TD 01

Assistance pour le maniement de charges dans l'industrie

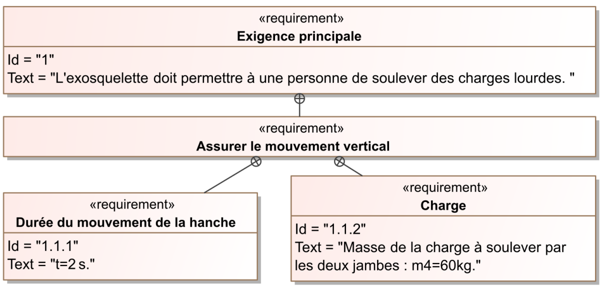
Concours Centrale Supelec TSI 2017

Savoirs et compétences :

- *Res2.C12 : loi entrée – sortie géométrique;*
- *Res2.C12.SF1 : déterminer la loi entrée - sortie géométrique d'une chaîne cinématique;*
- *Res2.C15 : loi entrée – sortie cinématique;*
- *Res2.C15.SF1 : déterminer les relations de fermeture de la chaîne cinématique.*

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.

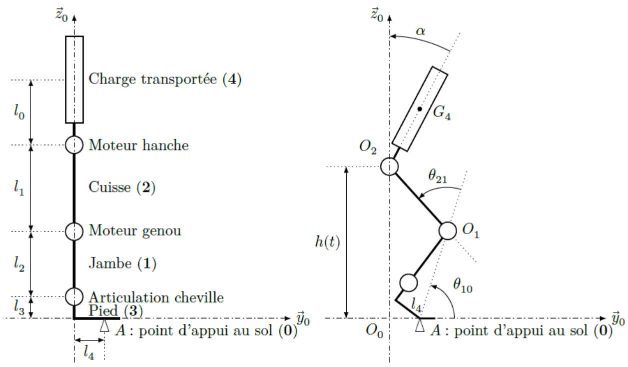


Objectif Proposer un modèle de connaissance des éléments réalisant l'exigence fonctionnelle « assurer le mouvement vertical » puis valider les performances attendues listées par le cahier des charges.

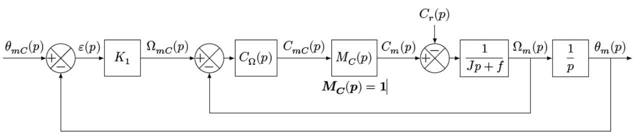
Élaboration du modèle géométrique direct et du modèle articulaire inverse

Objectif Élaborer la commande du moteur pilotant le genou à partir d'un mouvement défini dans l'espace opérationnel puis converti dans l'espace articulaire.

L'étude se limite au passage de la position accroupie à la position relevée de l'exosquelette. Lors de ce passage, le point O_2 est en mouvement de translation verticale suivant la direction $\left(O_0, \overrightarrow{z_0}\right)$ et sa vitesse de déplacement évolue selon une loi trapézoïdale. Un modèle plan de la chaîne cinématique ouverte représente la partie inférieure de l'exosquelette en position debout et fléchie.



Le premier modèle défini figure suivante est adopté pour chaque axe.



Notations :

- $\theta_{mC}(p)$ consigne de position de l'axe moteur (variable temporelle : $\theta_{mC}(t)$ en rad);
- $\theta_m(p)$ position de l'axe moteur (variable temporelle : $\theta_m(t)$ en rad);
- $C_{mC}(p)$ consigne de couple moteur (variable temporelle : $c_{mC}(t)$ en Nm);
- $C_m(p)$ couple moteur (variable temporelle : $c_m(t)$ en Nm);
- $C_r(p)$couple résistant perturbateur (variable temporelle : $c_r(t)$ en Nm);
- K_1 gain proportionnel du correcteur de l'asservissement de position (en s^{-1});
- $\Omega_{mC}(p)$ consigne de vitesse de l'axe moteur (variable temporelle : $\Omega_{mC}(t)$ en rad s^{-1});
- $\Omega_m(p)$ vitesse de l'axe moteur (variable temporelle : $\Omega_m(t)$ en rad s^{-1});
- $C_\Omega(p)$ correcteur de l'asservissement de vitesse;
- $M_C(p)$ modélise la boucle d'asservissement en couple de la machine électrique, considérée parfaite au vu de sa dynamique par rapport aux autres boucles : $M_C(p) = 1$;

- J moment d'inertie de l'ensemble en mouvement, rapporté au niveau de l'axe moteur ;
- f coefficient de frottements visqueux équivalent pour l'ensemble en mouvement.

Le correcteur est de la forme : $C_\Omega(p) = K_2\left(\dfrac{Jp+f}{Jp}\right)$.

En utilisant le schéma-blocs précédent, on peut constater que :

- l'écart est défini par la variable $\varepsilon(t) = \theta_{mC}(t) - \theta_m(t)$;
- l'erreur entre l'entrée et la sortie est définie par la variable $\mu(t) = \theta_{mC}(t) - \theta_m(t)$.

Étant donné que le modèle utilisé est à retour unitaire, l'écart $\varepsilon(t)$ est égal à l'erreur $\mu(t)$.

Hypothèse(s) Le couple résistant évolue lentement au regard de la dynamique de l'asservissement, ce qui permet de considérer pour la suite de l'étude $C_r(p) = 0$.

Question 1 *Déterminer la grandeur physique de la consigne et la grandeur physique asservie à partir du modèle multiphysique présenté plus bas et préciser leurs unités de base dans le système international d'unités (SI).*

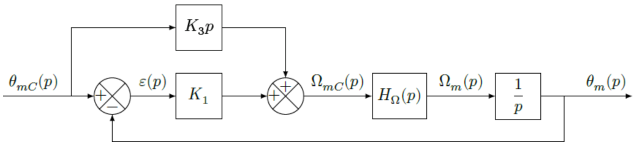
Question 2 *Exprimer $H_\Omega(p) = \dfrac{\Omega_m(p)}{\Omega_{mC}(p)}$ en fonction de J, K_2 et p.*

Question 3 *Exprimer $\varepsilon(p)$ en fonction de $\theta_{mC}(p)$, $H_\Omega(p)$, K_1 et p.*

Question 4 *Déterminer l'erreur de position ε_p puis l'erreur de traînage ε_v. Conclure sur la valeur de K_1 pour satisfaire à l'exigence d'erreur en traînage.*

Question 5 *Déterminer l'erreur en accélération et conclure quant au respect du cahier des charges.*

Pour satisfaire l'exigence d'une erreur en accélération inférieure à 1%, le second modèle avec anticipation de la vitesse est adopté avec $H_\Omega(p) = \dfrac{1}{1+Tp}$ et $T = 33\,\text{ms}$.



Question 6 *Exprimer $\varepsilon(p)$ en fonction de $\theta_{mC}(p)$, T, K_1, K_3 et p.*

Le second modèle avec anticipation de la figure précédente n'a pas d'incidence sur la valeur de l'erreur de position.

Question 7 *Exprimer l'erreur de traînage et déterminer la valeur de K_3 permettant l'annuler cette erreur.*

Question 8 *Exprimer et déterminer l'erreur d'accélération en prenant les valeurs de K_3 et de K_1 déterminées précédemment. Conclure quant au respect du cahier des charges.*

Synthèse

Question 9 *En utilisant la figure ci-dessous, conclure sur les actions qui ont mené à une validation du cahier des charges.*

Eléments de corrigé :

1. Asservissement en position.
2. $H_\Omega(p) = 1/\left(\dfrac{Jp}{C_\Omega K_2}+1\right)$.
3. $\varepsilon(p) = (\theta_{mC}(p))/\left(1+H_\Omega(p)\dfrac{K_1}{p}\right)$
4. $\varepsilon(p) = 0, \varepsilon_v = \dfrac{1}{K_1}$ et $K_1 > 100$.
5. $\varepsilon_a = \infty$.
6. $\varepsilon(p) = \theta_{mC}(p)\left(p\left(1+Tp-K_3\right)\right)/\left(p\left(1+Tp\right)+K_1\right)$.
7. $\varepsilon_v = \dfrac{1-K_3}{K_1}$, $K_3 = 1$.
8. $\varepsilon_a = \dfrac{33\times 10^{-3}}{100}$. Le cahier des charges est donc validé.