

CORRECTION - CCP PSI 2017

Sciences Industrielles de l'Ingénieur

Commande générique d'ouvrants pilotés automobiles

Ce corrigé vous est proposé par :

SciencesIndustrielles.com

Des vidéos



Des cours



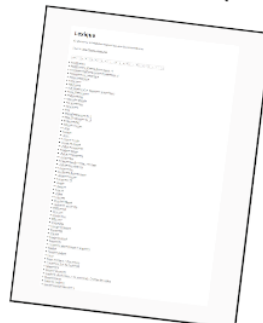
Les TP



Les annales



Un Lexique

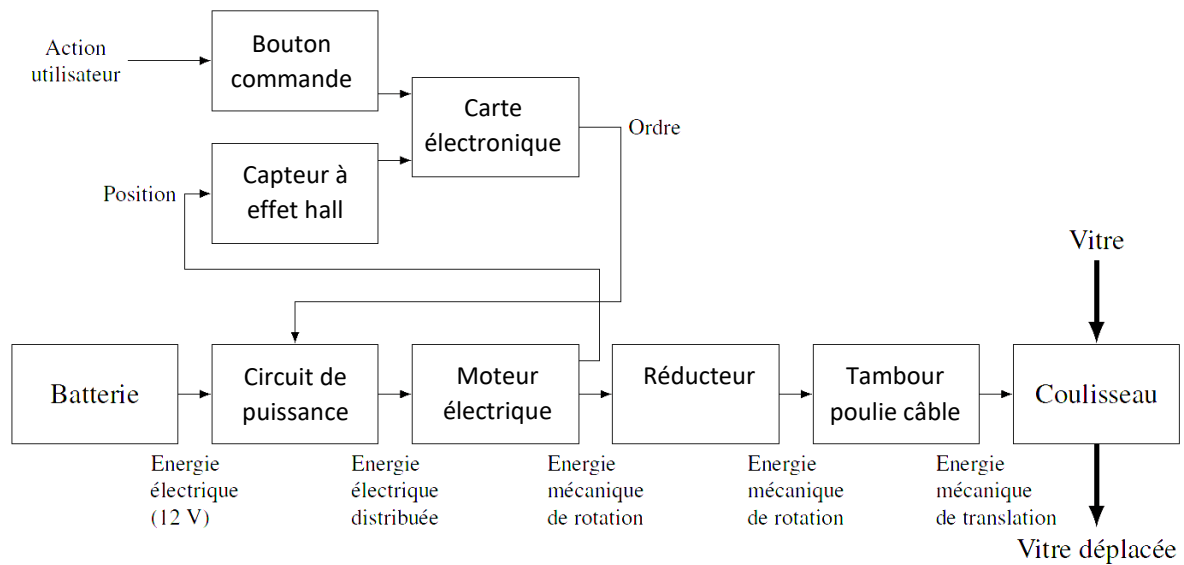


Ce document est rédigé comme une copie d'élève devrait l'être.

Attention, nous rappelons aux candidats, qu'aux concours, 1pt/20 est destiné à la présentation de la copie.

Partie I

Question 1 :



DR 1 – Chaînes fonctionnelles du lève-vitre électrique

cdcfQuestion 2 :

$$\frac{v}{\omega_m} = r = \frac{1 D}{Z 2} = \frac{1 \cdot 41,5}{53 \cdot 2} = \frac{1 \cdot 41,5}{53 \cdot 2} \approx 0,3915 \text{ mm/rad}$$

Question 3 :

Le Cahier des charges fonctionnel (CdCF) stipule dans l'exigence Id = "4.2" ; "L'ouvrant doit pouvoir se déplacer sur une distance de d = 45cm".

Le nombre de tours que doit faire le moteur est

$$\theta_m = \frac{d}{r} \approx \frac{450}{0,39} \approx 1154 \text{ rad} \approx 183 \text{ tr}$$

Question 4 :

Hypothèse : Le moteur tourne à sa vitesse nominale de $N_m = 4000 \text{ tr/min}$

La durée de l'ouverture sera donc de

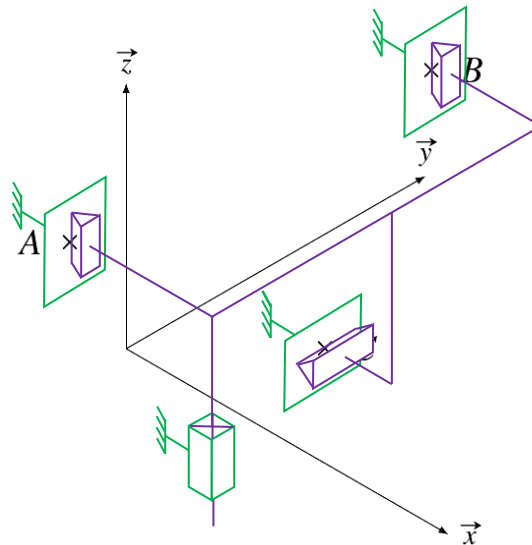
$$t_m = \frac{\theta_m}{N_m} = \frac{183}{4000} \approx 0,046 \text{ min} \approx 2,75 \text{ s} < 5 \text{ s}$$

Le critère Id = "4.1" du CdCF qui demande un temps d'ouverture inférieure à 5s est donc respecté.

Cependant, le moteur ne tournera pas à sa vitesse nominale tout le temps puisqu'il y a des temps d'accélération et de décélération. Le frottement de la vitre sur les joints ralentira également le mouvement. Au final, le temps de montée sera donc un peu plus important.

Partie II

Question 5 :



DR 2 – Schéma cinématique à réaliser

Question 6 :

Le degré de mobilité est : $m = 1$

Il y a 1 mobilité utile du mécanisme, 0 mobilité interne.

L'hyperstatisme du modèle est de :

$$h = m + I_s - 6(N_p - 1) = 1 + (3 \cdot 2 + 1 \cdot 5) - 6(2 - 1) = 1 + 11 - 6 = 6$$

Le mécanisme est donc hyperstatique de degré 6.

Le système serait isostatique s'il y avait uniquement la glissière, on ajoute 2 inconnues statiques par liaison cylindre plan.

Question 7 :

Dans ce modèle, les joints sont considérés comme des solides indéformables. Ils assurent une certaine rigidité à la vitre et l'étanchéité. Or ce sont des matériaux souples qui vont se déformer. Le montage de la vitre est donc possible.

Question 8 :

Les chaînes d'énergie et d'information de la vitre et de la porte sont identiques. Seul le guidage entre l'ouvrant et le châssis est différent.

Question 9 :

Le guidage de la porte par chariot et galet permet des trajectoires plus complexes qu'avec une simple glissière.

Le roulement sans glissement des galets diminue les pertes comparé au glissement avec frottement des joints d'étanchéités.

Les efforts extérieurs qui s'exercent sur la portière, que ce soit de la pesanteur ou d'un utilisateur, sont plus importants que sur la vitre. Il est nécessaire d'avoir une bonne robustesse.

Question 10 :

Hypothèse :

- On se place à la limite du glissement
- On se place dans la phase de vie où la vitre monte
- La pression linéique est constante

La force résultante verticale provient du frottement des deux côtés de la vitre.

La force élémentaire est

$$d\vec{R}(\text{joint} \rightarrow \text{vitre}) = dN \vec{x} + dT \vec{z} = p dl \vec{x} - fp dl \vec{z} \quad (\text{loi de Coulomb})$$

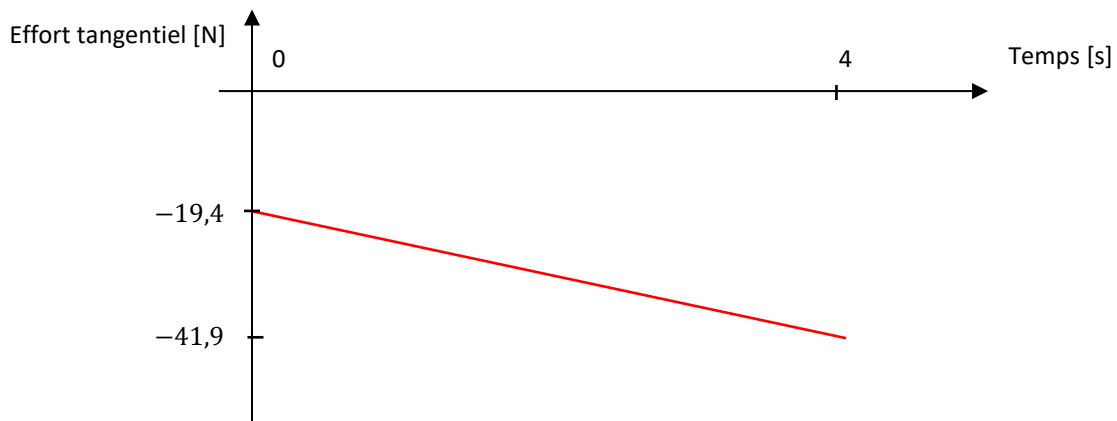
$$\vec{R}(\text{joint} \rightarrow \text{vitre}) \cdot \vec{z} = 2 \int_1 d\vec{R}(\text{joint} \rightarrow \text{vitre}) \cdot \vec{z} = 2 \int_{l=0}^{l=L+2z} -fp dl = -2fp(L + 2z)$$

avec $z \in [0, H]$

Question 11 :

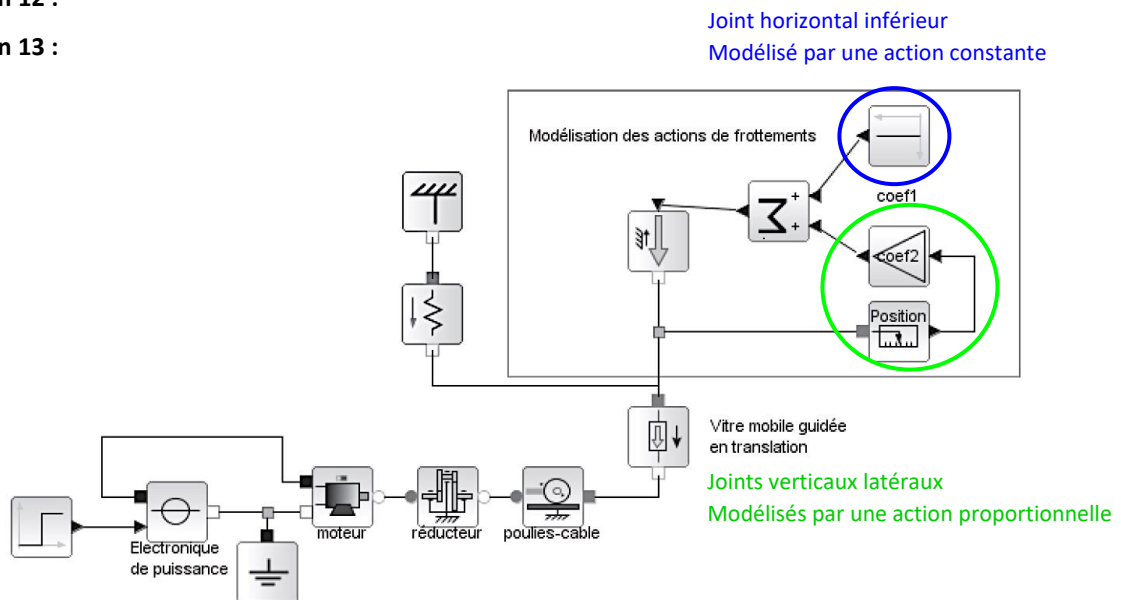
La force minimale est : $\vec{R}(\text{joint} \rightarrow \text{vitre}) \cdot \vec{z} = -2fpL = -2 \cdot 0,5 \cdot 25 \cdot 0,776 = -19,4N$

La force maximale est : $\vec{R}(\text{joint} \rightarrow \text{vitre}) \cdot \vec{z} = -2fp(L + 2H) = -2 \cdot 0,5 \cdot 25 \cdot (0,776 + 2 \cdot 2,045) = -41,9N$



Question 12 :

Question 13 :



DR 3 – Schéma-blocs à compléter

Question 14 :

Le CdCF stipule dans l'exigence $Id = "4.2"$; "L'ouvrant doit pouvoir se déplacer sur une distance de $d = 45\text{cm}$ ".

Les temps de montées pour les différentes simulations « sans effort », « effort constant » et « effort variable » sont respectivement d'environ 1,9s, 2,2s et 2,3s.

Entre les modèles « sans effort » et « effort constant », la force résistante diminue la vitesse de rotation du moteur en régime permanent de 650 rad/s à 550 rad/s , soit $\frac{650-550}{650} \approx 15\%$. Cette valeur est importante et ne peut être négligée. Le régime transitoire change peu, il dépend plutôt de la technologie du système.

Entre les modèles « effort constant » et « effort variable », on observe une légère pente négative de vitesse de rotation d'environ $\frac{550-510}{550} \approx 7\%$. Cette différence peut être négligée.

On choisira donc le modèle « effort constant » dans une première approximation et le modèle « effort variable » pour une modélisation plus fine.

Question 15 :

Le CdCF stipule dans l'exigence $I_d = "6.2"$; " La force maximale de pincement ne doit pas dépasser 50 N ". A partir du moment où il y a contact, il faut 20 ms pour atteindre cette valeur.

Cela correspond à une variation de courant d'environ $0,07 \text{ A}$. Cette valeur est très faible devant les $1,25 \text{ A}$ du démarrage et du même ordre de grandeur que l'utilisation normale.

On ne peut donc pas utiliser une méthode de seuillage pour détecter un pincement de manière fiable.

Partie III

Question 16 :

L'utilisation de 2 capteurs à effet Hall placés en quadrature double la résolution du capteur et permet de détecter le sens de rotation du rotor.

Question 17 :

Le plus petit déplacement de la vitre mesurable est de :

$$\theta_{\text{mes}} = r\theta_{\text{capt}} \approx 0,39 \frac{2\pi}{8} \approx 0,3 \text{ mm}$$

Question 18 :

Pour atteindre la valeur limite de 50 N , il faut écraser le doigt d'une valeur de $d = \frac{F}{k} = \frac{50}{20} = 2,5 \text{ mm}$. Cette valeur correspond à $\frac{8}{2\pi} \cdot \frac{2,5}{r} \approx 8,2$ impulsions.

Avec seulement 8 impulsions il est difficile de détecter le pincement.

Question 19 :

En $t_{\text{ech}} = 0,010 \text{ s}$, le moteur a tourné de $\theta_m = \omega_m t_{\text{ech}} = 300 \cdot 0,010 = 3 \text{ rad}$.

Et il y a eu $N_{\text{moy}} = \frac{8}{2\pi} \theta_m = \frac{8}{2\pi} 3 \approx 3,82$ impulsions.

Question 20 :

Pour $N_{\text{moy}}^{\text{min}} = 3$, la vitesse du moteur est $\omega_m^{\text{min}} = \frac{N_{\text{moy}}^{\text{min}} \frac{2\pi}{8}}{t_{\text{ech}}} = \frac{3 \cdot \frac{2\pi}{8}}{0,010} \approx 235,6 \text{ rad/s}$

Pour $N_{\text{moy}}^{\text{max}} = 4$, la vitesse du moteur est $\omega_m^{\text{max}} = \frac{N_{\text{moy}}^{\text{max}} \frac{2\pi}{8}}{t_{\text{ech}}} = \frac{4 \cdot \frac{2\pi}{8}}{0,010} \approx 314,2 \text{ rad/s}$

Question 21 :

La résolution du capteur de vitesse est beaucoup trop importante $314,2 - 235,6 \approx 78,6 \text{ rad/s}$. Il n'est pas possible de détecter le pincement avec cette méthode.

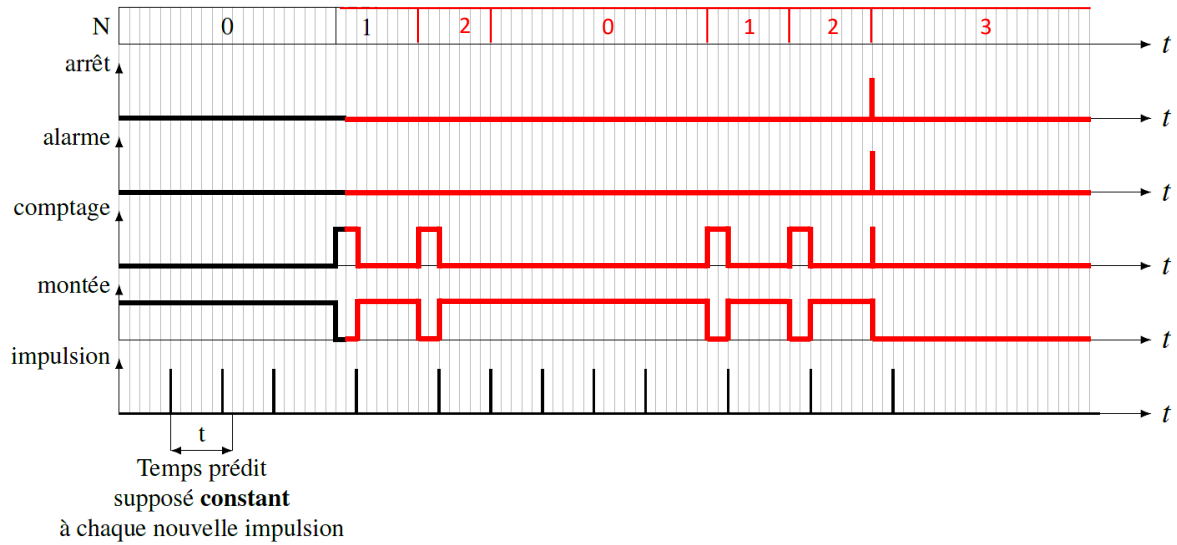
Nous avons fait l'hypothèse d'une vitesse constante avant le pincement. Or, comme on peut le voir sur la simulation figure 11, la vitesse décroît lentement au fur et à mesure que les frottements des joints augmentent. Le système est en boucle ouverte et ne corrige pas l'influence de cette perturbation.

Question 22 :

On passe de l'état montée à l'état arrêt avec

- transition 1 : fin course haut
- transition 2 : bouton haut = 0

Question 23 :



DR 4 – Chronogramme à compléter

Partie IV

Question 24 :

Hypothèses :

- Les inerties autres que celles du rotor et de la vitre sont négligées
- Le référentiel du véhicule est supposé galiléen
- Les liaisons pivots sont parfaites

On isole l'ensemble $\Sigma = \{\text{rotor, réducteur, câble poulies, vitre}\}$

L'énergie cinétique galiléenne de Σ s'écrit :

$$E_c(\Sigma/R_g) = E_c(\text{rotor}/R_g) + E_c(\text{vitre}/R_g) = \frac{1}{2}J_m\omega_m^2 + \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}J_m\omega_m^2 + \frac{1}{2}m(r\omega_m)^2$$

$$= \frac{1}{2}(J_m + mr^2)\omega_m^2$$

Les puissances extérieures s'écrivent :

$$P_{\text{ext}}(\text{mot} \rightarrow \text{rotor}/R_g) = C_m\omega_m$$

$$P_{\text{ext}}(\text{res} \rightarrow \Sigma/R_g) = -C_r\omega_m$$

$$P_{\text{ext}}(\text{frot} \rightarrow \text{rotor}/R_g) = -f_v\omega_m^2$$

Les puissances intérieures s'écrivent :

$$P_{\text{int}}(\Sigma) = 0, \text{ car les liaisons sont parfaites}$$

On applique le Théorème de l'Energie Cinétique (TEC) à Σ :

$$\frac{dE_c}{dt}(\Sigma/R_g) = P_{\text{ext}}(\bar{\Sigma} \rightarrow \Sigma/R_g) + P_{\text{int}}(\Sigma)$$

$$\Rightarrow \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}(J_m + mr^2)\omega_m^2\right) = C_m\omega_m - C_r\omega_m - f_v\omega_m^2$$

$$\Rightarrow (J_m + mr^2)\omega_m\dot{\omega}_m = C_m\omega_m - C_r\omega_m - f_v\omega_m^2$$

$$\Rightarrow J\dot{\omega}_m + f_v\omega_m = C_m - C_r \quad \text{avec } J = J_m + mr^2$$

Question 25 :Hypothèses :

- On suppose que les conditions initiales sont nulles

Dans le domaine de Laplace : $(Jp + f_v)\Omega_m(p) = C_m(p) - C_r(p)$

$$U_m(p) = RI(p) + k\Omega_m(p)$$

$$C_m(p) = kI(p)$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow (Jp + f_v)\Omega_m(p) &= \left(\frac{k}{R}(U_m(p) - k\Omega_m(p)) - C_r(p)\right) \Rightarrow \left(Jp + f_v + \frac{k^2}{R}\right)\Omega_m(p) = \left(\frac{k}{R}U_m(p) - C_r(p)\right) \\ \Rightarrow \Omega_m(p) &= \frac{1}{Jp + f_v + \frac{k^2}{R}} \left(\frac{k}{R}U_m(p) - C_r(p)\right) \end{aligned}$$

On en déduit par identification :

$$A(p) = K_{\text{capt}}$$

$$B(p) = C_{\text{corr}}(p)$$

$$D(p) = \frac{k}{R}$$

$$M(p) = \frac{1}{Jp + f_v + \frac{k^2}{R}}$$

$$E(p) = K_{\text{capt}}$$

Question 26 :

En transformant le schéma bloc, on peut se ramener à une boucle de retour unitaire avec

$$C(p) = K_{\text{capt}}C_{\text{corr}}(p) \frac{k}{R}$$

Question 27 :

$$\varepsilon(p) = \Omega_c(p) - \Omega_m(p) = \Omega_c(p) - M(p)(C(p)\varepsilon(p) - C_r(p))$$

$$\Rightarrow (1 + M(p)C(p))\varepsilon(p) = \Omega_c(p) - M(p)C_r(p)$$

$$\Rightarrow \varepsilon(p) = \frac{1}{1 + M(p)C(p)}\Omega_c(p) - \frac{M(p)}{1 + M(p)C(p)}C_r(p)$$

Par identification : $H_c(p) = \frac{1}{1 + M(p)C(p)}$ et $H_r(p) = -\frac{M(p)}{1 + M(p)C(p)}$

Question 28 :

On prend $\Omega_c(p) = 0$ et $C_r(p) = \frac{C_{r0}}{p^2}$

Les coefficients du dénominateur sont strictement positifs donc le système est stable. On peut donc appliquer le théorème de la valeur finale.

L'écart de traînage en régime permanent est

$$\varepsilon_0 = \lim_{t \rightarrow +\infty} \varepsilon(t) = \lim_{t \rightarrow 0^+} p\varepsilon(p) = \lim_{p \rightarrow 0^+} -p \frac{M(p)}{1 + M(p)C(p)} \frac{C_{r0}}{p^2} = \lim_{p \rightarrow 0^+} -\frac{\frac{K}{1 + \tau p}}{1 + \frac{K}{1 + \tau p} K_p \frac{1 + \tau_i p}{\tau_i p}} \frac{C_{r0}}{p} = -\frac{C_{r0}\tau_i}{K_p}$$

Ce correcteur possède un intégrateur, la classe de la FTBO $M(p)C(p)$ est donc de 1. Il peut donc annuler les perturbations en échelon mais pas celles en rampe.

Question 29 :

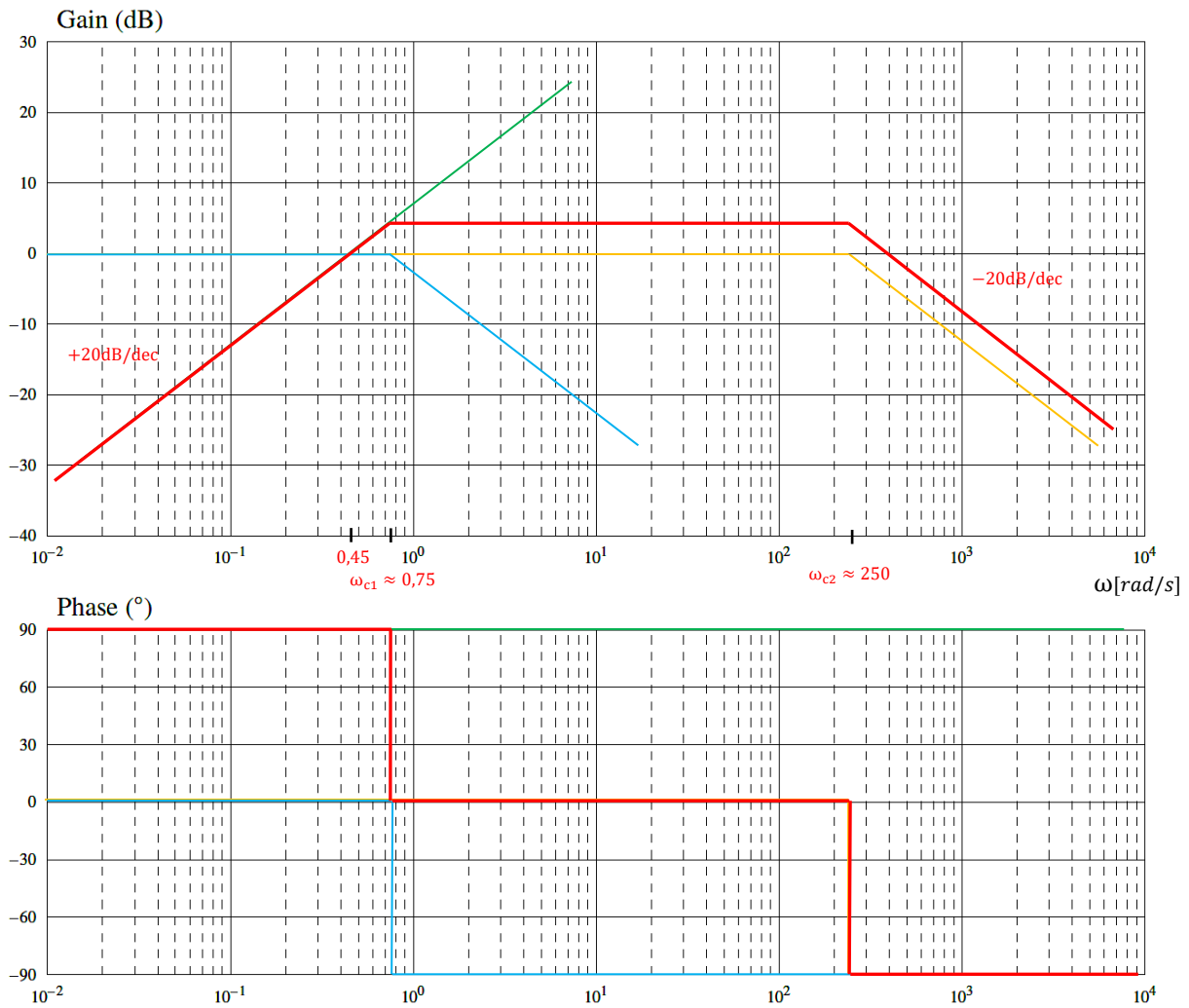
$$H_r(p) = \frac{2,2p}{(1 + 1,34p)(1 + 0,004p)}$$

$$\frac{1}{2,2} \approx 0,45 \text{ rad/s}$$

Les pulsations de cassures sont :

$$\omega_{c1} = \frac{1}{1,34} \approx 0,75 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{c2} = \frac{1}{0,004} = 250 \text{ rad/s}$$



DR 5 – Diagramme de Bode de la fonction $H_r(p)$

$\omega[\text{rad/s}]$

Question 30 :

En HF

$$\lim_{p \rightarrow +\infty} H_r(p) \approx \lim_{p \rightarrow +\infty} \frac{2,2}{1,34 \cdot 0,004p} \approx \frac{410}{p}$$

On a donc

$$\varepsilon(p) = \varepsilon_0 + H_r(p)C_{\text{obs}}(p)$$

$$\Rightarrow C_{\text{obs}}(p) = \frac{\varepsilon(p) - \varepsilon_0}{H_r(p)} \approx \frac{\varepsilon(p) + \frac{C_{r0}\tau_i}{K_p}}{410} p \approx \frac{\varepsilon(p) + \frac{C_{r0}10\tau}{0,6}}{410} p \approx \frac{\varepsilon(p) + 16,7C_{r0}\tau}{410} p$$

Remarque : avec les expressions littérales, on aurait $H_r(p) \approx \frac{K}{\tau p}$ et $C_{\text{obs}}(p) \approx \frac{\varepsilon(p) - \varepsilon_0}{K} \tau p$

Question 31 :

L'expression de $C_{\text{obs}}(p)$ est du type « dérivateur pur » puisqu'il y a un p au numérateur. Ceci est problématique car dès l'apparition brusque d'un obstacle cette valeur tend vers $+\infty$ ($+20\text{dB/dec}$ en HF). En ajoutant un filtre passe-bas du premier ordre (-20dB/dec en HF), on tronque l'amplification des hautes fréquences. On pourra alors identifier le couple résistant dû à l'obstacle.

Question 32 :

On lit graphiquement que l'obstacle apparaît à l'instant $t = 5,1\text{s}$. A cet instant, le couple estimé n'est plus nul. En plaçant un seuil, on peut détecter l'obstacle et arrêter le mouvement pour respecter le critère $\text{id} = 6.2$ du CdCF.

Partie V**Question 33 :**

Pour réaliser un système de détection d'obstacles sur la porte latérale coulissante, il est nécessaire d'établir un modèle précis.

Il faut modéliser finement la chaîne d'énergie ($M(p)$) ainsi que les frottements pour pouvoir régler l'asservissement de vitesse.

La chaîne d'énergie est identique, cependant contrairement au lève-vitre, il n'y a pas de joint d'étanchéité. Le couple résistant aura donc une valeur constante et il sera possible d'utiliser la même méthode de seuil que précédemment pour détecter l'obstacle.