

Eléments de corrigé

Première partie

1- Détermination des paramètres cinématiques

Etude de la phase de retour N°3

$$\text{Données} \quad \left| \begin{array}{l} x_6 + x_7 + x_8 = 310 \cdot 10^{-3} \text{ (1)} \\ t_6 + t_7 + t_8 = 0,8 = T \\ t_6 = t_7 = t_8 = 0,8 / 3 \end{array} \right.$$

$$x_8 = x_6 = \frac{V_r^2}{2\gamma}$$

$$x_7 = V_r \cdot t_7 = \frac{V_r \cdot T}{3}$$

$$t_6 = \frac{V_r}{\gamma} = \frac{T}{3} \Rightarrow \gamma = \frac{3V_r}{T}$$

$$(1) \Rightarrow V_r = \frac{3 \times 310 \cdot 10^{-3}}{2T} = 0,58 \text{ m/s}$$

D'où la valeur des accélérations : $\gamma_6 = -\gamma_8 = 2,18 \text{ m/s}^2$

Etude de la phase de coupe N°2

$$x_5 = \frac{V_c^2}{2\gamma_5} \Rightarrow \gamma_5 = \frac{V_c^2}{2x_5} = \frac{0,2^2}{2 \times 3 \cdot 10^{-3}} = 6,67 \text{ m/s}^2$$

$$t_5 = \frac{V_c}{\gamma_5} = \frac{0,2}{6,66} = 0,03 \text{ s}$$

$$t_4 = \frac{x_4}{V_c} = \frac{47 \cdot 10^{-3}}{0,2} = 0,235 \text{ s}$$

Etude de la phase N°1

$$t_1 + t_2 + t_3 = 2 - 0,8 - 0,1 - t_4 - t_5 = 0,835 \text{ s}$$

$$\text{Données} \quad \left| \begin{array}{l} x_1 + x_2 + x_3 = 260 \cdot 10^{-3} \\ t_1 + t_2 + t_3 = 0,835 = T \\ t_1 = t_2 = t_3 = T / 3 \end{array} \right.$$

$$x_1 = \frac{V_a^2}{2\gamma_1} ; x_2 = V_a t_2 ; x_3 = \frac{V_a^2 - V_c^2}{2\gamma_3}$$

$$t_1 = \frac{V_a}{\gamma_1} \Rightarrow \gamma_1 = \frac{3V_a}{T}$$

$$\gamma_3 = \frac{3(V_a - V_c)}{T}$$

$$\text{d'où le calcul de } V_a = \frac{1}{4} \left(\frac{260 \cdot 10^{-3} \times 6}{0,835} - 0,2 \right) = 0,417 \text{ m/s}$$

$$\text{ce qui donne : } \begin{array}{l} \gamma_1 = 1,5 \text{ m/s}^2 \\ \gamma_3 = -0,78 \text{ m/s}^2 \end{array}$$

Les paramètres cinématiques caractéristiques sont donc :

$$V_a = 0,417\text{m/s} ; V_r = 0,58\text{m/s}$$

$$\gamma_1 = 1,5\text{m/s}^2 ; \gamma_3 = -0,78\text{m/s}^2 ; \gamma_5 = -6,67\text{m/s}^2 ; \gamma_6 = -\gamma_8 = 2,18\text{m/s}^2$$

2- Détermination du vérin hydraulique

2-1 Recherche du taux de charge optimal

On se place en régime permanent : $V = \text{Constante}$, débit de compressibilité nul et débit de fuite négligé.

Equations des débits entrant et sortant : $q_1 = S_1 V$ et $q_2 = S_2 V = i S_1 V = i q_1$ avec $S_2 = i S_1$

$$\text{Equations des débits traversant le distributeur : } q_1 = q_n \sqrt{\frac{p_p - p_1}{\Delta' p_n}} \text{ et } q_2 = q_n \sqrt{\frac{p_2 - p_T}{\Delta' p_n}}$$

PFD si on néglige les frottements visqueux : $0 = p_1 S_1 - p_2 S_2 - F$

De ces cinq équations on peut exprimer l'équation caractéristique de l'ensemble vérin-distributeur :

$$V = \frac{q_n}{S_1} \sqrt{\frac{p_p - \frac{F}{S_1}}{\Delta' p_n (1 + i^3)}} \text{ en négligeant } p_T$$

La puissance développée est donc donnée par la relation :

$$P = F.V = F \frac{q_n}{S_1} \sqrt{\frac{p_p - \frac{F}{S_1}}{\Delta' p_n (1 + i^3)}}$$

Cette fonction est de la forme : $P = \lambda F \sqrt{p_p - \frac{F}{S_1}}$

$$\frac{dP}{dF} = \frac{\lambda}{2 \sqrt{p_p - \frac{F}{S_1}}} \left(2p_p - 3 \frac{F}{S_1} \right)$$

$$\frac{dP}{dF} = 0 \text{ si } F = \frac{2}{3} p_p S_1 \Rightarrow \tau_{\text{opt}} = \frac{F_{\text{opt}}}{F_{\text{max}}} = \frac{\frac{2}{3} p_p S_1}{p_p S_1} = \frac{2}{3}$$

Il existe donc un taux de charge optimal du point de vue énergétique qui correspond à une répartition optimale entre l'énergie potentielle et l'énergie cinétique.

2-2 Caractéristiques du vérin

En phase d'avant-projet on peut considérer qu'en fonction des hypothèses admises :

$$\tau = \frac{F}{p_p S_1} \text{ avec } F = F_z - Mg$$

d'où pour les valeurs numériques données on peut retenir une valeur $D = 140\text{mm}$.

Si l'on prend une valeur $i = 0,5$ courante, on peut retenir une valeur $d = 100\text{mm}$.

2-3 Caractéristiques du servo distributeur

De l'équation caractéristique précédente on peut écrire :

$$q_n = \frac{VS_1}{\sqrt{\frac{p_p - F}{S_1}}} = S_1 V \sqrt{1+i^3} \sqrt{\frac{\Delta'_{pn}}{p_p - F}} \text{ en phase de sortie de tige (cycle 2 et 4)}$$

$$q_n = S_1 V \sqrt{1+i^3} \sqrt{\frac{\Delta'_{pn}}{i p_p - F}} \text{ en phase de rentrée de tige (cycle 7)}$$

Calculs fait pour un vérin de diamètre 140mm et un rapport $i = 0,5$

cycles	IIFFI(N)	V(m/s)	S	Q (l/min) pompe	qn (l/min)
2	Effort moteur 3000	0,417	0,0154	385	198
4	Effort résist. 147000	0,2	0,0154	185	155
7	Effort résist. 3000	0,58	S2 0,0077 S1 0,0154	282	393

3- Détermination des éléments du circuit

3-1 Débit maximal de la pompe

Le tableau de calcul précédent fait apparaître les résultats, le cas le plus défavorable est bien évidemment celui qui correspond à la vitesse de descente maximale. La pompe devra être dimensionnée pour un débit de 385 l/min.

3-2 Pompe à débit variable et accumulateur

La pompe à débit variable permet d'adapter la vitesse de travail du vérin en fonction de l'effort à réaliser (vitesse d'approche rapide à basse pression qui nécessite un débit important puis une vitesse de travail plus lente à haute pression).

Il est également possible de maintenir la pression maxi dans le vérin par l'annulation automatique du débit (la pompe diminue automatiquement son débit à la valeur nécessaire due aux fuites internes pour maintenir la pression).

L'accumulateur permet de fournir ou au contraire d'absorber l'excédent d'huile lors des brusques changements de régime que ne peut généralement pas suivre le système de régulation de la pompe.

3-3 Limiteur de pression

La position particulière du limiteur de pression permet de maintenir une chute de pression constante à l'arête du servo distributeur afin d'obtenir une meilleure régulation.

3-4 Dispositif de refroidissement

Un avantage supplémentaire lié à l'emploi des pompes à débit variable est le non échauffement de l'huile du circuit.

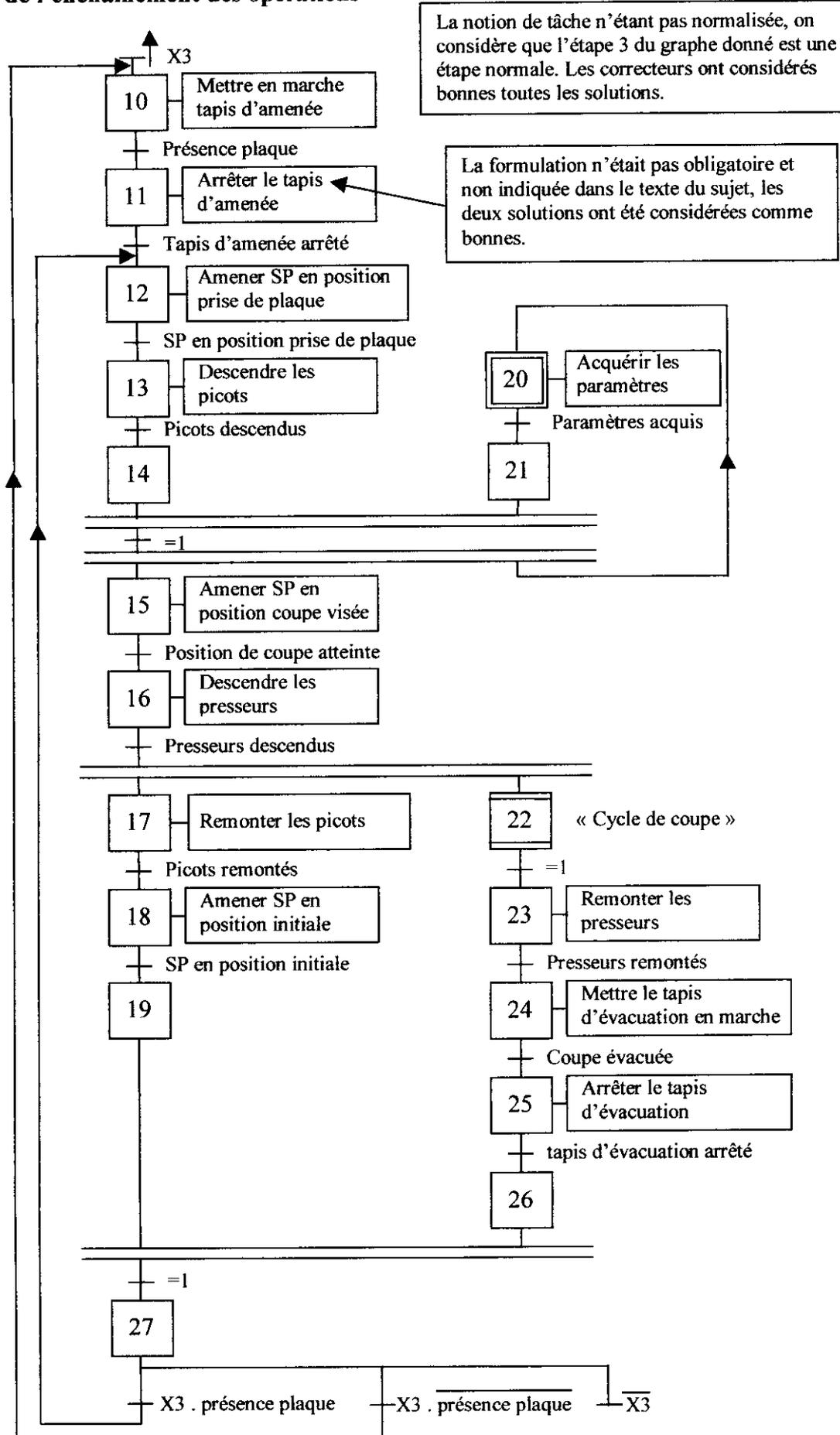
Si l'on prend comme hypothèse que la quantité de fluide nécessaire à chacune des phases est la quantité correspondant à la course aller et retour du vérin soit :

$V = (S_1 + S_2) \times \text{course}$ soit 7.16 litres pour un cycle de coupe.

La cadence étant de six pesées par minute, on obtient un débit moyen d'environ 43 l/min. L'échauffement est négligeable devant le volume du réservoir et la surface d'échange de ce dernier.

Deuxième partie

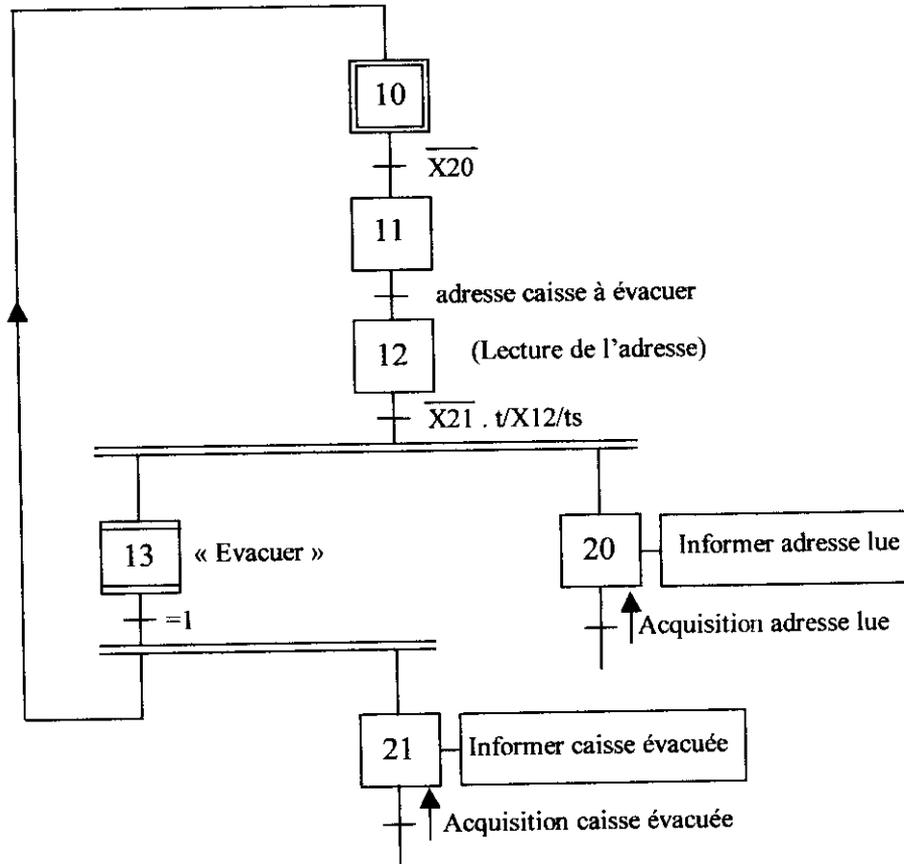
1- Etude de l'enchaînement des opérations



2- Algorithme de fonctionnement de la pesée

Algorithme	Commentaires
Engagement première plaque	
Détermination du déplacement pour une approche correspondant aux $\frac{3}{4}$ de la consigne poids d'une caisse	Soit N la première valeur visée
Coupe	
Détermination du déplacement pour une approche correspondant aux $\frac{3}{4}$ de la consigne poids d'une caisse	Soit N+ la deuxième valeur visée
Récupération du poids	Valeur réelle de $\frac{3}{4}$ N
Orientation vers première case	Pesée N, case N
Coupe	Relative à N+
Détermination du déplacement pour un complément de pesée	Complément à la valeur réelle de N
Récupération du poids	Valeur réelle de $\frac{3}{4}$ N+
Orientation vers case libre	Pesée N+, case N+
Coupe	Relative au complément visé de N
Détermination du déplacement pour un complément de pesée	Complément à la valeur réelle de N+
Récupération du poids	Valeur réelle de N
Coupe	Relative au complément visé de N+
Répéter	
<p>Si poids pesée N est conforme à l'attendu</p> <p>Alors</p> <p> Orientation case N</p> <p> Si pesée N terminée</p> <p> Alors</p> <p> Détermination du déplacement pour constitution d'une nouvelle pesée N</p> <p> Evacuation de la pesée N</p> <p> Sinon</p> <p> Détermination du déplacement pour un complément de pesée N</p> <p>Sinon</p> <p> Orientation vers case non pleine ou rebut</p> <p> Détermination du déplacement pour un nouveau complément de pesée N</p>	<p>Complément d'une case entamée hors pesée N+ en cours ou nouvelle approche pesée N si aucune case entamée</p> <p>Recherche première case convenable</p>
Récupération du poids	Valeur réelle de N+
<p>Si poids pesée N+ est conforme à l'attendu</p> <p>Alors</p> <p> Orientation case N+</p> <p> Si pesée N+ terminée</p> <p> Alors</p> <p> Détermination du déplacement pour constitution d'une nouvelle pesée N+</p> <p> Evacuation de la pesée N+</p> <p> Sinon</p> <p> Détermination du déplacement pour un complément de pesée N+</p> <p>Sinon</p> <p> Orientation vers case non pleine ou rebut</p> <p> Détermination du déplacement pour un nouveau complément de pesée N+</p>	<p>Complément d'une case entamée hors pesée N en cours ou nouvelle approche pesée N+ si aucune case entamée</p> <p>Recherche première case convenable</p>
Coupe	Relative à N
Récupération du poids	Valeur réelle de N
Coupe	Relative à N+
Jusqu'à fin de campagne	

3- Graficet de gestion du manipulateur



Troisième partie

1 Modélisation du comportement dynamique

1-1 Equation de mouvement de la lame pendant la phase 2

En utilisant les notations de la figure N° 4, l'application du PFD à l'ensemble tige – lame donne l'équation classique suivante :

$$m_e \frac{d^2 z}{dt^2} + f_e \cdot \frac{dz}{dt} + r_{me} \cdot z + F_c = p_1 \cdot S_1 - p_2 \cdot S_2$$

1-2 Débit entrant q1 au cours de la phase 2

En tenant compte de la compressibilité de l'huile et en négligeant les fuites à l'intérieur du vérin, il vient :

$$q_1 = S_1 \cdot \frac{dz}{dt} + \frac{V_1}{B} \cdot \frac{dp_1}{dt}$$

1-3 Expression de q2 puis de Q

De la même façon, il vient pour la deuxième chambre :

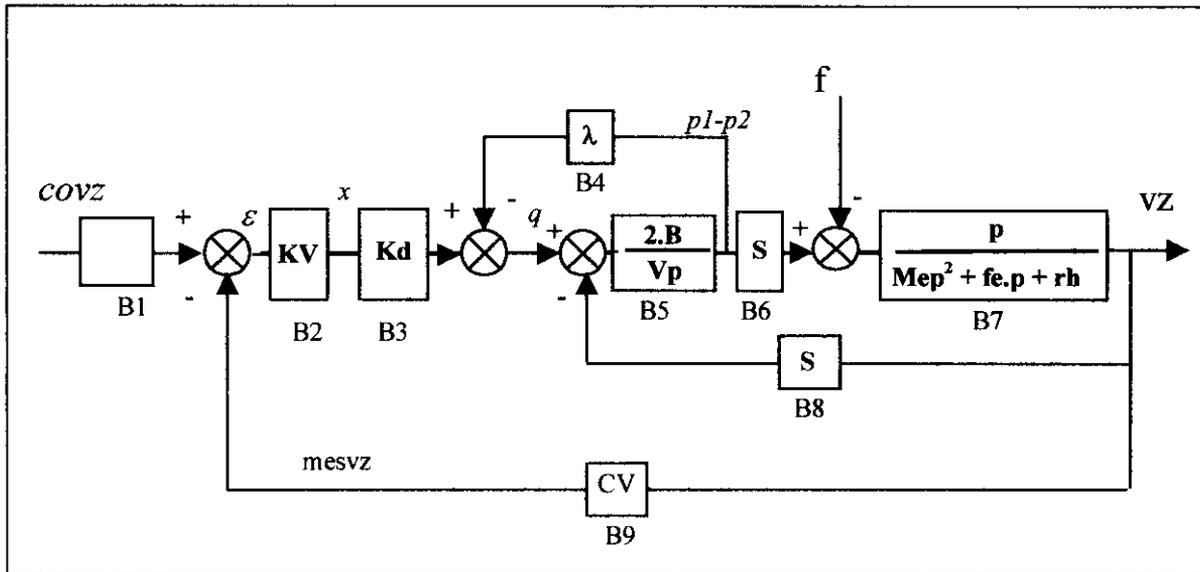
$$q_2 = -S_2 \cdot \frac{dz}{dt} + \frac{V_2}{B} \cdot \frac{dp_2}{dt}$$

$$Q = S \cdot \frac{dz}{dt} + \frac{V}{2 \cdot B} \cdot \frac{d(p_1 - p_2)}{dt}$$

1-4 Déterminer les fonctions de transfert

En utilisant les équations précédentes on peut donc identifier les fonctions de transfert des différents blocs :

$$B3 = Kd ; B4 = \lambda ; B5 = \frac{2.B}{Vp} ; B6 = S ; B7 = \frac{p}{(me.p^2 + fe.p + rh)}$$



2 Etude et modification du comportement dynamique

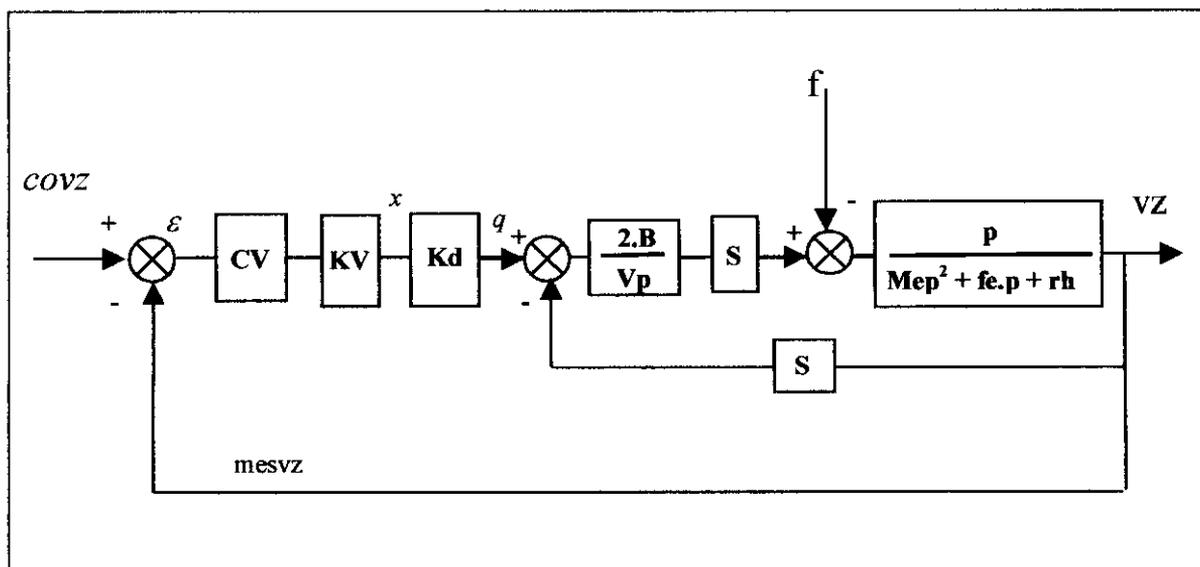
2-1 Tracer le schéma bloc équivalent

Le bon fonctionnement de la boucle impose un gain statique global égal à 1 et donc en se ramenant à un schéma à retour unitaire on fait apparaître sur le schéma une partie bouclée et une partie non bouclée que l'on peut placer entre Covz et le comparateur.

Pour assurer un gain statique global égal à 1 il faut au moins que la fonction de transfert de la partie « hors boucle » soit égale à 1 d'où : $B1 = CV$

2-2 Tracer le nouveau schéma bloc

En supprimant la boucle de fonction de transfert B4, le schéma prend la forme simplifiée suivante.



La fonction de transfert se met alors en forme de la manière suivante en fonction de la consigne et de la perturbation.

$$VZ(p) = \frac{1}{me.V.p^2 + fe.V.p + rh.V + 2.B.S.(KV.Kd.CV + S)} \cdot ((2.B.S.KV.Kd).COVZ - (V.p).F(p))$$

3 - Etude du comportement du système

3-1 Etudier avec $B2 = 1$ les performances de cette commande en terme de précision et de rapidité

$VZ(p)$ est de la forme :

$$VZ(p) = \frac{A}{1 + B.p + C.p^2} \cdot CVZ(p) - \frac{D.p}{1 + B.p + C.p^2} \cdot F(p)$$

Pour l'étude la précision, il faut analyser les évolutions des entrées de consigne et de perturbation sur les deux diagrammes décrivant les évolutions de $Covz(t)$ et $f(t)$ au cours du mouvement de coupe.

On remarque une évolution de la consigne $Covz(t)$ en échelon et en rampe et une évolution aussi en échelon et en rampe de la perturbation $f(t)$.

Pour l'étude de la rapidité, on a affaire à un système du second ordre, les dépassements en vitesse sont ici acceptables, les performances pourront être améliorées au 3.2 en utilisant un correcteur adapté (on cherchera alors une rapidité maximale).

Pour la précision

1- vis-à-vis de l'entrée $Covz(t)$ le système est de classe 0 donc :

— Pour une variation en échelon, l'erreur statique est constante et inversement proportionnelle au gain de la chaîne directe.

— Pour une évolution en rampe, l'erreur est infinie et donc ne peut être améliorée par action sur le gain variable.

2- vis-à-vis de la perturbation, il convient d'appliquer le théorème de la valeur finale de la manière suivante :

$$\lim_{t \rightarrow \infty} vz(t) = \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot VZ(p) = \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot H2(p) \cdot F(p)$$

— Pour une perturbation constante : $vz(t)$ tend vers 0 et donc le système annule l'effet de la perturbation (il y a réjection de la perturbation) ;

— Pour une variation de la perturbation en rampe : $vz(t)$ tend vers une constante inversement proportionnelle au gain de la chaîne directe que l'on pourra modifier au moyen d'un correcteur au 3.2.

3-2 Proposer un type de correcteur

Les résultats précédents montrent qu'il faut ici introduire un correcteur de type PI (proportionnel intégral) afin d'améliorer la précision de vitesse de coupe sans oublier le temps de réponse à cause de la faible durée de l'activité.

De plus le système étant du second ordre, il faut veiller à la stabilité, donc un correcteur PID s'impose ici.

COMMENTAIRES SUR LA TROISIEME EPREUVE

Commentaires généraux

Le sujet, cette année, semble avoir quelque peu surpris les candidats si l'on en juge par la qualité des résultats, très hétérogènes surtout sur les premières et troisième parties. Il est vrai que la technologie hydraulique étudiée présente des particularités plus délicates à aborder que celles liées aux moteurs à courant continu. Elle est peut-être également moins travaillée...

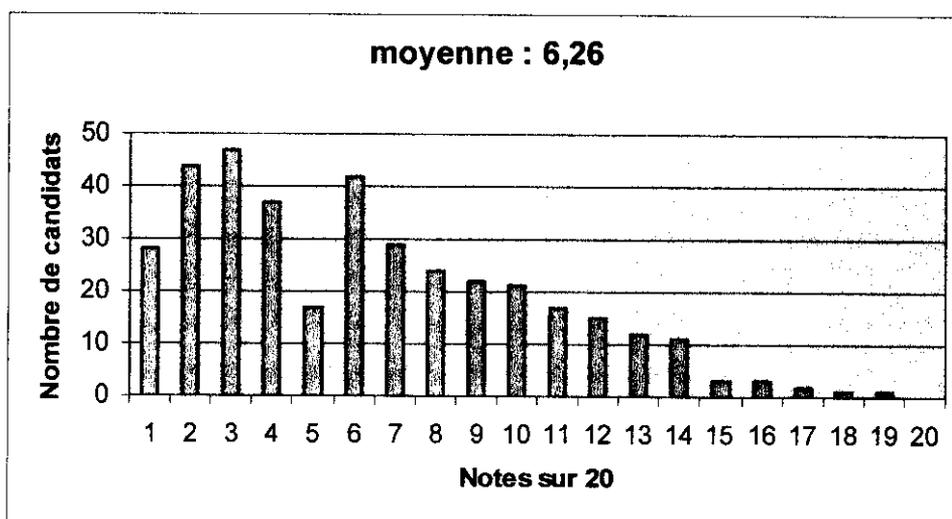
Mis à part cet aspect, le contenu du sujet s'est attaché à laisser une place encore plus importante à la réflexion technologique et constructive. La maîtrise scientifique est certes indispensable mais, elle doit déboucher sur une phase d'analyse des résultats, afin de conclure sur la validité des solutions techniques envisagées.

Le sujet comportait trois parties distinctes :

- une détermination de paramètres cinématiques en fonction des contraintes émises dans le cahier des charges puis, une prédétermination ou une justification des éléments constitutifs du circuit hydraulique ;
- une description du fonctionnement de l'ensemble à l'aide de l'outil grafocet et une étude plus détaillée de l'organigramme du pilotage du système de pesée ;
- une modélisation de l'asservissement hydraulique permettant une modification du comportement dynamique et un choix de type de correcteur.

L'histogramme ci-dessous montre des résultats d'ensemble (après renormalisation des notes, l'ensemble du sujet étant de fait très difficilement réalisable dans le temps imparti) encore en régression par rapport aux années antérieures, la nature du sujet l'explique en partie. Le jury reste cependant préoccupé par le déficit de réussite dans les parties purement mécaniciennes.

376 candidats ont composé sur cette épreuve, la moyenne est de 6,26.



Commentaires sur la première partie

Cette partie a été abordée par la quasi totalité des candidats. Ces derniers se sont souvent limités à traiter la première question ce qui montre bien la maîtrise très imparfaite du champ technologique lié à l'hydraulique.

- 1- Cette question proposait la détermination des vitesses et accélérations de chaque phase. Elle ne comportait aucune difficulté majeure pour peu que l'on sache exprimer directement les relations entre vitesse et accélération et prendre soin d'écrire les relations complémentaires issues du cahier des charges ou des contraintes exprimées dans le sujet.

Nombre de candidats sont arrivés au bout des calculs mais en un nombre de pages impressionnant.

Beaucoup ont pris comme hypothèse simplificatrice que les vitesses d'approche et de retour étaient égales, ceci n'était pas acceptable.

30% d'entre eux n'ont pas su traiter la question.

- 2- 21 La recherche du taux de charge optimal nécessitait d'exprimer l'équation caractéristique de l'ensemble vérin – distributeur. Les équations des débits traversant le distributeur étaient données, il était nécessaire d'écrire les équations des débits entrant et sortant du vérin, d'appliquer le PFD et de mixer l'ensemble pour exprimer la vitesse en fonction des différents paramètres.

Aucun candidat n'a su correctement traiter cette question.

22 Pas de problème particulier pour cette question. Cette démarche très utilisée par les industriels est intéressante en phase d'avant-projet, comme cela était spécifié.

30% environ des candidats ont correctement traité cette question.

23 Il fallait ici, reprendre l'équation caractéristique pour exprimer q_n et exécuter les calculs pour le cas le plus défavorable.

Seuls quelques candidats ont abordé cette question, sans grande réussite ...

- 3- 31-33 La justification de la pompe et de l'accumulateur ne posait pas de problème particulier, leur emploi était classique dans ce style d'installation. Celui du limiteur était par contre un peu particulier et les correcteurs en ont tenu compte.

34 Aucun candidat n'a su prendre en compte la présence d'une pompe à débit variable, le temps de fonctionnement par rapport au cycle et la présence d'un réservoir de grande capacité pour montrer d'une manière simple que le dispositif de refroidissement n'était pas justifié.

Cette partie, très technologique, n'a été abordée que par 20% des candidats.

Commentaires sur la deuxième partie

Cette partie a été abordée par 70% des candidats. Ces derniers se sont souvent limités à traiter la première question.

- 1- La recherche de l'enchaînement des opérations présentait quelques difficultés mais largement abordables à ce niveau de formation. Il fallait principalement :
 - rendre l'acquisition des paramètres indépendante du fonctionnement séquentiel ;
 - rendre possible le déplacement du système de positionnement en position coupe uniquement après l'acquisition des paramètres ;
 - réduire le temps de cycle par la mise en parallèle de tâches compatibles ;
 - reboucler le déroulement en fonction de l'information présence plaque.

Le jury constate que la syntaxe du modèle grafcet est désormais connue de l'ensemble des candidats ayant abordé cette partie. Quelques problèmes demeurent cependant sur l'application des règles d'évolution.

Seuls 10% des candidats ont fourni un grafcet correct, correspondant au fonctionnement désiré. Ceci montre bien que la maîtrise du modèle ne suffit pas et qu'il faut énormément travailler la logique de construction de la description.

- 2- Cette question n'a pas soulevé l'enthousiasme des candidats, seuls 20% d'entre eux l'ont abordée. Il n'y avait pourtant aucun piège mais la résolution du problème nécessitait une approche logique, certainement difficile à mettre en œuvre en temps limité.
- 3- Le niveau de maîtrise exigé du modèle était apparemment au-dessus du niveau des candidats ! Sans commentaire.

Commentaires sur la troisième partie

Cette partie a été abordée par 80% des candidats. Ces derniers se sont souvent limités à traiter la première sous partie.

- Q – 1.1 Cette question a été souvent abordée avec des résultats moyens, le jury a été surpris de constater que certains candidats (>10%) confondent la consigne avec la sortie dans un système asservi.
- Q – 1.2 et 1.3 Le sujet pourtant classique dans le cas d'une modélisation hydraulique d'un vérin semble surprendre la majorité des candidats. Beaucoup perdent de vue le fait que cette modélisation est réalisée dans l'objectif d'une modélisation linéaire du vérin.
- Q – 1.4 La forme du schéma étant fournie cette question permettait de guider les candidats dans leur modélisation et donc donnait des informations indirectes sur les questions précédentes. Très peu (<10) candidats ont abouti au schéma correct.
Le jury rappelle l'importance de la modélisation dans l'étude des performances de systèmes asservis. La plupart des logiciels disponibles permettant en effet de simuler des comportements et par conséquent de déterminer les réglages de correction. Alors que la modélisation reste, pour la plus grande part une activité « manuelle ».
- Q – 2.1 et 2.2 A partir de ces questions seuls 20 à 25 % des candidats abordent les problèmes proposés. Les modifications de schémas proposées permettaient de se ramener à une configuration classique afin d'exploiter des résultats de cours connus. On note ici des bonnes réponses surtout pour ceux qui partaient d'une modélisation représentative à la question 1.4.
- Q – 3.1 et 3.2 L'intérêt d'améliorer le comportement d'une installation est bien sûr lié au cas d'application envisagé. Le jury note un nombre significatif de candidats pour lesquels il existe un certain nombre de réponses standard qui s'appliquent à tous les cas de figure. Très peu de candidats font référence aux consignes pour aborder ce problème et aucun n'envisage les conséquences sur la coupe de la plaque des réglages qu'ils proposent.

Le jury rappelle que cette épreuve se situe dans le cadre de l'Agrégation de Mécanique. Les compétences à développer dans le domaine de l'Automatique doivent être liées à celles de conception et d'étude des parties opératives.

L'interface entre les parties opérative et commande en termes de modélisation des entrées et sorties, de chronogramme des actions, de modélisation des parties mécaniques sous forme de schémas blocs etc ... seront donc privilégiées.