.

Q15 On définit la valeur de la pulsation de coupure ω_{c1} tel que $G_{dB}(\omega_{c1}) = 0 \text{ dB}$ soit $\omega_{c1} = 5.6 \text{ rad/s}$ sur le système corrigé. La relation $\omega_c \cdot t_m = 3$ s'applique ici.

$$\text{Dans notre cas, } \omega_{c1} \cdot t_{m1} = 3, \text{ soit } t_{m1} = \frac{3}{\omega_{c1}} \quad t_{m1} = \frac{3}{5.6} = 0.54$$

Le temps t_{m1} du premier maximum de la réponse indicielle en boucle fermée est de 0.54 s

III.B.2) Deuxième loi de commande : régulation cascade de RE1.

Q16 On reprend les développements de Q9 :

$$MCC(p) = \frac{\Omega(p)}{u_m(p)} = \frac{K}{(f + J \cdot p) \cdot (R + L \cdot p) + K^2}$$

D'après le schéma bloc de la figure 2 :

$$FT_1(p)|_{Cr=0} = \frac{i(p)}{u_m(p)} \text{ or } i(p) = \frac{1}{R + L \cdot p} \cdot (u_m(p) - K \cdot \Omega(p)) \text{ et}$$

$$\Omega(p) = \frac{K_{mcc}}{(1 + \tau_e \cdot p) \cdot (1 + \tau_{em} \cdot p)} \cdot u_m(p) \text{ donc :}$$

$$i(p) = \frac{1}{R + L \cdot p} \cdot \left(u_m(p) - K \cdot \frac{K}{(f + J \cdot p) \cdot (R + L \cdot p) + K^2} \cdot u_m(p) \right)$$

$$i(p) = \frac{1}{R + L \cdot p} \cdot \left(1 - K \cdot \frac{K}{(f + J \cdot p) \cdot (R + L \cdot p) + K^2} \right) \cdot u_m(p)$$

$$\frac{i(p)}{u_m(p)} = \frac{1}{R + L \cdot p} \cdot \left(\frac{(f + J \cdot p) \cdot (R + L \cdot p) + K^2 - K^2}{(f + J \cdot p) \cdot (R + L \cdot p) + K^2} \right)$$

$$\frac{i(p)}{u_m(p)} = \frac{f + J \cdot p}{(f + J \cdot p) \cdot (R + L \cdot p) + K^2}$$

Or on a montré (Q10) que $\frac{K}{(f + J \cdot p) \cdot (R + L \cdot p) + K^2}$ pouvait se mettre sous la forme

$$\frac{K_{mcc}}{(1 + \tau_e \cdot p) \cdot (1 + \tau_{em} \cdot p)}, \text{ d'où :}$$

$$\frac{K}{(f + J \cdot p) \cdot (R + L \cdot p) + K^2} = \frac{K_{mcc}}{(1 + \tau_e \cdot p) \cdot (1 + \tau_{em} \cdot p)}$$

$$\frac{1}{(f + J \cdot p) \cdot (R + L \cdot p) + K^2} = \frac{\frac{K_{mcc}}{K}}{(1 + \tau_e \cdot p) \cdot (1 + \tau_{em} \cdot p)}$$

$$\frac{i(p)}{u_m(p)} = \frac{f + J \cdot p}{(f + J \cdot p) \cdot (R + L \cdot p) + K^2} = \frac{\frac{K_{mcc}}{K} \cdot (f + J \cdot p)}{(1 + \tau_e \cdot p) \cdot (1 + \tau_{em} \cdot p)}$$

$$\text{Finalement : } FT_1(p)|_{Cr=0} = \frac{\frac{K_{mcc} \cdot f}{K} \cdot \left(1 + \frac{J}{f} \cdot p \right)}{(1 + \tau_e \cdot p) \cdot (1 + \tau_{em} \cdot p)}$$

$$FT_2(p)|_{Cr=0} = \frac{\Omega(p)}{i(p)} \text{ or } \Omega(p) = \frac{1}{f+J \cdot p} \cdot K \cdot i(p) \text{ soit } \frac{\Omega(p)}{i(p)} = \frac{\frac{K}{f}}{1+\frac{J}{f} \cdot p}$$

$$\text{Finalement : } FT_2(p)|_{Cr=0} = \frac{\frac{K}{f}}{1+\frac{J}{f} \cdot p}$$

$$Q17 \quad FTBO_2(p) = \frac{v_i(p)}{\varepsilon_i(p)} \quad \text{or : } v_i(p) = \frac{g_i}{1+\tau_i \cdot p} \cdot FT_1(p) \cdot G \cdot C_2(p) \cdot \varepsilon_i(p)$$

$$FTBO_2(p) = \frac{g_i \cdot \frac{K_{mcc} \cdot f}{K} \cdot \left(1 + \frac{J}{f} \cdot p\right) \cdot G \cdot C_2(p)}{(1+\tau_i \cdot p) \cdot (1+\tau_e \cdot p) \cdot (1+\tau_{em} \cdot p)}$$

$$Q18 \quad FTBO_2(p) = \frac{g_i \cdot \frac{K_{mcc} \cdot f}{K} \cdot \left(1 + \frac{J}{f} \cdot p\right) \cdot G \cdot K_2 \cdot \frac{1+T_{i2} \cdot p}{T_{i2} \cdot p}}{(1+\tau_i \cdot p) \cdot (1+\tau_e \cdot p) \cdot (1+\tau_{em} \cdot p)}$$

$$FTBO_2(p) = \frac{g_i \cdot \frac{K_{mcc} \cdot f}{K} \cdot \left(1 + \frac{J}{f} \cdot p\right) \cdot G \cdot K_2}{(1+\tau_i \cdot p) \cdot (1+\tau_{em} \cdot p) \cdot T_{i2} \cdot p}$$

Q19 On désire une marge de phase de 60° .

D'après le diagramme de Bode, pour $\omega_\varphi = 7.29 \cdot 10^4$ rad/s, $\varphi(\omega_\varphi) = 120^\circ$.

Pour avoir la marge de phase désirée, il faut que $G_{dB}(\omega_\varphi) = 0$ dB, or sur le diagramme,

$$G_{dB}(\omega_\varphi) = -58.5 \text{ dB}$$

Il faut donc choisir K_2 tel que $20 \cdot \log(K_2) = 58.5$ dB soit $K_2 = 10^{\frac{58.5}{20}}$ soit $K_2 = 841$.

Pour avoir une marge de phase de 60° , il faut choisir $K_2 = 841$.

Q20 On définit la valeur de la pulsation de coupure ω_{c2} tel que $G_{dB}(\omega_{c2}) = 0$ dB soit

$\omega_{c2} = 7.29 \cdot 10^4$ rad/s sur le système corrigé. La relation $\omega_c \cdot t_m = 3$ s'applique ici.

$$\text{Dans notre cas, } \omega_{c2} \cdot t_{m2} = 3, \text{ soit } t_{m2} = \frac{3}{\omega_{c2}} \quad t_{m2} = \frac{3}{7.29 \cdot 10^4} = 4.1 \cdot 10^{-5}$$

Le temps t_{m2} du premier maximum de la réponse indicielle en boucle fermée est de 0.041 ms

Q21 Les simplifications proposées par l'énoncé permettent d'écrire :

$$FTBO_2(p) = \frac{v_i(p)}{\varepsilon_i(p)} = \frac{g_i \cdot \frac{K_{mcc}}{K} \cdot (f+J \cdot p) \cdot G \cdot K_2}{(1+\tau_i \cdot p) \cdot (1+\tau_{em} \cdot p) \cdot T_{i2} \cdot p} = \frac{g_i \cdot K_{mcc} \cdot J \cdot G \cdot K_2}{K \cdot T_{i2} \cdot (1+\tau_{em} \cdot p)}$$

$$\frac{i(p)}{i^*(p)} = FTBF(p) = \frac{FTBO(p)}{1+FTBO(p)} \cdot \frac{1}{\text{retour}(p)}$$

$$\frac{i(p)}{i^*(p)} = \frac{\frac{g_i \cdot K_{mcc} \cdot J \cdot G \cdot K_2}{K \cdot T_{i2}}}{1 + \frac{g_i \cdot K_{mcc} \cdot J \cdot G \cdot K_2}{K \cdot T_{i2} (1 + \tau_{em} \cdot p)}} \cdot \frac{1}{g_i} = \frac{\frac{K_{mcc} \cdot J \cdot G \cdot K_2}{K \cdot T_{i2}}}{1 + \tau_{em} \cdot p + \frac{g_i \cdot K_{mcc} \cdot J \cdot G \cdot K_2}{K \cdot T_{i2}}} = \frac{\frac{K_{mcc} \cdot J \cdot G \cdot K_2}{K \cdot T_{i2}}}{1 + \frac{\tau_{em}}{1 + \frac{g_i \cdot K_{mcc} \cdot J \cdot G \cdot K_2}{K \cdot T_{i2}}} \cdot p}$$

$$\frac{i(p)}{i^*(p)} = \frac{\frac{K_{mcc} \cdot J \cdot G \cdot K_2}{K \cdot T_{i2} + g_i \cdot K_{mcc} \cdot J \cdot G \cdot K_2}}{1 + \frac{\tau_{em}}{1 + \frac{g_i \cdot K_{mcc} \cdot J \cdot G \cdot K_2}{K \cdot T_{i2}}} \cdot p}$$

Q22 Si $i_i^*(p) = \frac{i_0}{p}$, $i(p) = \frac{\frac{K_{mcc} \cdot J \cdot G \cdot K_2}{K \cdot T_{i2} + g_i \cdot K_{mcc} \cdot J \cdot G \cdot K_2} \cdot \frac{i_0}{p}}{1 + \frac{\tau_{em}}{1 + \frac{g_i \cdot K_{mcc} \cdot J \cdot G \cdot K_2}{K \cdot T_{i2}}} \cdot p}$

$$i(p) = \frac{1}{p} \cdot \frac{\frac{K_{mcc} \cdot J \cdot G \cdot K_2 \cdot i_0}{K \cdot T_{i2} + g_i \cdot K_{mcc} \cdot J \cdot G \cdot K_2}}{1 + \frac{\tau_{em}}{1 + \frac{g_i \cdot K_{mcc} \cdot J \cdot G \cdot K_2}{K \cdot T_{i2}}} \cdot p} = \frac{1}{p} \cdot \frac{H_0}{1 + \tau_0 \cdot p}$$

Q23 $i(p) = \frac{1}{p} \cdot \frac{H_0}{1 + \tau_0 \cdot p}$ avec :

$$\tau_0 = \frac{\tau_{em}}{1 + \frac{g_i \cdot K_{mcc} \cdot J \cdot G \cdot K_2}{K \cdot T_{i2}}} \quad \text{et} \quad H_0 = \frac{K_{mcc} \cdot J \cdot G \cdot K_2 \cdot i_0}{K \cdot T_{i2} + g_i \cdot K_{mcc} \cdot J \cdot G \cdot K_2}$$

Q24 Les applications numériques sont à effectuer avec les relations données dans l'énoncé :

$$T_{i2} = \tau_e = \frac{L}{R}$$

$$K_{mcc} = \frac{K}{f \cdot R + K^2}$$

$$\tau_{em} = \frac{R \cdot J}{K^2 + R \cdot f}$$

$$\tau_0 = \frac{\frac{R \cdot J}{K^2 + R \cdot f}}{1 + \frac{g_i \cdot \frac{K}{f \cdot R + K^2} \cdot J \cdot G \cdot K_2}{K \cdot \frac{L}{R}}} = \frac{\frac{0.1 \cdot 30}{1^2 + 0.1 \cdot 0.1}}{1 + \frac{0.1 \cdot \frac{1}{0.1 \cdot 0.1 + 1^2} \cdot 30 \cdot 10 \cdot 841}{1 \cdot \frac{0.01}{0.1}}} = 1.19 \cdot 10^{-5}$$

$$H_0 = \frac{\frac{K}{f \cdot R + K^2} \cdot J \cdot G \cdot K_2 \cdot i_0}{K \cdot \frac{L}{R} + g_i \cdot \frac{K}{f \cdot R + K^2} \cdot J \cdot G \cdot K_2} = \frac{\frac{1}{0.1 \cdot 0.1 + 1^2} \cdot 30 \cdot 10 \cdot 841 \cdot 1}{1 \cdot \frac{0.01}{0.1} + 1 \cdot \frac{1}{0.1 \cdot 0.1 + 1^2} \cdot 30 \cdot 10 \cdot 841} = 1.00$$

Finalement, le gain H_0 vaut 1 et la constante de temps τ_0 vaut 0.012 ms.

Q25 On désire décomposer $i(p) = \frac{1}{p} \cdot \frac{H_0}{1 + \tau_0 \cdot p}$ sous la forme $i(p) = \frac{A}{p} + \frac{B}{1 + \tau_0 \cdot p}$.

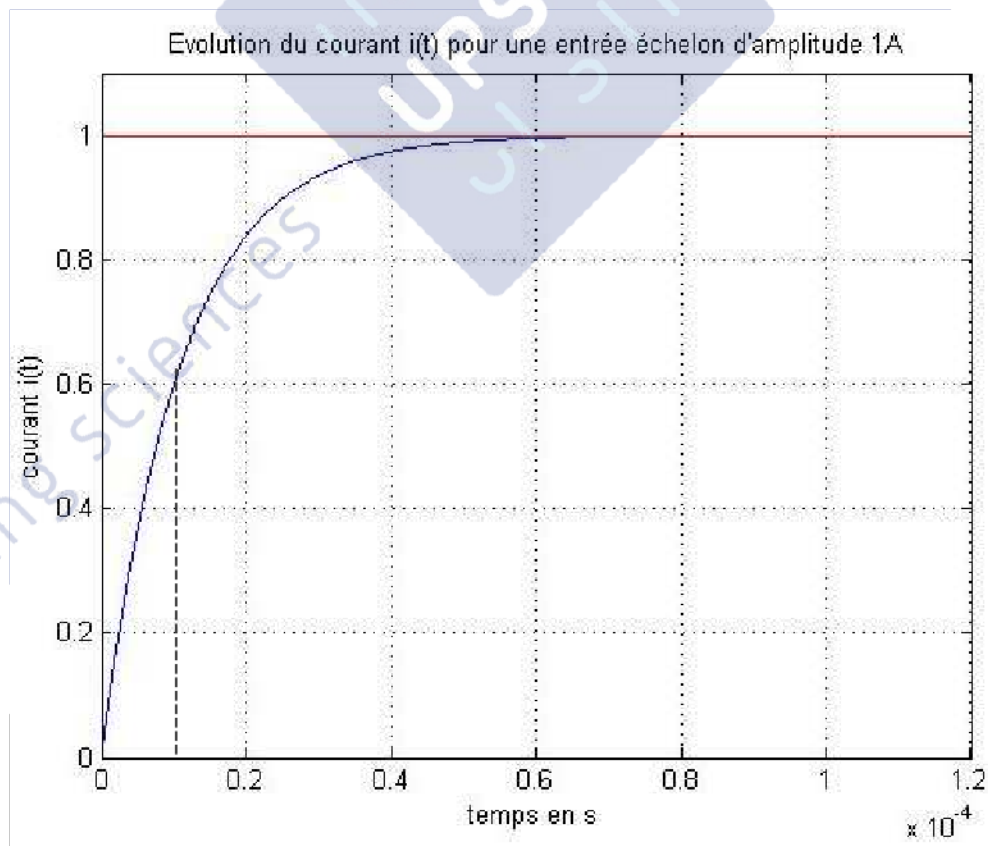
- On multiplie les deux membres par p , et on impose $p = 0$:

$$\frac{H_0}{1 + \tau_0 \cdot p} = A + \frac{B \cdot p}{1 + \tau_0 \cdot p} \quad \text{soit :} \quad \underline{A = H_0}$$

- On multiplie les deux membres par $1 + \tau_0 \cdot p$, et on impose $p = -\frac{1}{\tau_0}$:

$$\frac{1}{p} \cdot H_0 = \frac{A}{p} \cdot (1 + \tau_0 \cdot p) + B \quad \text{soit :} \quad \underline{B = -\tau_0 \cdot H_0}$$

Q26 $i(p) = \frac{H_0}{p} - \frac{\tau_0 \cdot H_0}{1 + \tau_0 \cdot p} = H_0 \cdot \left(\frac{1}{p} - \frac{1}{\frac{1}{\tau_0} + p} \right)$ donc $i(t) = H_0 \cdot \left(\gamma(t) - e^{-\frac{t}{\tau_0}} \cdot \gamma(t) \right)$



$$\tau_0 = 0.012 \text{ ms}$$

$$Q28 \quad FTBO_3(p) = \frac{v_v(p)}{\varepsilon_v(p)} \quad \text{or : } v_v(p) = \frac{g_v}{1 + \tau_v \cdot p} \cdot FT_2(p) \cdot \frac{H_0}{1 + \tau_0 \cdot p} \cdot C_3(p) \cdot \varepsilon_v(p)$$

$$FTBO_3(p) = \frac{g_v}{(1 + \tau_v \cdot p)} \cdot \frac{\frac{K}{f}}{1 + \frac{J}{f} \cdot p} \cdot \frac{H_0}{1 + \tau_0 \cdot p} \cdot K_3 \cdot \frac{1 + T_{i3} \cdot p}{T_{i3} \cdot p}$$

$$FTBO_3(p) = \frac{g_v \cdot \frac{K}{f} \cdot H_0 \cdot K_3}{(1 + \tau_v \cdot p) \cdot (1 + \tau_0 \cdot p) \cdot T_{i3} \cdot p}$$

Q29 On désire une marge de phase de 60° .

D'après le diagramme de Bode, pour $\omega_\varphi = 2.71 \cdot 10^3$ rad/s, $\varphi(\omega_\varphi) = 120^\circ$.

Pour avoir la marge de phase désirée, il faut que $G_{dB}(\omega_\varphi) = 0$ dB, or sur le diagramme,

$$G_{dB}(\omega_\varphi) = -98 \text{ dB}$$

Il faut donc choisir K_3 tel que $20 \cdot \log(K_3) = 98$ dB soit $K_3 = 10^{\frac{98}{20}}$ soit $K_3 = 79432$.

Pour avoir une marge de phase de 60° , il faut choisir $K_3 = 79432$.

Q30 On définit la valeur de la pulsation de coupure ω_{c3} tel que $G_{dB}(\omega_{c3}) = 0$ dB soit $\omega_{c3} = 2.71 \cdot 10^3$ rad/s sur le système corrigé. La relation $\omega_c \cdot t_m = 3$ s'applique ici.

$$\text{Dans notre cas, } \omega_{c3} \cdot t_{m3} = 3, \text{ soit } t_{m3} = \frac{3}{\omega_{c3}} \quad t_{m3} = \frac{3}{2.71 \cdot 10^3} = 1.1 \cdot 10^{-3}$$

Le temps t_{m3} du premier maximum de la réponse indicielle en boucle fermée est de 1.1 ms

Q31 Il s'agit plutôt de comparer les résultats de la question 30 et de la question 15.

Le système asservi en vitesse avec boucle de courant à un temps de premier maximum de 1,11 ms, alors que le système sans boucle de courant a un temps de réponse de l'ordre de 546 ms.

Le système avec boucle de courant est donc beaucoup plus rapide.

Q32 La boucle de courant permet donc d'avoir un système beaucoup plus rapide, et de plus, le contrôle en couple est maîtrisé car réglé par la boucle de courant.

Q33 En cas de blocage de la bande, le couple demandé, donc le courant, augmente fortement. Il faut donc apporter, dans la boucle de commande, un bloc de saturation du courant moteur.

III.C – Validation du moteur du rouleau d'entraînement du bloc en S d'entrée

Q34 La vitesse de déroulement de la bande est de 75 m/min soit 1.25 m/s.

$$\text{On établit la relation } V = R_{re} \cdot \dot{\theta}_{re}, \text{ soit } \dot{\theta}_{re} = \frac{V}{R_{re}} = \frac{V}{\frac{D_{re}}{2}} \cdot \dot{\theta}_{re} = \frac{1.25}{\frac{0.6}{2}} = 4.17$$

La fréquence de rotation du rouleau d'entraînement est de 4.17 rad/s.

Q35 A la limite de l'adhérence, $f = 0.1$.

La tension dans la bande en amont du rouleau est $T = 64530 \text{ N}$.

La bande s'enroule sur le rouleau sur un secteur angulaire $\theta = \frac{3\pi}{2}$

La tension de la bande en aval du rouleau est t tel que $T = t \cdot e^{f \cdot \theta}$, soit $t = \frac{T}{e^{f \cdot \theta}}$.

$t = \frac{64530}{e^{0.1 \cdot \frac{3\pi}{2}}} = 40281$. La tension de la bande en aval du rouleau est de 40281 N.

J'isole le rouleau d'entraînement du bloc en S d'entrée ainsi qu'un morceau de bande en entrée et en sortie.

Il est soumis à :

Action de traction de la bande en aval $t = +40281 \text{ N}$

Action de traction de la bande en amont $T = -64530 \text{ N}$

Action de la pesanteur

Action du moteur (disponible au niveau du rouleau) : C_m^{re}

Action du bâti

Puissances associées à ces efforts :

$$P_{Bam \rightarrow S / Rg} = +t \cdot V$$

$$P_{Bav \rightarrow S / Rg} = -T \cdot V$$

$$P_{P \rightarrow S / Rg} = 0$$

$$P_{M \rightarrow S / Rg} = C_m^{re} \cdot \dot{\theta}_{re}$$

$$P_{Bâti \rightarrow S / Rg} = 0$$

$$P_{iSi \leftrightarrow Sj} = 0 \text{ (adhérence donc non glissement)}$$

Energies cinétiques : $Ec_{S/Rg} = \frac{1}{2} \cdot J_{re} \cdot \dot{\theta}_{re}^2$ en négligeant l'énergie cinétique de la partie du système en translation (morceau de bande) devant l'énergie cinétique du rouleau.

Théorème de l'énergie cinétique appliqué au système :

$$\frac{dEc_{S/Rg}}{dt} = P_{S \rightarrow S / Rg} \quad \frac{d\left(\frac{1}{2} \cdot J_{re} \cdot \dot{\theta}_{re}^2\right)}{dt} = C_m^{re} \cdot \dot{\theta}_{re} + t \cdot V - T \cdot V$$

$$J_{re} \cdot \dot{\theta}_{re} \cdot \ddot{\theta}_{re} = C_m^{re} \cdot \dot{\theta}_{re} + t \cdot R_{re} \cdot \dot{\theta}_{re} - T \cdot R_{re} \cdot \dot{\theta}_{re} \quad C_m^{re} = J_{re} \cdot \ddot{\theta}_{re} - t \cdot R_{re} + T \cdot R_{re}$$

Relation entre $\ddot{\theta}_{re}$ et \dot{V} : $\dot{V} = R_{re} \cdot \ddot{\theta}_{re}$ or l'accélération linéaire est de 0.25 m/s^2

$$\ddot{\theta}_{re} = \frac{\dot{V}}{R_{re}} \quad \ddot{\theta}_{re} = \frac{0.25}{\frac{0.6}{2}} = 0.83$$

L'accélération angulaire du rouleau est de 0.83 rad/s^2

Alors $C_m^{re} = 15 \cdot 0.83 + (64530 - 40281) \cdot 0.3 = 7287$

Le couple nécessaire sur le rouleau pour assurer le mouvement de la tôle est 7287 N.m.

Q36 La relation entre couple délivré par le moteur C_m et couple moteur disponible au niveau du

rouleau C_m^{re} : $C_m = \frac{C_m^{re}}{r}$, d'où $C_m = \frac{7287}{45} = 162$

Le couple moteur nécessaire est 162 N.m.

Q37 La relation entre vitesse angulaire moteur et vitesse angulaire du rouleau est : $\omega_m = \omega_{re} \cdot r$, soit $\omega_m = 4.17 \cdot 45 = 212$. La fréquence de rotation du moteur est 212 rad/s.

Cependant, la vitesse maximale de la bande est de 100 m/min. En reprenant les calculs :

$$\dot{\theta}_{re} = \frac{V}{R_{re}} = \frac{V}{\frac{D_{re}}{2}} \cdot \dot{\theta}_{re} = \frac{100}{0.6} = 5.56 \text{ rad / s}, \text{ soit } \omega_m = 5.56 \cdot 45 = 250 \text{ rad / s}.$$

La fréquence de rotation maximale du moteur est 250 rad/s.

Q38 La vitesse angulaire maximale du moteur est : $\omega_m = 2387$ tr/min.

Dans le tableau de la figure 22, le moteur développant une puissance 44.5 kW, avec une vitesse angulaire de 2420 tr/min et un couple nominal de 401 N.m répond à tous les critères établis précédemment.

Q39 Si on considère le rouleau du bloc S d'entrée, rien ne varie.

Si on considère le dérouleur de bande, lorsque le diamètre de la bobine varie (diminue), si la bande doit avoir une vitesse linéaire constante, il faut que la vitesse angulaire varie (augmente). Le couple à fournir varie également (diminue)

Q40 Si on admet que la vitesse est imposée par le rouleau du bloc d'entrée, la tension dans la bande doit être imposée en amont, cela nécessite une régulation en couple (ou courant) au niveau du moteur du dérouleur de bande

IV ETUDE DE LA FT 1.4 : RÉALISER UNE TRACTION DE LA TÔLE

IV.A – Validation du moteur du rouleau de traction assurant la tension en sortie du bloc en S

Q41 On désire $\sigma = \frac{F}{S} = 1.1 \cdot \sigma_e$. On en déduit : $F = 1.1 \cdot \sigma_e \cdot S$ $F = 1.1 \cdot 300 \cdot 239 = 78870$

Il faut imposer une force de traction de 78870 N à la bande.

Q42 Problème ici.

Les conditions d'enroulement sont les mêmes que précédemment, avec un brin tendu, un brin détendu, et un couple moteur à imposer au rouleau.

Si on considère qu'on doit imposer 78870 N à la bande, c'est donc à l'entrée du rouleau, or, la tension de la bande à la sortie du rouleau précédent est de 40281 N. Problème !!

Si on considère qu'on doit imposer 78870 N à la bande en sortie du rouleau, la tension d'entrée est supérieure, ce qui donne une déformation plastique trop importante et le même problème que précédemment.

Prenons tout de même le premier cas :

La tension dans la bande en amont du rouleau doit être de $T = 78870$ N.

La bande s'enroule sur le rouleau sur un secteur angulaire $\theta = \frac{3\pi}{2}$

La tension de la bande en aval du rouleau est t tel que $T = t \cdot e^{f \cdot \theta}$, soit $t = \frac{T}{e^{f \cdot \theta}}$.

$t = \frac{78870}{e^{0.1 \cdot \frac{3\pi}{2}}} = 49233$. La tension de la bande en aval du rouleau est de 49233 N.

La même étude qu'à Q35 donne $C_m^{re} = 15 \cdot 0.83 + (78870 - 49233) \cdot 0.3 = 8904$

Le couple nécessaire sur le rouleau pour assurer la tension de la tôle est 8904 N.m.

Q43 $C_m = \frac{C_m^{re}}{r}$, d'où $C_m = \frac{8904}{45} = 198$. Le couple moteur nécessaire est 198 N.m.

La vitesse angulaire sera la même quelque soit le rouleau, et le moteur choisi présente un couple nominal de 401 N.m, ce qui autorise à utiliser la même motorisation que précédemment.

IV.B – Validation de la présence du moteur d'appoint asynchrone présent dans la zone de détensionnement

Q44 J'isole l'ensemble composé de la longueur de bande et des 4 rouleaux
Il est soumis à :

Action de traction de la bande en aval T_{aval}

Action de traction de la bande en amont T_{amont}

Action du bâti sur l'ensemble

Action de la pesanteur

Action interne au système de la bande sur les rouleaux

Puissances associées à ces efforts :

$$P_{Bam \rightarrow S/Rg} = +T_{amont} \cdot V_{amont}$$

$$P_{Bav \rightarrow S/Rg} = -T_{aval} \cdot V_{aval}$$

$$P_{Bâti \rightarrow S/Rg} = 0$$

$$P_{P \rightarrow S/Rg} = 0$$

$$P_{iS_i \leftrightarrow S_j} < 0 \text{ (frottements entre bande et rouleaux)}$$

Energies cinétiques :

$$\text{Energie cinétique des rouleaux : } Ec_{R/Rg} = 4 \cdot \frac{1}{2} \cdot J_{rd} \cdot \dot{\theta}_{rd}^2$$

$$\text{Energie cinétique de la bande en translation : } Ec_{BT/Rg} = \frac{1}{2} \cdot M_{BT} \cdot V^2$$

$$\text{Energie cinétique de la bande en rotation : } Ec_{BR/Rg} = \frac{1}{2} \cdot J_{BR} \cdot \dot{\theta}_{BR}^2$$

$$\text{Energie cinétique total : } Ec_{S/Rg} = \frac{1}{2} \cdot (4 \cdot J_{rd} \cdot \dot{\theta}_{rd}^2 + M_{BT} \cdot V^2 + J_{BR} \cdot \dot{\theta}_{BR}^2)$$

Relation entre les vitesses angulaires et les vitesses linéaires : l'hypothèse de l'énoncé implique que les vitesses linéaires soient constantes (V), donc les vitesses angulaires le sont également ($\dot{\theta}_{rd}$), avec la relation $V = R_{rd} \cdot \dot{\theta}_{rd}$.

On peut donc écrire l'énergie cinétique du système sous la forme : $Ec_{S/Rg} = \frac{1}{2} \cdot M_{eq} \cdot V^2$

Théorème de l'énergie cinétique appliqué au système : $\frac{dEc_{S/Rg}}{dt} = P_{\bar{S} \rightarrow S/Rg} + P_{S_i \leftrightarrow S_j}$

Les tensions amont et aval sont égales.

Le Théorème de l'Energie Cinétique donne $M_{eq} \cdot V \cdot \dot{V} = P_{S_i \leftrightarrow S_j}$. La puissance dissipée par frottement dans le système impose une diminution de la vitesse de la bande, en contradiction avec l'hypothèse de l'énoncé de vitesse constante.

Q45 Il faut donc apporter de l'énergie au système par l'intermédiaire d'une puissance motrice apportée aux 4 rouleaux

IV.C – Vérification du dimensionnement des rouleaux de détensionnement

Q46 Les rouleaux R_2 et R_3 ont la même vitesse de rotation $\omega_2 = \omega_3$.

La vitesse linéaire à la surface du rouleau R_3 est $R_3 \cdot \omega_3$.

La vitesse linéaire à la surface du rouleau R_2 est $R_2 \cdot \omega_2 < R_3 \cdot \omega_3$.

La vitesse de la bande en entrée du rouleau R_3 est donc supérieure à celle en sortie du rouleau R_2 .

Isolons un morceau élémentaire de bande entre les deux rouleaux. L'accélération que subit ce morceau implique un effort de traction sur ce morceau, qui permet la détensionnement.

Q47 On désire obtenir 0.09% de déformation plastique, donc rémanente.

$$\frac{\Delta l}{l} = 0.09\% = 0.0009 \quad \Delta l = 0.0009 \cdot l$$

La masse de la bobine de cuivre est 1800 kg, la section est de 239 mm².

$$\text{La longueur de la bande est } l \text{ tel que : } M = \rho \cdot (S \cdot l) \quad l = \frac{M}{\rho \cdot S}$$

$$l = \frac{1800}{8920 \cdot 239 \cdot 10^{-6}} = 844$$

La longueur de la bande est de 844 m.

L'allongement rémanent Δl est donc de 0.760 m.

Q48 L'enroulement sur le rouleau R_2 se fait sur une longueur de $R_2 \cdot \theta_{\text{contact}}$

L'enroulement sur le rouleau R_3 de ce même morceau de bande (allongé) se fait sur une longueur de $R_3 \cdot \theta_{\text{contact}}$. On a donc la relation $R_3 \cdot \theta_{\text{contact}} = 1.0009 \cdot R_2 \cdot \theta_{\text{contact}}$, soit $R_3 = 1.0009 \cdot R_2$, soit $R_3 = 1.0009 \cdot \frac{798,5}{2} = 399.6$.

Le diamètre du rouleau R_3 est donc de 799.2 mm.

Q49 Le différentiel entre R_1 et R_2 est le même qu'entre R_3 et R_4 :

$$\frac{D_{m1}}{D_2} = \frac{797.8}{798.5} = 0.999123 \quad \text{et} \quad \frac{D_{M1}}{D_2} = \frac{799.8}{798.5} = 1.001628$$

$$\frac{D_{4a}}{D_3} = \frac{D_{4a}}{799.2} = 0.999123 \quad \text{et} \quad \frac{D_{4b}}{D_3} = \frac{D_{4b}}{799.2} = 1.001628$$

$$D_{4a} = 0.999123 \cdot 799.2 = 798.5 \quad \text{et} \quad D_{4b} = 1.001628 \cdot 799.2 = 800.5$$

Le diamètre D_{4a} du rouleau R_4 est donc de 798.5 mm.

Le diamètre D_{4b} du rouleau R_4 est donc de 800.5 mm.

Q50 L'intérêt d'un tel moyen d'obtenir un détensionnement homogène, continu et automatique, dépendant uniquement des données géométriques des cylindres.

V ETUDE DE LA MESURE DU COURANT DES MOTEUR À COURANT CONTINU

V.A – Résistance shunt

Q51 On regroupe les deux dipôles R_2 et C_1 en un unique dipôle d'impédance équivalente Z_{1eq} :

$$Z_{1eq} = \frac{R_2}{1 + R_2 \cdot C_1 \cdot j \cdot \omega}$$

L'AOIP1 étant idéal, le courant i_+ est nul, ce qui permet de considérer un diviseur de

$$\text{tension : } V_{C1} = \frac{Z_{1eq}}{Z_{1eq} + R_1} \cdot V_A = \frac{\frac{R_2}{1 + R_2 \cdot C_1 \cdot j \cdot \omega}}{\frac{R_2}{1 + R_2 \cdot C_1 \cdot j \cdot \omega} + R_1} \cdot V_A$$

$$\text{Finalement, } V_{C1} = \frac{R_2}{R_2 + R_1 \cdot (1 + R_2 \cdot C_1 \cdot j \cdot \omega)} \cdot V_A$$

$$\text{Par un raisonnement similaire, il vient : } V_{C2} = \frac{R_4}{R_4 + R_3 \cdot (1 + C_2 \cdot R_4 \cdot j \cdot \omega)} \cdot V_B$$

Q52 Les amplificateurs sont idéaux, disposés en montage suiveur.

$$\text{On a donc : } V_{C1} = V_{1+} = V_{1-} = V_{SA} \text{ et } V_{C2} = V_{2+} = V_{2-} = V_{SB} \text{ soit } V_{C1} = V_{SA} \text{ et } V_{C2} = V_{SB}$$

Q53 L'AOIP3 étant idéal, le courant i_+ est nul, ce qui permet de considérer un diviseur de

$$\text{tension : } V_{R8} = \frac{R_8}{R_7 + R_8} \cdot V_{SA}$$

Q54 On applique le théorème de Millman entre les résistances R_5 et R_6 :

$$\frac{V_{SB}}{R_5} + \frac{V_S}{R_6} = V_{3-} \cdot \left(\frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6} \right) = V_{R8} \cdot \left(\frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6} \right) \quad V_{SB} \cdot R_6 + V_S \cdot R_5 = V_{R8} \cdot (R_6 + R_5)$$

$$V_S = \frac{V_{R8} \cdot (R_6 + R_5) - V_{SB} \cdot R_6}{R_5}$$

Q55 On suppose que le courant i_{R1} est négligeable devant le courant circulant dans la résistance R_{shunt} . Hypothèse non vérifiable sans valeur numérique, mais probablement vraie car $R_{shunt} \approx \Omega$, et $R1+R2 \approx k \Omega$. On a donc :

$$V_S(j\omega) = \frac{R_5 + R_6}{R_5} \cdot \frac{R_8}{R_7 + R_8} \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_1 + jR_1R_2C_1\omega} \cdot V_A(j\omega) - \frac{R_6}{R_5} \cdot \frac{R_4}{R_4 + R_3 + jR_3R_4C_2\omega} \cdot V_B(j\omega)$$

$$\text{Et } V_A(j\omega) - V_B(j\omega) = R_{shunt} \cdot i(j\omega)$$

$$\text{Donc, si l'on prend : } \begin{cases} R_2 = R_4 \\ R_1 = R_3 \\ \frac{R_5 + R_6}{R_5} \cdot \frac{R_8}{R_7 + R_8} = \frac{R_6}{R_5} \text{ alors : } V_S(j\omega) = \frac{g_i}{1 + j\omega\tau_i} \cdot i(j\omega) \\ R_1R_2C_1 = R_3R_4C_2 \end{cases}$$

Q56 On a donc :
$$\begin{cases} g_i = R_{shunt} \\ \tau_i = R_1 R_2 C_1 = R_3 R_4 C_2 \end{cases}$$

V.B – Capteur à effet Hall

Q57 L'énoncé nous donne : $v_h(p) = e^{-\tau_{Hall} \cdot p} \cdot g_{Hall} \cdot i(p)$

Un développement limité d'ordre 1 de $e^{-\tau_{Hall} \cdot p}$ donne : $e^{-\tau_{Hall} \cdot p} = \frac{1}{e^{+\tau_{Hall} \cdot p}} = \frac{1}{1 + \tau_{Hall} \cdot p + o(p)}$

Soit :
$$\underline{v_h(p) = \frac{g_{Hall}}{1 + \tau_{Hall} \cdot p} \cdot i(p)}$$

Q58 $v_h(0) = g_{Hall} \cdot i(0)$ et $\Delta v_h = g_{Hall} \cdot \Delta i$, d'où $g_{Hall} = \frac{\Delta v_h}{\Delta i}$, soit $g_{Hall} = \frac{5}{100} = 0.05$

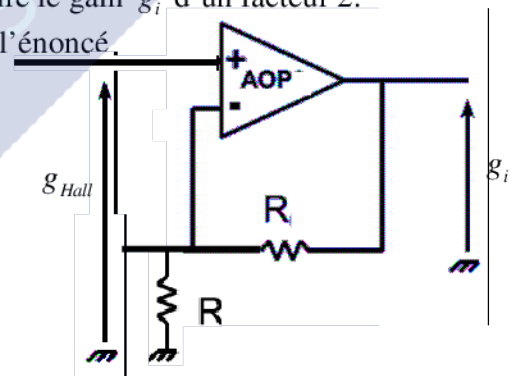
Soit $\underline{g_{Hall} = 0.05 \Omega}$

Q59 Non, car la phase « ajoutée » par le retard pur vaut environ $\Delta \varphi = -\tau_{hall} \cdot \omega_c = -0.22 \text{rad}$ soit -12° . Ce retard de phase n'influe que très peu sur les performances. Cela déstabilise un peu le système, car la marge de phase sera légèrement réduite, donc il sera peut être nécessaire de baisser légèrement le correcteur proportionnel afin de augmenter la marge de phase.

Q60 $g_{Hall} = 0.05 \Omega$ et $g_i = 0.1 \text{ V.A}^{-1}$. Il faut donc réduire le gain g_i d'un facteur 2.

On peut utiliser un montage extrait du montage de l'énoncé.

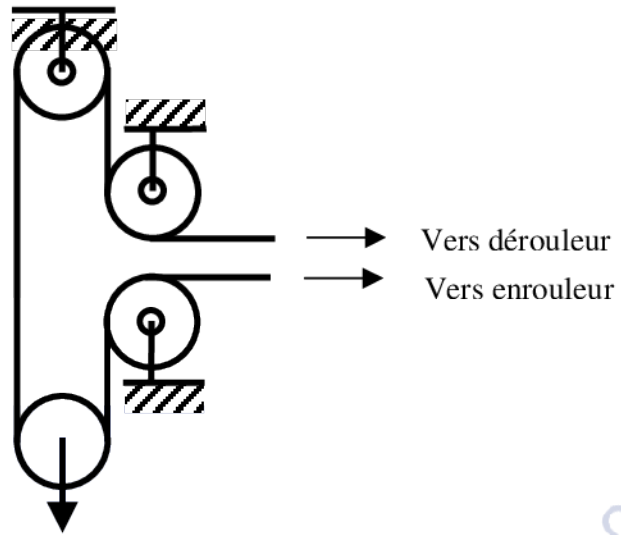
Ainsi, $\underline{g_i = 2 \cdot g_{Hall}}$



VI EVOLUTION DE LA LIGNE DE DÉTENSIONNEMENT

Q61 Il existe déjà un double poste de déroulement de bande, permettant de préparer une nouvelle bobine en temps masqué. Il n'existe pas un tel dispositif sur le poste d'enroulement de bande : il faut donc le mettre en place.

Q62 On peut envisager un système basé sur les contraintes plutôt que sur les déformations, donc étant piloté par un effort imposé plutôt que par une géométrie imposée.



teaching sciences

for innovation