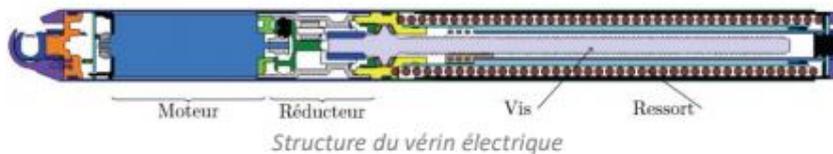


Coffre motorisé

Sur ce modèle de véhicule, l'ouverture ou la fermeture du hayon est assurée par deux vérins électriques prenant directement la place des vérins à air comprimé que l'on peut trouver sur une porte de coffre classique.



La commande d'ouverture et de fermeture du coffre est assurée par un asservissement de position angulaire θ du hayon. L'étude porte sur l'asservissement d'un seul vérin que nous appellerons *vérin maître*.

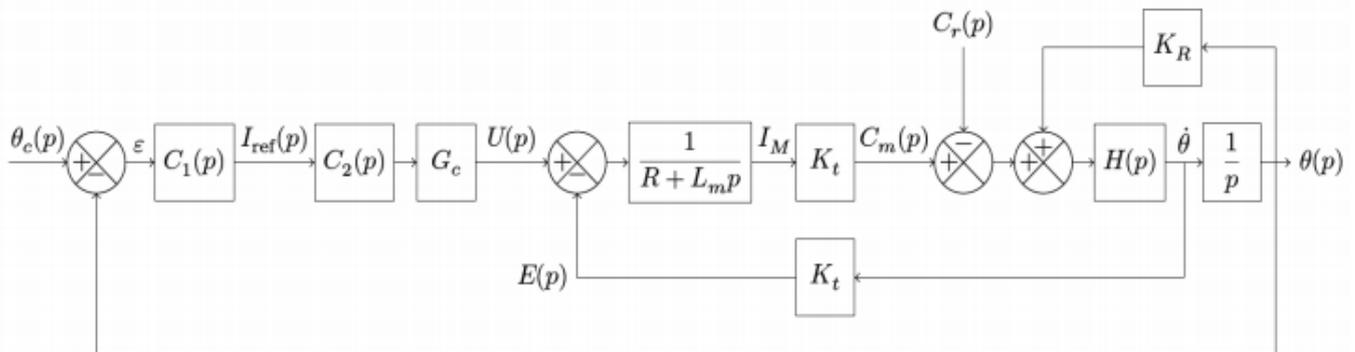
Pour limiter le risque d'accident lié au pincement d'un utilisateur, il est nécessaire de limiter le couple du moteur à courant continu durant la phase de fermeture du hayon. Le couple moteur étant proportionnel au courant, il faut que la commande du moteur dispose d'un contrôle du courant induit. Cette fonction est assurée par une boucle de courant dans la commande du moteur.

Le cahier des charges associé à ces deux exigences est repris ci-dessous :

Exigence	Critère	Niveau
Ouvrir ou fermer la porte de coffre	Hauteur de l'extrémité du coffre en position ouverte	1,80 m par rapport au sol
	Hauteur de l'extrémité du coffre en position fermée	0,70 m par rapport au sol
	Temps d'ouverture ou fermeture	4 s au total dans lesquelles on distingue : 0,4 s pour l'accélération et 0,4 s pour la décélération
	Éléments d'inertie de la porte de coffre : - masse : - moment d'inertie autour de son axe de rotation par rapport au châssis de la voiture :	30 kg $J = 11 \text{ kg.m}^2$
	Marge de phase	45°
	Erreur en régime permanent vis-à-vis d'une consigne d'angle en échelon	nulle
Limiter l'effort de pincement de la porte de coffre sur un obstacle	Erreur relative en régime permanent vis-à-vis d'une consigne en effort	$\leq 1\%$
	Temps de réponse à 5%	9 ms maxi

La figure ci-après représente la modélisation de la commande du moteur du vérin maître du hayon obtenue par une étude préalable. Il s'agit d'un moteur à courant continu à aimant permanent.

- $i_{ref}(t)$ correspond à la consigne de courant du moteur.
- $i_M(t)$ est le courant moteur.
- $e(t)$ est la tension contre électromotrice du moteur.



Modélisation de la commande du vérin maître

Données :

- résistance d'induit du moteur à courant continu : $R = 50 \text{ m}\Omega$;
- inductance propre du moteur à courant continu : $L_m = 1,5 \text{ mH}$;
- constante de couple : $K_t = 9,5 \cdot 10^{-3} \text{ N}\cdot\text{m}\cdot\text{A}^{-1}$;
- gain du convertisseur : $G_c = 2,4$.

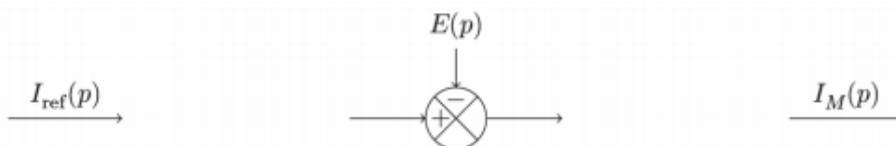
Objectif : étudier la mise en place de correcteur en vue de satisfaire les critères du cahier des charges.

Contrôle du couple moteur

La variation de la vitesse angulaire du moteur à courant continu étant très lente devant la variation du courant dans le moteur, on peut considérer la tension contre électromotrice comme une perturbation pour la boucle de courant.

On prendra pour l'instant $C_2(p) = 1$.

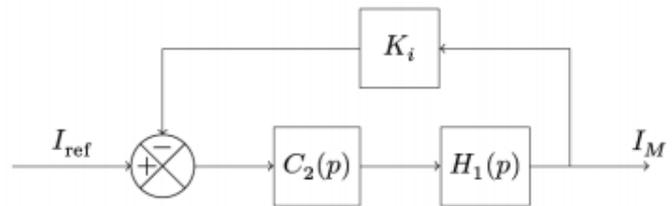
1. À l'aide de la modélisation de la commande du vérin maître proposée précédemment, reproduire et compléter le schéma bloc de la figure ci-dessous.



2. Déterminer $I_M(p)$ sous la forme $I_M(p) = H_1(p)I_{ref}(p) - H_2(p)E(p)$. Donner les expressions de $H_1(p)$ et $H_2(p)$. Préciser les éléments caractéristiques de la fonction de transfert $H_1(p)$ ainsi que leurs valeurs numériques. Conclure quant au respect des critères de rapidité et de précision du cahier des charges.

Afin d'améliorer la réponse du système en vue de répondre au cahier des charges, on modifie la commande en réalisant une boucle de courant (voir figure ci-contre). Le gain du capteur de courant est $K_i = 1$ et $C_2(p)$ est toujours égal à 1.

Boucle de courant



- Exprimer $H_i(p) = \frac{I_M(p)}{I_{ref}(p)}$ en fonction de K_i et de l'expression de $H_1(p)$ trouvée à la question précédente. Préciser les éléments caractéristiques de cette fonction de transfert ainsi que leurs valeurs numériques. Le système ainsi bouclé est-il stable ?
- Tracer l'allure de la réponse temporelle du courant dans le moteur, suite à une consigne de courant en échelon unitaire. Conclure quant au respect des critères de rapidité et de précision du cahier des charges.

Afin de respecter le critère de précision imposé sur le couple de pincement du hayon, on utilise un correcteur :

$$C_2(p) = K_p \frac{1 + \tau_c p}{\tau_c p}$$

- Déterminer A_c et τ_c afin que la fonction de transfert en boucle ouverte de la boucle de courant corrigée puisse se mettre sous la forme : $H_{icBO}(p) = \frac{A_c}{\tau_c p}$.
- Déterminer K_p afin de valider le critère de rapidité.
- Quel est l'intérêt d'avoir ainsi corrigé la boucle de courant ?

Réglage de l'asservissement de position

La figure ci-après représente le diagramme de Bode, obtenu par simulation, du modèle en boucle ouverte de la fonction de

transfert $H_{BO}(p) = \frac{\theta(p)}{\varepsilon(p)}$ de l'asservissement non corrigé ($C_1(p) = 1$) de position angulaire du hayon de coffre (voir schéma-

bloc dans la partie *Présentation*) en tenant compte de la boucle de courant et lorsque n'intervient aucune saturation de la commande du courant.

- Donner la forme de cette fonction de transfert en boucle ouverte non corrigée.
- À partir de ce diagramme, conclure quant aux exigences de stabilité et de précision du cahier des charges ?

Une simulation numérique a conduit à choisir pour le correcteur $C_1(p)$ de la boucle de position, la fonction de transfert

$$C_1(p) = K_p \cdot \frac{1 + \tau_i p}{\tau_i p} \cdot \frac{1 + \tau_d p}{1 + b \tau_d p} \text{ avec } \tau_d = 1 \text{ s, } \tau_i = 10 \text{ s et } b = 10^{-3}.$$

- Tracer sur le diagramme de Bode de la *FTBO* non corrigée, le diagramme de Bode asymptotique de la fonction $\frac{1 + \tau_i p}{\tau_i p}$. En déduire le tracé du diagramme de Bode de $H_i(p) = \frac{1 + \tau_i p}{\tau_i p} H_{BO}(p)$. Quel critère du cahier des charges ce correcteur permet-il de satisfaire ?
- Tracer sur le diagramme de Bode de la *FTBO* non corrigée, le diagramme de Bode asymptotique de la fonction $\frac{1 + \tau_d p}{1 + b \tau_d p}$. Quel est l'apport de ce correcteur ?
- Selon le second diagramme de Bode de la page suivante, déterminer la valeur de K_p pour que le système présente une marge de phase suffisante au regard des exigences du cahier des charges.
- Le comportement du système ainsi corrigé est-il satisfaisant au regard du cahier des charges ?

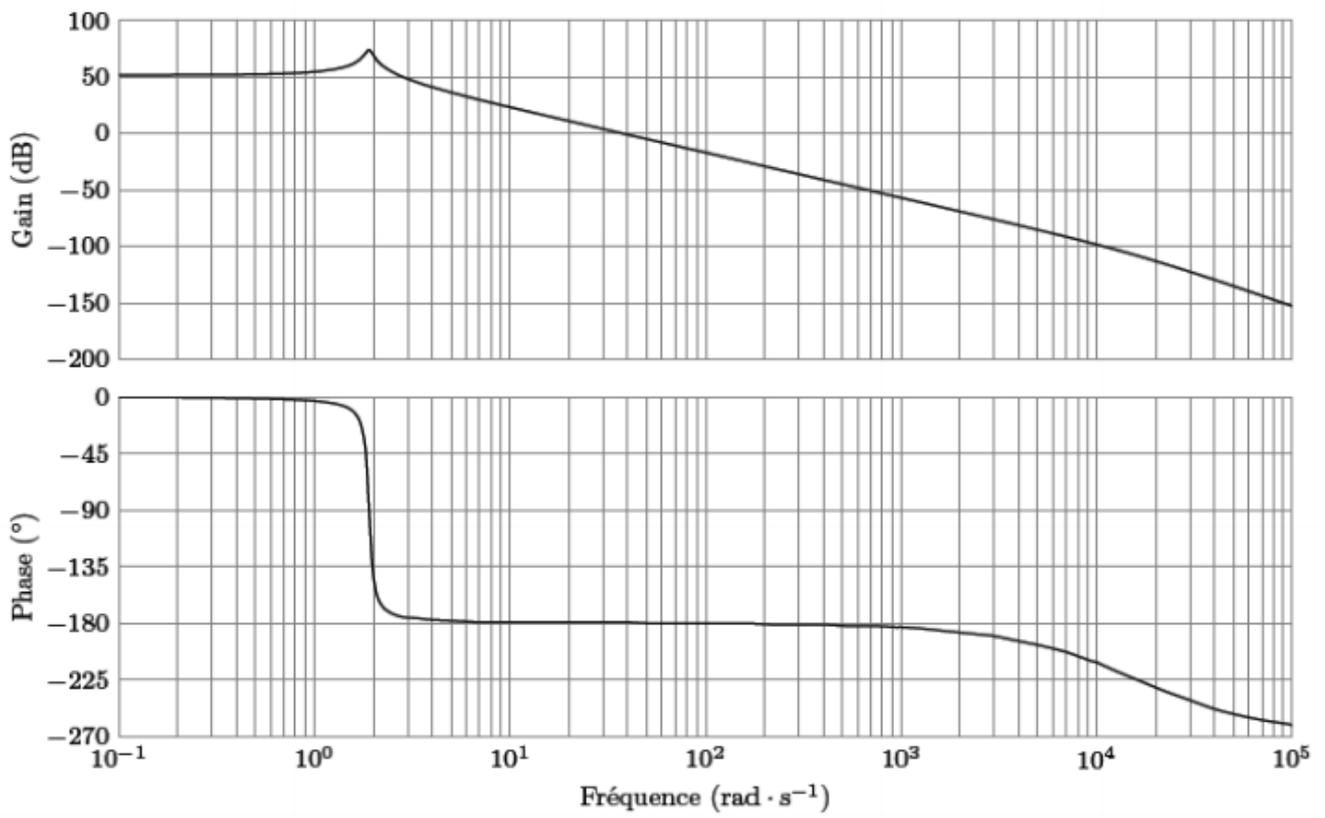


Diagramme de Bode de la fonction de transfert en boucle ouverte $H_{BO}(p) = \frac{\theta(p)}{\epsilon(p)}$ non corrigé ($C_1(p) = 1$)

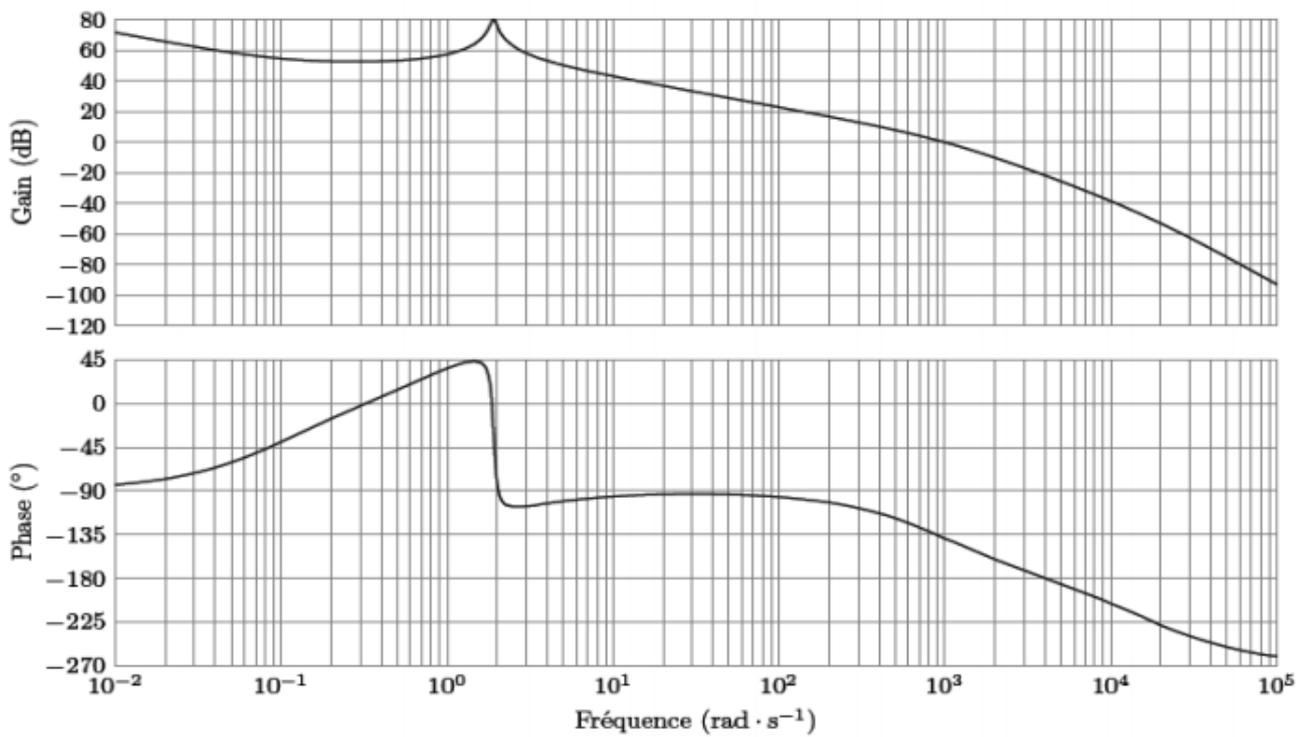


Diagramme de Bode de $\frac{1 + \tau_i p}{\tau_i p} \cdot \frac{1 + \tau_d p}{1 + b \tau_d p} \cdot H_{BO}(p)$