CORRECTION - CCINP MP 2019

Sciences Industrielles de l'Ingénieur

Réplique de la mission InSIGHT

Ce corrigé vous est proposé par :

SciencesIndustrielles.com

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.

Question 1 :

On écrit une fermeture géométrique :

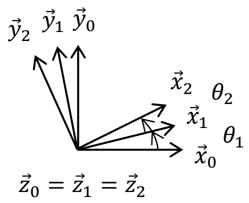
$$\overrightarrow{OP} = \overrightarrow{OQ} + \overrightarrow{QP} \Rightarrow X_p(t)\vec{x}_0 + Y_p(t)\vec{y}_0 = L\vec{x}_1 + L\vec{x}_2$$

Question 2 :

On projette dans la base $(\vec{x}_0, \vec{y}_0)$

$$\begin{cases} X_p(t) = L\vec{x}_1.\vec{x}_0 + L\vec{x}_2.\vec{x}_0 \\ Y_p(t) = L\vec{x}_1.\vec{y}_0 + L\vec{x}_2.\vec{y}_0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} X_p(t) = L\cos\theta_1 + L\cos(\theta_1+\theta_2) \\ Y_p(t) = L\sin\theta_1 + L\sin(\theta_1+\theta_2) \end{cases}$$



Question 3 :

On fait l'hypothèse que X_p et Y_p sont positifs.

<u>Méthode 1 :</u> trigonométrie

Remarque : $\cos a + \cos b = 2\cos\left(\frac{a+b}{2}\right)\cos\left(\frac{a-b}{2}\right)$ et $\sin a + \sin b = 2\sin\left(\frac{a+b}{2}\right)\cos\left(\frac{a-b}{2}\right)$

$$X_p(t) = L\cos\theta_1 + L\cos(\theta_1+\theta_2) = 2L\cos\left(\frac{2\theta_1+\theta_2}{2}\right)\cos\left(\frac{-\theta_2}{2}\right) \qquad \text{(L1)}$$

$$Y_p(t) = L\sin\theta_1 + L\sin(\theta_1+\theta_2) = 2L\sin\left(\frac{2\theta_1+\theta_2}{2}\right)\cos\left(\frac{-\theta_2}{2}\right) \qquad \text{(L2)}$$

$\mathrm{L1}^2 + \mathrm{L2}^2$:

$$\Rightarrow {X_p}^2 + {Y_p}^2 = 2L\cos\left(\frac{\theta_2}{2}\right)\left(\cos^2\left(\frac{2\theta_1+\theta_2}{2}\right) + \sin^2\left(\frac{2\theta_1+\theta_2}{2}\right)\right)$$

$$\Rightarrow {X_p}^2 + {Y_p}^2 = 2L\cos\left(\frac{\theta_2}{2}\right)$$

$$\Rightarrow \theta_2 = \pm 2\arccos\left(\frac{\sqrt{X_p^2 + Y_p^2}}{2L}\right)$$

(L2)/(L1) :

$$\frac{Y_p}{X_p} = \tan\left(\frac{2\theta_1+\theta_2}{2}\right)$$

$$\Rightarrow \theta_1 = -\frac{\theta_2}{2} + \arctan\left(\frac{Y_p}{X_p}\right)$$

Pour des coordonnées X_p et Y_p fixées on peut déterminer les variables articulaires θ_1 et θ_2. L'exigence 002 est donc respectée.

<u>Méthode 2 :</u> géométrie

On note $\alpha = (\vec{x}_1, \overrightarrow{OP})$

Dans le triangle isocèle OQP, la somme des angles vaut : $2\alpha + (\pi - \theta_2) = \pi \Rightarrow \alpha = \frac{\theta_2}{2}$

$$\|\overrightarrow{OP}\| = \sqrt{X_p^2 + Y_p^2} = 2L\cos\frac{\theta_2}{2}$$

$$\Rightarrow \theta_2 = \pm 2\arccos\left(\frac{\sqrt{X_p^2 + Y_p^2}}{2L}\right)$$

D'autre part :

$$(\vec{x}_0, \overrightarrow{OP}) = \theta_1 + \frac{\theta_2}{2} = \arctan\left(\frac{Y_p}{X_p}\right)$$

$$\Rightarrow \theta_1 = -\frac{\theta_2}{2} + \arctan\left(\frac{Y_p}{X_p}\right)$$

Question 4 :

$$\vec{V}_{2/0}(P) = \frac{d\left[\overrightarrow{OP}\right]_{/0}}{dt} = \frac{d[L\vec{x}_1 + L\vec{x}_2]_{/0}}{dt} = L\dot{\theta}_1\vec{y}_1 + L(\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2)\vec{y}_2$$

Question 5 :

On considère que le mouvement 2/0 est une translation circulaire, donc $\vec{\Omega}_{2/0} = \vec{0}$.
On écrit une composition des mouvements :

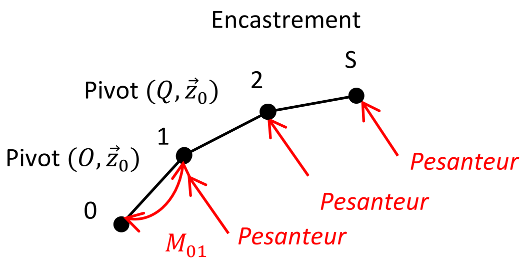
$$\vec{\Omega}_{2/0} = \vec{\Omega}_{2/1} + \vec{\Omega}_{1/0} = \dot{\theta}_2\vec{z}_0 + \dot{\theta}_1\vec{z}_0 = \vec{0}$$
$$\Rightarrow \dot{\theta}_2 = -\dot{\theta}_1$$

D'après l'$Id = 003$ du cahier des charges fonctionnel (CdCF) :

$$\vec{V}_{2/0}(P) = L\dot{\theta}_1\vec{y}_1$$
$$\Rightarrow \dot{\theta}_{1\,max} = \frac{V_{2/0\,max}(P)}{L} = \frac{0{,}020}{0{,}5} = 0{,}04\,rad.s^{-1}$$

Question 6 :

Hypothèse : On se place dans la position la plus défavorable, celle qui maximise le moment de la pesanteur $\theta_1 = \theta_2 = 0$
On isole $\Sigma = \{1, 2, S\}$.



On fait le bilan des actions mécaniques extérieures (BAME).

- $\mathcal{F}(ter \to 1) = \vec{M}_{ter\to1} = {}_{G_1}\begin{Bmatrix} -m_1g\vec{y}_0 \\ \vec{0} \end{Bmatrix} = {}_{G}\begin{Bmatrix} -m_1g\vec{y}_0 \\ -m_1g\frac{L}{2}\vec{z}_0 \end{Bmatrix}$
- $\mathcal{F}(ter \to 2) = \vec{M}_{ter\to2} = {}_{G_2}\begin{Bmatrix} -m_2g\vec{y}_0 \\ \vec{0} \end{Bmatrix} = {}_{O}\begin{Bmatrix} -m_2g\vec{y}_0 \\ -m_2g\frac{3L}{2}\vec{z}_0 \end{Bmatrix}$
- $\mathcal{F}(ter \to 2) = \vec{M}_{ter\to2} = {}_{G_S}\begin{Bmatrix} -m_Sg\vec{y}_0 \\ \vec{0} \end{Bmatrix} = {}_{O}\begin{Bmatrix} -m_Sg\vec{y}_0 \\ -2m_SgL\vec{z}_0 \end{Bmatrix}$
- $\mathcal{F}(0 \to 1) = \vec{M}_{0\to1} = {}_{O}\begin{Bmatrix} \vec{R}_{0\to1} \\ \vec{M}_{0\to1}(O) \end{Bmatrix}$ *avec* $\vec{M}_{0\to1}(O).\vec{z}_0 = \vec{0}$
- $\mathcal{F}(0 \to 1) = \vec{M}_{\underset{0\to1}{mot}} = {}_{O}\begin{Bmatrix} \vec{0} \\ C_{01}\vec{z}_0 \end{Bmatrix}$

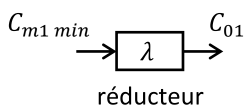
On applique le théorème du moment statique (TMS) en O en projection sur $\vec{z}_0$:

$$-m_1g\frac{L}{2} - m_2g\frac{3L}{2} - 2m_sgL + C_{01} = 0$$
$$\Rightarrow C_{01} = \left(\frac{m_1}{2} + \frac{3}{2}m_2 + 2m_s\right)gL = \left(\frac{0{,}352}{2} + \frac{3}{2}0{,}352 + 2.1{,}2\right)9{,}81.0{,}5 = 15{,}2\,Nm$$

Question 7 :

Hypothèse : le rendement du réducteur vaut 1.

$$C_{m1\,min} = \frac{C_{01}}{\lambda} = \frac{15{,}2}{82} = 0{,}18\,Nm$$



Question 8 :

Le solide 1 comporte 2 plans de symétrie orthogonaux $(G_1, \vec{x}_1, \vec{y}_1)$ et $(G_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$ donc tous les produits d'inertie sont donc nuls. La matrice est donc diagonale.

$$J_{G_1,1} = \begin{pmatrix} I_1 & 0 & 0 \\ 0 & J_1 & 0 \\ 0 & 0 & K_1 \end{pmatrix}_{(\vec{x}_1,\vec{y}_1,\vec{z}_1)}$$

Question 9 :

D'après le théorème d'Huygens :

$$I_{(O,\vec{z}),1} = I_{(G_1,\vec{z}),1} + m_1\frac{L^2}{4}$$
$$\Rightarrow K_{O,1} = K_1 + m_1\frac{L^2}{4}$$

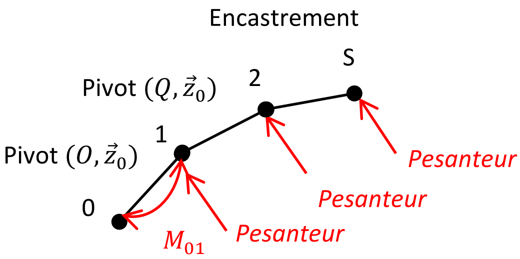
Question 10 :

Hypothèse : $\theta_1 \neq 0$ et $\theta_2 = 0$

$$K_{O,\Sigma} = K_1 + m_1\frac{L^2}{4} + K_{O,2} + K_{O,S}$$

Question 11 :

Hypothèse : $\theta_1 \neq 0$ et $\theta_2 = 0$
Hypothèse : R_0 supposé Galiléen
On isole $\Sigma = \{1, 2, S\}$.



On fait le BAME.

- $\mathcal{F}(ter \to 1) = \vec{M}_{ter\to1} = {}_{G_1}\begin{cases} -m_1 g \vec{y}_0 \\ \vec{0} \end{cases} = {}_G \begin{cases} -m_1 g \vec{y}_0 \\ -m_1 g \frac{L}{2} \vec{z}_0 \end{cases}$
- $\mathcal{F}(ter \to 2) = \vec{M}_{ter\to2} = {}_{G_2}\begin{cases} -m_2 g \vec{y}_0 \\ \vec{0} \end{cases} = {}_O \begin{cases} -m_2 g \vec{y}_0 \\ -m_2 g \frac{3L}{2} \vec{z}_0 \end{cases}$
- $\mathcal{F}(ter \to 2) = \vec{M}_{ter\to2} = {}_{G_S}\begin{cases} -m_S g \vec{y}_0 \\ \vec{0} \end{cases} = {}_O \begin{cases} -m_S g \vec{y}_0 \\ -2 m_s g L \vec{z}_0 \end{cases}$
- $\mathcal{F}(0 \to 1) = \vec{M}_{0\to1} = {}_O \begin{cases} \vec{R}_{0\to1} \\ \vec{M}_{0\to1}(O) \end{cases}$ *avec* $\vec{M}_{0\to1}(O).\vec{z}_0 = \vec{0}$
- $\mathcal{F}(0 \to 1) = \vec{M}_{\underset{0\to1}{mot}} = {}_O \begin{cases} \vec{0} \\ C_{01} \vec{z}_0 \end{cases}$

On applique le théorème du moment dynamique (TMD) en O par rapport à R_0 supposé Galiléen en projection sur $\vec{z}_0$:

$$K_{O,\Sigma}\ddot{\theta}_1 = -m_1 g \frac{L}{2} cos\theta_1 - m_2 g \frac{3L}{2} cos\theta_1 - 2 m_s g L cos\theta_1 + C_{01}$$
$$\Rightarrow C_{01} = \left(K_{O,\Sigma}\ddot{\theta}_1 + m_1 g \frac{L}{2} cos\theta_1 + m_2 g \frac{3L}{2} cos\theta_1 + 2 m_s g L cos\theta_1 \right)$$

Question 12 :

Hypothèse : On se place dans une configuration défavorable $\theta_1 = 0$.
Hypothèse : $K_{O\Sigma}\ddot{\theta}_1$ est négligeable devant les autres couples.

$$C_{01} = \left(\frac{m_1 g}{2} + \frac{3 m_2}{2} + 2 m_s \right) L g$$

Question 13 :

On isole l'écrou.
On fait le BAME :

- l'action de la vis : force verticale $\vec{F}$
- l'action de la pesanteur : force verticale $-Mg\vec{y}_0$

On applique le théorème de la résultante statique (TRS) en projection sur $\vec{y}_0$.

$$F\vec{y}_0 - Mg\vec{y}_0 = \vec{0} \Rightarrow F = Mg$$

Question 14 :

Hypothèse : on se place en régime permanent, à vitesse constante.
On isole $\Sigma = \{\text{réducteur}, \text{vis}, \text{écrou}\}$
Bilan des puissances extérieures :

- puissance d'entrée : $P_e = C_r.\omega_m$
- puissance de sortie : $P_s = -M.g.V = -Mgr\frac{p}{2\pi}\omega_m$

On a donc

$$\eta = \eta_v \eta_r = \frac{|P_s|}{|P_e|} = \frac{Mgr\frac{p}{2\pi}\omega_m}{C_r \omega_m}$$
$$C_r(t) = \frac{Mgpr}{2\pi\eta_v.\eta_r} = \frac{1.9{,}81.12.10^{-3}.0{,}01}{2.\pi.0{,}95.0{,}96} = 2.10^{-4} Nm$$

Question 15 :

On suppose les conditions initiales (CI) nulles, on obtient en écrivant les équations 1 à 3 dans le domaine symbolique de Laplace :

$$U(p) = E(p) + R.I(p) + L.p.I(p) \Rightarrow I(p) = \frac{U(p) - E(p)}{R + L.p}$$

$E(p) = K_e \Omega(p)$
$C_m(p) = K_c I(p)$

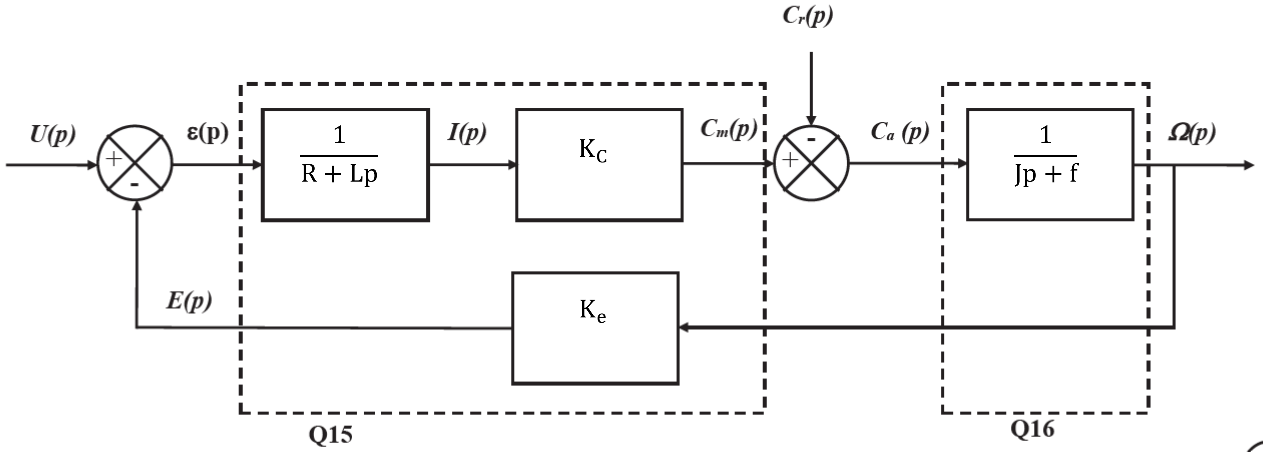
Question 16 :

On isole l'arbre moteur.
On applique le TMD sur l'axe de rotation du moteur :

$$J\frac{d\omega(t)}{dt} = C_m(t) - C_r(t) - f\omega(t)$$

On suppose les CI nulles.

$$Jp\,\Omega(p) = C_m(p) - C_r(p) - f\Omega(p) \Rightarrow \Omega(p) = \frac{1}{Jp+f}(C_m(p) - C_r(p))$$



Question 17 :

Hypothèse : $C_r(p) = 0$

$$F_{m1}(p) = \left.\frac{\Omega(p)}{U(p)}\right|_{C_r(p)=0} = \frac{\frac{1}{R+Lp}K_c\frac{1}{Jp+f}}{1+K_e\frac{1}{R+Lp}K_c\frac{1}{Jp+f}} = \frac{K_c}{(R+Lp)(Jp+f)+K_eK_c}$$

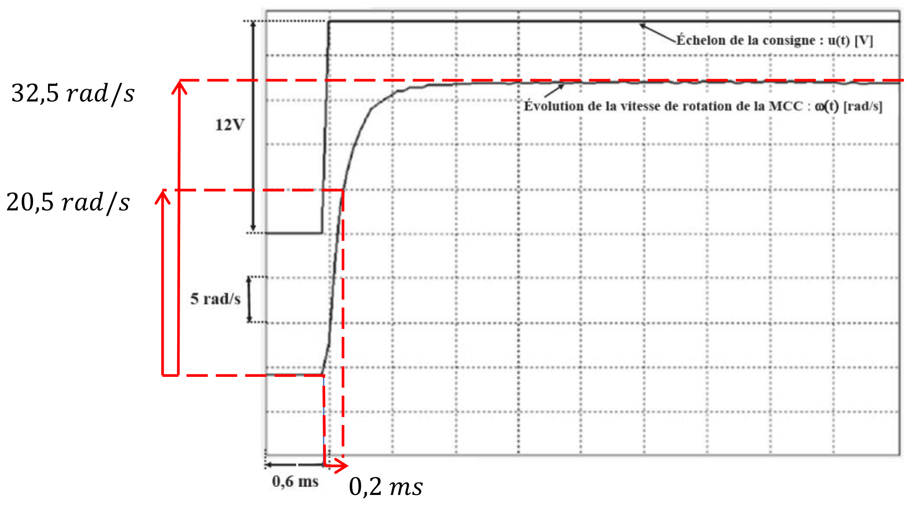
$$= \frac{\frac{K_c}{K_eK_c+Rf}}{1+\frac{RJ+Lf}{K_eK_c+Rf}p+\frac{LJ}{K_eK_c+Rf}p^2}$$

Question 18 :

La réponse à un échelon d'amplitude 12V :

- ne présente pas de dépassement ;
- tends vers une constante ;
- présente une pente non nulle à l'instant de l'échelon.

On peut donc identifier la réponse à celle d'un système du 1[er] ordre de classe 0 de la forme $\frac{F_0}{1+T_0p}$



On lit graphiquement :

$$K_0 = \frac{\omega_\infty}{U_0} = \frac{32,5}{12} = 2,7\ (rad/s)/V$$

$$0,63\omega(\tau) \approx 0,63.32,5 \approx 20,5\ (rad/s)/V$$
$$\tau = 2.10^{-4}s$$

On a donc :

$$F_{m2}(p) = \frac{2,7}{1 + 2.10^{-4}p}$$

Si l'on néglige l'inductance du moteur devant les autres grandeurs physiques, on passe de $F_{m1}(p)$ à $F_{m2}(p)$.

Question 19 :

$$v(t) = \frac{d\,d(t)}{dt} \Rightarrow V(p) = pD(p) \Rightarrow\ M(p) = \frac{D(p)}{V(p)} = \frac{1}{p}$$

Pour avoir un bon asservissement on doit avoir ε(p) = 0 si $D(p) = D_c(p)$.

$$\varepsilon(p) = K_{adapt} D_c(p) - K_{capt}\, D(p)$$

On veut que si $D_c(p) = D(p)$ alors $\varepsilon(p) = 0$.

$$K_{capt} = K_{adapt}$$

Question 20 :

<u>Hypothèse :</u> $C_0(p) = 1$

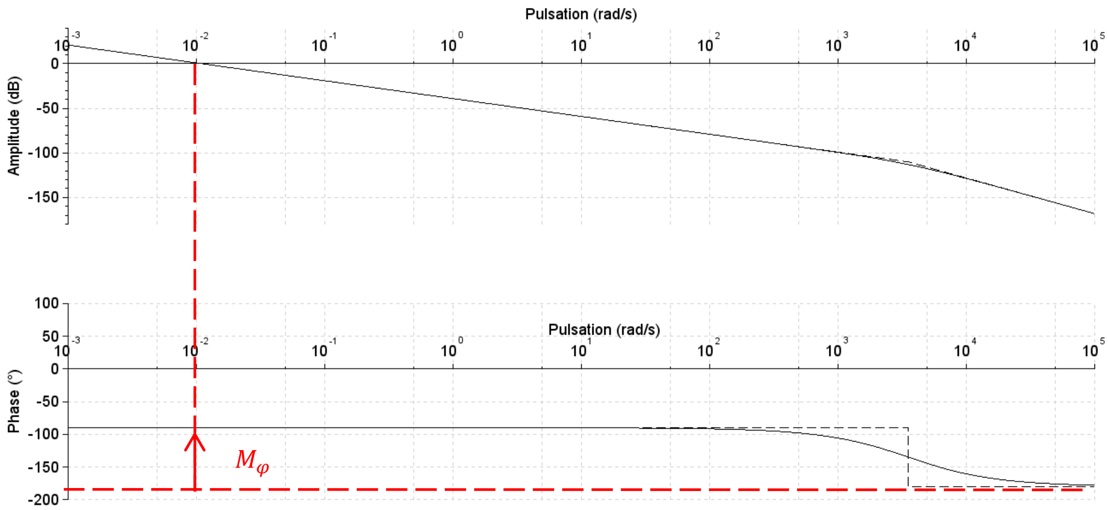
$$G_{BO}(p) = \frac{K_H F_0 K_{red} K_{cap}}{p(1 + T_0 p)}$$

On obtient une fonction de transfert d'ordre 2 et de classe 1.
Le système sera précis dans le cas d'une entrée échelon si la perturbation est nulle.

Question 21 :

$$G_{BO}(p) = \frac{K_H F_0 K_{red} K_{cap}}{p} \frac{1}{1 + T_0 p}$$

$$K_H F_0 K_{red} K_{cap} = 0,0112$$
$$\omega_c = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{0,00028} \approx 3570 \text{ rad/s}$$



On lit graphiquement :

$$M_\varphi = \varphi(\omega_{0dB}) + 180° = -90 + 180 = 90°\ >\ 70°$$
$$M_G = +\infty$$

L'exigence 006 est donc respectée.

Question 22 :

Hypothèse : $K_{adap} = K_{capt}$

$$G_{BF}(p) = \frac{D(p)}{D_c(p)} = \frac{K_{adap}\frac{G_{BO}(p)}{K_{capt}}}{1+G_{BO}(p)} = \frac{G_{BO}(p)}{1+G_{BO}(p)} = \frac{\frac{0,0112}{p(0,00028p+1)}}{1+\frac{0,0112}{p(0,00028p+1)}} = \frac{0,0112}{p(0,00028p+1)+0,0112}$$

$$= \frac{1}{1+\frac{1}{0,0112}p+\frac{0,00028}{0,0112}p^2}$$

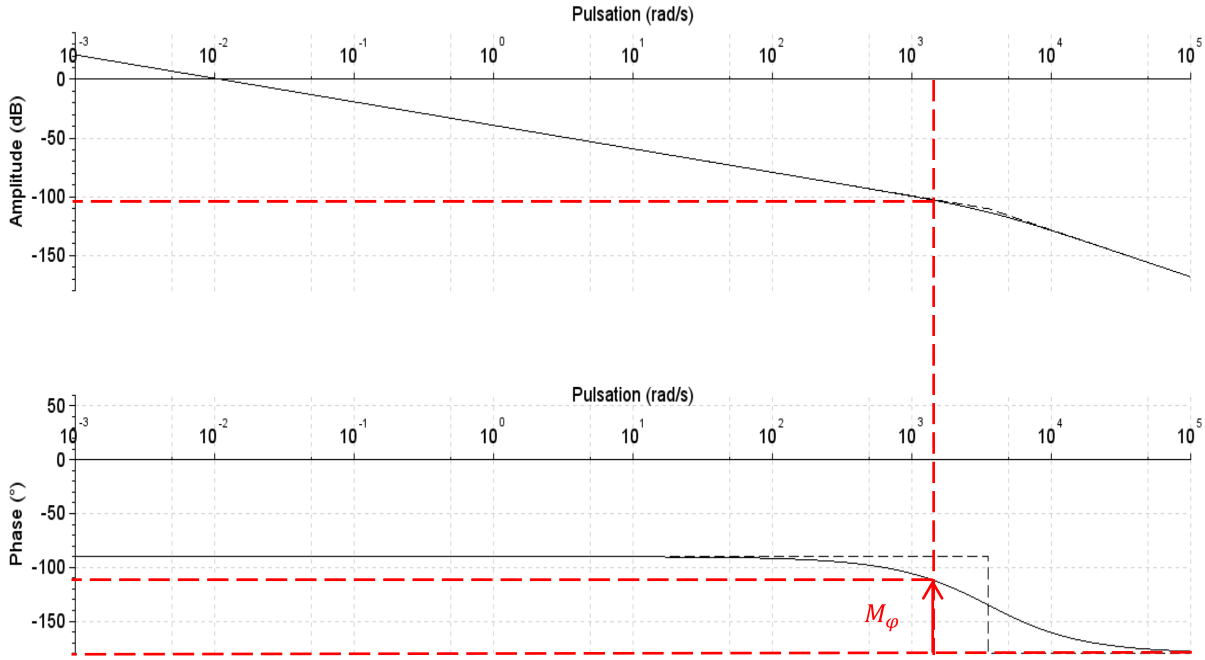
On identifie avec un 2nd ordre de classe 0 de la forme : $\frac{K}{1+\frac{2\zeta}{\omega_0}p+\frac{1}{\omega_0^2}p^2}$

$$\begin{cases} K = 1 \\ \frac{2\zeta}{\omega_0} = \frac{1}{0,0112} \\ \frac{1}{\omega_0^2} = \frac{0,00028}{0,0112} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} K = 1 \\ \zeta = \frac{1}{2}\frac{1}{0,0112}\sqrt{\frac{0,0112}{0,00028}} \\ \omega_0 = \sqrt{\frac{0,0112}{0,00028}} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} K = 1 \\ \zeta \approx 280 > \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \omega_0 \approx 6,3\, rad/s \end{cases}$$

D'après l'énoncé on a donc $t_{r5\%} = \frac{6\zeta}{\omega_0} \approx \frac{6.280}{6,3} \approx 266\, s > 5\, s$

L'exigence 004 n'est pas respectée.

Question 23 :



On ajoute un correcteur proportionnel K_{D1}. Celui-ci ne modifie pas la marge de phase, et on veut $M_\varphi = 70°$.

$$20 log K_{D1} < 100 \Rightarrow K_{D1} < 10^{\frac{100}{20}} \Rightarrow K_{D1} < 10000$$

Cette valeur de K_{D1} n'est pas réaliste. Un gain aussi important engendrerait des tensions d'alimentation du moteur beaucoup trop importantes. On place des saturateurs pour protéger le matériel électrique.

Question 24 :

On identifie $G_{BF}(p)$ avec un second ordre de classe 0.

$$\frac{2\xi}{\omega_0} = \frac{89}{K_D}$$

L'énoncée indique $\zeta > 1 > \frac{1}{\sqrt{2}}$ donc :

$$t_{r5\%} = \frac{6\zeta}{\omega_0} = 6\frac{1}{2}\frac{89}{K_D} = \frac{258}{K_D}$$
$$\Rightarrow K_D = \frac{258}{t_{r5\%}} = \frac{258}{5} \approx 53,4$$

Question 25 :

	K_{D1}	K_{D2}
Id004 : $t_{r5\%} < 5s$	0,0015s Respecté	5s Respecté
Id005 : $e_{r\infty} = 0$m	0m Respecté	0m Respecté
Id006 : $D_1 = 0$	0,01m Non respecté	0m Respecté
Id006 : $M_\varphi > 70° \Rightarrow K_{D1} < 10^4$	220000 Non respecté	53 Respecté

Le correcteur le plus pertinent est donc $K_{D2} = 53$.

Question 26 :

```
def consigne(distance,distance_verin):
    ecart=distance-distance_verin #écart en cm
    if ecart>1:
        res=rapide
    else :
        res=lente
    return res
```

Question 27 :

```
def setup():
    pinMode(2,OUTPUT)
    pinMode(4,INPUT)
    digitalWrite(2,LOW)
```

Question 28 :

```
def impulsion(S):
    digitalWrite(S,HIGH)
    time.sleep(2e-5)
    digitalWrite(S,LOW)
```

Question 29 :

```
def calcul_distance(E):
    # détection du front montant de E avec mémorisation de la date
d'apparition
    while (digitalRead(E) == 0) :
        pulse_start = time.time()
    # détection du front descendant de E avec mémorisation de la date
d'apparition
    while (digitalRead(E)  == 1):
        pulse_end = time.time()
    # calcul de tc
    pulse_duration = pulse_end - pulse_start
    # calcul de la distance  (en cm) à partir de tc
    distance = pulse_duration * 17150
    # retour du résultat, la distance
    return (distance)

#Il faut prendre E=4, la sortie du capteur, l'entrée de l'arduino
```

Question 30 :

```
def mesure():
    #envoie d'une impulsion
    impulsion(2)
    mes=calcul_distance(4)
    return mes
#mes est un nombre flottant (type float)  tout comme distance dans la
fonction cacul_distance
```

Question 31 :

```
Clefs primaires : élément souligné du schéma relationnel
-attribut Mesure pour la table Sismique
-attribut Id_LB pour la table LargeBande
-attribut Id_CB pour la table Courte bande
```

Question 32 :

```
SELECT Date FROM CourteBande ORDER BY MCBx;
Date par ordre croissant des MCBx
18.02.2019_09H52
15.02.2019_04H02
16.02.2019_15H15
16.02.2019_22H47
```

Question 33 :

```
SELECT MCBz FROM CourteBande WHERE MCBz > 0.2 ORDER by Date ASC;
```

Question 34 :

```
Select MLBx, MLBy, MLBz FROM Sismique JOIN LargeBande ON Mesure=Id_LB WHERE
Température > -30;
```

Question 35 :

	Id=002	Id=003	Id=004	Id=005	Id=006	Id=007	Id=008
Partie I	Validée	Validée					
Partie II							
Partie III							
Partie IV			Partiellement validée	Partiellement validée	Validée		
Partie V						Validée	
Partie VI							Validée
Partie VII							