

Activation 01



Assistance pour le maniement de charges dans l'industrie

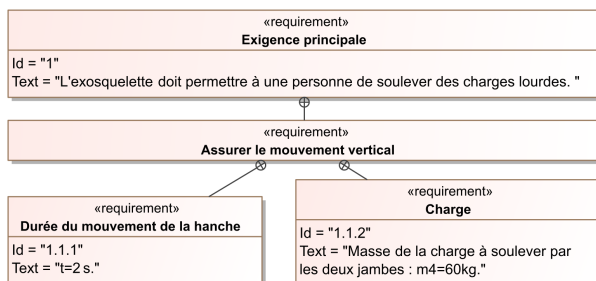
Concours Centrale Supélec TSI 2017

Savoirs et compétences :

- Mod2.C17.SF1 : déterminer le torseur dynamique d'un solide, ou d'un ensemble de solides, par rapport à un autre solide
- Res1.C2 : principe fondamental de la dynamique

Mise en situation – Assurer le mouvement vertical

L'exosquelette est un appareil qui apporte à un être humain des capacités qu'il ne possède pas ou qu'il a perdues à cause d'un accident. Ce type d'appareil peut permettre à une personne de soulever des charges lourdes et diminuer considérablement les efforts à fournir sans la moindre fatigue. Après avoir revêtu un exosquelette adapté à sa morphologie et à sa taille, l'utilisateur peut faire ses mouvements en bénéficiant d'une grande fluidité.



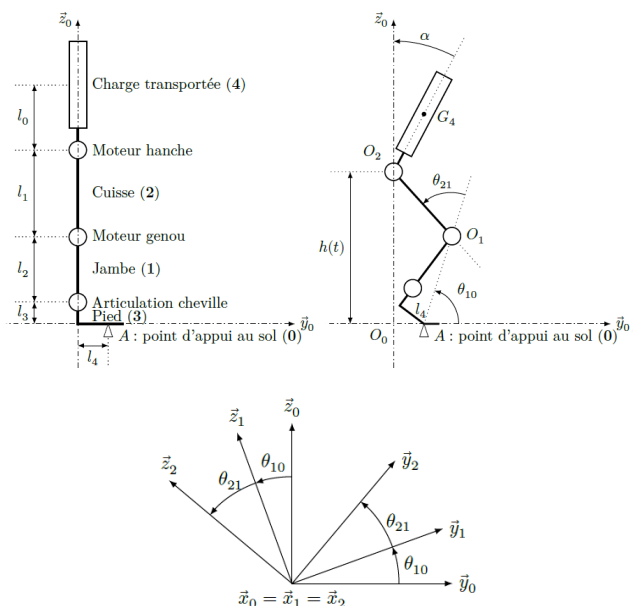
Objectif Proposer un modèle de connaissance des éléments réalisant l'exigence fonctionnelle « assurer le mouvement vertical » puis valider les performances attendues listées par le cahier des charges.

Élaboration du modèle dynamique

Objectif Dimensionner le moteur situé au niveau d'un genou permettant à l'exosquelette de soulever une masse de 60 kg de la position accroupie à la position debout.

Ces calculs visent à déterminer l'équation dynamique qui permet d'obtenir le couple moteur (minimal) en fonction des caractéristiques géométriques et massique de la charge à soulever ainsi que des conditions d'utilisation.

Le modèle d'étude est celui représenté à la figure suivante correspondant au modèle d'étude plan position fléchie.



Hypothèses :

- L'étude est modélisable dans le plan.
- Toutes les liaisons sont supposées parfaites.
- Les inerties des pièces sont négligées sauf la masse de la charge à soulever.
- L'angle α entre la charge transportée et la verticale \vec{z}_0 reste constant.
- G_4 , centre de gravité de la charge transportée (4), reste en permanence à la verticale du point A d'appui au sol.

Données :

- $\vec{O_1 G_4} = \lambda(t) \vec{z}_0 - L \cos \theta_{10} \vec{y}_0$;
- Accélération de la pesanteur $g = 9.81 \text{ m s}^{-2}$;
- Longueur de la cuisse $l_1 = 43.1 \text{ cm}$.
- Longueur de la jambe $l_2 = 43.3 \text{ cm}$.
- Longueur de l'articulation de la cheville à la plante arrière du pied $l_3 = 6.9 \text{ cm}$.
- Longueur de la plante arrière du pied au point d'appui sur le sol $l_4 = 13 \text{ cm}$.
- Longueur $\vec{O_0 O_1} = L \vec{y}_1$ avec $L = 51.8 \text{ cm}$.
- Rapport de réduction : $r = \frac{1}{120}$.

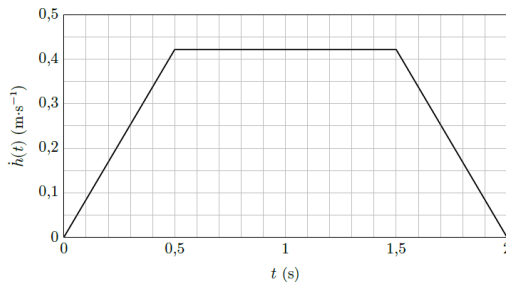
On note $E = \{\text{cuisse}(2) + \text{charge transportée}(4)\}$.

Question 1 Donner qualitativement le mouvement de 4 par rapport à 0. Tracer le graphe de structure du système.

Question 2 Déterminer $\overrightarrow{\sigma}(O_1, E/0) \cdot \vec{x}_0$ en fonction de m_4 , $\dot{h}(t)$, L et $\cos \theta_{10}$.

Question 3 Dédurre $\overrightarrow{\delta}(O_1, E/0) \cdot \vec{x}_0$ en fonction de m_4 , $\dot{h}(t)$, L et $\cos \theta_{10}$.

La loi d'évolution de la vitesse de la hanche est donnée à la figure suivante.



Question 4 Déterminer l'expression littérale du couple C_r exercé par l'arbre de sortie du réducteur sur le genou imposé par la loi d'évolution de la hanche et calculer numériquement ce couple pour une valeur de θ_{10} égale à $54,5^\circ$ correspondant à la valeur maximale du couple.

Question 5 Calculer le couple C_m au niveau de l'arbre moteur du genou en prenant un facteur de perte $\eta = 0,75$ (estimé à l'aide du modèle multiphysique).

Question 6 Expliquer en moins de 5 lignes comment estimer un rendement à partir d'un modèle multiphysique.

Validation du dimensionnement du moteur

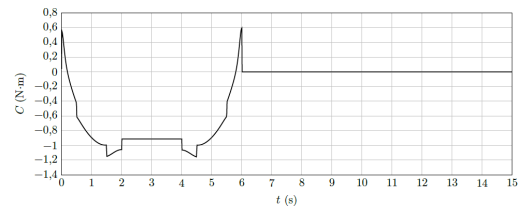
Objectif Vérifier que le moteur choisi convient pour une utilisation intensive comprenant 4 cycles par minute de descente suivie d'une montée.

Le cycle suivant obtenu à l'aide du modèle multiphysique de représente l'évolution du couple moteur, et ce en tenant compte du moment d'inertie du rotor, sur un cycle de période $T = 15$ s.

Quatre phases sont définies sur cette période :

- phase 1 pour $0 \leq t < 2$ s, valeur efficace du couple moteur $C_1 = 0.838$ Nm;
- phase 2 pour $2 \leq t < 4$ s, couple moteur constant $C_2 = -0.912$ Nm;

- phase 3 pour $4 \leq t < 6$ s, valeur efficace du couple moteur $C_3 = 0.838$ Nm;
- phase 4 pour $6 \leq t < 15$ s, couple moteur nul.



Question 7 Préciser à quels mouvements correspondent les 4 phases de ce cycle.

Le couple efficace est également appelé couple thermiquement équivalent, il est défini par :

$$C_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T c(t)^2 dt}$$

$$\text{On a aussi } C_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n C_{i,\text{eff}}^2 T_i}$$

Question 8 Calculer la valeur efficace du couple moteur du genou pour ce cycle périodique de 15 s.

Retour sur l'objectif

Le couple moteur varie entre -1.156 Nm et 0.596 Nm.

Les caractéristiques du moteur choisi sont :

- vitesse à vide de 3120 tr min^{-1} pour une alimentation nominale en amont de l'onduleur de 36 V ;
- couple permanent admissible de 0.560 Nm;
- pente de la courbe de la vitesse en fonction du couple de $423 \text{ tr min}^{-1} \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-1}$.

De plus une étude cinématique précédente a montré que le moteur permettant d'actionner le moteur doit pouvoir atteindre une vitesse de 2200 tr min^{-1} .

Question 9 Conclure quant au choix de ce moteur au regard de la valeur maximale de la vitesse angulaire calculée lors d'une étude précédente et du couple efficace calculé à la question précédente et compléter le schéma bilan.

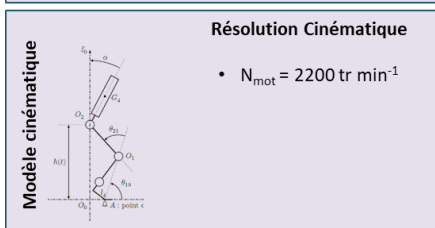
Éléments de corrigé :

1. $\overrightarrow{\sigma}(O_1, E/0) \cdot \vec{x}_0 = -L m_4 \cos \theta_{10} \dot{h}(t)$.
2. $\overrightarrow{\delta}(O_1, E/0) \cdot \vec{x}_0 = -L m_4 \cos \theta_{10} \ddot{h}(t)$.
3. $C_r = -m_4 L \cos \theta_{10} (g + \ddot{h}(t)) \approx 190.5 \text{ Nm}$.
4. $C_m \approx 2.12 \text{ Nm}$.
5. ...
6. ...
7. ...
8. $C_{\text{eff}} \approx 0.546 \text{ Nm}$.

Problématique

Le moteur pré-choisi permet d'assurer le fonctionnement de l'exosquelette ?

Domaine de la modélisation



Domaine du client

Moteur choisi

- Vitesse à vide : 3120 tr min^{-1}
- Couple permanent admissible : $0,56 \text{ Nm}$

