

1 DS - Systèmes asservis

1.1 PCSI

Devoir 1- CableCam de Hymatom
adapté du sujet E3A 2008

Corrigé page 10

Présentation

La société Hymatom conçoit et fabrique des systèmes de vidéo surveillance. Le système câblecam (figure 1) est composé d'un chariot mobile sur quatre roues posé sur deux câbles porteurs d'une longueur de 100 m. Ces câbles servent également à alimenter la caméra et ses moteurs d'orientations qui sont liés au chariot. Un câble tracteur dont les deux extrémités sont attachées au chariot est actionné par un moteur à courant continu fixé au bâti. Deux contrepoids via un moufle (voir l'agrandissement sur la figure 1) maintiennent les câbles porteurs en tension.

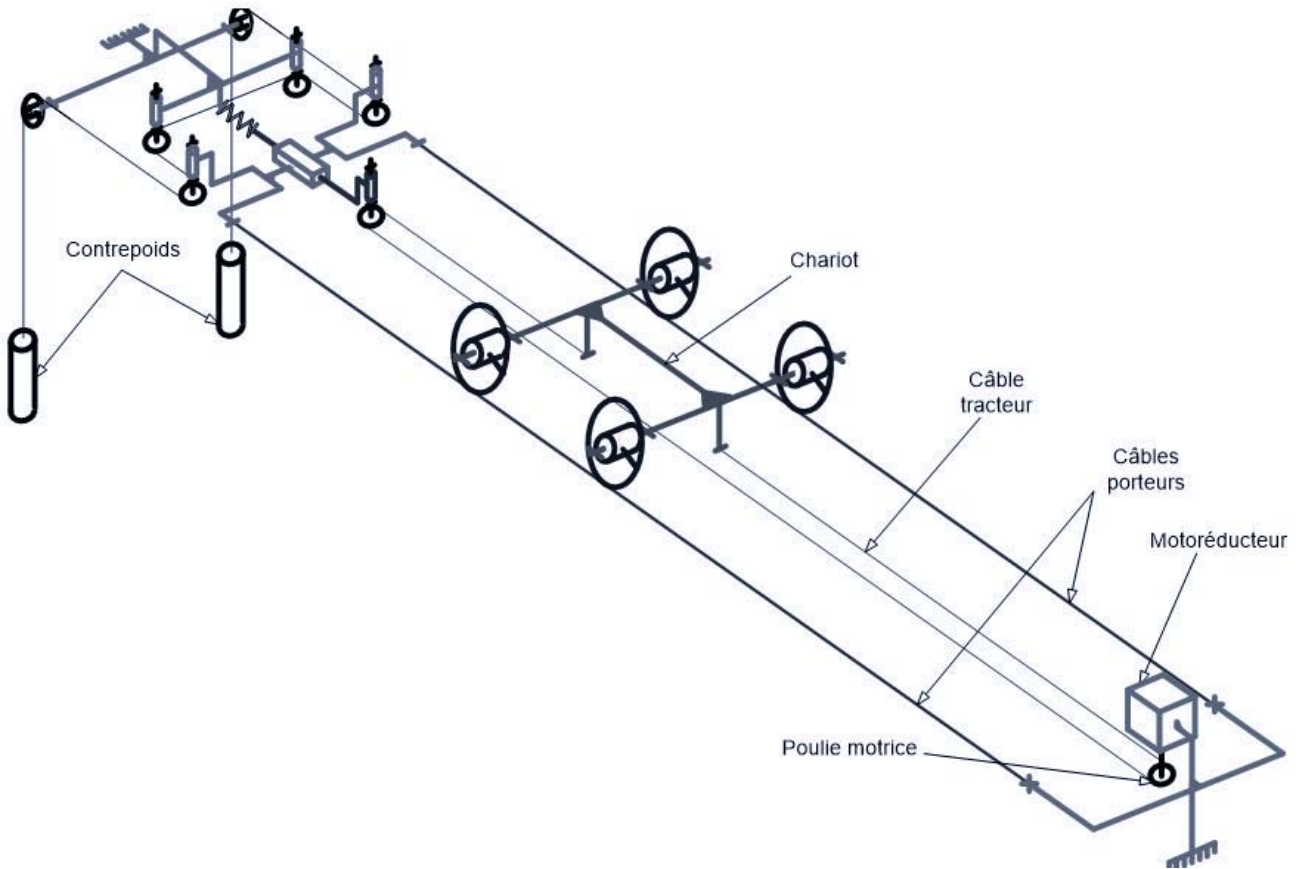


Figure 1 – Schéma du système câblecam

Le chariot transporte une caméra (figure 2), dont les axes, l'un vertical et l'autre horizontal peuvent être pilotés à distance par le télé-surveilleur ou le logiciel de télésurveillance. De plus, le chariot embarque le système de communication sans fil.

Un prototype a été réalisé et testé, ce qui a permis d'améliorer certaines parties et de contrôler que le cahier des charges fonctionnel pouvait être respecté ; lors de ces tests des mouvements parasites ont été observés. Un phénomène de pompage (déplacement vertical), des oscillations de tangage (avant/arrière) et de roulis (tribord/bâbord) surviennent dès que l'on met le chariot en mouvement. Ces mouvements limitent l'utilisation de la caméra dans ses grossissements les plus forts. En effet, le zoom de la caméra peut réduire l'angle de champ (ou angle de vue)



Figure 2 – Camera mobile du système cablecam

jusqu'à 1,8°. Par ailleurs, le stabilisateur d'image incorporé ne permet de corriger des tremblements que sur un tiers de la largeur ou de la hauteur des images.

L'étude qui est proposée dans ce sujet porte sur le comportement du chariot lors d'un déplacement et plus précisément sur les limites de stabilité.

Description partielle des exigences que doit remplir le système :

- id1 : obtenir des images des zones à surveiller exploitables par le logiciel.
- id2 : être alimentée en énergie électrique réglementée.
- id3 : évoluer sans gêne ni danger dans le lieu d'exploitation.
- id4 : être adaptée aux normes et aux réglementations en vigueur.

Le logiciel peut piloter la caméra en la déplaçant et en l'orientant sur les zones à couvrir, par exemple, les allées transversales d'un grand entrepôt. Des événements inhabituels peuvent être détectés et analysés par le logiciel. Un objet mobile peut être suivi dans les zones surveillées. Tout ceci nécessite que les images acquises et leur transmission soient de bonne qualité. Donc, les déplacements de la caméra doivent être suffisamment stables.

Les deux diagrammes (figures 3 et 4 précisent ces exigences.

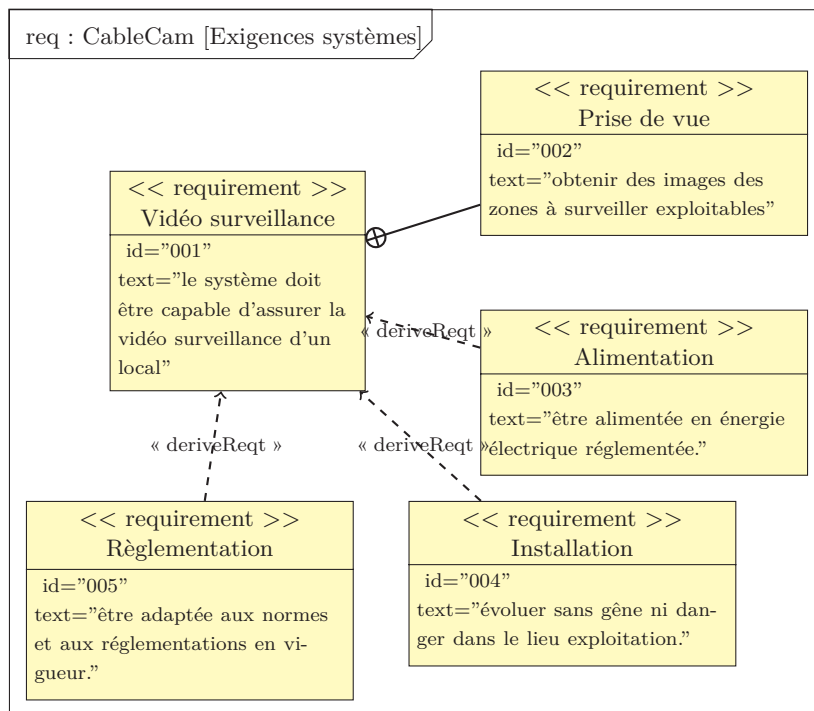


Figure 3 – Diagramme d'exigences fonctionnelles de la caméra CableCam

Q1. Compléter le tableau du document réponse DR-1 en précisant les différents critères et niveaux de chaque contrainte fonctionnelle.

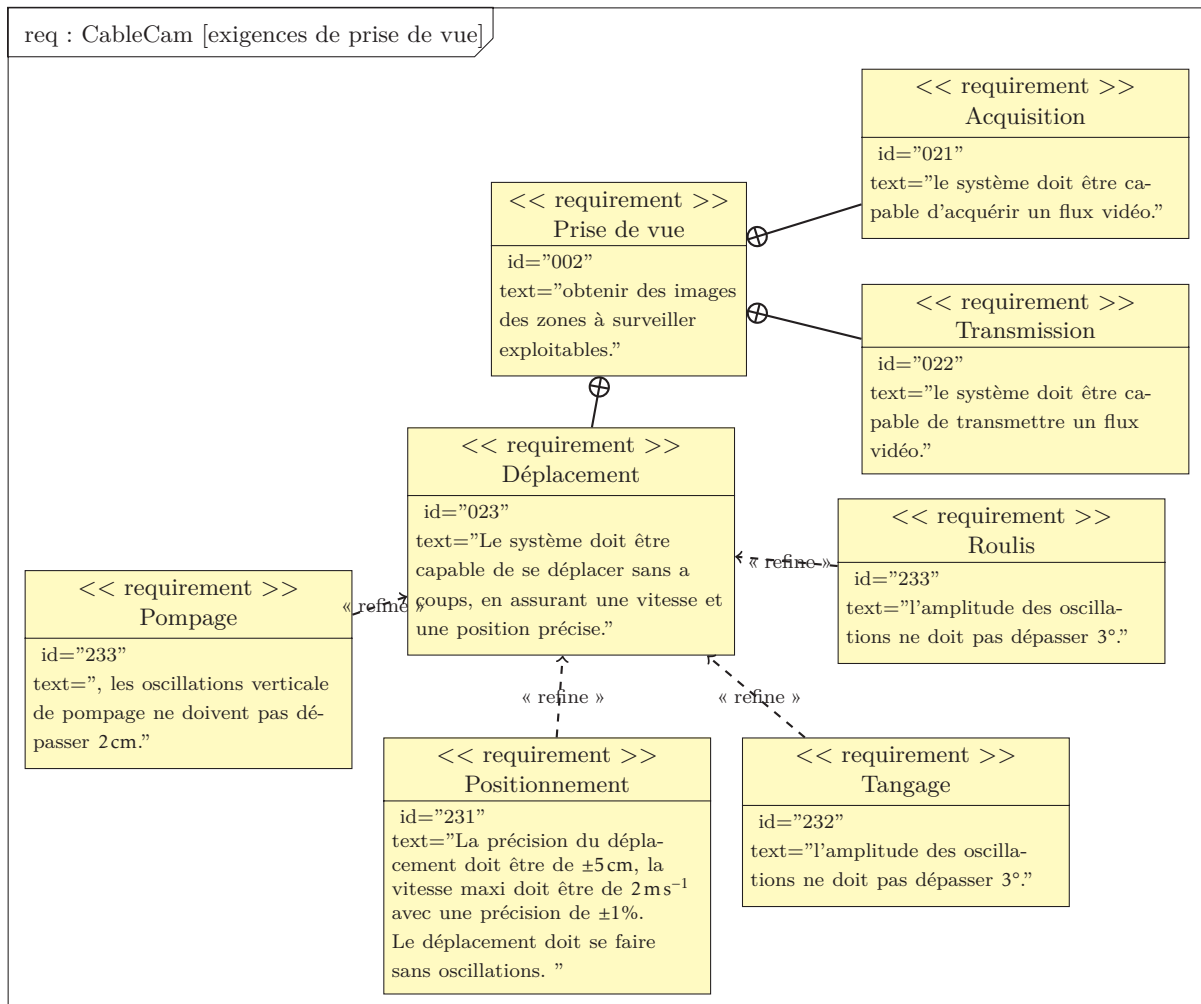


Figure 4 – Diagramme d'exigences techniques de la prise de vue

A. Commander le déplacement

Objectif de l'étude : Vérifier le respect de la précision imposée par le Cahier des Charges Fonctionnel (CdCF) en positionnement et en vitesse sans tenir compte des mouvements parasites.

Le schéma bloc physique de la commande du déplacement du chariot est présenté figure 8 sur le document réponse DR-2 :

Le comportement linéarisé du motoréducteur autour de son point d'équilibre est modélisé par les quatre équations suivantes :

— Équation mécanique :

$$c_s(t) + c_r(t) = J_{eq} \cdot \frac{d^2 \theta_s(t)}{dt^2}$$

— Équation de couplage tension – vitesse :

$$e(t) = k_e \cdot \omega_s(t)$$

— Équation électrique :

$$u(t) = R \cdot i(t) + e(t) + L \cdot \frac{di(t)}{dt}$$

— Équation de couplage couple – intensité :

$$c_s(t) = k_t \cdot i(t)$$

On note :

— $x_c(t)$: consigne de position à atteindre

— $x_s(t)$: position réelle du chariot

— $u(t)$: tension d'alimentation du moteur

— $c_s(t)$: couple en sortie du motoréducteur

— $c_r(t)$: couple résistant appliqué à l'arbre de sortie du motoréducteur en N.m.

— $i(t)$: intensité dans l'induit du moteur en A.

— $e(t)$: force contre électromotrice du bobinage du moteur en V.

— $\theta_s(t)$: position angulaire de l'arbre de sortie du motoréducteur

— $\omega_s(t) = \frac{d\theta_s(t)}{dt}$: vitesse de rotation de l'arbre de sortie du motoréducteur

— $H_C(p)$: transmittance du correcteur

Données :

- $M = 4,3 \text{ kg}$: masse du chariot.
- $L = 0,04 \text{ mH}$: inductance de l'induit.
- $R = 0,103$:résistance de l'induit.
- $J_{eq} = 2,5 \times 10^{-2} \text{ kgm}^2$: moment d'inertie équivalente de l'ensemble mobile rapportée à l'arbre de sortie du motoréducteur.
- $k_t = 0,41 \text{ Nm A}^{-1}$: constante de couple.
- $k_e = 0,41 \text{ V srad}^{-1}$: constante de force contre électromotrice.
- $G = 400 \text{ V m}^{-1}$:gain de l'amplificateur .
- $R_m = 50 \text{ mm}$: rayon de la poulie motrice.
- $r = 7$:Rapport de réduction cinématique du réducteur (entrée/sortie).
- $L_T = 200 \text{ m}$: longueur totale du câble tracteur.
- $U_{max} = 24 \text{ V}$:tension maximale d'alimentation du moteur.
- $I_n = 7,8 \text{ A}$:courant nominale de l'induit

Les transmittances des différents blocs seront déterminées dans la suite du sujet pour pouvoir étudier le comportement global du système.

Remarque : Pour toute l'étude, les variables temporelles seront écrites en minuscule et les variables dans le domaine de Laplace en majuscule.

A.1. Modélisation du motoréducteur

Dans cette partie du problème, le couple résistant $c_r(t)$ est négligé car les câbles porteurs sont supposés horizontaux et les frottements sont négligés.

Q2. Exprimer les quatre équations relatives au motoréducteur dans le domaine de Laplace en considérant que les conditions de Heaviside (conditions initiales nulles) sont respectées.

Q3. Donner la forme littérale de la fonction de transfert $\frac{\Theta_s(p)}{\Omega_s(p)}$.

Q4. Donner la forme littérale de la fonction de transfert $\frac{\Omega_s(p)}{C_s(p)}$.

Q5. Donner la forme littérale de la fonction de transfert du motoréducteur $\frac{\Omega_s(p)}{U(p)}$

Q6. En s'aidant du schéma de la figure 1,justifier la fonction de transfert $\frac{X_s(p)}{\Theta_s(p)}$.

Q7. Préciser les blocs A, B, C, D, E sur le schéma bloc modélisant le système sur le document réponse DR-2 . Indiquer TOUTES les grandeurs (avant et après chaque bloc)

A.2. Étude de la réponse temporelle

Hypothèses complémentaires :

— La transmittance du correcteur $H_C(p)$ est égale à 1 pour cette partie et jusqu'à la question ?? comprise.

Q8. Exprimer $M(p) = \frac{\Omega_s(p)}{U(p)}$ la fonction de transfert du moteur en fonction de A, B, C, D (ne pas développer A, B, C, D).

Q9. Exprimer la fonction de transfert en boucle ouverte $H_O(p) = \frac{X_s(p)}{\varepsilon(p)}$ du système en fonction de A, B, C, D, E et des autres blocs.

Q10. Exprimer la fonction de transfert en boucle fermée $H_F(p) = \frac{X_s(p)}{X_c(p)}$) du système en fonction de A, B, C, D, E et des autres blocs.

Quelque soit ce que vous avez trouvé au préalable, on prend pour $\frac{\Theta_s(p)}{U(p)} = \frac{K_t}{p \cdot (K_e \cdot K_t + R \cdot J_{eq} \cdot p + J_{eq} \cdot L \cdot p^2)}$

Q11. Exprimer la fonction de transfert en boucle fermée $H_F(p) = \frac{X_s(p)}{X_c(p)}$) du système sous la forme canonique. Préciser l'ordre et la classe de la fonction de transfert.

Pour la suite on admettra que le système peut se mettre sous la forme de la figure 5, établi en supposant que l'influence de l'inductance par rapport aux autres grandeurs caractéristiques sur la réponse du système est faible, elle sera négligée dans la suite du sujet ($L = 0$).

Q12. Déterminer la fonction de transfert en boucle fermée du système simplifié $H_{Fs}(p) = \frac{X_s(p)}{X_c(p)}$ en fonction de G.

Q12a. Mettre sous forme canonique

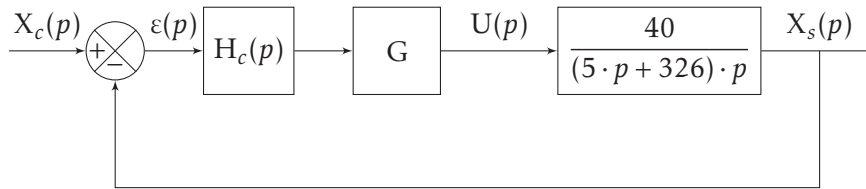


Figure 5 – Modèle simplifié

Q12b. Déterminer, le coefficient d'amortissement z , la pulsation propre non amortie ω_0 et le gain statique du système K .

Q13. Déterminer la valeur finale pour une consigne de déplacement en échelon : $x_c(t) = X_0 \mathcal{H}(t)$ puis la tangente à l'origine.

On prend $G = 400 \text{ V m}^{-1}$.

Q14. Préciser les valeurs numériques (sans oublier les unités) de K , z et ω_0 .

Q15. En vous aidant des abaques fournies en annexe, tracer sur le document réponse DR-3 l'allure de la réponse temporelle de ce système en faisant apparaître le signal de consigne pour une commande en échelon $x_c(t) = X_{C0} \cdot \mathcal{H}(t)$ de avec $X_{C0} = 2 \text{ m}$ et $\mathcal{H}(t)$ fonction de Heaviside. Indiquer sur le graphe l'amplitude du premier dépassement D_1 et le temps de réponse à 5%. (Vous indiquerez toutes les informations nécessaires au tracé de cette courbe).

Q16. La réponse obtenue est-elle conforme au cahier des charges.

B. Correction du système

B.1. Correction proportionnelle

On se propose de déterminer maintenant de déterminer la valeur de G qui permet de respecter la condition du cahier des charges sur le dépassement.

Q17. Quelle doit être la valeur du coefficient d'amortissement afin de respecter le cahier des charges pour le critère de dépassement. En déduire la valeur G .

Q18. Conclure vis à vis du cahier des charges.

B.2. Correction avancée

On prend de nouveau $G = 400 \text{ V m}^{-1}$.

Afin de limiter les oscillations, on installe un correcteur $H_c(p) = \frac{1 + a \cdot \tau \cdot p}{1 + \tau \cdot p}$ avec $a = 2,9$ et $\tau = 0,01 \text{ s}$.

Q19. Déterminer $BO(p) = \frac{X_s(p)}{\varepsilon(p)}$ puis $BF(p) = \frac{X_s(p)}{X_c(p)}$

$$BO(p) = \frac{40 \cdot G \cdot (1 + a \cdot \tau \cdot p)}{(1 + \tau \cdot p) \cdot (5 \cdot p + 326) \cdot p}$$

Q20. Mettre sous forme canonique $BF(p) = K \cdot \frac{N(p)}{D(p)}$ avec $N(p)$ et $D(p)$ deux polynômes tel que $N(0) = D(0) = 1$.

Préciser l'ordre de $N(p)$ et de $D(p)$

$$BF(p) = \frac{BO(p)}{1 + BO(p)} = \frac{\frac{40 \cdot G \cdot (1 + a \cdot \tau \cdot p)}{(1 + \tau \cdot p) \cdot (5 \cdot p + 326) \cdot p}}{1 + \frac{40 \cdot G \cdot (1 + a \cdot \tau \cdot p)}{(1 + \tau \cdot p) \cdot (5 \cdot p + 326) \cdot p}}$$

$$BF(p) = \frac{40 \cdot G \cdot (1 + a \cdot \tau \cdot p)}{(1 + \tau \cdot p) \cdot (5 \cdot p + 326) \cdot p + 40 \cdot G \cdot (1 + a \cdot \tau \cdot p)}$$

$$BF(p) = \frac{40 \cdot G \cdot (1 + a \cdot \tau \cdot p)}{5 \cdot \tau \cdot p^3 + 326 \cdot \tau \cdot p^2 + 5 \cdot p^2 + 40 \cdot G \cdot a \cdot \tau \cdot p + 326 \cdot p + 40 \cdot G}$$

$$BF(p) = \frac{1 + a \cdot \tau \cdot p}{\frac{5 \cdot \tau}{40 \cdot G} \cdot p^3 + \frac{326 \cdot \tau + 5}{40 \cdot G} \cdot p^2 + \frac{40 \cdot G \cdot a \cdot \tau + 326}{40 \cdot G} \cdot p + 1}$$

Q21. Décrire la procédure permettant d'obtenir $x_s(t)$ pour une consigne de déplacement en échelon $x_c(t) = X_0 \cdot \mathcal{H}(t)$.

On commence par définir $X_s(p) = Bf(p) \cdot \frac{X_0}{p}$

$$X_s(p) = \frac{1 + a \cdot \tau \cdot p}{\frac{5 \cdot \tau}{40 \cdot G} \cdot p^3 + \frac{326 \cdot \tau + 5}{40 \cdot G} \cdot p^2 + \frac{40 \cdot G \cdot a \cdot \tau + 326}{40 \cdot G} \cdot p + 1} \cdot \frac{X_0}{p}$$

On cherche les racines puis on détermine la décomposition en fractions simples puis on cherche la transformation inverse.

La réponse temporelle à un échelon de 2m est représenté sur la figure 10 du document réponse DR-4 .
Q22. Déterminer le temps de réponse à 5%. Que peut-on dire du système corrigé vis à vis du cahier des charges ?

C. Annexes

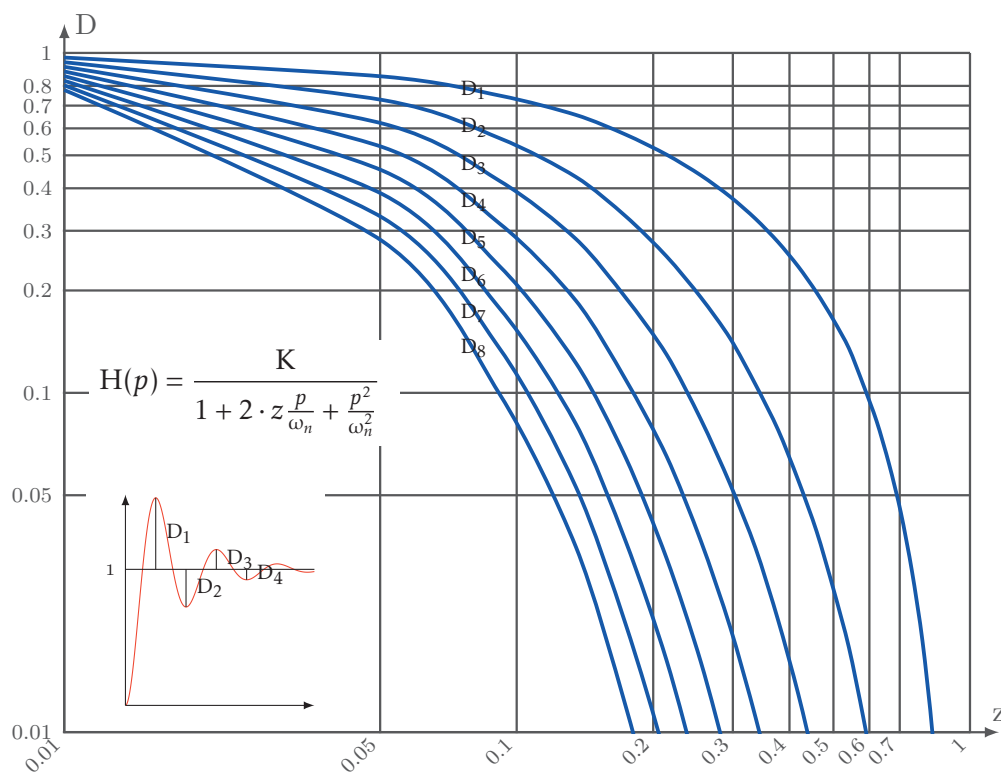
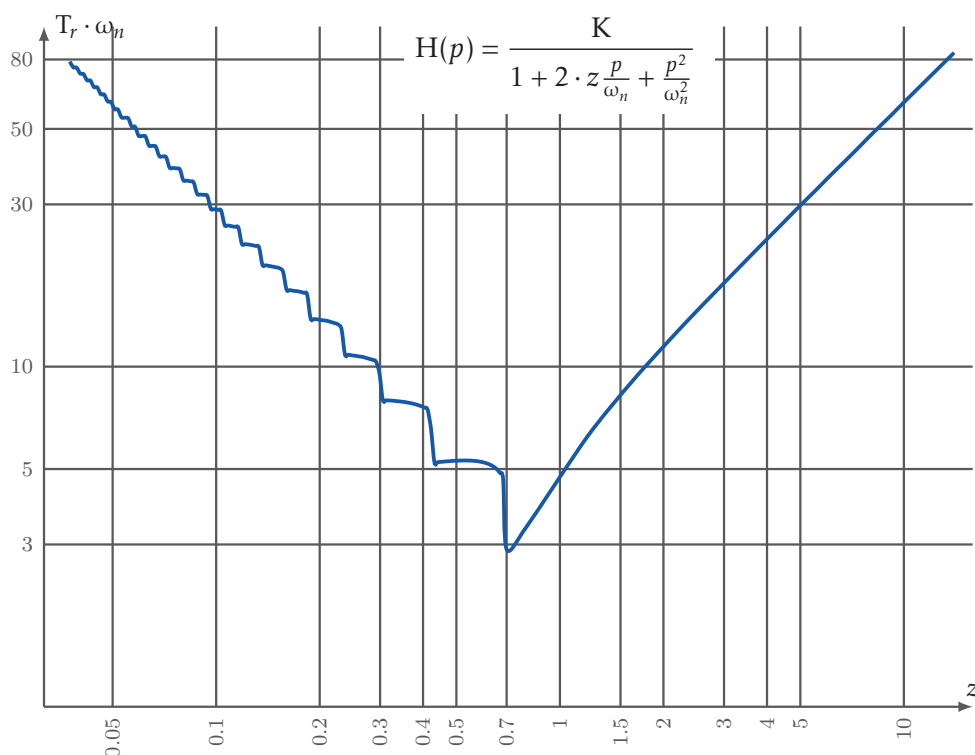


Figure 6 – Abaque des dépassements d'un second ordre

Figure 7 – Abaque du temps de réponse réduit $T_r \cdot \omega_n$ d'un système du second ordre

D. Documents réponses

DR-1. Tableau d'exigences

Qualification	Critère	valeur
Positionnement	Temps de réponse	
Positionnement	Précision	
Positionnement	oscillations	
Suivi	Vitesse Maxi	2 m/s
Contrôle de la vitesse	Respecter la vitesse	1% maxi de la vitesse de consigne

DR-2. Schéma blocs

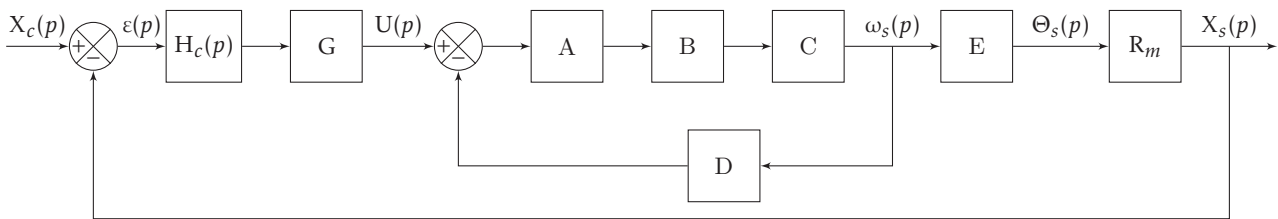


Figure 8 – Schéma bloc du déplacement

DR-3. Réponse temporelle



Figure 9 – Graphe temporel à compléter

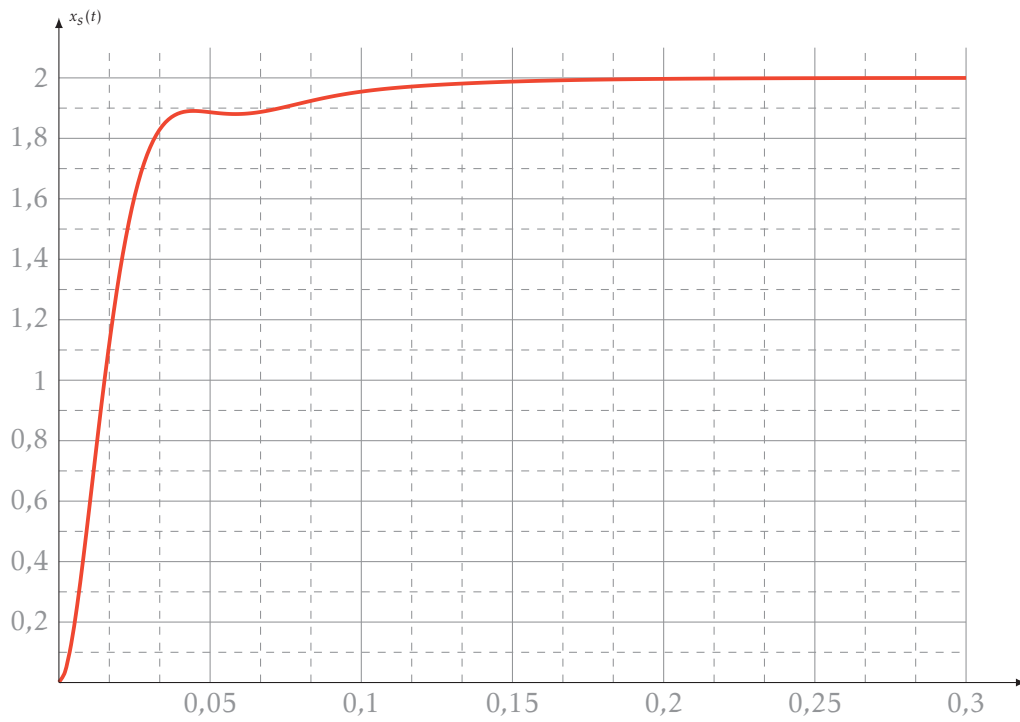


Figure 10 – Réponse temporelle du système corrigé

DR-4. Réponse temporelle du système corrigé