

Sc. de l'Ingénieur MPE

DEVOIR MAISON - VACANCES D'ETE

A rendre entre le 15 août et le 1er septembre à l'adresse mail : aussel.william@gmail.fr

L'objet de votre mail sera simplement : **MPE - Devoir Maison**

Votre copie sera scannée et concaténée dans l'ordre sous forme d'un seul document PDF nommé :

Nom-Prenom.pdf

Si vous n'avez pas de scanner, des applications smartphone comme CamScanner ou Scanbot ou AdobeScan fonctionnent très bien.

Bonnes vacances,

Bon travail,

M. Aussel

Systeme de coffre motorisé

Présentation

Depuis une quinzaine d'année, les coffre motorisés se démocratisent sur les véhicules. Ce sujet porte sur l'étude d'un coffre motorisé est proposé sur l'Audi A6 (FIGURE 1) conçu par l'équipementier automobile Valéo.

La motorisation du hayon permet l'ouverture ou la fermeture automatique du coffre. L'ouverture s'effectue soit à l'aide d'un bouton sur la clé de contact (télécommande), soit par action sur une touche située à proximité du conducteur, soit par action sur une touche située sur la poignée du hayon. La fermeture s'effectue uniquement par action sur une touche située sur la face interne du hayon.



FIGURE 1 : Audi A6 avec coffre motorisé

L'utilisateur a la possibilité de programmer l'angle d'ouverture du hayon pour éviter par exemple qu'il ne heurte le plafond du garage. Il conserve naturellement la possibilité de manœuvrer manuellement le hayon. Ce système dispose également de détecteurs d'obstacles. En position fermée, le système doit assurer le blocage du hayon avec la caisse du véhicule.

Un extrait du cahier des charges est donné sous la forme d'un diagramme d'exigences (voir FIGURE 2).

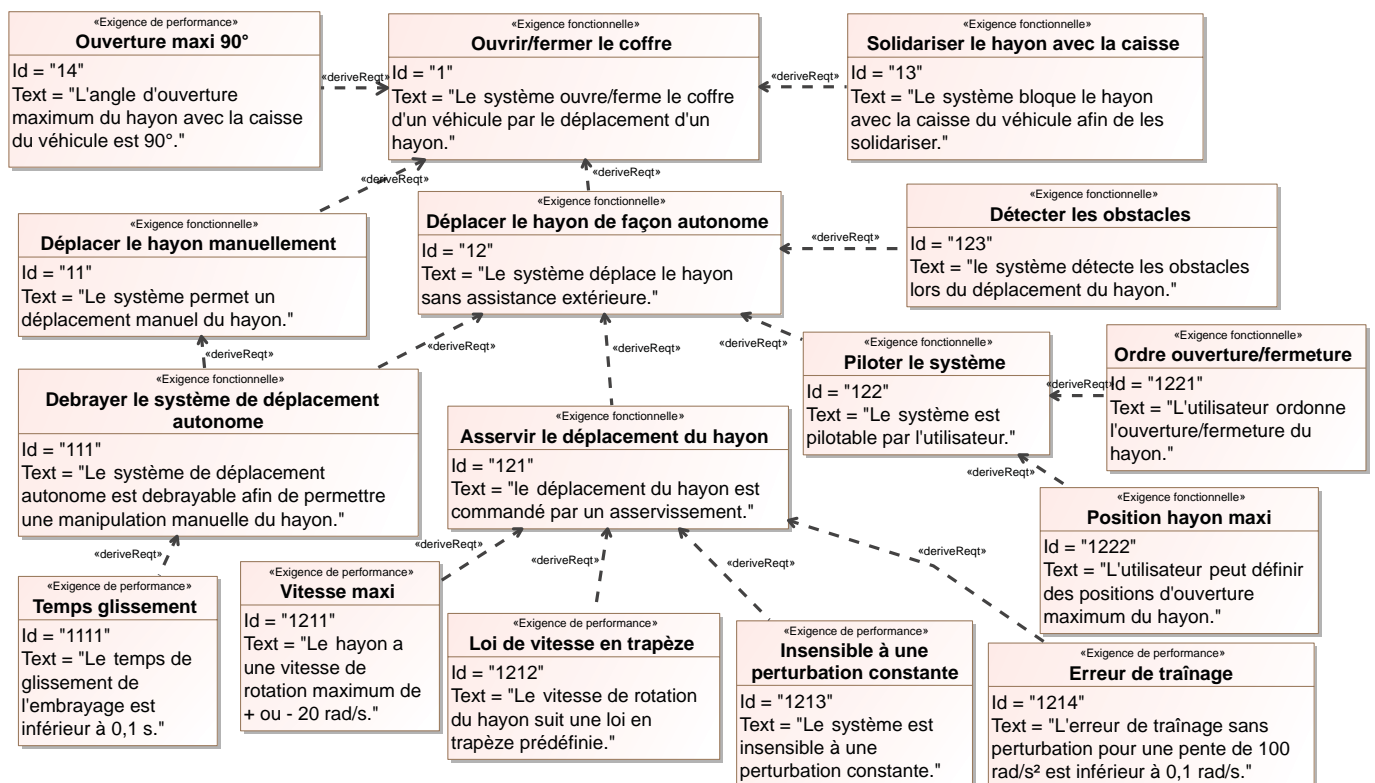


FIGURE 2 : Diagramme d'exigences extrait du cahier des charges

I Étude de l'exigence 12 « Déplacer le hayon de façon autonome »

Objectif

Les objectifs de cette partie sont d'analyser les chaînes d'énergie et d'information qui permettent au hayon de suivre la loi de vitesse prédéfinie.

I.1 Présentation du système

La mise en mouvement électrique du hayon est assurée par deux unités électromécaniques (une sur chaque face latérale du hayon). Une unité électromécanique (voir chaînes structurales de la FIGURE 3) est constituée d'un moteur électrique relié par l'intermédiaire d'un embrayage à un réducteur à trains épicycloïdaux transmettant la vitesse de rotation adéquate au mécanisme de transformation de mouvement.

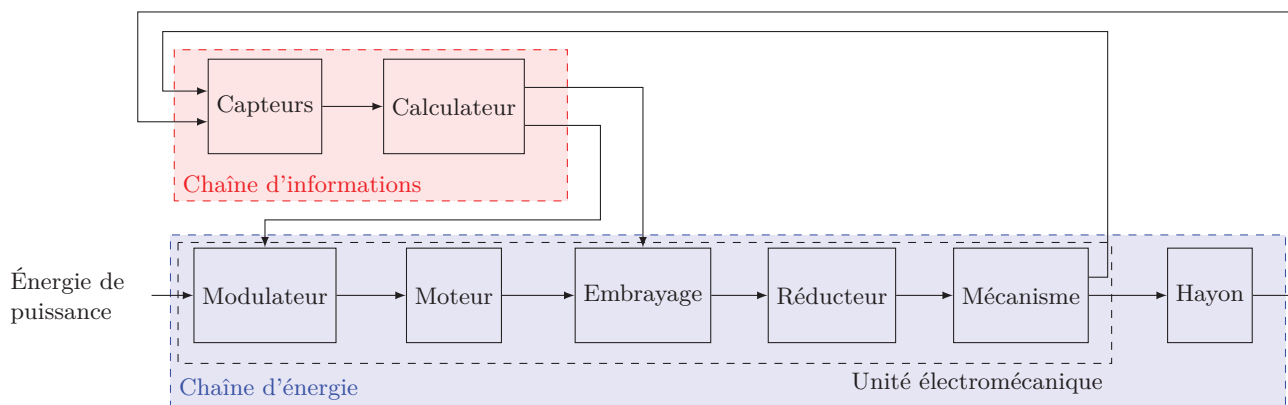


FIGURE 3 : Chaînes structurales d'une unité électromécanique

Le schéma cinématique d'une unité électromécanique reliée au hayon et à la caisse du véhicule est présenté sur la FIGURE 4.

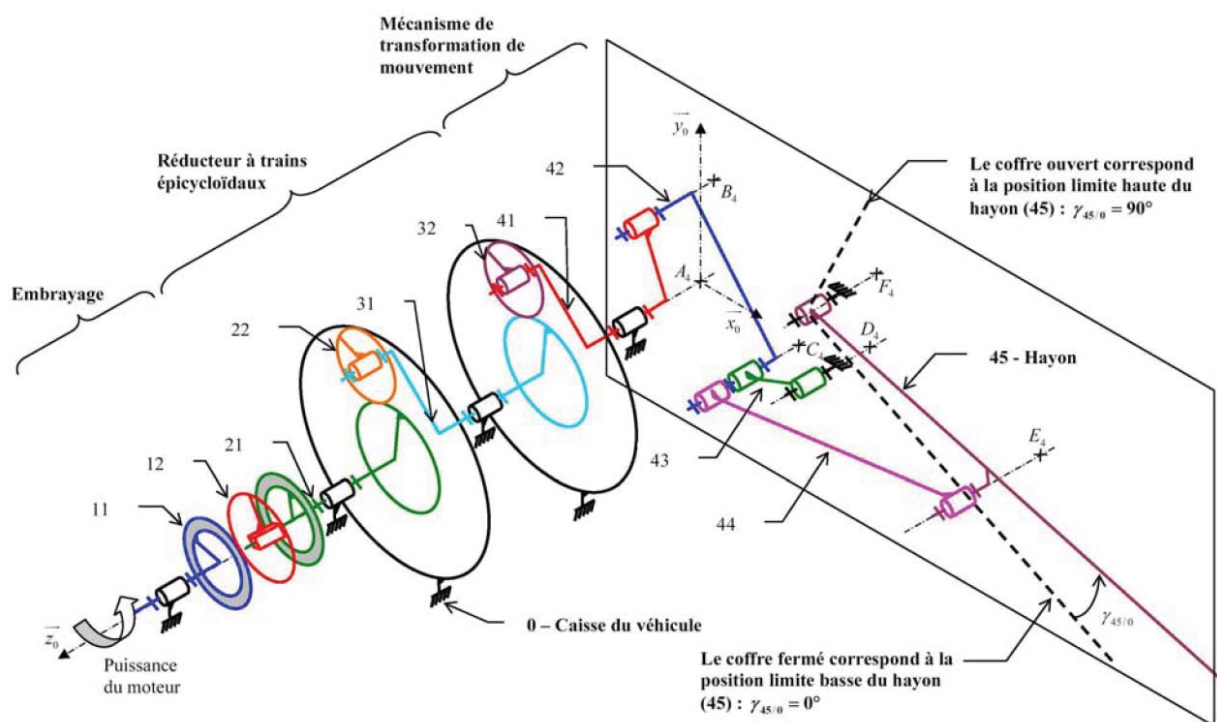


FIGURE 4 : Schéma cinématique de l'unité électromécanique

I.2 Estimation du couple nécessaire à l'ouverture du hayon

En lien avec l'exigence 1212, la FIGURE 5 présente la loi d'évolution en trapèze de la vitesse d'ouverture du hayon imposée par le cahier des charges.

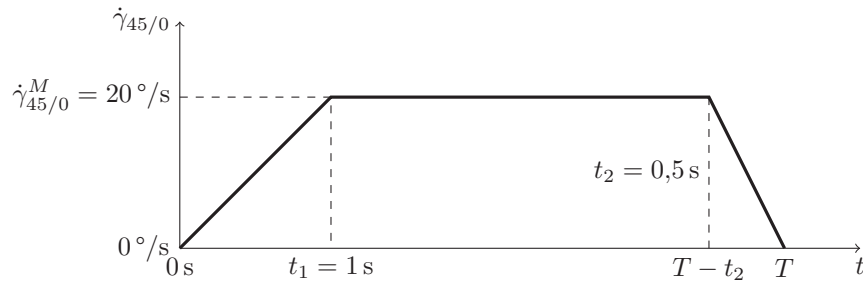


FIGURE 5 : Évolution de la vitesse d'ouverture du hayon $\dot{\gamma}_{45/0}$

Q1. Sur votre copie, retracer le courbe de vitesse et au dessus et en dessous, tracer l'allure des évolutions temporelles de l'angle $\gamma_{45/0}$ sachant que $\gamma_{45/0}(0) = 0^\circ$ et de l'accélération angulaire $\ddot{\gamma}_{45/0}$. Vous préciserez les valeurs extrêmes de l'accélération.

Q2. Déterminer l'expression analytique du temps d'ouverture du hayon pour une ouverture $\gamma_{45/0}(T) = 90^\circ$. Faire l'application numérique.

Pour estimer le couple nécessaire à l'ouverture du hayon, on opte pour le modèle de la FIGURE 6. Le hayon est en liaison pivot d'axe (F_4, \vec{z}_0) par rapport à la caisse du véhicule. On définit le couple nécessaire à la mise en mouvement par un torseur agissant sur 45 s'écrivant sous la forme $\left\{ \begin{array}{c} \vec{0} \\ C_s \vec{z}_0 \end{array} \right\}_{F_4}$.

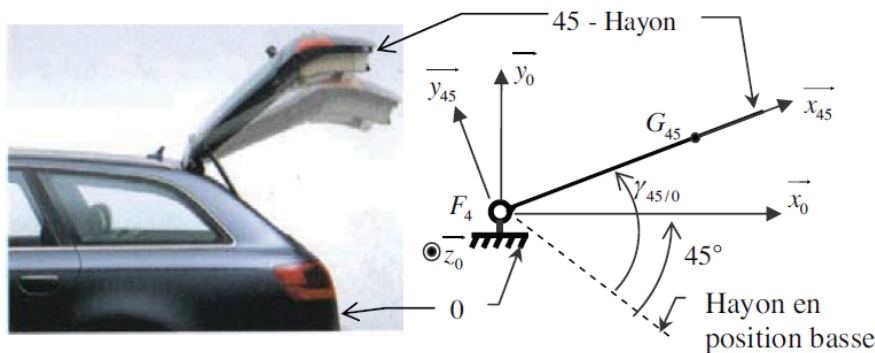


FIGURE 6 : Vue du hayon en position haute et modèle cinématique du hayon

On se propose d'appliquer le théorème de l'énergie cinétique au hayon 45 pour déterminer le couple moteur nécessaire à son ouverture dont l'énoncé est :

$$\frac{dE_{c45/0}}{dt} = \mathcal{P}_{int} + \mathcal{P}_{ext}$$

où $E_{c45/0}$ est l'énergie cinétique du hayon 45 dans le référentiel galiléen, \mathcal{P}_{int} et \mathcal{P}_{ext} les puissances intérieures et extérieures au hayon.

L'énergie cinétique d'un solide en rotation autour d'un axe fixe E_c est obtenue par la relation $E_c = \frac{1}{2} J \omega^2$ avec J le moment d'inertie du solide par rapport à cet axe et ω la vitesse de rotation du solide.

Les puissances sont déterminées par le comoment entre le torseur des actions mécaniques et le torseur cinématique exprimé au même point :

$$\{T_{i \rightarrow j}\} \otimes \{V_{j/i}\} = \vec{R}_{i \rightarrow j} \cdot \vec{V}_{P \in j/i} + \vec{\Omega}_{j/i} \cdot \vec{\mathcal{M}}_{P, i \rightarrow j}$$

Hypothèses de calcul

- On notera $(\vec{x}_i, \vec{y}_i, \vec{z}_i)$ la base liée au solide i .
- Le système de coffre motorisé ne fonctionne que si le véhicule est immobile ; dans ce cas, le repère $(F_4, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ est considéré galiléen.
- L'accélération de la pesanteur s'écrit $\vec{g} = -g\vec{y}_0$ avec $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.
- La liaison pivot d'axe (F_4, \vec{z}_0) est supposée parfaite.
- la hayon a une masse m_{45} de 20 kg, son centre de gravité G_{45} est tel que $\overrightarrow{F_4 G_{45}} = L\vec{x}_{45}$ avec $L = 0,6 \text{ m}$ et son moment d'inertie par rapport à l'axe (F_4, \vec{z}_0) est $J_{45} = 10 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$.

Q3. Après avoir précisé les torseurs $\{\mathcal{V}_{45/0}\}$ et $\{\mathcal{T}_{0 \rightarrow 45}\}$, déterminer la puissance générée dans la liaison pivot parfaite entre le hayon et la caisse du véhicule au cours du mouvement du hayon 45 par rapport au socle de la voiture 0.

Q4. De manière analogue, déterminer la puissance générée dans la liaison pivot par le couple C_s au cours du mouvement du hayon 45 par rapport au socle de la voiture 0.

Q5. De manière analogue, déterminer la puissance des actions mécaniques de la pesanteur au cours du mouvement du hayon 45 par rapport au socle de la voiture 0.

Q6. Par application du théorème de l'énergie cinétique, déterminer alors l'expression littérale du couple $C_s(t)$ en fonction des paramètres de l'étude, sachant qu'ici, $\mathcal{P}_{int} = 0$.

Q7. Faire l'application numérique pour $\dot{\gamma}_{45/0}^{max} = 20^\circ/\text{s}^2$ et $\dot{\gamma}_{45/0}^{min} = -40^\circ/\text{s}^2$ et montrer que l'évolution du couple $C_s(t)$ peut s'approximer par $C_s(t) \approx A \cos(\gamma_{45} - \alpha)$ où vous préciserez la constante A et l'angle α .

I.3 Étude du comportement cinématique du mécanisme de transformation de mouvement

Le mécanisme de transformation de mouvement (FIGURE 4) est constitué de deux systèmes à quatre barres constitués chacun des trois barres mobiles et une barre fixe. Les barres sont reliées entre-elles par des liaisons pivot. Le paramétrage est donné par la FIGURE 7.

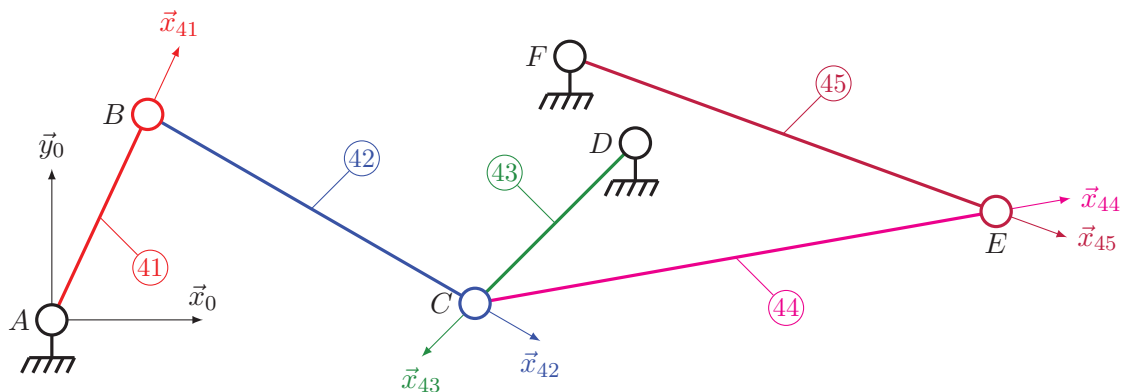


FIGURE 7 : Schéma cinématique et paramétrage des deux systèmes quatre barres

On note

- $\overrightarrow{AB} = L_1\vec{x}_{41}$, $\overrightarrow{BC} = L_2\vec{x}_{42}$, $\overrightarrow{DC} = L_3\vec{x}_{43}$, $\overrightarrow{CE} = L_4\vec{x}_{44}$ et $\overrightarrow{FE} = L_5\vec{x}_{45}$, avec les longueurs L_i constantes.
- $\overrightarrow{AD} = a\vec{x}_0 + b\vec{y}_0$ et $\overrightarrow{FD} = c\vec{x}_0 + d\vec{y}_0$ avec a, b, c et d des constantes.
- $\gamma_{i/0} = (\vec{x}_0, \vec{x}_i) = (\vec{y}_0, \vec{y}_i)$ les angles permettant de passer de la base $\mathcal{B}_0 = (\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ à la base $\mathcal{B}_i = (\vec{x}_i, \vec{y}_i, \vec{z}_0)$

Q8. Déterminer la relation géométrique entre les angles $\gamma_{41/0}$ et $\gamma_{43/0}$ en fonction de L_1, L_2, L_3, a et b .

En appliquant la même stratégie qu'à la question précédente, il est possible de déterminer une relation entre les angles $\gamma_{43/0}$ et $\gamma_{45/0}$. Ainsi, en regroupant les deux résultats, on peut trouver la relation entre l'angle du hayon 45 par rapport au véhicule 0, $\gamma_{45/0}$, et l'angle en sortie du moto-réducteur $\gamma_{41/0}$.

Remarque : Le sujet d'origine montrait alors la non-linéarité entre le paramètre d'entrée du mécanisme $\gamma_{41/0}$ et le paramètre de sortie $\gamma_{45/0}$.

I.4 Calcul du rapport des vitesses du réducteur à trains épicycloïdaux

Les deux étages du réducteur sont **identiques** et sont représentés sur le schéma-cinématique de la FIGURE 4. Les pignons 21 et 22 ont respectivement $Z_{21} = 13$ et $Z_{22} = 81$ dents. La couronne possède Z_0 dents à déterminer à la question **Q10**.

Q9. Déterminer l'expression littérale du rapport de réduction du 1^{er} étage du réducteur $\frac{\omega_{31/0}}{\omega_{21/0}}$ en fonction de Z_0 et Z_{21} .

Q10. À partir d'une relation géométrique reliant les rayons primitifs des roues dentées, déterminer le nombre de dents de la couronne liée au bâti, Z_0 , en fonction de Z_{21} et Z_{22} .

Q11. En déduire la valeur numérique du rapport des vitesses du réducteur $\frac{\omega_{41/0}}{\omega_{21/0}}$.

I.5 Étude de l'asservissement de vitesse

Objectif

Vérifier que l'utilisation d'un correcteur à action proportionnelle et intégrale PI permet d'obtenir la loi d'ouverture du hayon.

Pour obtenir le comportement visé lors de l'ouverture du coffre (FIGURE 5) et notamment pour prendre en compte le comportement du double système quatre barres, on modélise la loi de commande suivante au niveau de chaque moteur (FIGURE 8).

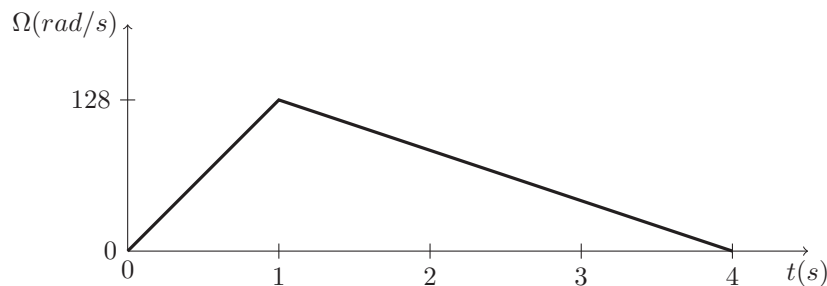


FIGURE 8 : Évolution de la vitesse de rotation du moteur

Afin de limiter l'effet d'une perturbation sur le comportement en vitesse du moteur, un asservissement est mis en place à l'aide d'un correcteur proportionnel intégral comme modélisé par le schéma bloc de la FIGURE 9.

Afin d'identifier le comportement du moteur, on a relevé la loi d'évolution de sa vitesse ω dans les conditions suivantes (FIGURE 10) :

- à $t = 0$ s, application d'un échelon de tension $U_m = 12$ V et $C_r = 0$ N · m
- à $t = 0,1$ s, application d'une perturbation $C_r = 0,2$ N · m.

Soient les fonctions de transfert $T_1(p) = \frac{\Omega(p)}{U_m(p)}$ quand $C_r(p) = 0$ et $T_2(p) = \frac{\Omega(p)}{C_r(p)}$ quand $U_m(p) = 0$.

Q12. À partir du relevé expérimental (FIGURE 10), déterminer l'ordre des fonctions de transfert $T_1(p)$ et $T_2(p)$ et en déduire les valeurs des paramètres caractéristiques.

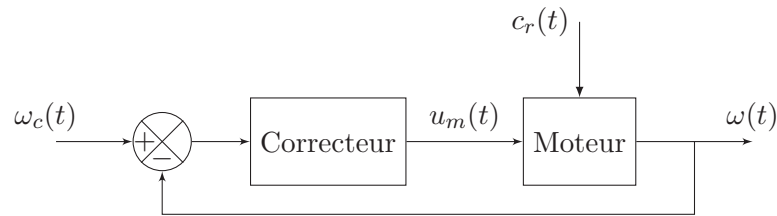


FIGURE 9 : Modélisation de l'asservissement en vitesse du moteur

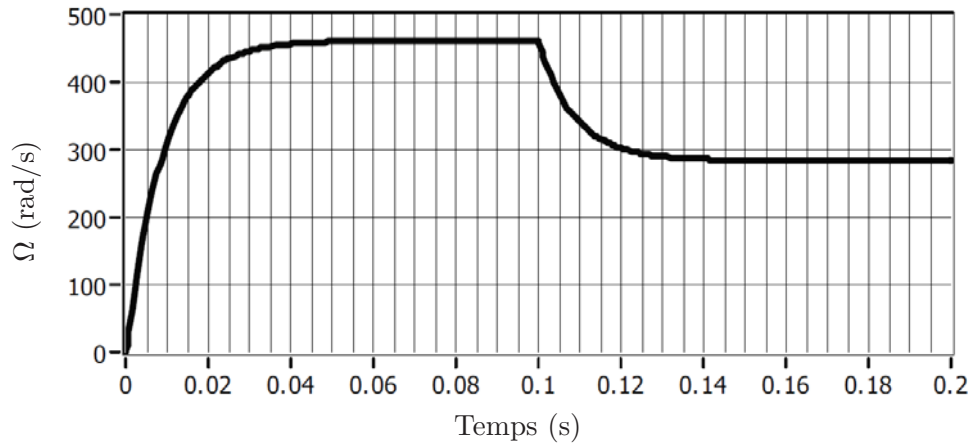


FIGURE 10 : Relevé expérimental de la vitesse du moteur pour identification

Quelque soit le résultat trouvé à la question précédente, on a adopté la modélisation simplifiée de l'asservissement proposée en FIGURE 11.

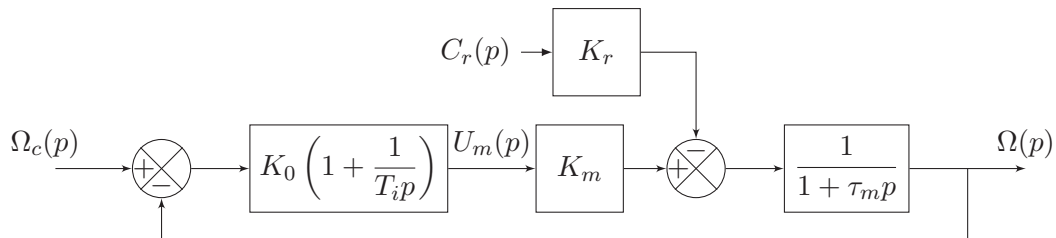


FIGURE 11 : Modélisation simplifiée de l'asservissement en vitesse du moteur

Le cahier des charges impose une loi de commande constituée d'une rampe croissante puis décroissante sur la vitesse de rotation moteur (FIGURE 8). Une étude annexe a permis de fixer les paramètres du correcteur tels que $K_0 = 4/K_m$ et $T_i = \tau_m$.

Q13. Déterminer l'expression littérale sous forme canonique de la fonction de transfert $H(p) = \frac{\Omega(p)}{\Omega_c(p)}$ sans perturbation.

Q14. Exprimer l'écart de traînage en l'absence de perturbation si la consigne de vitesse est une rampe de pente a . Vérifier la validité du cahier des charges pour $a = 100 \text{ rad/s}^2$, $K_m = 40 \text{ V} \cdot \text{s} \cdot \text{rad}^{-1}$ et $\tau_m = 0,01 \text{ s}$.

Q15. Déterminer l'influence d'une perturbation en échelon d'amplitude c_{r0} sur la vitesse de rotation du moteur et conclure sur la validation du cahier des charges.

I.6 Détermination du couple maximal transmissible par l'embrayage

La FIGURE 12 propose un modèle cinématique de l'embrayage électromagnétique. L'arbre moteur (11) peut être séparé ou accouplé plus ou moins fortement avec le rotor (21) par l'intermédiaire du disque

d'embrayage (12). Sans courant dans l'électroaimant le disque d'embrayage (12) est repoussé par l'aimant permanent (II) contre la garniture de l'arbre moteur (11) : il s'agit du couplage faible. Le couplage fort s'obtient en combinant le champ magnétique de l'aimant (II) avec celui provenant de l'électroaimant (I). En inversant le courant, l'électroaimant (I) s'oppose à l'aimant (II), le disque (12) n'est plus plaqué contre la garniture, et l'arbre moteur (11) est séparé du rotor (21).

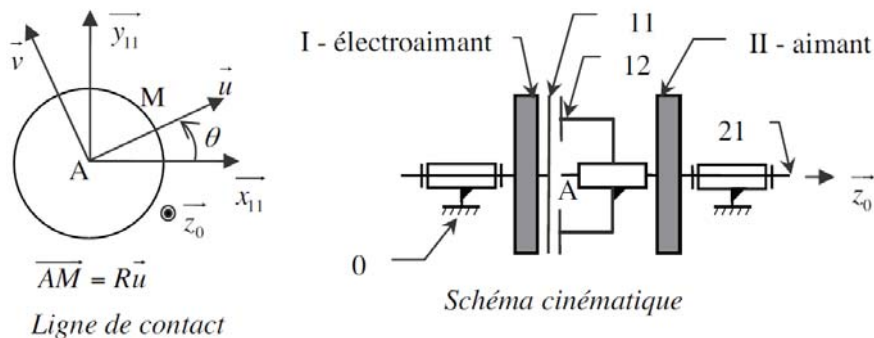


FIGURE 12 : Modèle cinématique de l'embrayage électromagnétique

Données et hypothèses

- $\vec{\Omega}_{11/0} = \omega_{11/0}\vec{z}_0$ et $\vec{\Omega}_{21/0} = \vec{\Omega}_{12/0} = \omega_{12/0}\vec{z}_0$. En phase d'ouverture du hayon $\omega_{11/0} \geq \omega_{12/0} > 0$.
- La zone de contact entre (11) et (12) se réduit à une ligne circulaire (FIGURE 12). La pression linéique $[N/m]$ de contact $p(\theta)$ est uniforme sur la zone de contact : $\forall \theta \in [0, 2\pi]$, $p(\theta) = p_0$, et le coefficient de frottement vaut $f = \tan \varphi$ (avec φ l'angle de frottement).
- Pour estimer le couple maximal transmissible, on se place à la limite du glissement.

Q16. Déterminer $\vec{V}_{M \in 11/12}$, la vitesse de glissement en M de 11 par rapport à 12.

Q17. Donner les composantes du torseur des actions mécaniques élémentaires de (12) sur (11) au point M dans la base $(\vec{u}, \vec{v}, \vec{z}_0)$, noté $\{d\mathcal{T}_{12 \rightarrow 11}\}$.

Q18. En déduire le torseur des actions mécaniques de (12) sur (11) pour l'ensemble de la zone de contact au point A .

Remarque : Le sujet original proposait alors de faire une étude dynamique afin de trouver la durée du glissement de l'embrayage au démarrage.

II Choix du ressort pour maintenir le coffre fermé

Dès que la serrure électrique est verrouillée avec la gâche (6), le système de gâche motorisée (FIGURE 13) tire la gâche (6) afin de plaquer le hayon contre la caisse en comprimant le joint périphérique d'étanchéité. Pour limiter la puissance du moteur électrique de la gâche motorisée, on ajoute un ressort d'assistance (FIGURE 14).

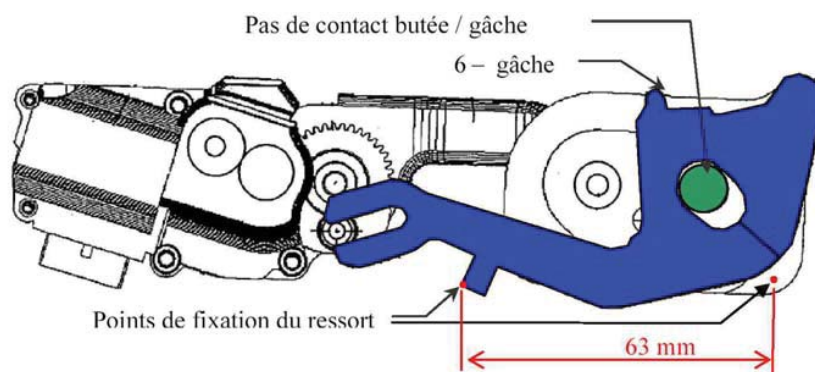


FIGURE 13 : Vue d'ensemble de la gâche motorisée en position tirée - ou coffre fermé

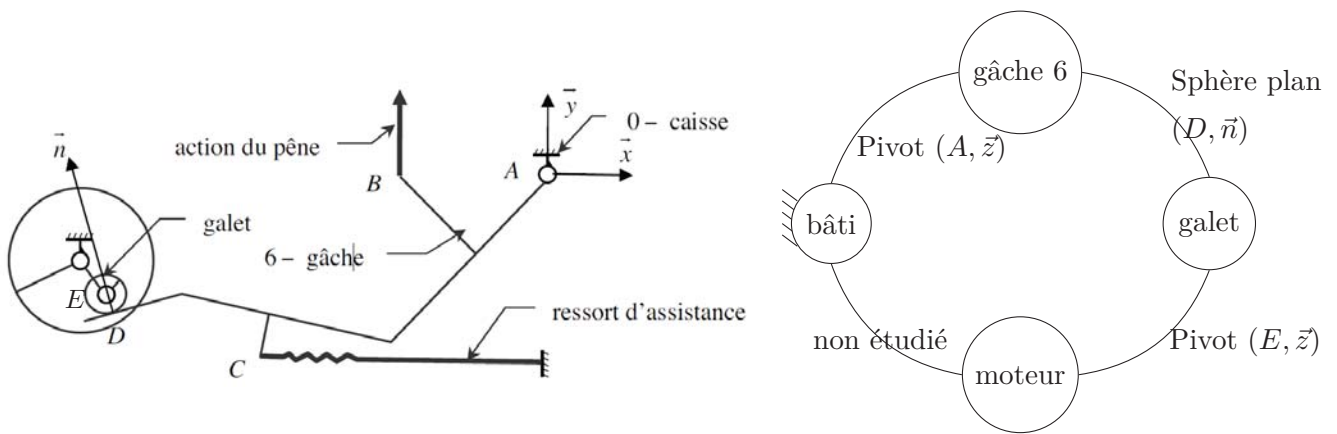


FIGURE 14 : Schéma cinématique du mécanisme et graphe des liaisons

Hypothèses de calcul

- La gâche (6) est en mouvement plan sur plan par rapport à la caisse (0) et tous les efforts appliqués sur (6) sont des glisseurs dont les axes centraux appartiennent au même plan.
- Toutes les liaisons sont supposées parfaites c'est-à-dire sans jeu ni frottement.
- Le poids des pièces est négligée devant les actions mécaniques transmises dans le système.

Données

- $\overrightarrow{AB} = x_B \vec{x} + y_B \vec{y}$, $\overrightarrow{AC} = x_C \vec{x} + y_C \vec{y}$, $\overrightarrow{AD} = x_D \vec{x} + y_D \vec{y}$.
- L'action du pêne sur la gâche est modélisée par un glisseur au point B de résultante $\vec{\mathcal{R}}_{p \rightarrow 6} = Y \vec{y}$.
- L'action du ressort sur la gâche est modélisée par un glisseur au point C de résultante $\vec{\mathcal{R}}_{r \rightarrow 6} = X \vec{x}$.
- L'action du galet sur la gâche est modélisée par un glisseur au point D de résultante $\vec{\mathcal{R}}_{g \rightarrow 6} = F \vec{n}$ avec $\vec{n} = n_x \vec{x} + n_y \vec{y}$.

Q19. Reproduire sur votre copie le graphe de liaisons et le compléter pour le rendre graphe de structure.

Q20. Réaliser l'inventaire des actions mécaniques extérieures qui s'exercent sur la gâche en précisant pour chacune d'elles la forme du torseur des actions mécaniques associé.

Q21. Justifier l'équation scalaire issue du PFS à retenir pour déterminer la relation entre les efforts du pêne, du galet et du ressort sur la gâche 6.

Q22. Déterminer, en l'absence du ressort, alors la relation entre l'effort Y à l'effort F .

La solution constructive de gâche motorisée étudiée ici utilise un ressort d'assistance.

Q23. Déterminer l'effort X du ressort linéaire permettant, en position tirée, de diminuer de 30% l'effort exercé par le galet sur la gâche par rapport à la solution sans ressort. Faire l'application numérique pour $Y = 215 \text{ N}$ et $x_B = -30 \text{ mm}$, $x_C = -68 \text{ mm}$, $y_C = -36 \text{ mm}$, $x_D = -92 \text{ mm}$, $y_D = -28 \text{ mm}$.

Q24. En déduire la raideur du ressort d'assistance sachant que sa longueur à vide est de 45 mm.