

DANS CE CADRE

Académie :	Session :	Modèle EN.
Examen ou Concours :	Série* :	
Spécialité/option :	Repère de l'épreuve :	
Épreuve/sous-épreuve :		
NOM : <i>(en majuscules, suivi, s'il y a lieu, du nom d'épouse)</i>		
Prénoms :	N° du candidat	<input type="text"/>
Né(e) le	<i>(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)</i>	

037

NE RIEN ÉCRIRE

**L'usage de calculatrices est interdit.**

**Cahier réponses**

**Épreuve de Sciences Industrielles A**

**Banque PT - 2015**

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

---

## PARTIE 1

### ANALYSE PARTIELLE DE LA GESTION DU COUPLE MOTEUR

---

**Question 1 :** quelle spécificité entre les variables a amené le concepteur à réaliser cette décomposition en 2 groupes de variables ?

**Question 2 :** à partir de la description fournie dans la partie PRESENTATION et l'ANNEXE, préciser les noms des éléments du moteur et des périphériques moteur qui ont été choisis pour prélever des informations à l'aide de capteurs permettant d'assurer la gestion du couple moteur.

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

## PARTIE 2

---

### MODELISATION MECANIQUE DU BOITIER PAPILLON

---

**Question 3 :** calculer la valeur numérique de la rotation absolue  $\theta_e$  en degrés du rotor du moteur pour que la vanne-papillon tourne d'un angle égal à  $\theta_s = 105^\circ$ .

$\theta_e \approx$

**Question 4 :** déterminer l'expression du moment d'inertie de la vanne-papillon par rapport à son axe de rotation,  $J_{pap}$  en fonction de  $\rho_{vp}$ ,  $e_p$  et  $D$ . En déduire l'expression du moment d'inertie total  $J_3$  de l'ensemble 3 par rapport à l'axe de rotation en fonction des différents moments d'inerties.

$J_{pap} =$

$J_3 =$

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

**Question 5 :** calculer l'énergie cinétique totale  $E_c$  des ensembles 1, 2 et 3 par rapport au repère galiléen  $\mathcal{R}_g$ . En déduire l'expression littérale du moment d'inertie équivalent du système complet,  $J_{eq}$ , rapportée à l'axe du moteur. Montrer que  $J_{eq} \approx J_1$ .

$E_c =$

$J_{eq} =$

Conclusion :

**Question 6 :** pour une rotation de  $105^\circ$  de la vanne-papillon, en déduire la valeur de l'accroissement maximum de couple exercé par le ressort sur l'axe,  $\Delta C_R$  (on pourra poser  $105^\circ \approx 2\text{rad}$ ). Conclure sur l'hypothèse de couple constant exercé par le ressort sur l'axe.

$\Delta C_R \approx$

Conclusion :

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

**Question 7 :** écrire, à partir du Théorème de l'énergie-puissance appliqué sur le système des ensembles 1, 2 et 3, l'équation reliant le couple moteur  $C_m$  et le couple exercé par le ressort à la dynamique du système isolé.

**Question 8 :** à partir de l'équation précédente, déterminer l'expression littérale de la valeur du couple moteur  $C_m$  à appliquer sous la forme d'un échelon, pour qu'en un temps  $t_{ouverture}$ , la vanne-papillon s'ouvre d'un angle de rotation  $\theta_s$ .

$C_m =$

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

**Question 9 :** calculer la valeur numérique du couple  $C_m$  qui permet de respecter l'exigence de rapidité (on pourra poser  $105^\circ \approx 2\text{rad}$ ). Conclure sur la faisabilité d'une telle ouverture si le concepteur limite le couple moteur à son couple nominal.

$C_m \approx$

Conclusion :

**Question 10 :** à partir de l'écriture judicieuse du Théorème de l'énergie-puissance, déterminer l'expression littérale du temps  $t_{\text{retour}}$  que met la vanne-papillon pour revenir complètement à sa position de repos depuis la position complètement ouverte.

$t_{\text{retour}} =$

**Question 11 :** calculer la valeur numérique de ce temps (on pourra poser  $105^\circ \approx 2\text{rad}$ ). Quel dommage peut apparaître pour un temps de retour très faible ?

$t_{\text{retour}} \approx$

Conclusion :

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

**Question 12 :** calculer la valeur de l'énergie cinétique  $E_c$  du système au moment du choc en ne tenant compte que de l'ensemble 3. En s'appuyant sur les informations données en ANNEXE, et pour une section de denture égale à  $S_{dent} = b.m$ , conclure si le matériau supporte l'impact.

Conclusion :

**Question 13 :** déterminer, pour chaque engrenage, l'expression de la force normale de contact sur les dentures ( $F_{12}$  et  $F_{23}$ ). Calculer les valeurs numériques.

$F_{12} =$

$F_{23} =$

A.N. :

$F_{12} =$

$F_{23} =$

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

**Question 14 :** déterminer, pour chaque engrenage, la valeur de la contrainte normale admissible  $\sigma_{adm12}$  et  $\sigma_{adm23}$  dans les dentures due à la flexion. Conclure sur le choix de matériau des engrenages donné en ANNEXE du sujet.

$\sigma_{adm12} \approx$

$\sigma_{adm23} \approx$

Conclusion :

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

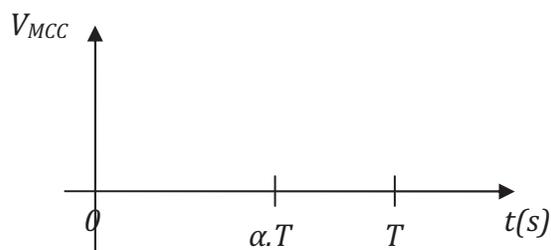
## PARTIE 3

### COMMANDE EN POSITION DU PAPILLON

#### 3.1 Modélisation

##### 3.1.1 Modélisation du hacheur

**Question 15 :** tracer sur le chronogramme l'allure de la forme d'onde de la tension  $V_{MCC}$  alimentant la MCC pour l'état des interrupteurs K1 à K4 fourni. On précisera sur le chronogramme l'amplitude du signal  $V_{MCC}$ .



K <sub>1</sub>	F	O
K <sub>2</sub>	O	F
K <sub>3</sub>	O	F
K <sub>4</sub>	F	O

O = interrupteur ouvert

F = interrupteur fermé

**Question 16 :** déterminer les équations booléennes des interrupteurs K<sub>1</sub> à K<sub>4</sub> en fonction de IN1 et IN2.

K<sub>1</sub> =

K<sub>2</sub> =

K<sub>3</sub> =

K<sub>4</sub> =

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

**Question 17 :** quel problème apparaît si l'on ferme simultanément  $K_1$  et  $K_2$ .

**Question 18 :** déterminer la valeur moyenne de la tension alimentant la MCC,  $V_{MCCavg}$  en fonction de  $V_s$  et  $\alpha$ .

$V_{MCCavg} =$

**Question 19 :** déduire de l'équation précédente la relation aux variations reliant  $V_{MCCavg}(t)$  à  $\alpha(t)$  de paramètre  $V_s$ .

$V_{MCCavg}(t) =$

**Question 20 :** déterminer la transmittance dans le domaine de LAPLACE  $\frac{V_{MCCavg}(p)}{\alpha(p)}$  correspondant au modèle aux variations du hacheur pont en H avec prise en compte du retard statistique de  $T/2$ .

$\frac{V_{MCCavg}(p)}{\alpha(p)} =$

### 3.1.2 Modélisation de la MCC

**Question 21 :** déterminer numériquement les deux constantes de temps de la chaîne directe en asservissement du schéma bloc de la Figure 11 du sujet. Comparer ces deux valeurs et émettre une conclusion quant à la rapidité d'évolution de la variable vitesse  $\omega(t)$  par rapport à la rapidité d'évolution de la variable courant  $i(t)$ .

$\tau_1 =$

$\tau_2 =$

Conclusion :

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

**Question 22 :** en s'appuyant sur la conclusion émise à la question précédente, donner la transmittance modèle d'entrée de commande  $V_{MCCavg}(p)$  et de sortie  $I(p)$ .

$$\frac{I(p)}{V_{MCCavg}(p)} =$$

**Question 23 :** à partir d'une vitesse  $\omega(t)$  nulle, d'un courant  $i(t)$  nul et d'une tension  $V_{MCCavg}(t)$  nulle on applique un échelon de tension  $V_{MCCavg}(t)$  d'amplitude 14,4 V. déterminer la valeur approximative du courant maximal dans la MCC,  $I_{max}$ . Comparer cette valeur à la valeur constructeur maximale admissible par la MCC.

$$I_{max} \approx$$

Conclusion :

## 3.2 Synthèse de la boucle de courant de la MCC

### 3.2.1 Linéarisation et simplification du modèle continu en boucle ouverte de la MCC avec le hacheur

**Question 24 :** démontrer, par utilisation de développements en série, quelle approximation est la plus précise.

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

**Question 25 :** en comparant les pulsations de limite de validité des trois approximations du retard pur à la pulsation de coupure  $\omega_{BFI}$ , choisir un modèle de représentation le plus simple possible représentant correctement le retard pur au regard de la rapidité attendue de la boucle de courant.

### 3.2.2 Synthèse de la boucle de courant de la MCC en continu

**Question 26 :** déterminer sous forme littérale et canonique la fonction de transfert en boucle fermée  $\frac{I(p)}{I_{ref}(p)}$ .

$$\frac{I(p)}{I_{ref}(p)} =$$

**Question 27 :** déterminer les valeurs de  $K_p$  sous forme littérale assurant un système stable.

$$K_p \in$$

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

**Question 28 :** déterminer le gain statique du système bouclé continu  $G_{SIC}$  sous forme littérale.

$G_{SIC} =$

**Question 29 :** déterminer la forme littérale puis la valeur numérique de  $K_p$  répondant aux exigences de la boucle de courant.

$K_p \approx$

**Question 30 :** écrire la transmittance sous forme littérale et canonique de la fonction de transfert en boucle fermée  $\frac{I(p)}{I_{ref}(p)}$  en fonction de  $G_{SIC}$  et  $\tau_F$  (on note  $\tau_F$ , constante de temps en boucle fermée). En déduire l'original sous forme littérale  $i(t)$  de  $I(p)$  en réponse à l'échelon unitaire pour  $i_{ref}(t)$ .

$\frac{I(p)}{I_{ref}(p)} =$

$i(t) =$

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

### 3.2.3 Synthèse de la boucle de courant de la MCC en numérique

**Question 31 :** à partir de la transmittance  $\frac{I(p)}{\alpha(p)}$  (cf. Figure 15 du sujet), déduire une équation différentielle littérale de la forme  $\frac{di(t)}{dt} + a \cdot i(t) = b \cdot \alpha(t)$ .

$$\frac{I(p)}{\alpha(p)} =$$

$$\frac{di(t)}{dt} + \quad \cdot i(t) = \quad \cdot \alpha(t)$$

**Question 32 :** déterminer sous forme littérale la solution  $i(t)$  de l'équation différentielle précédente avec un échelon d'amplitude  $\alpha_k$  pour l'excitation  $\alpha(t)$ , une condition initiale  $i_k$  sur  $i(t)$  et les paramètres  $K_0$  et  $\tau_0$ . On présentera le résultat sous la forme  $i(t)$ =régime libre+régime forcé (le régime libre ne dépend que de la condition initiale et le régime forcé ne dépend que de l'excitation).

$$i(t) =$$

**Question 33 :** en écrivant l'équation obtenue à la question précédente pour  $t=(k+1)T_e$  et pour l'instant initial  $k.T_e$ , déterminer l'équation de récurrence du système en boucle ouverte sous la forme  $i((k+1).T_e)+f_0.i(k.T_e)=g_0.\alpha(k.T_e)$ . Donner  $f_0$  et  $g_0$  en fonction de  $K_0$  et  $\tau_0$ .

$$f_0 =$$

$$g_0 =$$

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

**Question 34 :** en utilisant le schéma bloc dans le domaine temporel, fourni dans le sujet Figure 16, déterminer l'équation de récurrence sous forme littérale du système en boucle fermée sous la forme  $i((k+1).T_e) + f_F i(k.T_e) = g_F i_{ref}(k.T_e)$ .

$f_F =$

$g_F =$

**Question 35 :** en vous aidant des rappels de la note fournie dans le sujet, déterminer la solution de cette équation de récurrence à partir de l'état initial  $i(k.T_e=0) = I_0$  et d'un échelon d'excitation  $i_{ref}(k.T_e) = I_{désiré} \cdot U(k.T_e)$  avec  $U(k.T_e)$  échelon unitaire numérique ( $U(k.T_e) = 0 \forall k < 0$  et  $U(k.T_e) = 1 \forall k \geq 0$ ) et  $I_{désiré}$  l'amplitude du courant désiré. On donnera le résultat sous la forme  $i(k.T_e) = \text{régime transitoire} + \text{régime permanent}$  (le régime transitoire dépend du numéro d'échantillon  $k$  et le régime permanent est indépendant du numéro d'échantillon  $k$ ) en fonction du numéro d'échantillon  $k$  et de  $I_0$ ,  $g_F$ ,  $f_F$  et  $I_{désiré}$ .

$i(k.T_e) =$

**Question 36 :** en analysant le régime transitoire de la solution de l'équation de récurrence déterminer la condition nécessaire et suffisante permettant d'assurer la convergence donc la stabilité de la réponse en courant  $i(k.T_e)$ .

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

**Question 37 :** déterminer le domaine de stabilité de l'asservissement dans le plan  $T_e, K_p$ . On présentera le résultat sous forme de 2 inégalités bornant  $K_p$  en fonction de la période d'échantillonnage  $T_e$  et des paramètres du processus  $K_S$  et  $\tau_0$ .

$\langle K_p \rangle$

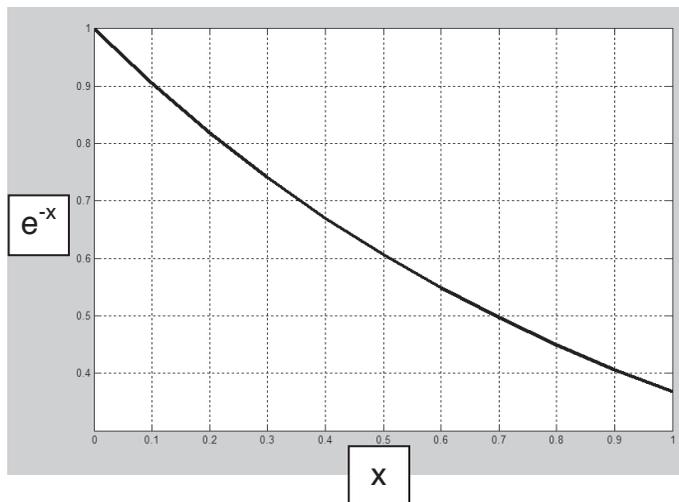
### 3.2.4 Comparaison du comportement de la commande continu et de la commande numérique

**Question 38 :** comparer le résultat de la question précédente à celui obtenu à la question 27 pour assurer la stabilité dans le cas d'un système continu. Conclure.

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

**Question 39 :** pour la valeur de  $K_p=120$  retenue dans le cas d'un système continu et pour  $T_e = \frac{\tau_0}{10}$ , le système avec commande numérique est-il stable ?



**Question 40 :** en reprenant les résultats des questions 33 et 34, déterminer le gain statique du système bouclé numérique  $G_{SIN}$  sous forme littérale en fonction de  $K_s$  et  $K_p$ . Comparer  $G_{SIN}$  avec le résultat de  $G_{SIC}$  obtenu à la question 28.

$G_{SIN} =$

Conclusion :

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

**Question 41 :** montrer que ces 2 équations donnent le même résultat pour chaque échantillon  $k$  à l'instant  $kT_e$ . On pourra transposer à la boucle fermée, les résultats obtenus en boucle ouverte à la question 33.

**Question 42 :** dans le cas de la boucle de courant avec une bande passante à -3dB en boucle fermée  $\omega_{BFI} = 2000\text{rad/s}$ , ce critère est-il vérifié ?

**Question 43 :** la transposition de ce correcteur proportionnel dans une commande numérique permet-il un comportement type 1<sup>er</sup> ordre avec gain statique unitaire et une bande passante à -3dB en boucle fermée  $\omega_{BFI} = 2000\text{rad/s}$ .

### 3.3 Synthèse de la boucle de position de la MCC

**Question 44 :** donner le contenu de  $K_{pot}$  sous forme numérique fractionnaire.

$$K_{pot} = \text{---}$$

**Question 45 :** donner le contenu littéral de  $K_{comp}$  permettant d'avoir un retour homogène à des radians de la position du papillon.

$$K_{comp} =$$

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

**Question 46 :** donner le contenu littéral de  $K_{per}$  permettant d'avoir la prise en compte de l'effet du ressort de rappel monté sur l'axe du papillon sur le modèle de la boucle de position (cf. Figure 17 du sujet).

$$K_{per} =$$

**Question 47 :** en comparant la rapidité désirée pour la boucle fermée de position et les constantes de temps apparaissant dans le système montrer que l'on peut simplifier le schéma bloc de la Figure 17 du sujet par le schéma bloc de la Figure 19 du sujet. Donner le contenu littéral de  $K_1$  et  $K_2$ .

$$K_1 =$$

$$K_2 =$$

**Question 48 :** déterminer les fonctions de transfert en boucle fermée sous forme littérale et canonique en asservissement  $FTBF_A(p) = \frac{\theta_{papillon}(p)}{\theta_{désirée}(p)}$  et en régulation  $FTBF_R(p) = \frac{\theta_{papillon}(p)}{C_r(p)}$  de l'architecture simplifiée de la boucle de position.

$$FTBF_A(p) = \frac{\theta_{papillon}(p)}{\theta_{désirée}(p)} =$$

$$FTBF_R(p) = \frac{\theta_{papillon}(p)}{C_r(p)} =$$

**Question 49 :** déterminer l'erreur statique  $\varepsilon_A$  en asservissement en réponse à l'échelon unitaire pour  $\theta_{désirée}(t)$ .

$$\varepsilon_A =$$

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

**Question 50 :** déterminer l'erreur statique  $\varepsilon_R$  en régulation en réponse à l'échelon d'amplitude 1,7Nm pour  $C_r(t)$ .

$\varepsilon_R =$

**Question 51 :** le cahier des charges est-il vérifié quant aux critères sur la boucle de position (cf. Diagramme 2 du sujet) ?

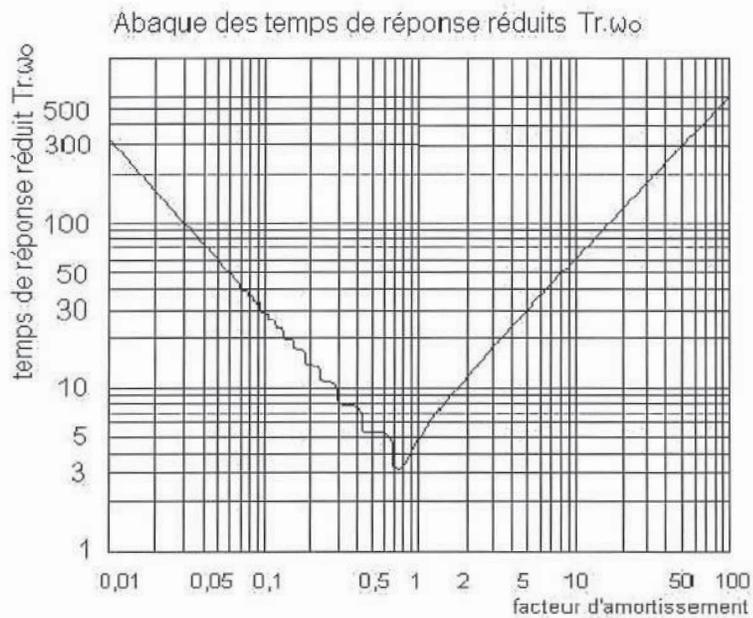
**Question 52 :** déterminer la nouvelle fonction de transfert en boucle fermée sous forme littérale et canonique en asservissement  $FTBF_A(p) = \frac{\theta_{papillon}(p)}{\theta_{désirée}(p)}$ .

$$FTBF_A(p) = \frac{\theta_{papillon}(p)}{\theta_{désirée}(p)} =$$

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

**Question 53 :** en intervenant seulement sur les paramètres du dénominateur de  $FTBF_A(p) = \frac{\theta_{papillon}(p)}{\theta_{désirée}(p)}$ , déterminer les valeurs numériques de  $T_i$  et  $K_\theta$  permettant de répondre au cahier des charges (cf. Diagramme 2 du sujet).



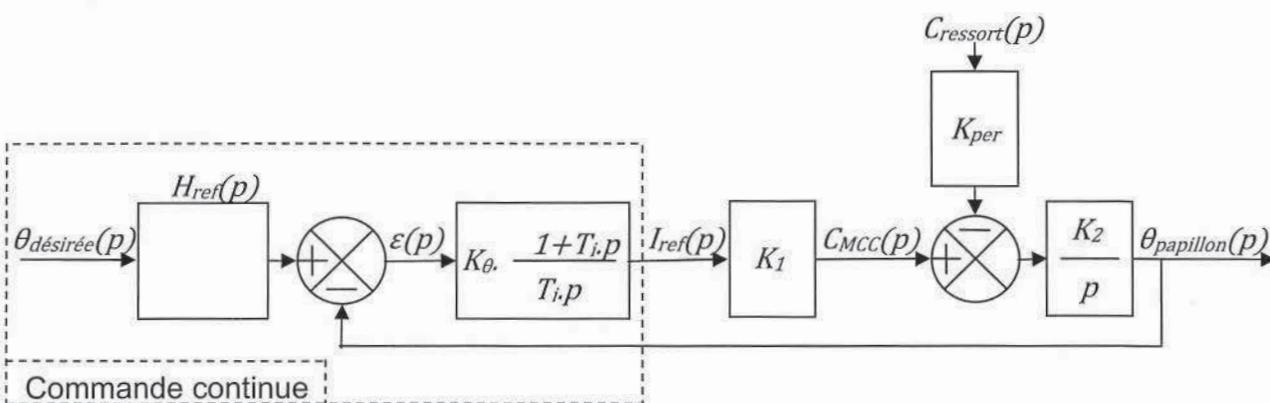
$T_i =$   
 $K_\theta =$

**Question 54 :** le résultat de la Figure 21 du sujet répond-t-il au cahier des charges.

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

**Question 55 :** proposer une transmittance  $H_{ref}(p)$  sous forme littérale et canonique susceptible de permettre une réponse en position du papillon répondant au cahier des charges.



**Question 56 :** le résultat de la Figure 23 du sujet répond-t-il au cahier des charges.

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

---

## PARTIE 4

### FONCTION OBD (ON BOARD DIAGNOSIS)

---

**Question 57 :** déterminer le courant  $I_{MCCm}$  de maintien dans la MCC permettant de compenser le couple de rappel du ressort.

**Question 58 :** après lecture des diagrammes SysML des machines à états fournis en ANNEXE, donner la liste des étapes de la séquence de diagnostic du boîtier papillon suite à une demande de démarrage en commençant à l'occurrence de l'évènement Pp.

**NE RIEN ÉCRIRE**

**DANS CE CADRE**

