

DS MPSI1, octobre 2024, durée 1h

Corrigé sur le site : <http://perso.numericable.fr/starnaud/>

Exercice 1.

Soit le système dont le comportement est défini par l'équation différentielle suivante :

$$\frac{ds(t)}{dt} + 5.s(t) = 3.e(t)$$

Question

Déterminer sa fonction de transfert puis sa réponse temporelle à un échelon unitaire.

Exercice 2.

Soit le système dont le comportement est défini par l'équation différentielle suivante :

$$\frac{d^2s(t)}{dt^2} + 4.\frac{ds(t)}{dt} + 11.s(t) = 5.e(t)$$

Question

Déterminer sa fonction de transfert puis sa réponse temporelle à une impulsion.

Exercice 3.

Donner les performances du système asservi dont on donne dans le document réponses la réponse à un échelon. Représenter toutes les constructions utiles sur cette courbe.

Exercice 4.

Le système étudié, appelé inverseur de poussée, est un dispositif utilisé dans le domaine de l'aéronautique permettant de contribuer au freinage d'un avion lors de sa phase d'atterrissage sur piste.



Nacelle fermée
Inverseur de poussée non activé

Nacelle ouverte
Inverseur de poussée activé

L'eTras (Electrical Thrust Reverser Actuation System) est le premier système de commande électrique d'inverseur de poussée, permettant ainsi de s'affranchir de la présence de circuit hydraulique dans cette zone critique du moteur.

Analyse de la chaîne structurelle de l'eTras.

Un seul moteur à courant continu est utilisé pour mouvoir la partie mobile de la nacelle.

Ce moteur permet d'entraîner simultanément 4 systèmes vis-écrous transformant le mouvement de rotation du moteur en translation.

Cette transmission de puissance depuis le moteur vers les systèmes vis-écrous est réalisée par l'intermédiaire de composants flexibles appelés des flex-shafts.

Le moteur est alimenté par un composant nommé TRCU (Thrust Reverser Control Unit) contenant une électronique de puissance.

Afin de modifier le chemin du flux secondaire, la rotation de chaque volet est synchronisée au déplacement de la nacelle par une chaîne cinématique.

Un codeur incrémental est utilisé pour mesurer à tout instant la position angulaire du rotor du moteur.

Pour vérifier le bon synchronisme des 4 systèmes vis-écrous, un capteur de type RVDT (Rotary Variable Differential Transformer) est monté sur les 4 vis.

L'ensemble de ces informations est traité par le calculateur de l'inverseur de poussée.

Question 1

Compléter la chaîne fonctionnelle du document réponses.

Analyse de l'asservissement en position.

Afin de contrôler le moteur de l'inverseur de poussée, la consigne de position angulaire du moteur, notée θ_c , est adaptée en une consigne numérique, notée N_c .

Cette consigne est comparée à l'information issue du codeur incrémental positionné sur le moteur, notée N_m .

L'écart \mathcal{E} entre ces deux signaux est corrigé par l'intermédiaire d'un correcteur associé au TRCU dont la sortie est une tension de commande, notée U_m , pour le moteur.

La position angulaire en sortie du moteur, notée θ_m , est alors transmise via le système de transmission de puissance (le flex-shaft).

En sortie du flex-shaft, la position angulaire θ_f est transmise aux dispositifs vis-écrous permettant de transformer le mouvement de rotation du flex-shaft en un mouvement de translation de l'écrou notée λ_v sur lequel est fixée la partie mobile de la nacelle.

Enfin, un ensemble cinématique, comportant les volets, permet de synchroniser la rotation θ_b de ces derniers avec la translation de la partie mobile de la nacelle.

Lors de la phase de reverse, des actions mécaniques perturbatrices importantes agissent sur le moteur à travers la chaîne cinématique.

Question 2

Compléter le schéma-bloc fonctionnel du document réponses.

Étude du moteur à courant continu

Le moteur est un moteur à courant continu, modélisé par les équations suivantes :

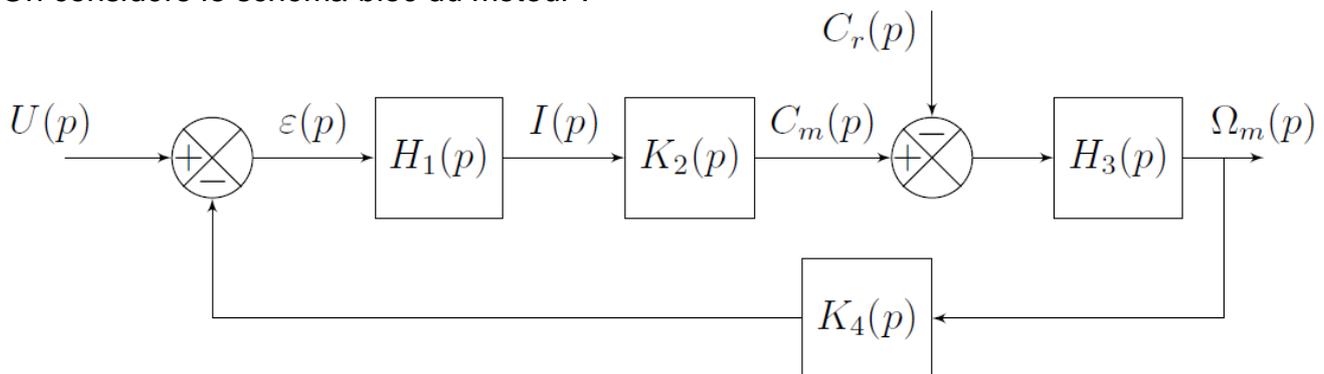
$$\text{Équation électrique : } u(t) = R.i(t) + L.\frac{di(t)}{dt} + e(t)$$

$$\text{Équations de couplage : } C_m(t) = K_m.i(t) \text{ et } e(t) = K_m.\omega_m(t)$$

L'arbre du moteur est soumis au couple résistant $C_r(t)$ et fournit le couple moteur $C_m(t)$.

$$\text{Équation mécanique : } J.\frac{d\omega_m(t)}{dt} = C_m(t) - C_r(t)$$

On considère le schéma-bloc du moteur :



Question 3

Établir les expressions des quatre fonctions de transfert du schéma-bloc.

$$\text{Calculer la fonction de transfert } H_{mot}(p) = \frac{\Omega_m(p)}{U(p)}$$

$$\text{La mettre sous la forme : } H_{mot}(p) = \frac{K_1}{a.p^2 + b.p + 1}$$

Étude de l'asservissement en effort

Afin de bien contrôler l'effort en sortie du moteur, un asservissement en couple du moteur est nécessaire. Le couple $C_m(t)$ étant proportionnel à l'intensité $i(t)$, faire un asservissement en couple consiste donc à asservir en intensité le moteur.

Pour cela, la solution choisie a été de prendre :

- ✓ Un capteur de courant de gain pur R_e .
- ✓ Un adaptateur de gain pur K_a .
- ✓ Un comparateur.
- ✓ Un correcteur de fonction de transfert $C(p)$.

Question 4

Compléter le schéma-bloc du document réponses afin de prendre en compte cet asservissement.

Étude des flex-shafts

La structure des « flex-shafts » (câble + gaine) permet de transmettre un mouvement de rotation depuis la sortie du moteur (d'angle de rotation θ_m) jusqu'aux dispositifs vis-écrou d'angle de rotation θ_f en adoptant une géométrie quasi-circulaire.

Les flex-shafts n'étant pas des structures indéformables, un modèle de connaissance est nécessaire afin de prendre en compte les déformations éventuelles.

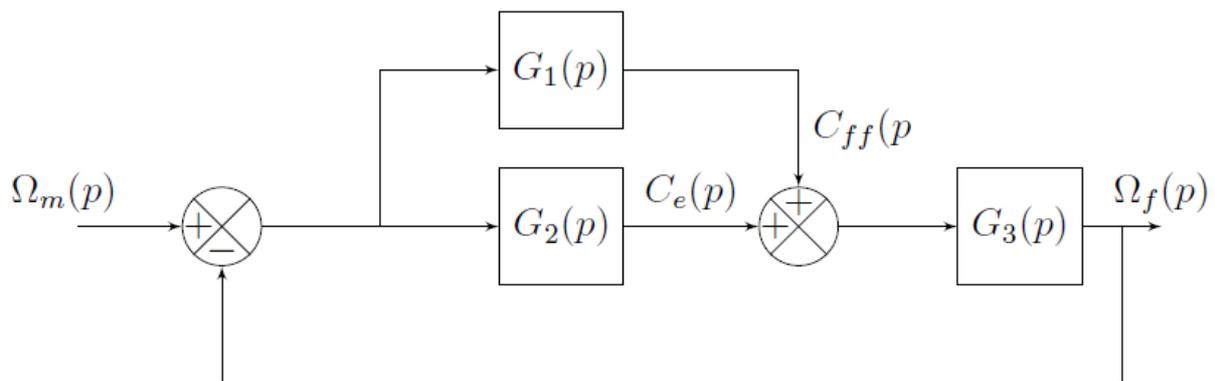
La vis (d'inertie équivalente J) du système vis-écrous est soumise au couple C_r composé d'un couple C_{ff} issu d'un frottement fluide entre les différentes parties du flexible et d'un couple issu du comportement élastique du flexible en rotation.

Il vient alors :

$$J \cdot \frac{d\omega_f(t)}{dt} = C_{ff}(t) + C_e(t)$$

$$C_{ff}(t) = f \cdot (\omega_m(t) - \omega_f(t)) \qquad \frac{dC_e(t)}{dt} = k \cdot (\omega_m(t) - \omega_f(t))$$

Le schéma-bloc incomplet associé à un flex-shaft est le suivant :



Question 5

Donner les expressions des fonctions de transfert du schéma-bloc.

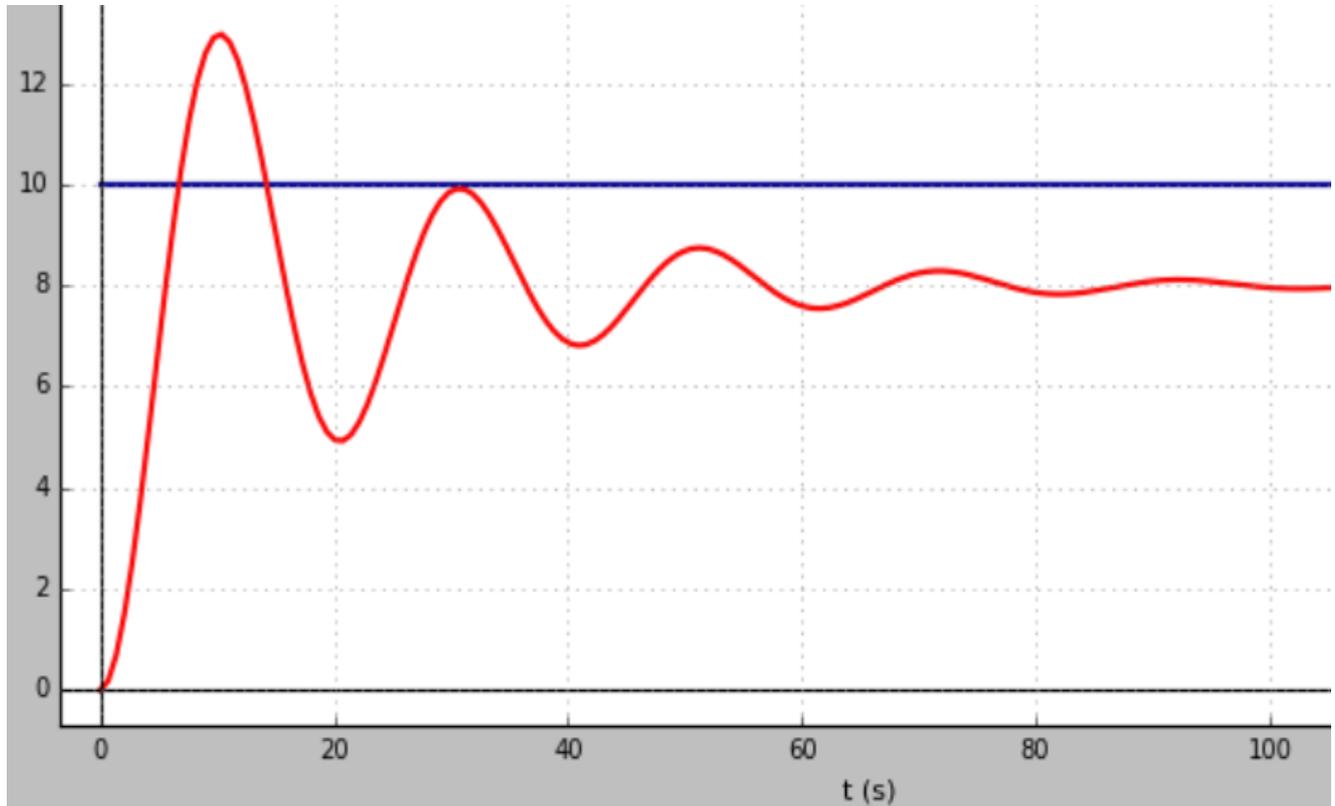
Calculer la fonction de transfert $H_{BF}(p) = \frac{\Omega_f(p)}{\Omega_m(p)}$.

Tableau des Transformées de Laplace usuelles.

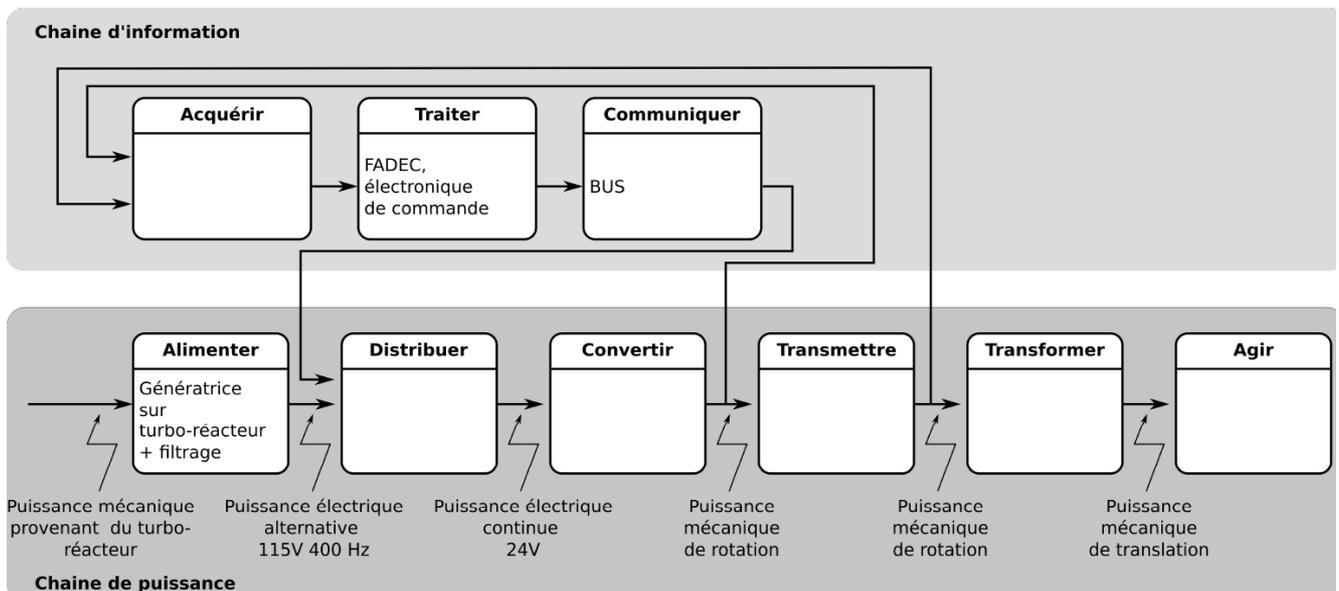
Domaine temporel	Domaine de Laplace	Domaine temporel	Domaine de Laplace
$\delta(t)$	1	$\sin \omega t$	$\frac{\omega}{p^2 + \omega^2}$
K	$\frac{K}{p}$	$\cos \omega t$	$\frac{p}{p^2 + \omega^2}$

Document réponses, DS MPSI1, octobre 2024

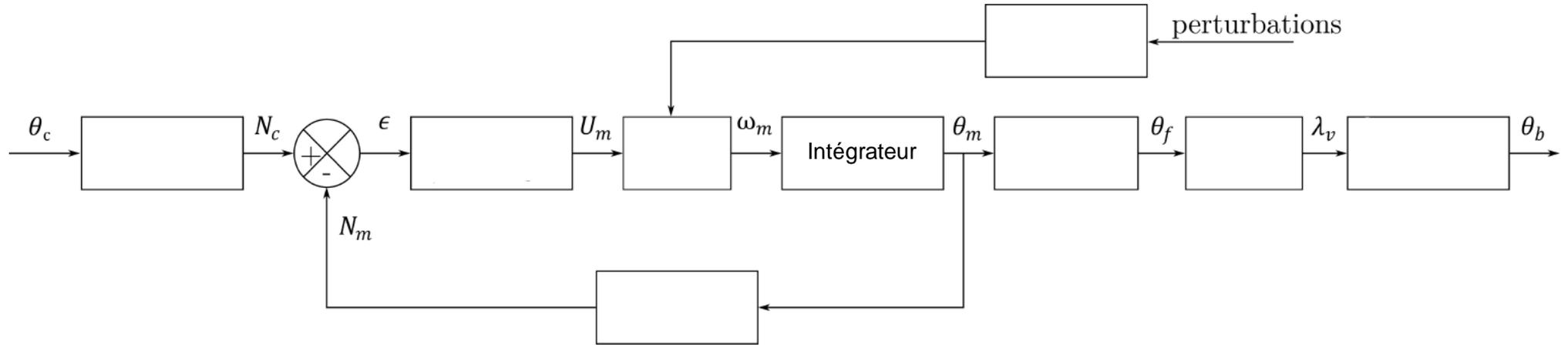
Exercice 3.



Exercice 4, question 1.



Exercice 4, question 2.



Exercice 4, question 4.

