

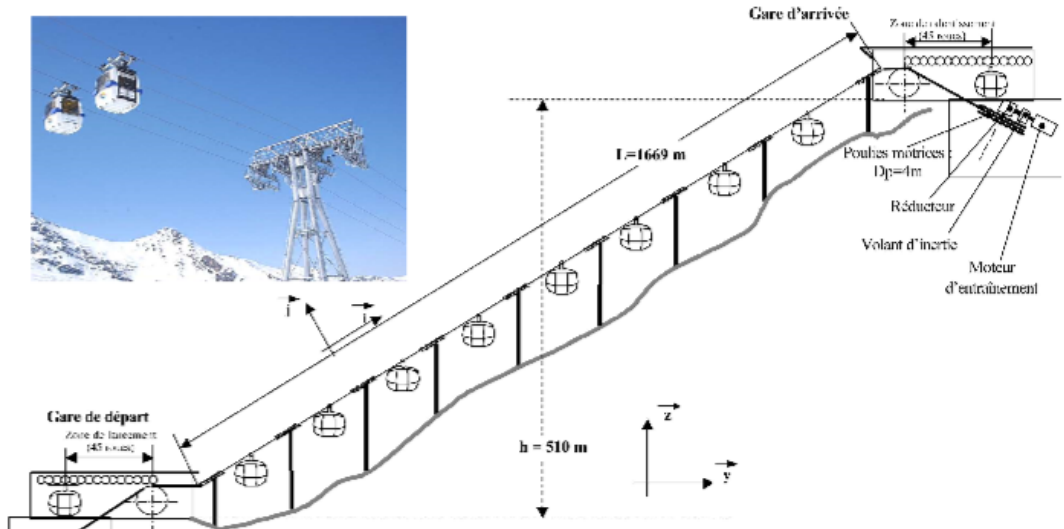
TD : réglage et correction des SLCI

Etude de l'asservissement en vitesse du câble tracteur du téléphérique à conduite double FUNITEL

(D'après Mines-Ponts)

On s'intéresse aux performances d'un asservissement en vitesse du câble tracteur du téléphérique à conduite double* FUNITEL dont on donne ci dessous une description structurelle ainsi qu'un extrait partiel de cahier des charges fonctionnel.

* : On parle de téléphérique à conduite double car les cabines du FUNITEL reposent sur deux brins de câble porteur et tracteur distants de 3,2 m, ce qui est différent des autres téléphériques sur lesquels les cabines sont accrochées à un seul câble. L'intérêt principal de cette solution est la plus grande stabilité de l'ensemble sous un vent latéral. En effet, dans une installation à un seul câble l'inclinaison par rapport à la position d'équilibre atteinte par une cabine soumise à un vent latéral constant de 108 km.h^{-1} est de 17° . L'amplitude maximale du mouvement d'oscillation d'une cabine est alors de l'ordre de 34° , ce qui est à la fois gênant et très dangereux pour les passagers. En contrepartie, la solution à double câble annule quasiment tous ces mouvements parasites et permet de poursuivre l'exploitation par vent fort.



| Exigences | Critères | Niveaux |
|-----------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| E1.1 | Entraînement du câble | - Dépassement $D_{1\%} < 10\%$ - Erreur statique en réponse à un échelon de vitesse de consigne inférieure à 2 % - Écart statique nul vis-à-vis d'une perturbation en vitesse de vent de 30 m.s^{-1} - $t_{5\%} < 5\text{s}$ |

La vitesse de déplacement des cabines est une des caractéristiques principales du fonctionnement du système. Un asservissement de cette vitesse de déplacement est donc réalisé sur le système d'entraînement du câble afin de garantir les performances du cahier des charges.

La vitesse du câble est imposée par la vitesse de rotation $\omega_M(t)$ de l'arbre moteur. L'entraînement du câble par le moteur est réalisé par un réducteur dont la sortie assure la rotation d'une poulie de diamètre $D = 4 \text{ m}$ sur laquelle s'enroule le câble. Le rapport de réduction est tel que lorsque les cabines se déplacent à la vitesse normale de $7,2 \text{ m/s}$, le moteur tourne à sa fréquence de rotation nominale. Le moteur à courant continu est commandé par une tension $u_M(t)$. Un amplificateur de gain K_A ($K_A = 30$) fournit la puissance électrique nécessaire et il est commandé par une consigne de tension $u_A(t)$ provenant d'un correcteur. La vitesse $v(t)$ du

câble est mesurée par un ensemble constitué d'une poulie de diamètre $D_T = 0,4$ m, appelée « poulie capteur », roulant sans glisser sur le câble et d'une génératrice tachymétrique de gain $K_T = 0,3$ V.s.rad⁻¹ montée sur son axe et délivrant une tension $u_c(t)$ proportionnelle à la vitesse de rotation $\omega_{pc}(t)$ de la poulie capteur. La vitesse de consigne $v_c(t)$ est convertie en tension de consigne $u_c(t)$ par un convertisseur de gain K_1 et elle est comparée à la tension $u_c(t)$ délivrée par le capteur de vitesse. La différence entre les deux tensions est transmise au correcteur afin d'élaborer la consigne de l'amplificateur.

Le moteur à courant continu de forte puissance commandé par l'induit a pour caractéristiques :

Résistance de l'induit : $R = 0,0999 \Omega$

Courant nominal : $I_{nom} = 1400$ A

Tension nominale : $U_{nom} = 300$ V

Constante de couple : $k_c = 2,5$ N.m.A⁻¹

Constante de force électromotrice : $k_e = 2,5$ V.s.rad⁻¹

Fréquence de rotation nominale : $\omega_{M-nom} = 1700$ tours.min⁻¹

On donne d'autre part les équations qui modélisent ce moteur :

$$u_M(t) = R \cdot i(t) + e(t) \qquad e(t) = k_e \cdot \omega_M(t) \qquad C_M(t) - f \cdot \omega_M(t) - C_R(t) = J \cdot \dot{\omega}_M(t) \qquad C_M(t) = k_c \cdot i(t)$$

Avec : $u_M(t)$ tension d'alimentation du moteur (en V),

$i(t)$ intensité parcourant l'induit (en A),

$e(t)$ force contre électromotrice (en V),

J inertie équivalente rapportée à l'axe moteur, $J = 420$ kg.m²

f coefficient de frottement visqueux équivalent à l'axe moteur, $f = 4,8$ N.m.s.rad⁻¹,

$C_M(t)$ couple moteur (en N.m),

$\omega_M(t)$ vitesse de rotation du moteur (en rad.s⁻¹)

$C_R(t)$ le couple résistant (en N.m), modélisant l'action combinée de la pesanteur et du vent sur le système.

On considère pour cette modélisation que les efforts dus aux frottements engendrés par les mouvements du câble et des poulies sont négligés.

Q.1. Réaliser le schéma-bloc complet de l'asservissement en vitesse, on notera $C(p)$ la fonction de transfert correspondant au correcteur.

Q.2. Déterminer l'expression du gain K_1 pour que la comparaison des tensions soit une image correcte de la comparaison de la vitesse de consigne et de la vitesse réelle du câble. Effectuer l'application numérique.

Q.3. Déterminer les expressions littérales des deux fonctions de transfert $H_M(p)$ et $H_R(p)$ telles que $\Omega_M(p) = H_M(p) \cdot U_M(p) + H_R(p) \cdot C_R(p)$.

Étude du comportement dynamique de l'asservissement en poursuite avec un correcteur proportionnel

On considère ici que $C(p) = K_C$ avec $K_C > 0$ et on se propose de déterminer la valeur du gain K_C permettant de respecter les critères du cahier des charges.

Q.4. Préciser les paramètres caractéristiques de la fonction $H_M(p)$ et faire les applications numériques.

Q.5. Déterminer $G(p) = \frac{V(p)}{U_c(p)}$. Pour simplifier l'expression de cette fonction de transfert on posera $K_E = K_T \cdot \frac{2}{D_T} =$

$$\frac{V(p)}{U_c(p)} \text{ et } K_S = K_A \cdot K_E \cdot K_T \cdot K_M.$$

Q.6. Le système est-il stable ?

Q.7. Déterminer littéralement le temps de réponse à 5 %. Déterminer la condition sur K_c pour satisfaire le critère de rapidité du cahier des charges.

Q.8. Déterminer l'expression littérale de l'erreur statique pour une entrée en échelon de valeur V_0 . Déterminer la condition sur K_c pour satisfaire le critère de précision du cahier des charges.

Q.9. En déduire la tension maximale en entrée du moteur pour une consigne de vitesse en échelon de $7,2 \text{ m.s}^{-1}$ lorsque K_c prend la valeur minimale permettant de satisfaire les conditions déterminées questions 7 et 8. Conclure quant à la pertinence d'un correcteur proportionnel.

Étude du comportement dynamique de l'asservissement en poursuite avec un correcteur intégral

On considère le correcteur intégral $C(p) = \frac{K_i}{p}$ et on se propose de déterminer la valeur du gain K_i permettant de respecter les critères du cahier des charges.

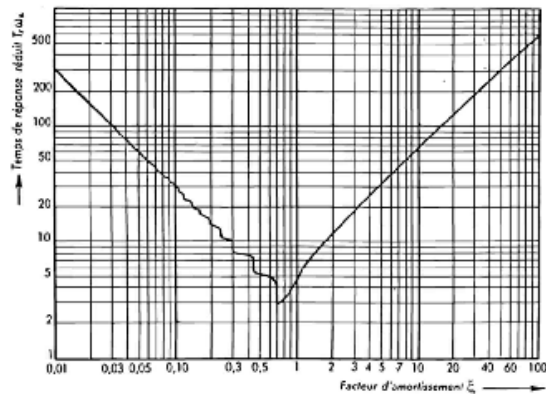
Q.10. Déterminer l'expression de la fonction de transfert $H(p) = \frac{V(p)}{V_c(p)}$ et montrer qu'elle peut se mettre sous la forme d'un deuxième ordre dont on précisera les valeurs des paramètres canoniques.

Q.11. Le système respecte-t-il le critère de précision du cahier des charges ?

Q.12. Déterminer la valeur du facteur d'amortissement assurant un dépassement de 10 %. En déduire la valeur de K_i .

Q.13. Déterminer alors le temps de réponse à 5 % et conclure quant au respect du cahier des charges.

Q.14. Quelle est la valeur de K_i qui aurait permis d'avoir un temps de réponse à 5 % minimum ? Quel aurait été ce temps de réponse ? Quelle aurait été la valeur du dépassement ? Conclure.

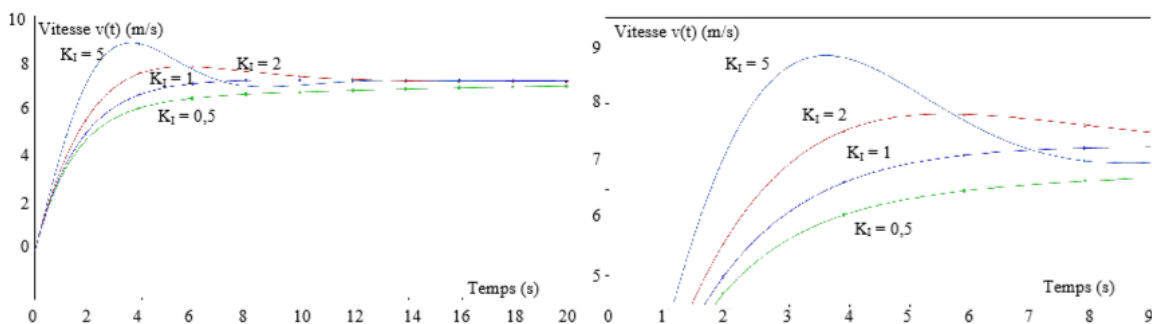


Détermination d'un correcteur proportionnel et intégral et vérification de l'influence de la perturbation

On souhaite bénéficier des performances du correcteur proportionnel pour sa rapidité et des performances du correcteur intégral pour sa précision.

On adopte alors un correcteur proportionnel intégral de la forme $C(p) = K_c + \frac{K_i}{p}$ avec $K_c = 5,6$.

Q.15. On simule sur un logiciel adapté la réponse à un échelon de vitesse de $7,2 \text{ m.s}^{-1}$ pour plusieurs valeurs de gain K_i . Déterminer en justifiant la(les) valeur(s) du gain K_i permettant de respecter tous les critères du cahier des charges.



Q.16. En exposant clairement la démarche, montrer que le cahier des charges est satisfait pour la précision vis-à-vis de la perturbation (on considérera $V_c(p) = 0$ et $C_R(p) = \frac{C_{RO}}{p}$). Conclure quant à la pertinence de ce choix de correction.