Concours Centrale-Supélec, France

Session 2011, filière TSI

Sciences industrielles 2

Durée : 4 heures

Ce que traite le sujet

- Partie I : présentation du système
- Partie II : analyse interne et technique de la ligne
- Partie III : dérouler la tôle et générer son mouvement
- Partie IV : réaliser une traction de la tôle
- Partie V : mesure du courant des moteurs à courant continu
- Partie VI : évolution de la ligne de détensionnement

Sujet reproduit sans retouche à partir de la page suivante.

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années :
prepahelp.com/annales/centrale/tsi/2011/si2

Prepa Help ne revendique aucun droit sur le sujet, propriété de l'organisateur du concours.

CONCOURS CENTRALE•SUPÉLEC

S2I 2

TSI

2011

4 heures Calculatrices autorisées

Poste de détensionnement

I Présentation du système

I.A – Généralités

L'entreprise Griset réalise la mise en forme de matériaux non métalliques par technique de laminage à chaud et à froid. Ces produits peuvent être soit des produits plats ou des profils spécifiques demandés par les clients. L'entreprise Griset reçoit des lopins de matières différentes de section 500×300 mm et de longueur de 7 mètres. De ceux-ci, par laminage, elle produit des tôles ou des profilés sous forme de bande ayant des épaisseurs de quelques millimètres à quelques dixièmes de millimètres. Ces produits sont livrés aux clients sous forme de bobines d'une longueur pouvant aller jusqu'à plusieurs centaines de mètres et elles sont découpées pour obtenir le produit final souhaité. La mise en forme de ces matériaux par la technique de laminage impose la présence d'efforts importants pour réaliser l'écrasement de la matière qui se retrouve donc très fortement chargée en contraintes internes résiduelles. La qualité du produit final, découpé par le client, est liée à la précision dimensionnelle du profilé de départ et à l'homogénéité des contraintes internes résiduelles. Une opération d'homogénéisation des contraintes (limitation des différentiels de contraintes) est réalisée par une mise en traction de la bande précédemment laminée, cette opération est appelée détensionnement.

I.B – Mise en situation et objectifs de l'étude

La ligne de détensionnement représentée sur les figures **15** et **16** est constituée des sous-ensembles suivants :

- poste de déroulage de bande ;
- unité de détensionnement de bande ;
- poste d'enroulement de bande.

La bande est chargée sur le dérouleur présent sur le poste de déroulage et passe au travers de l'unité de détensionnement dans laquelle est réalisée la traction de la bande, ensuite elle est enroulée à nouveau sous forme d'une bobine sur l'enrouleur de sortie. La bande de tôle ne subit aucune variation dimensionnelle de sa section au cours de cette opération de détensionnement.

Description des sous-ensembles de la ligne de production

Voir figures **15** et **16**.

- **Poste de déroulage de bande**
  Ce poste est composé d'un dérouleur double qui permet le chargement d'une bobine pendant qu'une autre est en train d'être détensionnée ; de deux rouleaux déflecteurs d'entrée qui réalisent le positionnement en hauteur de la bande et l'alignement de celle-ci pour son entrée dans la zone de détensionnement ; enfin d'un enrouleur de papier qui enroule le papier protecteur qui est présent sur la bande tôle à traiter. Le dérouleur est motorisé, et une régulation de vitesse est présente.
  Une cisaille manuelle et une soudeuse permettent de rabouter deux tôles pour assurer un travail en continu. Un enrouleur de papier enroule le papier de protection de la tôle.
- **Unité de détensionnement de bande** (Support de l'étude)
  Elle est composée de :
  - un bloc en S d'entrée (**figure 17**) qui est constitué de deux rouleaux montés chacun en liaison pivot sur un support, ces deux supports sont eux-mêmes en liaison pivot par rapport au bâti. Entre ces supports et le bâti des capteurs d'effort mesurent la tension de la bande, ils contrôlent ainsi la tension d'entrée de déroulement de la bande. Ces deux rouleaux sont motorisés, ils permettent de réaliser en entrée le déroulement de la bobine à traiter, et assurent en sortie une tension sur la bande pour son entrée dans la zone de détensionnement. On parle de bloc en S car le cheminement de la tôle autour de ces rouleaux représente un S. Il est associé à ce bloc en S deux guides bande et un rouleau d'appui ;
  - d'une zone de détensionnement (**figure 18**) composée de quatre rouleaux montés en liaison pivot par rapport au bâti et reliés entre eux par paires (R_1 et R_2, R_3 et R_4) par des roues dentées de même module et de même diamètre, ces rouleaux tournent à la même vitesse, seul le diamètre des rouleaux est différent. Par cette différence de diamètre, les vitesses tangentielles sont aussi différentes et créent des tensions uniformes en traction de la bande, ce qui homogénéise le taux de contrainte sur l'ensemble de la section de la bande. Un moteur d'appoint entraîne en rotation l'ensemble de ces quatre rouleaux ;
  - d'un bloc en S de sortie similaire au bloc d'entrée et qui assure d'un côté la traction de la tôle à la sortie de la zone de détensionnement, et de l'autre la régularité de l'enroulement de celle-ci sur l'enrouleur de

BY-NC-SA

sortie. Ce bloc en S assure la régulation de vitesse en sortie de zone de détensionnement. Il est adjoint seulement un rouleau d'appui.

- **Poste d'enroulement de bande**
  Ce poste est composé de deux rouleaux déflecteurs qui maintiennent la tôle à une hauteur fixe, et d'un enrouleur unique de bande, qui est motorisé et régulé en vitesse. Un dérouleur de papier permet la mise en place d'un papier protecteur sur la tôle traitée avant son enroulement final.

Objectif

Nous nous intéressons dans la **partie II** à la justification de l'utilisation de la ligne de détensionnement. Dans la **partie III**, l'étude porte sur la justification des choix des solutions technologiques pour réaliser le déroulement de la tôle, ainsi que la génération du mouvement de la tôle. Dans la **partie IV** nous étudions la réalisation de la traction de la tôle et nous validons le choix du moteur de traction, puis nous vérifions le dimensionnent des rouleaux de traction. La **partie V** est l'étude de la mesure du courant dans les moteurs à courant continu choisis dans la partie précédente. La **partie VI** aborde les évolutions possibles de la ligne.

II Analyse interne et technique de la ligne

Objectif

Dans cette partie, nous nous intéressons à l'analyse des choix des solutions technologiques retenues sur la ligne de détensionnement.

Le principe de la ligne de détensionnement est de réaliser une traction uniforme et continue de la tôle sur l'ensemble de sa section. La vitesse de la tôle varie pendant son cheminement au travers de l'unité de détensionnement.

Données de la ligne

Caractéristiques du produit entrant et sortant :

Épaisseur	Mini = 0,9 mm	Maxi = 4 mm
Largeur	Mini = 45 mm	Maxi = 180 mm
Diamètres des bobines	Intérieur (mini) = 450 mm	Extérieur (maxi) = 2 000 mm
Masse des bobines	Maxi = 2 000 kg	
Vitesse maximale de défilement de la tôle	100 m · min^{-1}	
Longueur de bande présente entre les axes des bobines d'entrée et de sortie	27,50 m	

La déformation plastique rémanente transmise à la tôle est de 0,09% au maximum.

On considérera que la section reste constante au cours du détensionnement, la vitesse de défilement sera de 75 m · min^{-1} et le diamètre intérieur de la bobine (sur le dérouleur et sur l'enrouleur) est égal à $d_i = 450$ mm.

Q 1. Mettre en place l'actigramme SADT de niveau A-0, et faire apparaître : les matières d'œuvre entrantes et sortantes, la fonction globale. (Répondre sur le document réponse DR1.)

Q 2. Compléter le diagramme FAST présent sur le document réponse DR1 de la ligne de détensionnement, en précisant les solutions techniques retenues.

III Étude de la fonction technique FT 1.1 (dérouler la tôle) et FT 1.3 (générer le mouvement de la tôle)

Objectif

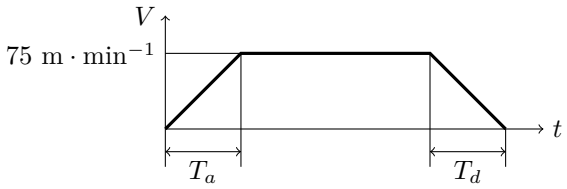
Vérifier les choix technologiques liés à la gestion de la vitesse de déroulement et de l'effort de traction ; valider la fonction technique FT 1.1 et FT 1.3.

Dans un premier temps, on étudie le rôle du moteur présent sur le dérouleur d'entrée, puis on valide la motorisation et la commande du premier moteur du bloc en S assurant la vitesse de déroulement de la bande.

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

La bobine de cuivre présente sur le dérouleur sera mise en mouvement à vitesse constante, une traction sera présente dans la bande. Le rouleau d'entrée du bloc en S qui est en contact avec la tôle venant du dérouleur via le rouleau déflecteur d'entrée, assure la vitesse de déroulement de la tôle voir **figure 17**. La loi de commande des 2 moteurs d'entraînement liés aux 2 rouleaux du bloc en S d'entrée, est une loi en trapèze de vitesse (**figure 1**), la durée de la phase d'accélération est de 5 secondes.

BY-NC-SA



$T_a = 5$ s = temps d'accélération
$T_d = 5$ s = temps de décélération

Figure 1

Pendant cette phase de mise en mouvement de la tôle, la contrainte transmise à la tôle doit rester dans le domaine élastique du matériau. Les caractéristiques du cuivre constituant la bande sont les suivantes :

Dénomination du matériau de la tôle traitée	Cu FPG
Composition	Cu > 99,61% Fe : 0,05 à 0,15% P : 0,025 à 0,04% autres < 0,2%
Limite de rupture maximale à la traction	$\sigma_r = 380$ MPa
Limite apparente d'élasticité maximale à la traction	$\sigma_e = 300$ MPa
Module d'élasticité	$E = 128000$ MPa

Pour l'ensemble de l'étude, on suppose que l'on traite une bobine de cuivre (de densité 8,92) de 1800 kg, dont le profil est défini sur la **figure 19**. On pourra prendre comme diamètre extérieur de la bobine présente sur l'enrouleur $D_e = 1635$ mm, et comme diamètre intérieur $D_i = 450$ mm. Le moment d'inertie de l'axe du dérouleur d'entrée supportant la bobine est $J_d = 30$ kg · m^2.

Q 3. Déterminer pour la bobine étudiée, la valeur du moment d'inertie autour de l'axe de rotation du dérouleur, lorsque celle-ci vient d'être mise en place sur le dérouleur.

Q 4. Déterminer la force de traction à exercer sur la tôle pour assurer le déroulement de la bobine lors de la phase de montée en vitesse (on se placera dans le cas où le moteur du dérouleur n'est pas alimenté).

Q 5. Vérifier la compatibilité de l'effort de traction exercée sur la bande face aux caractéristiques d'élasticité du matériau.

Q 6. Valider malgré tout la nécessité de mettre en place une motorisation sur le dérouleur d'un point de vue fonctionnel.

On souhaite que la contrainte interne de la tôle lors du déroulage atteigne 90% de la limite élastique du matériau. À ce moteur est associé un réducteur de vitesse de forte réduction $r_d = 500$.

Q 7. Calculer la valeur du couple minimal nécessaire que doit fournir ce moteur pour assurer l'entraînement de la tôle avec la condition préalablement définie.

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

Objectif

Concevoir et valider la régulation en vitesse du premier bloc en S.

Pour cela, on modélise le système électromécanique afin d'étudier deux lois de commande différentes pour la régulation de vitesse. La première loi de commande consiste à réguler directement la vitesse de rotation alors que la deuxième consiste à mettre en cascade une boucle de courant et une boucle de vitesse. Nous montrerons que la régulation de type cascade est plus performante en terme de temps de réponse et qu'elle permet de limiter le courant dans le moteur dans le cas de défaut sur le système.

Le bloc d'entrée en S est constitué de deux rouleaux de géométrie identique. Le premier rouleau d'entrée, RE_1, est régulé en vitesse ; il assure le déroulement du cuivre à vitesse constante. Le second, RE_2, est régulé en couple, il assure une tension constante dans le cuivre à l'entrée de la zone de détensionnement. Les définitions des grandeurs physiques du système sont données dans le **tableau 1**.

III.B.1) Première loi de commande : régulation directe de la vitesse de rotation de RE_1

Q 8. En considérant le schéma bloc de la machine à courant continu de la **figure 2**, exprimer la fonction de transfert $MCC(p) = \Omega(p)/u_m(p)$ en supposant que le couple résistant C_r est nul.

Q 9. Mettre la fonction de transfert $MCC(p)$ sous la forme

$$MCC(p) = \frac{\Omega(p)}{u_m(p)} = \frac{K_{mcc}}{1 + ap + bp^2}$$

et exprimer K_{mcc} en fonction de K, R et f.

BY-NC-SA

Description	Notation	Valeur
Inertie équivalente ramenée au niveau de l'arbre du moteur	J	$30\ \text{kg}\cdot\text{m}^2$
Coefficient de frottement visqueux équivalent	f	$0{,}1\ \text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{rad}^{-1}\cdot\text{s}$
Résistance de l'induit du moteur à courant continu	R	$0{,}1\ \Omega$
Inductance de l'induit du moteur à courant continu	L	0,01 H
Constante de couple du moteur à courant continu	K	$1\ \text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{A}^{-1}$
Constante de force électromotrice du moteur à courant continu	K	$1\ \text{V}\cdot\text{rad}^{-1}\cdot\text{s}$
Gain du hacheur quatre quadrants	G	10
Constante de temps du capteur de courant	τ_i	8×10^{-6} s
Gain du capteur de courant	g_i	$0{,}1\ \text{V}\cdot\text{A}^{-1}$
Constante de temps du capteur de vitesse	τ_v	8×10^{-5} s
Gain du capteur de vitesse	g_v	$1\ \text{V}\cdot\text{rad}^{-1}\cdot\text{s}$

Tableau 1 Liste des grandeurs physiques du système

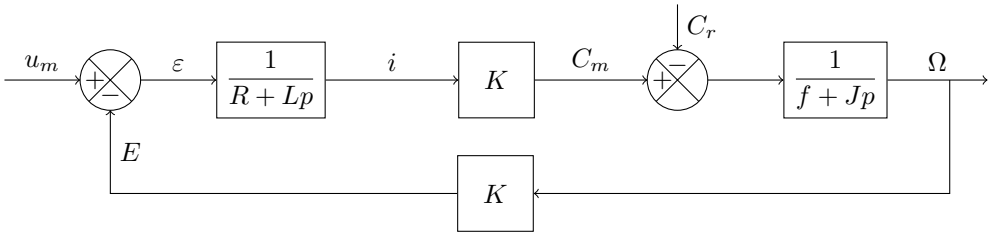


Figure 2 Schéma bloc de la machine à courant continu du rouleau RE_1

Q 10. Montrer qu'avec les valeurs numériques du **tableau 1**, $MCC(p)$ pourra se mettre sous la forme factorisée suivante :

$$MCC(p)=\frac{\Omega(p)}{u_m(p)}=\frac{K_{mcc}}{(1+\tau_e p)(1+\tau_{em}p)}$$

avec : $\tau_e=\dfrac{L}{R}$ et $\tau_{em}=\dfrac{RJ}{K^2+Rf}$.

On considère que le hacheur quatre quadrants (réversible en courant et en tension) utilisé est modélisé par un gain pur G, que le capteur de vitesse a un gain pur g_v et une constante de temps τ_v et que le correcteur $C_1(p)$ permet de réguler la vitesse Ω. Le schéma bloc de la régulation est donné **figure 3**.

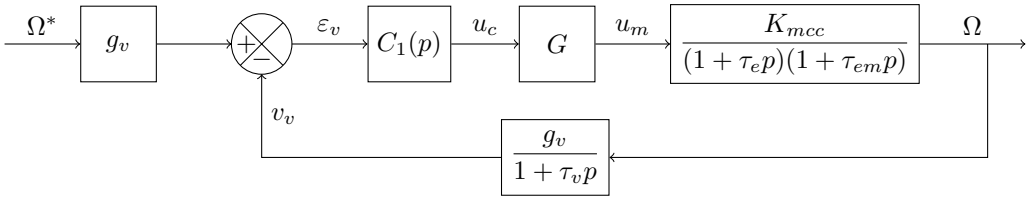


Figure 3 Schéma bloc de la régulation en vitesse du rouleau RE_1

Q 11. Écrire la fonction de transfert en boucle ouverte du système en considérant que le couple résistant est nul ($C_r=0$) : $FTBO_1(p)=v_v(p)/\varepsilon_v(p)$.

On suppose que le correcteur C_1 est de type proportionnel-intégrale (PI). Il s'écrit sous la forme

$$C_1(p)=K_1\frac{1+T_{i1}\,p}{T_{i1}\,p}$$

Q 12. Justifier le choix de ce type de correcteur pour assurer la régulation de la vitesse de RE_1.

Q 13. On prend $T_{i1}=\tau_{em}$, donner de nouveau l'expression de la fonction de transfert en boucle ouverte $FTBO_1(p)$.

Q 14. Sur la **figure 4** est tracé le diagramme de Bode (module et phase) de la fonction de transfert en boucle ouverte $FTBO_1(p=j\omega)$ avec $T_{i1}=3$ s et $K_1=1$. Déterminer la valeur de K_1 afin d'avoir une marge de phase $\Delta\phi=60°$.

Q 15. Déterminer la valeur de la pulsation de coupure ω_{c1}. Pour un système du second ordre bouclé, on vérifie que la pulsation de coupure ω_c et le temps t_m du premier maximum de la réponse indicielle en boucle fermée sont liés par une formule approchée $\omega_c\,t_m=3$. En appliquant cette formule au système étudié, déterminer le temps t_{m1} du premier maximum de la réponse indicielle en boucle fermée.

BY-NC-SA

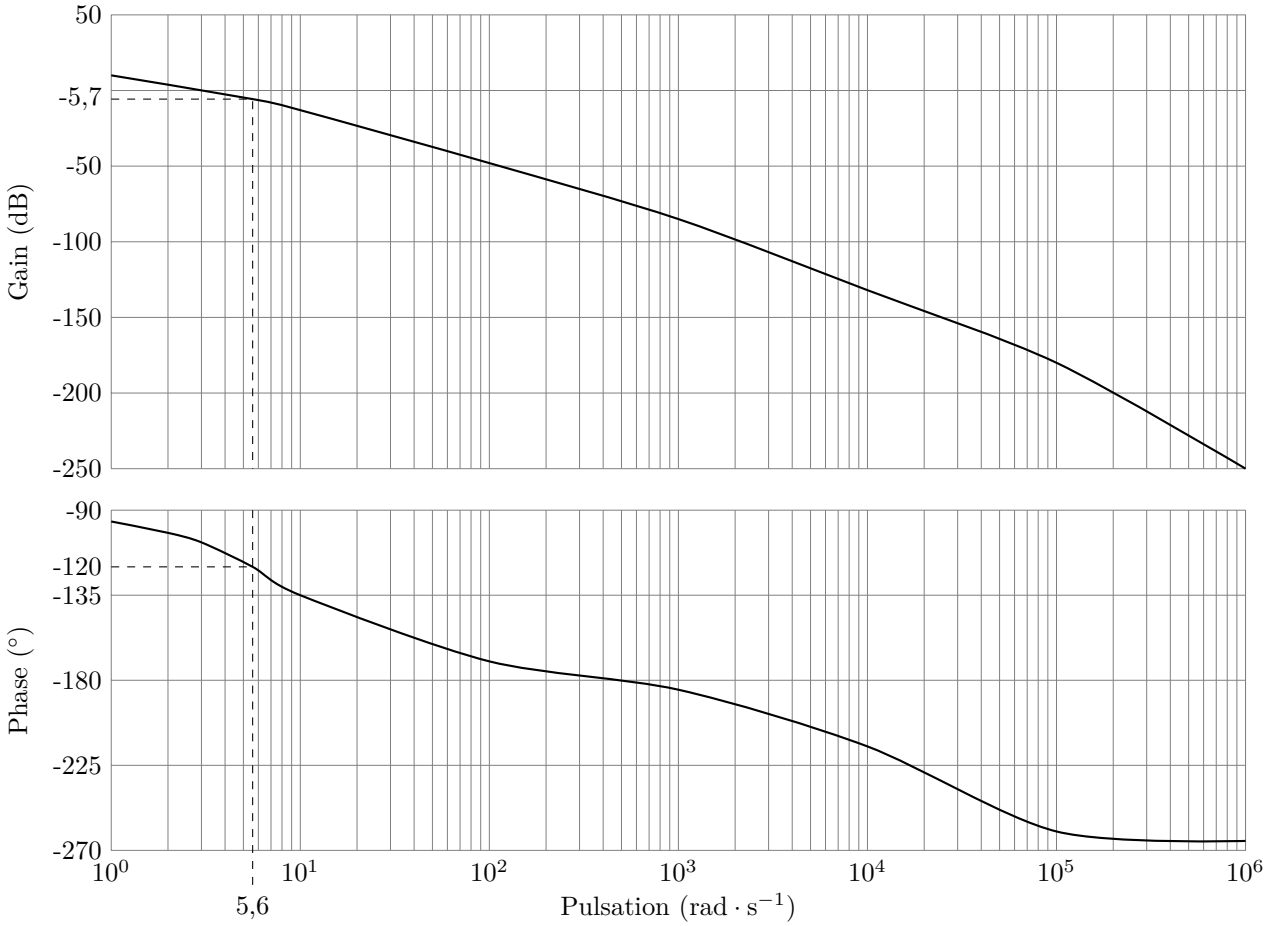


Figure 4 Diagramme de Bode de la fonction de transfert $FTBO_1$ pour $K_1 = 1$ et $T_{i1} = \tau_{em}$

III.B.2) Deuxième loi de commande : régulation cascade de RE_1

Dans un deuxième temps, on considère une boucle de régulation de courant afin de contrôler cette grandeur. Ensuite, une régulation de vitesse est mise en cascade sur l'entrée de la boucle de courant.

Afin de réguler le courant dans le moteur associé à RE_1, on mesure cette grandeur à l'aide d'un capteur ayant un gain g_i et une constante de temps τ_i. On reprend l'expression de $MCC(p) = \Omega(p)/u_m(p)$ de la **question 9** sachant que le couple résistant est nul ($C_r = 0$). On exprime cette fonction de transfert $MCC(p)$ en un produit de deux fonctions de transfert FT_1 et FT_2 telles que :

$$MCC(p)\Big|_{C_r=0} = FT_1(p)FT_2(p)$$

$$FT_1(p)\Big|_{C_r=0} = \frac{i(p)}{u_m(p)}$$

$$FT_2(p)\Big|_{C_r=0} = \frac{\Omega(p)}{i(p)}$$

Q 16. Montrer que :

$$FT_1(p)\Big|_{C_r=0} = \frac{i(p)}{u_m(p)} = \frac{\frac{K_{mcc}f}{K}\left(1+\frac{J}{f}p\right)}{(1+\tau_e p)(1+\tau_{em}p)}$$

$$FT_2(p)\Big|_{C_r=0} = \frac{\Omega(p)}{i(p)} = \frac{\frac{K}{f}}{1+\frac{J}{f}p}$$

Le schéma bloc de la régulation de courant est donné **figure 5**. On définit C_2 le correcteur de la boucle de courant.

Q 17. Donner l'expression de la fonction de transfert en boucle ouverte $FTBO_2(p) = v_i(p)/\varepsilon_i(p)$ sachant que le couple résistant est nul ($C_r = 0$).

On suppose que le correcteur C_2 est de type proportionnel-intégral (PI). Il s'écrit sous la forme

$$C_2(p) = K_2\frac{1+T_{i2}p}{T_{i2}p}$$

BY-NC-SA

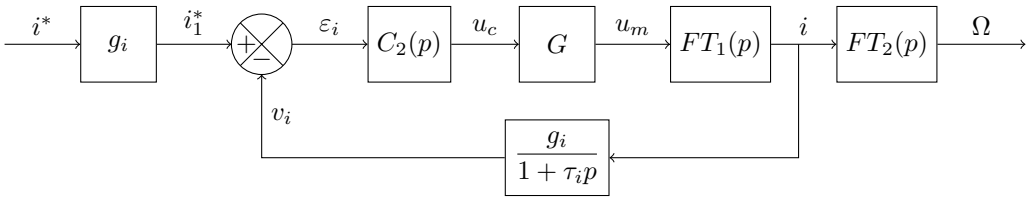


Figure 5 Schéma bloc de la régulation en courant de RE_1

Q 18. On prend $T_{i2} = \tau_e$, donner de nouveau l'expression de la fonction de transfert en boucle ouverte $FTBO_2(p)$.

Q 19. Sur la **figure 6** est tracé le diagramme de Bode (module et phase) de la fonction de transfert en boucle ouverte $FTBO_2(p = j\omega)$ avec $T_{i2} = \tau_e$ et $K_2 = 1$. Déterminer la valeur de K_2 afin d'avoir une marge de phase $\Delta\phi$ de 60°.

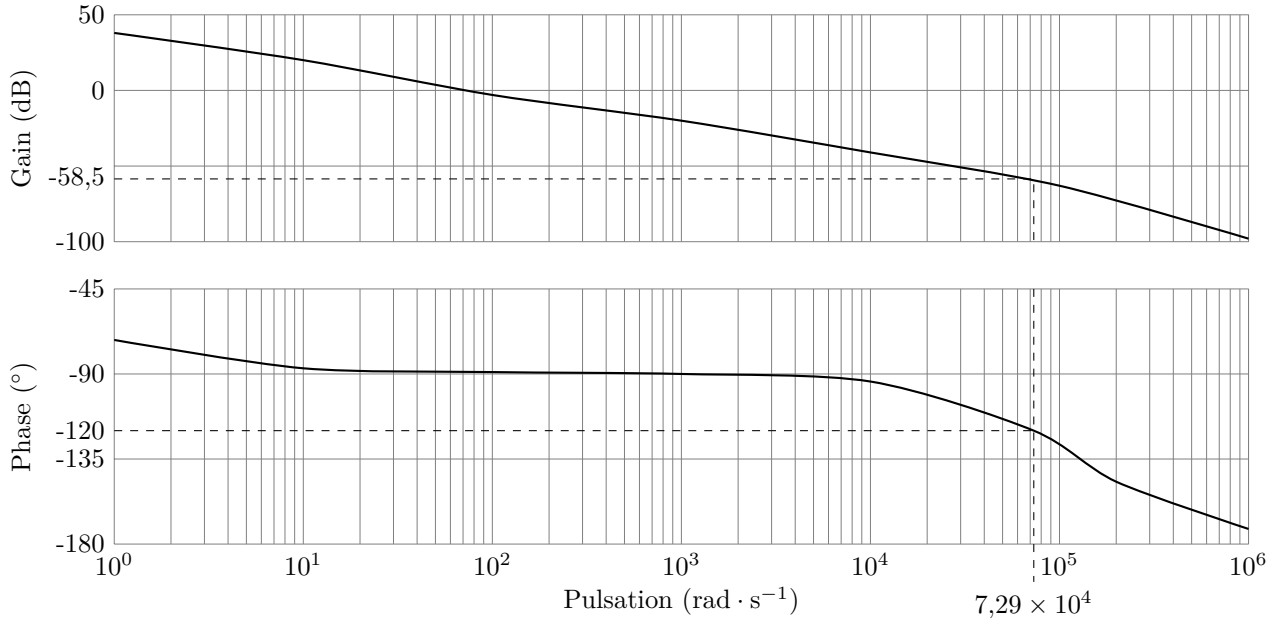


Figure 6 Diagramme de Bode de la fonction de transfert $FTBO_2$ pour $K_2 = 1$ et $T_{i2} = \tau_e$

Q 20. Déterminer la valeur de la pulsation de coupure ω_{c2}. En appliquant la formule $\omega_c t_m = 3$ donnée précédemment, déterminer une valeur numérique du temps de premier maximum (t_{m2}) de la réponse indicielle du système en boucle fermée.

Afin de simplifier l'approche analytique, on suppose que le coefficient de frottement visqueux f et la constante de temps τ_i sont nuls.

Q 21. Donner l'expression de la fonction de transfert en boucle fermée $i(p)/i^*(p)$.

On cherche à donner l'expression de $i(p)$ lors d'un échelon sur la consigne en courant de 1 A. On considère que la transformée de Laplace de la consigne en échelon est donnée par :

$$i^*(p) = \frac{i_0}{p}$$

Q 22. Écrire $i(p)$ sous la forme suivante :

$$i(p) = \frac{1}{p}\frac{H_0}{1+\tau_0 p}$$

Q 23. Donner les expressions analytiques de H_0 et τ_0.

Q 24. Calculer les valeurs numériques de H_0 et τ_0.

On souhaite effectuer la décomposition en éléments simples de l'expression de $i(p)$ pour arriver à la forme suivante :

$$i(p) = \frac{A}{p} + \frac{B}{1+\tau_0 p}$$

Q 25. Montrer que $A = H_0$ et $B = -H_0\tau_0$.

BY-NC-SA

On admet que la transformée de Laplace inverse $\mathfrak{L}^{-1}$ d'une fonction du type $1/(p+a)$ est $e^{-at}\gamma(t)$ où $\gamma(t)$ est un échelon unitaire

$$\mathfrak{L}^{-1}\left(\frac{1}{p+a}\right) = e^{-at}\gamma(t)$$

et que

$$\mathfrak{L}^{-1}\left(\frac{1}{p}\right) = \gamma(t)$$

Q 26. Donner l'expression analytique de $i(t)$.

Q 27. Tracer l'allure de $i(t)$ en faisant apparaitre la constante de temps principale du système.

On admet que la fonction de transfert en boucle fermée (boucle de courant) peut être écrite sous la forme

$$\frac{i(p)}{i^*(p)} = \frac{H_0}{1+\tau_0 p}$$

Le couple résistant est nul ($C_r = 0$) avec $H_0 = 1$ et $\tau_0 = 1{,}21 \times 10^{-5}$ s. Le schéma bloc de la régulation en vitesse est donné **figure 7**.

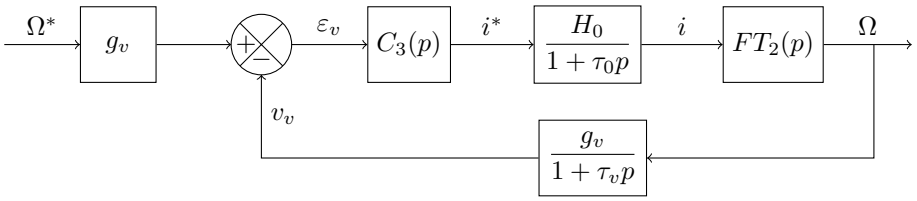


Figure 7 Schéma bloc de la régulation en vitesse de RE_1 avec régulation de courant

On suppose que le correcteur C_3 est de type proportionnel-intégrale (PI). Il s'écrit sous la forme

$$C_3(p) = K_3\frac{1+T_{i3}p}{T_{i3}p}$$

Q 28. On prend $T_{i3} = J/f$, donner l'expression de la fonction de transfert en boucle ouverte $FTBO_3(p) = v_v(p)/\varepsilon_v(p)$.

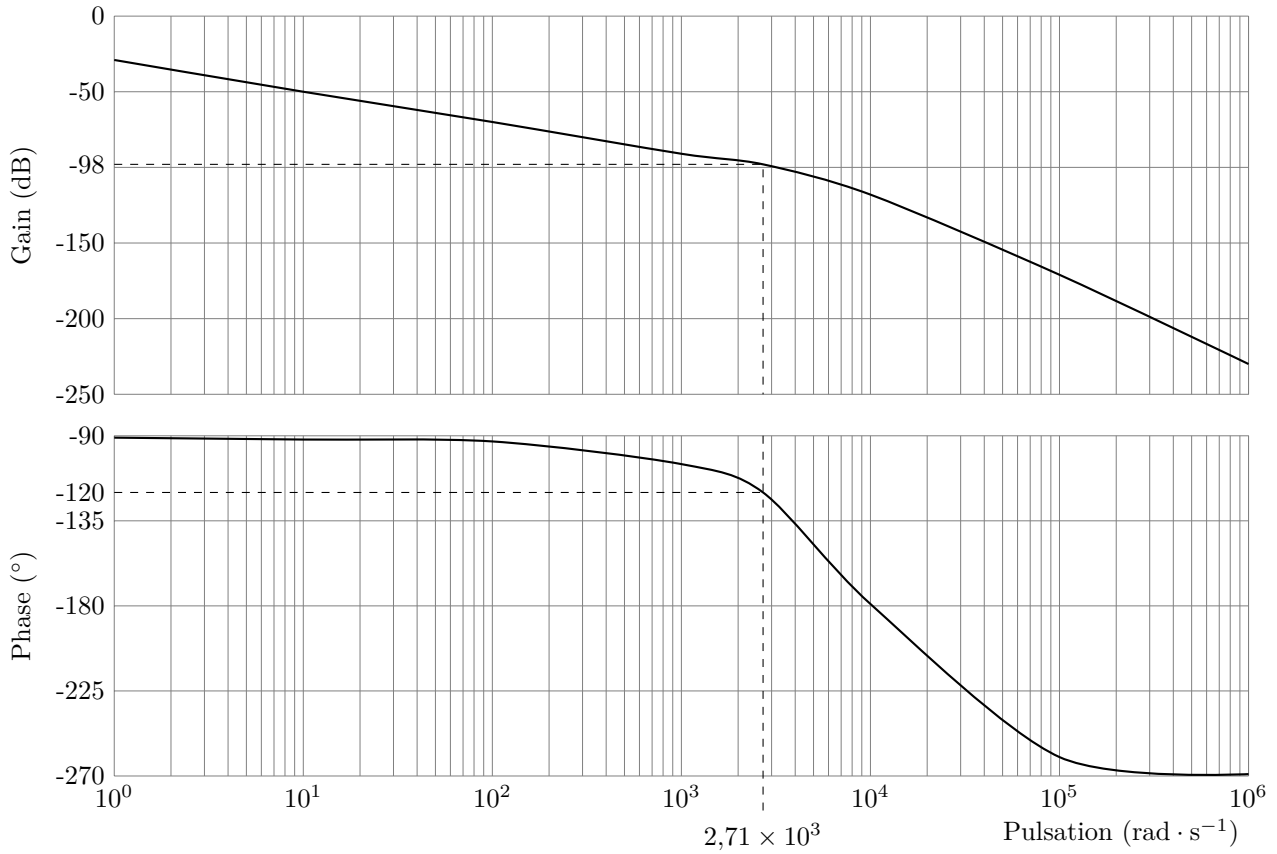


Figure 8 Diagramme de Bode de la fonction de transfert $FTBO_3$ pour $K_3 = 1$ et $T_{i3} = J/f$

BY-NC-SA

Sur la **figure 8** est tracé le diagramme de Bode (module et phase) de la fonction de transfert en boucle ouverte $FTBO_3(p = j\omega)$ avec $T_{i3} = J/f$ et $K_3 = 1$.

Q 29. Déterminer la valeur de K_3 afin d'avoir une marge de phase $\Delta\phi$ de 60°.

Q 30. Déterminer la valeur de la pulsation de coupure ω_{c3}. En appliquant la formule $\omega_c\, t_m = 3$, précédemment donnée, déterminer une valeur numérique du temps t_{m3} de premier maximum de la réponse indicielle du système en boucle fermée.

Q 31. Comparer les temps de réponse de la boucle de régulation de vitesse sans (**question 20**) et avec (**question 30**) régulation de courant.

Q 32. Que dire de l'apport de la boucle de courant vis-à-vis de la boucle de vitesse ?

Q 33. Proposer une solution sur la loi de commande pour limiter le courant dans le moteur de RE_1 dans le cas où la bande se bloque dans le système.

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

Objectif

Vérifier les performances nécessaires du moteur du rouleau d'entrée assurant l'entraînement de la bande et réaliser le choix de ce moteur dans une documentation constructeur.

L'effort de traction de la bande présent lors du déroulement est de 64530 N. L'angle d'enroulement de la bande sur le rouleau est de $3\pi/2$ et le coefficient d'adhérence entre la bande et le rouleau est $f = 0{,}1$.

On rappelle que la relation entre les tensions présentes dans une bande est $T = te^{f\theta}$.

Le diamètre du rouleau d'entraînement est $D_{re} = 600$ mm et son moment d'inertie est $J_{re} = 15\ \text{kg} \cdot \text{m}^2$. Entre ce rouleau et son moteur est présent un réducteur de réduction $r = 45$. La loi de commande du moteur est similaire à celle précédemment utilisée.

Q 34. Calculer la fréquence de rotation du rouleau d'entraînement pour assurer la vitesse constante de la tôle.

Q 35. Calculer la valeur du couple nécessaire sur le rouleau pour assurer le mouvement de la tôle, à la limite d'adhérence.

Q 36. Calculer la valeur du couple moteur nécessaire.

Q 37. Calculer la valeur de la fréquence de rotation minimale nécessaire du moteur avec les conditions de vitesse de déroulement maximale que peut assurer la ligne.

Q 38. À partir des valeurs précédentes et de la documentation constructeur présente sur la **figure 22**, déterminer le moteur à courant continu pouvant convenir à cette application. On se placera dans le cas d'un moteur compensé (colonne C dans le tableau).

Q 39. Pendant le déroulement de la tôle le diamètre de la bobine varie, quelle grandeur physique liée au moteur variera ?

Q 40. Quel type de régulation faudra-t-il mettre en place au niveau du moteur ?

IV Étude de la FT 1.4 : Réaliser une traction de la tôle

Objectif

Vérifier que la tôle ne subit pas une déformation plastique trop importante qui transmettrait à la tôle une déformation permanente supérieure à 0,09%.

Pour cela on étudie les différentes vitesses présentes au travers de la zone de détensionnement. On valide la motorisation et la commande du moteur de sortie assurant la traction de la bande dans le bloc en S, avant son entrée dans la zone de détensionnement. On vérifie la nécessité de la présence du moteur d'appoint asynchrone présent dans la zone de détensionnement. Enfin on détermine le diamètre des différents rouleaux qui réalisent la déformation plastique de la bande.

L'unité de détensionnement (voir figures **16** et **18**) comporte 4 rouleaux, qui sont en lien cinématique direct par paire entre eux cela par l'intermédiaire de train d'engrenage. On a donc les deux premiers rouleaux (R1 et R2) qui possèderont la même vitesse angulaire due au fait que les deux engrenages ont le même nombre de dents, et de même pour les deux rouleaux suivant (R3 et R4). La vitesse de rotation de ces 4 rouleaux est transmise par adhérence à la bande. Un moteur asynchrone d'appoint présent entre les deux paires de rouleaux permet un apport intermédiaire pour éviter toute traction supplémentaire de la tôle entre les deux paires de rouleaux.

Le principe du détensionnement a pour but d'homogénéiser la contrainte résiduelle interne du matériau permettant d'obtenir un équilibre de la matière et donc une stabilité lors de la découpe de la tôle chez le client. Pour réaliser la mise en place de cette déformation on devra gérer l'effort transmis à la bande pour entrer dans le domaine plastique et le maintenir à une valeur constante. La mise en traction de la bande est réalisée par l'intermédiaire des rouleaux de traction des blocs en S d'entrée et de sortie, qui sont situés de part et d'autre de la zone de détensionnement. Cette traction se fera au tout début du domaine plastique. Puis une légère

BY-NC-SA

déformation supplémentaire de la bande est réalisée par une différence de vitesse tangentielle entre les rouleaux plats R2 et R3. Ainsi une petite déformation plastique est réalisée permettant d'homogénéiser les contraintes.

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

Le rouleau de traction du bloc en S d'entrée (voir **figure 17**) est articulé sur un support muni d'un capteur d'effort et motorisé. Il assure la traction de la bande par une régulation en couple, avant son entrée dans la zone de détensionnement. L'effort est imposé à la bande et pour cela il est régulé à une valeur permettant d'obtenir une contrainte supérieure de 10% à la limite élastique du matériau, étant ainsi au début du domaine plastique. Le profil de la bande est défini sur la **figure 19**, ainsi que les rouleaux associés avec leurs profils (figure **20** et **21**).

Le diamètre du rouleau de traction est $D_{rt} = 600$ mm. On considère que l'on est dans la phase de travail de détensionnement à vitesse constante de 75 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$. De même que pour le rouleau d'entrée, un réducteur est présent entre le rouleau et le moteur dont la réduction est $r = 45$, standardisant ainsi l'ensemble. De même que précédemment, l'angle d'enroulement de la bande sur le rouleau est de $3\pi/2$ et le coefficient d'adhérence entre la bande et le rouleau est $f = 0{,}1$.

Q 41. Déterminer l'effort maximal à transmettre à la tôle pour assurer les conditions de contraintes définies précédemment.

Q 42. Calculer la valeur du couple nécessaire pour assurer l'effort de traction dans ces conditions.

Le souhait est de standardiser au maximum les différents actionneurs et transmetteurs présent sur cette ligne.

Q 43. Est-il possible d'utiliser le même moteur qui a été déterminé à la **question 38** pour le moteur du rouleau d'entraînement du bloc en S ? Conclusion.

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

L'action mécanique sur la bande (en entrée) a été déterminée ainsi que le couple moteur. Du fait que la bande subit un effort de traction constant dans la zone de détensionnement, l'effort généré par le rouleau de traction du bloc en S de sortie (présent à la sortie de la zone de détensionnement), est égal à l'action mécanique en entrée calculée précédemment.

Chacun des rouleaux de détensionnement possède une inertie autour de son axe $J_{rd} = 3{,}4$ $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ et la longueur de la bande présente dans la zone de détensionnement est $L_{\text{tôle}} = 14600$ mm. On considère que les liaisons pivots de chacun de ces rouleaux sont parfaites, et que la bande a atteint sa vitesse constante de défilement dans la zone de détensionnement de 75 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$.

Q 44. Isoler l'ensemble composé par {la longueur de bande + les 4 rouleaux de détensionnement} et appliquer le théorème de l'énergie cinétique. Faire apparaître clairement le bilan des différentes puissances présentes sur l'ensemble isolé. On considèrera que les vitesses en entrée et en sortie de la zone sont pratiquement similaires.

Q 45. Conclure sur la nécessité de ce moteur d'appoint asynchrone dans la zone de détensionnement et définir son rôle.

IV.C – Vérification du dimensionnement des rouleaux de détensionnement

Les rouleaux de détensionnement R2 et R3 assurent la déformation plastique de 0,09% transmise à la bande pour assurer l'homogénéité des contraintes. Pour cela une différence de diamètre entre ces deux rouleaux permettra de réaliser cette déformation et cela par le fait que les deux rouleaux R2 et R3 possèdent la même vitesse angulaire.

Les quatre rouleaux s'entraînent mutuellement à la même vitesse angulaire car ils possèdent chacun une même roue dentée (même diamètre primitif et même nombre de dents). Ensuite le rouleau R4 sera dimensionné de telle façon à ce que la vitesse atteinte par le rouleau R3 soit maintenue constante. Le diamètre du rouleau R2 est de 798,5 mm (voir figures **20** et **21**) et possède une vitesse angulaire permettant d'obtenir une vitesse linéaire de la bande de 75 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$.

Q 46. Expliquer comment et pourquoi cette différence de diamètre permet de réaliser une déformation plastique de la bande profilée.

Q 47. À partir de la valeur de la déformation plastique souhaitée, calculer l'allongement rémanent total de la tôle dont le profil est défini sur la **figure 19**, pour la bobine que l'on étudie.

Q 48. Calculer la valeur du diamètre D_3 du rouleau R3 à partir des dimensions du rouleau R2 (voir figures **20** et **21**) permettant d'assurer la déformation plastique.

Q 49. En déduire avec la même démarche la valeur des différents diamètres D_{4a} et D_{4b} du rouleau R4.

Q 50. Conclure quant à l'intérêt d'un tel moyen pour obtenir une déformation plastique.

BY-NC-SA

V Étude de la mesure du courant des moteurs à courant continu

Objectif

Étudier deux solutions technologiques permettant de mesurer le courant dans les machines à courant continu des rouleaux d'entraînement RE1 et RE2.

Pour cela, on étudie une première solution à base de résistance shunt et d'une chaîne d'amplification et de conditionnement du signal. Ensuite, une deuxième solution sur la base d'un capteur à effet Hall est proposée et comparée à la première.

La **figure 9** donne le synoptique de la chaîne d'alimentation d'un moteur à courant continu (MCC). On s'intéresse à la mesure du courant i.

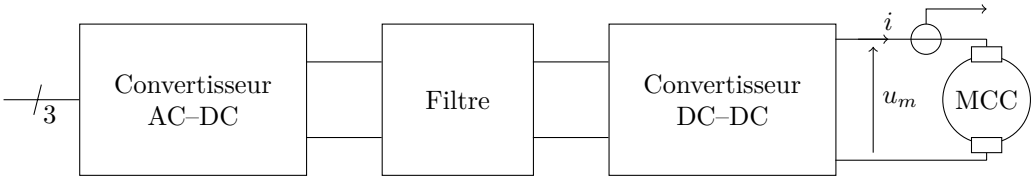


Figure 9 Synoptique de la chaîne d'alimentation d'un moteur à courant continu

V.A – Résistance shunt

La mesure du courant i se fait à l'aide de la mesure de la différence de potentiel aux bornes d'une résistance R_{shunt}. La **figure 10** donne le schéma électrique relatif au filtrage et à l'amplification pour la mesure du courant.

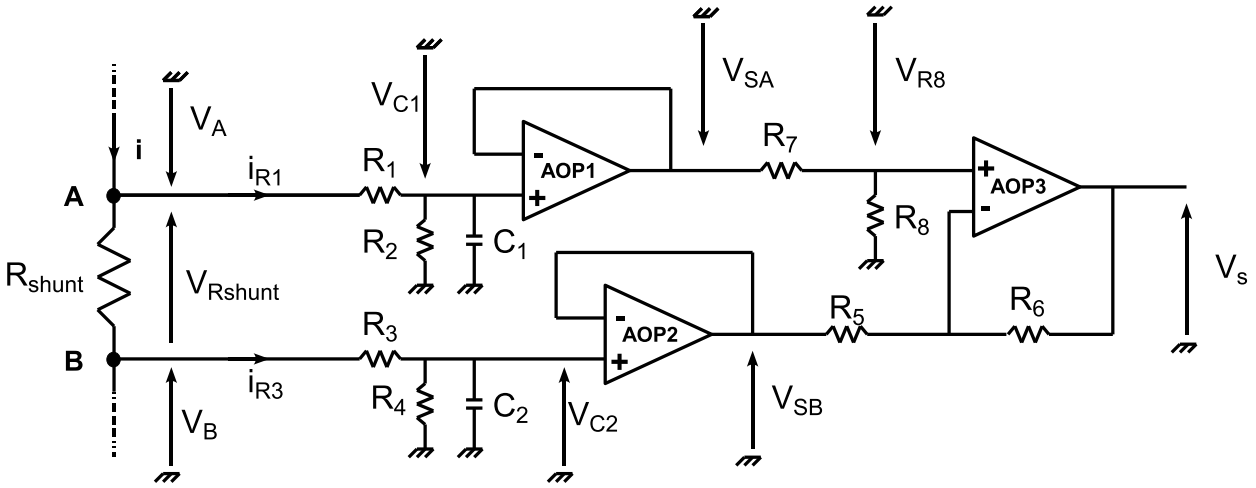


Figure 10 Schéma de la mesure de courant par résistance shunt

Q 51. Donner les expressions de V_{C1} et V_{C2} en fonction des tensions V_A et V_B et des éléments passifs (R_1, R_2, R_3, R_4, C_1 et C_2) en régime sinusoïdal.

Q 52. On suppose que les amplificateurs opérationnels sont idéaux. Donner les expressions de V_{SA} et V_{SB} en fonction de V_{C1} et V_{C2} en régime sinusoïdal.

Q 53. Donner l'expression de V_{R8} en fonction de V_{SA}, R_7 et R_8 (en régime sinusoïdal).

Q 54. Donner l'expression de V_S en fonction de V_{R8}, V_{SB}, R_5 et R_6 (en régime sinusoïdal).

Q 55. Poser une condition ou des conditions sur R_1, R_2, R_3, R_4, C_1, C_2, R_5, R_6, R_7 et R_8 pour que l'expression de V_S se mette sous la forme

$$V_S(j\omega) = \frac{g_i}{1 + j\omega\tau_i}\, i(j\omega)$$

Q 56. Donner les expressions de g_i et τ_i en fonction des éléments passifs.

V.B – Capteur à effet Hall

Dans la suite de cette partie, on considère une solution de mesure de courant sur la base d'un capteur à effet Hall disponible dans le commerce. Cette technologie permet de mesurer le courant circulant dans une piste ou dans un câble par mesure indirecte : le champ magnétique rayonné par le câble crée une tension qui est alors l'image du courant circulant dans celui-ci. Les figures **11** et **12** illustrent le principe de ce capteur de courant par effet Hall.

Ce capteur se présente sous la forme d'un circuit électronique intégré. Il fournit une tension, notée v, image du courant i. Lorsque le courant i est nul, la tension v est égale à 2,5 V. Lorsque le courant est minimal (c'est-à-dire

BY-NC-SA

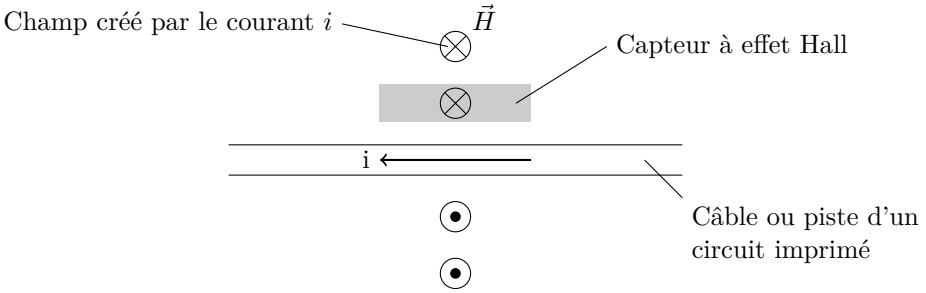


Figure 11 Schéma de principe du capteur de courant par effet Hall

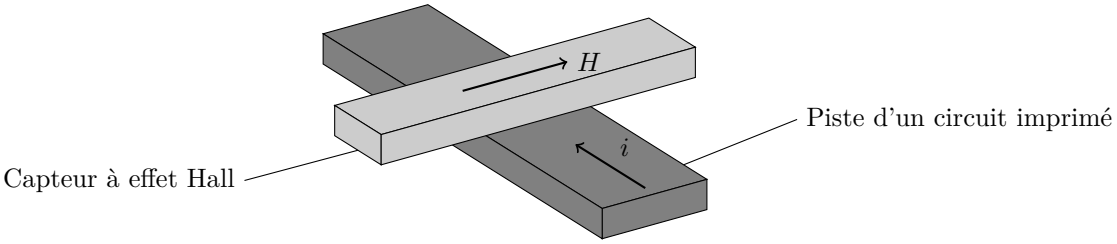


Figure 12 Exemple d'application du capteur de courant sur une piste de circuit imprimé

égal à -50 A), la tension v est nulle et quand le courant est maximal (égal à $i_{\max} = 50$ A), la tension v vaut $v_{\max} = 5$ V. La **figure 13** illustre la caractéristique statique $v = f(i)$ du capteur de courant.

Une phase de test de ce nouveau composant a permis de modéliser ce capteur par un gain pur et un retard pur. La **figure 14** donne la réponse temporelle du capteur à un échelon de courant. On voit que le retard pur est de 3 μs.

On note v la tension de sortie du capteur. On note $v_h(t) = v(t) - v_{\max}/2$. On admet que la modélisation du capteur est la suivante :

$$v_h(p) = \exp(-\tau_{\text{hall}}\, p)\; g_{\text{hall}}\; i(p)$$

Où τ_{hall} est le retard pur de 3 μs.

Q 57. Montrer que, en effectuant un développement limité d'ordre 1 de la fonction exponentielle, la modélisation du capteur peut se ramener à l'expression

$$v_h(p) = \frac{g_{\text{hall}}}{1 + \tau_{\text{hall}}\, p}\; i(p)$$

Q 58. Donner la valeur numérique de g_{hall}.

Si l'on reprend l'étude de la régulation de courant (**question 16**), la modélisation adoptée pour le capteur de courant est constituée d'un gain pur de 0,1 V $\cdot$ A^{-1} (g_i) et d'une constante de temps de 8 μs (τ_i).

Q 59. Sachant que τ_{hall} est égal à 3 μs, si l'on utilise le capteur à effet Hall pour la régulation de courant, peut-on s'attendre à des performances très différentes sur la boucle de courant si l'on ne change pas les coefficients du correcteur $C_2(p)$?

Q 60. Que faut-il faire pour obtenir $g_i = g_{\text{hall}}$? Proposer une solution technologique à base d'amplificateur(s) opérationnel(s).

VI Évolution de la ligne de détensionnement

Objectif

La production actuelle avec cette ligne est limitée, cela dû aux temps de chargement et de déchargement des bobines, et on souhaite donc pouvoir l'augmenter.

Q 61. Quel(s) sous ensemble(s) peut-on ajouter à la ligne pour améliorer la cadence de production sans être obligé de doubler la ligne de production ?

Q 62. Proposer une autre solution possible qui permette de réaliser une traction uniforme de la bande en utilisant toujours le principe des rouleaux.

BY-NC-SA

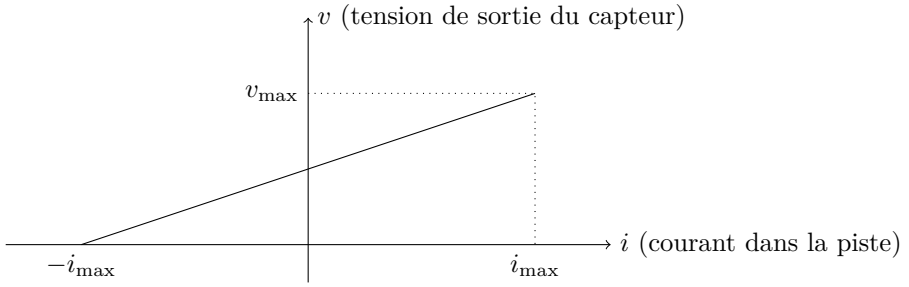


Figure 13 Caractéristique statique du capteur de courant par effet Hall : $v = f(i)$

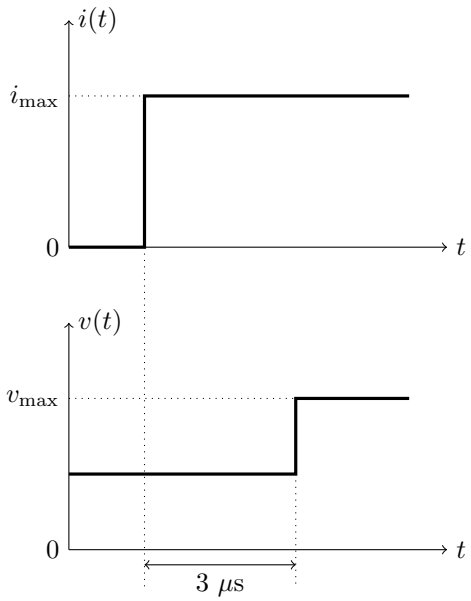


Figure 14 Réponse indicielle du capteur de courant pour un échelon de courant. Mise en évidence du retard pur de 3 μs

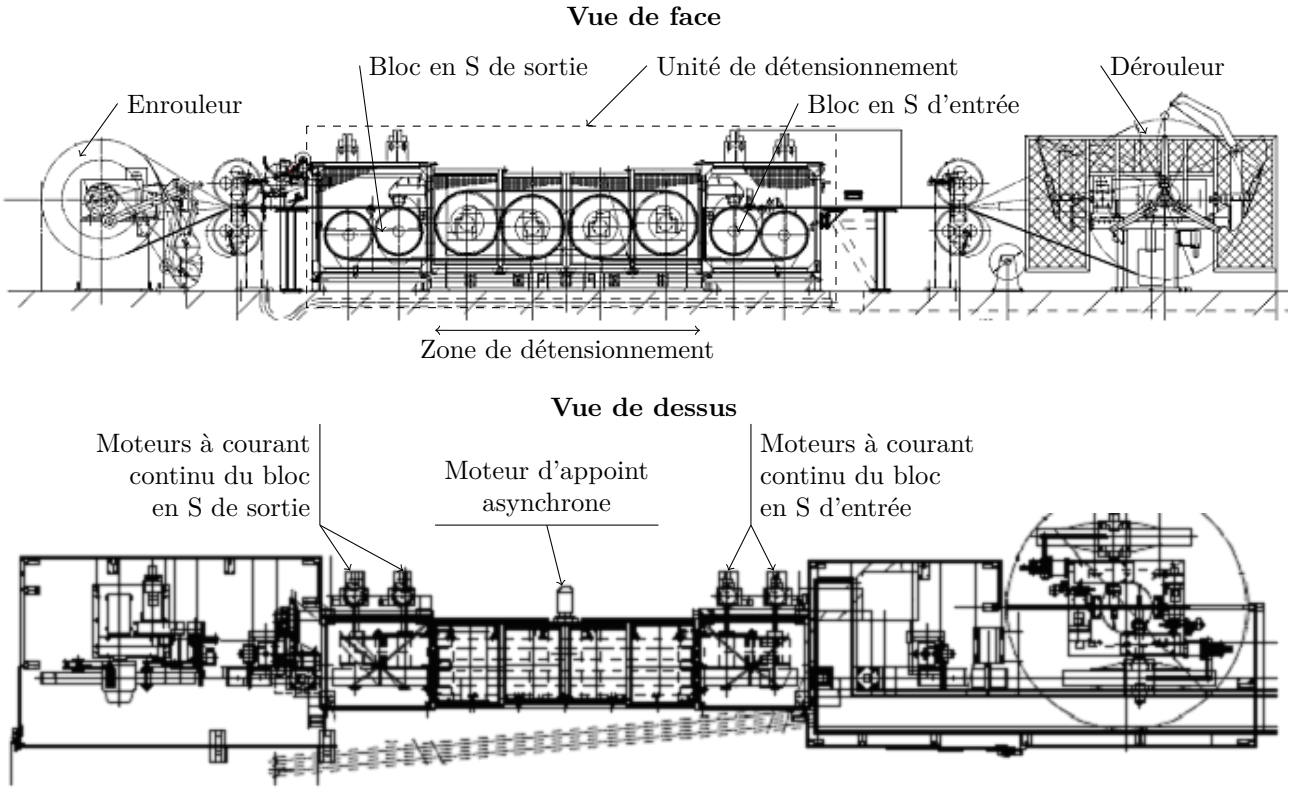


Figure 15 Schéma d'implantation de la ligne de détensionnement

BY-NC-SA

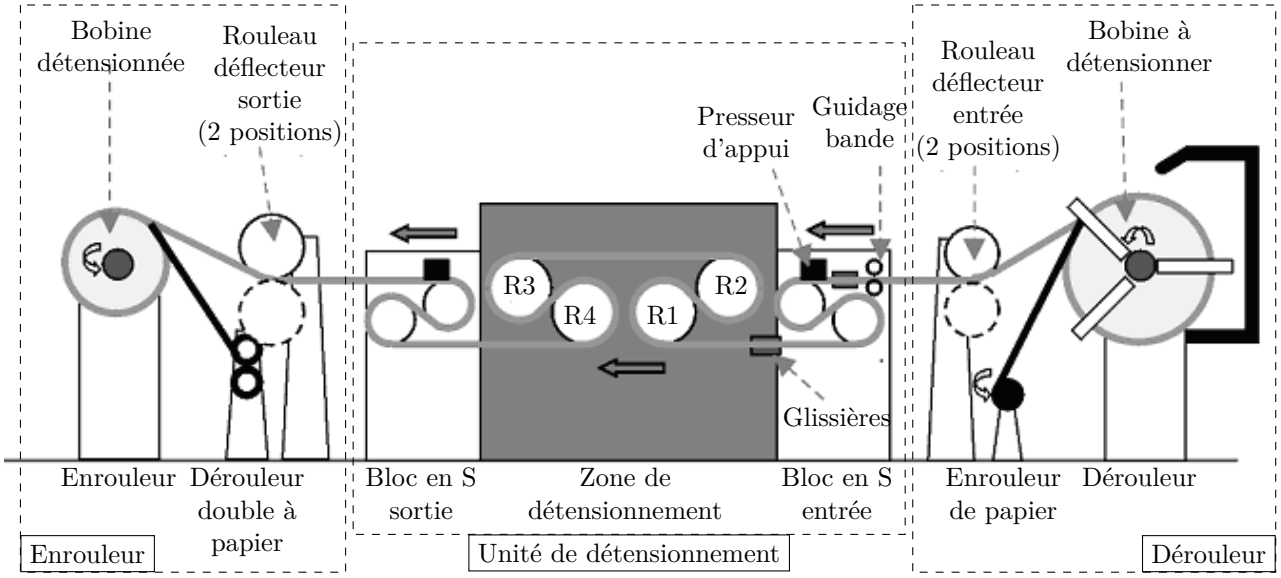


Figure 16 Schéma de principe de la ligne de détensionnement

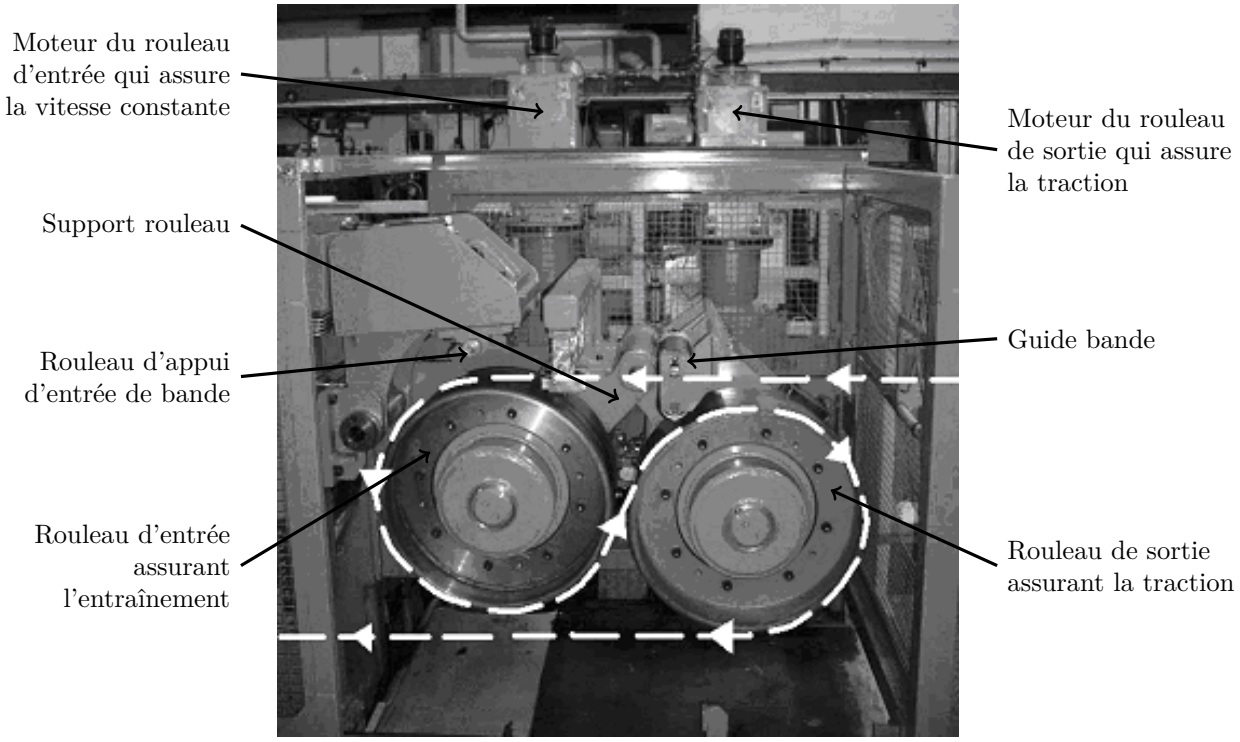


Figure 17 Photo du bloc en S d'entrée

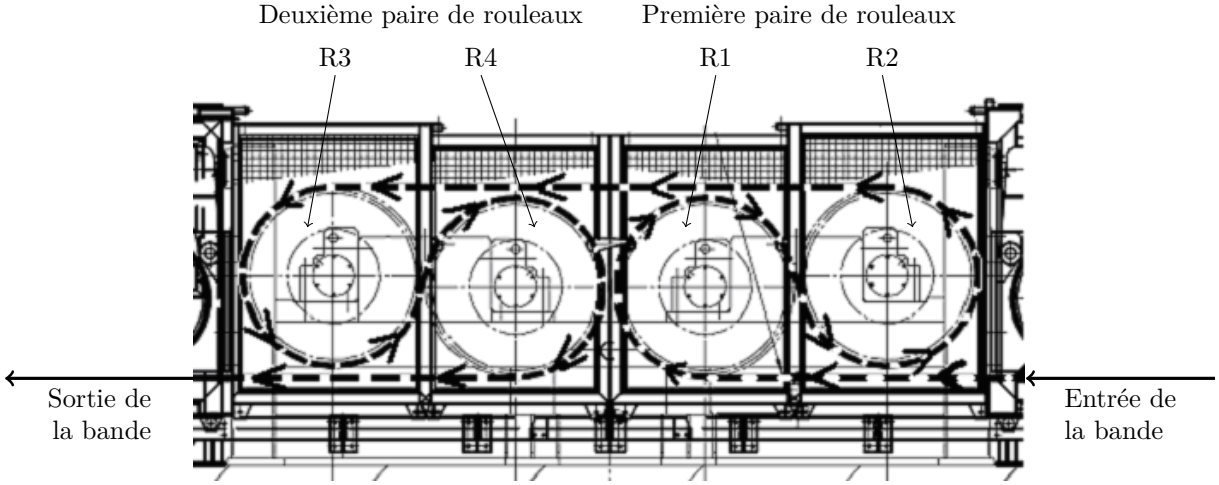


Figure 18 Zone de détensionnement

BY-NC-SA

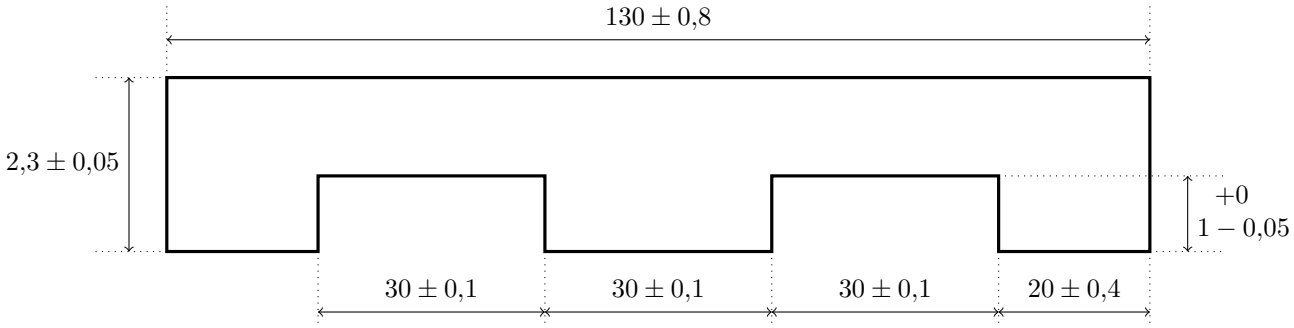
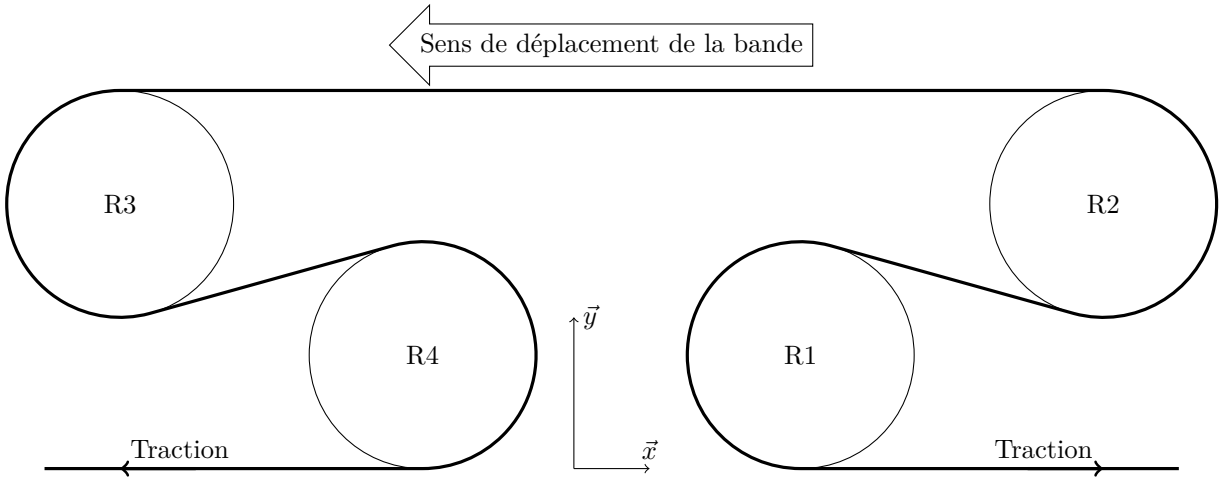


Figure 19 Profil de bande étudié pour le détensionnement



Rouleaux R1 et R4 : profilés — Rouleaux R2 et R3 : plats

Figure 20 Ensemble des rouleaux de la zone de détensionneement

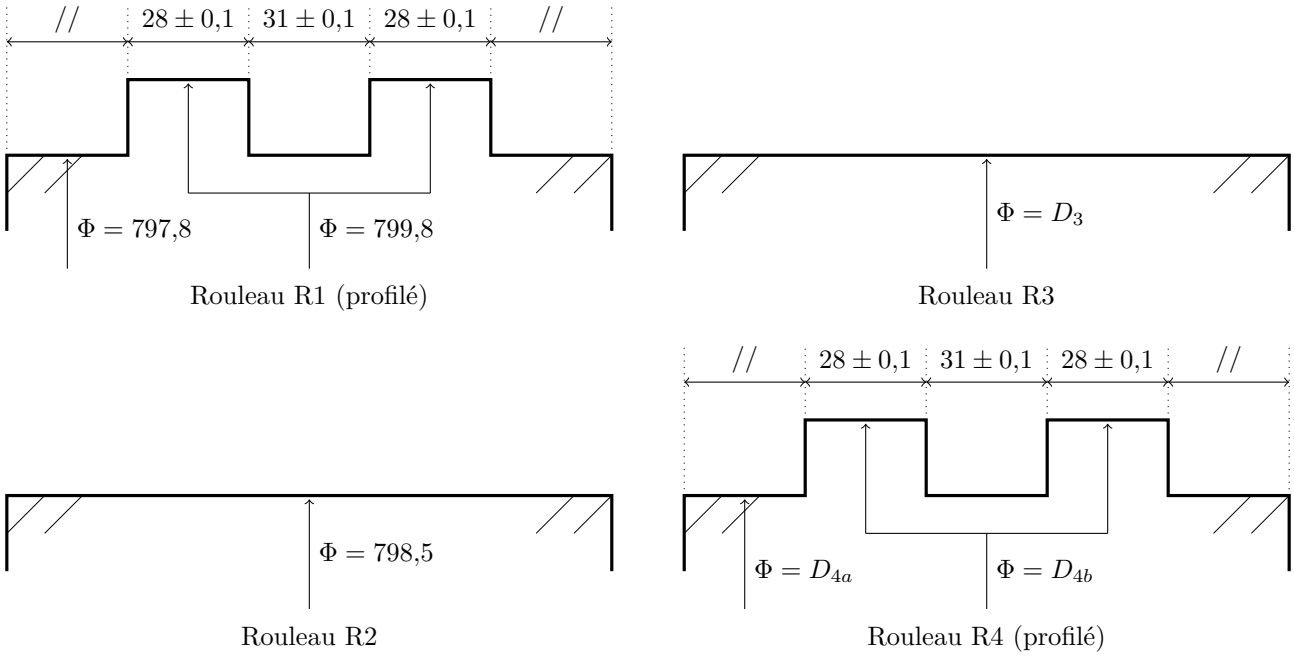


Figure 21 Profil des rouleaux de détensionneement

BY-NC-SA



Moteurs à courant continu ouverts
LSK 1604 M – LSK 1604C M

Moteur IP 23S - Ventilation IC 06 - Classe H
Alimentation en triphasé pont complet
Service S1 - Température ambiante ≤ 40°C - Masse totale : 325 kg - Moment d'inertie : 0,55 kg.m²
Puissance d'excitation : 1,6 kW - Vitesse maximale mécanique : 4 000 min⁻¹

P	Vitesse de rotation n pour tension d'induit U							n_{max} élec[1]		M	I	η	L	$R_{115°}$	U_{max}	
	260 V	400 V	420 V	440 V	460 V	500 V	600 V	N.C.	C.			Hors excit.				Indice
kW	min⁻¹	min⁻¹	min⁻¹	min⁻¹	min⁻¹	min⁻¹	min⁻¹	min⁻¹	min⁻¹	N.m	A		mH	Ω	V	
24.3	620							930	1490	374	121.5	0.77	8.8	0.562	500	
40.2		950						1330	2130	404	119.5	0.84	8.8	0.562	500	
42.3			990					1380	2210	408	118.5	0.85	8.8	0.562	500	04
44.1				1040				1450	2320	405	117.5	0.86	8.8	0.562	500	
45.4					1080			1510	2420	401	114.5	0.86	8.8	0.562	500	
47.8						1180		1650	2640	387	110	0.87	8.8	0.562	500	
56.2							1410		3170	381	107.5	0.87	5	0.562	600	t
29	740							1110	1780	374	140	0.80	6.5	0.429	460	
47.4		1130						1580	2530	401	138	0.85	6.5	0.429	460	
49.4			1190					1660	2660	396	136.5	0.86	6.5	0.429	460	05
52				1240				1730	2770	400	135.5	0.87	6.5	0.429	460	
53.2					1290			1800	2880	394	132.5	0.87	6.5	0.429	460	
56.3						1400			3110	384	128	0.88	3.7	0.53	600	t
65.5							1690		3730	370	124	0.88	3.7	0.53	600	t
37.9	910							1360	2180	398	171.5	0.85	4.4	0.249	600	
60.3		1390						1940	3100	414	169.5	0.89	4.4	0.249	600	
62.8			1460					2040	3260	411	168	0.89	4.4	0.249	600	
65.2				1530				2140	3420	407	166.5	0.89	4.4	0.249	600	06
67					1590			2220	3550	402	162	0.90	4.4	0.249	600	
70.2						1730		2400	3840	388	156	0.90	4.4	0.249	600	
82.4							2080	2700	4000	378	152.5	0.90	4.4	0.249	600	
46	1070							1710	2740	411	203	0.87	4.1	0.169	600	
72.7		1650						2360	3780	421	201.5	0.90	4.1	0.169	600	
75			1730					2400	3840	414	198.5	0.90	4.1	0.169	600	
78.3				1800				2500	4000	415	197.5	0.90	4.1	0.169	600	07
81					1870			2610	4000	414	193	0.91	4.1	0.169	600	
83.8						2040		2840	4000	392	184	0.91	4.1	0.169	600	
98.3							2450	3400	4000	383	180	0.91	4.1	0.169	600	
65	1580							2370	3790	393	280	0.89	1.57	0.08	460	
101		2420						3140	4000	399	275	0.92	1.57	0.08	460	
105			2540					3300	4000	395	272	0.92	1.57	0.08	460	10
109				2660				3450	4000	392	270	0.92	1.57	0.08	460	
114					2780			3600	4000	392	269.5	0.92	1.57	0.08	460	
123						3020			4000	388	264	0.93	0.9	0.1	600	t
145							3620		4000	383	260	0.93	0.9	0.1	600	t
74	1770							2440	3900	399	315	0.90	1.77	0.07	500	
108		2740						3750	4000	376	295	0.91	1.77	0.07	500	
111			2870					3930	4000	369	290	0.91	1.77	0.07	500	
117				3000				4000		372	289	0.92	1.77	0.07	500	11
122					3130			4000		372	286	0.93	1.77	0.07	500	
131						3400		4000		368	281	0.93	1.77	0.07	500	

1. de plus grandes plages de vitesse par désexcitation peuvent être étudiées en fonction de l'application : nous consulter.
t: moteur en version compensé uniquement : LSK 1604C M.

P : Puissance nominale
M : Moment nominal
I : Intensité admissible en régime permanent
η : Rendement
L : Self du moteur
R : Résistance de l'induit à 115 °C
U_{max} : Tension d'induit maximale
N. C. : Moteur non compensé
C : Moteur compensé

Figure 22 Moteurs à courant continu ouverts type LSK

• • • FIN • • •

BY-NC-SA

Ne rien écrire dans la partie barrée

Concours Centrale-Supélec 2011

NOM : _____ PRÉNOMS : _____

Signature :

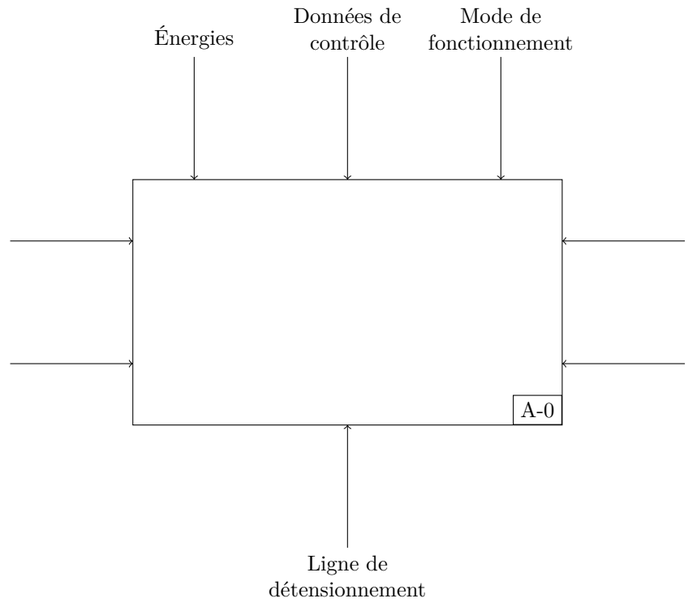
Composition de **S2I 2** Filière **TSI**

Ne rien porter sur cette feuille avant d'avoir rempli complètement cet en-tête

NUMÉRO DE PLACE

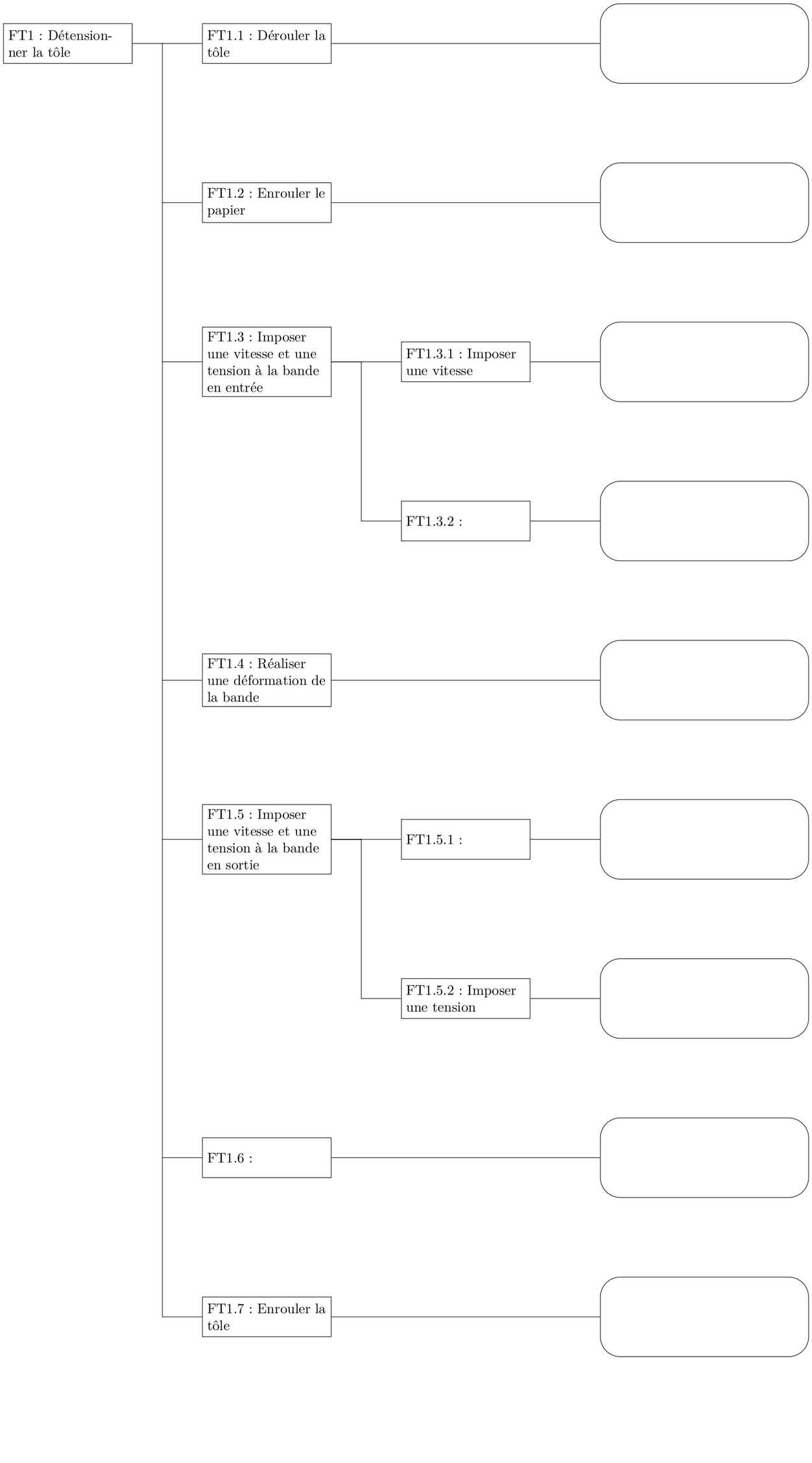
Document réponse DR1

Question 1



Question 2

Solution technique globale



Ne rien écrire dans la partie barrée

Ne rien écrire dans la partie barrée

Travailler les chapitres de ce sujet

Prepa Help suit le programme de TSI chapitre par chapitre : cours détaillé, méthodes, pièges, exercices et problèmes corrigés pas à pas, tirés des concours. L'essai gratuit donne accès aux chapitres offerts de ta filière, sans carte bancaire.

Chapitres liés à ce sujet

- Ingénierie système : besoin, exigences et diagrammes SysML
- Architecture fonctionnelle et structurelle : chaînes d'information et de puissance
- Correction des systèmes asservis : correcteurs P, PI et à avance de phase
- Réponse fréquentielle et diagrammes de Bode
- Performances des systèmes asservis : stabilité, précision, rapidité
- Cinétique : torseurs cinétique et dynamique, énergie cinétique, inertie équivalente
- Énergétique : puissances, théorème de l'énergie cinétique, rendement
- Statique des solides : principe fondamental et stratégie d'isolement

Ouvrir l'essai gratuit

Scanne le code ou clique sur le bouton.

prepahelp.com/#essai

Une question sur le concours ou sur ta filière :
écrire sur WhatsApp

Les autres années et épreuves : prepahelp.com/annales/centrale/tsi