

Option

Sciences Industrielles de l'Ingénieur

Présentation du sujet

Le support de l'épreuve de S2I de la filière MP session 2024 porte sur une attelle de mobilité passive continue du genou commercialisée par la société Kinetec.

L'étude proposée avait pour objectif d'évaluer les solutions retenues pour assurer une rééducation autonome du genou après une reconstruction des ligaments croisés, en mode passif, à l'aide d'un arthromoteur automatisé en respectant les exigences thérapeutiques.

Analyse globale des résultats

Le sujet est conforme dans sa taille puisqu'un très grand nombre de candidats a 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 certains de conclure sur la problématique traitée dans le sujet. 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 points clés du développement doivent être mis en évidence. Les réponses littérales doivent apparaître sous une forme simplifiée et être exprimées en fonction des paramètres explicitement précisés dans la question, quand c'est le cas, et en fonction uniquement des paramètres du sujet dans le cas contraire. Les applications numériques doivent être posées. 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. Toute réponse sans unité ou avec des unités erronées est considérée comme fautive.

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.

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 clairement mises en évidence, que les développements amenant à ces réponses soient rédigés de

manière lisible et compréhensible et que la formulation des réponses respecte les consignes indiquées dans le texte.

Partie I - Mise en situation et problématique

L'objectif de cette partie est de montrer que les informations de réglage fournies par le thérapeute sont suffisantes pour établir une loi de consigne angulaire du genou conforme aux exigences thérapeutiques puis de vérifier que la configuration standard de la carte de commande de l'arthromoteur automatisé est capable de suivre cette consigne.

La bonne assimilation des données contextualisées a permis à la majorité des candidats d'aborder les deux questions de cette partie sans problème particulier. À l'opposé, certains éprouvent des difficultés à exprimer un déplacement à partir d'un profil de vitesse en trapèze bien que ce soit un exercice classique. De plus, quelques candidats ne prêtent pas assez attention aux unités $^{\circ}s^{-1}$, $^{\circ}\text{min}^{-1}$ ou $\text{rad } s^{-1}$ voire comparent une vitesse à l'écart maximal de vitesse. Une lecture plus attentive du texte et un peu de bon sens éviteraient ce type d'erreurs.

Partie II - Modélisation fonctionnelle de la structure de la commande angulaire du genou

Cette partie a pour objectif de s'appropriier l'environnement matériel en analysant la structure de la commande angulaire du genou de l'arthromoteur.

La très grande majorité des candidats s'approprie les données du texte, notamment de l'annexe, et identifie correctement les constituants de l'arthromoteur.

L'erreur fréquemment rencontrée est une inversion entre les deux mesures, capteur de vitesse angulaire du moteur et capteur de position angulaire du genou. Là encore, une lecture attentive de la figure 23 levait toute ambiguïté.

Partie III - Détermination des paramètres caractéristiques de la carte de commande angulaire du genou

L'objectif de cette partie est d'établir un modèle de l'arthromoteur permettant de déterminer les valeurs théoriques des paramètres de la carte de commande garantissant que le mouvement du genou soit conforme aux exigences.

Partie III.A - Modèle de connaissance linéaire de l'attelle articulée

L'objectif est d'établir un modèle linéaire du comportement cinématique de l'attelle articulée.

La très grande majorité des candidats a su analyser le schéma cinématique pour en déduire l'écriture de l'équation vectorielle traduisant la fermeture géométrique de la chaîne de solides et de liaisons. Toutefois, le jury constate qu'un certain nombre de candidats ne trouve pas l'expression demandée par manque de rigueur dans le développement mathématique. À la question **Q8.**, les trois fonctions « Sum » ont été correctement rédigées en langage Python par la très grande majorité des candidats. Mais, la minimisation d'une fonction de deux variables et la résolution d'un système linéaire de deux équations à deux inconnues ne semblent pas maîtrisées. La contextualisation d'une étude ne devrait pas gêner les candidats, le jury invite les futurs préparateurs à dépasser le cloisonnement des disciplines.

Partie III. B - Modélisation

L'objectif est de déterminer et valider un modèle de la commande en vitesse angulaire du moteur de l'arthromoteur.

L'inventaire des puissances des actions extérieures et intérieures a été bien réalisé bien que certains expriment des actions mécaniques à la place de ce qui est demandé. L'identification du frottement sec

et du frottement visqueux a été correctement effectuée. Mais, les résultats numériques sont trop souvent donnés sans unité ou avec des unités sans rapport avec la grandeur physique correspondante. Le calcul d'une fonction transfert en boucle fermée ne pose pas de problème, le jury regrette que le résultat ne soit pas mis sous la forme canonique demandée.

La validation des hypothèses effectuées pour l'identification demandait d'avoir bien compris l'ensemble de la démarche. Un grand nombre de candidats a réussi à résumer les conditions de mise en œuvre nécessaires à cette validation. Mais, très peu ont argumenté leur réponse. Il ne suffisait pas de définir les conditions d'un nouvel essai, encore fallait-il expliquer comment l'exploiter. Le jury insiste sur l'importance de la justification et de l'argumentation d'une réponse.

L'expression de l'action de pesanteur donnait lieu à des calculs simples. Toutefois, les futurs préparateurs sont invités à distinguer la base de projection de la base du repère d'observation d'un vecteur vitesse, cette confusion peut entraîner des calculs longs et inutiles.

À la question **Q21**, il était demandé d'étudier deux écarts, l'écart simulé-mesuré et l'écart mesuré-souhaité. Beaucoup de candidats donnent une argumentation sans préciser l'écart étudié, voire confondent les deux écarts. L'emploi d'un vocabulaire approprié permet de rédiger une argumentation de qualité.

À la question **Q23**., deux valeurs de K_i répondaient au niveau des critères du tableau 3. Le choix de K_i , parmi ces deux valeurs, a été trop souvent effectué à partir d'un critère temporel hors sujet. Il fallait exploiter le résultat de la question **Q22**.. Trop de candidats considèrent les questions comme des exercices indépendants, ce qui n'a aucun sens dans une étude qui s'appuie sur une problématique unique et une démarche qui a pour but de répondre à des objectifs clairement définis.

Partie III. C - Réglage du correcteur de la boucle de position $C_p(p)$

Cette partie a pour objectif de régler les constantes du correcteur de la commande en position angulaire du genou.

Le réglage du gain du correcteur, par translation de la courbe de gain de la réponse fréquentielle n'a pas posé de problème pour un grand nombre. Toutefois, le jury constate que certains emploient une méthode analytique inappropriée ici. Un simple relevé graphique suffisait pour déterminer le gain du correcteur.

Partie IV - Conclusion et synthèse

Cette partie a pour objectif de valider les réglages théoriques à l'aide d'un essai sur l'arthromoteur puis de conclure sur la capacité de l'arthromoteur automatisé à être qualifié pour tout type de rééducation passive du genou avec les paramètres caractéristiques de la carte de commande qui ont été déterminés.

Le jury rappelle que, dans le cas d'une validation d'une ou plusieurs performances du cahier des charges, il faut nécessairement préciser l'exigence par sa désignation ou son identifiant, puis indiquer la valeur atteinte, comparer par rapport au niveau du critère associé à cette exigence et enfin conclure : tout oubli d'un de ces points montre un manque de rigueur et de maîtrise de la démarche.

Les trois dernières questions invitent à porter un regard critique sur l'étude limitative effectuée. Il fallait s'être approprié l'ensemble de la démarche de modélisation linéaire, pour en comprendre les limites. Cette question placée en fin de sujet a donné lieu à de rares bonnes réponses.

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.