

Option

Sciences Industrielles de l'Ingénieur

Présentation du sujet

Le support est un bras manipulateur collaboratif commercialisé par la société SAPELEM. Il permet de manipuler intuitivement différents types de charges allant jusqu'à 200 kg « sans effort ».

L'objet de l'étude est d'analyser les solutions constructives retenues et de valider la capacité du bras à répondre aux exigences du commanditaire.

La première partie permet de mettre en évidence la nature de la consigne donnée par l'opérateur, les limites en accélération de l'objet déplacé ainsi que le risque d'un phénomène vibratoire.

La deuxième partie a pour but de montrer que l'asservissement à la consigne, en vitesse, donnée par l'opérateur n'est pas la source des vibrations, puis de valider le dimensionnement de l'actionneur et de vérifier la capacité de la chaîne d'action à ne pas dépasser la limite en accélération de l'objet déplacé.

La troisième partie a pour objectif de déterminer la source des vibrations, par élimination après analyses successives, en étudiant tout d'abord le capteur d'effort puis un modèle souple de la structure.

La quatrième partie a pour but de valider et de dimensionner un filtre placé dans la boucle collaborative dont le rôle est d'atténuer le phénomène vibratoire.

Le sujet conclut avec une analyse de mesures effectuées sur le système réel pour valider sa capacité à répondre aux exigences du commanditaire.

Analyse globale des résultats

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. Le questionnement était de longueur et de difficulté raisonnables : plusieurs candidats ont ainsi traité toutes les questions, ce qui est une amélioration par rapport aux années précédentes.

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 certains de proposer une analyse des performances globales 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.

Il est à noter cette année, et contrairement aux dernières sessions, que la présentation des copies s'est fortement dégradée. En effet, les résultats aux questions ne sont pas mis en évidence, certains candidats traitent les questions dans le désordre, sans rappeler le numéro des questions. De même, la qualité de l'écriture ainsi que l'orthographe sont parfois déplorables, ce qui nuit fortement à la clarté des copies. Certains candidats semblent ne pas maîtriser les niveaux de langage et emploient un niveau de langage familier, inapproprié dans une copie de concours. Par ailleurs, dans de trop nombreuses copies, les applications numériques n'ont pas d'unité ou sont incohérentes : ainsi, par exemple, le jury a noté cette année qu'une proportion conséquente de candidats ne fait pas la différence entre le $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ et le Hz, point antérieurement largement maîtrisé.

Les commentaires et conseils s'adressent bien évidemment aux futurs candidats mais, une nouvelle fois, le jury demande aux collègues enseignants de CPGE de la filière MP d'insister auprès de leurs étudiants sur ses attentes.

Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats

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.

Le jury souhaite que les réponses soient rédigées dans l'ordre quand bien même elles seraient abordées dans un ordre différent, que les réponses aux questions soient mises en évidence et que les développements amenant à ces réponses soient rédigés de manière lisible et compréhensible. Il est rappelé que, dans la structure de la description par l'utilisation du langage de modélisation SysML, il est indispensable de faire référence aux exigences par leur identifiant numéroté (id ...).

Vérification partielle des exigences

Cette partie a été bien traitée en général, même si certaines conclusions étaient maladroitement exprimées. Il est bien évident qu'une affirmation telle que « C'est la consigne de vitesse qu'il faut retenir » n'est pas une réponse correcte. Comme indiqué en préambule, la qualité de l'argumentation a été plus valorisée que le calcul, ici élémentaire. Certains candidats n'ont pas compris que la condition pour conserver le câble tendu était une inégalité, sans doute par manque de réflexion sur la contextualisation des calculs effectués.

Pour la validation de l'exigence id 1.4.1 deux réponses étaient possibles selon que l'on considérait la valeur asymptotique ou la valeur instantanée relevée sur la mesure. Comme indiqué en préambule, le jury a valorisé l'argumentation et la cohérence de la conclusion avec cette argumentation. Aucun point n'était accordé à une réponse telle que « Oui l'exigence 1.4.1 est validée ».

Étude de l'asservissement de vitesse

La partie calcul de cette question a été correctement traitée. La coquille sur l'indice de ω n'a gêné aucun candidat de part son évidence. Le jury regrette que l'hypothèse de roulement sans glissement du câble sur le tambour n'ait été que rarement évoquée. Ici encore la conclusion n'était valorisée qu'accompagnée d'une argumentation correcte. Après le calcul numérique juste, des réponses telles que « L'exigence id 1.4.1 est validée » ou « Je trouve $2,03 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, donc l'exigence id 1.4.1. est validée » ne sont pas recevables. Il est impératif de rappeler le niveau de l'exigence et de le comparer au résultat obtenu pour conclure. Il était ici obligatoire de rappeler que la vitesse maximale exigée était de $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Ensuite, selon l'interprétation de cette exigence, plusieurs réponses étaient possibles : l'exigence n'est pas satisfaite car la vitesse calculée est trop grande ; l'exigence est satisfaite car la vitesse calculée, certes supérieure, est très proche de la vitesse exigée ; l'exigence est validée car le moteur est suffisamment dimensionné pour atteindre la vitesse maximale exigée : il suffira de le commander à une vitesse légèrement inférieure à ses capacités. Bien entendu, seule la dernière réponse a un sens dans ce contexte, mais ces trois exemples de réponse, même s'ils conduisent à des conclusions différentes, ont été valorisés par le jury car accompagnés d'une argumentation cohérente.

D'une manière générale, les candidats ont bien appréhendés d'une manière globale le mécanisme et ont fait une liste cohérente de l'ensemble de solides à retenir pour l'étude énergétique. Quelques trop rares candidats ont rédigé remarquablement le bilan des puissances mises en jeux en distinguant avec rigueur les puissances galiléennes des actions extérieures et les puissances des actions intérieures. Le jury regrette que si peu de candidats aient fait cet effort de rigueur. Le jury note, de nouveau, que les hypothèses conduisant à la nullité de certaines puissances en jeux ont été rarement évoquées. Le jury rappelle que si le solide (i) fait partie de l'ensemble des solides isolés et qu'il est en liaison supposée énergétiquement parfaite avec le bâti (0), qui n'en fait pas partie, alors la puissance galiléenne de l'action extérieure exercée par (0) sur (i) est nulle parce que $P(0 \rightarrow i/0) = P(0 \leftrightarrow i) - P(i \rightarrow 0/0) = 0 - 0$. Cette notion est quasiment inconnue des candidats.

Le calcul de l'accélération maximale n'a été que très peu abordé correctement, bien qu'il s'agisse simplement d'une application numérique et d'une analyse de celle-ci. De très nombreux candidats, n'ayant probablement pas suivi rigoureusement le fil conducteur du sujet, n'ont pas tenu compte du signe négatif du couple maximal délivré par le moteur, en raison de la phase de descente.

Étude de l'asservissement de vitesse, réglage du correcteur

Cette question traite de la correction et donc de l'amélioration des performances d'un système asservi.

L'analyse de l'influence du type de correcteur sur les performances est globalement bien maîtrisée, mais ici, il est demandé, par une analyse précise du cahier des charges, de justifier le choix d'un correcteur vis-à-vis de la précision en présence de perturbation. Par conséquent, la seule connaissance des éléments de cours n'est pas suffisante et une argumentation précise et justifiée est exigée.

Le jury note avec regret que le tracé asymptotique d'un diagramme de Bode n'est pas bien maîtrisé, et rappelle que celui-ci, constitué de deux graphes (gain et phase), doit comporter obligatoirement les valeurs des points caractéristiques ainsi que la ou les pentes.

Poursuite de la recherche de l'origine des vibrations

Même si le calcul de l'expression demandée a été souvent bien conduit, le jury regrette que, pour le bilan des actions extérieures, un grand nombre de candidats a oublié d'évoquer la liaison glissière avec le bâti. Une fois de plus, le jury rappelle que ce n'est pas parce qu'une composante d'action est nulle qu'il ne faut pas l'évoquer. En l'occurrence, c'est la nullité de la composante de la résultante de l'action du bâti (0) sur le solide (1) en projection sur la verticale qui justifie que seul le théorème de la résultante dynamique en projection sur la direction verticale permet de répondre à la question.

Cette partie impose une rédaction rigoureuse des réponses. Un trop grand nombre de candidats a précisé un des théorèmes généraux de la dynamique des solides répondant à la question mais sans préciser à quoi il l'appliquerait, ce qui n'a aucun sens. L'équation 4 est évidemment obtenue par une étude cinématique, ce que la majorité des candidats qui a traité cette question a répondu. On peut s'interroger sur le manque de bon sens de ceux qui ont justifié cette équation à l'aide d'une étude dynamique. Les désignations exotiques comme « théorème de la puissance cinétique », « théorème du moment cinétique », etc., ne sont pas mentionnés dans les programmes et sont refusés. La désignation « théorème du moment dynamique en projection sur z » est incomplète, donc fautive, et est en conséquence refusée.

Il ne faut pas se contenter d'une vision superficielle du sujet pour conclure cette partie. Beaucoup de candidats ont comparé les deux courbes données montrant ainsi qu'ils n'avaient pas compris la problématique. À l'inverse, les candidats qui abordent un sujet de sciences industrielles de l'ingénieur comme la conduite cohérente d'une problématique et essaient de l'assimiler, ont apporté

des réponses argumentées en faisant référence à la seule figure du sujet, utilisée précédemment pour une autre question, permettant de conclure au choix des paramètres

Analyse des performances de la boucle collaborative

Cette partie commençait par une étude comparative des performances mesurées et des performances simulées à partir d'un modèle de connaissance. Le jury attendait du candidat une analyse précise et la formulation de conclusions argumentées. Les réponses apportées du type « les deux courbes sont très proches » n'ont évidemment pas été retenues.

L'analyse du filtre réjecteur a été généralement correctement abordée. Le traitement des données fournies par le capteur d'effort était abordé par l'intermédiaire d'une fonction à écrire dans le langage Python ou Scilab. Celle-ci a été bien traitée par la grande majorité des candidats, même si le jury regrette une confusion entre post-traitement et traitement en temps réel.

Analyse des performances globales

Le sujet était d'une longueur adaptée. En conséquence, un grand nombre de candidats a abordé cette partie. Des candidats, bien que n'ayant pas traité avec succès toutes les parties du sujet, ont produit une analyse remarquable : cela constitue la preuve de leur parfaite appropriation de la problématique globale du sujet. L'analyse des performances et la comparaison au diagramme des exigences étaient demandées. Concernant l'exigence id 1.2, seul un calcul de l'accélération par recherche de la pente maximale sur les courbes de vitesses (même approché) de l'accélération pouvait permettre de conclure. Encore une fois, les réponses non justifiées n'ont pas été retenues par le jury, une quantification à partir des courbes fournies devait étayer les réponses.

On peut cependant regretter que certains candidats se sont contentés de répondre « oui » ou que d'autres ont produit une synthèse sur deux pages.

Conclusion

La préparation de cette épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur ne s'improvise pas. Elle est destinée à valider d'autres compétences que celles évaluées par les autres disciplines en s'appuyant sur des réalisations industrielles complexes qu'il faut appréhender dans leur globalité. 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.