Colle 01

Véhicule à troies roues Clever

Concours Banque PT SIA - 2013

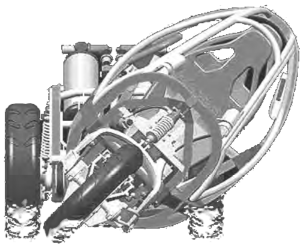
Savoirs et compétences :

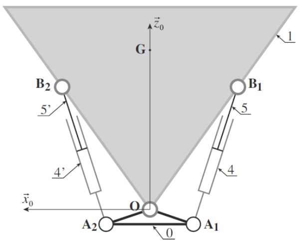
Présentation du système

Le Clever est un démonstrateur technologique développé par un tissu d'industriels européens. Clever est la contraction de Compact Low Emission VEhiclefor uRban tRansportation (véhicule compacte à faibles émissions pour le transport urbain) car, avec une consommation de seulement 2.5 L/100 km, il s'annonce très écologique.

L'habitacle peut s'incliner grâce à un système constitué

- d'un calculateur qui détermine le mouvement et la position à donner à l'habitacle en fonction des conditions d'utilisation;
- d'un système hydro-mécanique de transmission de puissance et d'adaptation de mouvement;
- d'un système de contrôle de l'inclinaison de l'habitacle.





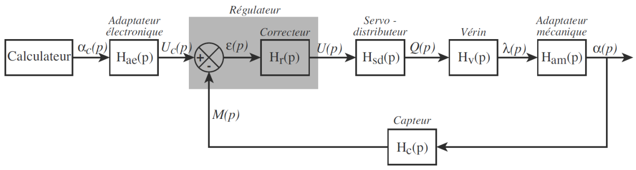
Objectif L'objectif est que le mouvement de l'habitacle soit contrôlé :

- écart statique : 0°;
- écart de traînage pour une entrée en rampe unitaire : 0°;
- temps de réponse à 5% : inférieur à 0.1 s.

Modélisation du servo-distributeur et du vérin

L'orientation de l'habitacle est contrôlée par un asservissement de la position angulaire. L'architecture de cet asservissement est représentée par le schéma-blocs de le figure suivante.

On modélise le comportement du servo-distributeur par un gain pur noté K_s et le capteur par $H_c(p) = C$ avec $C = 1\,\mathrm{V\,rad^{-1}}$.

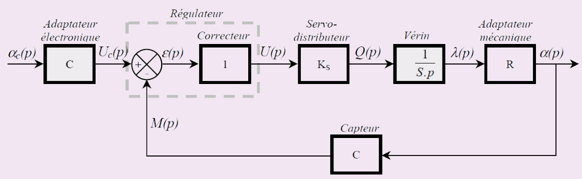


À ce stade de l'étude, le modèle de comportement du fluide correspond à un comportement incompressible. L'équation caractérisant le comportement du vérin est alors : $q(t) = S\dot{\lambda}(t)$ où :

- S représente la section utile du vérin en sortie de tige;
- q est le débit en entrée de vérin;
- $\dot{\lambda}(t) = \dfrac{\mathrm{d}\lambda(t)}{\mathrm{d}t}$ est la vitesse de translation de la tige du vérin par rapport au corps.

Question 1 *Donner l'expression de la fonction de transfert du vérin $H_{V1}(p)$ (telle que $\lambda(p) = H_{V1}(p)Q(p)$) et compléter le schéma-bloc associé à la modélisation actuelle du système.*

Correction



Question 2 *Déterminer la fonction de transfert en boucle fermée $FTBF_1$ (telle que $\alpha(p) = FTBF_1(p)\alpha_c(p)$) du système bouclé. Mettre $FTBF_1(p)$ sous la forme $\dfrac{K_1}{1+\tau_1 p}$ en précisant les expressions de K_1 et de τ_1.*

Correction

$$FTBF_1(p) = \frac{C\dfrac{K_s.R}{S.p}}{1+C\dfrac{K_s.R}{S.p}} = \frac{C.K_s.R}{S.p+C.K_s.R} = \frac{1}{1+\dfrac{S}{C.K_s.R}.p}$$

Question 3 *À partir du critère de temps de réponse à 5% ($t_{r5\%}$) du système, déterminer l'expression puis la valeur numérique minimale du gain du servo-distributeur.*

Correction

$$t_{R5\%} = \frac{3.S}{C.K_S.R} \text{ soit pour avoir } t_{R5\%} \leq 0{,}1\ s = t_0 \text{ il faut que :}$$

$$K_S > \frac{3.S}{C.R.t_0} = \frac{3\times\pi\times 16^2\times 10^{-6}}{1\times\frac{\pi}{180}\times 400\times 0{,}1} = 3\times 18\times 4\times 16\times 10^{-6} = 3{,}456.10^{-3}\ m^3s^{-1}V^{-1}$$

Modélisation du comportement du vérin avec fluide compressible et du comportement dynamique du mécanisme

La compressibilité du fluide étant prise en compte dans le modèle, l'évolution du débit est une fonction du déplacement mais aussi de la pression sous la forme de la relation (1). L'effort exercé par le vérin en sortie de tige est décrit par la relation (2).

$$q(t) = S\dot{\lambda}(t) + \frac{V_0}{B}\dot{p}_r(t) \quad (1) \qquad F_V(t) = Sp_r(t) \quad (2)$$

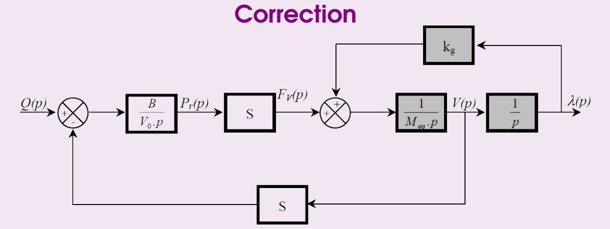
où :

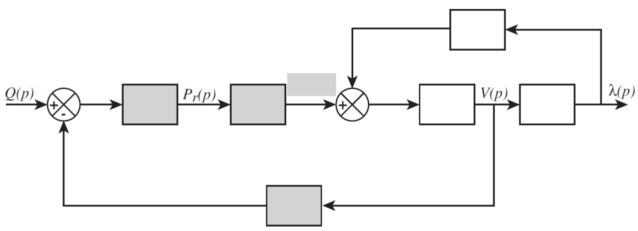
- $p_r(t)$: pression utile dans le vérin ;
- V_0 : volume caractéristique moyen de fluide contenu dans le vérin et les durites, $V_0 = 2.5\times 10^5\,\mathrm{m}^3$;
- B : coefficient de compressibilité du fluide, $B = 109\,\mathrm{Pa}$;
- $F_v(t)$: effort développé par le vérin en sortie de tige ;
- S : section utile du vérin en sortie de tige.

Par ailleurs, $F_v(t)+k_g\lambda(t) = m_{\mathrm{eq}}\ddot{\lambda}(t)$ avec m_{eq} la masse équivalente du système, k_g une constante, $\lambda(t)$ le déploiement des vérins.

Question 4 *Appliquer la transformation de Laplace aux équations précédentes et compléter le schéma-blocs.*

Correction





Analyse du comportement global

Question 5 *Donner l'expression de la fonction de transfert en boucle fermée du vérin H_{V2} (telle que $\lambda(p) = H_{V2}Q(p)$) et préciser les expressions des coefficients K_V et ω_V de sa forme canonique : $H_{V2}(p) = \dfrac{K_V}{p\left(1+\dfrac{p^2}{\omega_V^2}\right)}$.*

Correction

$$H_{V2}(p) = \frac{\dfrac{BS}{V_0.p}\dfrac{\dfrac{1}{M_{eq}.p^2}}{1-k_g.\dfrac{1}{M_{eq}.p^2}}}{1+\dfrac{BS^2}{V_0}\dfrac{1}{M_{eq}.p^2-k_g}} = \frac{BS}{V_0.p.\left(M_{eq}.p^2-k_g\right)+BS^2.p} = \frac{\dfrac{BS}{BS^2-k_g.V_0}}{p.\left(1+\dfrac{V_0.M_{eq}}{BS^2-V_0.k_g}.p^2\right)}$$

$$\boxed{H_{V2}(p) = \frac{\dfrac{BS}{BS^2-k_g.V_0}}{p.\left(1+\dfrac{V_0.M_{eq}}{BS^2-V_0.k_g}.p^2\right)}} \qquad \boxed{K_V = \frac{BS}{BS^2-k_g.V_0}} \qquad \boxed{\omega_V = \left(\frac{BS^2-V_0.k_g}{V_0.M_{eq}}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

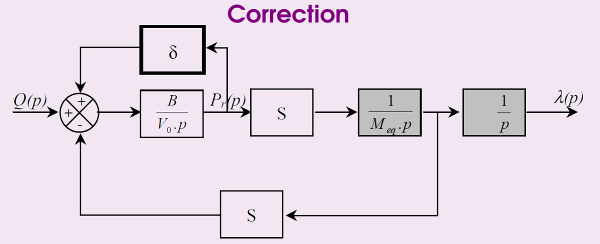
k_g **peut maintenant être négligé.**

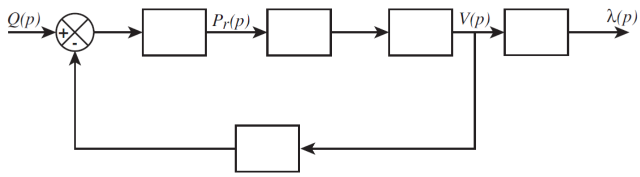
Modélisation du comportement dynamique avec prise en compte d'un débit de fuite

Pour pallier le problème de stabilité du modèle précédemment établi, une solution possible consiste à introduire un débit de fuite au niveau du vérin. Celui-ci a pour effet de réduire artificiellement le débit réel entrant dans le vérin en fonction de la pression utile. L'expression du débit est alors : $q(t) = S\dot{\lambda}(t) + \dfrac{V_0}{B}\dot{p}_r(t) - \delta p_r(t)$ où δ représente le coefficient de débit de fuite.

Question 6 *Proposer une modification du schéma-bloc donné afin de prendre en compte le débit de fuite.*

Correction





Question 7 *Déterminer l'expression de la fonction de transfert H_{V3} (telle que $\lambda(p) = H_{V3}Q(p)$) associée au comportement dynamique du vérin ainsi modélisé. On donnera le résultat sous la forme suivante : $H_{V3}(p) = \dfrac{K_V}{p\left(1+a_1p+\dfrac{p^2}{\omega_V^2}\right)}$. Donner l'expression de a_1 en fonction de M_{eq}, δ et S et déterminer l'expression du coefficient d'amortissement ξ_V du second ordre en fonction de M_{eq}, δ, S, B et V_0.*

Correction

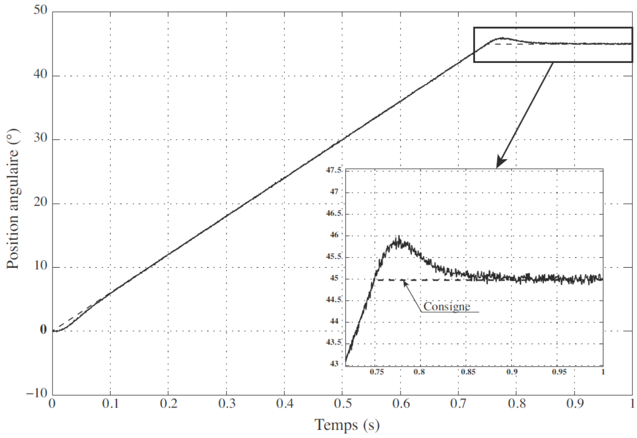
$$Q(p) = S\lambda.p + \frac{V_0}{B}p.P_r(p) - \delta.P_r(p)$$

$$H_{V2}(p) = \frac{\dfrac{\dfrac{B}{V_0.p}}{1-\dfrac{B\delta}{V_0.p}}\dfrac{S}{M_{eq}.p}\dfrac{1}{p}}{1+\dfrac{\dfrac{B}{V_0.p}}{1-\dfrac{B\delta}{V_0.p}}\dfrac{S^2}{M_{eq}.p}} = \frac{BS}{(V_0.p-B\delta).M_{eq}.p^2+BS^2.p} = \frac{\dfrac{1}{S}}{p\left(1-\dfrac{\delta.M_{eq}}{S^2}.p+\dfrac{V_0.M_{eq}}{BS^2}.p^2\right)}$$

$$\frac{2\xi_V}{\omega_V} = -\frac{\delta.M_{eq}}{S^2} \text{ et } \omega_V = \left(\frac{BS^2}{V_0.M_{eq}}\right)^{\frac{1}{2}} \text{ soit } \xi_V = -\frac{1}{2}\frac{\delta.M_{eq}}{S^2}\left(\frac{BS^2}{V_0.M_{eq}}\right)^{\frac{1}{2}} = -\frac{1}{2}\delta\left(\frac{BM_{eq}}{V_0.S^2}\right)^{\frac{1}{2}}$$

Retour sur le cahier des charges

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).



Question 8 *Quels sont les critères du cahier des charges validés ?*

Correction

- Ecart de traînage = 0 ⇒ validé
- Ecart dynamique (dépassement pour entrée en trapèze) = 0,8° ⇒ validé
- *Temps de réponse lié à la bande passante et l'amortissement ⇒ validé (ne peut pas être lu sur une entrée en trapèze).*

Éléments de correction

1. ...
2. ...
3. ...