

CONCOURS D'ENTRÉE 2000

ÉPREUVE DE SCIENCES INDUSTRIELLES

FILIÈRE PHYSIQUE ET SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

DURÉE : 3 heures.

N.B. : Ce sujet comporte : - 10 pages de texte
- 2 feuilles de documents-réponse (2 feuilles A3 en recto-verso)
Aucune feuille de composition n'est à rendre, seuls les documents-réponse seront pris en compte pour la notation.



LE SUJET COMPORTE :

- UN DOCUMENT "PLANEUSE SOUS TRACTION POUR BANDE D'ACIER INOX"

- UN ENONCE AVEC QUATRE PARTIES TOTALEMENT INDÉPENDANTES :

- A. analyse fonctionnelle
- B. cinématique
- C. statique
- D. étude de l'asservissement du système

- DES ANNEXES :

- schéma de la cinématique de la machine
- schéma-bloc de la transmission
- annexe différentiel : schéma cinématique
- annexe limiteur de couple

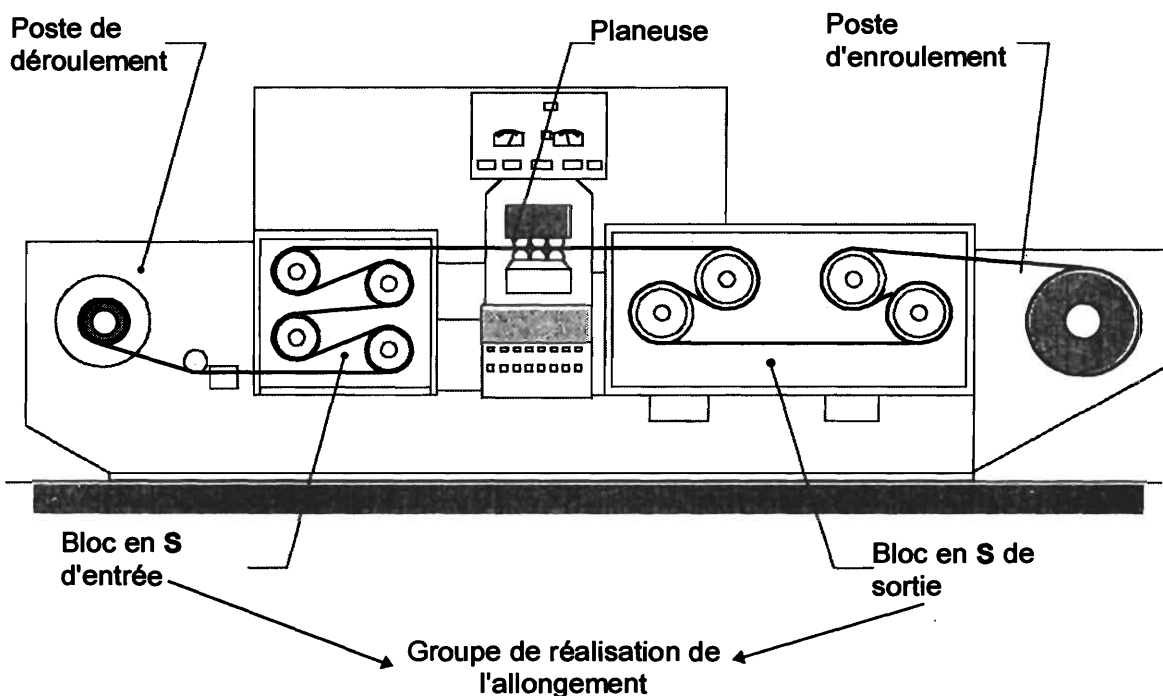
PLANEUSE SOUS TRACTION POUR BANDE D'ACIER INOX

PRESENTATION

Cette machine permet d'obtenir un allongement réglable pour un produit donné. La bande d'acier est déroulée à partir du poste de déroulement, la vitesse de déroulement V_e étant imposée par le bloc d'entrée. La vitesse qu'impose le bloc de sortie V_s , est supérieure à V_e , d'où un allongement de la bande entre ces deux postes. La bande est récupérée sur un mandrin récepteur au poste d'enroulement.

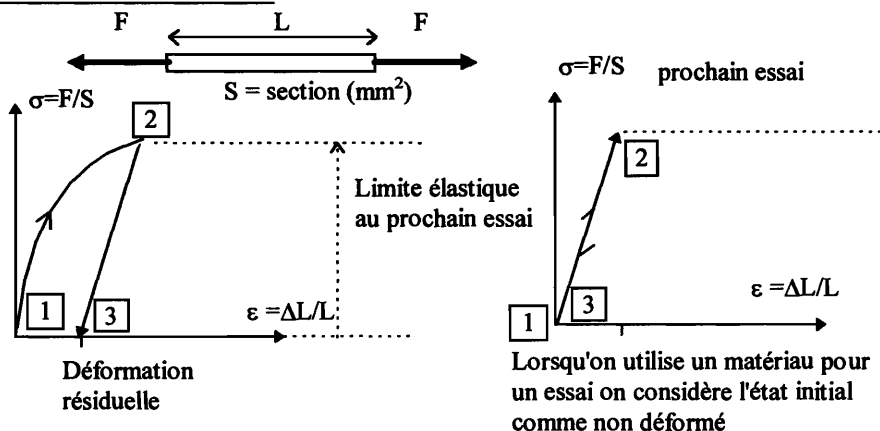
L'intérêt de cet allongement qui est de l'ordre quelques % est, pour un matériau comme l'acier inoxydable, d'étendre son domaine de comportement élastique linéaire. En effet, lorsque la bande passe le bloc de sortie, elle est relâchée, ne reprend plus sa longueur initiale; mais lors d'un effort de traction ultérieur cette bande se comportera de manière élastique linéaire plus loin que lors de son traitement.

La vitesse de production est de l'ordre de 60 m/mn.



Ce système utilise principalement deux moteurs, l'un pour le mouvement principal et l'autre pour maîtriser l'allongement de la bande; un différentiel permet d'obtenir ce découplage (Cf. cinématique de la transmission en annexe). La puissance du moteur qui réalise l'allongement est bien inférieure à la puissance du moteur réalisant le mouvement principal, ce qui facilite la réalisation de l'asservissement.

Essai d'érouissage d'une bande d'acier :



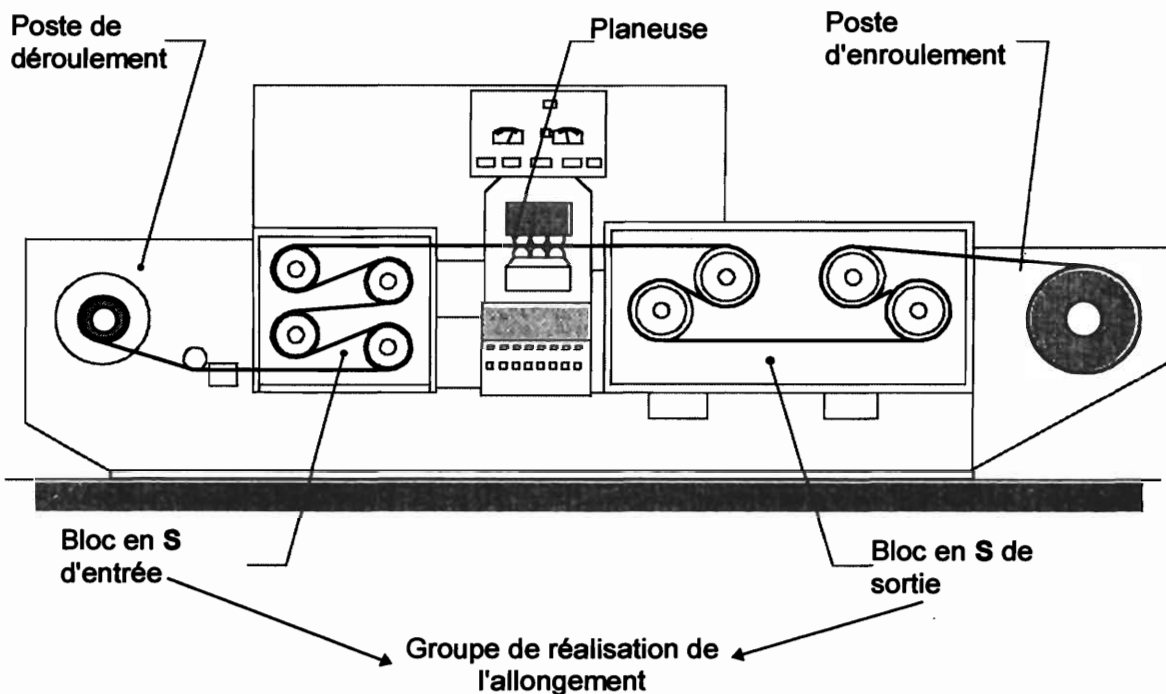
PLANEUSE SOUS TRACTION POUR BANDE D'ACIER INOX

PRESENTATION

Cette machine permet d'obtenir un allongement réglable pour un produit donné. La bande d'acier est déroulée à partir du poste de déroulement, la vitesse de déroulement V_e étant imposée par le bloc d'entrée. La vitesse qu'impose le bloc de sortie V_s , est supérieure à V_e , d'où un allongement de la bande entre ces deux postes. La bande est récupérée sur un mandrin récepteur au poste d'enroulement.

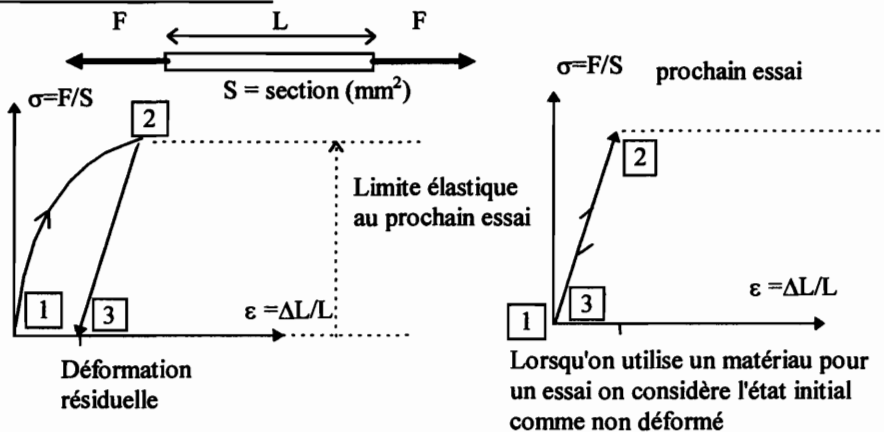
L'intérêt de cet allongement qui est de l'ordre quelques % est, pour un matériau comme l'acier inoxydable, d'étendre son domaine de comportement élastique linéaire. En effet, lorsque la bande passe le bloc de sortie, elle est relâchée, ne reprend plus sa longueur initiale; mais lors d'un effort de traction ultérieur cette bande se comportera de manière élastique linéaire plus loin que lors de son traitement.

La vitesse de production est de l'ordre de 60 m/mn.



Ce système utilise principalement deux moteurs, l'un pour le mouvement principal et l'autre pour maîtriser l'allongement de la bande; un différentiel permet d'obtenir ce découplage (Cf. cinématique de la transmission en annexe) . La puissance du moteur qui réalise l'allongement est bien inférieure à la puissance du moteur réalisant le mouvement principal , ce qui facilite la réalisation de l'asservissement.

Essai d'érouissage d'une bande d'acier :

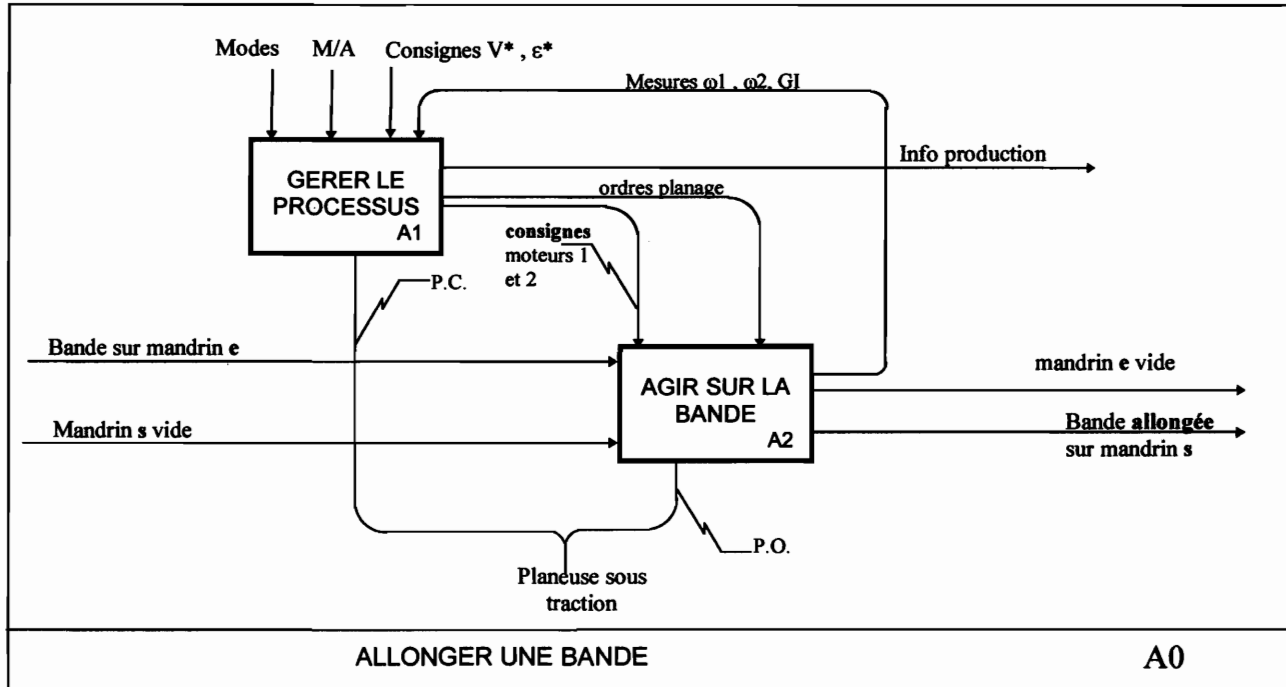
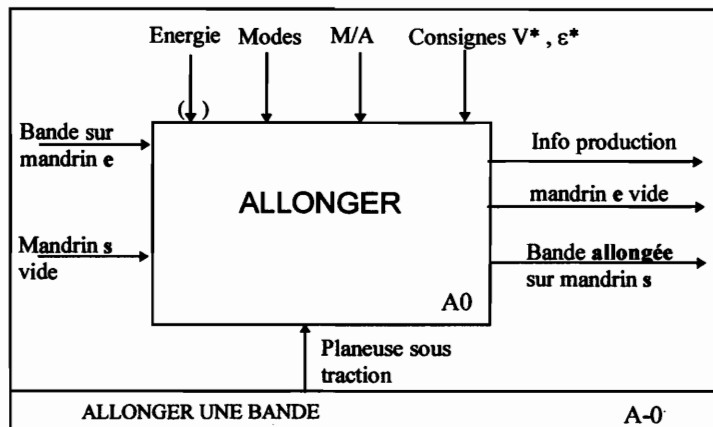


TRAVAIL DEMANDE

A. ANALYSE FONCTIONNELLE

On donne les actigrammes A-0 et A0 pour la machine avec le point de vue utilisateur.

Proposer un actigramme A2.



B. CINEMATIQUE

B.1. Etude du différentiel

L'élément central de la transmission est le différentiel . Celui-ci est décrit en annexe.

Les mouvements des solides I, II, III par rapport au bâti 0 de la machine sont des rotations autour de l'axe Oy;
Pour les calculs on utilisera les notations suivantes :

- $\omega_I, \omega_{II}, \omega_{III}, \omega_{IV}$ sont les vitesses de rotation respectives des solides I, II, III, IV par rapport au bâti de la machine, $\omega_{I/II}$ est la vitesse de rotation du solide I par rapport au solide II ;
- les nombres de dents des différentes roues sont α, β, γ et δ avec : $\alpha= 38, \beta= 26, \gamma= 23,$ et $\delta= 35$;
- on rappelle que le mouvement relatif entre deux roues dentées cylindriques 1 et 2, de nombre de dents Z_1 et Z_2 est un roulement sans glissement sur des cercles primitifs de diamètres D_1 et D_2 tels que : $D_1 = m.Z_1$ et $D_2 = m.Z_2$ (m est le module);

B.1.1. Exprimer $\vec{V}_{J_{IV/II}}$ et $\vec{V}_{J_{III/II}}$, puis exploiter le non glissement de IV par rapport à II en J .

B.1.2. Exprimer $\vec{V}_{K_{III/I}}$ et $\vec{V}_{K_{IV/I}}$ puis exploiter le non glissement de IV par rapport à III en K :

B.1.3. Exprimer l'équation du train épicycloïdal sous la forme $f(\omega_I, \omega_{II}, \omega_{III}) = 0$. On utilisera la raison ρ du train épicycloïdal, pour laquelle on aura donné une expression claire en fonction des nombres de dents.

B.1.4. Identifier les correspondances entre I, II, III et les solides repérés 4, 5 et 6 du schéma de la machine .

B.1.5. Exprimer la vitesse de rotation ω_5 en fonction des vitesses de rotation ω_4, ω_6 .

B.2. Mouvement principal et allongement

Objectif : exprimer les vitesses d'entraînement à l'entrée, notée V_e , et à la sortie, notée V_s en fonction des vitesses de rotation des deux moteurs; en déduire l'influence des deux moteurs sur l'allongement.

On se référera au schéma-bloc en annexe pour les différents rapports de réduction de cette transmission à courroie dentée. La bande est supposée rouler sans glisser sur la dernier rouleau du bloc d'entrée et sur le premier rouleau du bloc de sortie .

B.2.1. Exprimer la vitesse V_s ainsi que la vitesse V_e en fonction de $\omega_1, \omega_5, R_s, R_e$ et des rapports de réductions utiles.

B.2.2. En utilisant le résultat de la question B.1.3., exprimer la vitesse de rotation ω_5 , en fonction de ω_1, ω_2 , et des rapports de réductions utiles.

B.2.3. En déduire la vitesse V_e , en fonction de ω_1, ω_2 , et des rapports de réductions utiles.

Le constructeur a fait le choix que $V_s - V_e$ qui conditionne l'allongement ne dépende que du moteur 2 :

$$V_s - V_e = a. \omega_2 .$$

B.2.4. Quel est l'intérêt de ce choix ?

B.2.5. En déduire la relation entre la raison du train et les rapports de réduction permettant d'obtenir cette particularité. Vérifier numériquement.

B.2.6. Pour des paramètres de production $V_s=60\text{m/mn}$ et un allongement $\mathcal{E} = \frac{V_s - V_e}{V_s} = 2\%$, déterminer les

vitesses de rotation ω_1 et ω_2 . Calculer la variation de la déformation si la vitesse de rotation du moteur 1 augmente de 10%.

C. STATIQUE

La machine comporte dans sa transmission un limiteur de couple sur l'arbre du moteur 1 pour protéger l'installation d'une défaillance éventuelle. Le limiteur de couple a pour fonctions de transmettre le moment du couple moteur en conditions normales, de signaler une augmentation excessive du moment du couple, et dans cette situation, de ne plus transmettre le couple moteur tant qu'un technicien n'intervient pas pour réenclencher le limiteur.

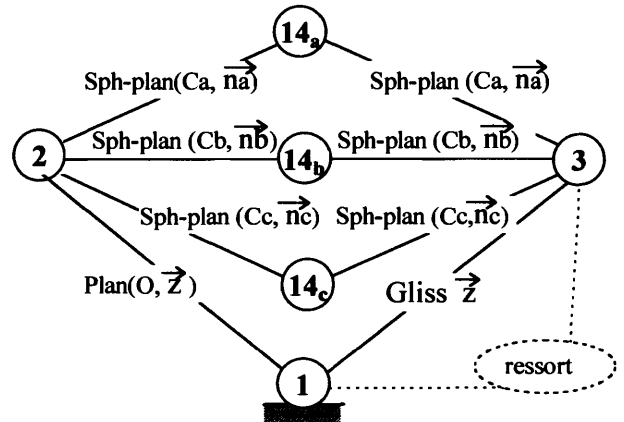
Le limiteur est décrit en annexe.

Etude statique : Déclenchement du limiteur de couple

On se place dans la situation suivante : le couple transmis a dépassé la valeur M_1 de début de décalage et les billes 14 sont en contact sphère-plan avec 2 et avec 3 (les billes roulent sans glisser sur 2 et 3 et sont en train de sortir des évidements de fonctionnement normal). On ne prend pas en compte la cage à billes 5.

* on fait des hypothèses qui permettent de réaliser le graphe des liaisons et le schéma cinématique suivants :

- le poids des pièces est négligé;
- on se place à l'équilibre ;
- les liaisons sont parfaites sans frottement; les contacts 14a - 2 et 14a - 3 se font selon le diamètre (C_a, \vec{n}_a) ; \vec{n}_a fait un angle θ avec \vec{z} et $\vec{n}_a \perp \vec{u}_a$; idem pour les billes 14b, 14c ;
- l'action d'un récepteur sur 2 est modélisée par un couple de moment $M_2 \cdot \vec{z}$;
- l'action du ressort sur 3 est modélisée par un glisseur de résultante $F \cdot \vec{z}$ et d'axe central $O \vec{z}$; $F = F_0 + K \cdot \Delta\alpha$ (où F_0 est la précharge du ressort, K la raideur du ressort, $\Delta\alpha$ le décalage angulaire de 2 par rapport à 3 ;



C.1. Isoler le système $S = \{ 2, 3, 14a, 14b, 14c \}$;

- faire le bilan des actions extérieures appliquées à S;
- appliquer le théorème de la résultante statique en projection sur \vec{z} : équation (1).

C.2. Isoler 2 :

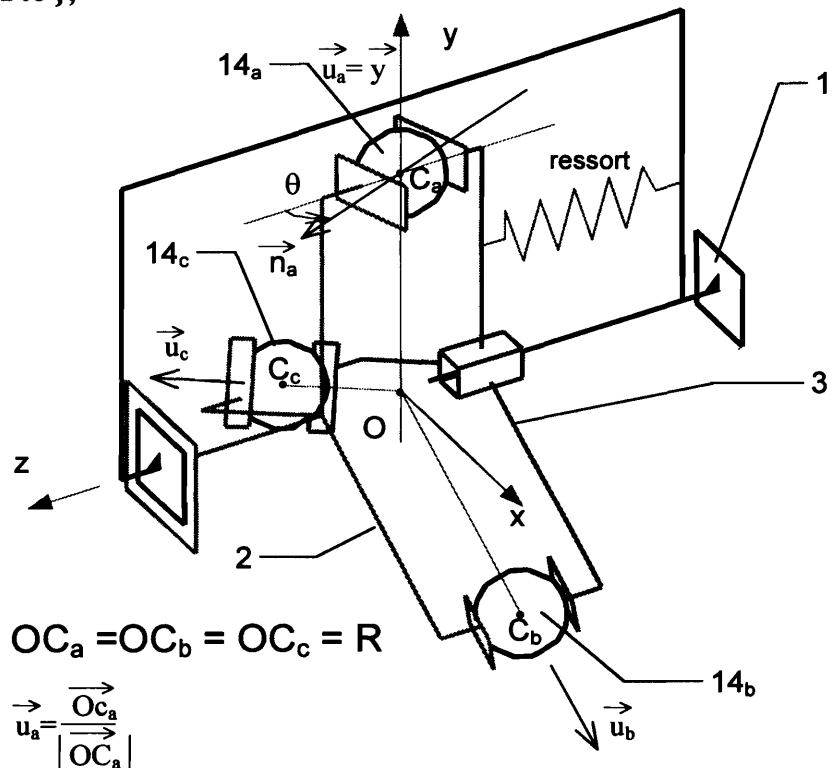
C.2.1 Exprimer les éléments de réduction du torseur $\{T_{14a \rightarrow 2}\}$ au point O et dans la base $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$.

C.2.2. Faire le bilan des actions extérieures appliquées à 2 .

C.2.3. Dédire du théorème de la résultante statique en projection sur \vec{z} et du moment résultant en projection sur \vec{z} les équations (2) et (3) .

C.3. Dédire du système constitué des équations (1), (2), (3) l'expression de F en fonction de M_2 .

C.4. Réaliser le graphe des liaisons et le schéma du système après déclenchement .



$$OC_a = OC_b = OC_c = R$$

$$\vec{u}_a = \frac{\vec{OC}_a}{|OC_a|}$$

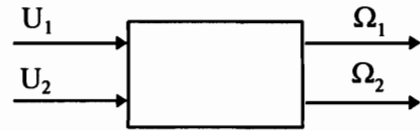
D. ETUDE DE L'ASSERVISSEMENT DU SYSTEME

Dans un premier temps, on étudie l'interaction des deux moteurs sur le mouvement et donc son influence sur l'asservissement du système; puis on étudie l'asservissement de vitesse du moteur 2.

D.1. Interaction des deux moteurs : étude des fonction de transfert

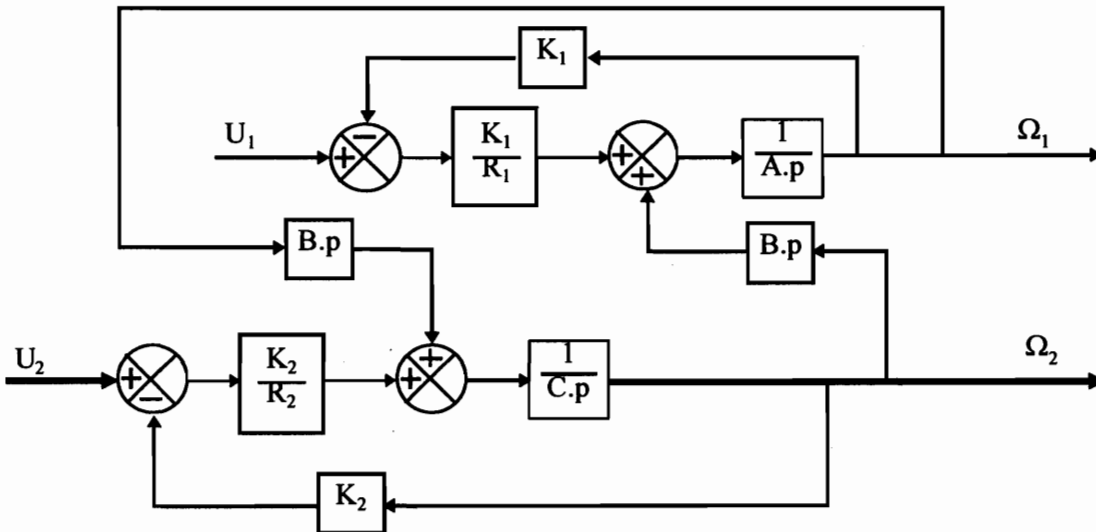
On considère le système non asservi pour lequel les sorties sont les vitesses de rotation des deux moteurs et les entrées, les tensions d'alimentation de ceux-ci.

La variation de la tension U_1 modifie Ω_1 , mais entraîne aussi une perturbation de Ω_2 et réciproquement pour U_2



Les deux moteurs sont caractérisés par : inductances des induits négligées, résistances R_1 et R_2 , constantes de couple K_{t1} et K_{t2} , constantes de f.e.m. K_{v1} et K_{v2} ; en unités S.I. on a : $K_{v1}=K_{t1}=K_1$ et $K_{v2}=K_{t2}=K_2$;

L'étude du mécanisme en dynamique permet de conduire au schéma-bloc suivant au voisinage du point de fonctionnement correspondant à une vitesse de défilement de 60m/mn :



A, B, C sont des constantes qui valent respectivement : $A = 9.10^{-3}$ S.I. ; $B = 1.5.10^{-3}$ S.I.; $C = 2.10^{-3}$ S.I. ; $R_1=0.3 \Omega$; $R_2 = 0.5 \Omega$; $K_1= 1$ S.I. ; $K_2 = 0.3$ S.I. .

La vitesse de rotation du moteur 2 peut se mettre sous la forme : $\Omega_2(p) = H_1(p).U_1(p) + H_2(p).U_2(p)$

D.1.1 Déterminer l'expression de $H_2(p)$.

Pour alléger les écritures on omettra les "(p)"; ainsi on écrira l'équation précédente : $\Omega_2=H_1.U_1+H_2.U_2$

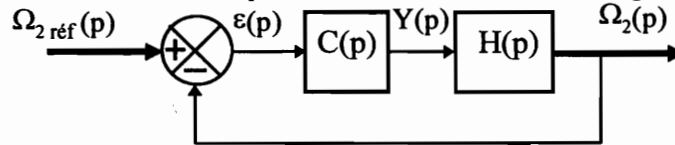
D.1.2 Caractériser cette fonction de transfert.

D.1.3 L'étude faite sur 2 pourrait être également faite sur le moteur 1 et aurait conduit à : $\Omega_1=H_{11}.U_1+H_{22}.U_2$

Proposer le schéma-bloc correspondant à l'asservissement de vitesse des moteurs 1 et 2; les moteurs sont équipés de génératrices tachymétriques de gains GT_1 et GT_2 . Cette question ne nécessite aucun calcul.

D.2. Asservissement de vitesse du moteur 2.

On considère le schéma-bloc suivant qui permet l'étude du suivi de consigne de vitesse : on ne prend pas en compte les perturbations dues au moteur 1 ou au processus de déroulement-allongement-planage-enroulement :



La fonction de transfert $H(p)$ en boucle ouverte sans correction est donnée par :

$$H(p) = 0,33 \frac{1 + 4 \cdot 10^{-3} \cdot p + 2 \cdot 10^{-5} \cdot p^2}{1 + 1,31 \cdot 10^{-2} \cdot p + 9,42 \cdot 10^{-5} \cdot p^2 + 2,86 \cdot 10^{-7} \cdot p^3 + 6,50 \cdot 10^{-10} \cdot p^4}$$

Le correcteur est de fonction de transfert $C(p)$.

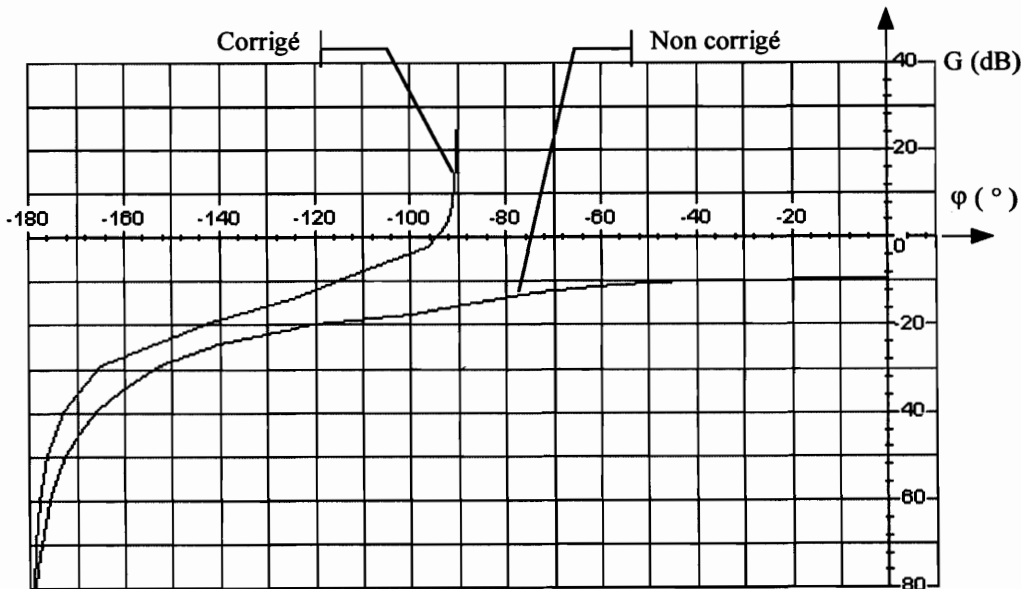
D.2.1. Système avec correction proportionnelle : $C(p) = K_p$; le système est sollicité par un échelon $x_2(t) = 1 \cdot u(t)$.

D.2.1.1 Déterminer l'erreur statique

D.2.1.2 Justifier l'utilisation d'un correcteur P.I.

D.2.2. Système avec correction proportionnelle intégrale : $C(p) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot p}\right)$ avec $T_i = 0.008$ s

On donne le diagramme de Black du système en boucle ouverte $\Omega_2(p)/\varepsilon(p)$ pour $K_p = 1$



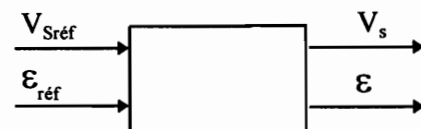
D.2.2.1 Déterminer les marges de gain et de phase .

D.2.2.2 Déterminer la valeur maximale que peut prendre la constante K_p tout en conservant une marge de gain supérieure à 10dB et une marge de phase supérieure à 45°.

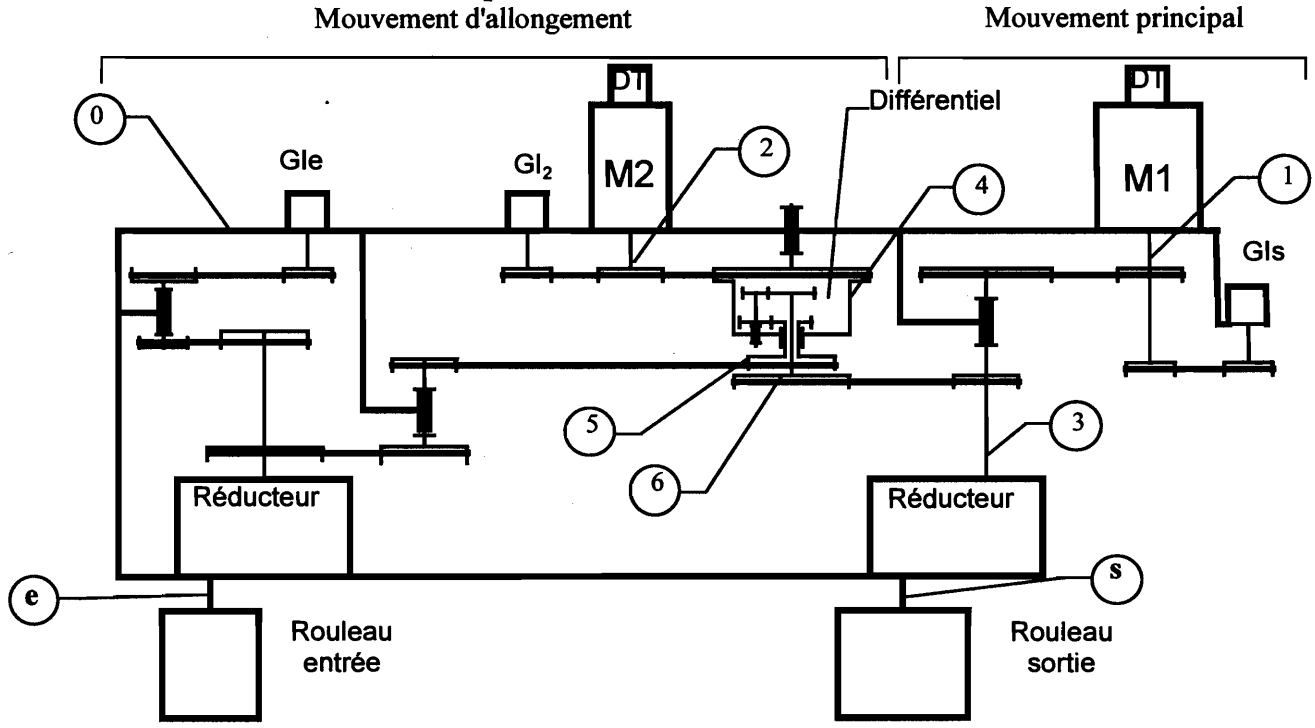
D.3. Asservissement de l'allongement.

L'allongement de la bande est caractérisé par $\varepsilon_{t\hat{o}le} = (V_s - V_e)/V_s$.

Comment faudra-t-il organiser l'asservissement du système si on veut un asservissement de V_s et de $\varepsilon_{t\hat{o}le}$?

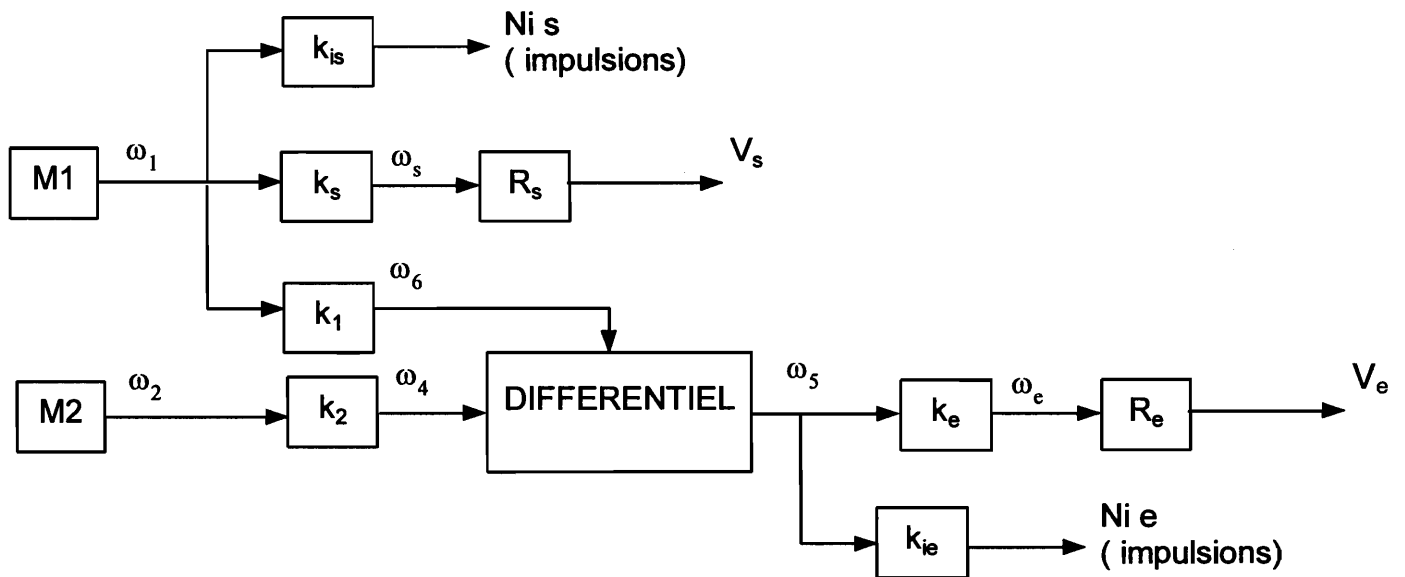


Annexe : Schéma de la cinématique de la machine :



GI :codeur incrémental ; DT : dynamo-tachymétrique

Annexe : schéma-bloc de la transmission :



$$k_s = \frac{7}{155}$$

$$k_1 = \frac{14}{31}$$

$$k_e = \frac{1311}{9100}$$

$$k_{is} = \frac{3}{5}$$

$$k_2 = \frac{28}{93}$$

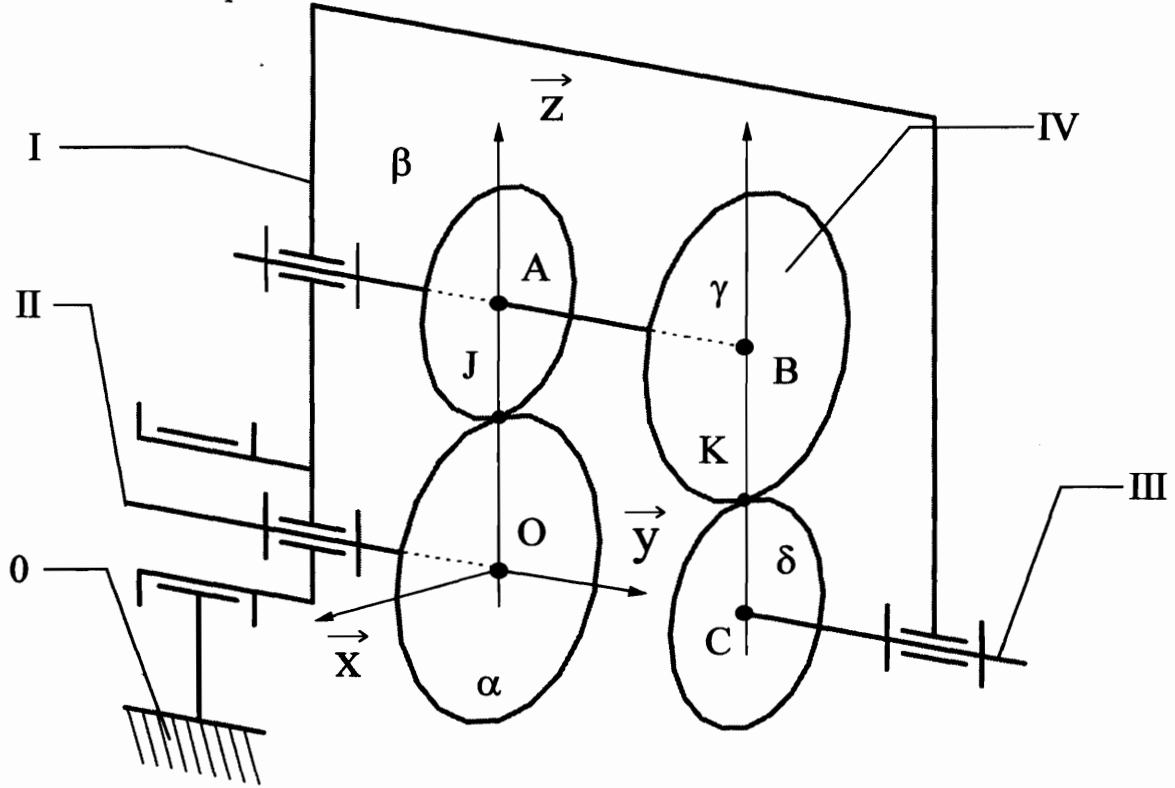
$$k_{ie} = \frac{121923}{63700}$$

$$R_e = 0.1 \text{ m}$$

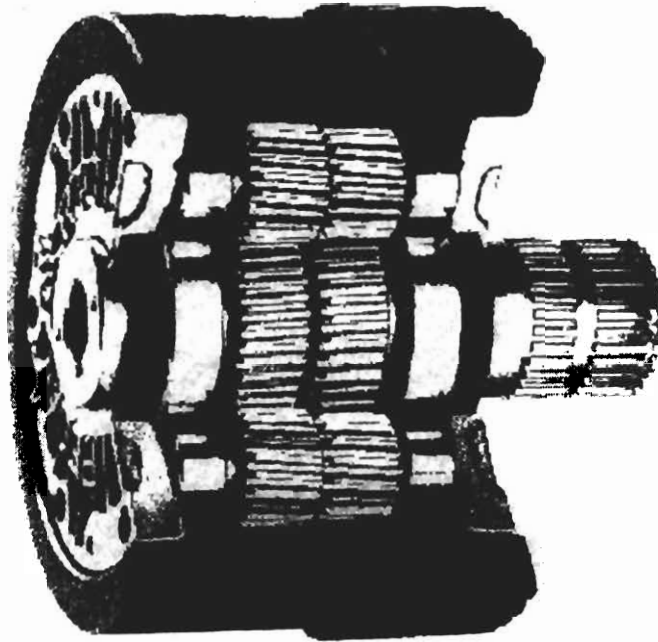
$$R_s = 0.15 \text{ m}$$

Annexe différentiel :

Schéma cinématique :



vue en éclaté :



Annexe limiteur de couple :

Le moyeu 1 est lié à l'élément moteur, le flasque 2 est lié au récepteur.

Réglage du couple limite de déclenchement :

L'écrou de réglage 4 comprime les rondelles Belleville 15 contre la pièce de commande 3, les billes 14 et le flasque de pression 2.

Fonctionnement normal :

Les 3 billes 14 sont dans les évidements des pièces 2 et 3 qui se font face. Le moment du couple transmis n'est pas suffisant pour qu'un décalage angulaire des pièces 2 et 3 se produise. Ce décalage, se produit lorsque les billes sortent de leur logement et ceci provoque en même temps un écartement des pièces 2 et 3. Cet écartement est contrarié par l'action des rondelles Belleville sur la pièce 3.

Déclenchement :

La pièce 1 entraîne la pièce 3 dans un décalage angulaire par rapport à la pièce 2. Les billes 14 sortent de leur logement de repos et poussent la pièce de commande 3 vers la droite (moitié supérieure de la figure 1) . Le contacteur de fin de course est ainsi actionné. En même temps, il n'y a plus transmission du couple (moitié inférieure de la figure). Le décalage entre 2 et 3 augmente, les billes roulant entre les deux pièces, jusqu'à ce qu'elles "tombent" dans les évidements profonds du flasque 2. La pièce de commande 3 s'est déplacée pendant ce temps vers la gauche jusqu'à s'appuyer sur la butée à aiguilles 12. Le moyeu 1 peut alors tourner librement par rapport à 2.

Réenclenchement :

en agissant sur la cage à billes 5 il est possible de ressortir les billes 14 des évidements profonds pour les ramener dans les évidements de fonctionnement normal.

Evolution du déclenchement :

