

Exercice 189 – TEC – Clever

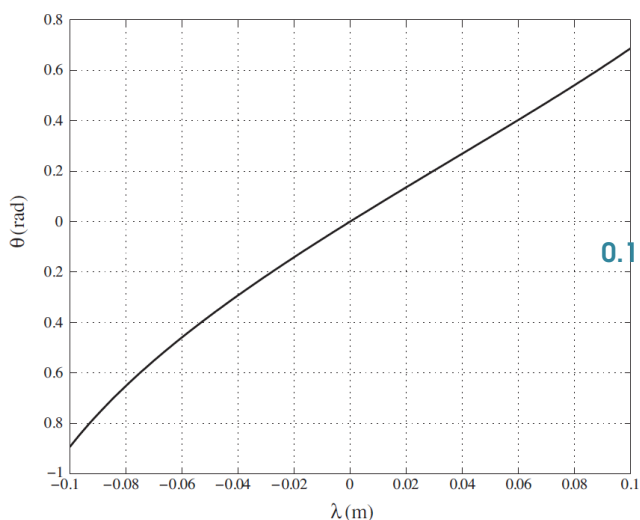
On cherche à déterminer la masse équivalente M_{eq} ramenée à la tige du vérin, de l'ensemble habitacle et mécanisme de transformation de mouvement actionnés par le vérin. Pour cela, on adopte les hypothèses suivantes :

- le référentiel associé au châssis 0 du véhicule Clever est supposé galiléen (ceci revient à supposer le châssis fixe par rapport au référentiel lié à la route durant la phase d'inclinaison);
- la puissance dissipée engendrée par l'inclinaison de l'habitacle au niveau du contact roue/sol est négligée;
- les liaisons sont supposées parfaites.

Le modèle cinématique adopté est précisé par le schéma cinématique de la 2, ainsi que les données géométriques et les paramètres de mouvement. On note m la masse de l'habitacle et $J_1 = 175 \text{ kgm}^2$ son moment d'inertie par rapport à l'axe (O, \vec{y}_0) . Les caractéristiques utiles des vérins sont données en annexe.

Question 1 Exprimer l'énergie cinétique galiléenne de l'ensemble des solides $\{1, 4, 5\}$ en fonction des paramètres cinématiques α , θ_1 et λ .

Pour simplifier la suite de l'étude, on se place autour de la position non-inclinée de l'habitacle. On définit alors le paramètre angulaire θ tel que $\theta = \theta_1 - \theta_{10}$. La figure du Cahier Réponses donne l'évolution du paramètre θ en fonction de λ . On cherche à linéariser cette fonction sous la forme $\theta = T\lambda$.



Question 2 Déterminer une valeur numérique approximative de T .

Les valeurs numériques de R et T étant proches on prendra pour la suite du sujet : $R = T = 7,5 \text{ rad m}^{-1}$.

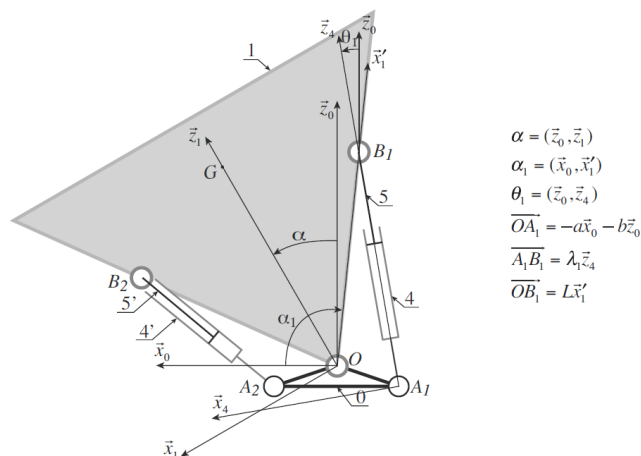


FIGURE 1 – Schéma cinématique du modèle mécanique adopté

Question 3 Exprimer la masse équivalente M_{eq} ramenée à la tige du vérin en fonction des caractéristiques cinétiques des pièces et des paramètres géométriques en précisant clairement la méthode utilisée pour définir cette grandeur. À partir des données de l'Annexe A, montrer que les termes d'inertie liés aux 2 vérins sont faibles par rapport à celui associé à l'habitacle.

Question 4 Appliquer le théorème de l'énergie cinétique à l'ensemble $\{1, 4, 5\}$ en négligeant les termes dus aux puissances des poids de 4 et 5. Écrire le résultat sous la forme : $F_v + k_g \lambda = M_{eq} \ddot{\lambda}$ en donnant l'expression du paramètre k_g . Appliquer la transformation de Laplace à l'équation précédente et compléter le schéma-blocs du Cahier Réponses dans lequel la variable $V(p)$ correspond à $\mathcal{L}(\lambda(t))$.

Exercice 189 – TEC – Clever INFOS MAN-QUANTES

Première correction

Afin de répondre au critère du cahier des charges concernant la précision statique du système, on choisit de placer un intégrateur comme premier correcteur :

$$H_r(p) = \frac{K_i}{p}.$$

Question 1 On donne sur le Cahier Réponses le diagramme de Bode de la fonction de transfert en boucle ouverte $FTBO_2(p)$ du système asservi pour $K_i = 1$ et telle que $M(p) = FTBO_2(p) \cdot \varepsilon(p)$. Déterminer, en expliquant clairement la méthode employée, la valeur de K_i qui permet d'obtenir la dynamique souhaitée.

On donne en annexe page 8 la définition d'un correcteur à avance de phase.

Question 2 Combien de correcteurs à avance de phase réglés pour apporter chacun 50° au maximum faudrait-il incorporer dans le régulateur pour satisfaire le critère de marge de phase du cahier des charges ?

On souhaite réaliser une simulation du comportement temporel du système ainsi corrigé pour un passage de 0 à 45° de l'habitacle en $0,75$ s. Le signal de consigne est donné sur la Figure Figure 2. Le logiciel de simulation ne possède pas de bloc de signal d'entrée correspondant à ce type de fonction, mais il est possible d'utiliser des blocs de type « rampe » possédant les critères :

- pente de la rampe ;
- instant de départ de la rampe.

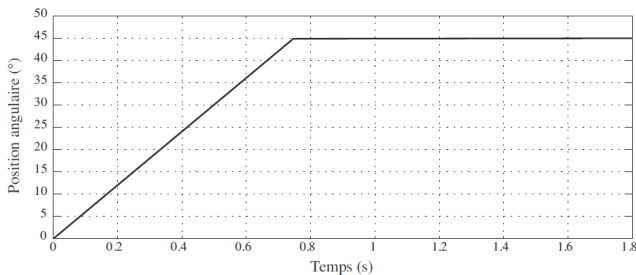


FIGURE 2 – Signal de consigne pour une simulation d'une rotation de 0 à 45° en $0,75$ s

Question 3 Donner les paramètres à entrer dans les 2 blocs de type « rampes » et préciser l'opération mathématique à effectuer entre les deux blocs afin d'obtenir le signal présenté sur la Figure 2.

La réponse obtenue par la simulation est présentée sur la Figure 3.

Question 4 Quels sont les critères non satisfaits ?

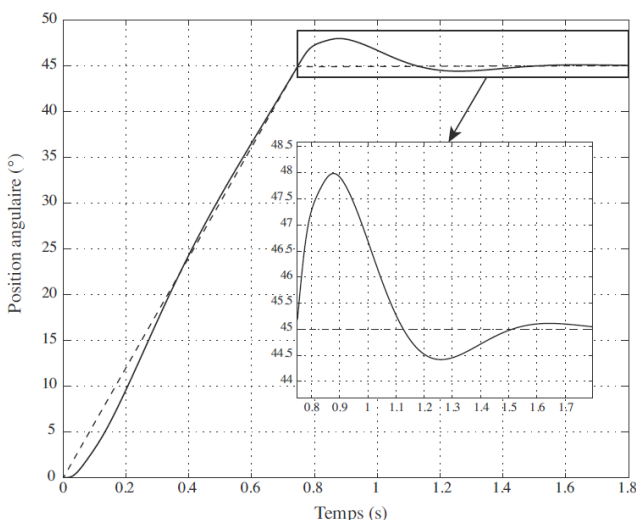


FIGURE 3 – Résultat de la simulation du passage de 0 à 45° en $0,75$ s

différents critères du cahier des charges. Le problème de fond ici est lié au fait que la pulsation de coupure ω_v du mode de second ordre de la fonction de transfert du vérin est inférieure à la pulsation à 0 dB souhaitée pour garantir une dynamique suffisante du système bouclé. On souhaite donc augmenter la valeur de la pulsation de coupure ω_v afin de garantir au moins deux décades d'écart avec la pulsation à 0 dB de la fonction de transfert en boucle ouverte du système.

Question 5 Quelle valeur de diamètre du vérin permet de vérifier la condition précédente. Cette valeur est-elle réaliste ?

On décide alors de remédier à ce problème par un filtre électronique du second ordre de type Notch de fonction de transfert :

$$H_N(p) = \frac{1 + \frac{2\xi_n}{\omega_n}p + \frac{p^2}{\omega_n^2}}{1 + \frac{2\xi_d}{\omega_d}p + \frac{p^2}{\omega_d^2}}$$

Le réglage optimum du correcteur doit compenser parfaitement le mode de second ordre de la fonction de transfert du vérin. Pour cela, on effectue un essai afin d'identifier les caractéristiques de ce mode. Aucun réglage spécifique du débit de fuite n'a été réalisé, la compensation du mode rendant inutile cette étape.

Une tension de consigne $u_e(t) = 0,02u(t)$ (avec $u(t)$ l'échelon unitaire) est envoyée en entrée du servodistributeur. Une génératrice tachymétrique, dont le comportement est modélisé par un gain pur $K_{gt} = 2 \text{ V rad}^{-1} \text{ s}$, mesure la vitesse de rotation de l'habitacle. Cette tension est notée $m_\omega(t)$. Le résultat de cet essai est donné sur la Figure de la question 24 du Cahier Réponses.

Question 6 Compléter sur le Cahier Réponses le schéma-blocs représentant cet essai et déterminer la fonction de transfert H_{essai} telle que : $M_\Omega(p) = H_{\text{essai}}(p)U_e(p)$.

Question 7 En vous aidant du graphe de la Figure Figure 4, déterminer les valeurs numériques expérimentales de ω_v et ξ_v à partir de la courbe obtenue expérimentalement tracée sur le Cahier Réponses.

Question 8 Quels inconvénients sur le comportement réel du système peuvent découler de cette méthode consistant à vouloir compenser le mode de second ordre de la fonction de transfert du vérin par ce type de filtre électronique ?

0.2 Deuxième correction

Plusieurs réglages du correcteur précédent ont été réalisés mais aucun n'a pu apporter satisfaction quant aux

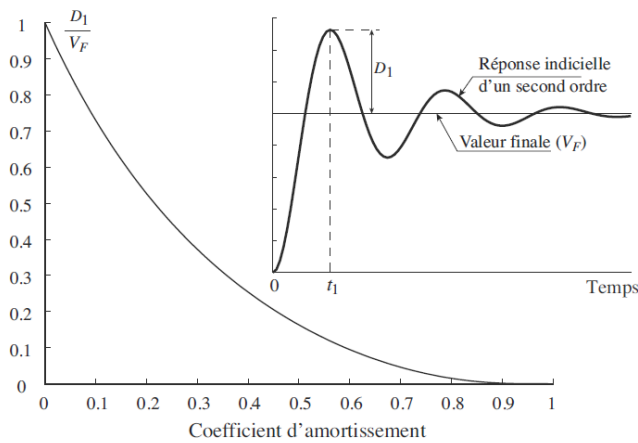


FIGURE 4 – Évolution du premier dépassement relatif à la valeur finale en fonction du coefficient d'amortissement (pour une fonction de transfert du second ordre)

On suppose par la suite que le numérateur du filtre Notch compense parfaitement le mode de second ordre de la fonction de transfert du vérin. On adopte les caractéristiques suivantes pour le dénominateur :

- $\omega_d = 1000 \text{ rad s}^{-1}$;
- $\xi_d = 1$.

Afin de satisfaire le critère de précision statique du cahier des charges on place un premier correcteur de type intégrateur non unitaire de fonction de transfert :

$$H_{\text{cor2}}(p) = \frac{K_\Omega}{p}$$

La valeur de K_Ω est déterminée afin d'obtenir une pulsation à 0 dB de la fonction de transfert en boucle ouverte de 65 rad s^{-1} . Le diagramme de Bode de cette fonction de transfert est donné sur la Figure III.5. On complète le régulateur par un correcteur à avance de phase de fonction de transfert : $H_{\text{av}}(p) = K_{\text{av}} \frac{1 + a_{\text{av}} \tau_{\text{av}} p}{1 + \tau_{\text{av}} p}$ avec $a_{\text{av}} > 1$.

On donne en annexe page 8 la définition d'un correcteur à avance de phase.

Question 9 Déterminer les valeurs approximatives des paramètres a_{av} , τ_{av} et K_{av} qui permettent de satisfaire le critère de marge de phase du cahier des charges tout en conservant une pulsation à 0 dB de 65 rad s^{-1} .

Le régulateur étant a priori optimisé, on réalise un essai de validation du comportement temporel de l'inclinaison de l'habitacle, le véhicule étant à l'arrêt. Le calculateur envoie un signal de consigne représentant l'évolution de

la position angulaire souhaitée (de 0 à 45° en 0,75 s). La tension délivrée par le capteur angulaire est récupérée par un convertisseur analogique-numérique afin de tracer sur un ordinateur l'évolution temporelle de l'inclinaison de l'habitacle mesurée en degrés. Les deux courbes sont données sur la Figure 6.

Question 10 Quels sont les critères du cahier des charges validés ?

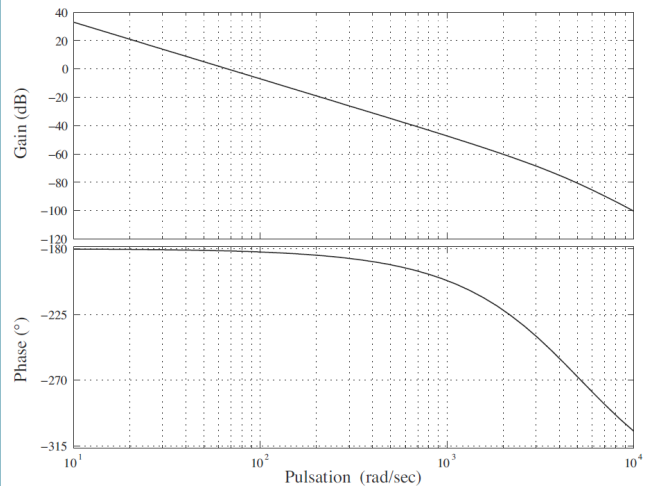


FIGURE 5 – Diagramme de Bode de la Fonction de Transfert en Boucle Ouverte après correction Intégrale

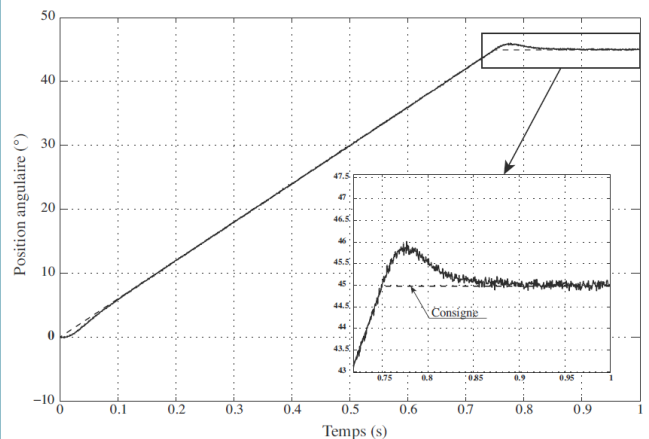


FIGURE 6 – Essai de validation : passage de 0 à 45° en 0,75 s