

Eléments de corrigé

Première partie

1. Etude du tréfilage et du recuit

1.1. Etude du tréfilage

1.1.1. Tréfilage à volume constant \rightarrow débit massique constant

$$\frac{dVe}{dt} = \frac{dVs}{dt} \rightarrow dVe = dVs \text{ et } dVe = se \cdot dle \text{ et } dVs = ss \cdot dls \text{ avec } dls = dle(1+A)$$

$$ss = \frac{se}{1+A} \quad \text{pour n filières : } ss_n = \frac{se}{(1+A)^n}$$

1.1.2. Vitesse de sortie du fil

$$ve = \frac{dle}{dt} \text{ et } vs = \frac{dls}{dt} \rightarrow vs = ve \frac{dls}{dle} \rightarrow vs = ve(1+A) \text{ pour n filières : } vs = ve \cdot (1+A)^n$$

1.1.3. Nombre de filières

$$\lg(1+A)^n = \lg\left(\frac{se}{ss_n}\right) = n \cdot \lg(1+A) \rightarrow n = \frac{\lg\left(\frac{se}{ss_n}\right)}{\lg(1+A)} \text{ d'ou } n = \frac{\lg\left(\frac{50}{2}\right)}{\lg(1+0.34)} = 11$$

1.1.4. Vitesse d'entrée du fil

$$ve = \frac{vs}{(1+A)^n} \rightarrow ve = \frac{24}{(1+0.34)^{11}} = 0.96 \text{ m/s}$$

1.1.5. Puissance de tréfilage

$$P = Ft \cdot vs \text{ avec } Ft = Rt \cdot ss \rightarrow P = Rt \cdot vs \cdot ss \text{ pour une filière}$$

$$\text{remarque : } vs = \frac{dls}{dt} \rightarrow P = Ft \cdot ss \cdot \frac{dls}{dt} = Ft \cdot \frac{dVs}{dt}$$

comme le débit volumique est constant, la puissance est identique pour chaque filière.

Pour une filière $P_1 = 12.48 \text{ kW}$

Pour toutes les filières $P_t = 137.3 \text{ kW}$, le moteur de 150 kW convient.

1.1.6. Elévation de température du fil

$$dm \cdot c \cdot \Delta\theta = 0.6Pdt \rightarrow \Delta\theta = \frac{0.6Pdt}{\mu scdl} = \frac{0.6Rt \cdot s \cdot v \cdot dt}{\mu \cdot s \cdot c \cdot dl} = \frac{0.6Rt}{\mu \cdot c}$$

$$\Delta\theta = 44.1^\circ\text{C}$$

1.2. Etude du recuit

1.2.1. Longueur du segment AB.

En prenant O et O' les centres des 2 roues conductrices et M le centre du segment OO', on peut écrire :

$$OO'^2 = h^2 + v^2, \quad OM^2 = OA^2 + AM^2, \quad AB = 2 AM, \quad OO' = 2 OM$$

Et OA = r = d/2

$$AB = 2\sqrt{OM^2 - OA^2} = 2\sqrt{\frac{OO'^2}{4} - r^2} = \sqrt{h^2 + v^2 - d^2}$$

$$AB = 1.3\text{m}$$

1.2.2. Energie électrique fournie

$$dWe = \rho_0(1 + a(\theta p + \theta)) \frac{dl}{s} I^2 dt$$

1.2.3. Energie emmagasinée

$$dWc = d(mc\theta) = \mu sc \cdot dl \cdot d\theta$$

1.2.4. Equation de θ en fonction du temps, du courant et de la température de préchauffage.

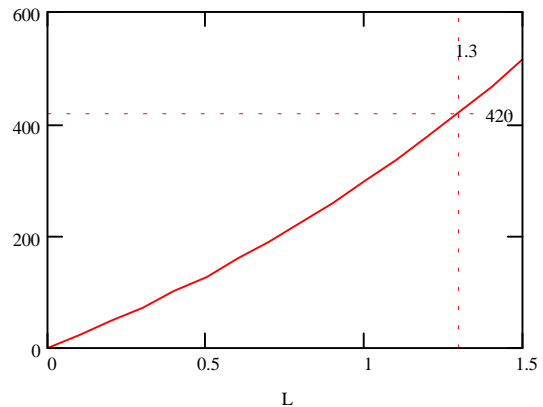
$$dWe = dWc \rightarrow \rho_0(1 + a(\theta p + \theta)) \frac{I^2}{s} dt = \mu sc d\theta$$

$$\theta - \frac{\mu s^2 c}{a \rho_0 I^2} \cdot \frac{d\theta}{dt} = -\frac{1 + a\theta p}{a} \text{ avec à } t=0, \theta = 0 \text{ alors } \theta = \frac{1 + a\theta p}{a} \left[e^{\frac{a \rho_0 I^2}{\mu s^2 c} t} - 1 \right]$$

1.2.5. Equation de θ en fonction de la vitesse, du courant et de la longueur.

$$\text{sachant que } t = \frac{l}{v} \text{ alors } \theta = \frac{1 + a\theta p}{a} \left[e^{\frac{a \rho_0 I^2 l}{\mu s^2 c v}} - 1 \right]$$

$\theta(1620, L, 24)$



1.2.6. Equation du courant en fonction de la vitesse.

Au bout de la longueur L=AB, $\theta = \theta_r - \theta_p$. De la relation ci – dessus on tire :

$$I = \sqrt{\frac{\mu s^2 c v}{a \rho_0 L} \ln \left(\frac{1 + a\theta_r}{1 + a\theta_p} \right)}$$

1.2.7. Ce qui donne I = 1620A pour obtenir le recuit à la vitesse nominale.

1.2.8. Equation de la résistance en fonction de θ_p et θ_r .

$$dR = \rho_0 (1 + a(\theta_p + \theta)) \frac{dl}{s} \rightarrow R = \int_0^L \frac{\rho_0}{s} \left[1 + a \left(\theta_p + \frac{1 + a\theta_p}{a} \left(e^{\frac{a\rho_0 l^2}{\mu s^2 cv}} - 1 \right) \right) \right] dl$$

En remplaçant I par la relation trouvée dans la question 1.2.5., on obtient :

$$R = \frac{\rho_0}{s} (1 + a\theta_p) \int_0^L e^{\frac{l}{L} \ln \left(\frac{1+a\theta_r}{1+a\theta_p} \right)} dl$$

$$R = \frac{\rho_0}{s} (1 + a\theta_p) \frac{L}{\ln \left(\frac{1+a\theta_r}{1+a\theta_p} \right)} \left(\frac{1+a\theta_r}{1+a\theta_p} - 1 \right) \text{ ce qui donne } R = \frac{\rho_0 L}{s} \cdot \frac{a(\theta_r - \theta_p)}{\ln \left(\frac{1+a\theta_r}{1+a\theta_p} \right)}$$

1.2.9. Calcul de la tension UAB

Application numérique de l'équation de la résistance : $R = 0.0272\Omega$

$$UAB = R I = 44.06V$$

1.2.10. Expression de la puissance en fonction de θ_r et v.

$P = R I^2$ et en remplaçant par les expressions des questions 1.2.6. et 1.2.7., il vient

$$P = \mu_{scv} (\theta_r - \theta_p) \text{ ce qui donne à la vitesse nominale } P = 71.4 \text{ kW}$$

1.2.11. Linéarisation de $R(\theta_r)$

$$\frac{dR(\theta_r)}{d\theta_r} = \frac{a\rho_0 L}{s} \left[\frac{\ln \left(\frac{1+a\theta_r}{1+a\theta_p} \right) - \frac{a(\theta_r - \theta_p)}{1+a\theta_r}}{\ln^2 \left(\frac{1+a\theta_r}{1+a\theta_p} \right)} \right]$$

$$\text{pour } \theta_r = 600^\circ\text{C}, \frac{dR(600)}{d\theta_r} = 1,651 \cdot 10^{-3} \frac{\rho_0 L}{s} \text{ et } R(600) = 2,5 \frac{\rho_0 L}{s}$$

ce qui donne un système de deux équations à deux inconnues

$$2,5 \frac{\rho_0 L}{s} = \rho_1 \frac{L}{s} (1 + 420 \cdot b)$$

$$1,651 \cdot 10^{-3} \frac{\rho_0 L}{s} = \rho_1 \frac{L}{s} b$$

qui a pour solution $\rho_1 = 3,024 \cdot 10^{-8}$ et $b = 9,13 \cdot 10^{-4}$

1.3. commande du gradateur

1.3.1. configuration du gradateur

Le gradateur est placé au primaire pour réduire le calibre courant.

I au primaire = $1620 \cdot 55/400 = 223A$

La commande se fait en angle de phase car un l'élément de longueur dl est présent dans le segment AB pendant un temps de $1.3/24 = 54$ ms ce qui rend impossible une commande par trains d'ondes.

1.3.2. Détermination de θ_r en fonction de g_c et v .

$$\frac{Us^2}{R(\theta_r)} = \mu_{scv}(\theta_r - \theta_p) \rightarrow g_c \cdot Ue^2 = \mu_{cv}(\theta_r - \theta_p)\rho_1 L(1 + b(\theta_r - \theta_p))$$

Ce qui donne une équation du second degré qui s'écrit en numérique :

$3,05 \cdot 10^{-3} \cdot \theta_r^2 + 2,24 \cdot \theta_r - 55^2 \cdot g_c - 502,3 = 0$ dont on conserve uniquement la racine qui donne une température positive, soit :

$$\theta_r = -367,5 + 547,5 \sqrt{1 + 3,31 g_c}$$

pour $\theta_r = 600^\circ C$, on obtient de l'équation ci-dessus $g_c = 0,641$

Deuxième partie

2. Asservissement de température

2.1. Modélisation

2.1.1. Energie évacuée par le fil par un élément de fil dl

$dW_s = dm \cdot c \cdot \theta = \mu \cdot s \cdot dl \cdot c \cdot \theta$ θ représente la différence de température entre les points A et B.

comme $v = \frac{dl}{dt} \rightarrow dW_s = \mu_{scv} \theta dt$

2.1.2. Equation différentielle de la température.

$P dt = dW_s + Mcd\theta = \mu_{scv} \theta dt + \mu Lsc d\theta$ d'ou $P = \mu_{scv} \theta + \mu Lsc \frac{d\theta}{dt}$

2.1.3. Fonction $\theta(p)/P(p)$

En Laplace $P(p) = \mu_{scv} \left(\theta(p) + \frac{L}{v} \theta(p) p \right) \rightarrow \frac{\theta(p)}{P(p)} = \frac{1/\mu_{scv}}{1 + \frac{L}{v} p}$

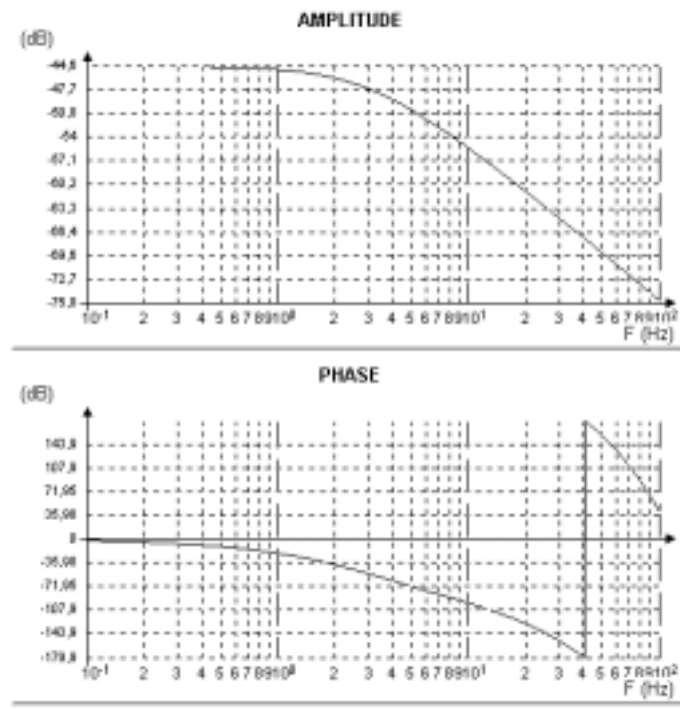
En numérique : $\frac{\theta(p)}{P(p)} = \frac{5,89 \cdot 10^{-3}}{1 + 54,2 \cdot 10^{-3} p}$

2.1.4. Calcul du retard pur introduit par la mesure.

$T = \frac{lc}{v} = \frac{0,15}{24} = 6,25ms$ ce qui donne la fonction $\frac{\theta_m(p)}{P(p)} = \frac{5,89 \cdot 10^{-3} e^{-6,25 \cdot 10^{-3} p}}{1 + 54,2 \cdot 10^{-3} p}$

2.2. correction proportionnelle

2.2.1. Diagramme de Bode



2.2.2. Calcul de ω critique

Le retard pur se situe à pratiquement une décade de la fréquence de coupure du premier ordre. Le premier ordre amène donc une phase d'environ $-\pi/2$.

La pulsation critique est obtenue lorsque le retard pur amène une phase de $-\pi/2$, soit :

$$\frac{\omega_c}{\omega_1} = \frac{\pi}{2} \rightarrow \omega_c = \frac{\pi \omega_1}{2} \text{ avec } \omega_1 = \frac{1}{6,25 \cdot 10^{-3}} = 160 \text{ rad/s} \rightarrow \omega_c = 251 \text{ rad/s}$$

2.2.3. Valeur du gain à la limite de stabilité

Il faut que le gain en boucle ouverte soit < 1 pour ω_c .

$$\frac{K \cdot 220 \cdot 6 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega_c}{\omega_0}\right)^2}} = 1 \text{ avec } \omega_0 = \frac{1}{55 \cdot 10^{-3}} = 18,18 \text{ ce qui donne } K = 10,5$$

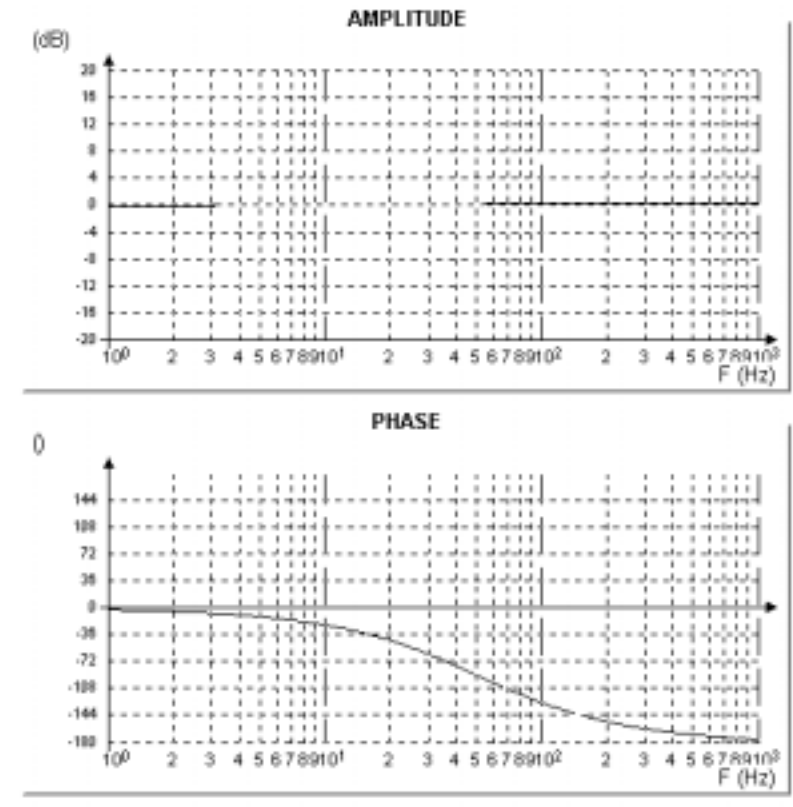
2.2.4. Valeur du gain K pour une marge de gain de 12 db

$$20 \log \left(\frac{1,32K}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega_c}{\omega_0}\right)^2}} \right) = -12 \rightarrow K = 2,63$$

2.2.5. Erreur statique

$$es = \frac{1}{1+1,32K} = 22,4\%$$

2.2.6. Diagramme de Bode de l'approximation de Padé.



L'approximation de Padé a un gain de 1 quelque soit la pulsation (comme le retard pur) mais le déphasage est limité à -180°

2.2.7. Calcul de la marge de phase

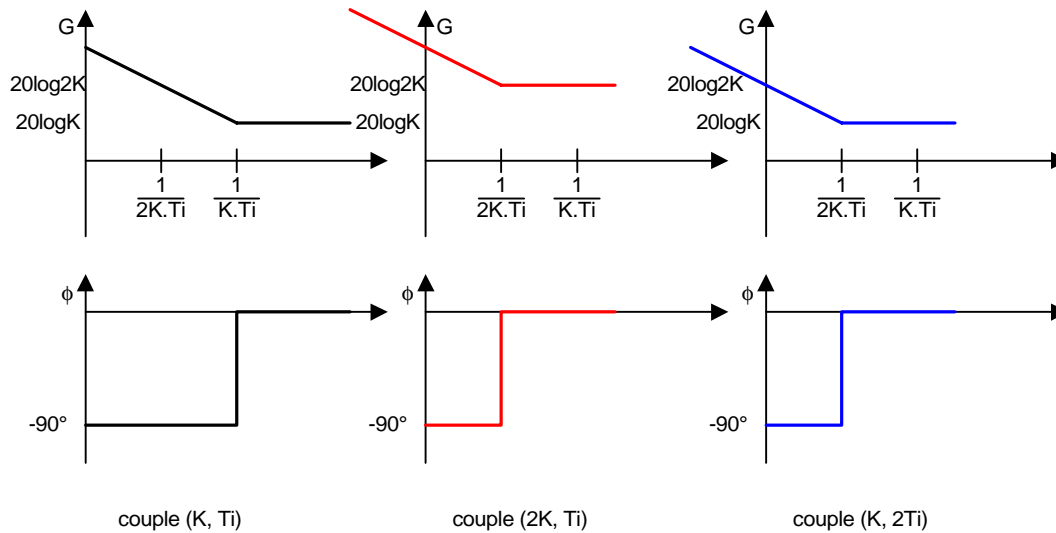
Calcul de la pulsation ω_m lorsque le gain vaut 1

$$\frac{1,32K}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega_m}{\omega_0}\right)^2}} = 1 \rightarrow \omega_m = \omega_0 \sqrt{(1,32K)^2 - 1} = 60,54$$

$$\varphi = -\arctan \frac{\omega_m}{\omega_0} - 2 \arctan \frac{\omega_m}{2\omega_1} = -95^\circ \text{ soit une marge de phase de } 85^\circ$$

2.3. Correction proportionnelle intégrale

2.3.1. diagramme asymptotique de Bode



2.3.2. Détermination de K et Ti

$$Hbo(p) = K \frac{1 + K \cdot Tip}{K \cdot Tip} \cdot \frac{1,32(1 - 3,125 \cdot 10^{-3} p)}{(1 + 55 \cdot 10^{-3} p)(1 + 3,125 \cdot 10^{-3} p)}$$

On prend $K \cdot Ti$ égale à la plus grande constante de temps soit : $K \cdot Ti = 55 \cdot 10^{-3}$

$$Hbo(p) = \frac{1,32K(1 - 3,125 \cdot 10^{-3} p)}{55 \cdot 10^{-3} p(1 + 3,125 \cdot 10^{-3} p)}$$

Calcul de ω pour une marge de phase de 45°

$$-\frac{3\pi}{4} = -\frac{\pi}{2} - 2 \arctan\left(\frac{\omega}{320}\right) \rightarrow \omega = 119,7 \text{ rad/s} . \text{ Pour cette valeur de } \omega, Hbo(j\omega) = 1$$

$$\frac{1,32K}{\omega / 18,18} = 1 \rightarrow K = 5 \text{ ce qui donne } Ti = 11 \text{ ms}$$

2.3.3. Détermination de $\theta_m(p)$ pour un échelon de consigne de 10°C .

$$Hbf(p) = \frac{6,6(1 - 3,125 \cdot 10^{-3} p)}{55 \cdot 10^{-3} p(1 + 3,125 \cdot 10^{-3} p)} = \frac{1 - 3,125 \cdot 10^{-3} p}{1 + 5,21 \cdot 10^{-3} p + 26 \cdot 10^{-6} p^2}$$

pour un échelon de 10°C qui s'écrit en Laplace $10/p$, on obtient :

$$\theta_m(p) = \frac{10(1 - 3,125 \cdot 10^{-3} p)}{p(1 + 5,21 \cdot 10^{-3} p + 26 \cdot 10^{-6} p^2)} = \frac{385 \cdot 10^3 (1 - 3,125 \cdot 10^{-3} p)}{p(p^2 + 200p + 38,5 \cdot 10^3)}$$

2.3.4. Ecriture de $\theta_m(p)$

qui peut se mettre sous la forme :

$$\theta_m(p) = \frac{A}{p} + \frac{B(p + m\omega_0)}{(p + m\omega_0)^2 + \omega_0^2(1 - m^2)} + \frac{C\omega_0\sqrt{1 - m^2}}{(p + m\omega_0)^2 + \omega_0^2(1 - m^2)}$$

avec $\omega_0 = 196,1$ rad/s et $m = 0,51$

ce qui donne par identification :

$$A = 10 \quad B = -10 \quad C = -13$$

2.3.5. Expression temporelle de $\theta_m(t)$

Par les tableaux des transformées de Laplace on obtient :

$$\theta_m(t) = 10 - 10e^{-100t} \cos(168,8t) - 13e^{-100t} \sin(168,8t)$$

3. Etude de l'enrouleur de traction

3.1. Choix du moteur

3.1.1. Expression de la vitesse de rotation du moteur en fonction du diamètre d'enroulage.

$$\Omega = \frac{2v}{d}$$

3.1.2. Expression du couple moteur en fonction du diamètre d'enroulage.

En régime statique le couple moteur est égal au couple exercé sur la bobine

$$Cb = F \frac{d}{2} = Re.s \frac{d}{2}$$

3.1.3. Tableau de la vitesse, du couple et de la puissance mécanique.

	d (m)	Ω (rad/s)	n (tr/min)	Cb (Nm)	P (W)
s = 1.35 mm ²	0.4	150	1432	8.1	1215
v = 30 m/s	0.8	75	716	16.2	1215
s = 16 mm ²	0.4	22	210	96	2112
v = 4.4 m/s	0.8	11	105	192	2112

3.1.4. Valeur approchée du temps d'enroulage d'une bobine.

diamètre moyen d'enroulage : $d_m = 0.6$ m

nombre de spires par couche : $n_s = 1000/4.51 = 222$

nombre de couches : $n_c = 200/4.5 = 44$

soit une longueur moyenne de $L_{moy} = \pi \cdot 0,6 \cdot 222 \cdot 44 = 18412$ m

ce qui donne un temps de $18412/4.4 = 4185$ s ou 1h 10 min

3.1.5. Moment d'inertie de la cloche

en notant d, le diamètre moyen, e1 l'épaisseur de la partie verticale, e2 l'épaisseur de la partie horizontale et h la hauteur, on obtient :

Moment d'inertie de la partie verticale : $J_v = \frac{\pi \mu_f h}{32} ((d + e1)^4 - (d - e1)^4) = 64,2 \text{ kg.m}^2$

Moment d'inertie de la partie horizontale : $J_h = \frac{\pi \mu_f e^2}{32} (d + e1)^4 = 16,3 \text{ kg.m}^2$

Moment d'inertie de la cloche : $J_c = J_v + J_h = 80,5 \text{ kg.m}^2$

3.1.6. Calcul du couple moteur.

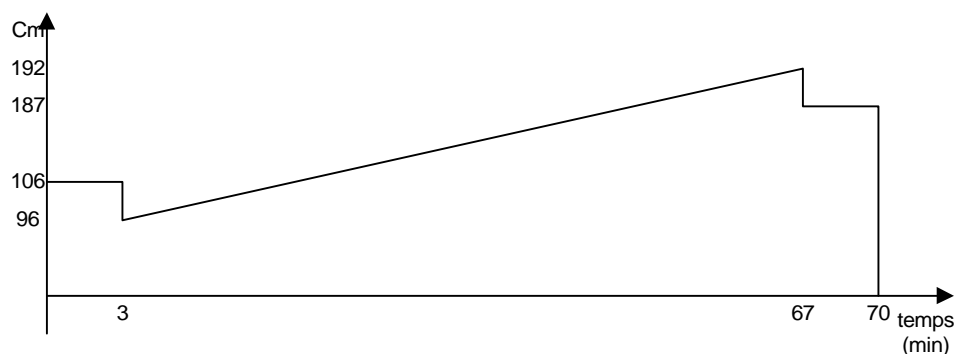
Moment d'inertie du rotor du moteur : $J_m = 0,23 \text{ kg.m}^2$

Moment d'inertie total : $J_t = 80,73 \text{ kg.m}^2$

Couple utile du moteur $C_u = C_b + J_t \frac{d\Omega}{dt}$

	d (m)	C _b (Nm)	Ω (rad/s)	J _t .dΩ/dt (Nm)	C _m (Nm) accélération	C _m (Nm) décélération
S = 1.35 mm ²	0.4	8.1	150	67.2	75.3	-59.1
V = 30 m/s	0.8	16.2	75	33.6	49.8	-17.4
S = 16 mm ²	0.4	96	22	9.9	105.9	86.1
V = 4.4 m/s	0.8	192	11	4.9	196.9	187.1

3.1.7. Allure de la courbe de couple en fonction du temps.



3.1.8. Choix du moteur

Le temps d'enroulage étant de l'ordre d'une heure, il faut considérer les grandeurs maximum du couple et de la vitesse comme nominales. Le couple accélérateur est important pour une section de 1.35 mm², mais le couple utile total reste inférieur au couple nominal.

Il faut : $C_m > 192 \text{ Nm}$ et $\Omega_m > 150 \text{ rad/s}$ donc un moteur asynchrone à 2 paires de pôles (vitesse nominale : 1475 tr/min $\rightarrow \Omega_n = 154 \text{ rad/s}$) de puissance utile $P_m > \Omega_n.C_m$, $P_m > 29.6 \text{ kW}$. Le choix s'est porté sur un moteur de 37 kW.

3.2. Commande du moteur

3.2.1. Expression du couple électromagnétique

$$C_e = 3 \frac{R}{g \Omega_s} I_r^2 = \frac{3pR}{g \omega_s} I_r^2$$

3.2.2. Proportionnalité du couple au produit $\text{Im} \cdot I_r$

$$\frac{R}{g} I_r = jL\omega_s \underline{\text{Im}} \rightarrow \frac{R}{g} I_r = L\omega_s \text{Im} \text{ en module}$$

$$C_e = 3pL \text{Im} \cdot I_r$$

3.2.3. Calcul du flux rotorique nominal

$$j\omega_s \underline{\Phi}_r = \underline{V} \frac{\frac{jL\omega_s R/g}{R/g + jL\omega_s}}{R_s + jL\omega_s + \frac{jL\omega_s R/g}{R/g + jL\omega_s}} \rightarrow \underline{\Phi}_r = \underline{V} \frac{L R/g}{jL\omega_s R/g + \left(\frac{R}{g} + jL\omega_s \right) (R_s + jL\omega_s)}$$

ce qui donne en numérique pour le glissement nominal :

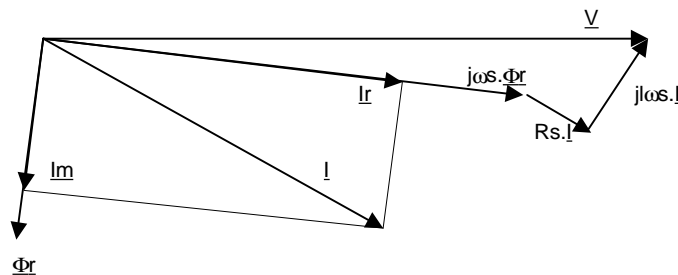
$$g = 25/1500 = 0,0167$$

$$\underline{\Phi}_r = -0,088 - 0,653j = 0,66e^{-1,704j} \rightarrow \Phi_r = 0,66 \text{ Wb}$$

3.2.4. Calcul du courant $\text{Im}0$

$$\underline{\text{Im}}0 = \frac{\underline{\Phi}_r}{L} \rightarrow \text{Im}0 = 25,1 \text{ A}$$

3.2.5. Diagramme de Fresnel des vecteurs \underline{V} , \underline{I}_r , $\underline{\text{Im}}$, \underline{I} et $\underline{\Phi}_r$



3.2.6. Relation I_r en fonction de I .

$$\frac{R}{g} \underline{I}_r = jL\omega s \underline{I}_m$$

$$\underline{I} = \underline{I}_m + \underline{I}_r \quad \rightarrow \frac{R}{g} \underline{I}_r = jL\omega s (\underline{I} - \underline{I}_r) \rightarrow \underline{I}_r = \frac{jL\omega s}{\frac{R}{g} + jL\omega s} \underline{I}$$

ce qui donne en module :
$$I_r = \frac{L\omega s}{\sqrt{\left(\frac{R}{g}\right)^2 + (L\omega s)^2}} I$$

3.2.7. Relation du couple électromagnétique C_e en fonction de I et ωr

De la question 3.2.1. on déduit :

$$C_e = \frac{3pR}{g\omega s} \cdot \frac{(Lg\omega s)^2}{R^2 + (Lg\omega s)^2} I^2 \quad \text{sachant que } \omega r = g\omega s \text{ alors } C_e = 3pR \frac{L^2 I^2 \omega r}{R^2 + L^2 \omega r^2}$$

3.2.8. Fonction du bloc F1

I_m0 est constant

$$\frac{R}{g} \underline{I}_r = jL\omega s \underline{I}_m0$$

$$\underline{I} = \underline{I}_m0 + \underline{I}_r \quad \rightarrow \frac{R}{g} (\underline{I} - \underline{I}_m0) = jL\omega s \underline{I}_m0 \rightarrow \underline{I} = \left(1 + \frac{jLg\omega s}{R}\right) \underline{I}_m0$$

avec $\omega s = g\omega r$ on obtient en module :
$$I = I_m0 \sqrt{1 + \left(\frac{L\omega r}{R}\right)^2} = 25 \sqrt{1 + 0,231 \omega r^2}$$

3.2.9. Démonstration que le couple électromagnétique C_e est proportionnel à ωr .

En remplaçant 3.2.8. dans 3.2.7. on obtient :
$$C_e = \frac{3pL^2 I_m0^2}{R} \omega r = 47,4 \omega r$$

3.3. Asservissement de traction

3.3.1. Equation de l'effort de traction en fonction de la vitesse et du couple moteur.

$$C_m = C_r + Jt \frac{d\Omega}{dt} \text{ qui s'écrit en Laplace : } C_m = F \frac{d}{2} + Jt \cdot \Omega \cdot p$$
$$v = \frac{d}{2} \Omega \rightarrow F = \frac{2}{d} \left(C_m - \frac{2Jt \cdot v}{d} p \right)$$

3.3.2. Expression de H1(p) et H2(p)

$$H1(p) = \frac{2Jt}{d} p = 269 p \quad H2(p) = \frac{2}{d} = 3,33$$

3.3.3. Fonctionnement en asservissement

3.3.3.1. Calcul de k et Ti

On recherche le pôle dominant dans la fonction $1 + 0,2p + 8,4 \cdot 10^{-3} p^2$
Discriminant positif = $0,08^2$, on obtient 2 racines qui sont $-\frac{1}{0,06}$ et $-\frac{1}{0,14}$
 $1 + 0,2p + 8,4 \cdot 10^{-3} p^2 = (1 + 0,14p)(1 + 0,06p)$ donc $Ti = 0,14$

Fonction de transfert en boucle fermée :

$$\frac{F(p)}{ConsT(p)} = \frac{\frac{13,3k}{0,14p(1+0,06p)}}{1 + \frac{13,3k}{1,4p(1+0,06p)}} = \frac{10}{1 + \frac{0,105}{k} p + \frac{6,31 \cdot 10^{-3} p}{k}}$$

On veut $m = 0,7$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{6,31 \cdot 10^{-3}}} \text{ et } \frac{2m}{\omega_0} = \frac{0,105}{k} \rightarrow k = 0,892$$

3.3.3.2. Temps de réponse à 95%.

$$tr \cdot \omega_0 = 3 \rightarrow tr = 0,25s$$

3.3.3.3. Calcul de la valeur de la consigne

En régime établi $F = 10$. $ConsT \rightarrow ConsT = 6$

3.3.4. Mode régulation

3.3.4.1. Couple de perturbation Cd

$$C_m = C_b + Jt \frac{d\Omega}{dt} = C_b + \frac{2Jt}{d} \cdot \frac{dv}{dt} = C_b + \frac{2Jt}{d} a \text{ avec } a : \text{accélération de la ligne}$$

La mise en vitesse de la ligne provoque un couple perturbateur $Cd = \frac{2Jt}{d} a$

3.3.4.2. Amplitude et transformée de Laplace

Amplitude : 35,9 Nm durée : 180s

$$Cd(p) = \frac{35.9}{p} - \frac{35.9}{p} e^{-180p}$$

3.3.4.3. Expression de H3(p) et H4(p)

ConstT(p) = 0 donc

$$H3(p) = \frac{2}{d} = 3,33 \text{ et } H4(p) = \frac{1}{10} \cdot 0,892 \frac{1+0,14p}{0,14p} \cdot \frac{4}{1+0,14p} = \frac{2,54}{p}$$

3.3.4.4. Expression de l'effort perturbateur.

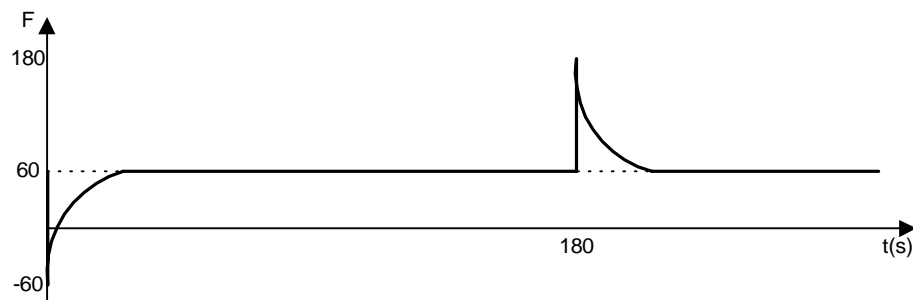
$$-\frac{F(p)}{Cd(p)} = \frac{3,33}{1 + \frac{8,45}{p}} = \frac{3,33p}{p + 8,45} \rightarrow F(p) = -\frac{3,33p}{p + 8,45} Cd(p) = -\frac{120}{p + 8,45}$$

$$F(t) = -120e^{-8,45t}$$

3.3.4.5. Erreur statique sur la force pendant le démarrage

$$\lim_{t \rightarrow +\infty} F(t) = 0$$

3.3.5. Représentation de l'effort de traction réel



3.3.6. Calcul des extremums

La consigne impose avant le démarrage une traction de 60N. A $t = 0^+$ la traction vaut $60 - 120 = -60$ N ce qui est physiquement impossible. Le fil ne sera pas tendu lors du démarrage et risque de sortir d'une poulie. A la fin du démarrage à $t = 180^+$ la traction vaut $60 + 120 = 180$ N ce qui peut provoquer la rupture du fil.

3.3.7. Fonction de transfert du correcteur de tendance

Pour annuler l'effet de la vitesse, il faut que $CT(p) \cdot MV(p) = H1(p)$

$$Ct(p) = \frac{H1(p)}{MV(p)} = \frac{269p(1+0,14p)}{4} = 67,2p(1+0,14p)$$

4. Partie pédagogique

4.1. Etude du fonctionnement

4.1.1. Représentation du sens de la vitesse et du couple



4.1.2. Grandeurs asservies

Une machine doit être asservie en vitesse et l'autre en couple pour obtenir un point de fonctionnement stable dans le plan $C = f(\Omega)$. Pour la tréfileuse – recuiseuse, l'enrouleur de traction fonctionne avec une commande en couple alors que le moteur de tréfilage est asservi en vitesse.

4.1.3. Comportement en cas de casse du fil

En cas de casse du fil, le moteur du dérouleur conserve sa vitesse de rotation puisqu'il est asservi en vitesse. Par contre le moteur de l'enrouleur accélère jusqu'à sa vitesse maximum car le couple résistant devient brutalement nul. On remarque que quelque soit le sens de rotation de l'enrouleur avant la casse du fil, la vitesse croît toujours dans le sens indiqué dans la question 4.1.1.. Une détection de casse du fil est indispensable.

4.2. Sujet d'essais de système

Etude des puissances transmises sur un enrouleur – dérouleur

A) Préparation

Les frottements sont négligés.

- Déterminer la puissance mécanique transmise par le fil en fonction de la vitesse linéaire v et de la position x de l'axe mobile.
- En définissant comme sens positif le sens horaire, déterminer la puissance utile des moteurs de l'enrouleur et du dérouleur en fonction de v et x .
- Déterminer le couple et la vitesse de rotation des moteurs en fonction de v , x et du diamètre d_1 et d_2 des bobines.

Le couple de frottement sec est évalué à 1Nm pour l'une et l'autre des machines.

- Déterminer les nouvelles puissances utiles des moteurs en tenant compte du frottement sec.
- Représenter dans un plan $C=f(\Omega)$ la zone où se situe le point de fonctionnement de chaque machine.

- f) Après avoir choisi une convention de signe, déterminer le signe de la tension et du courant dans chaque machine.
- g) Déterminer pour chaque variateur le pont en service et son mode de fonctionnement (redresseur ou onduleur).
- h) En considérant le courant dans les moteurs parfaitement lissé, représenter l'allure de la tension instantanée aux bornes des moteurs ainsi que le courant instantané à l'entrée de chaque variateurs.

B) Manipulation

- a) Relever pour une vitesse faible le courant moyen de chaque moteur en fonction de la distance x.
- b) Après avoir relevé les diamètres d1 et d2, tracer le couple électromagnétique de chaque moteur en fonction de x. Vérifier la valeur du couple de frottement sec.
- c) Pour le point de fonctionnement nominal, relever :
 - Les courants et tensions instantanés aux bornes de chaque moteur.
 - Les valeurs moyennes et efficaces des courants et tensions aux bornes chaque moteur.
 - La puissance mécanique transmise.
 - Les tensions et courants instantanés à l'entrée de chaque variateur.
 - En déduire les puissances électriques de chaque moteur.
 - En déduire les puissances actives à l'entrée de chaque variateur.

C) Matériel disponible

- Sonde de courant à effet hall.
- Sonde de tension différentielle
- Oscilloscope numérique possédant les fonctions de mesures de valeurs moyennes, mesures de valeurs efficaces, produit, intégrale etc.
- Analyseur de réseau

4.3. Exploitation des relevés

Pour le premier relevé, le courant n'est pas lissé, il faut donc calculer la puissance par

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) \cdot i(t) dt \quad \Delta F2 \text{ nous donne l'intégrale sur } 20 \text{ ms, l'échelle est de } 2000W/V^2$$

$$\text{soit } P = \frac{2.156 \cdot 10^{-3} \cdot 2000}{20 \cdot 10^{-3}} = 215,6W$$

Pour le deuxième relevé le courant n'est pas sinusoïdal, il faut donc utiliser la même méthode que précédemment.

$$P = 3 \cdot \frac{-350 \cdot 10^{-6} \cdot 2000}{40 \cdot 10^{-3}} = -52,5W$$

La différence de puissance de 163W est due aux pertes mécaniques et joules.