

SCIENCES INDUSTRIELLES I (EMPILAGE ET BROSSAGE DE PLAQUES NEGATIVES DE BATTERIE)

Durée : 5 heures

PRESENTATION DU SUJET

Le sujet comportait trois parties :

- une présentation du sujet : 7 pages,
- le travail demandé (parties A, B et C) : 19 pages,
- un dossier comprenant les 2 documents réponses et les 6 annexes : 10 pages.

Il portait sur l'étude de l'évolution d'une machine d'empilage et de brossage de plaques négatives de batteries. L'étude comportait 3 parties indépendantes :

- La première partie A permet d'aborder le fonctionnement de la machine (étude du GRAFCET et chronogramme) puis de réaliser les calculs de prédétermination en termes de cadences et d'accélération minimales (cinématique).
- La deuxième partie B, beaucoup plus longue, consiste à modéliser puis analyser le comportement dynamique du chariot de transfert des plaques. Cette analyse remet en cause les choix de conception pour la chaîne de transformation de mouvement. Elle met en évidence les risques d'instabilité encourus par une motorisation unique alliée à une dissymétrie de la transmission de mouvement.
- La troisième partie C propose la mise en place puis l'étude de la commande en poussée de deux moteurs linéaires pilotant chacun un des chariots. Cette disposition permet, d'une part, de supprimer la dissymétrie constatée et d'autre part, de diminuer les inerties pour augmenter les capacités dynamiques.

COMMENTAIRE GENERAL DE L'EPREUVE

Nous avons pris le parti de réaliser un sujet où la partie « *mécanique, modélisation* » permettait de modéliser et d'analyser le processus en vue de sa « *commande* ». Cette démarche a pu perturber une partie des candidats, habitués à des sujets comportant des parties plus découpées selon les disciplines enseignées. Néanmoins, la diversité et l'ampleur du sujet, correspondant à une véritable problématique industrielle, permettaient à chaque candidat de trouver matière à s'exprimer.

ANALYSE PAR PARTIE

Partie A : CALCULS DE PREDETERMINATION

Cette partie a été abordée par tous les candidats (ou presque).

Sous-Partie A1

L'étude du GRAFCET de coordination des tâches permettait aux candidats de bien comprendre le fonctionnement de la machine d'empilage et de brossage. La réalisation du chronogramme (questions A1.1 et A1.2) avait pour but de faire le lien entre le fonctionnement de la machine et la nécessité de respecter la nouvelle cadence d'arrivée des plaques.

Beaucoup de candidats se sont contentés d'une analyse succincte ou incomplète (un seul cycle !). La clarté du tracé et la mise en évidence des informations et des durées critiques manquent trop souvent à l'appel. La confusion entre temps de cycle et durée entre deux arrivées de plaques est souvent constatée.

Il était impératif pour les candidats de lire complètement la partie A avant de répondre à ces premières questions. Il ne s'agissait pas d'une simple lecture d'un GRAFCET mais de préparer les données et la modélisation liées à la cadence d'arrivée des plaques. La connaissance et la compréhension de la problématique globale du sujet permettent alors mieux répondre aux questions.

Sous-Partie A2 : étude cinématique.

La cadence d'arrivée des plaques impose deux conditions distinctes sur le temps de déplacement du chariot :

- dès qu'une pile est constituée, celle-ci doit être enlevée de la zone avant que la prochaine plaque ne se dépose ; c'est l'objet de la question A2.1. Les hypothèses formulées permettaient de tracer les courbes de déplacement de la pile d'une part ($X_p(t)$), et de la prochaine plaque d'autre part ($X_q(t)$). Les questions suivantes (b, c, d, e) étaient suffisamment détaillées et découpées (trop peut-être ?) pour conduire le candidat vers l'accélération minimale recherchée.

La plupart des mauvaises réponses est due à une lecture trop succincte des hypothèses formulées pour modéliser le problème. On retrouve alors des courbes de déplacement complètement farfelues.

Le découpage chronologique des questions a permis à certains candidats de trouver par intuition (déduction) l'inéquation (d) et les constantes c_1 et c_2 . Les correcteurs n'ont pas été dupes dans ce cas et moins de points ont été accordés à la réponse.

- le chariot de transfert doit effectuer un aller / retour avec une cadence minimale correspondant à celle de constitution des piles de plaques ; c'est l'objet de la question A2.2. Cette question pouvait être traitée indépendamment de la précédente, sauf pour la question c) qui nécessitait de comparer les deux accélérations trouvées. Cette comparaison permet de retenir une condition de fonctionnement pour l'accélération la plus grande, soit celle nécessaire pour effectuer l'aller / retour du chariot.

Les candidats ont nettement moins bien réussi cette question, soit parce qu'ils ont consacré moins de temps à celle-ci afin de passer à la partie B ; soit parce qu'elle était moins détaillée que la question précédente et demandait par conséquent des qualités d'analyse et de synthèse plus importantes (pour le temps imparti).

La partie A a été traitée par la majorité des candidats et la note moyenne obtenue est de 8,25 / 25 (EC=5,2) et contribue pour environ 50% de la moyenne globale.

Partie B : ETUDE DYNAMIQUE

Cette partie, beaucoup plus longue, a été abordée (pour la première partie) par beaucoup de candidats. Elle est indépendante de la première partie.

L'étude porte sur le dimensionnement puis le comportement dynamique du chariot de transfert des plaques. La chaîne fonctionnelle est composée d'un moteur tournant, d'un réducteur (train épi) et d'un double système de transformation de mouvement de type poulies - courroie crantée. Après une étude du processus considéré comme rigide (calcul des inerties ramenées au moteur, évaluation du couple nécessaire pour réaliser le cycle de fonctionnement ...), une raideur au niveau de l'arbre de synchronisation des deux chariots est prise en compte. L'étude de modélisation permet alors d'envisager le comportement dynamique de la chaîne fonctionnelle mécanique en vue de son asservissement.

Sous-Partie B1 : processus rigide

L'objectif de cette partie est de déterminer les couples d'accélération nécessaires pour chaque phase de la loi de mouvement imposée au chariot de transfert. La question B1.1 conduit à la relation de l'inertie équivalente totale ramenée à l'arbre moteur, le processus étant considéré comme infiniment rigide.

Les réponses diverses et variées proposées par beaucoup de candidats ont désagréablement surpris les correcteurs. Les masses en mouvement sont trop souvent ignorées dans le bilan des inerties. Quand elles sont prises en compte, les candidats ne savent pas calculer l'inertie équivalente d'une masse au travers d'un système de transformation de mouvement. Le rapport de réduction est parfois totalement escamoté des calculs. Enfin, certains candidats partent dans des calculs compliqués et très longs (sans résultats significatifs au final), reflète d'exercices traités en cours ou TD avec plusieurs variables dans l'espace. Ils n'ont pas, dans ce cas, su appréhender l'aspect mono variable dans une seule direction considérée (avancement du chariot, rotation du moteur).

La question B1.2 a surtout pour but de rappeler qu'il y avait un système de transformation de mouvement et que, par conséquent, l'expression du couple moteur à partir de la loi de vitesse en translation du chariot et de l'inertie totale n'était pas directe.

De nouveau, une majorité de réponses laisse apparaître de graves lacunes (oublis plus sûrement) et/ou des calculs compliqués et sans aucun sens.

La question B1.3-a) permet au candidat de bien voir la différence de masses entre l'aller et le retour du chariot de transfert afin d'éviter une erreur de calcul du couple. Le calcul d'inertie de l'arbre de synchronisation est une pure question de cours, utile néanmoins pour le calcul du couple et pour avoir une idée de l'importance relative de celle-ci dans la chaîne de transformation de mouvement. La question B1.4 n'a pas posé de problèmes à ceux qui avait bien répondu précédemment. Certains candidats ont rempli partiellement le tableau (durée, accélération) sous forme numérique et le couple sous la forme littérale, faute de réussite aux deux questions précédentes.

Cette question n'a pas posé de problèmes pour la majorité de ceux qui ont traité ces questions. On retrouve malgré tout de nouveau des calculs longs, fastidieux et faux pour le simple calcul des masses.

Sous-Partie B2 : prise en compte du comportement dynamique

Le couple d'accélération transmis en sortie de réducteur est relativement important. La chaîne de transmission de mouvement ne peut plus être considérée comme infiniment rigide. Les hypothèses simplificatrices conduisent à un système à deux inerties et 1 ressort équivalents. Celui-ci est localisé au niveau de l'arbre de synchronisation, considéré comme la souplesse prépondérante. Cette partie pouvait être traitée indépendamment des autres.

La question B2.1 permet de déterminer les inerties équivalentes de part et d'autre du ressort ainsi que la raideur équivalente en torsion de l'arbre de synchronisation.

Nous retrouvons le même problème qu'à la question B1.1 avec notamment l'oubli des masses en translation ainsi que l'oubli du rapport de réduction pour déterminer l'inertie équivalente du moteur au niveau de l'arbre de synchronisation. Heureusement, un petit nombre de candidats a su sans problème établir les expressions attendues. Le calcul de la raideur en torsion laisse aussi apparaître un grand nombre de réponses farfelues et/ou des calculs long et fastidieux.

Les parties suivantes sont indépendantes des précédentes jusqu'à la question B2.5-e).

Les questions B2.2 et B2.3 permettent de modéliser la chaîne de transmission sous la forme d'un schéma-bloc fonctionnel puis de déterminer la fonction de transfert mécanique. Cette modélisation doit permettre d'étudier le comportement dynamique (outil graphique BODE) du processus mécanique en vue de sa commande. La mise en place du schéma-bloc est réalisée de façon progressive pour chaque élément accumulateur de la chaîne fonctionnelle.

Peu de candidats ont su exprimer correctement la fonction de transfert d'un simple élément inertiel en rotation avec du frottement visqueux au niveau de la liaison pivot. Il s'agissait pourtant d'appliquer tout simplement le principe fondamental de la mécanique à une inertie en rotation après avoir mis en évidence les couples qui s'y appliquaient. Certains candidats ont essayé de « bricoler » les équations pour retrouver les relations exprimées par le schéma-bloc fourni : les correcteurs n'ont bien sûr pas été dupes et aucun point n'a été accordé dans ce cas.

La plupart des candidats a « décroché » à partir de ces questions. Seuls quelques rares téméraires ont traité la décomposition de la fonction de transfert pour obtenir la partie « rigide » d'une part (question B2.4), et le mode oscillant du deuxième ordre d'autre part (question B2.5).

Les correcteurs ont quand même eu de très bonnes réponses (en quantité infinitésimale) montrant la compétence de ces candidats. Ceux-ci ont d'ailleurs souvent répondu correctement à toute la partie B.

La question B2.6 met en œuvre l'outil graphique du lieu de BODE pour établir le comportement dynamique de la chaîne de transmission retenue. L'objectif est de déterminer la bande passante du processus mécanique modélisé et de prévoir la stabilité de celui-ci lorsqu'une commande en boucle fermée sera appliquée. Cette analyse remet en cause les choix de conception pour la chaîne de transformation de mouvement. Elle met en évidence les risques d'instabilité encourus par une motorisation unique alliée à une dissymétrie de la transmission de mouvement.

Encore plus rares ont été les candidats qui ont abordé cette partie et très peu de réponses correctes sont aperçues. Certains candidats ont cru bon de faire un petit cours sur le lieu de BODE ou ont proposé une pseudo réponse sans avoir effectué l'analyse et le raisonnement apportés par les questions précédentes.

La partie B a été nettement moins traitée par les candidats alors qu'il s'agissait de la partie « modélisation mécanique ». La note moyenne obtenue est de 4,88 / 35 (EC=4,5) et contribue pour environ 25% de la moyenne globale.

Partie C : ETUDE DE LA COMMANDE EN POUSSEE D'UN DES MOTEURS

Cette partie bien que très longue, n'a été traitée sérieusement que par un nombre de candidats restreint. Elle est indépendante des deux parties précédentes.

On commence par choisir les moteurs, en conservant la loi de vitesse en trapèze définie dans la partie B. Pour cette question, la démarche est très progressive : calcul des efforts correspondants aux différentes phases fonctionnelles, détermination de la force de poussée maximale et de la force moyenne développée sur un cycle.

Trop de candidat ne se sont pas aperçus que suivant la phase fonctionnelle, les moteurs étaient chargés ou non (quand ils ont compris qu'il y avait deux moteurs). D'autre part, la notion de « force équivalent thermique », bien qu'explicitée dans le document n'a que très rarement permis de choisir le bon moteur.

Dans la question sur l'identification du processus à piloter, nous avons cherché à faire le lien entre les équations temporelles et la représentation par schéma blocs en utilisant la transformée de Laplace. Le fil conducteur, était de montrer au candidat que les moteurs utilisés sont équivalents à des associations électromagnétiques et électromécaniques de deux machines à courant continu.

Cette question sans difficulté particulière, permettait de faire la liaison avec l'étude de la commande en poussée en justifiant les hypothèses. En conséquence, les candidats qui ont abordé cette question ont bien répondu dans la majorité des cas.

Pour l'étude de la commande en poussée, nous avons proposé de mettre au point un régulateur qui doit rendre la force de poussée quasiment insensible aux variations de vitesse intervenant pendant les phases de démarrage et de freinage ou encore liées aux variations de la charge mécanique. Pour cela, nous avons cherché à annuler l'erreur permanente sans avoir recours au correcteur PI classique.

Nous avons été très surpris de voir que peu de candidats font la différence entre asservissement et régulation. Les questions relatives aux calculs d'erreurs permanentes sont éludées, et rares sont ceux qui justifient les résultats trouvés.

La partie C a été nettement moins traitée par les candidats alors qu'il s'agissait de la partie « automatique ». La note moyenne obtenue est de 5,25 / 40 (EC=4) et contribue pour environ 25% de la moyenne globale.

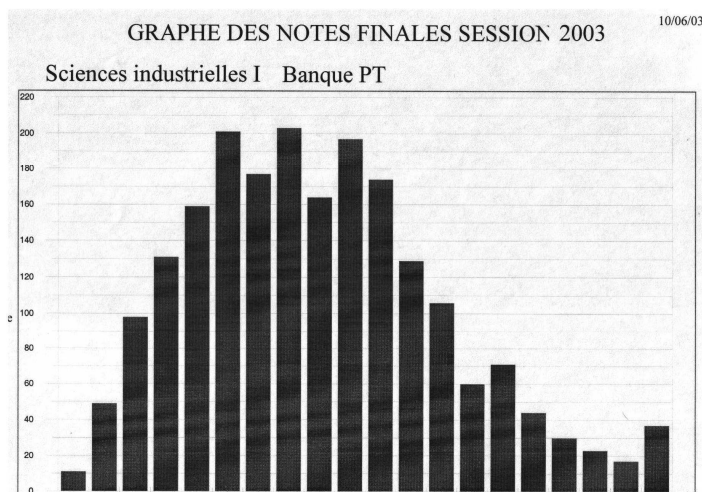
ANALYSE DES RESULTATS

Notes inférieures à 5/20 : 448 (soit 21,5 %)

Notes supérieures à 15/20 : 230 (soit 11 %)

Moyenne : 8,48/20

Ecart type : 4,11



Très peu de candidat ont été absents à l'épreuve malgré la date qui coïncidait avec une journée de grève nationale (14 absents pour 2095 inscrits).

CONSEILS AUX FUTURS CANDIDATS

- Prendre le temps de lire la totalité du sujet « en diagonale » pour assimiler sa structure (domaines abordés, partie(s) qui vous semble(nt) accessible(s), partie(s) ou domaine(s) hors de vos compétences à priori, ...). Cette première lecture doit rester rapide, les détails seront éventuellement décodés lors du traitement des questions qui y font référence. Il est très important pendant cette phase, de détecter (voire surligner) les questions (ou parties) indépendantes.
- Il est important de traiter toutes les parties du sujet, quitte à ne pas répondre complètement à l'une des questions (ou partie). En effet, chaque partie est corrigée par un correcteur différent qui attribue un nombre de points prédéfini. Un candidat ayant abordé partiellement toutes les parties se verra attribuer une note globale supérieure à celle d'un candidat n'ayant traité complètement et correctement qu'une seule partie. La gestion du temps est donc importante.
- L'épreuve est toujours tirée d'un contexte industriel et elle est relative à des problèmes concrets. Il faut donc montrer votre capacité à aborder ces problèmes et à mettre en valeur vos connaissances pour les traiter, ce qui nécessite un recul important sur les problèmes industriels d'actualité.
- Le jury apprécie la capacité du candidat à formuler, voire à synthétiser clairement sa pensée par écrit (*un bon schéma vaut mieux qu'un long discours !*). Bien que la qualité de la rédaction n'entre pas explicitement dans la notation, elle est très appréciée des correcteurs et joue un rôle non négligeable dans l'évaluation.