

Option

Sciences Industrielles de l'Ingénieur

Présentation du sujet

Le support de l'épreuve de S2I de la filière MP session 2020 est le dispositif de mise en mouvement des deux demi-voiles solaires de l'auditorium de la Seine Musicale implantée sur l'île Seguin à Boulogne-Billancourt. Ce bâtiment a été conçu par les architectes Shigeru Ban et Jean de Gastines.

Afin que la voile globale suive correctement le soleil, il est impératif que les déplacements de ces deux demi-voiles soient synchronisés. C'est ce dernier point qui constitue l'objet de l'étude proposée.

Analyse globale des résultats

Le sujet est d'une longueur raisonnable puisque la plupart des candidats ont abordé toutes les questions.

Les candidats préparés à une approche globale d'un problème ont produit des copies remarquables et ont su s'approprier les nombreuses informations fournies dans le texte. Par sa structure progressive, la démarche proposée a permis à la grande majorité des candidats de s'impliquer dans la résolution du problème proposé et à un grand nombre de proposer une conclusion remarquablement argumentée. À l'opposé, les candidats qui ont parcouru le sujet à la recherche de points faciles ont échoué, car il était indispensable de s'approprier la problématique de l'étude pour pouvoir progresser.

Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats

Comme chaque année, le jury tient à rappeler, avec la plus grande insistance, que les réponses fournies ne peuvent se limiter à de simples affirmations. Les réponses sans argumentation ne sont pas prises en compte, quand bien même elles seraient correctes. Par la suite, ce rapport précise les attendus du jury sur cet aspect.

Dans la rédaction d'une réponse, la démarche retenue doit apparaître de façon explicite et ordonnée. Les hypothèses simplificatrices doivent être clairement indiquées et justifiées. Les unités des différentes grandeurs exprimées numériquement doivent être systématiquement indiquées en se limitant aux unités de base et aux unités dérivées du Système International.

Le jury souhaite que les réponses soient rédigées dans l'ordre quand bien même elles seraient abordées dans un ordre différent, que les numéros des questions soient indiqués, que les réponses aux questions soient mises en évidence et que les développements amenant à ces réponses soient rédigés de manière lisible et compréhensible.

Trop de candidats trouvent des valeurs numériques sans se demander si elles sont cohérentes avec le système étudié, additionnent, voire comparent deux grandeurs d'unités différentes, ce qui conduit certains à valider des valeurs totalement aberrantes vis-à-vis de la fonction du système.

I Introduction

Cette partie a pour objectif de vérifier que le déplacement périodique de la voile, choisi pour ne pas solliciter excessivement les motorisations, permet de suivre le soleil en ayant un déplacement imperceptible à l'œil humain.

Les trois questions de cette partie ne présentent pas de problèmes particuliers et ont d'ailleurs été très bien réussies par la majorité des candidats. Toutefois, le jury regrette que des candidats se contentent de donner une valeur numérique de la vitesse maximale sans préciser ce qui les a conduit à faire ce choix. Le jury rappelle qu'une réponse correcte est une réponse argumentée. Ici, il fallait indiquer la plage horaire présentant la pente maximale et préciser les valeurs d'angles et d'instantanés relevés sur la courbe fournie. Quelques candidats ne sont pas à l'aise avec le calcul d'un déplacement sur une durée à partir d'une loi de vitesses. Le profil de vitesses en trapèze est un classique des lois de commandes. Avec un peu de bon sens et une bonne préparation, tout candidat devrait savoir calculer un déplacement par calcul de l'aire sous la loi de consigne en vitesses. Ainsi, ce calcul rapidement effectué, permettait de se concentrer sur la validation des exigences.

II Analyse de la commande en boucle ouverte du déplacement de la voile solaire

L'objectif de cette partie est d'analyser les performances de la commande en vitesse et en boucle ouverte d'une des deux demi-voiles, l'effet de la perturbation due au vent étant prise en compte.

Pour conclure quant aux respects des deux exigences, il fallait analyser le niveau de chaque critère, analyser les données du texte, effectuer un calcul et conclure. Ce qui a été réalisé correctement par un très grand nombre de candidats. Mais on peut déplorer que certains ne soient pas rigoureux avec les unités usuelles de mesure des grandeurs angulaires, par exemple, en comparant entre elles sans conversion des valeurs exprimées en $^\circ/\text{s}$ et en rad/s .

Le modèle multiphysique de déplacement d'une voile n'a été compris que par très peu de candidats, sans doute parce que ce modèle de représentation n'est pas assez familier des candidats de la filière MP. Toutefois le jury s'étonne que beaucoup de candidats aient eu des difficultés à placer correctement un capteur de courant (en série) et un capteur de tension (en dérivation) dans la représentation proposée.

III Étude de la commande en vitesse d'un chariot central en boucle fermée

Après avoir constaté les limites de la commande en boucle ouverte, il est proposé dans cette partie d'étudier la commande en boucle fermée du déplacement d'une demi-voile.

Dans un premier temps, l'étude portait sur la modélisation de la chaîne d'énergie et des différentes perturbations à considérer dans l'asservissement permettant le déplacement d'un chariot central afin de déterminer l'équation dynamique du moteur (sous-partie III.A). Une fois la modélisation de l'asservissement mise en place, il est proposé de valider une solution de correction (sous-partie III.B) et finalement de la mettre en œuvre pour répondre aux caractéristiques imposées par le constructeur (sous-partie III.C).

III.A - Modélisation dynamique de la voile

La très grande majorité des candidats a déterminé convenablement la loi cinématique demandée, mais le jury regrette toutefois le manque de rigueur dans la formulation de l'hypothèse nécessaire. Il y a beaucoup trop de confusions entre les notions cinématiques de roulement, de glissement et les conditions du contact entre solides avec ou sans frottement de glissement. On peut aussi déplorer la confusion trop fréquente entre rayon et diamètre.

Les modélisations et développements calculatoires associés aux notions d'actions mécaniques élémentaires sont trop souvent galvaudés faute de rigueur « mathématique », ce qui est assez surprenant pour des candidats de la filière MP. Il n'est malheureusement pas rare de trouver des vecteurs égaux à des scalaires ou même à des valeurs numériques, dans les définitions utilisées. Trop de candidats restent encore persuadés que toutes les actions mécaniques sont représentables par un glisseur. Ainsi, ces candidats éprouvent des difficultés dès l'expression littérale du moment de l'action mécanique définie de manière locale.

Les calculs de moment de résistance au roulement sont plutôt bien menés même si le jury s'étonne de retrouver encore des erreurs de signe dans l'application du bras de levier ou dans l'écriture et l'application de la formule de changement de point d'un champ de vecteurs moments.

Il est rappelé que l'unité du moment d'une action mécanique est le N·m. Le $\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}$ est homogène au N·m, mais n'est pas accepté et encore moins le joule.

Le jury insiste sur l'importance du vocabulaire. Il y a régulièrement une confusion entre le principe fondamental de la dynamique et le théorème de la résultante dynamique.

Les questions 17 à 21 n'ont pas posé de problème de compréhension pour la majorité des candidats. En revanche, les manques de rigueur ont encore une fois assez lourdement pénalisé les candidats (rapport de réduction oublié dans l'expression de l'inertie équivalente, système constitué de 2 motoréducteurs...). Par ailleurs, la notion de frontière d'étude d'un système n'est pas toujours correctement prise en compte, même si tous les éléments étaient présents pour permettre l'identification des différentes puissances. Le jury tient à rappeler que la nullité de certaines puissances doit être justifiée. Ce n'est pas parce qu'elles sont nulles qu'elles ne doivent pas apparaître dans l'inventaire. On citera par exemple, dans le contexte de cette étude, la puissance de l'action de pesanteur ou encore la puissance des actions de liaisons entre solides internes au système étudié.

III.B - Modélisation de la commande en vitesse d'un chariot central en boucle fermée

Les questions de cette partie ne présentent pas de problème particulier et ont d'ailleurs été réussies par une grande majorité de candidat.

III.C - Étude des performances de la boucle de vitesse

La détermination de fonctions de transfert exprimées dans le domaine de Laplace et l'identification des grandeurs canoniques n'a que très rarement posé de problème aux candidats qui ont abordé ce calcul avec rigueur. Mais le jury s'étonne qu'un nombre non négligeable de candidats soient incapables d'aboutir à des expressions homogènes des grandeurs, surtout qu'il ne s'agit ici que de calculs très classiques dans une machine à courant continu perturbée, normalement abordés tout au long des deux années de préparation aux concours.

En dehors de quelques incohérences, le tracé des diagrammes de Bode d'un correcteur proportionnel intégral n'a posé aucun problème. En revanche, le choix de son placement n'a été que très rarement justifié, la grande majorité des candidats se contentant d'expliquer le rôle d'un tel correcteur, ce qui était évidemment hors sujet. Le réglage de son gain à partir de la représentation fréquentielle a été assez bien traité, mais un grand nombre de candidats semble ne pas maîtriser la notion de marge de phase.

De plus, le jury rappelle que, dans le cas d'une validation d'une ou plusieurs performances du cahier des charges, il faut nécessairement préciser l'identifiant de l'exigence et son niveau dans le diagramme des exigences puis indiquer la valeur atteinte, l'éventuel écart et enfin conclure : tout oubli d'un de ces points montre un manque de rigueur et de maîtrise de la démarche. Par ailleurs, dans le cas de la demande de validation de plusieurs performances, le jury conseille une présentation sous forme de tableau, structure synthétique très utile pour présenter ses résultats.

IV Conclusion

Cette dernière partie a pour objectif de permettre de valider le schéma de commande proposé des deux demi-voiles afin d'assurer la synchronisation de leurs déplacements lors du suivi du soleil.

Les candidats ont su s'approprier le sujet pour fournir des réponses argumentées sur la justification des choix faits lors de la mise en place du système. Mais le jury regrette que, trop souvent, les réponses apportées soient de simples affirmations. Une conclusion du type « tout va bien » n'est pas acceptable et

il faut nécessairement, comme indiqué précédemment, justifier chacun des points étudiés et chacune des conclusions faites.

Conclusion

La préparation de cette épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur ne s'improvise pas. Elle est destinée à valider des compétences transverses en s'appuyant sur des réalisations industrielles complexes qu'il faut appréhender dans leur globalité. Elle est transverse entre les champs disciplinaires enseignés en sciences industrielles de l'ingénieur, mais aussi avec les autres disciplines de la filière. Cette préparation doit donc s'articuler autour de l'analyse et de la mise en œuvre de démarches de résolution rigoureuses s'appuyant sur des supports réels contextualisés.